

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université A. MIRA - Bejaia-
Faculté des Sciences exactes
Département de Chimie

Mémoire de Master

Présenté par :

M^{elle} DJENOUNE Kenza

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Chimie

Spécialité : Chimie des matériaux

Thème :

Impact des activités industrielles sur la pollution organique et inorganique sur la côte marine de Bejaïa via la Soummam

Soutenu le : 30 /06 /2015

Devant le jury composé de :

| | | |
|-------------------------------|-------------------|--------------|
| BOUKEROUI Abd elhamid | MCA | Président |
| TAKOURABET Lynda | MCA | Examinatrice |
| CHRIBET DEROUICHE Mira | Doctorante | invitée |
| MOUSSACEB Karim | MCA | Encadreur |

2014-2015

REMERCIEMENTS

Dieu merci de m'avoir donné la santé, la volonté et le courage sans lesquels ce travail n'aurait pas été réalisé.

Je tiens particulièrement à remercier mon promoteur Mr, MOUSSACEB Karim, Maître de conférences à l'université de Bejaïa, Je le remercie pour sa patience, sa compréhension, sa grande disponibilité, ainsi la doctorante Melle, CHERIBET DROUICHE Mira qui m'a aidée au cours de ce travail.

Mes vifs remerciements à Mr, BOUKEROUI Abd elahamid Maître de conférences à l'université de Bejaïa, pour l'honneur qu'il m'a fait en présidant du jury de ma soutenance.

Je tiens également à remercier les membres de jury qui ont pris la peine d'examiner ce travail à savoir TAKOURABET Lynda, Maître de conférences à l'université de Bejaïa.

Mes remerciements les plus vifs, vont tout particulièrement à mes parents qui ont joué un très grand rôle dans ma vie, Leur soutien moral et matériel m'a été indispensable tout le long de ces années. Ce travail représente le témoignage de toute ma reconnaissance et mon estime à leurs égards.

Je désire également à remercier tous les techniciens pour leur soutien et sympathie.

Finalement, J'exprime ma profonde reconnaissance envers tous ceux et celles qui m'ont encouragé et soutenu de près ou de loin durant la réalisation de ce travail.

Sommaire

| | |
|-----------------------------|------------|
| Liste des abréviations..... | I |
| Liste des figures..... | II |
| Liste des tableaux..... | III |
| Introduction générale | 1 |

CHAPITRE I.

ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

| | |
|---|----------|
| I.1.Généralités sur la pollution des eaux usées | 3 |
| I.1.1. Définition des eaux usées | 3 |
| I.1.2. Origine et composition des eaux usées..... | 3 |
| I.1.2.1. Eaux usées urbaines | 3 |
| I.1.2.2. Eaux pluviales..... | 4 |
| I.1.2.3. Eaux agricoles | 4 |
| I.1.2.4. Eaux industrielles | 4 |
| I.1.2.4.1. Eaux à caractère minéral dominant..... | 4 |
| I.1.2.4.2. Eaux à caractère organique dominant | 5 |
| I.1.2.4.3. Eaux à caractère mixte | 5 |
| I.1.3. Classification des polluants | 5 |
| I.1.3.1. Polluants Physiques | 5 |
| I.1.3.1.1. Pollution thermique..... | 5 |
| I.1.3.1.2. Pollution mécanique | 5 |
| I.1.3.1.3. Pollution hydraulique | 5 |
| I.1.3.2. Polluants chimiques | 5 |
| I.1.3.2.1. Majeurs | 6 |
| I.1.3.2.2. Micropolluants..... | 6 |
| I.1.3.2.3. Émergents..... | 6 |
| I.1.3.2.4. Exemples de quelques polluants chimiques | 6 |
| I.1.3.3. Polluants Biologiques | 7 |
| I.1.3.4. Polluants Radioactifs | 7 |
| I.1.4. Conséquences de la pollution..... | 7 |
| I.1.5. Caractéristiques des eaux usées | 7 |

| | |
|--|----|
| I.1.5.1. Paramètres Physiques | 7 |
| I.1.5.1.1. La température | 7 |
| I.1.5.1.2. Le pH | 8 |
| I.1.5.1.3. Couleur | 8 |
| I.1.5.1.4. La matière en suspension | 8 |
| I.1.5.2. Paramètres Chimiques | 8 |
| I.1.5.2.1. Oxygène dissous..... | 8 |
| I.1.5.2.2. Demande chimique en oxygène | 8 |
| I.1.5.2.3. Demande biochimique en oxygène | 9 |
| I.1.5.2.4. Hydrocarbures | 9 |
| I.1.5.2.5. Alcalinité | 9 |
| I.1.5.2.6. Turbidité | 9 |
| I.1.5.2.7. Les sels | 10 |
| I.1.6. Métaux lourds | 10 |
| I.1.6.1. Sources des métaux lourds | 11 |
| I.1.6.2. Rejets des métaux lourds dans l'eau | 11 |
| I.1.6.3. Toxicité des métaux lourds | 11 |
| I.1.6.4. Zinc | 12 |
| I.1.6.5. Cuivre | 14 |
| I.1.6.6. Cadmium | 16 |
| I.1.6.7. Plomb | 17 |
| I.1.6.8. Nickel..... | 19 |
| I.1.6.9. Fer | 21 |
| I.2. Adsorption | 22 |
| I.2.1. Définition de l'adsorption..... | 22 |
| I.2.2. Caractéristiques de l'adsorption | 23 |
| I.2.2.1. Adsorption physique | 23 |
| I.2.2.2. Adsorption chimique..... | 24 |
| I.2.3. Mécanisme d'adsorption..... | 24 |
| I.2.4. Facteurs influents l'adsorption..... | 25 |
| I.2.5. Applications de l'adsorption..... | 26 |
| I.2.6. Bentonite..... | 26 |
| I.2.6.1. Origine de la bentonite | 26 |

| | |
|--|----|
| I.2.6.2. Structure et composition..... | 26 |
| I.2.6.3. Types de bentonites | 27 |
| I.2.6.4. Propriétés de la bentonite | 28 |
| I.2.6.5. Utilisation de la bentonite | 29 |
| I.2.6.6. Modélisation des isothermes d'adsorption..... | 29 |
| I.2.6.6.1. Isotherme de Langmuir | 30 |
| I.2.6.6.2. Isotherme de Dubinin-Radushkevich | 31 |
| I.2.6.7. Cinétiques d'adsorption..... | 31 |

CHAPITRE II

PRÉSENTATION DE LE RÉGION D'ÉTUDE

| | |
|--|----|
| II.1. Présentation de la zone d'étude | 33 |
| II.1.1. Cours de l'oued Soummam | 34 |
| II.1.1.1. Description du lit | 34 |
| II.1.2. Milieu physique..... | 35 |
| II.1.2.1. Climatologie | 35 |
| II.1.2.2. Démographie | 35 |
| II.1.2.3. Géologie..... | 35 |
| II.1.2.4. Hydrographie..... | 35 |
| II.1.2.4.1. Ressource souterraines | 35 |
| II.1.2.4.2. Ressources superficielles | 36 |
| II.1.3. Sources de pollution de l'oued Soummam | 36 |
| II.1.3.1 Eaux usées domestiques..... | 36 |
| II.1.3.2. Rejets industriels | 36 |
| II.1.3.3. Abattoirs..... | 37 |
| II.1.3.4. Décharges publiques..... | 38 |
| II.1.3.5. Huileries | 38 |
| II.1.3.6. Déchets hospitaliers | 38 |
| II.2. Méthodes physiques d'analyse utilisées..... | 38 |
| II.2.1. Spectrophotométrie d'absorption atomique | 38 |
| II.2.2. Spectroscopie d'absorption infra rouge | 39 |
| II.2.3. Diffraction des rayons x..... | 40 |

| | |
|---|----|
| II.3. Protocoles expérimentaux | 41 |
| II.3.1. Localisation des stations de prélèvements | 41 |
| II. 3.2. Échantillonnage | 43 |
| II.3.3 Analyses physico-chimiques | 43 |
| II.3.3.1. Paramètres organoleptiques | 43 |
| II.3.3.2. Température..... | 43 |
| II.3.3.3. Conductivité électrique | 43 |
| II.3.3.4. pH..... | 43 |
| II.3.3.5. Dosage de l’oxygène dissous | 44 |
| II.3.3.6. Détermination de la demande chimique en oxygène | 44 |
| II.3.3.7. Matières en suspension | 44 |
| II.3.3.8. Dosage de chlorures..... | 46 |
| II.3.3.9. Dosage des métaux lourds | 47 |

CHAPITRE III.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

| | |
|--|----|
| II.1. Discussion des résultats d’analyse des eaux de l’Oued Soummam..... | 48 |
| III.1.1. Paramètres organoleptiques..... | 48 |
| III.1.1.1. Couleur..... | 48 |
| III.1.2. Paramètre physico-chimiques | 49 |
| III.1.2.1. Température | 49 |
| III.1.2.2. Conductivité électrique..... | 50 |
| III.1.2.3. pH | 51 |
| III.1.2.4. Dosage de l’oxygène dissous | 52 |
| III.1.2.5. Détermination de la demande chimique en oxygène | 53 |
| III.1.2.6. Matières en suspension..... | 54 |
| III.1.2.7. Dosage de chlorures | 55 |
| III.1.2.8. Dosage de fer | 56 |
| III.1.2.9. Dosage de cuivre | 57 |
| III.1.2.10. Dosage du zinc..... | 58 |
| III.1.2.11. Dosage du cadmium..... | 59 |
| III.1.2.12. Dosage du plomb..... | 60 |

| | |
|--|----|
| III.2. Discussions des résultats des tests d'adsorption | 62 |
| III.2.1. Effet du temps de contact | 62 |
| III.2.2. Étude de l'influence de quelques paramètres sur l'adsorption des ions Pb^{2+} | 63 |
| III.2.2.1. L'influence de la vitesse d'agitation | 63 |
| III.2.2.2. Influence du pH | 64 |
| III.2.2.3. Influence de la masse d'adsorbant | 65 |
| III.2.2.4. Effet de la température..... | 65 |
| III.2.3. Modélisation des isothermes d'adsorption | 66 |
| III.2.3.1. Modèle de Langmuir..... | 66 |
| III.2.3.2. Modèle de Dubinin-Radushkevich..... | 67 |
| III.2.4. Modélisation de la cinétique d'adsorption | 68 |
| III.2.4.1. Modèle cinétique du premier et second ordre..... | 68 |
| III.2.4.2 .Modèle de diffusion interne ou intraparticulaire..... | 70 |
| | |
| Conclusion générale | 74 |
| Références bibliographiques | |
| Annexes | |

Liste des abréviations

| Abréviation et symbole | Signification |
|-------------------------------|---|
| DCO | Demande chimique en oxygène |
| OD | Oxygène dissous |
| pH | Potentiel d'hydrogène |
| MES | Matière en suspension |
| T | température |
| N | normalité |
| EDTA | Sel dissodique d'acide éthylène diamine |
| Hcl | Acide chlorhydrique |
| NA | norme algérienne |
| OMS | organisation mondiale de santé |
| ERU | Eaux résiduaires urbaines |
| DRX | diffraction des rayons X |
| IRTF | infrarouge à transformée de Fourier |

OMS Organisation Mondiale de la Santé
DCO Demande chimique en oxygène
DBO5 Demande biologique en oxygène de cinq jours
MO Matière organique
ERU eaux usées résiduares urbaines
HAP hydrocarbure aromatique
EU Union Européenne
USEPA agence américaine pour la protection de l'environnement
T
température de fusion
T
f
température d'ébullition
Log p logarithme de coefficient de partage
 ρ masse volumique
CI Continental Intercalaire
CT Complexe Terminal
UNESCO ultraviolet
UV infrarouge
IR site
STEP station d'épuration
ADE Algérienne des eaux
pH Potentiel d'Hydrogène
CE conductivité électrique
UTPS usine de transformation du plastique
eb
MES matière en suspension
CMA concentration maximale admissible
COV composés organiques volatiles
AH acide
B base
OM orbital moléculaire
FT-IR infrarouge transformée de Fourier
DN diamètre nominal

(ERU

| N° | Titre de figure | Page |
|---------------|--|------|
| I.1 | Liste noire de 132 substances dangereuses prioritaires considérées par la communauté européenne | 6 |
| I.2 | Différents modes de rétention d'un élément métallique au sein d'un Solide | 23 |
| I.3 | Schéma du mécanisme de transport d'un adsorbat au sein d'un grain | 25 |
| I.4 | Représentation schématique d'un feuillet de Smectite | 26 |
| II.1 | Schéma de principe du spectrophotomètre d'absorption atomique. | 39 |
| II.2 | Schéma de principe d'un spectromètre FT-IR | 40 |
| II.3 | Schéma de principe de diffraction des rayons x | 41 |
| II.4 | Photo de premier point de prélèvement (site 1) | 42 |
| II.5 | Photo de deuxième point de prélèvement (site 2) | 42 |
| II.6 | Carte schématique de la zone d'étude avec localisation des points de prélèvements | 42 |
| III.1. | Évolution de la température de l'eau des différentes stations de l'oued Soummam en fonction des échéanciers des prélèvements | 47 |
| III.2 | Évolution de la conductivité de l'eau des différentes stations de l'oued Soummam en fonction des échéanciers des prélèvements | 48 |
| III.3 | Évolution de pH de l'eau des différentes stations de l'oued Soummam en fonction des échéanciers des prélèvements | 49 |
| III.4 | Évolution de l'oxygène dissous de l'eau des différentes stations de l'oued Soummam en fonction des échéanciers des prélèvements | 50 |
| III.5 | Évolution de la DCO de l'eau des différentes stations de l'oued Soummam en fonction des échéanciers des prélèvements | 51 |
| III.6 | Évolution de MES de l'eau des différentes stations de l'oued Soummam en fonction des échéanciers des prélèvements | 52 |
| III.7 | Évolution de la teneur en chlorure de l'eau des différentes stations de l'oued Soummam en fonction des échéanciers des prélèvements | 53 |
| III.8 | Évolution de la concentration en fer de l'eau des différentes stations de l'oued Soummam en fonction des échéanciers des prélèvements | 54 |
| III.9 | Évolution de la concentration en cuivre de l'eau des différentes stations de l'oued Soummam en fonction des échéanciers des prélèvements | 55 |
| III.10 | Évolution de la concentration en zinc de l'eau des différentes stations de l'oued Soummam en fonction des échéanciers des prélèvements | 56 |

| | | |
|---------------|--|----|
| III.11 | Évolution de la concentration en cadmium de l'eau des différentes stations de l'oued Soummam en fonction des échéanciers des prélèvements | 57 |
| III.12 | Évolution de la concentration en plomb de l'eau des différentes stations de l'Oued Soummam en fonction des échéanciers des prélèvements | 58 |
| III.13 | Diffractogramme des rayons X de la bentonite activée | 61 |
| III.14 | Spectre infrarouge de la bentonite activée. | 63 |
| III.15 | Évolution de la quantité du plomb adsorbée en fonction du temps de contact pour différents concentration (pH=7,78 ;m=0,1 mg/L ;w= 200 tr/min). | 64 |
| III.16 | Influence de la vitesse d'agitation sur la quantité adsorbée (Ci= 1,403 mg/L, pH=7,78, m=0,1 mg/L, T=25°C). | 65 |
| III.17 | Influence de la variation du pH sur la quantité adsorbée (Ci=1.408 mg/L, m=0,1 mg/L ,w= 200 tr/min, T=25°C). | 66 |
| III.18 | Influence de la masse d'adsorbant sur la quantité adsorbée (Ci=1.403 mg/L, pH=7,78 , T=25°C , w= 200 tr/min). | 67 |
| III.19 | Influence de la température sur la quantité adsorbée (Ci=1,403 mg/L; pH=7,78 ;m=0,1 mg/L ;w= 200 tr/min). | 68 |
| III.20 | Modélisation des résultats expérimentaux par le modèle de Langmuir (T=25°C, m=0,1g ; w=200tr/min; pH= 7,78) | 68 |
| III.21 | Modélisation des résultats expérimentaux par le modèle Dubinin-Radushkevich (T=25°C, m=0,1g ; w=200tr/min ; pH= 7,78) | 69 |
| III.22 | Représentation graphique selon le modèle du pseudo premier ordre pour l'adsorbant « bentonite » à T=25°C. | 71 |
| III.23 | Représentation graphique selon le modèle du pseudo du second ordre pour l'adsorbant « bentonite » à T=25°C. | 71 |
| III.24 | Représentation graphique selon le modèle intraparticulaire pour les différentes concentrations par la bentonite à T=25°C. | 72 |

| N° | Nom de tableau | Page |
|---------------|--|-------------|
| I.1 | Propriétés chimiques du Zinc | 12 |
| I.2 | Propriétés chimiques du cuivre | 14 |
| I.3 | Propriétés chimiques du Cadmium | 16 |
| I.4 | Propriétés chimiques du Plomb | 18 |
| I.5 | Propriétés chimiques du Nickel | 20 |
| I.6 | Propriétés chimiques du Fer | 22 |
| I.7 | Caractéristiques des deux types d'adsorptions | 24 |
| II.1 | Principaux affluents de l'oued Soummam | 36 |
| II.2 | Les rejets liquides de quelques industries déversées dans l'Oued Soummam | 37 |
| II.3 | Les rejets solides de quelques industries déversées dans l'Oued Soummam | 37 |
| II.4 | Consommation en eau des abattoirs de la vallée de la Soummam | 37 |
| II.5 | Volume d'eau usée rejeté par types d'huilerie riveraine de l'Oued Soummam | 38 |
| II.6 | Caractéristiques des stations d'étude | 41 |
| II.7 | Longueurs d'ondes appropriées des métaux dosés | 47 |
| III.1 | Évaluation de la couleur de l'eau des différentes stations de l'oud | 48 |
| III.2 | Soummam Valeurs des températures enregistrées lors des différents prélèvements. | 49 |
| III.3 | Valeurs des conductivités enregistrées dans les différentes stations à différents échéanciers. | 50 |
| III.4 | Valeurs de pH enregistrées dans les différentes stations de l'oued Soummam | 51 |
| III.5 | Teneur en oxygène dissous dans l'eau de l'oued Soummam | 52 |
| III.6 | Teneur en DCO dans l'eau de l'Oued Soummam | 53 |
| III.7 | Teneur des matières en suspensions dans l'eau de l'oued Soummam | 54 |
| III.8 | Teneur en chlorure dans l'eau de l'oued Soummam | 55 |
| III.9 | Teneur en fer dans l'eau de l'oued Soummam | 56 |
| III.10 | Teneur en cuivre dans l'eau de l'oued Soummam | 57 |
| III.11 | Teneur en zinc dans l'eau de l'oued Soummam | 58 |
| III.12 | Teneur en cadmium dans l'eau de l'oued Soummam | 59 |
| III.13 | Teneur en plomb dans l'eau de l'oued Soummam | 60 |
| III.14 | Quelques caractéristiques de la bentonite activée. | 62 |
| III.15 | Angle de diffraction et distances inter-réticulaires des phases argileuses | 63 |

| | | |
|---------------|---|----|
| III.16 | Distances inter-réticulaires et angles de diffraction de la phase montmorillonitique de la bentonite activée. | 64 |
| | Résultat d'analyse chimique de la bentonite activée | |
| III.17 | Bandes d'absorption IR de la bentonite activée | 64 |
| III.18 | Valeurs des paramètres de l'équation de Langmuir | 65 |
| III.19 | Valeurs des constantes de Dubinin-Radushkevich. | 71 |
| III.20 | Constantes de vitesse k et quantité adsorbées à l'équilibre (q_{ecal}) du plomb | 72 |
| III.21 | sur l'adsorbant des modèles cinétiques premiers et seconds ordres | 74 |
| | Constantes de vitesse k du modèle de diffusion intraparticulaire obtenues à | |
| III.22 | différentes concentrations initiales en plomb. | 75 |

Liste des tableaux

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'eau est une ressource vitale pour l'homme et sa santé et son développement, mais à cause de l'accroissement de sa consommation par les individus et des problèmes de pollution, celle-ci est engendrée principalement par le rejet des eaux usées d'une manière anarchique et sans traitement, ceux qui contribuent considérablement à la contamination de la nappe phréatique et à l'accroissement de sa remontée, on doit obligatoirement pensé à une épuration de ces eaux. C'est pour cela que, depuis l'antiquité, les hommes ont mis en place, dans les villes des systèmes d'assainissement. [1]

Devant la croissance économique et sociale, le rythme accéléré du développement industriel et l'urbanisation rapide et incontrôlée n'ont pas tardé à faire apparaître des signes de perturbation au niveau de cette source naturelle.

L'Oued Soummam est gravement affecté par la pollution. Les multiples rejets polluants, d'origine industrielle et ménagère jettent des dizaines de m³ d'eau usée chaque jour, ont progressivement transformé ce fleuve, autre fois foisonnant de vie, en un véritable égout à ciel ouvert, avec son fond vaseux, son aspect lugubre et ses émanations putrides. [2]

Et face à tous les problèmes que connaît notre pays en matière d'assainissement et de gestion des stations d'épuration, le recours à d'autres techniques d'épuration, moins coûteuses et plus simples à gérer est devenu incontournable, si l'on veut protéger les ressource en eau, la santé publique et sauvegarder les milieux récepteurs.

L'utilisation d'un matériau local, tel que l'argile, pour traitement de l'eau usée est technique prometteuse pour l'épuration de cette eau comme une alternative.

L'objectif de notre travail est de caractériser les eaux de l'oued Soummam à l'aide d'un tas de tests, en deux stations à savoir : SIDI-AICH et le point de contact Soummam- mer, afin d'évaluer le caractère polluant de la côte marine de Bejaïa. Un deuxième objectif tracé dans cette étude concerne la proposition des solutions à cette problématique. Parmi les quelles envisagées, l'utilisation d'un matériau local, tel que l'argile (bentonite), pour le traitement de l'eau usée à l'aide du procédé d'adsorption. L'adsorption sur cette argile est une technique prometteuse pour l'épuration de cette eau (en matière organique et inorganique) comme une alternative pour adsorber les différents polluants.

Le présent manuscrit commence par une introduction générale où la problématique est abordée et les solutions sont préconisées, et scindé en trois chapitres à savoir :

Chapitre I intitulé « Étude bibliographique » constitue un rappel sur des connaissances concernant les eaux polluées, les paramètres d'évaluation de la qualité de ce dernier, la qualité et les polluants de ces derniers, ainsi que la description de phénomène d'adsorption.

Chapitre II intitulé « Protocole expérimentale et techniques d'analyses », donne un aperçu sur l'oued Soummam, et décrit l'échantillonnage, les méthodes analytiques et les techniques d'analyses utilisées.

Chapitre III intitulé « Résultats et Discussions », présente les résultats obtenus et leurs interprétations.

Et Enfin, il se termine par une conclusion générale et des propositions et recommandations (perspectives) à entreprendre pour mettre fin à la patente pollution qui a affecté cette source de vie.

CHAPITRE I. ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. GÉNÉRALITÉS SUR LA POLLUTION DES EAUX USÉES

Les problèmes liés à l'environnement, en particulier ceux concernant la pollution chimique et biologique de l'eau, sont devenus une préoccupation majeure pour l'ensemble de la population et une priorité pour les autorités publiques. Au préalable, deux constats s'imposent : l'eau est indispensable à la vie sur terre et le développement industriel (et/ou agricole). Ces deux affirmations sont à prendre en compte quelle que soit l'époque considérée. [3-4]

I.1.1. Définition des eaux usées

Les eaux résiduaires urbaines (ERU), ou eaux usées, sont des eaux chargées de polluants, solubles ou non, provenant essentiellement de l'activité humaine. Une eau usée est généralement un mélange de matières polluantes répondant à ces catégories, dispersées ou dissoutes dans l'eau qui a servi aux besoins domestiques ou industriels.

Du fait de cette charge polluante, il est important d'épurer ces eaux, au niveau de stations d'épuration, avant de les rejeter dans l'environnement ou le milieu récepteur. En effet, ce rejet peut avoir des conséquences néfastes pour le milieu récepteur, en particulier pour les organismes vivants qu'il héberge, mais également pour l'homme ou pour les activités qu'il réalise au niveau de ce milieu. [5]

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

Les eaux usées sont des eaux impropres ou polluées, qui doivent bénéficier d'un assainissement ou d'une dépollution avant de pouvoir être rejetées dans la nature ou d'être consommées par l'homme. [7]

I.1.2. Origine et composition des eaux usées

I.1.2.1. Eaux usées urbaines

Elles constituent généralement l'essentiel de la pollution et se composent :

- Des eaux de cuisine qui contiennent des matières minérales en suspension provenant du lavage des légumes, des substances alimentaires à base de matières organiques (glucides,

lipides, protides) et des produits détergents utilisés pour le lavage de la vaisselle et ayant pour effet la solubilisation des graisses ;

- Des eaux de salle de bains chargées en produits utilisés pour l'hygiène corporelle, généralement des matières grasses hydrocarbonées ;
- Des eaux de vannes qui proviennent des sanitaires, très chargées en matières organiques hydrocarbonées, en composés azotés, phosphatés et microorganisme ;
- Des eaux des activités particulières. [5]

I.1.2.2. Eaux pluviales

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

- Le lessivage des sols et des surfaces imperméabilisées. Les déchets solides ou liquides déposés, par temps sec, sur ces surfaces sont entraînés dans le réseau d'assainissement par les premières précipitations qui se produisent ;
- La remise en suspension des dépôts des collecteurs. Par temps sec, l'écoulement des eaux usées dans les collecteurs du réseau est lent, ce qui favorise le dépôt de matières décantables. Lors d'une précipitation, le flux d'eau plus important permet la remise en suspension de ces dépôts. Elles sont de même nature que les eaux usées domestiques, avec en plus, des métaux lourds et des éléments toxiques provenant essentiellement de la circulation automobile. [6]

I.1.2.3. Eaux agricoles

Résulte des effluents d'élevage et de l'emploi de pesticides et d'engrais organiques ou minéraux pour la fertilisation des terres. Ces composés peuvent être lessivés lors des précipitations et entraînés vers les milieux aquatiques. [7]

I.1.2.4. Eaux industrielles

Leur composition est liée au type d'industrie implantée dans la commune, elle dépend d'une multitude de paramètres (type d'industrie, production, nettoyage,...), les différentes étapes du procédé industriel, l'état des équipements,...etc. Par ailleurs, il existe des caractéristiques communes entre les effluents de la même industrie. [5]

On distingue selon le caractère de l'industrie :

I .1.2.4.1. Eaux à caractère minéral dominant

Ce sont les eaux provenant des carrières (sidérurgie), des mines et de toute activité d'extraction de minerais « industrie chimique minérale ».

I.1.2.4.2. Eaux à caractère organique dominant

Ce sont les eaux provenant des usines, a résidus industriels alimentaires telles que les laiteries, qui contiennent des graisses, des protéines, des glucides, Les industries oléicoles Algériennes productrices d'huile d'olives, génèrent des eaux résiduaires spécifiques constituées d'huile et d'eau : les margines. Ces margines, appelées aussi eaux de végétation, posent de sérieux problèmes à l'industrie oléicole et à l'environnement en raison de leur charge élevée en polluants.

I.1.2.4.3. Eaux à caractère mixte

Contiennent un ou plusieurs constituants biodégradables, mais aussi d'autres constituants provenant des raffineries, des usines pétrochimiques, des papeteries. En plus des matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques, des hydrocarbures dissous émulsionnés ou sous forme de films superficiels, des tensioactifs, des Phénols...etc.[8-9]

I.1.3. Classification des polluants

Les effluents des eaux usées entraînent une pollution du milieu aquatique que l'on peut classer en plusieurs types :

I.1.3.1. Polluants Physiques

I.1.3.1.1. Pollution thermique

Par l'élévation de température ce type de pollution, lié à l'utilisation de l'eau comme liquide de refroidissement par les industriels, Elle réchauffe à leur tour les eaux dans lesquelles elle est déversée, et qu'elle induit la diminution de la teneur en oxygène dissous. Ce qui peut perturber la vie aquatique, animale ou végétale, notamment en modifiant les rythmes physiologiques des espèces. [10-11]

I.1.3.1.2. Pollution mécanique

Causée généralement par les sédiments et les flottants, elle provient essentiellement du lessivage des sols lors de pluies abondantes et des travaux réalisés par l'homme qui rendent le sol imperméable, provoquant des flux polluants importants entraînant avec eux des boues.

Celles-ci colmatent les lits des ruisseaux et des rivières et diminuent ainsi les échanges possibles entre l'eau et la Terre. [6]

I.1.3.1.3. Pollution hydraulique

Représentée par la modification des écoulements.

I.1.3.2. Polluants chimiques

La pollution chimique de l'eau devient de nos jours une préoccupation de santé publique, qui prend des formes multiples. Le nombre de polluants ne cesse de se multiplier, notamment les détergents et les pesticides. Ils font l'objet d'une surveillance particulière à travers le monde.

Les polluants chimiques génèrent des nuisances souvent dramatiques pour les écosystèmes à cause de leur concentration dans le milieu naturel à certaines époques de l'année, tels que :

I.1.3.2.1. Majeurs

Sont les matières organiques (MO), Azote (N), Phosphore (P) et les sels majeurs.

I.1.3.2.2. Micropolluants

Certains métaux et métalloïdes (mercure, cadmium, arsenic, plomb, chrome, sélénium, cuivre, thallium,...etc.), et des micropolluants organiques (des composés phénoliques, des organohalogénés, des organophosphorés, certaines huiles minérales et certains hydrocarbures (HPA), ou encore certains dérivés nitrés.

I.1.3.2.3. Émergents

Ce sont des perturbateurs endocriniens, médicaments des soins corporels. [5-7]

I.1.3.2.4. Exemples de quelques polluants chimiques

Les contaminants ou les micropolluants de caractère chimique peuvent être divisés selon le schéma illustré dans la Figure I.1.

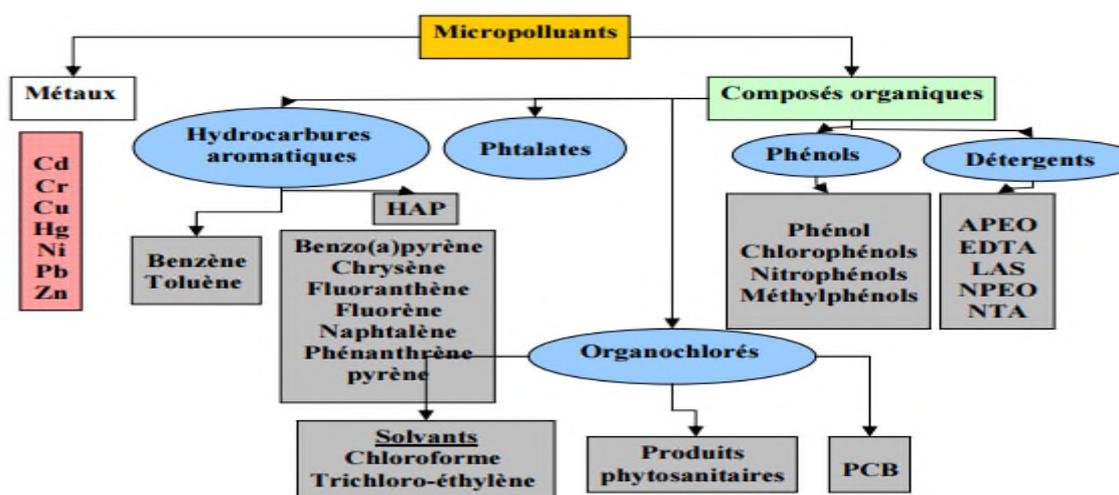


Figure I.1. Liste noire de 132 substances dangereuses prioritaires considérées par la communauté européenne. [7]

I.1.3.3. Polluants Biologiques

L'eau peut contenir des micro-organismes pathogènes (des virus, des bactéries, des parasites). Ils sont dangereux pour la santé humaine, et limitent donc les usages que l'on peut faire de l'eau (baignade, élevage de coquillage). [12]

I.1.3.4. Polluants Radioactifs

Les éléments radioactifs peuvent persister pendant des Années. Ils ont un effet direct sur les peuplements aquatiques en raison de leur toxicité propre et des propriétés cancérigènes et mutagènes de leurs rayonnements. Ils sont rejetés, à titre indicatif, par les usines de retraitement, les installations militaires et les hôpitaux. [5-6]

I.1.4. Conséquences de la pollution

1. Les matières organiques solubles abaissent la teneur en Oxygène dans les cours d'eau, ce qui conduit à la réduction et à la mort de la faune aquatique ;
2. Les matières en suspension, s'accumulent au fond des cours d'eau, lacs et étangs et causent l'augmentation de la turbidité ;
3. Les acides sont toxiques à la vie aquatique et détériorent les réseaux d'égaux ;
4. Les huiles et les graisses flottantes conduisent au colmatage des conduites et donnent un aspect esthétique indésirable ;
5. Les matières toxiques et métaux lourds sont toxiques à la vie aquatique ;
6. Le phosphore et l'azote conduisent à l'eutrophisation des cours d'eau ;
7. Le phosphore est un élément limitant la croissance des plantes et du phytoplancton ;
8. Les coliformes fécaux et pathogènes participent à la contamination bactériologique des cours d'eau. [13]

I.1.5. Caractéristiques des eaux usées

Les paramètres choisis pour illustrer les caractéristiques des eaux des rejets sont définis comme suit :

I.1.5.1. Paramètres Physiques

I.1.5.1.1. La température

L'élévation de la température dépend du mode d'utilisation de l'eau avant son rejet et surtout le parcours de l'eau avant l'exutoire ou la station d'épuration. En général l'eau doit être évacuée vers l'environnement à des températures inférieures à 30°C une eau plus chaude constitue une pollution. [13]

I.1.5.1.2. Le pH (potentiel Hydrogène)

Le pH d'une eau est dû à la concentration de cette eau en ions H^+ et OH^- une eau équilibrée aura un pH neutre de 7. Des variations trop élevées du pH par rapport à cette valeur moyenne de 7 constituent une pollution. Des eaux dont le pH présente de grands écarts par rapport à la neutralité sont polluées. [14]

I.1.5.1.3. Couleur

La couleur vraie après filtration est due à la présence de matières organiques dissoutes, de fer ferrique précipité à l'état d'hydroxyde colloïdal, de fer ferreux lié à des complexes organiques et de divers colloïdes. Il n'existe pas de lien entre la couleur et la concentration en matières organiques. Ce paramètre est mesuré par comparaison à une solution de référence (Platine cobalt). [15]

I.1.5.1.4. La matière en suspension (MES)

La pollution particulaire est due à la présence de particules de grande taille, supérieure à $10\mu m$, en suspension dans l'eau, et que l'on peut assimiler aux matières en suspension (MES).

En fait, les matières en suspension ne sont des particules solides véritablement en suspension que dans des conditions moyennes d'écoulement des effluents correspondant à une vitesse minimale de 0,5 m/s. En fonction de la taille des particules, on distingue les matières grossières ou décantables (diamètre supérieur à $100\mu m$) et les matières en suspension. [16]

I.1.5.2. Paramètres Chimiques

I.1.5.2.1. Oxygène dissous

L'oxygène dissous est un composé essentiel de l'environnement aqueux puisqu'il est le paramètre limitant de la principale voie de biodégradation de la pollution organique. [17-18]

I.1.5.2.2. Demande chimique en oxygène (DCO)

La DCO correspond à la quantité d'oxygène (en milligramme) qui a été consommée par voie chimique pour oxyder l'ensemble des matières oxydables présentes dans un échantillon d'eau de 1 litre (quelle que soit leur origine, organique, biodégradable ou non) ou minérale (fer ferreux, nitrites, ammonium, sulfate et chlorures). La DCO est particulièrement indiquée pour mesurer la pollution d'un effluent industriel. [19]

I.1.5.2.3. Demande biochimique en oxygène (DBO₅)

La demande biochimique en oxygène représente la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes pour décomposer par oxydation les matières organiques contenues dans l'eau. Il s'agit donc d'une méthode d'évaluation de la fraction des composés organiques biodégradables, donc plus restrictive que les méthodes basées sur l'oxydation chimique et catalytique de toutes les matières organiques oxydables. [20]

I.1.5.2.4. Hydrocarbures

L'eau entraîne différents hydrocarbures ; des produits neufs ou des déchets, des huiles de vidange, des huiles à usage industriel. Ces pollutions ponctuelles d'origine accidentelle (ruptures de cuves de stockage d'essence, de fioul, de mazout, industrielles ou domestiques, rupture de pipeline, accidents de la circulation routière, ...) ont des effets variables selon la viscosité du produit renversé et la perméabilité des terrains traversés. Ces produits faiblement biodégradables peuvent polluer d'importants volumes d'eau par dissolution même à dose infinitésimale. À Cette densité relativement faible par rapport à l'eau forment des filtres de surface et empêchent toute oxygénation de celle-ci occasionnant des asphyxies de la faune et de la flore, ainsi que l'inconvénient principal est de développer des odeurs et des saveurs désagréable. [21]

Leur élimination fera appel à des procédés aussi bien physiques que biochimiques ; ils proviennent aussi bien de rejets domestiques qu'industriels. [22-24]

I.1.5.2.5. Alcalinité

La connaissance de l'alcalinité présente un intérêt particulier lorsque des traitements physico-chimiques sont envisagés, car ce paramètre traduit la présence en solution d'éléments chimiques susceptibles d'exercer une influence directe sur les conditions techniques de l'épuration. Par exemple, l'alcalinité conditionne généralement les quantités de réactifs à utiliser pour les opérations de coagulation-floculation.

L'alcalinité représente le pouvoir tampon de l'effluent et est exprimée par le titre alcalimétrique complet (TAC). Elle est mesurée par acidification de l'échantillon testé avec contrôle du dosage par procédé colorimétrique (virage de l'hélianthine), ou potentiométrique lorsque la couleur ou la turbidité des eaux résiduaires rend difficile l'observation des variations de coloration. [24]

I.1.5.2.6. Turbidité

La turbidité d'eau résiduaire se définit comme l'expression de la propriété optique qui fait que la lumière est dispersée et absorbée plutôt que transmise en ligne droite à travers l'échantillon.

Cette dispersion est provoquée par l'interaction de la lumière avec les particules en suspension et traduit la réduction de transparence du milieu du fait de la présence de ces particules. Elle se mesure généralement dans des néphélogéométries par comparaison de la lumière diffusée et de la lumière transmise, d'une part, par l'échantillon testé et, d'autre part, par une gamme étalon constituée de solutions de formaline, sous une radiation incidente de longueur d'onde donnée. [25]

I.1.5.2.7. Les sels

Les sels dissous chargent une eau en cations et en anions dont la nature influe à des degrés différents sur l'environnement. [26-27] :

a) Les chlorures : en plus de l'agressivité et de la minéralisation qu'ils confèrent à ces eaux, des taux élevés modifient la saveur de l'eau et contribuent aux dépôts de sels néfastes pour l'agriculture.

b) Les sulfates (SO_4^-) : En plus des inconvénients qui caractérisent les chlorures les sulfates participent au métabolisme des bactéries contenues dans l'eau, les bactéries sulfato-réduction transforment les sulfates en sulfures avec dégagement de gaz sulfureux (œufs pourris) créant des désagréments à l'environnement. De plus dans les systèmes des épurations anaérobies ce type de bactéries constitue une gêne pour les autres populations bactériennes.

c) les nitrates (NO_3^-) : Les nitrates sont des éléments essentiels dans les procédés utilisés dans l'épuration des eaux. Une trop forte concentration en nitrates nécessitera des installations de dénitrification quand le milieu ne se prête pas aux trop fortes doses de nitrate, les nitrates proviennent des rejets domestiques, du lessivage de terres agricoles.

I.1.6. Métaux lourds

De nombreuses activités industrielles utilisent des métaux. Leur importance est à noter dans l'électronique, les traitements de surface, l'industrie chimique...etc. [28]

On appelle métaux lourds les éléments métalliques naturels dont la masse volumique dépasse 5 g/cm^3 . Ceux-ci sont présents le plus souvent dans l'environnement sous forme de traces : mercure, plomb, cadmium, cuivre, arsenic, nickel, zinc, cobalt, manganèse. Les plus toxiques d'entre eux sont le plomb, le cadmium et le mercure ; Ainsi, tous les métaux sont plus ou moins solides à la température ordinaire, il n'y a que le mercure qui fasse exception ; ce métal ne peut se solidifier qu'à une température de 40° au-dessous de 0. [29-30]

I.1.6.1. Sources des métaux lourds

Les sources de métaux pour les milieux aquatiques sont multiples. On différencie principalement les sources d'origine naturelle et anthropique. Les principaux phénomènes naturels conduisant à la dissémination des métaux dans les compartiments environnementaux y compris les milieux aquatiques sont l'activité volcanique et l'érosion des roches. [21-31]

En plus des sources naturelles, les milieux aquatiques sont enrichis en métaux par les activités humaines. Les métaux sont utilisés par l'homme comme matériaux mais également comme réactifs dans l'industrie (traitement de surface, intermédiaire réactionnel,...etc.) et l'agriculture (phytosanitaire).

I.1.6.2. Rejets des métaux lourds dans l'eau

Pendant de nombreuses années, les industries situées à proximité de cours d'eau (pour des raisons de refroidissement de processus, de transport) ont rejeté leurs effluents dans ceux-ci. À ce phénomène (de plus en plus limité par l'installation de station d'épuration au sein même des sites industriels), il faut ajouter l'érosion et le ruissellement de l'eau sur les sols et chaussées.

L'eau constitue un élément fondamental en matière de pollution, puisque dans le cas des métaux, comme pour d'autres composées, celle-ci va favoriser de nombreuses réactions chimiques. L'eau transporte les métaux lourds, et les inserts dans les chaînes alimentaires (algues, poisson, etc.). Même si les métaux lourds sont les plus souvent présents à l'état de traces, ils n'en restent pas moins très dangereux, puisque leur toxicité se développe par bioaccumulation dans l'organisme. [32-33]

I.1.6.3. Toxicité des métaux lourds

La toxicité des métaux lourds a conduit les pouvoirs publics à réglementer les émissions en fixant des teneurs limites. Cette réglementation n'est cependant d'aucun secours pour déterminer sans ambiguïté une liste de métaux à surveiller car la liste varie selon les milieux considérés : émissions atmosphériques, rejets dans l'eau, règles sur l'épandage des boues ou la mise en décharge,...etc. Le quart de la contamination par les métaux lourds est dû aux ordures ménagères (piles au cadmium, batteries au plomb, cuivre et zinc des pesticides, ...etc.). Le devenir des métaux lourds dépend de nombreux facteurs parmi lesquels on cite : La nature du sol et son acidité.

✓ Dans les sols acides et pauvres en humus, les métaux lourds ne s'accumulent pas. Ils sont transférés vers les nappes phréatiques ou absorbés par les plantes et présentent alors un risque pour la santé.

✓ Les sols basiques riches en humus piègent les métaux lourds, il n'y a donc pas de risque immédiat pour la santé. Mais le sol est contaminé durablement et la concentration en métaux lourds augmente avec les années. Ces derniers sont susceptibles d'être libérés quand l'environnement est modifié (acidification du sol sous l'effet des changements de température, d'humidité,... etc.). [34]

La toxicité des métaux lourds n'est plus à démontrer. La toxicité du mercure est par exemple connue depuis l'Antiquité. La plupart du temps, les effets toxiques des métaux lourds concernent le système nerveux, le sang ou la moelle osseuse. Ils sont généralement cancérigènes. [35]

I.1.6.4. Zinc

Le zinc est un métal, moyennement réactif, qui se combine avec l'oxygène et d'autres non-métaux, et qui réagit avec des acides dilués en dégageant de l'hydrogène. L'état d'oxydation le plus commun du zinc est +2. La principale utilisation du zinc est la galvanisation des aciers.

a). Propriétés chimiques

Les propriétés chimiques du Zinc sont données dans le tableau I.1 :

Tableau I.1. Propriétés chimiques du Zinc [36]

| Propriétés chimiques | |
|--------------------------------|---|
| Numéro atomique | 30 |
| Masse atomique | 65,37 g.mol ⁻¹ |
| Électronégativité de Pauling | 1.6 |
| Masse volumique | 7,11 g.cm ⁻³ à 20°C |
| Température de fusion | 420°C |
| Température d'ébullition | 907°C |
| Rayon atomique (Van Der Waals) | 0.138nm |
| Isotopes | 5 |
| Configuration électronique | $_{18}[\text{Ar}] 4\text{S}^2 3\text{d}^{10}$ |
| Energie de première ionisation | 904,5 kJ. Mol ⁻¹ |
| Energie de deuxième ionisation | 1723 kJ.Mol ⁻¹ |
| Potentiel standard | - 0,763 V |
| Découverte | Connu dès l'antiquité |

b). Effet sur la santé

Le zinc est une substance très commune qui est présente naturellement. Le niveau de zinc dans l'eau peut atteindre des niveaux qui peuvent causer des problèmes de santé à cause des rejets industriels et des lieux de déchets toxiques.

Le zinc est un élément qui est essentiel pour la santé de l'homme. Lorsqu'on absorbe trop peu de zinc on peut alors avoir une perte de l'appétit, une diminution des sensations de

goût et d'odeur, les blessures cicatrisent lentement et on peut avoir des plaies. Les carences en zinc peuvent aussi provoquer des problèmes lors des naissances.

Bien que l'homme puisse proportionnellement gérer des quantités importantes de zinc, trop de zinc peut tout de même provoquer des problèmes de santé importants, comme des crampes d'estomac ; des irritations de la peau, des vomissements, des nausées, de l'anémie. De très hauts niveaux de zinc peuvent endommager le pancréas et perturber le métabolisme des protéines et provoquer de l'artérioclose. Une exposition intensive au chlorure de zinc peut provoquer des désordres respiratoires. Sur le lieu de travail la contamination au zinc peut mener à un état comparable à la grippe, que l'on appelle la fièvre du fondeur. Cet état disparaît après deux jours.

Le zinc peut être un danger pour les enfants à naître et les nouveau-nés. Quand la mère a absorbé des concentrations importantes de zinc, les enfants peuvent y être exposés par le sang ou la consommation de lait. [37]

c). Impact sur l'environnement

Le zinc est présent naturellement dans l'air, l'eau et le sol mais les concentrations en zinc de façon non naturelle du fait du rejet de zinc par les activités humaines. La plupart du zinc est rejeté par les activités industrielles, telles que l'exploitation minière la combustion du charbon et des déchets et l'industrie de l'acier.

L'eau est polluée en zinc du fait de la présence de grandes quantités dans les eaux usées des usines industrielles. Ces eaux usées ne sont pas traitées de façon satisfaisante. L'une des conséquences est que les fleuves déposent des boues polluées en zinc sur leurs rives. Le zinc peut aussi augmenter l'acidité de l'eau.

Certains poissons peuvent accumuler le zinc dans leur organisme lorsqu'ils vivent dans des eaux contaminées en zinc. [38]

Le zinc n'est pas seulement une menace pour le bétail, mais aussi pour les plantes. Du fait de l'accumulation de zinc dans le sol, les plantes absorbent souvent des quantités de zinc que leur système ne peut pas gérer.

Sur un sol riche en zinc seul un nombre limité de plantes a des chances de survivre. C'est pourquoi il n'y a pas beaucoup de diversité des plantes près des usines manipulant du zinc. Du fait de ces effets sur les plantes le zinc est une sérieuse menace pour la production des terres agricoles. Malgré ça les engrais contenant du zinc sont toujours utilisés.

I.1.6.5. Cuivre

Élément chimique de numéro atomique $Z = 29$. C'est un métal rougeâtre, malléable et ductile, de conductivités thermique et électrique élevées. Il résiste à l'air et à l'eau mais se patine lentement en présence de carbonate. Il est présent dans la nature sous forme de minerais de cuivre natif, de minerais oxydés ou sulfurés.

Le cuivre peut se retrouver dans certaines eaux à des teneurs inférieures à 1 mg/L sous forme ionique ou de complexes (cyanures, ammoniacque, produits organiques, etc.). En dehors des pollutions industrielles ou de traitements agricoles, ce métal provient habituellement de la corrosion des tuyauteries de distribution. [39]

a). Propriétés chimiques

Les propriétés chimiques du cuivre sont données dans le tableau I.2. [40]

Tableau I.2. Propriétés chimiques du cuivre

| Propriétés chimiques | |
|--------------------------------|---|
| Numéro atomique | 29 |
| Masse atomique | 63.546 g.mol ⁻¹ |
| Électronégativité de Pauling | 1.9 |
| Masse volumique | 8,9 g.cm ⁻³ à 20°C |
| Température de fusion | 1083°C |
| Température d'ébullition | 2595°C |
| Rayon atomique (Van Der Waals) | 0.128nm |
| Isotopes | 2 |
| Configuration électronique | $_{18}[\text{Ar}]4\text{S}^13\text{d}^{10}$ |
| Energie de première ionisation | 743.5 kJ/mol |
| Energie de deuxième ionisation | 1946kJ/mol |
| Potentiel standard | +0.522V (Cu ¹⁰ 4s ¹ + / Cu) ; +0.345V (Cu/Cu) |
| Découverte | Connu depuis l'antiquité |

b). Effet sur la santé

Le cuivre est une substance très commune qui est naturellement présente dans l'environnement et se diffuse dans l'environnement par des phénomènes naturels. Les hommes utilisent énormément le cuivre, il est utilisé par exemple dans l'industrie et dans l'agriculture (utilisation de la bouillie bordelaise par exemple). La production de cuivre a augmenté lors des dernières décennies et, de ce fait, les quantités de cuivre dans l'environnement ont augmenté.

On peut trouver du cuivre dans beaucoup de type d'aliments, dans l'eau et dans l'air. À cause de cela on absorbe des quantités importantes de cuivre chaque jour en mangeant, buvant et respirant. L'absorption de cuivre est nécessaire, car le cuivre est un élément qui est essentiel pour la santé. Bien que l'homme puisse gérer des concentrations proportionnellement importantes de cuivre, des quantités excessives peuvent causer des problèmes de santé importants.

Dans l'environnement du lieu de travail, une contamination au cuivre peut provoquer un état proche de la grippe que l'on appelle la fièvre du fondeur. Cet état disparaît après deux jours [41]. Une exposition au cuivre à long terme peut provoquer une irritation au nez, à la bouche et aux yeux et, peut provoquer des maux de tête, des maux d'estomac, des vertiges, des vomissements et des diarrhées. Les prises intentionnelles de fortes doses de cuivre peuvent provoquer des dommages aux reins et au foie et même la mort. [42]

c). Impact sur l'environnement

La production mondiale de cuivre est toujours en augmentation. Ce qui basiquement signifie que de plus en plus de cuivre se retrouve dans l'environnement. Les fleuves déposent sur leurs rives des boues contaminées par du cuivre, du fait du rejet d'eaux usées. Le cuivre pénètre dans l'air principalement lors de la combustion de combustibles fossiles. Il reste dans l'air pendant une période assez longue avant de se déposer lorsqu'il pleut. Il se retrouve alors essentiellement dans le sol. Par conséquent, les sols peuvent contenir une grande quantité de cuivre après que le cuivre de l'air se soit déposé.

Le cuivre peut être relâché dans l'environnement par des sources naturelles et par les activités humaines. On peut citer quelques exemples de sources naturelles : poussières soufflées par le vent, pourrissement de la végétation, feu de forêt, et dispersion de gouttelettes d'eau de mer. Quelques exemples d'activité humaine contribuant à la dispersion du cuivre, l'exploitation minière, la production de métaux, la production de bois et la production de fertilisants aux phosphates. Comme le cuivre est dispersé à la fois par des procédés naturels et humains ; il est très énormément diffusé dans l'environnement. On le trouve souvent près des mines, des installations industrielles, des décharges et des broyeurs d'ordure. [43]

I.1.6.6. Cadmium

On peut trouver principalement le cadmium dans la croûte terrestre. Il est toujours présent en combinaison avec du zinc. Il est présent aussi dans l'industrie comme sous-produit inévitable de l'extraction du zinc, du plomb et du cuivre. On le trouve dans les pesticides et les engrais, il peut donc pénétrer dans l'environnement par le sol.

Le cadmium est un métal blanc argenté, mou et malléable. Il ternit au contact de l'air. Il a des propriétés physiques proches de celle du zinc. Lors de l'ébullition du cadmium, il se dégage des vapeurs jaunes toxiques. Il est ductile (résistance à l'étirement), malléable (résistance à l'aplatissement) et résiste à la corrosion atmosphérique ce qui en fait un revêtement de protection pour les métaux ferreux. [43]

a). Propriétés chimiques

Les propriétés chimiques du cadmium sont semblables à celles du zinc. L'ion cadmium est déplacé par le zinc métallique en solution : il est donc plus noble que le zinc. Il s'oxyde très peu à température ambiante et brûle dans l'air en donnant l'oxyde anhydre CdO, insoluble dans un excès d'hydroxyde de sodium. Il réagit avec les acides et les bases. Le cadmium est soluble dans l'acide nitrique dilué et dans les acides chlorhydrique et sulfurique concentrés et chauds. [44]

Les propriétés chimiques du cadmium sont enregistrées dans le tableau I.3.

Tableau I.3. Propriétés chimiques du Cadmium

| Propriétés chimiques | |
|--------------------------------|--|
| Numéro atomique | 48 |
| Masse atomique | 112,4 g.mol ⁻¹ |
| Électronégativité de Pauling | 1,7 |
| Masse volumique | 8,7 g.cm ⁻³ à 20°C |
| Température de fusion | 321°C |
| Température d'ébullition | 767°C °C |
| Rayon atomique (Van Der | 0.154nm |
| Isotopes | 8 |
| Configuration électronique | ₃₆ [Kr] 5 s ² 4d ¹⁰ |
| Énergie de première ionisation | 866 kJ.mol ⁻¹ |
| Énergie de deuxième ionisation | 1622 kJ.mol ⁻¹ |
| Potentiel standard | -0,402 V |
| Découverte | 1817 |

b). Effet sur la santé

Les effets du cadmium sur la santé varient selon le mode d'exposition, la quantité à laquelle on est exposé et la durée de l'exposition [43]. L'exposition occasionnelle à court terme avec la terre, la poussière et l'eau contenant des niveaux quelque peu élevés de

cadmium ne causera probablement pas de problèmes de santé. Toutefois, l'ingestion fréquente et à long terme de niveaux élevés pourrait présenter un risque pour la santé. Les niveaux élevés d'exposition ou l'exposition prolongée peut causer des maladies rénales et pulmonaires et fragiliser les os. Les effets sur la santé chez les enfants sont similaires. Le cadmium et les composés de cadmium sont connus pour être des agents cancérigènes pour les humains.

[46-47]

c). Impact sur l'environnement :

Le cadmium est un contaminant qui se retrouve dans les différents compartiments de l'environnement, mais en particulier dans le sol, du fait de l'érosion, des activités industrielles humaines (sous-produits de l'industrie des métaux non ferreux) et des pratiques agricoles (engrais phosphatés, épandage de boues d'épuration) ; ces dernières contribuent largement à l'enrichissement du sol en cadmium et donc à la contamination des terres agricoles. Il se retrouve dans les effluents de nombreux processus de combustion tels que l'incinération des déchets. Le cadmium pénètre facilement dans les végétaux par leurs racines et il entre ainsi dans la chaîne alimentaire.

Dans les eaux douces de surface ou souterraines, en dehors des zones polluées, la concentration de cadmium est généralement faible (inférieure à 1 microgramme par litre). La pollution des eaux destinées à la consommation humaine peut résulter de celles des sols et des eaux naturelles, mais aussi du relargage du métal par les canalisations galvanisées (recouvertes de zinc pour protéger de la corrosion ; or le zinc peut contenir des impuretés de cadmium) et les soudures. [48-49]

I.1.6.7. Plomb

Le plomb fait partie de la grande famille des métaux lourds. Il est présent dans la croûte terrestre et dans tous les compartiments de la biosphère.

Le plomb est un métal de couleur gris, bleuâtre. Il est solide dans les conditions habituelles de température et de pression. Il est malléable, déformable, souple, et résiste bien à la corrosion et aux UV. En revanche, il conduit mal l'électricité.

Le plomb existe à l'état naturel dans le substrat rocheux, le sol, les sédiments, les eaux de surface, les eaux souterraines et l'eau de mer [50]. Parmi les métaux lourds dont le numéro atomique est supérieur à 60, le plomb est le plus abondant dans la croûte terrestre [51]. En raison de sa présence naturelle dans l'environnement, il est également présent de façon naturelle dans les aliments, à de faibles concentrations, suite à son absorption dans le sol par

les plantes, dans l'eau et les sédiments par les poissons, et chez les plantes et les animaux qui consomment des plantes et d'autres animaux.

a). Propriétés chimiques

Le symbole du plomb est Pb. Il fait partie de la famille du carbone et du silicium. Son numéro atomique est 82 et sa masse atomique est de 207,19. Il est attaqué par l'acide nitrique. Il est peu réactif avec les différents éléments chimiques, mais peut tout de même se combiner avec différents atomes et donner divers composés : oxyde de plomb (PbO, PbO₂), carbonate de plomb, chromate de plomb [51].

Les propriétés chimiques du Plomb sont enregistrées dans le tableau I.4.

Tableau I.4. Propriétés chimiques du Plomb. [51]

| Propriétés chimiques | |
|--------------------------------|--|
| Numéro atomique | 82 |
| Masse atomique | 207.2 g.mol ⁻¹ |
| Électronégativité de Pauling | 1.8 |
| Masse volumique | 11.34 g.cm ⁻³ à 20°C |
| Température de fusion | 327°C |
| Température d'ébullition | 1755°C |
| Rayon atomique (Van Der) | 0.154nm |
| Isotopes | 4 |
| Configuration électronique | $_{54}[\text{Xe}]4f^{14} 5d^{10} 6s^2 6p^2$ |
| Énergie de première ionisation | 715,4 kJ.mol ⁻¹ |
| Énergie de deuxième ionisation | 1450 kJ.mol ⁻¹ |
| Potentiel standard | - 0,13 V (Pb ²⁺ / Pb) ; -1,5 V (Pb ⁴⁺ / Pb ²⁺) |
| Découverte | Le plomb est l'un des plus vieux éléments connus. |

b). Effet sur la santé

Le plomb est un métal mou qui a eu beaucoup d'application au fil des ans. Il a été largement utilisé depuis 500 av-JC dans les produits en métaux, les câbles, les tuyaux mais aussi dans les peintures et les pesticides. Le plomb est l'un des quatre métaux les plus nocifs pour la santé. Il peut pénétrer dans le corps humain lors de l'ingestion de nourriture (65%), d'eau (20%) ou par l'air (15%).

Les aliments tels que les fruits, les végétaux, les viandes, les graines, les produits de la mer, les boissons sans alcool et le vin peuvent contenir des quantités significatives de plomb. Pour ce que l'on en sait le plomb n'effectue aucune fonction essentielle dans le corps humain, il a seulement des effets nocifs comme les problèmes aux reins, les fausses couches et la perturbation du système nerveux ...etc. [52]

c). Impact sur l'environnement

Le plomb est présent naturellement dans l'environnement. Cependant, la plupart des concentrations en plomb que l'on trouve dans l'environnement sont le résultat des activités humaines. À cause de l'utilisation de plomb dans l'essence un cycle non naturel de plomb a été créé. Le plomb est brûlé dans les moteurs des voitures, ce qui crée des sels de plomb (chlorures, bromures, oxydes). Ces sels de plomb pénètrent dans l'environnement par l'intermédiaire des fumées d'échappement des voitures. Les particules les plus grandes retombent au sol immédiatement et polluent les sols ou les eaux de surface, les particules plus petites parcourent de longues distances dans l'air et restent dans l'atmosphère. Une partie de ce plomb retombe sur terre lorsqu'il pleut. Ce cycle du plomb provoqué par la production de l'homme est beaucoup plus étendu que le cycle naturel du plomb.

De ce fait la pollution au plomb est un problème mondial. Il n'y a pas seulement l'essence au plomb qui augmente les concentrations dans l'environnement, d'autres activités telles que la combustion de combustibles, des procédés industriels et la combustion des déchets solides, y contribuent aussi. [53]

I.1.6.8. Nickel

Le nickel est un métal tout à la fois très ancien et très jeune. Il est très ancien puisque dès la plus haute antiquité, l'homme a utilisé, pour fabriquer des armes du fer météorique.

Le nickel est également très jeune puisqu'il n'est entré dans l'industrie qu'au XIX^e siècle, bien après sa découverte par le chimiste Axel Cronstedt dans des minerais complexes de Suède vers 1750.

Le nickel pur est un métal gris-blanc, brillant, dur, à cassure fibreuse. Il est malléable (c'est-à-dire qu'il présente la propriété de pouvoir être facilement déformé par laminage), ductile (c'est-à-dire étirable en fils ou en barres, sans se rompre) et magnétique jusqu'à 353 °c environ. [54]

a). Propriétés chimiques

À température ordinaire, le nickel n'est pratiquement pas attaqué par l'oxygène ; à chaud, il se recouvre d'une pellicule de monoxyde de nickel, seul produit de la réaction entre 300 et 700°C. Le nickel en poudre obtenu par réduction de l'oxyde par l'hydrogène entre 250 et 350°C est pyrophorique ; le produit obtenu à 450°C s'oxyde à l'air à 150°C avec explosion.

Le nickel est un métal de transition dans le groupe VIII du tableau périodique qui suit le fer et le cobalt. Sa configuration électronique est : $4s^2 3d^8$. Bien que le nickel puisse exister dans plusieurs états d'oxydation -1, 0, +2, +3, +4, son état d'oxydation le plus fréquent est le

nickel (+2) dans les conditions environnementales normales. Le nickel a une masse molaire de 58.69g/mole et une masse volumique de 8.9g/cm³ avec un point de fusion de 1455 °C.

[55-56].

Les propriétés chimiques du Nickel sont enregistrées dans le tableau I.5.

Tableau I.5. Propriétés chimiques du Nickel [55]

| Propriétés chimiques | |
|---------------------------------------|------------------------------|
| Numéro atomique | 28 |
| Masse atomique | 58,59 g.mol ⁻¹ |
| Électronégativité de Pauling | 1.6 |
| Masse volumique | 7,11 g.cm à 20°C |
| Température de fusion | 420°C |
| Température d'ébullition | 907°C |
| Rayon atomique (Van Der Waals) | 0.138nm |
| Isotopes | 5 |
| Configuration électronique | $_{18}[\text{Ar}] 4s^2 3d^8$ |
| Énergie de première ionisation | 904,5 kJ.mol ⁻¹ |
| Énergie de deuxième ionisation | 1723 kJ.mol ⁻¹ |
| Potentiel standard | - 0,763 V |
| Découverte | Connu dès l'antiquité |

b). Effet sur la santé

Le nickel est un composé qui est présent dans l'environnement qu'à des concentrations très faibles. L'homme utilise le nickel pour différentes applications, la plus commune est l'utilisation du nickel comme composants de l'acier ou d'autres produits métalliques.

Notre consommation de nickel augmente lorsqu'on mange de grandes quantités de légumes provenant de sols contaminés. En effet on sait que les plantes assimilent le nickel. Les fumeurs ont des poumons qui voient passer plus de nickel que les non-fumeurs. Enfin, on peut trouver le nickel dans les détergents. L'homme peut être exposé au nickel en respirant, en buvant de l'eau, en consommant des aliments ou en fumant des cigarettes.

L'absorption de quantités trop importante de nickel peut avoir les conséquences suivantes :

- Plus de risque de développer un cancer des poumons, du larynx et de la prostate ;
- Nausées, vomissements et vertige après une exposition au gaz ;
- Embolies pulmonaires ;
- Échec respiratoire ;
- Échec de naissance ;
- Asthme et bronchite chronique ;
- Problèmes cardiaques. [57]

c). Impact sur l'environnement

Le nickel est relâché dans l'air par les centrales et les incinérateurs de déchets. Ensuite, il se dépose sur les sols ou retombe après réaction avec l'eau de pluie. Il faut en général un certain temps pour éliminer le nickel de l'air. Le nickel peut aussi finir dans les eaux de surfaces quand il est présent dans les eaux usées.

La part la plus importante du nickel relâché dans l'environnement est adsorbée par les sédiments et les particules du sol et devient par conséquent immobile. Cependant, dans les sols acides, le nickel devient plus mobile et il peut rejoindre les eaux souterraines. Il n'y a pas beaucoup d'informations disponibles sur les effets du nickel sur les organismes autres qu'humains. On sait que de hautes concentrations en nickel dans des sols sablonneux peuvent endommager les plantes et, de hautes concentrations en nickel dans les eaux de surface peuvent diminuer le taux de croissance des algues. Les micro-organismes peuvent aussi souffrir d'une diminution de croissance due à la présence de nickel mais, en général, après un certain temps, il développe une résistance au nickel.

Pour les animaux, le nickel est un aliment essentiel en petite quantité, mais il peut être dangereux lorsqu'on dépasse les quantités maximales tolérées. Il peut provoquer alors différents types de cancer à différents endroits du corps, et ce principalement chez les animaux vivant près des raffineries.

I.1.6.9. Fer

C'est l'un des minéraux les plus abondants sur terre, dans la nature le fer se trouve le plus souvent sous forme d'oxydes ou en combinaison avec d'autres éléments.

Le fer est l'élément qui a aidé l'humanité à se hisser hors de l'âge de pierre et le conduit à la révolution industrielle. Il est capable de former des alliances avec nombre de ses voisins comme le cobalt, le nickel, le vanadium ou le manganèse. Il forme l'acier qui est la fondation de la société moderne. [58]

a). Propriétés chimiques

On peut trouver du fer dans la viande, les produits complets (pain...), les pommes de terre et les légumes. Le corps humain absorbe le fer des produits animaux plus vite que le fer provenant des plantes. Le fer est une part importante de l'hémoglobine : c'est l'agent colorant rouge du sang qui transporte l'oxygène dans notre corps. Il peut causer des conjonctivites, des problèmes de rétines s'il est en contact et reste dans les tissus. L'inhalation chronique de concentrations excessives de vapeurs d'oxyde de fer peut avoir comme conséquence le développement d'une pneumoconiose bénigne, appelé la sidérose, qui est observable lorsqu'il

y a changement de rayon X. Les fonctions des poumons ne sont pas affaiblies avec la sidérose. L'inhalation de concentrations excessives d'oxyde de fer peut augmenter le risque de développement de cancer du poumon, particulièrement pour les ouvriers exposés. [59]

Les propriétés chimiques du Fer sont enregistrées dans le tableau I.6.

Tableau I.6. Propriétés chimiques du Fer [59]

| Propriétés chimiques | |
|---------------------------------------|--|
| Numéro atomique | 26 |
| Masse atomique | 55,85 g.mol ⁻¹ |
| Électronégativité de Pauling | 1.8 |
| Masse volumique | 7,8 g.cm ⁻³ à 20°C |
| Température de fusion | 1536°C |
| Température d'ébullition | 2750°C |
| Rayon atomique (Van Der Waals) | 0.126nm |
| Isotopes | 31 |
| Configuration électronique | $_{18}[\text{Ar}] 3d^6 4s^2$ |
| Énergie de première ionisation | 761 kJ.mol ⁻¹ |
| Énergie de deuxième ionisation | 1556,5 kJ.mol ⁻¹ |
| Potentiel standard | - 0,44 V (Fe ²⁺ / Fe) ; 0,77 V (Fe ³⁺ / Fe ²⁺) |
| Découverte | Connu dès l'antiquité |

c). Impact sur l'environnement

Le Fer (III)-O-arsénite, pentahydrate peut être dangereux pour l'environnement. Une attention particulière devrait être portée aux plantes, à l'air et à l'eau. Il est fortement conseillé de ne pas laisser entrer le produit chimique dans l'environnement parce qu'il persiste dans l'environnement. [60]

I.2. ADSORPTION

Une des techniques très fréquemment adoptées pour le traitement de l'eau et des effluents industriels est l'adsorption. Son principe repose sur la propriété qu'ont les solides à fixés sur leurs surfaces certains polluants tels que les métaux lourds.

I.2.1. Définition de l'adsorption

Qualitativement, l'adsorption est définie comme le passage d'espèces chimiques d'une phase liquide ou gazeuse vers une surface solide. Il s'agit donc du passage de l'état de dissous à celui d'adsorbé. [61]

Quantitativement, l'adsorption est caractérisée par une concentration de surface. Cette technique permet de mesurer une disparition des molécules de la phase liquide, mais elle ne permet pas d'identifier les phénomènes mis en jeu. L'adsorption est certainement impliquée,

mais on ne peut pas écarter les autres phénomènes de rétention. L'adsorption est un procédé de traitement, bien adapté pour éliminer une très grande diversité de composés toxiques dans notre environnement. [62]

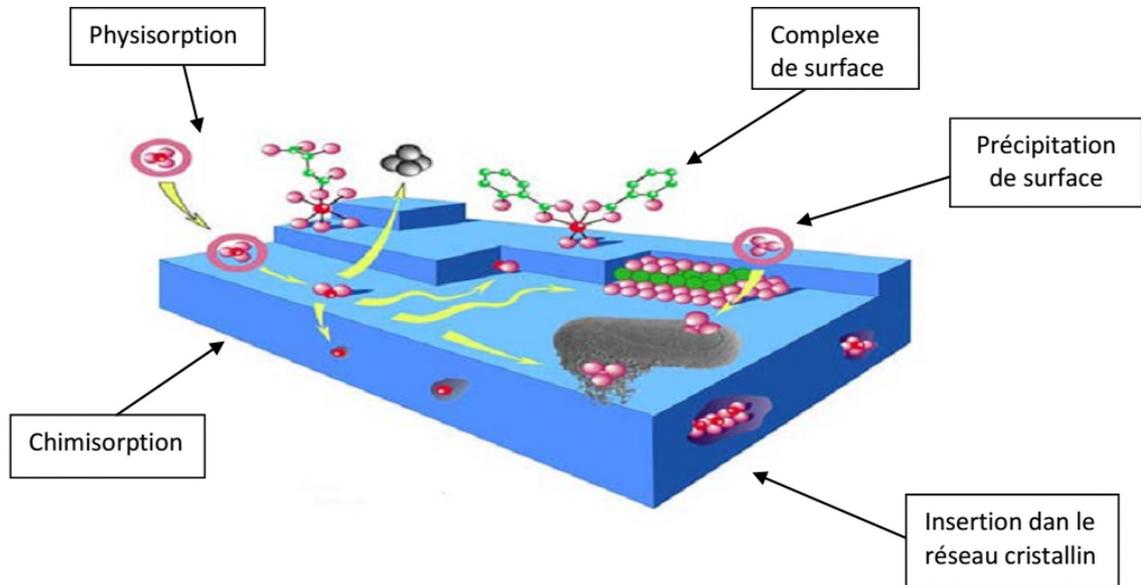


Figure I.2. Différents modes de rétention d'un élément métallique au sein d'un Solide. [63]

I.2.2. Caractéristiques de l'adsorption

I.2.2.1. Adsorption physique (ou physisorption)

L'adsorption est dite adsorption physique lorsqu'elle est due à des forces d'interaction physiques entre les atomes, ou groupements d'atomes du solide et les molécules de fluide. Ces interactions sont aussi appelées forces de Van Der Waals. Elles sont dues au mouvement des électrons à l'intérieur des molécules qui peuvent engendrer de petits moments dipolaires instantanés. Des interactions électrostatiques peuvent aussi se combiner aux forces de Van Der Waals.

La physisorption présente un intérêt particulier car elle permet de mesurer la surface spécifique du solide adsorbant et la taille moyenne des pores grâce à des critères.

- La chaleur d'adsorption dégagée est de l'ordre de 20 kJ / mole.
- La vitesse du processus d'adsorption est très rapide.
- La quantité adsorbée décroît avec l'élévation de la température.
- L'adsorption Physique est complètement réversible.
- L'adsorption se fait en plusieurs couches possibles. [64-65]

I.2.2.2. Adsorption chimique (ou chimisorption)

Dans le cas de l'adsorption chimique, il y a création de liaisons entre les atomes de la surface et les molécules de l'adsorbat. Les énergies d'adsorption peuvent être de l'ordre de 200 kJ/mole. Ce type d'adsorption intervient dans le mécanisme des réactions catalytiques hétérogènes.

La chimisorption est complète quand tous les centres actifs présents à la surface ont établi une liaison avec les molécules de l'adsorbat.

Il en résulte que dans la chimisorption l'adhésion des molécules est beaucoup plus forte que dans l'adsorption physique. Elle met en jeu des énergies en général supérieures à 10Kcal/mole. Elle est favorisée en général par un accroissement de la température.

Les caractéristiques qui permettent de distinguer l'adsorption physique de la chimisorption sont récapitulées dans le tableau I.7.

Tableau I.7. Caractéristiques des deux types d'adsorptions. [66]

| Propriétés | Adsorption physique | Adsorption chimique |
|--------------------------|---|---|
| Chaleur d'adsorption | Chaleur d'adsorption basse ($\leq 6\text{Kcal/mole}$) | Chaleur d'adsorption élevée ($>10\text{kcal/mole}$) |
| Spécificité | Non spécifique | Très spécifique |
| Type de liaison | Physique | Chimique |
| Désorption | Facile | Difficile |
| Température du processus | Favorisée par un abaissement de la température | Favorisées par accroissement de la température |
| Couche formées | Mono ou multicouches | Uniquement monocouches |
| Cinétique | Rapide, réversible | Lente, irréversible |

I.2.3. Mécanisme d'adsorption

Le mécanisme d'adsorption présente un intérêt pratique considérable pour la mise en œuvre optimale d'un adsorbant dans un procédé d'adsorption. Elle permet de mettre en évidence la spécificité des interactions physicochimiques entre le soluté et l'adsorbant, d'obtenir la vitesse initiale d'adsorption, le calcul du coefficient de transfert de matière et le coefficient de diffusion.

La figure I.3 représente un matériau (adsorbant) avec les différents domaines dans lesquels peuvent se trouver les molécules organiques ou inorganiques qui sont susceptibles de rentrer en interaction avec le solide. [67]

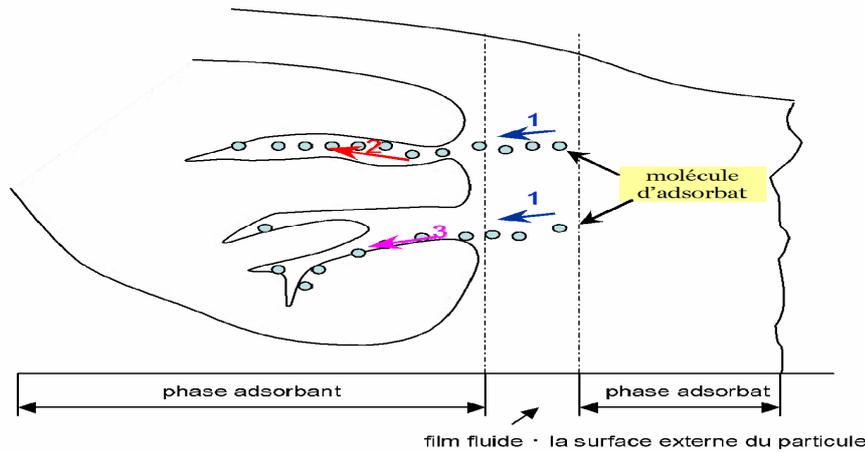


Figure I.3. Schéma du mécanisme de transport d'un adsorbât au sein d'un grain [67]

Avant son adsorption, le soluté va passer par plusieurs étapes :

- 1) Diffusion de l'adsorbât de la phase liquide externe vers celle située au voisinage de la surface de l'adsorbant.
- 2) Diffusion extra granulaire de la matière (transfert du soluté à travers le film liquide vers la surface des grains).qui s'accompagne directement par un transfert intragranulaire de la matière (transfert de la matière dans la structure poreuse de la surface extérieure des graines vers les sites actifs).
- 3) Réaction d'adsorption au contact des sites actifs, une fois adsorbée, la molécule est considérée comme immobile.

I.2.4. Facteurs influents l'adsorption

Un grand nombre de facteurs sont susceptibles d'avoir une influence sur le processus de l'adsorption du soluté en phase liquide. Parmi eux, on distingue les facteurs liés aux :

❖ L'adsorbant

Son influence peut être liée aux dimensions des pores, et à la surface spécifique.

❖ L'adsorbât

L'adsorption est aussi influencée par la structure chimique des dissous, ainsi :

Les composés aromatiques s'adsorbent mieux par rapport aux composés aliphatiques possédant le même nombre de carbone.

L'introduction, dans les composés du groupe hydroxyle, abaisse en principe la grandeur de l'adsorption. [68]

I.2.5. Applications de l'adsorption

Les applications de l'adsorption sont multiples. On peut noter que l'adsorption permet de purifier les gaz jusqu'à des niveaux inférieurs à la partie par million (ppm).

L'adsorption et les conditions de sa mise en œuvre dépendent des gaz et des impuretés à traiter. Par exemple, on élimine les vapeurs organiques présentes dans l'air par adsorption sur du charbon actif ou sur des zéolithes.

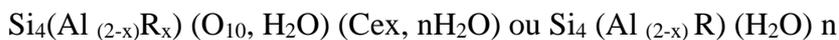
Les adsorbants solides sont aussi largement utilisés dans l'industrie électronique ou la catalyse qui permet d'améliorer le rendement ou la productivité des procédés chimiques ou pétrochimiques et certaines préparations pharmaceutiques.

En ce qui concerne la purification des liquides par adsorption on trouve les applications suivantes :

- le traitement des eaux potables sur lit du charbon actif granulaire pour enlever les goûts et les odeurs résiduels.
- la décoloration des liquides de sucrerie pour obtenir un sucre blanc.
- l'élimination de polluants dans les eaux industrielles ou alimentaires. [69]

I.2.6. Bentonite

Les bentonites sont des silicates d'alumine hydratés appartenant au groupe des Montmorillonites de formule brute :



Avec :- R = Mg, Fe, Mn, Zn, Ni x

- Ce (cations échangeables) = Ca, Na, Mg.

La bentonite est une argile douée de propriétés de surface (caractère, affinité pour l'eau, capacité d'adsorption de composés électropositifs,...).

Les caractéristiques physico-chimiques, les propriétés clarifiants de bentonites d'origines diverses firent l'objet de nombreuses études.

En Algérie, les gisements de bentonite les plus importants économiquement se trouvent dans l'oranie (ouest algérien). On relève en particulier la carrière de Maghnia (Hammam Bouhrara) dont les réserves sont estimées à un million de tonnes et de celle de Mostaganem (M'zila) avec des réserves de deux millions de tonnes. [70]

I.2.6.1. Origine de la bentonite

Les bentonites sont des argiles d'origine volcanique, constituées principalement de montmorillonite ; l'altération et la transformation hydrothermale de cendres des tufs volcaniques riches en verre entraînent la néoformation des minéraux argileux, qui font partie

principalement du groupe des smectites. Les roches argileuses ainsi formées portent le nom de bentonite, d'après le gisement situé près de Fort Benton (Wyoming, États-Unis). Elle contient plus de 75 % de montmorillonite ; cette dernière fut découverte pour la première fois en 1847 près de Montmorillon, dans le département de la Vienne (France). La bentonite est une dénomination de la montmorillonite. Les bentonites découvertes dès 1888 contiennent au moins 75% de montmorillonite. [71]

I.2.6.2. Structure et composition

Sous sa forme brute naturelle, la bentonite est une roche tendre ayant à peu près la consistance du kaolin, c'est à dire friable, onctueuse au toucher, sa teinte est blanche, grise ou légèrement teinte de jaune. Elle provient de la dévitrification des couches volcaniques sous l'influence des eaux à réaction alcaline ou acide. En plus de la montmorillonite, cette terre peut contenir d'autres minéraux argileux (kaolinite, illite,...)

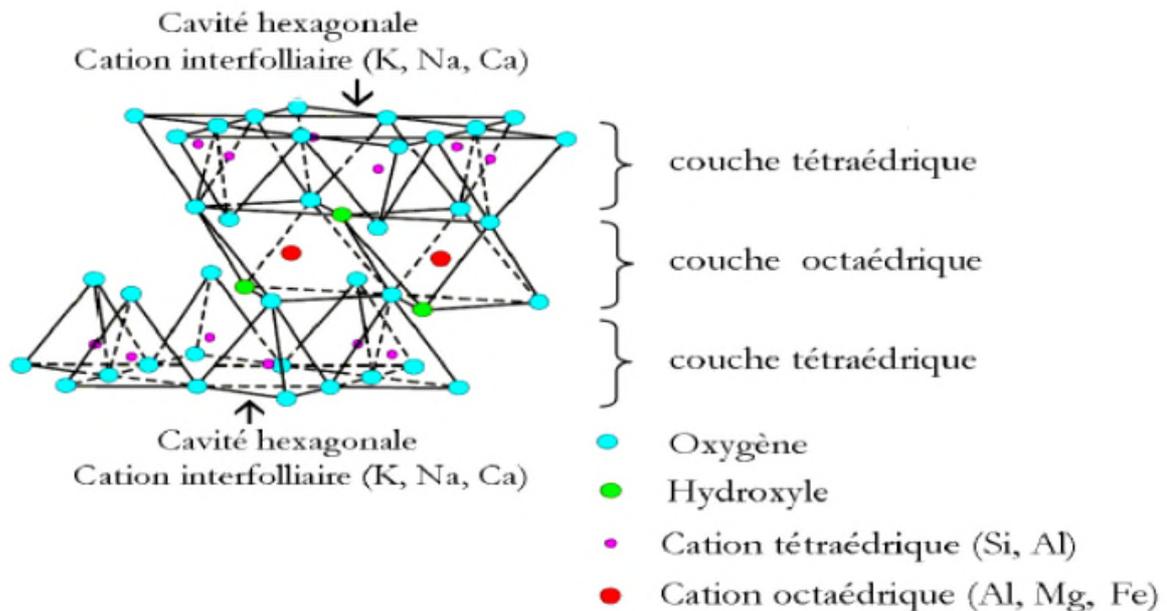


Figure I.4. Représentation schématique d'un feuillet de Smectite. [72]

I.2.6.3. Types de bentonites

On distingue trois types de bentonites par rapport à leur pouvoir de rétention de molécules organiques, qui sont :

- Bentonite sodique naturelle.
- Bentonite calcique naturelle.
- Bentonite activée. [71]

1. Bentonites naturelles

En fonction de la nature du cation échangeable présent, il existe à l'état naturel deux types de bentonites :

- Les bentonites sodiques, où le sodium est le cation échangeable majoritaire, elles ont un fort pouvoir de gonflement et d'adsorption.
- Les bentonites calciques, où le calcium est le cation échangeable majoritaire, elles ont un pouvoir de gonflement et d'adsorption plus faible que les bentonites sodiques.

Ces deux types de bentonites, éventuellement après un séchage à 80-90 °C, sont simplement broyés avant leur commercialisation. [70]

2. Bentonites activées

Afin d'améliorer les propriétés d'adsorption des bentonites calciques, ces dernières sont le plus souvent activées par du carbonate de sodium puis séchées et broyées ; on obtient ainsi des bentonites calciques activées dont les propriétés sont égales ou supérieures à celles des bentonites sodiques. Les propriétés de ces bentonites ainsi activées ou permutées sont moins stables dans le temps (3 à 18 mois) et dépendent de l'activation et des taux de magnésium, calcium et sodium. Ces différents types de bentonites se présentent sous forme de poudre ou de granulés sphériques ou cylindriques. Elles ont des couleurs très variables allant du blanc pour les produits les plus purs au gris, beige ou vert pour les autres. [70]

I.2.6.4. Propriétés de la bentonite

La bentonite se disperse facilement dans l'eau. On obtient une suspension dont les propriétés sont en fonction des caractéristiques suivantes :

• Hydratation interne ou gonflement

Le caractère dipolaire des molécules d'eau a donné naissance à une ancienne théorie qui consistait à dire que la surface des argiles étant chargée négativement, les molécules d'eau s'orientaient de façon que leur extrémité positive soit dirigée vers l'argile et leur extrémité négative vers l'extérieur. Cette première couche d'eau forme alors une nouvelle surface négative ou d'autres molécules peuvent se fixer et ainsi de suite. [73]

• Cations échangeables et adsorption

Les argiles ont la propriété d'adsorber certains anions et cations et de les retenir dans un état où ils sont échangeables avec d'autres ions en solution. Dans les argiles, les cations échangeables les plus communs sont par ordre décroissant : Ca^{2+} , Mg^{2+} , H^+ , K^+ .

Comme il a été dit précédemment dans le cas de la montmorillonite, le motif cristallin

présente une charge négative au sein du feuillet par suite de la substitution d'ions Al par des ions Mg^{2+} , en couche octaédrique, et des ions Si^{4+} par des ions Al^{3+} en couche tétraédrique.

Cette charge négative est évidemment compensée par un nombre équivalent de cations.

Pour des raisons de neutralisation électrique, ces cations se logent dans les espaces interfoliaires ainsi qu'à la surface des feuillets. Le cation majoritairement représenté conditionne largement les propriétés physico-chimiques des bentonites.

I.2.6.5. Utilisation de la bentonite

Les bentonites se caractérisent par une capacité élevée d'adsorption, d'échange ionique et de gonflement, ainsi que par des propriétés rhéologiques particulières (thixotropie). Elles sont de ce fait de larges applications, toujours plus nombreuses et dans différents domaines (forage, fonderie, céramique, peinture, pharmacie, terres décolorantes, ..., etc.).

La majeure partie de la bentonite exploitée dans le monde est utilisée comme liant du sable de moulage, dans l'industrie de la fonderie et aussi pour épaissir les fluides de forage.

Pour de nombreuses applications techniques, les bentonites brutes doivent être soumises à une préparation adaptée aux exigences de leur utilisation (activation). Ainsi, lors de l'activation alcaline, les bentonites calciques (les plus fréquentes) sont transformées par traitement avec de la soude en bentonites de sodium, qui se caractérisent notamment par une capacité de gonflement plus élevée. L'activation avec des acides comme l'acide chlorhydrique augmente la porosité par dissolution périphérique des smectites. Il en résulte un produit de haute capacité d'adsorption.

Elles sont utilisées pour des opérations de clarification ou de stabilisation protéique des moûts et des vins. Les bentonites fixent certaines protéines instables et permettent ainsi leur élimination. Les bentonites sont capables de fixer de la matière colorante.

I.2.6.6. Modélisation des isothermes d'adsorption

Dans un système solide-liquide, l'adsorption est le résultat d'un transfert des molécules de solutés présentes dans la solution, suivi de leur accumulation à la surface du solide, en considérant que la concentration du soluté dans la solution est en équilibre dynamique avec celle accumulée dans le solide. L'étude expérimentale des variations de concentration permet de déterminer des isothermes d'adsorption. On utilise le fait que, à l'équilibre proprement dit, il y a une distribution définie du soluté entre les phases liquide et solide, qui peut être modélisée. Il existe un nombre important de modèles mathématiques disponibles (simples ou complexes) dans la littérature : les modèles les plus utilisés dans la littérature sont les isothermes de Freundlich et de Langmuir. [74]

I.2.6.6.1. Isotherme de Langmuir

Le modèle de Langmuir (1918) initialement développé pour l'adsorption en phase gazeuse, s'adapte très bien à la représentation d'isothermes de type I en phase aqueuse. Ce modèle est basé sur plusieurs hypothèses : [74]

- Les sites d'adsorption à la surface du solide sont tous énergiquement équivalents ;
- Chacun des sites ne peut fixer qu'une seule molécule ;
- L'adsorption se fait en monocouche ;
- Le nombre de sites d'adsorption sur la surface est limité ;
- Il n'y a pas d'interaction entre les molécules adsorbées.

Dans ces conditions, les isothermes peuvent être modélisées par l'équation I.1

$$q_e = q_m \times \left[\frac{K \times C_e}{1 + K \times C_e} \right] \dots \dots \dots \text{Eq.I.1}$$

Avec

- q_e : quantité adsorbée à l'équilibre (mg.g^{-1}) ;
- q_m : quantité maximale adsorbable (mg.g^{-1}) ;
- K : constante de Langmuir (L.mg^{-1}) ;
- C_e : concentration en phase liquide à l'équilibre (mg.L^{-1}).

q_m est la quantité maximale d'adsorbat qui peut être fixée, cela correspond à une occupation totale des sites d'adsorption. La constante de Langmuir K , qui dépend de la température, donne une indication sur l'affinité de l'adsorbat pour l'adsorbant : plus elle est élevée, plus l'affinité est forte.

Dans le cas d'une faible quantité de soluté adsorbé, le terme ($K \times C_e$) peut être très inférieur à 1 et il est alors négligé. La relation de Langmuir se réduit alors à une relation directe entre la capacité d'adsorption et la concentration à l'équilibre de l'adsorbat en phase liquide :

$$q_e = q_m \times K \times C_e \dots \dots \dots \text{Eq.I.2}$$

Dans le cas d'une forte quantité de soluté adsorbée, le terme ($K \times C_e$) devient largement supérieur à 1. Cela n'implique que q_e tend vers q_m .

La linéarisation de l'équation I.2 conduit à l'équation suivante :

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m \times K} \left(\frac{1}{C_e} \right) + \frac{1}{q_m} \dots \dots \dots \text{E.q.I.3}$$

L'équation obtenue est celle d'une droite de pente $1/q_m \times K$ et d'ordonnée à l'origine $1/q_m$, ce qui permet de déterminer deux paramètres d'équilibre de la relation : q_m et K .

I.2.6.6.2. Isotherme de Dubinin-Radushkevich

Le modèle de Dubinin-Radushkevich n'adopte pas l'hypothèse d'une surface homogène ou d'un potentiel d'adsorption constant, comme le modèle de Langmuir [73]. Sa théorie de remplissage du volume des micropores repose sur le fait que le potentiel d'adsorption est variable et que l'enthalpie libre d'adsorption est reliée au degré de remplissage des pores. L'isotherme de Dubinin-Radushkevich est donnée par l'équation :

$$\frac{q_e}{q_{mDR}} = \exp(-\beta \cdot \epsilon^2) \dots \dots \dots \text{Eq.I.4}$$

avec : β constante relié à l'énergie d'adsorption $\left(E = \frac{1}{\beta^{0.5}} \right)$, ϵ : potentiel de Polanyi.

L'équation de Dubinin-Radushkevich peut s'écrire sous la forme :

$$\ln q_e = \ln q_{mDR} - \left(\frac{R \cdot T}{E} \right)^2 \cdot \left(\ln \left(\frac{C_s}{C_e} \right) \right)^2 \dots \dots \dots \text{Eq.I.5}$$

Le tracé de $\ln q_e$ en fonction de $\ln (C_s/C_e)$ permet d'atteindre q_{mDR} et E .

I.2.6.7. Cinétiques d'adsorption

Pour étudier la cinétique d'adsorption, on détermine la capacité de fixation (q_t) en fonction du temps.

$$q_t = \frac{(C_i - C_t)}{m} \times V \dots \dots \dots \text{Eq.I.6}$$

q_t : quantité adsorbée par gramme de la bentonite (mg/g) ;

C_i : concentration initiale de la solution (mg/L) ;

C_t : concentration résiduelle à l'équilibre (mg/L) ;

V : volume de la solution (L).

L'équilibre d'adsorption est pratiquement atteint après un certain temps de contact adsorbant-adsorbat. La constante de vitesse est déduite à partir du modèle établi par Lagergen.[74]

Ce modèle mathématique a été choisi d'une part pour simplicité et d'autre part par son application dans le domaine d'adsorption des composés organiques sur différents adsorbants.

- Pour le premier ordre, la constante de vitesse d'adsorption (K_V) est donnée par la relation suivante :

$$q_t = k_1 \times q_e \left(1 - \exp(-K_V t) \right) \dots \dots \dots \text{Eq.I.7}$$

- Pour le second ordre, la constante de vitesse d'adsorption (k) est donnée par la relation suivante :

$$\frac{1}{(q_e - q_t)} = \frac{1}{q_e} + kt \dots\dots\dots \text{Eq.I.8}$$

Avec

q_e : quantité d'adsorbat par gramme d'adsorbant à l'équilibre (mg/g).

q_t : quantité d'adsorbat par gramme d'adsorbant à un temps t (mg /g).

K_v : constante de vitesse d'adsorption pour le premier ordre (min^{-1}).

K : constante de vitesse d'adsorption pour le pseudo second ordre (g.min/mg).

k : constante de vitesse d'adsorption pour le second ordre ($\text{min}^{-1} \cdot \text{g} / \text{mg}$).

t : temps de contact (min).

La diffusion intra-particulaire est explorée à l'aide du modèle de Weber et Morris qui s'exprime comme suit :

$$q_t = k_d t^{1/2} + C' \dots\dots\dots \text{Eq.I.9}$$

Où :

K_d est la constante de vitesse ($\text{mg} / \text{g} \cdot \text{min}^{-1/2}$) et C une constante liée à l'épaisseur de la couche limite (mg/g).

CHAPITRE II.

PROTOCOLES EXPERIMENTAUX ET TECHNIQUES D'ANALYSES

Le but de ce chapitre est de présenter les techniques analytiques ainsi que les protocoles expérimentaux utilisés.

En premier lieu, nous donnerons une présentation générale de l'Oued Soummam ainsi que les diverses sources de pollution de la région.

Nous présenterons en deuxième lieu, les différentes techniques et méthodes d'analyses de caractérisation des eaux de l'Oued Soummam.

En troisième lieu, nous donnerons un aperçu sur la localisation des stations de prélèvement et les détails des protocoles expérimentaux auxquelles on s'est référencié pour doser les paramètres physico-chimiques.

II.1. PRESENTATION GENERALE

La Soummam est un fleuve du nord de l'Algérie, situé à la charnière de la petite et de la grande Kabylie, l'oued Soummam est formé de la confluence de l'oued Sahel qui descend des montagnes du Djurdjura et du plateau de Bouira, et de l'oued Bou Sellam qui descend du plateau Sétifien. Il se jette dans la mer Méditerranée à Bejaïa après un cours de 80 km environ orienté Sud Ouest - Nord Est.

La vallée de la Soummam s'étend sur une longueur de 150 kilomètres et une largeur d'une quinzaine de kilomètres selon les endroits, avec un espace de 2000 km².

La Soummam constitue un réseau hydrographique dense et bien fourni, particulièrement dans sa partie située dans l'Atlas tellien : Djurdjura, Babors et Bibans. Son bassin versant couvre une superficie de 9200 km² étalée sur quatre wilayas : Bouira, Bordj Bou Arréridj, Sétif et Bejaïa. Avec le Cheliff, laTafna et le Rhummel.

L'Oued Soummam draine un bassin versant d'une superficie de 9 200 km² réparti comme suit :

- Bassin de l'Oued Sahel de Sour El-Ghozlane (wilaya de Bouira) à Akbou : 3 750 km² ;
- Bassin de l'Oued Bou Sellam de Aïn-Oulmane (wilaya de Sétif) à Akbou : 4 500 km² ;
- Bassin de la Soummam, au sens strict, d'Akbou jusqu'à la mer : 950 km². [75-76]

II.1.1. Cours de l'oued Soummam

II.1.1.1. Situation géographique

La vallée de la Soummam se situe à environ 230 km à l'Est d'Alger et administrativement appartient à la Wilaya de Bejaïa, née du découpage de 1974.

L'oued Soummam forme l'un des cours d'eau les plus importants du pays (Troisième fleuve d'Algérie) et draine un bassin versant vert de 8800 km² [77]. Ce dernier couvre une région essentiellement montagneuse. Il est formé de la confluence de l'oued Sahel qui descend des montagnes du Djurdjura et du plateau de Bouira, et de l'oued Boussellam qui descend du plateau Sétifien. Il se jette dans la mer Méditerranée à Bejaia après un cours de 80km environ orienté Sud-Ouest - Nord Est. [78]

Le bassin versant de la Soummam se compose des plateaux de Bouira et de Sétif ainsi que de la vallée de la Soummam .Au nord, il est limité par le massif montagneux du Djurdjura, la mer Méditerranée et les chaînes côtières de la basse Kabylie .Au sud, il est limité par les contreforts des monts du Hodna. [79]

II.1.1.2. Description du lit

D'aval vers l'amont le lit de l'oued Soummam présente :

- Sur 11 km environ le long de la vallée, une zone de méandres et un lit bien dessiné entre Bejaia où l'oued se jette dans la mer après un large coude incliné sur le rivage et oued Ghir.
- Sur 13 km entre Oued Ghir et l'oued Amassine à 2 km à l'amont d'El-kseur, le lit continue à présenter une série de méandres mais les berges sont moins hautes et le lit moins bien dessiné que dans la partie avale. La vallée est plus large (deux à trois km) et abrite la majeure partie des cultures du fond de la vallée, comprenant vignes, vergers, agrumes, maraîchages, céréales...etc. Le champ d'inondation est large (1 à 1,5 km) jusqu'à l'oued Amassine (qui se jette dans la Soummam (à 2 km en amont d'El-kseur).
- Sur 9 km, entre l'oued Amassine et l'oued Remila, on rencontre ensuite un lit moins marqué, présentant de nombreuses ramifications.
- Sur 10 km entre l'oued Roumila et l'oued Imoula (à 3 km à l'amont de Sidi Aich), l'oued passe ensuite dans un resserrement de la vallée marquée pratiquement plus de terres cultivables le champ d'inondation est faible.
- Sur 23 km entre l'oued Imoula et l'oued Bou Sellam au droit d'Akbou, le lit n'est plus dessiné, le cours d'eau se répand en formant de nombreuses ramifications sur un lit majeur large (1 à 1,5 km) et plat, qui occupe presque tout le fond de la vallée. [80]

II.1.2. Milieu physique

II.1.2.1. Climatologie

Le climat du bassin versant de la Soummam, montre une série de transition entre un climat humide, dans les montagnes proches de la méditerranée et un climat semi-aride des hautes plaines (haute Soummam). En général, les averses sont fréquentes en hiver et une sécheresse prolongée règne en été. Dans la basse Soummam, le climat est de type méditerranéen, appartenant aux différents étages suivants :

- Humide sur le bassin-versant nord ;
- Subhumide le long de la Soummam entre Sidi-Aich et Bejaia, cette zone reçoit une bonne pluviométrie de 600 à 900 mm avec des températures qui oscillent entre 24 et 28°C ; [81-82]
- Semi-aride, le long de la vallée de la Soummam entre Tazmalt et Sidi-Aich qui est caractérisée par une faible pluviométrie de 400 à 600 mm et des températures plus élevées en été. Les vents dominants sont des vents du nord-ouest (marins) qui s'engouffrent facilement dans la vallée. [83]

II.1.2.2. Démographie

Il y a lieu de signaler que plus de la moitié de la population de la wilaya de Bejaia se trouve concentrée le long de la vallée de la Soummam, ainsi que les unités industrielles. La population de la vallée de la Soummam est dense (150 à 300 habitants au km et la majorité est regroupée dans les villages de la montagne). Le nombre des habitants des communes qui sont en relation avec l'oued Soummam est de 490 423 habitants. [83-85]

II.1.2.3. Géologie

Le bassin versant de la Soummam est dans ces grandes lignes constitué sur la rive gauche par des oligocènes traversé par des formations des crétacés inférieurs du miocène apparaît dans la partie aval, en bordure de l'oued, des terrasses alluviales importantes tapissé en générale le pied des pentes sauf dans la région de Sidi-Aich ou les crétacés apparaît juste dans le lit. [86]

II.1.2.4. Hydrographie

II.1.2.4.1. Ressources souterraines

Pour les eaux souterraines, il a été mis en évidence la présence, sous les alluvions, d'un réservoir s'étalant de Tazmalt à Sidi-Aich et de Sidi-Aich à Bejaia. La division en deux zones de cette réserve se justifie par la présence à Sidi-Aich d'un seuil géologique qui, du point de vue hydraulique, constitue en quelque sorte une barrière. L'alimentation des deux

nappes se fait par l'oued Sahel, l'oued Soummam, leurs affluents et les précipitations ainsi que les affluents miocènes. [87]

II.1.2.4.2. Ressources superficielles

Le bassin versant de l'oued Soummam est traversé de nombreux cours d'eaux, dont le principal est l'oued Soummam avec des débits qui montrent de grandes irrégularités inter mensuelles et saisonnières. À son embouchure, il présente un apport annuel moyen de 733 m³/an [81-80] qu'il traverse dans la méditerranée. Les principaux affluents de l'oued Soummam sont donnés dans le tableau II.1.

Tableau II.1. Principaux affluents de l'oued Soummam [80]

| Désignation | Superficie du bassin versant (km ²) | Position par rapport à l'oued | La quantité d'eau par an (m ³ /an) |
|-----------------|---|-------------------------------|---|
| Oued Sahel | 3800 | Amont | / |
| Oued Boussellam | 4300 | Amont | / |
| Oued Amokrane | 80 | Rive droite | 12 million |
| Oued Roumila | 100 | Rive droite | 28 million |
| Oued El-kseur | 55 | Rive droite | 12 million |
| Oued Ghir | 50 | Rive droite | 12 million |
| Oued Amizour | 55 | Rive gauche | / |
| Oued Amassine | 195 | Rive gauche | 15 million |
| Oued Imoula | 40 | Rive gauche | 4 million |
| Oued Seddouk | 125 | Rive gauche | 10 million |

II.1.3. Sources de pollution de l'oued Soummam

II.1.3.1 Eaux usées domestiques

Les eaux usées domestiques représentent les eaux ménagères, elles renferment surtout les produits organiques biodégradables et les eaux de vannes constituées par les urines et les matières fécales diluées dans l'eau de chasse. On effectue, dans le bassin versant de la Soummam, l'assainissement accuse un retard considérable, et le traitement des eaux usées est loin d'être satisfaisant.

II.1.3.2. Rejets industriels

Avec le développement industriel et l'implantation de nouvelles unités jetant leurs rejets directement dans l'oued, ce qui peut avoir un effet toxique provoquant ainsi la dégradation des eaux de l'oued. La pollution des eaux de l'Oued Soummam par les rejets industriels varie d'une manière considérable suivant la nature de l'industrie. [88] Dans le tableau II.2 & II.3 sont illustrés respectivement les rejets liquides et solides de quelques industries déversées dans l'Oued Soummam.

Tableau II.2. Les rejets liquides de quelques industries déversées dans l'Oued Soummam [89]

| Unité | Volume d'eaux usées rejettes | Lieu de rejet final |
|-------------------|------------------------------|---------------------|
| -Alcoval Akbou | 2533 m ³ /jour | Oued Soummam |
| -ENCG 4 chemins | 401,5m ³ /jour | Oued Soummam |
| -Alfaditex Remila | 1400 m ³ /jour | Oued Soummam |
| Total | 61409 m ³ /jour | Oued Soummam |

Tableau II.3. Les rejets solides de quelques industries déversées dans l'Oued Soummam [90]

| Unité | Type de déchets | Quantités rejettes |
|-------------------|---|--------------------|
| -Alcoval Akbou | Poussière de coton et petites chutes de tissus copeaux métalliques, boues | 3,32 kg/jours |
| -Alfaditex Remila | Boues à base de teintures | 1600 kg/jours |

II.1.3.3. Abattoirs

On compte plusieurs tueries situées à proximité de l'oued, dont les eaux sont y évacuées directement augmentant ainsi la charge organique polluante. La consommation en eau des abattoirs de la vallée de la Soummam est donnée dans le tableau II.4.

Tableau II.4. Consommation en eau des abattoirs de la vallée de la Soummam. [91]

| Localité | Consommation en eau (L/j) |
|------------------|---------------------------|
| Amizour | 3890 |
| El-kseur | 14559 |
| Akbou | 13230 |
| Ighzar- amokrane | 16472 |

II.1.3.4. Décharges publiques

L'oued Soummam présente plusieurs décharges qui se trouvent directement dans l'eau ou à proximité de celui-ci, citant l'exemple de la décharge de Sidi-Aiche qui occupe une surface de 15000 m² et celle d'Akbou d'une surface de 100000 m².

II.1.3.5. Huileries

Elles représentent une source génératrice de la pollution ; du fait que les eaux de traitement se déversent directement dans l'oued, malgré leur caractère saisonnière. [88] Le Volume d'eau usée rejeté par types d'huilerie riveraine de l'Oued Soummam est illustré dans le tableau II.5.

Tableau II.5. Volume d'eau usée rejeté par types d'huilerie riveraine de l'Oued Soummam. [92]

| Type d'huilerie | Nombre d'huilerie | Volume d'eau rejetée L /j |
|---------------------------|-------------------|---------------------------|
| Huileries traditionnelles | 188 | 376000 |
| Huileries modernes | 256 | 13250000 |
| Total | 444 | 136260000 |

II.1.3.6. Déchets hospitaliers

Les structures de santé de la wilaya de Bejaia génèrent 181,42 T/an de déchets. Celles-ci sont pour la majorité dotées des incinérateurs.

La direction de la santé a prévue l'acquisition de trois incinérateurs au courant de l'année 2008 pour les secteurs sanitaires d'Amizour, Kherrata et Sidi-Aiche. [92]

II.2. METHODES PHYSIQUES D'ANALYSE UTILISEES

II.2.1. Spectrophotométrie d'absorption atomique (S.A.A)

La spectrophotométrie d'absorption atomique est une méthode très utilisée pour doser des métaux présents en solution en analyse chimique. C'est une méthode de dosage rapide, précise et permet la détection d'éléments en faible concentration. La spectrophotométrie d'absorption atomique est basée sur la capacité que possèdent les atomes neutres d'un élément d'absorber ses radiations lumineuses caractéristiques, c'est-à-dire celles qu'il émettrait s'il était excité.

Les atomes sont obtenus par atomisation dans un brûleur ou la solution contenant l'élément à doser est vaporisée. L'intensité des faisceaux lumineux, de même longueur d'onde que celles émises par les atomes excités, est mesurée avant et après passage à travers les

atomes à l'état fondamental. La quantité d'énergie absorbée est directement proportionnelle au nombre d'atomes à doser.

La concentration de l'élément à doser est donnée par la loi de Beer Lambert :

$$\text{Log}(I/I_0) = K.L.C$$

Avec:

I_0 : intensité du faisceau lumineuse incident.

I : intensité du faisceau lumineux après absorption.

K : constante dépendant de la fréquence caractéristique de l'élément à doser.

L : longueur du trajet optique dans la flamme contenant l'élément à doser.

C : concentration de l'élément à doser.

Pour que cette loi soit exploitée il faut que le tracé présente une linéarité. Pour cela il faut que la solution à analyser soit limpide, pas de trouble ou de suspension et que la concentration soit très faible. Pour les concentrations élevées la loi n'est pas applicable puisque la courbe ne présente pas de linéarité. [93-94]

La figure II.1 ci-dessous présente le principe d'analyse par spectrophotomètre d'absorption atomique.

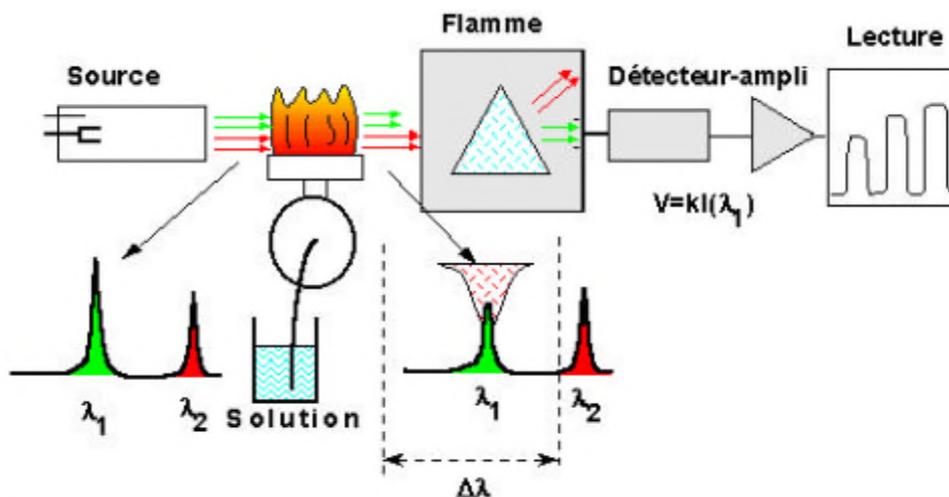


Figure II.1. Schéma de principe du spectrophotomètre d'absorption atomique.

II.2.2. Spectroscopie d'absorption infra rouge (IR)

Le phénomène d'absorption dans l'infra rouge est lié à la variation de l'énergie de vibration moléculaire. Cette vibration implique une variation du moment dipolaire. Les radiations infrarouges constituent la partie du spectre électromagnétique dont les longueurs d'ondes sont supérieures à celles du visible et inférieures à celles des ondes radio-ultracourtes.

Le principe de l'analyse consiste en la connaissance de la position des bandes de certains groupements caractéristiques des minéraux argileux.

Dans les conditions normales de température et de pression, 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. Cette technique est basée sur l'absorption par les matériaux des rayonnements électromagnétiques (dans le domaine de l'infrarouge) qui vont entraîner des mouvements de vibrations des liaisons chimiques. Les vibrations mises en jeu sont de deux types : les vibrations de valence et les vibrations de déformation. L'utilisation d'un IRTF permet d'examiner de faibles quantités de matériaux argileux et d'avoir une résolution plus fine et un meilleur rapport signal sur bruit. La figure II.2 ci-dessous présente le principe d'analyse par spectroscopie infrarouge.[95]

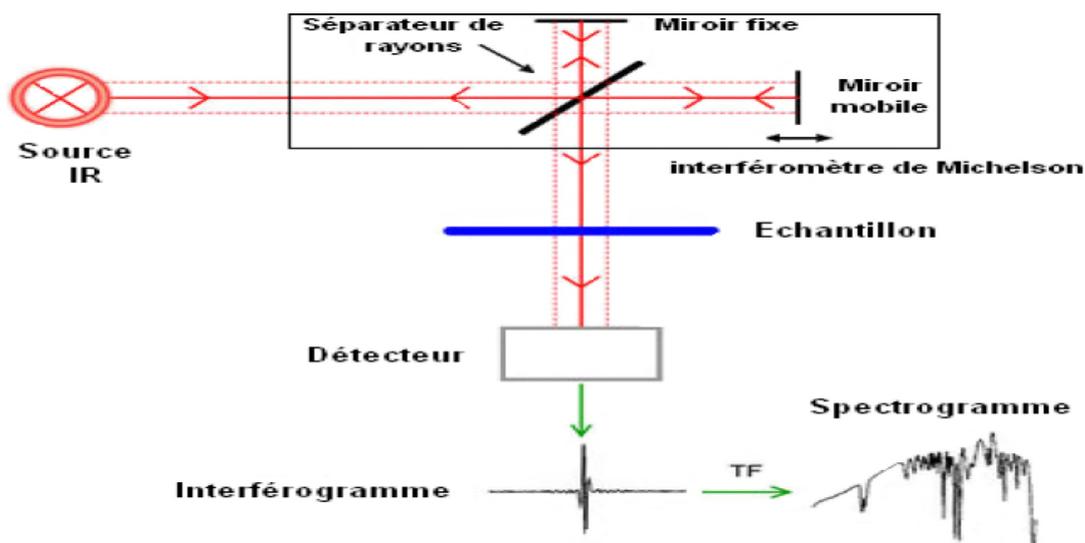


Figure II.2. Schéma de principe d'un spectromètre FT-IR [96]

II.2.3. Diffraction des rayons X

La diffraction des rayons X est une méthode universellement utilisée pour identifier la nature et la structure des produits cristallisés. En effet, cette méthode ne s'applique qu'à des milieux cristallins (roches, cristaux, minéraux, pigments, argiles...) présentant les caractéristiques de l'état cristallin, c'est-à-dire un arrangement périodique, ordonné et dans des plans réticulaires tridimensionnels des atomes constitutifs.

Le principe de cette méthode repose sur la diffraction des rayons X par une famille de plans réticulaires (d_{hkl}) favorablement orientée sous un angle θ par rapport au faisceau

incident. Ceci se traduit dans le diffractogramme, représentant l'intensité en fonction de l'angle de diffraction θ , par l'observation de raies à partir desquelles peuvent être déterminées les distances réticulaires d_{hkl} , caractéristiques d'un composé cristallin donné, à l'aide de la loi de Bragg :

$$2 d_{hkl} \sin\theta = n \lambda \dots\dots\dots \text{Eq II.1}$$

Où λ est la longueur d'onde du faisceau de rayons X incident. L'indexation des différents pics de diffraction du diagramme de rayons X permet de déterminer les phases cristallines présentes en se référant aux fiches ATSM (American Society for Testing Materials). [97]

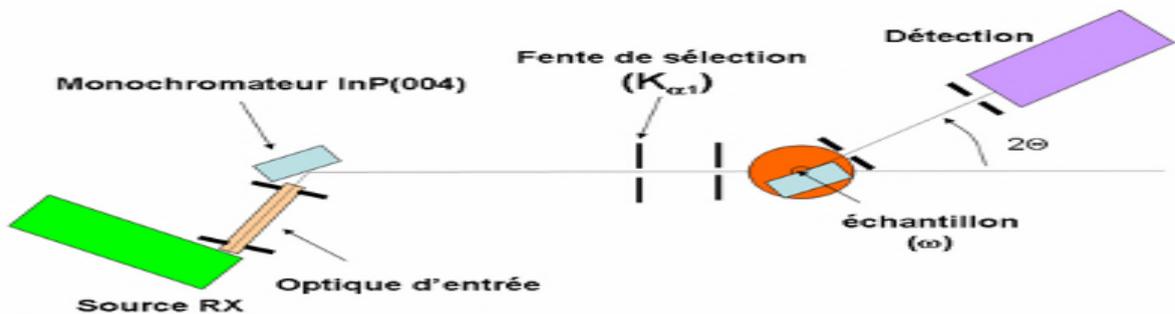


Figure II.3. Schéma de principe de diffraction des rayons x

II.3. PROTOCOLES EXPERIMENTAUX

II.3.1. Localisation des stations de prélèvements

Les points de prélèvements ont été choisis de préférence là où les variations sensibles de qualité sont probables, ou là où il y a un usage important de la rivière, rejets ou prélèvement importants. Les déversoirs ou les lieux de faibles déversements avec des effets très localisés, doivent être généralement évités. [98]

Dans le cadre de notre étude nous avons opté pour deux points de prélèvement qu'on a jugé comme étant pollués :

Station 1 (S1) : Sidi Aich ville (rejets domestiques, ERIAD, ...etc.)

Station 2 (S2) : Bejaia à l'embouchure (rejets domestiques, CO.G.B, SONATRACH, CEVITAL ...etc.).

Le tableau II.6 et les figures II.2, II.3 & II.4 illustrent les stations sélectionnées pour notre étude.

Tableau II.6. Caractéristiques des stations d'étude

| désignation | Altitude (m) | Largeur (m) | Profondeur (cm) | Substrat | Vitesse du Courant (m/s) |
|-------------|--------------|-------------|-----------------|----------------|--------------------------|
| Station 1 | 95 | [5-10] | 40 à 50 | Sable Cailloux | 0,7 |
| Station 2 | 1 | [25-35] | 120 à 200 | Vase Sable | Presque Stagnante |



Figure II.4. Photo de premier point de prélèvement (site 1)



Figure II.5. Photo de deuxième point de prélèvement (site 2)

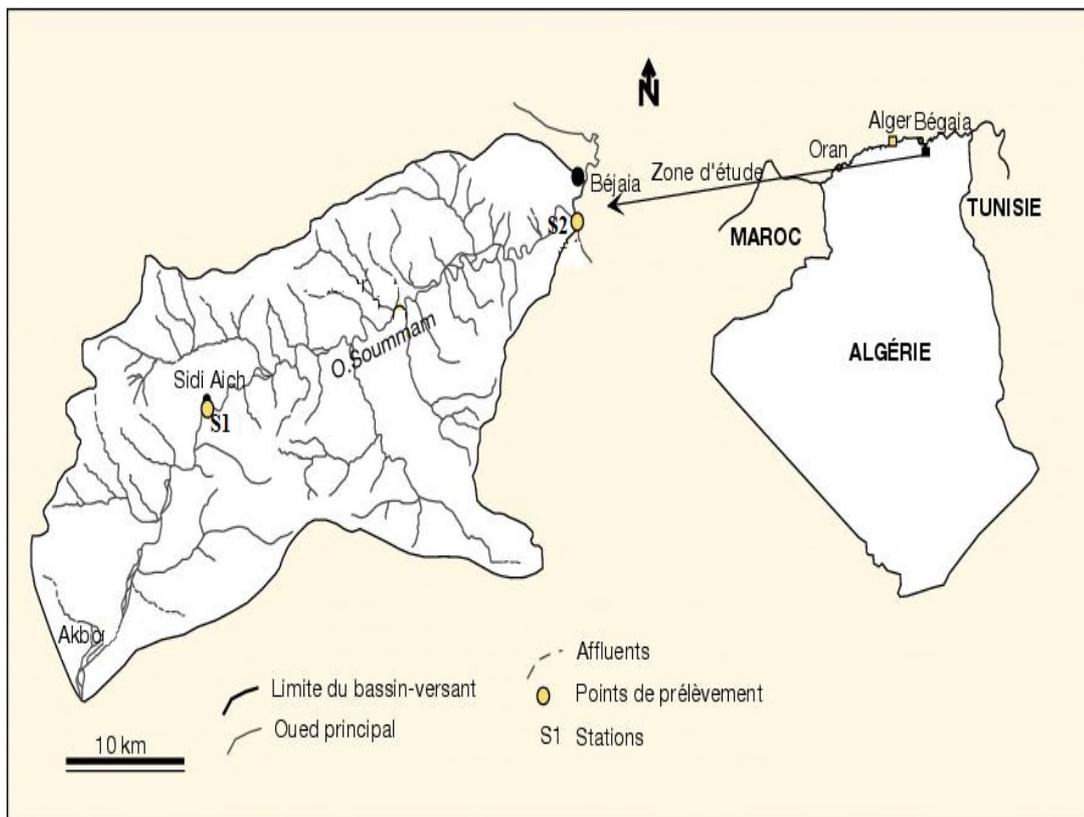


Figure II.6. Carte schématique de la zone d'étude avec localisation des points de prélèvements. [99]

II. 3.2. Échantillonnage

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté ; il conditionne les résultats analytiques et leurs interprétations. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau [100].

Pour cela nous avons effectué les prélèvements en profondeur et en utilisant des bouteilles en plastique préalablement rincées avec l'eau distillée. Au moment du prélèvement, les bouteilles seront de nouveau rincées trois fois avec de l'eau à analyser.

L'échantillon a été conservé dans une glacière gardant la T à 4°C pendant le transport au laboratoire et les analyses physico-chimiques ont été effectuées dans les premières 24 heures au laboratoire et cela pour ne pas altérer l'échantillon.

II.3.3. Analyses physico-chimiques

II.3.3.1. Paramètres organoleptiques

➤ Couleur

La coloration a été évaluée par observation visuelle lors des prélèvements.

II.3.3.2. Température

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels, ...etc [101].

La mesure de la température a été effectuée sur le terrain, de même celle de l'air au même endroit et au même moment. La lecture est faite après une immersion de 10 minutes.

II.3.3.3. Conductivité électrique

La mesure de la conductivité électrique, est probablement l'une des plus simples et plus importantes pour le contrôle de la qualité des eaux résiduaires, la conductivité est fonction de la concentration en espèces ionisés, principalement de nature minérale [102].

La conductivité a été mesurée au laboratoire à l'aide d'un appareil multi paramètres de référence (CONSORT C 813). Elle est exprimée en Mili siemens/cm.

II.3.3.4. pH

a) Principe

La différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence (au calomel saturé à KCl) plongeant dans une même solution, est fonction linéaire du pH de celle-ci. [101]

b) Mode opératoire

La mesure du pH a été effectuée in situ à l'aide d'un pH-mètre de terrain de marque HANNA, HI 8314. On plonge l'électrode de verre dans l'échantillon à analyser puis on lit directement la valeur de pH-mètre.

II.3.3.5. Dosage de l'oxygène dissous :**• Méthode électrochimique**

L'oxygène dissous est un composé essentiel de l'environnement aqueux puisqu'il est le paramètre limitant de la principale voie de biodégradation de la pollution organique. [102]

L'oxymètre renferme une cellule de mesure avec deux électrodes (Ag, Au par exemple) baignant dans un électrolyte servant de support et enfermées dans une membrane de polyéthylène, de Téflon ou d'autres matières, cette membrane est sélective, c'est à dire perméable au gaz comme l'oxygène. [101]

a) Principe

La réduction de l'oxygène, au niveau d'une cathode convenable, engendre un courant proportionnel à la pression partielle d'oxygène dans la solution.

b) Mode opératoire

L'oxygène dissous est mesuré au laboratoire à l'aide d'un appareil multi paramètres muni d'une sonde spécifique de l'oxygène dissous. On rince l'électrode avec de l'eau distillée, l'étalonnage est effectuer directement à l'aire, puis on plonge l'électrode dans l'eau à analyser.

c) Expression des résultats

Le résultat affiché sur l'appareil est la teneur en oxygène, exprimée en Milligramme d'oxygène par litre.

II.3.3.6. Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO)**➤ Méthode par le dichromate de potassium**

Le paramètre DCO (Demande Chimique en Oxygène) reste le paramètre composite le plus fiable pour la mesure de l'oxydabilité et de la dégradabilité de la pollution organique des eaux usées.

La DCO se définit comme le volume d'oxygène équivalant à la masse de dichromate de potassium réagissant avec les matières oxydables de l'eau dans les conditions de la méthode. Le mercure, le sulfate d'argent et l'acide sulfurique sont indiqués comme réactifs auxiliaires. Le temps de réaction est de 2 heures à 148 °C. L'échantillon doit être homogénéisé avant analyse. [103]

a) Principe

La matière oxydable contenue dans un échantillon est oxydée par chauffage à reflux en milieu fortement acide avec une quantité connue de bichromate de potassium dans une éprouvette fermée. La matière oxydable dans l'échantillon qui réagit avec le bichromate de potassium provoque un changement de couleur dont l'absorbance est proportionnelle à la quantité de bichromate de potassium réduit et se mesure en équivalent d'oxygène. [103]

b) Mode opératoire

Introduire 10 ml d'eau à analyser dans un ballon de 250 ml ou éventuellement, une même quantité de dilution. Ajouter 0.4g de sulfate de mercure cristallisé et 5 ml de solution sulfurique de sulfate d'argent. Chauffer, si nécessaire, jusqu'à parfaite dissolution. Ajouter 5 ml de solution de dichromate de potassium 0,25 N puis 10 ml de solution sulfurique de sulfate d'argent. Porter à ébullition pendant deux heures sous réfrigérant à reflux adapté au ballon. Laisser refroidir, diluer à 75 ml avec l'eau distillée. Ajouter quelques gouttes de solution ferroïne. Déterminer la quantité nécessaire de solution de sulfate de fer et d'ammonium pour obtenir le virage au rouge violacé. Procéder aux mêmes opérations sur 50 ml d'eau distillée. [104]

c) Expression des résultats

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

$$DCO = \frac{8000 \times (V_0 - V_1) \times T}{V}$$

V_0 : volume de sulfate de fer et d'ammonium nécessaire à l'essai à blanc (ml)

V_1 : volume de sulfate de fer et d'ammonium nécessaire au dosage (ml)

T : titre de la solution de sulfate de fer et d'ammonium

V : volume de la prise d'essai

II.3.3.7. Matières en suspension

Les matières en suspensions rencontrées dans les eaux sont très divers tant par leur nature que par leurs dimensions. Elles sont constituées par du quartz, des argiles, des sels minéraux insolubles et des particules organiques composées de microorganismes et de produits de dégradation animaux ou végétaux [105]. La détermination des matières en suspension dans l'eau s'effectue par filtration ou par centrifugation.

• Méthode par filtration

a) Principe

L'eau est filtrée et le poids de la matière retenue par le filtre est déterminé par pesées différentielles.

b) Mode opératoire

Laver le disque de filtration à l'eau distillée, le sécher à (150°C) jusqu'à masse constante, puis le peser à 0,1 mg près après passage au dessiccateur. Le mettre en place sur l'équipement de filtration. Mettre en service le dispositif d'aspiration. Verser l'échantillon (V) sur le filtre. Rincer la fiole ayant contenu l'eau à analyser avec 10 ml d'eau distillée. Faire passer sur le filtre cette eau de lavage. Laisser essorer le filtre, sécher à 105 °C. Laisser refroidir au dessiccateur et peser à 0,1 mg près, jusqu'à poids constant. [106]

c) Expression des résultats :

$$MES = \frac{M_1 - M_0}{V} \times 1000$$

Avec :

M_0 = masse du disque filtrant avant utilisation (mg).

M_1 = masse du disque filtrant après utilisation (mg).

V = volume d'eau utilisé (ml).

II.3.3.8. Dosage de chlorures

➤ La méthode de Mohr

a) Principe

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent. [106]

b) Mode Opératoire

On introduit dans un erlenmeyer 100 ml d'eau à analyser préalablement filtrée, on ajoute 2 à 3 gouttes d'acide nitrique, une pincée de carbonate de calcium 0,2 gr de carbonate de calcium et 3 gouttes de chromate de potassium à 10%. On verse alors au moyen d'une burette la solution de nitrate d'argent jusqu'à l'apparition d'un précipité de teinte rougeâtre ; cette couleur doit persister.

c) Expression des résultats :

Soit V le nombre de millimètres de nitrate d'argent 0,1 N utilisés.

$V \times 10 \times 3,55$ donne la teneur en milligrammes de Cl^- des chlorures contenus dans 1 litre d'eau. [104]

II.3.3.9. Dosage des métaux (Plomb, cuivre, fer, cadmium, nickel, zinc)

Pour le dosage de ces métaux, on'a utilisé la méthode de la spectrophotométrie d'adsorption atomique avec flamme (S.A.A).

- Préparation des échantillons

Une préparation spécifique : les échantillons sont filtrés puis soumis à la technique de concentration basée sur la réduction du volume d'échantillons filtrés par chauffage. [107]

- **Établissement des courbes d'étalonnages** (voir annexe B)
- **Mode opératoire**

Nébuliser l'échantillon préparé dans une flamme air-acétylène légèrement oxydante en intercalant de l'eau distillée entre chaque échantillon. Même procédure pour chaque échantillon. Effectuer les lectures à des longueurs d'ondes spécifiques pour chaque métal selon le tableau ci-après.

Tableau II. 7. Longueurs d'ondes appropriées des métaux dosés. [107]

| Métal | Longueur d'onde (nm) |
|---------|----------------------|
| Plomb | 283,3 |
| Cuivre | 324,7 |
| Nickel | 232 |
| Cadmium | 228,8 |
| Zinc | 213,9 |
| Fer | 248,3 |

- **Expression des résultats**

Les résultats sont exprimés en milligramme par litre.

CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

III.1. DISCUSSIONS DES RESULTATS D'ANALYSES DES EAUX DE L'OUED SOUMMAM

L'analyse des résultats est une étape déterminante, car elle a pour objectif de révéler les principales sources d'éléments déjà analysés et leur origine ainsi que les facteurs influençant leurs variations.

En effet, l'analyse des résultats obtenus peut nous permettre de savoir le type de pollution et l'état actuel des eaux de l'oued. Pour cela, tous les soins ont été apportés aux analyses.

III.1.1. Paramètres organoleptiques

III.1.1.1. Couleur

Les résultats obtenus en ce qui concerne la couleur des échantillons prélevés en station S1 & S2 sont enregistrés dans le tableau III.1

Tableau III.1. Évaluation de la couleur de l'eau des différentes stations de l'oued Soummam.

| N° Prélèvement | Couleur | | | Normes [108-109] |
|----------------|---------------------------------|----------|---------------|---------------------------------|
| | Stations Date de prélèvement | S1 | S2 | |
| 1 | 15/03/2015 | Jaunâtre | Jaunâtre | NA : Incolore OMS : Incolore |
| 2 | 29/03/2015 | Jaunâtre | Verdâtre | |
| 3 | 12/04/2015 | Verdâtre | Verdâtre | |
| 4 | 26/04/2015 | Verdâtre | Gris verdâtre | |
| 5 | 10/05/2015 | Verdâtre | Verdâtre | |
| 6 | 24/05/2015 | Brunâtre | Brunâtre | |

La couleur jaunâtre est due à la nature du lit de l'Oued Soummam constitué d'argile ainsi qu'à la couleur jaunâtre des eaux usées des laiteries.

Cependant, la couleur brunâtre est due à la nature et la concentration des matières colorantes. En fait la coloration verdâtre d'une eau est due aux substances en solution, elle est en fonction de la turbidité, et la matière en solution (acide humique, fer, manganèse, et les rejets industriels).

III.1.2. Paramètre physico-chimiques

III.1.2.1. Température

Les résultats obtenus en ce qui concerne la température des échantillons prélevés en station S1 & S2 à différents échéanciers sont enregistrés dans le tableau III.2 et illustrés en figure III.1.

Tableau III.2. Valeurs des températures enregistrées lors des différents prélèvements.

| N° Prélèvement | Température (c°) | | | Normes [108 -109] |
|----------------|---------------------|----|----|-------------------------|
| | Stations | S1 | S2 | |
| | Date de prélèvement | | | |
| 1 | 15/03/2015 | 14 | 16 | NA : 30°C OMS : 30°C |
| 2 | 29/03/2015 | 17 | 14 | |
| 3 | 12/04/2015 | 17 | 16 | |
| 4 | 26/04/2015 | 21 | 20 | |
| 5 | 10/05/2015 | 21 | 22 | |
| 6 | 24/05/2015 | 22 | 21 | |

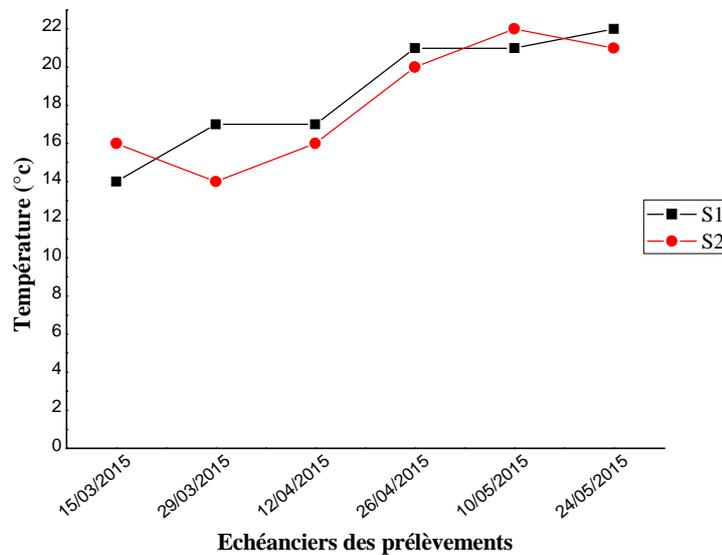


Figure III.1. Évolution de la température de l'eau des différentes stations de l'oued Soummam en fonction des échéanciers des prélèvements

Les températures mesurées sont comprises entre 14°C et 22 °C, On remarque que ces valeurs sont inférieures à la norme (30°C). La variation faible de la température d'une station à l'autre et d'un prélèvement à l'autre est due aux conditions climatiques et au moment des prélèvements ainsi qu'à l'écosystème zonal qui peut influencer nos résultats.

III.1.2.2. Conductivité électrique

Les résultats obtenus des conductivités électriques des échantillons prélevés en station S1 & S2 à différents échéanciers sont enregistrés dans le tableau III.3 et illustrés sur la figure III. 2.

Tableau III.3. Valeurs des conductivités enregistrées dans les différentes stations à différents échéanciers.

| N° Prélèvements | Conductivité (ms/cm) | | | Normes [108 -109] |
|-----------------|----------------------|-------|-------|----------------------------------|
| | Stations | S1 | S2 | |
| | Date de prélèvement | | | |
| 1 | 15/03/2015 | 1,295 | 1,301 | NA : 2,8 ms/cm OMS :2,8 ms/cm |
| 2 | 29/03/2015 | 1,411 | 1,288 | |
| 3 | 12/04/2015 | 2,290 | 2,090 | |
| 4 | 26/04/2015 | 2,180 | 2,110 | |
| 5 | 10/05/2015 | 2,220 | 2,130 | |
| 6 | 24/05/2015 | 2,240 | 2,270 | |

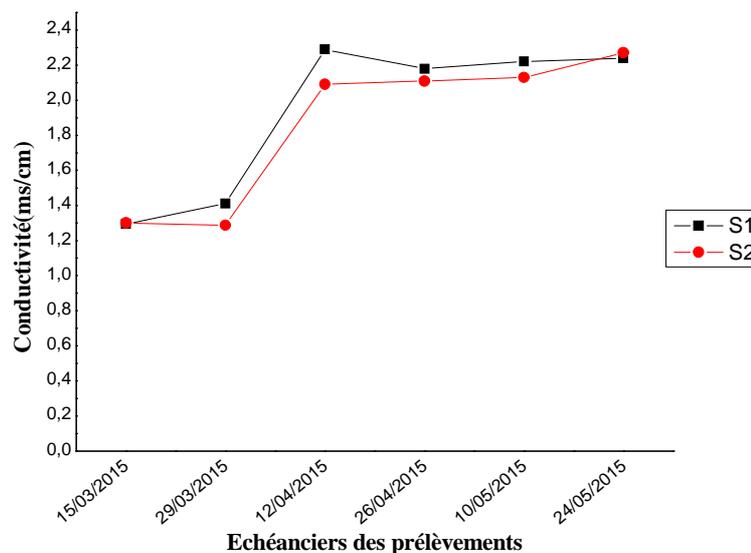


Figure III.2. Évolution de la conductivité de l'eau des différentes stations de l'oued Soummam en fonction des échéanciers des prélèvements

Selon les résultats illustrés sur la figure III.2, les valeurs de la conductivité durant notre période d'étude montrent des fluctuations de 1,295 ms/cm à 2,29 ms/cm ; Toutes ses valeurs sont inférieures aux normes pour les deux stations, cela est dû au volume important des effluents industriels à caractère agro-alimentaire déversés en amont de ses stations, car la

conductivité est due aux particules minérales dissoutes dans l'eau à savoir les cations (Ca^{++} , Na^+ ...etc) les métaux lourds (Plomb, Chrome...etc)...etc

III.1.2.3. pH

Les résultats obtenus des pH des échantillons prélevés en station S1 & S2 à différents échéanciers sont enregistrés dans le tableau III.4 et illustrés sur la figure III. 3.

Tableau III.4. Valeurs de pH enregistrées dans les différentes stations de l'oued Soummam

| N° Prélèvements | pH | | | Normes [108 -109] NA et OMS : 6,5 à 8,5 |
|-----------------|---------------------|------|------|---|
| | Stations | S1 | S2 | |
| | Date de prélèvement | | | |
| 1 | 15/03/2003 | 7,96 | 8,02 | |
| 2 | 29/03/2015 | 8,01 | 7,98 | |
| 3 | 12/04/2015 | 7,98 | 7,88 | |
| 4 | 26/04/2015 | 7,78 | 7,76 | |
| 5 | 10/05/2015 | 7,98 | 8,02 | |
| 6 | 24/05/2015 | 7,87 | 7,54 | |

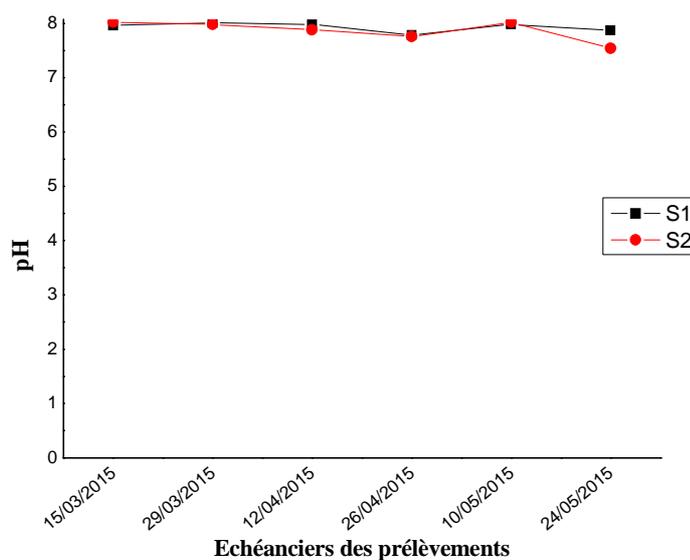


Figure III.3. Évolution de pH de l'eau des différentes stations de l'oued Soummam en fonction des échéanciers des prélèvements

Les valeurs observées sur la figure III.3 révèlent que le pH est un peu basique (entre 7,54 et 8,02) dans la majorité des échantillons d'eau de l'oued le long de notre campagne de prélèvement. Ces valeurs enregistrées sont dans l'intervalle des valeurs limites du pH des eaux des rejets industriels ($6,5 < \text{pH} < 8,5$) qui dépend de la nature des rejets qui y sont déversés.

III.1.2.4. Dosage de l'oxygène dissous

Les résultats obtenus de dosage de l'oxygène dissous des échantillons prélevés en station S1 & S2 à différents échéanciers sont enregistrés dans le tableau III.5 et illustrés sur la figure III. 4.

Tableau III.5. Teneur en oxygène dissous dans l'eau de l'oued Soummam

| N° Prélèvements | Oxygène dissous (mg/L) | | | Normes [108 -109] |
|-----------------|------------------------|-----|-----|---------------------------|
| | Stations | S1 | S2 | |
| | Date de prélèvement | | | |
| 1 | 15/03/2015 | 6 | 7 | NA : 5mg/L OMS : 5mg/L |
| 2 | 29/03/2015 | 6 | 5 | |
| 3 | 12/04/2015 | 5 | 5 | |
| 4 | 26/04/2015 | 8 | 6 | |
| 5 | 10/05/2015 | 5,5 | 5 | |
| 6 | 24/05/2015 | 5 | 7,5 | |

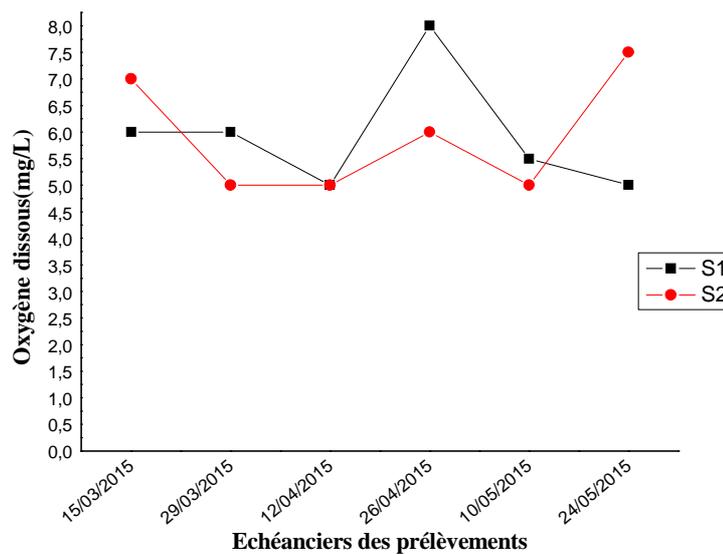


Figure III.4. Évolution de l'oxygène dissous de l'eau des différentes stations de l'oued Soummam en fonction des échéanciers des prélèvements

D'après les résultats obtenus, les concentrations enregistrées des deux stations montrent clairement que la teneur en oxygène dissous varie de 5 mg/L à 8 mg/L. Ces résultats sont légèrement supérieurs à la norme requise, cela est dû à la circulation permanente des eaux, donc elles sont bien oxygénées. La solubilité de l'oxygène est en fonction de la température, la pression partielle dans l'atmosphère et la salinité.

III.1.2.5. Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO)

Les résultats obtenus de la demande chimique en oxygène dans les échantillons prélevés en station S1 & S2 à différents échéanciers sont enregistrés dans le tableau III.6 et illustrés sur la figure III. 5.

Tableau III.6. Teneur en DCO dans l'eau de l'Oued Soummam

| N° Prélèvements | Demande chimique en oxygène (mg/L) | | | Normes [108 -109] |
|-----------------|------------------------------------|--------|--------|--------------------------------|
| | Stations | S1 | S2 | |
| | Date de prélèvement | | | |
| 1 | 15/03/2015 | 106,66 | 120 | NA : 120 mg/L OMS : 90 mg/L |
| 2 | 29/03/2015 | 93,33 | 146,66 | |
| 3 | 12/04/2015 | 173,33 | 200 | |
| 4 | 26/04/2015 | 197,33 | 224 | |
| 5 | 10/05/2015 | 198,66 | 226,33 | |
| 6 | 24/05/2015 | 200,66 | 240,33 | |

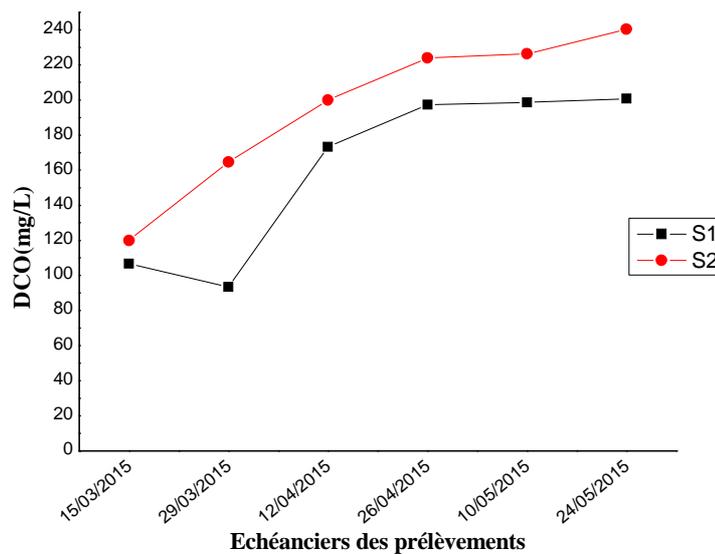


Figure III.5. Évolution de la DCO de l'eau des différentes stations de l'oued Soummam en fonction des échéanciers des prélèvements

D'après les résultats illustrés sur la figure III.5, on remarque que les valeurs de la demande chimique en oxygène (DCO) sont très importantes qui dépassent largement les deux normes ; cela est dû à l'intensité des effluents d'origine domestiques et industriels au niveau de ces stations.

III.1.2.6. Matières en suspension

Les résultats obtenus en ce qui concerne la matière en suspension dans les échantillons prélevés en station S1 & S2 à différents échéanciers sont enregistrés dans le tableau III.7 et illustrés sur la figure III.6.

Tableau III.7. Teneur des matières en suspensions dans l'eau de l'oued Soummam.

| N° Prélèvements | MES (mg/L) | | | Normes[108 -109] |
|-----------------|------------|--------|--------|-----------------------------|
| | Stations | S1 | S2 | |
| 1 | 15/03/2015 | 230,67 | 336 | NA : 35mg/L OMS : 30mg/L |
| 2 | 29/03/2015 | 166,66 | 353,33 | |
| 3 | 12/04/2015 | 233,33 | 440 | |
| 4 | 26/04/2015 | 94,66 | 165,33 | |
| 5 | 10/05/2015 | 178,33 | 280 | |
| 6 | 24/05/2015 | 198,88 | 315 | |

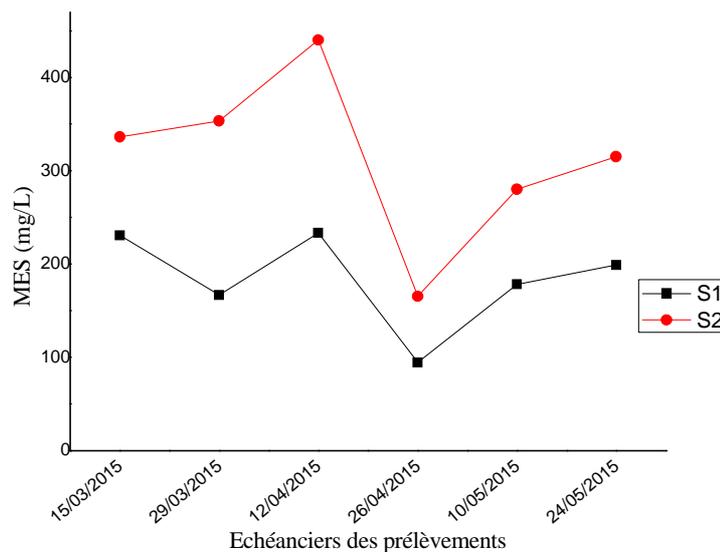


Figure III.6. Évolution de MES de l'eau des différentes stations de l'oued Soummam en fonction des échéanciers des prélèvements

D'après les résultats enregistrés dans le tableau III.7 la matière en suspension varie entre 94,66 mg/L et 440 mg/L, ces valeurs sont supérieures aux normes. La teneur élevée est marquée à la 2^{ème} station qui est due à la stagnation de ces eaux, et aussi peut être expliqué par la vitesse d'écoulement des cours d'eau qui entraînent les alluvions des bords de l'oued et les remaniements des fonds.

III.1.2.7. Dosage de chlorures

Les résultats obtenus en ce qui concerne le dosage des chlorures dans les échantillons prélevés en station S1 & S2 à différents échéanciers sont enregistrés dans le tableau III.8 et illustrés sur la figure III.7.

Tableau III.8. Teneur en chlorure dans l'eau de l'oued Soummam.

| N° Prélèvements | Concentration en Cl ⁻ (mg/L) | | | Normes [108 -109] |
|-----------------|---|---------|--------|--------------------------------|
| | Stations | S1 | S2 | |
| | Date de prélèvement | | | |
| 1 | 15/03/2015 | 1597,5 | 2094,5 | NA : 200 mg/L OMS: 200 mg/L |
| 2 | 29/03/2015 | 1970,25 | 2130 | |
| 3 | 12/04/2015 | 2485 | 2662,2 | |
| 4 | 26/04/2015 | 3017,5 | 3550 | |
| 5 | 10/05/2015 | 5147,5 | 5502,5 | |
| 6 | 24/05/2015 | 5325 | 5680 | |

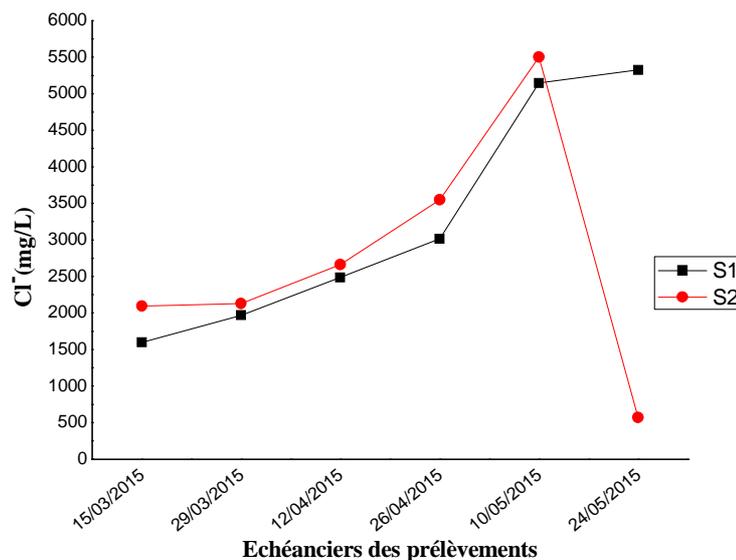


Figure III.7. Évolution de la teneur en chlorure de l'eau des différentes stations de l'oued Soummam en fonction des échéanciers des prélèvements

Les résultats d'analyse illustrés dans le tableau III.8 présentent des teneurs élevées en chlorures, qui varient de 1597,5 mg/L à 5680 mg/L. Ces valeurs dépassent largement les normes ; cela peut provenir d'une contamination par des eaux usées domestiques, mais elles peuvent aussi provenir des terrains traversés qui sont des terrains calcaires gypseux, le lessivage superficiel dans la période des fortes pluies ou des eaux usées des zones industrielles.

III.1.2.8. Dosage de fer

Les résultats obtenus en ce qui concerne le dosage de fer dans les échantillons prélevés en station S1 & S2 à différents échéanciers sont enregistrés dans le tableau III.9 et illustrés sur la figure III.8.

Tableau III.9. Teneur en fer dans l'eau de l'oued Soummam

| N° Prélèvements | Concentration en Fer (mg/L) | | | Normes [108 -109] |
|-----------------|-----------------------------|--------|--------|-----------------------------|
| | Stations | S1 | S2 | |
| | Date de prélèvement | | | |
| 1 | 15/03/2015 | 0,0030 | 0,0056 | NA : 3 mg/L OMS : 3 mg/L |
| 2 | 29/03/2015 | 0,0137 | 0,0244 | |
| 3 | 12/04/2015 | 0,0233 | 0,0352 | |
| 4 | 26/04/2015 | 0,0033 | 0,0447 | |
| 5 | 10/05/2015 | 0,0157 | 0,0152 | |
| 6 | 24/05/2015 | 0,0126 | 0,0164 | |

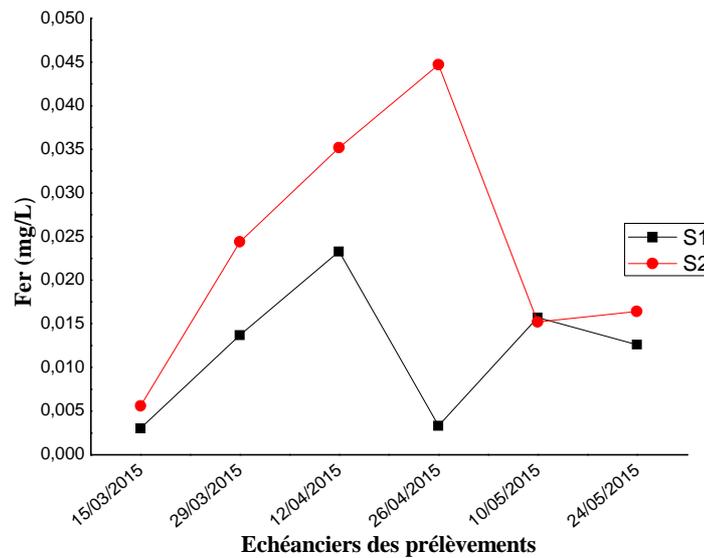


Figure III.8. Évolution de la concentration en fer de l'eau des différentes stations de l'oued Soummam en fonction des échéanciers des prélèvements

Les concentrations en fer mesurées au cours de nos prélèvements sont inférieures à 0,0030 mg/L (tableau III.9). Cependant, toutes les concentrations sont conformes à la norme.

Les teneurs en fer les plus élevées enregistrées au niveau de la 2^{ème} station peuvent être dues au lessivage des dépôts d'ordures ainsi qu'aux rejets industriels.

III.1.2.9. Dosage de cuivre

Les résultats obtenus en ce qui concerne le dosage de cuivre dans les échantillons prélevés en station S1 & S2 à différents échéanciers sont enregistrés dans le tableau III.10 et illustrés sur la figure III.9.

Tableau III.10.Teneur en cuivre dans l'eau de l'oued Soummam

| N° Prélèvements | Concentration en Cuivre en (mg/L) | | | Normes [108 -109] |
|-----------------|-----------------------------------|--------|--------|------------------------------|
| | Stations | S1 | S2 | |
| | Date de prélèvement | | | |
| 1 | 15/03/2015 | 0,1310 | 0,1135 | NA : 0,5mg/L OMS :0,5mg/L |
| 2 | 29/03/2015 | 0,0981 | 0,0886 | |
| 3 | 12/04/2015 | 0,2421 | 0,2831 | |
| 4 | 26/04/2015 | 0,2306 | 0,2377 | |
| 5 | 10/05/2015 | 0,1126 | 0,2194 | |
| 6 | 24/05/2015 | 0,1168 | 0,2349 | |

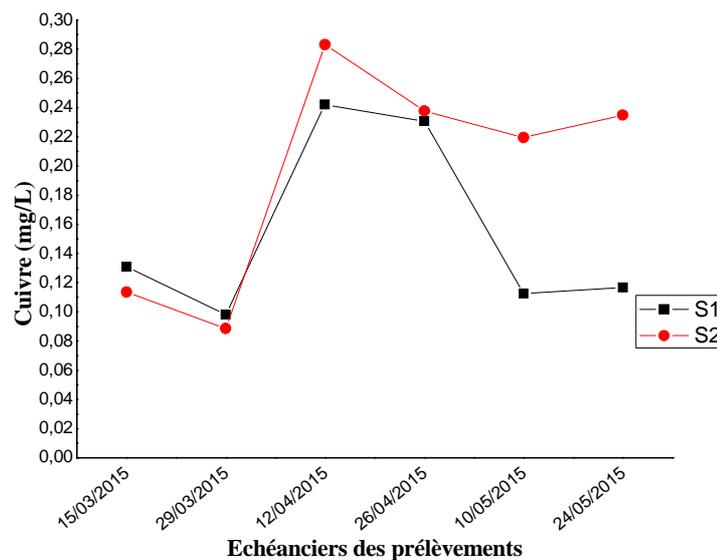


Figure III.9. Évolution de la concentration en cuivre de l'eau des différentes stations de l'oued Soummam en fonction des échéanciers des prélèvements

D'après les résultats rapportés dans le tableau III.10 ; les concentrations en cuivre varient de 0,0886mg/L à 0,2831mg/L, Ces valeurs sont conformes à la norme, car ses caractéristiques chimiques n'autorisent cependant pas l'existence de fortes concentrations dans les eaux naturelles. Elles sont donc plutôt d'origine anthropique.

Alors, les eaux de l'oued Soummam sont qualifiées de très bonne qualité vis-à-vis de la charge en cuivre. Ce dernier est utilisé dans les domaines de l'électricité et de la

métallurgie. Les sels de cuivre sont utilisés dans l'industrie de la photographie, les tanneries (fabrication de pigments), l'industrie textile, les traitements de surface (circuits imprimés, galvanoplastie, dépôts chimiques...). Il est également issu des traitements agricoles (fongicides).

III.1.2.10. Dosage du zinc

Les résultats obtenus en ce qui concerne le dosage du Zinc dans les échantillons prélevés en station S1 & S2 à différents échéanciers sont enregistrés dans le tableau III.11 et illustrés sur la figure III.10.

Tableau III.11. Teneur en zinc dans l'eau de l'oued Soummam

| N° Prélèvements | Concentration en zinc en (mg/L) | | | Normes [108 -109] |
|-----------------|---------------------------------|--------|--------|---------------------------|
| | Stations | S1 | S2 | |
| | Date de prélèvement | | | |
| 1 | 15/03/2015 | 0,7254 | 0,1851 | NA : 3mg/L OMS : 2mg/L |
| 2 | 29/03/2015 | 0,2729 | 0,6886 | |
| 3 | 12/04/2015 | 0,0660 | 0,3123 | |
| 4 | 26/04/2015 | 0,8151 | 0,2910 | |
| 5 | 10/05/2015 | 0,2331 | 0,1850 | |
| 6 | 24/05/2015 | 0,9859 | 1,0395 | |

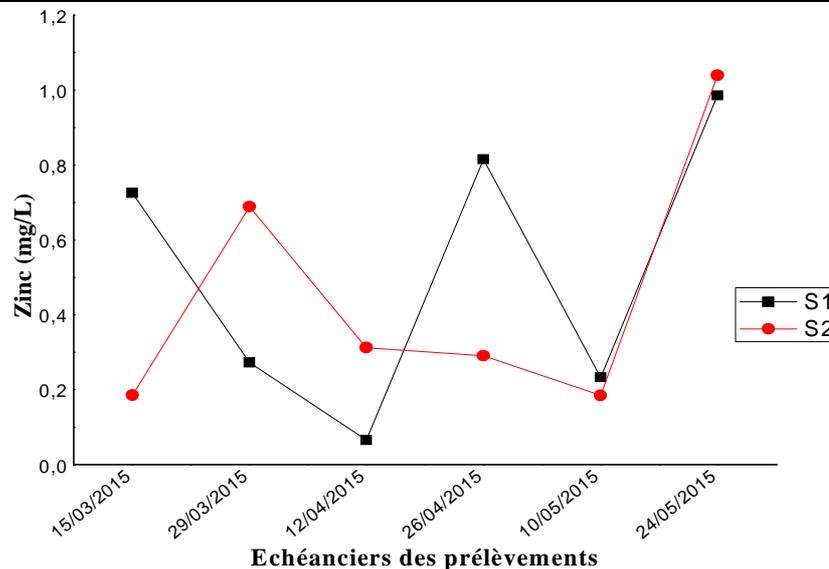


Figure III.10. Évolution de la concentration en zinc de l'eau des différentes stations de l'oued Soummam en fonction des échéanciers des prélèvements

D'après les résultats rapportés dans le tableau III.11, on remarque que les teneurs en zinc sont comprises entre 0,0660mg/L et 1,0395mg/L ; Ces valeurs sont conformes à la norme pour les deux stations. Donc les eaux de l'oued Soummam sont qualifiées de très bonne qualité vis-à-vis de la charge en zinc.

III.1.2.11. Dosage du cadmium

Les résultats obtenus en ce qui concerne le dosage du cadmium dans les échantillons prélevés en station S1 & S2 à différents échéanciers sont enregistrés dans le tableau III.12 et illustrés sur la figure III.11.

Tableau III.12. Teneur en cadmium dans l'eau de l'oued Soummam.

| N° Prélèvements | Concentration en cadmium en (mg/L) | | | Normes [108 -109] |
|-----------------|------------------------------------|--------|--------|-------------------------------|
| | Stations | S1 | S2 | |
| 1 | 15/03/2015 | 0,0012 | 0,0042 | NA : 0,2mg/L OMS : 0,2mg/L |
| 2 | 29/03/2015 | 0,0037 | 0,0038 | |
| 3 | 12/04/2015 | 0,0049 | 0,0109 | |
| 4 | 26/04/2015 | 0,0083 | 0,0111 | |
| 5 | 10/05/2015 | 0,0086 | 0,0097 | |
| 6 | 24/05/2015 | 0,0090 | 0,0120 | |

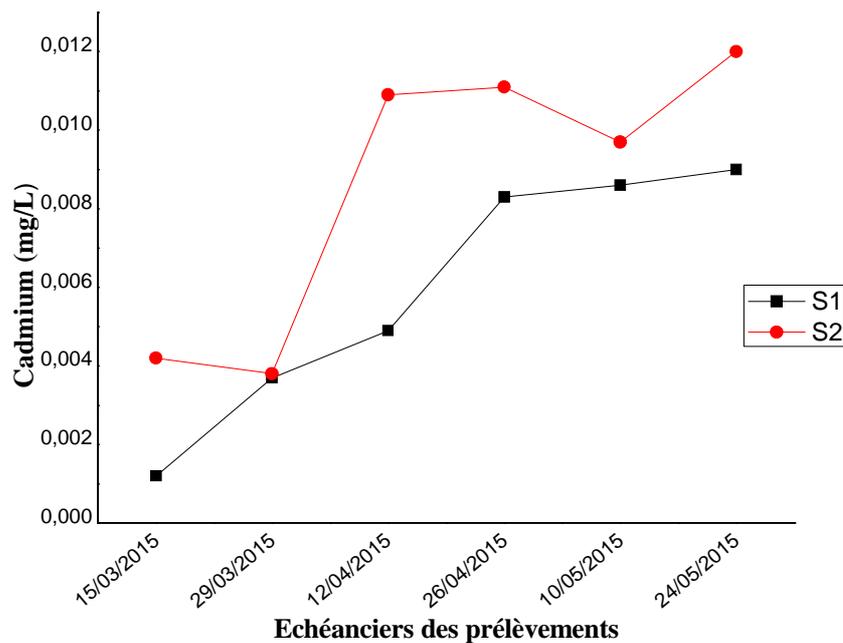


Figure III.11. Évolution de la concentration en cadmium de l'eau des différentes stations de l'oued Soummam en fonction des échéanciers des prélèvements

D'après les résultats rapportés dans le tableau III.12, la concentration en cadmium est inférieure à la norme. Donc les eaux de l'oued Soummam sont qualifiées de très bonne qualité vis-à-vis de la charge en cadmium. Le cadmium est un métal lourd peu répandu dans la croûte terrestre. Il se trouve pas à l'état élémentaire dans la nature, il est généralement présent dans les minerais de zinc ou de plomb, les rejets industriels liés à la métallurgie, au traitement de

surface, à la fabrication de céramique et à l'industrie des colorants, mais également à l'usure des pneumatiques sur les chaussées.

III.1.2.12. Dosage du plomb

Les résultats obtenus en ce qui concerne le dosage du plomb dans les échantillons prélevés en station S1 & S2 à différents échéanciers sont enregistrés dans le tableau III.13 et illustrés sur la figure III.12.

Tableau III.13. Teneur en plomb dans l'eau de l'oued Soummam

| N° Prélèvements | Concentration en plomb en (mg/L) | | | Normes [108 -109] |
|-----------------|----------------------------------|--------|--------|-----------------------------|
| | Stations | S1 | S2 | |
| | Date de prélèvement | | | |
| 1 | 15/03/2015 | 1,3548 | 1,3848 | NA : 1 mg/L OMS : 1 mg/l |
| 2 | 29/03/2015 | 1,3923 | 1,2821 | |
| 3 | 12/04/2015 | 1,4008 | 1,3629 | |
| 4 | 26/04/2015 | 1,3312 | 1,4030 | |
| 5 | 10/05/2015 | 1,3923 | 1,3001 | |
| 6 | 24/05/2015 | 1,2986 | 1,0395 | |

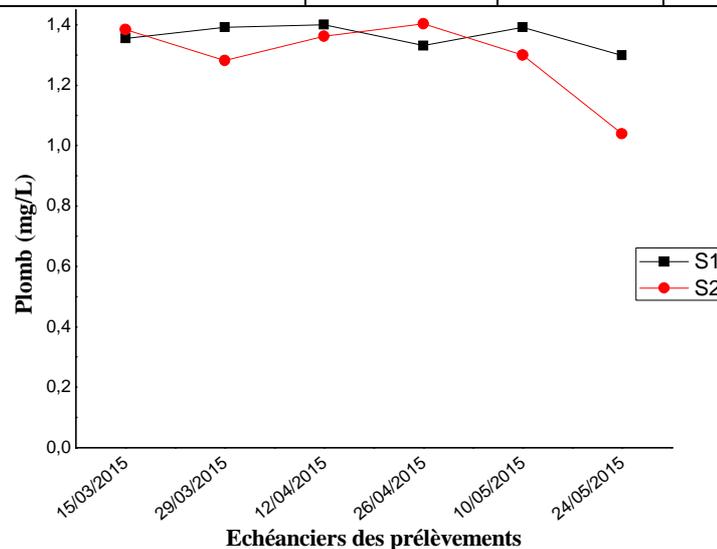


Figure III.12. Évolution de la concentration en plomb de l'eau des différentes stations de l'Oued Soummam en fonction des échéanciers des prélèvements

D'après les résultats rapportés dans le tableau III.13, on remarque que les teneurs en plomb sont comprises entre 1,2821mg/L et 1,4030mg/L. Dans les deux stations les valeurs dépassent largement la norme ; cela peut être justifié par le fait que le plomb est le métal le plus répondu et est largement utilisé dans l'industrie sur le territoire de la wilaya (l'imprimerie, la métallurgie, l'industrie des batteries, les soudures dans l'industrie

électronique) et surtout le trafic routier. Tous ces paramètres engendrent directement la pollution des eaux de l'oued Soummam en plomb.

En conclusion, les résultats obtenus de caractérisation des eaux de l'oued Soummam à travers l'étude des paramètres régissant la qualité des eaux résiduaires (deux stations de prélèvement à différents échéanciers) révèlent une pollution de ces eaux. À cet effet, et pour la suite de notre étude, nous proposons la décontamination de eaux de l'oued du plomb par utilisation du procédé d'adsorption sur une argile à savoir la bentonite.

III.2. DISCUSSIONS DES RESULTATS DES TESTES D'ADSORPTION

Au cours de cette étude nous étudierons l'adsorption des ions Pb^{2+} contenus dans les eaux de l'oued Soummam par un adsorbant qui est une argile naturelle activée extraite de Maghnia (Tlemcen) à savoir la bentonite.

En premier lieu, nous étudierons l'influence de certains paramètres sur les quantités des ions Pb^{2+} adsorbés par la bentonite.

En deuxième lieu, nous étudierons la cinétique d'adsorption des ions Pb^{2+} par l'adsorbant, ainsi que la modélisation des isothermes d'adsorptions.

III.2.1. Effet du temps de contact

Le temps de contact a une grande influence sur l'adsorption du plomb par l'adsorbant, car il nous permet de déterminer la durée nécessaire pour atteindre l'équilibre, et pour mieux délimiter dans un premier temps l'existence d'une adsorption par les matériaux étudiés. On doit fixer par la suite une valeur optimale, afin de discuter les autres paramètres pour la suite de nos expériences.

Pour cela, nous avons suivi la cinétique d'adsorption du plomb de différentes concentrations initiales à savoir : 1,3548mg/L ; 1,3848mg/L ; 1,3923mg/L ; 1,403mg/L ; et 1,4008 mg/L en contact avec une masse de 0,1g de bentonite.

Les résultats obtenus sont regroupés dans la figure III.15 qui représente la quantité adsorbée des ions Pb^{2+} en fonction du temps pour les différentes concentrations.

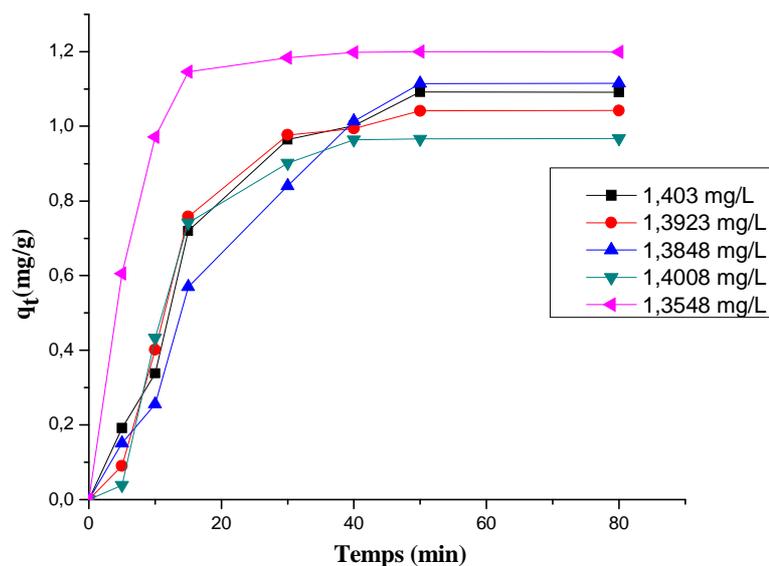


Figure III.15. Évolution de la quantité du plomb adsorbée en fonction du temps de contact pour différents concentration ($m=0,1$ mg/L ; $w=200$ tr/min).

L'analyse de la courbe ci-dessus montre que l'adsorption des ions Pb^{2+} par l'adsorbant évolue rapidement pendant les 25 premières minutes, suivie d'une diminution au cours du temps jusqu'à atteindre la saturation à la 50^{ème} minute, cela signifie que le temps d'équilibre est de 50 min.

L'évolution rapide de la cinétique d'adsorption pendant les 25 premières minutes peut être expliquée par la disponibilité d'un nombre important de sites actifs à la surface du matériau au début du processus d'adsorption. Et la diminution de la vitesse d'adsorption au cours du temps est due à l'occupation des sites encore vacants et à l'apparition des forces de répulsion entre les ions Pb^{2+} adsorbés par le matériau et celles des autres ions qui se trouvent en solution.

III.2.2. Etude de l'influence de quelques paramètres sur l'adsorption des ions Pb^{2+}

Pour mettre en évidence l'influence de certains paramètres susceptibles d'affecter le processus d'adsorption, nous avons varié successivement la vitesse d'agitation, le pH, la masse de l'adsorbant, et la température.

III.2.2.1. L'influence de la vitesse d'agitation

La vitesse d'agitation joue un rôle important dans le transfert des molécules de soluté vers l'adsorbant. Il est donc intéressant d'étudier ce paramètre.

Pour étudier l'influence de la vitesse d'agitation sur la quantité des ions Pb^{2+} adsorbés, on a mis en contact 100 ml de l'eau d'oued Soummam à une concentration initiale de 1,4030 mg/L en plomb avec une masse de 0,1g d'adsorbant à la température ambiante ($T=25^{\circ}C$) et un $pH=7,78$, la vitesse d'agitation a été variée de 200 à 1000 tours/min. La figure III.16 représente la quantité de plomb adsorbée en fonction de la vitesse d'agitation.

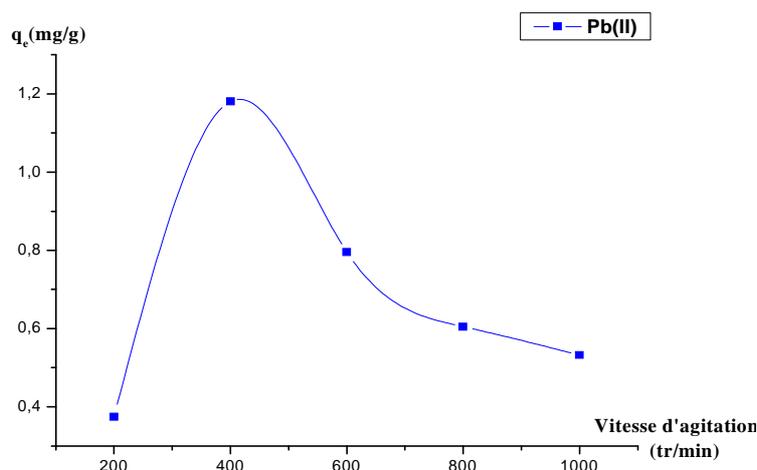


Figure III.16. Influence de la vitesse d'agitation sur la quantité adsorbée ($C_i = 1,403$ mg/L, $m = 0,1$ mg/L, $T = 25^{\circ}C$).

D'après les résultats illustrés sur la figure III.16, on remarque une faible quantité adsorbée, observées pour la vitesse d'agitation inférieures à 400 tr/min, est due à une mauvaise dispersion des particules de la bentonite ce qui a pour conséquence de diminuer la surface d'échange entre l'adsorbant et la solution contenant les ions Pb^{2+} .

La vitesse d'agitation adéquate est estimée à 400 tr/min. mais après cette dernière la quantité adsorbée diminue. En revanche, quand la vitesse d'agitation est supérieure à 400 tr/min, il y'a formation de grands tourbillons au sein de la solution, ce qui réduit le contact adsorbant-adsorbat.

III.2.2.2. Influence du pH

Le pH est un facteur important dans toute étude d'adsorption. Il peut conditionner à la fois la charge superficielle de l'adsorbant ainsi que la structure de l'adsorbat. Cette grandeur caractérise les eaux, et sa valeur dépendra de l'origine de l'effluent. La technique de traitement à adopter dépendra fortement de la valeur du pH.

Pour étudier l'influence du pH sur les cinétiques d'adsorption du plomb par la bentonite, nous avons choisi les pH suivants : 2, 4, 6, 8 et 10. La figure III.17 représente la quantité de plomb adsorbée en fonction du pH.

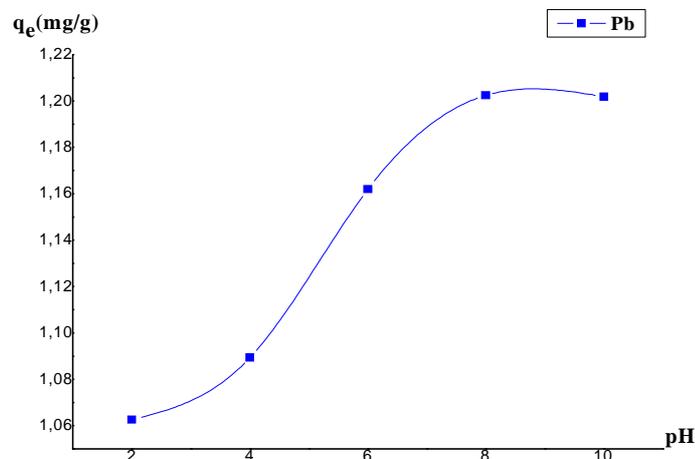


Figure III.17. Influence de la variation du pH sur la quantité adsorbée

($C_i=1.408$ mg/L, $m=0,1$ mg/L, $w= 200$ tr/min, $T=25^\circ\text{C}$).

D'après la figure (III.17), On peut remarquer que le pH a une grande influence sur la quantité adsorbée. L'analyse de ces résultats montre que la quantité du Pb^{2+} adsorbé sur la bentonite augmente avec l'augmentation du pH. L'élimination du Pb^{2+} est faible à pH inférieur à 4, car il y a compétition entre les ions du plomb et les protons H^+ provenant d'acide, ce sont les H^+ qui sont fixés préférentiellement, quand le pH se situe dans l'intervalle [4-8], la quantité de Pb^{2+} éliminée de la solution croît rapidement, et atteint un maximum qui

correspondant à 1,20 mg/g. Cela peut s'expliquer par la diminution de la concentration en ion H^+ , ce qui favorise l'adsorption du Pb^{2+} sur la bentonite, ainsi que le domaine de spéciation du plomb.

III.2.2.3. Influence de la masse d'adsorbant

Pour étudier l'influence de la masse d'adsorbant sur la fixation du plomb, des essais ont été menés sur des masses variantes dans l'intervalle allant de 0,2 à 1,2 g/L. Les autres paramètres sont maintenus constants, En représentant la quantité adsorbée en fonction de la masse d'adsorbant (Figure III.18).

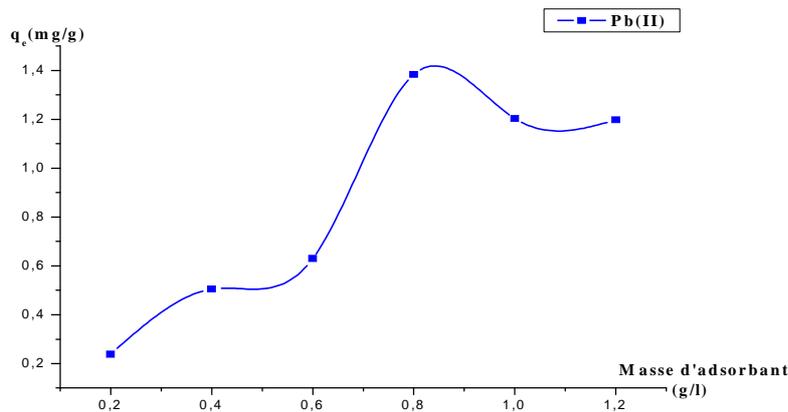


Figure III.18. Effet de la masse d'adsorbant sur la quantité adsorbée
($C_i=1.403$ mg/L, $T=25^\circ C$, $w= 200$ tr/min).

D'après les résultats illustrés sur la figure III.19 nous avons constaté que la quantité du plomb adsorbée croît avec la quantité d'adsorbant introduite, ce résultat s'explique par l'augmentation de la surface de contact offerte par l'adsorbant. Cependant on remarque que la quantité adsorbée atteint approximativement une valeur de 1,4 mg/g pour une masse de 0,8 g/L. Cette masse d'adsorbant est considérée comme masse optimale.

III.2.2.4. Effet de la température

Bien que l'influence de la température sur l'adsorption a été étudiée soigneusement, aucune loi universelle n'a été cependant trouvée. En effet, une augmentation de la température peut entraîner soit une augmentation soit une diminution de la quantité adsorbée.

Pour étudier l'effet de la température sur la cinétique d'adsorption du plomb par la bentonite, nous avons choisi les températures suivantes : 25, 35, 45, 55°C.

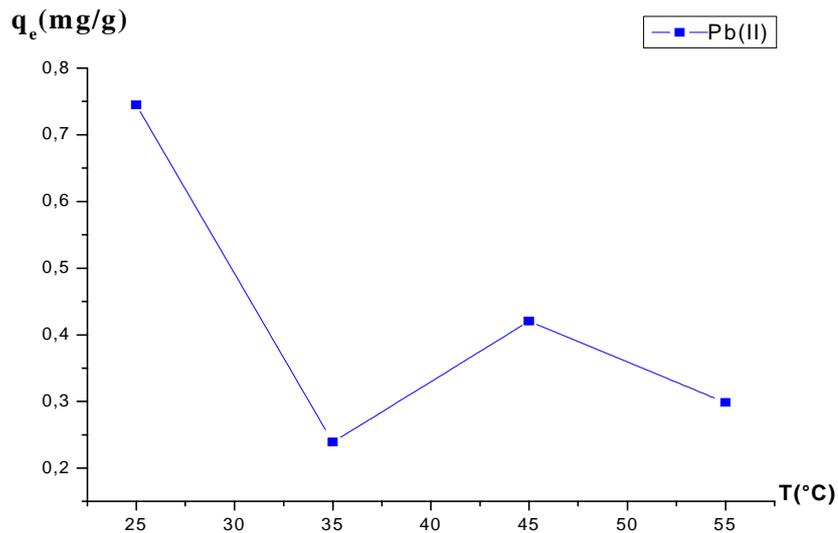


Figure III.19. Influence de la température sur la quantité adsorbée
($C_i=1,403$ mg/L ; $m=0,1$ mg/L ; $w= 200$ tr/min).

D'après la figure III.19, il ressort que le maximum d'adsorption (quantité adsorbée) sur la bentonite est obtenu à 25°C ; température ambiante.

III.2.3. Modélisation des isothermes d'adsorption

Pour la modélisation de l'isotherme d'adsorption obtenue, nous avons choisi deux modèles, celui de Langmuir et de Freundlich, caractérisant la formation d'une monocouche. Cette modélisation nous permet de déterminer la capacité maximale d'adsorption.

L'étude de l'isotherme d'adsorption des ions plomb sur la bentonite, est examinée par deux modèles : l'isotherme de Langmuir et l'isotherme Dubinin-Radushkevich.

III.2.3.1. Modèle de Langmuir

La modélisation des isothermes d'adsorption du plomb sur la bentonite par le modèle de Langmuir a été réalisée suivant la forme linéaire $C_e/q_e = f(C_e)$.

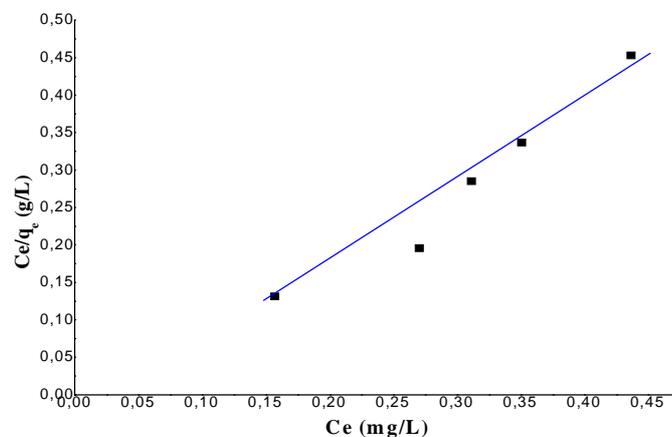


Figure III.20. Modélisation des résultats expérimentaux par le modèle de Langmuir
($T=25^\circ\text{C}$, $m=0,1$ g ; $w=200$ tr/min)

La figure III.20 montre que ce modèle décrit parfaitement le processus d'adsorption des ions Pb^{2+} par la bentonite. La droite obtenue par régression linéaire permet de calculer la quantité de Pb^{2+} nécessaire pour couvrir la surface d'un gramme de bentonite d'une couche mono moléculaire de Pb^{2+} (q_m) ainsi que la constante de Langmuir (K_L) qui sont présentés dans le tableau III.19.

Tableau III.19. Valeurs des paramètres de l'équation de Langmuir

| Adsorbant | T (°C) | q_m (mg/g) | K_L (l/mg) | R^2 |
|-----------|--------|--------------|--------------|-------|
| Bentonite | 25°C | 1,06 | 0,01 | 0,908 |

Le tableau III.20 ci-dessus montre que la valeur de K_L est inférieure à un, ce qui signifie que l'adsorption des ions Pb^{2+} sur l'adsorbant est favorable, ainsi que la valeur de q_m confirme l'affinité d'adsorption du plomb sur la bentonite.

III.2.3.2. Modèle de Dubinin-Radushkevich

Le modèle de Dubinin-Radushkevich n'adopte pas l'hypothèse d'une surface homogène ou d'un potentiel d'adsorption constant, comme le modèle de Langmuir, La modélisation des isothermes d'adsorption du plomb sur la bentonite par ce modèle a été réalisée suivant la forme linéaire $\ln q_e = f(\ln(C_s/C_e)^2)$.

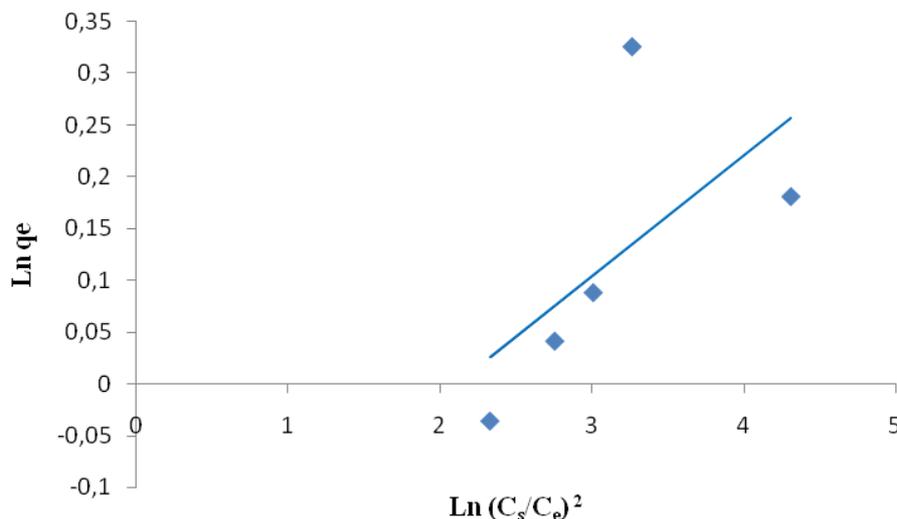


Figure III.21. Modélisation des résultats expérimentaux par le modèle Dubinin-Radushkevich (T=25°C, m=0,1g ; w=200tr/min)

Les résultats de l'essai de modélisation de l'isotherme d'adsorption par la bentonite selon le modèle de Dubinin-Radushkevich sont montrés sur le tableau III.21 et la Figure III.20.

Tableau III.20. Valeurs des constantes de Dubinin-Radushkevich.

| Adsorbant | T (°C) | q_m (mg/g) | K_D | E (KJ/mol) | R^2 |
|-----------|--------|--------------|---------------------|------------|-------|
| Bentonite | 25 | 0,99 | $7,9 \cdot 10^{-5}$ | 175,21 | 0,38 |

La capacité d'adsorption maximale obtenue par le modèle de Dubinin- Radushkevich (D-R) est inférieure à celle obtenue par le modèle de Langmuir. Le coefficient de corrélation est faible, la constante K_D de Dubinin-Radushkevich est différente de celle de Langmuir.

Le modèle de Langmuir nous a permis de conclure que l'adsorption est favorable, grâce aux valeurs calculées de k_L (compris entre 0 et 1).

III.2.4. Modélisation de la cinétique d'adsorption

Les isothermes d'adsorption permettent d'étudier le comportement à l'équilibre des ions de plomb et de recueillir des renseignements sur les réactions mises en jeu lors de l'adsorption, il s'avère nécessaire d'étudier également les cinétiques des réactions afin de déterminer le temps nécessaire pour atteindre cet équilibre. C'est, en effet, un paramètre indispensable dès lors que l'on veut utiliser le système à plus grande échelle, notamment dans un cadre industriel.

La cinétique d'adsorption des ions Pb^{2+} sur l'adsorbant a été étudiée afin de déterminer l'étape limitante. Pour ce faire, un modèle de premier et second ordre ont été testés.

III.2.4.1. Modèle cinétique du premier et second ordre

Les figures III.22 et III.23 donnent les résultats obtenus en utilisant les modèles de 1^{ère} ordre et 2^{ème} ordre, respectivement, à différentes concentrations initiales en Pb^{2+} . Les résultats concernant la constante de vitesse k et la quantité adsorbée à l'équilibre (q_e (Cal)) ainsi que les coefficients de corrélations (R^2) des droites obtenues sont consignés dans le tableau III.21.

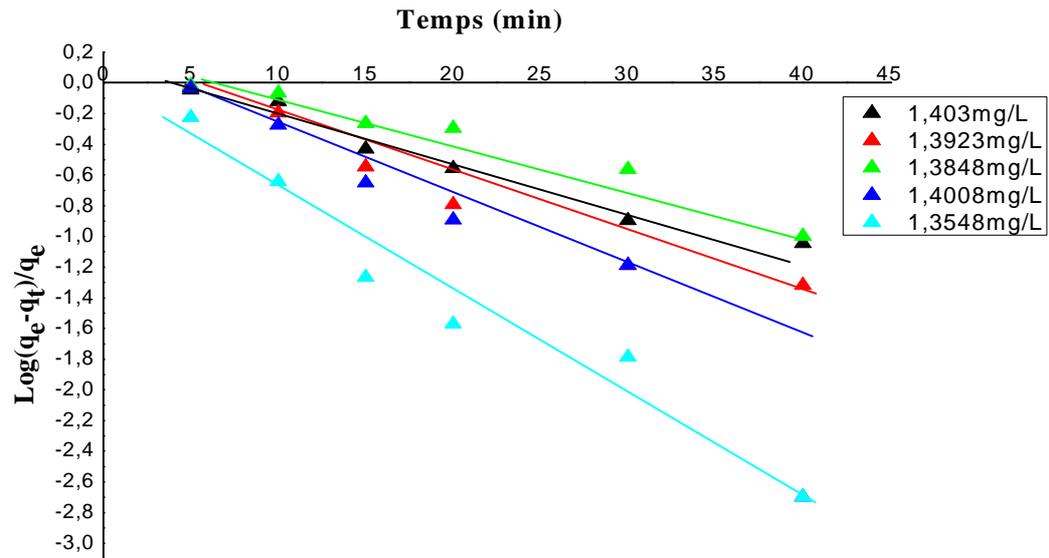


Figure III.22. Représentation graphique selon le modèle du pseudo premier ordre pour l'adsorbant « bentonite » à T=25°C.

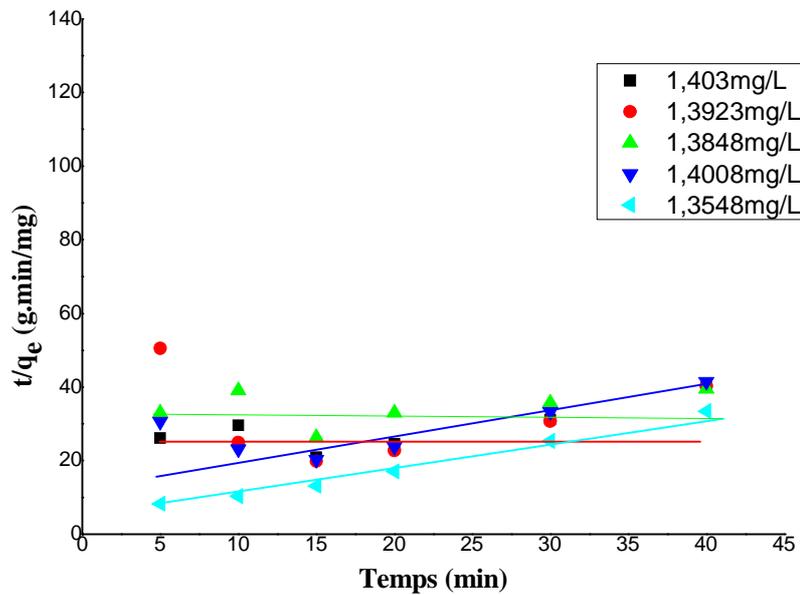


Figure III.23. Représentation graphique selon le modèle du pseudo second ordre pour l'adsorbant « bentonite » à T=25°C.

Tableau III.21. Constantes de vitesse k et quantité adsorbées à l'équilibre ($q_{e\text{ cal}}$) du plomb sur l'adsorbant des modèles cinétiques premiers et seconds ordres.

| | Adsorbant | Concentration (mg/l) | K (g.mg ⁻¹ .min ⁻¹) | q_e (exp) (mg/g) | q_e (cal) (mg/g) | R ² |
|----------------|-----------|-------------------------|---|-----------------------|-----------------------|----------------|
| Première ordre | Bentonite | 1,3548 | 0,15 | 1,19 | 1,13 | 0,95 |
| | | 1,3848 | 0,056 | 1,11 | 1,35 | 0,96 |
| | | 1,3923 | 0,089 | 1,04 | 0,78 | 0,95 |
| | | 1,4008 | 0,160 | 0,96 | 0,36 | 0,92 |
| | | 1,4030 | 0,07 | 1,09 | 1,81 | 0,97 |
| Deuxième ordre | Bentonite | 1,3548 | 0,015 | 1,19 | 1,25 | 0,99 |
| | | 1,3848 | 0,019 | 1,11 | 1,44 | 0,79 |
| | | 1,3923 | 0,018 | 1,04 | 1,51 | 0,49 |
| | | 1,4008 | 0,014 | 0,96 | 1,54 | 0,54 |
| | | 1,4030 | 0,016 | 1,09 | 1,20 | 0,95 |

III.2.4.2 .Modèle de diffusion interne ou intraparticulaire

L'application du modèle de diffusion intraparticulaire en portant la quantité des ions Pb^{2+} adsorbés par la bentonite en fonction de $t^{1/2}$, a permis d'obtenir la figure III.24.

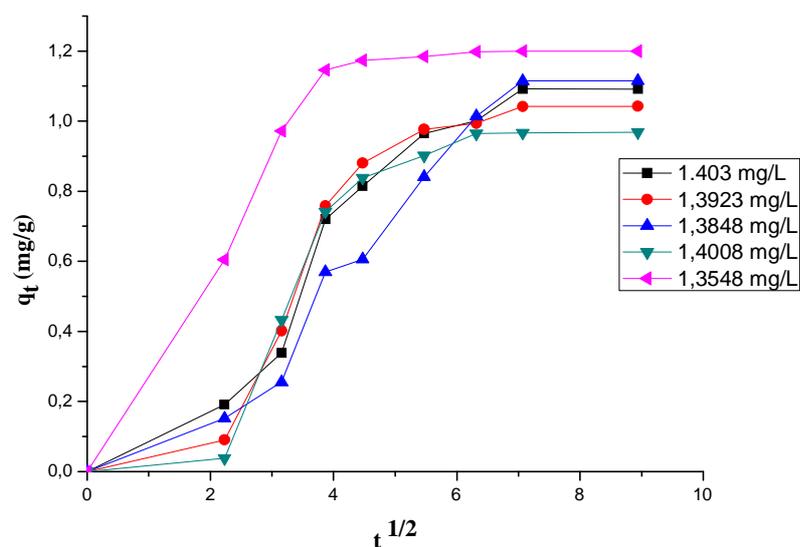


Figure III.24. Représentation graphique selon le modèle intraparticulaire pour les différentes concentrations par la bentonite à $T=25^{\circ}\text{C}$.

Tableau III.22. Constantes de vitesse k du modèle de diffusion intraparticulaire obtenues à différentes concentrations initiales en plomb.

| | Adsorbant | Concentration (mg/l) | K (g.mg⁻¹.min^{-1/2}) | R² |
|--|------------------|---------------------------------|---|----------------------|
| Diffusion intraparticulaire | Bentonite | 1,3548 | 0,13 | 0,51 |
| | | 1,3848 | 0,16 | 0,89 |
| | | 1,3923 | 0,13 | 0,71 |
| | | 1,4008 | 0,12 | 0,66 |
| | | 1,4030 | 0,13 | 0,80 |

D'après les résultats obtenus indiqués sur le tableau III.22, III.23, nous remarquons que le modèle de pseudo premier ordre est la plus fiable pour déterminer l'ordre de cinétique d'adsorption du plomb par la bentonite.

De même et d'après les valeurs de q_e montrées sur le tableau III.22, on remarque que cette valeur calculée par le modèle de pseudo première ordre est proche à celle déterminée expérimentalement ce que justifié encore que la cinétique d'adsorption du plomb utilisé par la bentonite est de pseudo première ordre.

CONCLUSION GENERALE

Au terme de ce travail les conclusions suivantes sont tirées :

1. La caractérisation physico-chimique a révélé que l'eau de l'oued Soummam au niveau des quatre stations étudiées présente une pollution accrue et la majorité des paramètres mesurés ne sont pas conformes aux normes exigées.
2. L'oued Soummam subit une pollution beaucoup plus organique suite au volume important des eaux usées urbaines et industrielles déversées en son sein. On signale aussi l'inexistence de métaux sauf le plomb dans l'eau des deux stations lors de nos prélèvements.
3. L'eau de l'oued au niveau des deux points de prélèvements est inapte à l'usage et constitue une menace sur l'environnement et la santé des riverains.
4. Les résultats d'analyses obtenus montrent que l'eau prélevée au niveau de la 2ème station est la plus affectée et cela en raison de quantité importante en eau usée domestique (18000 m³/j) ainsi qu'au volume élevé d'effluents industriels déversés en amont de cette station.
5. L'équilibre est atteint assez rapidement, le pH a une grande influence sur la rétention. L'effet de la dose d'adsorbant, la vitesse d'agitation et la température ont été aussi examinés.
6. L'étude de la cinétique de rétention montre que cette dernière est réellement conforme à une cinétique du premier ordre. Cela est clairement confirmé par les valeurs des facteurs de corrélation.
7. L'étude de l'isotherme d'adsorption du plomb sur la bentonite a révélé une bonne adsorption avec des isothermes d'adsorption de modèle de Langmuir et Dubinin-Radushkevich.

RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] Agence de l'eau, l'assainissement de l'agglomération, Technique d'épuration actuelles et évaluation étude inter agence, France, Avril 1994.
- [2] Anonyme. SAETI : offre pour l'étude de la R.N.26 sur 63km, 1997.
- [3] G.GROSCLAUDE, L'eau : usages et polluants, Volume 2 (institut national de la recherche agronomique), édition QUAE, p 30-33, 1999.
- [4] G. CRINI, P-M BADOT, Traitement et épuration des eaux industrielles polluées : procédés membranaires, bioadsorption et oxydation chimique, Éditeur : Presses Univ. Franche-Comté, p18-22, France, 1999.
- [5] F. RAMADE, Introduction à l'écochimie : Les substances chimiques de l'écosphère à l'homme, Lavoisier, p 502, 2011.
- [6] B-GONDARD FRANÇOISE, L'assainissement des eaux usées, dossier d'experts, éditions techni .cités, p5, 2003.
- [7] FAO., Rapport de la première session du groupe de travail sur la pollution et les pêches, Food & agriculture Org.1986, Ghana, 16-20, p32. juin1986.
- [8] P. BEHRA., chimie et environnement, cours, étude de cas et exercices corrigés édition Dunod, P. 89-168, Paris, 2013.
- [9] J. B. LEROY, La pollution des eaux, 4^e édition, Presses Universitaires de France, Paris, France, 1999.
- [10] M.RADOUX, D.CADELLI, M.NEMCOVA, D.KEMP, D .KLAESSEN, Qualité et traitement des eaux. Belgique : Fondation universitaire Luxembourg, 1995.
- [11] C.PAREDES, J.CEGARRA , A.ROIG, M.A. SANCHEZ-MONEDERO, M.P BERNAL., Characterization of olive mill wastewater (alpechin) and its sludge for agricultural purposes. Bioresour Technol, p11– 5,1999.
- [12] U.THOMAZEA, GUERIN, Environnement Tome 1. Paris : ENTPE, 1985.
- [13] P.W. Atkins, L. Jones, Chimie : molécules, matière, métamorphoses, De Boeck Supérieur , p446-447,1998.
- [14] D.GOUJONS,La pollution des milieux aquatiques, aide-mémoire ,2^{ème} édition, Gauthier Villards ,Paris, p275,1995.

- [15] G. CRINI, P.M. BADOT, Traitement et épuration des eaux industrielles polluées : procédés membranaires, bio adsorption et oxydation chimique, Presses Univ. Franche-Comté, p52, 2007.
- [16] OECD , Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2050 Les conséquences de l'inaction: éditeur : OECD Publishing, p 425 ,2012.
- [17] BERNE ,BOUCHARD, BOURGUIGNAT ,FRANQUIN, Les traitements des eaux dans l'industrie pétrolière, Ecole nationale supérieure du pétrole et des moteurs, volume 24 de colloques et séminaires publications de l'institut français du pétrole Rueil-malmaison, france, Editions TECHNIP, Collaborateur : Ecole nationale supérieure du pétrole et des moteurs, p207 ,France, (1972).
- [18] Bulletin signalétique : Hydrologie, géologie de l'ingénieur, formations superficielles, Volume 39, Collaborateur : France. Bureau de recherches géologiques et minières, Éditeur : Centre de documentation, p 68-73,1978.
- [19] J. W. KIJNE, Déverrouiller le potentiel de l'eau en agriculture ,Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, éditeur : Food & Agriculture Org.p 46-48, 2003.
- [20] J. PELOUZE, E. FREMY, Traité de chimie générale, analytique, industrielle et agricole: Chimie inorganique II ,p 600- 640, Volume 2, édition :3,éditeur : Victor Masson et Fils, , p59-61, 1861.
- [21] P .PAGA, Distribution des contaminants métalliques en zones côtières, soumises à des apports d'eau d'assainissement, Master 2, Université de sud Toulon Val, p 63, 2009.
- [22] C. BOCARD, Marées noires et sols pollués par des hydrocarbures : enjeux environnementaux et traitement des pollutions Institut français du pétrole publications, Éditions TECHNIP, 2006 .
- [23] J. ANDRÉ HERTIG, Etudes d'impact sur l'environnement, Volume 23 de Traité de génie civil de l'École polytechnique fédérale de Lausanne , PPUR presses polytechniques, p.509-510, 2006.
- [24] H. CAVAILLÈS, La pollution des eaux marines par les hydrocarbures des motorships et des usines, Annales de Géographie, Bretagne , vol. 45, n° 255, p.303-306,1936.
- [25] J. M. STELLMAN , A. VIROT, Encyclopédie de sécurité et de santé au travail, Volume 2, International Labour Organization, 4838 pages, 2000.

- [26] R. CALVET ,Les pesticides dans le sol: conséquences agronomiques et environnementales Référence scientifique, ISSN 1765-7318, France Agricole Editions, p.6-51, 2005.
- [27] F.BERNE et J.CORDONNIER ,Traitement des eaux, Éditions TECHNIP PARIS, p.32-34, 1991.
- [28] A. MEYER, J. DEIANA, A. BERNARD , Cours de microbiologie Générale :avec des problèmes et exercices corrigés Biosciences et techniques, ISSN 1264-1065 éditeur : Wolters Kluwer France, p 236-237, 2004.
- [29] G.P. MARTINEAU , Maladies d'élevage des porcs Manuel pratique, auteur , éditeur : France Agricole Editions, p479, 1997.
- [30] M. BERNARD, Cours de chimie minérale, 2ème édition DUNOD ,Paris , France,1994,.
- [31] L.Sigg , W.Stumm, P. Behra, Chimie des milieux aquatiques. Chimie des eaux naturelles et des interfaces dans l'environnement. Edition MASSON, p391, Paris,France, 1992.
- [32] J. L. Lassaigne, Abrégé élémentaire de chimie 2ème édition « Béchét jeune » Tome I , 1836.
- [33] D. CALAMARI, food and agriculture organization of the united nations, COMITÉ DES pêches continentales pour l'afrique, Revue de la pollution dans l'environnement Aquatique africain Volume 25 de Document technique du CPCA, Food & Agriculture Org., p.38 , 1994.
- [34] OECD ,Indicateurs nvironnementaux pour l'agriculture Méthodes et résultats .Volume 3, éditeur :OECD publishing , p.440, 2001.
- [35] C. RAIFFAUD , Produits « bio » : de quelle qualité parle-t-on , Références (Dijon) Educagri Editions, p.192, 2001.
- [36] P. GOUDET, A. KOWALSKI , Physique et chimie : 1^{er} et terminale bac pro. Educagri Editions,p.288 , 2011.
- [37] D. CHAPMAN , Water quality assessments et fnspn second édition. (UNESCO/WHO/UNEP), 1996.
- [38] J. EMSLEY, Les éléments chimiques, 2^{ème} édition Polytech ,1993.
- [39] P.HARRY , A. CAUBET , G.DURAND ,C. MATHIEU ,j. MARIONNEAU , Y.MAURAS , P.ALLAIN -Intoxications aiguës par inhalation de chlorures de Zinc et d'aluminium (12 observations). J.Toxicol. Clin ,1989.
- [40] S.PRASADA, Essentially and toxicity of Zinc - scand.J.Work.Env.Health, 19, Suppl.1, 134, 1993.

- [41] P. ROBERT , S. LAUWERY, Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles, Masson, p 961, 2003.
- [42] C.D.HEBERT, M.R.ELWELL, G.S.TRAVLOS, C.J.FITZ, J.R .BUCHER, Subchronic toxicity of cupric sulfate administered in drinking mater and feed to ratsand mice. Fund. Appl. Toxicol,p 461, 1993.
- [43] E.HOSOVSKI, A.VIAKOVIC, D.J.SUNDERIC, Kidney injuries due to inhalation of copper dust and fumes- Abstracts 23 rd, International Congress on Occupational Health- Montréal, 1990.
- [44] V.RIIHIMAKI Cadmium, occurrence and effects - Work. Environ. Health, p9-91, 1972.
- [45] L.LUBOMIR I. SIMEONOV, Environmental Heavy Metal Pollution and Effects on Child Mental Development: Risk Assessment and Prevention Strategies NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security, Edition Springer Science & Business Media, p344, 2010.
- [46] M. BOISSET, J.F. NARBONNE, Le cadmium dans l'alimentation Collection Santé publiqueProtection sanitaire du consommateur, Éditeur : Council of Europe, ISBN :9287128774, 9789287128775,p 32,1995.
- [47] J. STAESSEN, J.P. BUCHET, R. LAUWERYS, H.ROELS, L.THIJS, R.FAGARD - Environmental cadmium pollution and public health, the Belgian experience- Arch. Public Health 53,9, édition. Masson, 1995.
- [48] U.S. National Committee for Geochemistry. Panel on the Geochemistry of Water in Relation to Cardiovascular Disease , Geochemistry of Water in Relation to Cardiovascular Disease Volume 2884 de Publication. National Research Council ; éditeur : National Academies, p 9,1979.
- [49] C. REIMANN, P. DE CARITAT, Science of the Total Environment,
- [50] W.E.H.O.Horak, A.Mentler, MP.uschenreiter , article de Environment and ecological chemistry , vol.II, Trace element, p 91.107, 2005.
- [51] J. M. STELLMAN, Encyclopédie de sécurité et de santé au travail, Volume 2, , International Labour Organization, pages 4838, 2000.
- [52] BICOCCHI, Les polluants et les techniques d'épuration des fumées, Lavoisier, p 70.72, 2009.
- [53] J. DAVIS , Nickel, Cobalt, and Their Alloys, ASM specialty handbook, editor: ASM International, p3-55, 2000.

- [54] G. Sparrow., Nickel Elements (Benchmark Books) The Elements , Marshall Cavendish , , p 4-30, 2004.
- [55] J. GIRARDIN, H. LECOQ, Éléments de minéralogie appliquée aux sciences chimiques, Volume 1, édition Thomine, p 397-399.
- [56] A. F. FOURCROY, Systèmes des connaissances chimiques et de leurs applications aux phénomènes de la nature et de l'art, p128-129, 2011.
- [57] C. J. B. KARSTEN, Manuel de la métallurgie du fer, Volume 1 Manuel de la métallurgie du fer, Carl Johann Bernhard Karsten ; 2 édition , 2007.
- [58] J. PERCY, E. PETITGAND, A. RONNA, Traité complet de métallurgie: cuivre et zinc, première partie: propriétés physiques et chimiques; minerais et métaux étrangers; essais; méthodes de traitement; laiton; doublage des navires, Librairie polytechnique de Noblet et Baudry, p12-13, 1867.
- [59] J. BRIANT, Phénomènes d'interface, agents de surface: principes et modes d'action, Publications de l'Institut français du pétrole. , Editions Technip, 6, p 340, 1989.
- [60] N . BOUZIANE , Élimination du 2-mercaptobenzothiazole par voie photochimique et par adsorption sur la bentonite et le charbon actif en poudre, Thèse de magister de l'université Mentouri de Constantine-Algérie, 2007.
- [61] S.MAGALI , Spéciation du Cadmium, du Plomb et du Zinc dans les poussières d'émissions atmosphérique d'origine sidérurgique, Université Paul Cézanne aix-Marseille III.France, 2007.
- [62] M. SUZUKI , Adsorption engineering. Elsevier, 1990.
- [63] A.SLASLI M, Modélisation de l'adsorption par les charbons microporeux : Approches théorique et expérimentale , Université de Neuchatel, 2002.
- [64] D.SHRIVER, P. WILLIAM ATKINS, Chimie inorganique,2001.
- [65] M.CREANGA, Procédé AD-OX d'élimination de polluants organiques non biodégradables (par adsorption puis oxydation catalytique), Thèse Doctorat, l'institut National Polytechnique de Toulouse, 2007.
- [66] D. C. N. STATTFIELD, Heterogenous catalysis in practice ;cours dispensé au Massachusset institut of technology, 1978.
- [67] M.CHARLFSWORTH JOHN, Interactions of Clay minerals with organic nitrogen compounds realised by Kerogenpyrolysis Geochim. cosmochimi, arta, Vol.50 ; N°7, p1431-1435,1968.

- [68] C. ABDELOUAHAB, H. AIT AMA, Fixation sur des argiles bentonitiques d'ions métalliques dans les eaux résiduaires, Revue. Int. Sci de l'Eau, vol 3, p 33-40,1987.
- [69] N. NABILE, Etude de l'adsorption de micropolluants organiques sur la bentonite, 2007.
- [70] H. ROQUES, Fondements théoriques du traitement chimique des eaux. Vol I, Techniques et documentations, Lavoisier, Paris, 1990.
- [71] B.NOUZHA ,Élimination du 2-mercaptobenzothiazole par voie photochimique et par adsorption sur la bentonite et le charbon actif en poudre, 2007.
- [72] V. LENOBLE, Élimination de l'arsenic pour la production de l'eau potable : Oxydation chimique et adsorption sur des substrats solides innovants, Thèse de doctorat, université de Limoge, 2003.
- [73] S.MUFAZZAL, M. MUNIR AHMED , Retention, kinetics and thermodynamics profile of cadmium adsorption from iodide medium onto polyurethane foam and its separation from zinc bulk. Analytica Chimica Acta, p 289–297, 2004.
- [74] S.LAGERGEN, About the theory of so-called adsorption of soluble substances. Vetenskapsakad. Handbook, 24. 1898.
- [75] J. PERRIER . Défense contre les eaux nuisibles de l'oued Soummam, Mémoire préliminaire. Compte rendu, Paris, 1964.
- [76] ANONYME, SAETI : Offre pour l'étude de la R.N.26 sur 63 Km, 1997.
- [77] Perrier, Défense contre les eaux nuisibles de l'oued Soummam, mémoire préliminaire, PARIS 8ème1964.
- [78] BENHAMICHE, Pollution de la Soummam, Rapport, Akbou : Service d'environnement de la wilaya de Bejaïa, 1997.
- [79] PERRIER, Défense contre les eaux nuisibles de l'oued Soummam, mémoire préliminaire, Paris 8^{ème},1964.
- [80] Viziterv et Gauff, Étude d'approvisionnement en eau potable et industrielle des agglomérations du couloir AKBOU-BEJAIA à partir du Barrage Tichi-Haf , rapport de synthèse de la collecte des données, 1987.
- [81] Direction de la planification et de l'aménagement de territoire de Bejaia. Annuaire statistique de la wilaya de Bejaia, Algérie, Résultats 2003.
- [82] P .SELTZER , Climat d'Algérie. Carbonel Algiers, page 219, 1946.
- [83] COYEN, BELLIER, Étude de la régulation de la Soummam, Bureau d'ingénieur PARIS, 1973.

- [84] Direction de la planification et de l'aménagement de territoire, Annuaire statistique de la wilaya de Bejaia, Résultats 2003.
- [85] G. FRANCOIS , BRIERE, Distribution et collecte des eaux, 2^{ème} Edition, École Polytechnique de Montréal, 2000.
- [86] COYNE ET BELIER , Etude de la régularisation de la Soummam, p 2,1973.
- [87] L.LAMBRIBEN, A.ZAIR , Contribution à l'élévation de la qualité des eaux de l'oued Soummam par des analyses physico-chimiques, Mémoire de fin de cycle en vue d'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en écologie et environnement, Université de Béjaia , p13-14,2002.
- [88] F. HAOUCHINE et F.ZEMOUCHE. analyses physico-chimiques des eaux de l'oud Soummam, mémoire des fin d'étude en vue d'obtention du diplôme DEUA en contrôle de qualité et analyse des aliments, Université de Béjaia,p16-17, 2004.
- [89] Direction de la panification et de l'aménagement du territoire, annuaire statique.
- [90] Direction de l'environnement, annuaire statistique ,2006.
- [91] Service vétérinaire de Bejaïa, annuaire statistique ,2006.
- [92] Direction de la planification et de l'aménagement de territoire, annuaire statistique, résultats 2008.
- [93] Z.TAHAR-CHERIF, Méthodes Spectroscopiques d'analyses chimiques, Edition OPU, 1994.
- [94] P.PÜTZ , rapport d'application analyse de laboratoire photometrie, édition : hach lange,2002.
- [95] D. R. BROWNING, Méthodes Spectroscopiques, Masson, Paris, 1974.
- [96] F.Rouessac, A. Rouessac, & Cruche D., Analyse chimique, Méthode et techniques instrumentales modernes, Live Edition Dunod, 2004.
- [97] DOUGLAS Arvid Skoog, F. James Holler, Timothy A. Nieman, Principes d'analyse instrumentale, De Boeck Supérieur, 2003, P294
- [98] ISO5667-1, Qualité de l'eau, Échantillonnage, Partie1 : Guide générale pour l'établissement des programmes d'échantillonnage, p185-198 Septembre 1988.
- [99] Article de recherche Sécheresse, Étude et caractérisation physico-chimique des eaux de l'oued Soummam, Algérie, p 6,2009

- [100] P. BELLAIR , C.POMEROL, Elément de géologie, Edition Armand Colin, 1982.
- [101] Technologie des eaux résiduaires, production, collecte, traitement et analyse des eaux résiduaires, Edition Springer-verlag ,Paris.
- [102] O.THOMAS, Métrologie des eaux résiduaires, Edition CEBE Dospol, 1995.
- [103] P.PÜTZ , DCO en micro-méthode : une plage de mesure pour chaque utilisation, rapport d'application analyse de laboratoire photometrie, Édition : HACH LANGE,2003.
- [104] M.TARDAT-HENRY, J.PAUL-BEAUDRY, Chimie des eaux, Edition Le Griffon d'argile, 1984.
- [105] J.RODIER, L'analyse de l'eau : eaux naturelles eaux résiduaires eaux de mer, 7^{ème} édition Dunode, 1984.
- [105] M.DORE, Chimie des oxydants, et traitement des eaux, Edition Lavoisier, 1989.
- [106] AUDREN CLAIRE, NGUYEN Diep, Analyse de quelques polluants de l'eau de la sine de poses à l'estuaire, Institut national des sciences appliquées.
- [107] J. RODIER et coll, anlyse de l'eau (eau naturelles, eaux résiduaires, eau de mer)8eme édition,1996.
- [108] Journal Officiel de la République Algérienne (le Décret Exécutif n° 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 Avril 2006).
- [109] Les normes physico-chimiques de rejets de l'OMS, 1989

ANNEXE A

Le mot Soummam est une déformation du mot kabyle « assemmam », qui signifie « acide » la mythologie kabyle attribue cette acidité au sang du monstre et tyran Feraoun. En réalité, « le fleuve acide » (*asif asemmam*) doit son nom à la forêt de tamaris qui occupe les rives du fleuve Le feuillage de l'arbuste chargé de sel, donne un goût légèrement acide à l'eau du fleuve .

Jusqu'à la fin des années 60 le lit de l'oued était peuplé de tamaris de laurier rose, et autres plantes aquatiques qui abritaient une faune variée. On observe encore des colonies de canard et d'oies sauvages, des poules d'eau et d'autres espèces d'oiseau.

Actuellement les eaux de l'oued Soummam, qui se déversent dans le golf de Bejaïa offrent le triste spectacle des rejets domestiques et industriels. L'oued Soummam qui serpente à travers plusieurs villages de la Wilaya de Bejaïa et qui est utilisé par certaines communes comme « fosse sceptique » n'est malheureusement pas isolé et il est devenu de nos jours un très bon réceptacle des eaux usées industrielles ainsi que d'eaux usées domestiques, même les décharges sauvages investissent la vallée.

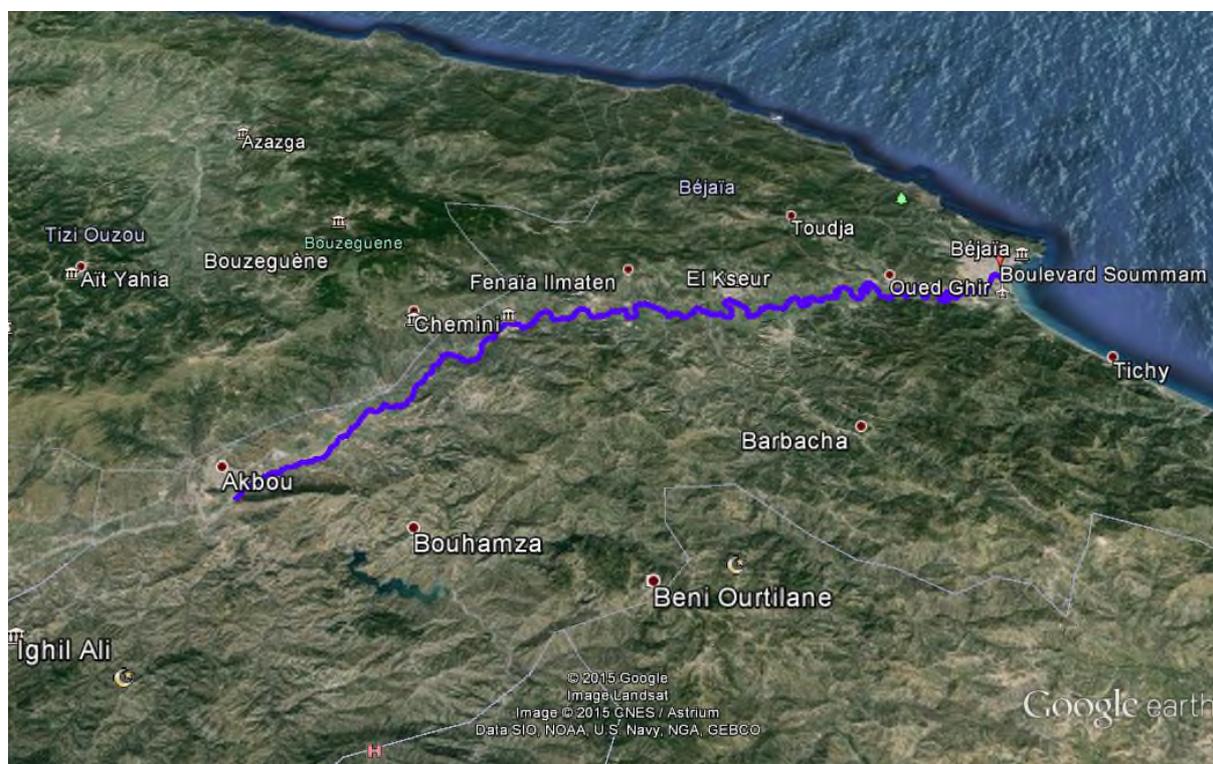


Figure 1 : Carte géographique

Tableau A.1. Volume d'eau usée domestique déversée dans l'oued et ses affluents.

| COMMUNE CHEF LIEU | VOLUME D'EAU REJETE (m3/j) | MILIEU RECEPTEUR |
|-------------------|----------------------------|---------------------------|
| BEJAIA | 180000 | Oued Soummam, Mer |
| OUED GHIR | 32002.86 | Oued Soummam |
| BARBACHA | 18004.5 | Oued Amasine |
| SIDI-AICH | 16902.06 | Oued Soummam |
| FENAIA EL MATEN | 180933 | Oued Soummam |
| EL KSEUR | 85008 | Oued Soummam |
| CHEMINI | 46093 | Oued Soummam |
| EL FLAY | 2002.53 | Oued Soummam |
| TALA HAMZA | 20943 | Oued Soummam |
| TIBANE | 16873.62 | Oued Soummam |
| SOUK OUFELA | 28095.87 | Oued Soummam |
| SEDDOUK | 30045 | Oued Seddouk |
| AKBOU | 140845 | Oued Seddouk |
| TOUDJA | 29812 | Oued Ghir |
| <i>TIFRA</i> | 12002.85 | <i>Oued Ghir</i> |
| TIMEZRIT | 67005 | Oued Ghir |
| SEMAOUN | 168003 | Oued Ghir |
| SIDI-AYAD | 13000.11 | Oued Ghir |
| AMALOU | 30045 | Oued Ghir |
| AMIZOUR | 99980 | Oued soummam,oued Amasine |
| FERAOUN | 51098 | Oued Soummam |
| M' CISNA | 10006 | Oued |
| I-OUZELLAGUNE | 52980 | Oued |
| Total | 2991078 | |

Tableau A.2. Situation de l'assainissement au niveau de la vallée de la Soummam.

| Commune chef lieu | Population branchée | Lieu de rejet |
|--------------------------|----------------------------|----------------------|
| OUED GHIR | 1076200 | BASSIN |
| SIDI-AICH | 1080004 | OUED |
| FENAIAILMAT | 907004 | C.OUVER |
| EL-KSEUR | 214400 | OUED |
| AMALOU | 857663 | RAVIN |
| CHEMINI | 1545002 | OUED |
| EL FLAY | 675671 | - |
| SIDI-AYAD | 433007 | RAVIN |
| TALA HAMZA | 608600 | BASSIN |
| TIBANE | 545400 | RAVIN |
| SEDDOUK | 1645671 | OUED |
| AKBOU | 3605981 | OUED |
| TOUDJA | 604700 | OUED |
| TIFRA | 409587 | RAVIN |
| SEMAOUN | 1097700 | OUED |
| M' CISNA | 830267 | OUED |
| TIMEZRIT | 1736900 | RAVIN |
| AMIZOUR | 2475200 | C.OUVER |
| FERRAOUN | 1260498 | STEP |
| BEJAIA | 13381209 | BASSIN |
| BARBACHA | 1229887 | OUED |
| OUZELLAGUEN | 756956 | OUED |
| TINEBDAR | 610654 | RAVIN |
| SOUKOUFELLA | 952900 | BASSIN |
| M' CISNA | 1076200 | OUED |
| TIMEZRIT | 1080004 | C.OUVER |

Tableau A.3. Décharges non contrôlées le long de la vallée de la Soummam

| Commune | Localisation | Nombre | Surface occupée |
|-------------------------|--|---------------|---|
| TOUDJA | -Bouhatem -Taourirt Ighil | 02 | 1500 m ² 400 m ² |
| SIDI AICH | Remila E'chott | 02 | 500 m ² 1.5HA |
| TIMEZRIT | Ighzer Ouchen | 01 | 400 m ² |
| SIDIAYAD | Thalamast | 01 | 400 m ² |
| SEDDOUK | Akhnak El Mouhli | 02 | 400 m ² 4000 m ² |
| TALA-HAMZA | Akerkar | 01 | 1000 m ² |
| M' CISNA | Tadjellat-Tizi | 01 | 300m ² |
| EL-KSEUR | L'ota N'touchamine Zone d'activité | 02 | 500 m ² 300 m ² |
| AKBOU | Guendouza Pont de Biziou Bouzeroual | 03 | 500 m ² 10 Ha 200 m ² |
| SEMAOUN | Tizi-Ouatmos Oued-Amacin | 02 | 3000 m ² 500 m ² |
| EL MATEN | Remila | 01 | 300 m ² |
| EL-FLAY | Aghernouz | 01 | 1.5ha |
| FERAOUN | Oued Amacin | 01 | 200 m ² |
| BARBACHA | Tala-n'boubekeur | 01 | 3200 m ² |
| AMALOU | Beni-djmhour Biziou Timessenine, Theghermin | 04 | 1200 m ² |
| I-OUZELAGUNE | EL-Firma, oued Halouane | 02 | 150m ² ,150m ² |
| AMIZOUR | Djebel louaz | 01 | 300m ² |
| BENI KSILA OUED GHIR | Amtik-Issiadhen Bouchekreun | 02 | 5000m ² , 3500 m ² |
| CHEMINI | L'admaa-Tizi | 01 | 1.5HA |
| Total | / | 26 | / |

Tableau A.4. Unités industrielles polluantes au niveau de la vallée de la Soummam

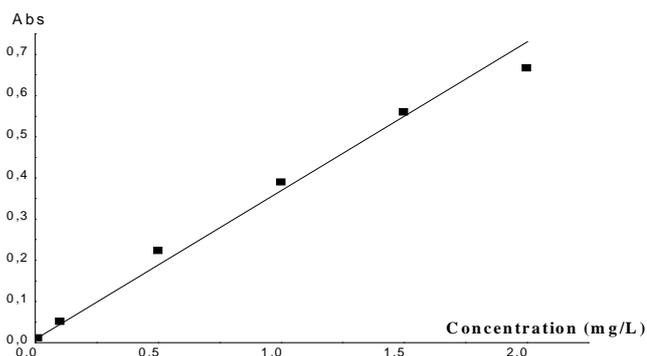
| Nom et adresse de l'unité | Rejets solides | | Rejets liquides | |
|---|---|------------------|------------------------------------|---------------------|
| | Type de Déchets | Quantité Rejetée | Volume d'eaux usées rejetées(m³/j) | Rejet final |
| SPA ALCOVEL BP : 636 N 26 Z.I. Akbou | Poussières de coton et petites chutes de tissus copots métalliques | 11070 Kg/an | 2533 | Oued Soummam |
| ICOTAL Industrie Cotonnière Algérienne Arrière-port Bejaia | Tissu boue à base de colle Poussières de coton et petites chutes de tissus | 1900 Kg/an | 1555 | Oued Soummam |
| SPA ALFADITEX Complexe industriel Divers Textiles RN 26 Remila Cne de Fénaia. | Boues à base de teinte ,à boue à base de colle | 1600 Kg/an | 1400 | Oued Soummam |
| LAITERIE AMIZOUR Domaine Maouchi Ahmed Amizour | Conservateurs Graisses Emballages | 20000 kg/an | 16654 | Oued Soummam |
| SPA MACSOUM Manufacture de Chaussures Soummam Z.I. RN 26 Akbou | Certains types de polymères | 32300 kg/an | 500 | Oued Soummam |
| Sarl Laiterie Soummam | Conservateurs Colorantes usée Graisses | 4500000 kg/an | 145000 | Oued Soummam |
| SARL DANONE DJURDJURA ZAC Taharacht Akbou | Conservateurs Colorantes usée Graisses | 4530000 kg/an | 150000 | Oued Soummam |
| Conserverie ENAJUC El-kseur | Boîtes et futs métalliques | 2 T/mois | 350 | Oued Soummam |
| ERIAS Sidi-Aich | Poussières | 20 T/mois | 120 | Oued Soummam |
| Total | | 56.5 T | 318112 | Oued Soummam |

ANNEXE B

➤ ÉTABLISSEMENT DES COURBES D'ÉTALONNAGE :

Tableau B.1. Établissement de la courbe d'étalonnage de Zinc

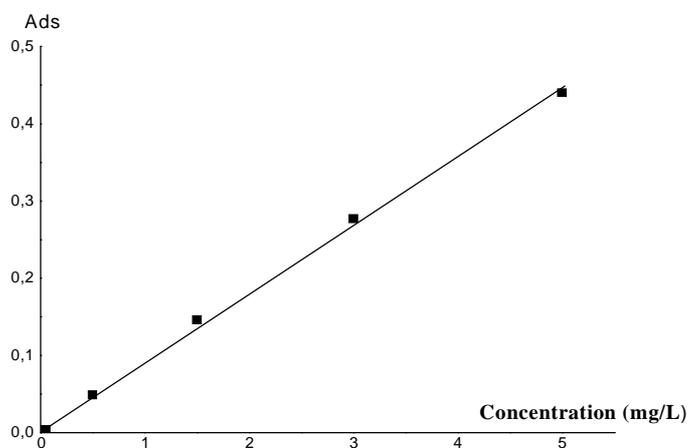
| Concentration (mg/L) | 0,01 | 0,1 | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Abs | 0,012 | 0,052 | 0,224 | 0,390 | 0,560 | 0,667 |



Courbe B.1. Courbe d'étalonnage du Zinc

Tableau B.2. Établissement de la courbe d'étalonnage du nickel

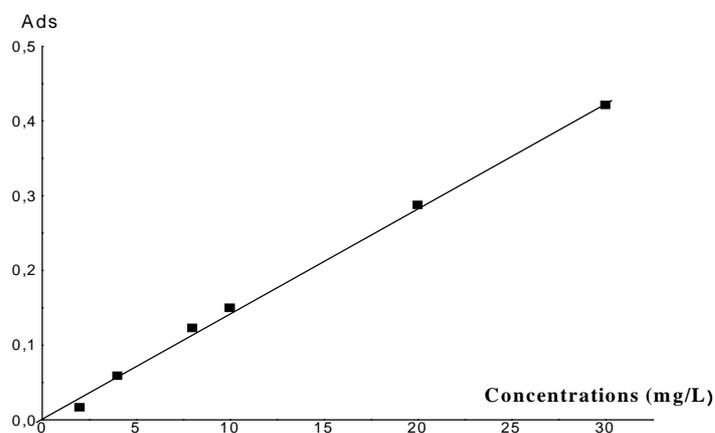
| Concentration (mg/L) | 0,05 | 0,5 | 1,5 | 3 | 5 |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Abs | 0,004 | 0,049 | 0,146 | 0,277 | 0,440 |



Courbe B.2. Courbe d'étalonnage du nickel

Tableau B.3. Établissement de la courbe d'étalonnage du plomb

| Concentration (mg/L) | 2 | 4 | 8 | 10 | 20 | 30 |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Abs | 0,0166 | 0,0592 | 0,1229 | 0,1499 | 0,2876 | 0,4213 |

**Courbe B.3.** Courbe d'étalonnage du plomb**Tableau B.4.** Établissement de la courbe d'étalonnage du cuivre

| Concentration (mg/L) | 0,5 | 1 | 1,5 | 2,5 | 3 |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Abs | 0,012 | 0,052 | 0,224 | 0,390 | 0,560 |

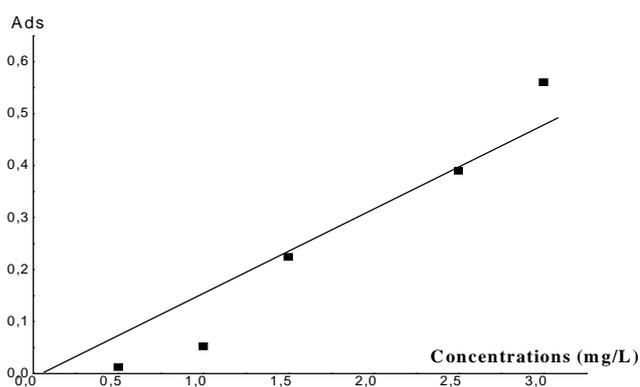
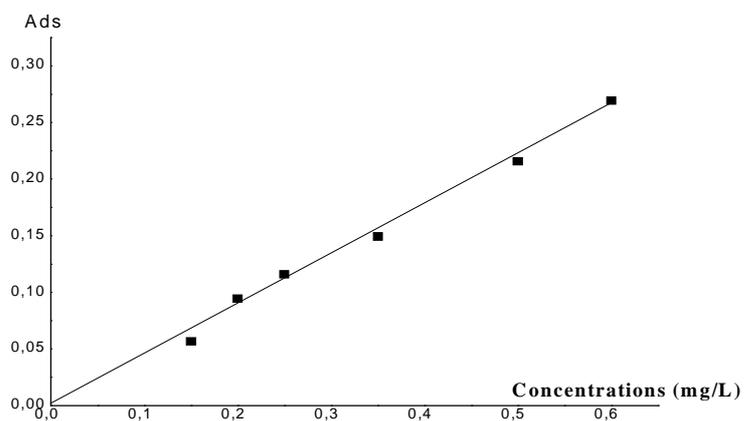
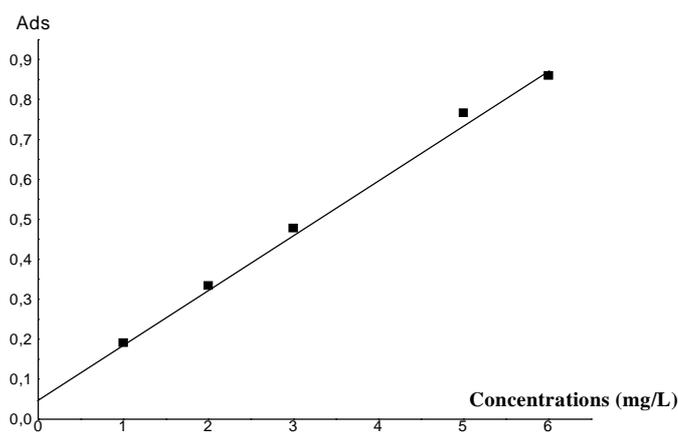
**Courbe B.4.** Courbe d'étalonnage du cuivre

Tableau B.5. Établissement de la courbe d'étalonnage pour le dosage de cadmium.

| Concentration (mg/L) | 0,15 | 0,2 | 0,25 | 0,35 | 0,5 | 0,6 |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Abs | 0,0567 | 0,0943 | 0,1159 | 0,1492 | 0,2157 | 0,2693 |

**Courbe B.5.** Courbe d'étalonnage de cadmium**Tableau B.6.** Établissement de la courbe d'étalonnage du fer

| Concentration (mg/L) | 1 | 2 | 3 | 5 | 6 |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Abs | 0,1910 | 0,3341 | 0,4779 | 0,7668 | 0,8599 |

**Courbe B.6.** Courbe d'étalonnage du fer

Annexe C :

Les normes Norme des métaux lourds et les paramètres physiques dans les eaux

I. Les normes algériennes de rejet des effluents

Les eaux usées collectées, dans les réseaux urbains ou les usées directement émises par les industries, ne doivent être rejetées dans un milieu récepteur naturel (rivière, lac, littoral marin, ou terrain dépendage) que lorsqu'elles correspondent à des normes fixées par voie réglementaire.

Le décret exécutif n° 93-160 du 10 Juillet 1993, de Journal Officiel de la République Algérienne réglementant les rejet d'effluents liquides dans son chapitre I, article 2, fixe, en son annexe 1, les valeurs limites de ce rejet. Ces mêmes valeurs viennent d'être renforcées par un nouveau texte réglementaire ; le Décret Exécutif n° 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 Avril 2006, section 1, article 3. Les valeurs limites maximales de rejet d'effluents fixées par ces deux décrets sont regroupées dans le tableau 1.

Avant qu'elle soit rejetées dans le milieu naturel et ne le dégradent, les eaux usées doivent impérativement obéir à des normes établies pour protéger les milieux récepteurs contre tout type de pollution.

Tableau 1. Valeurs limites des paramètres de rejet dans un milieu récepteur (Journal Officiel de la République Algérienne, 2006).

| Paramètres | Valeurs limites | Unités |
|--------------|-----------------|--------|
| Température | 30 | °C |
| Ph | 6.5 à 8.5 | - |
| Conductivité | 2.8 | ms/cm |
| MES | 35 | mg/l |
| OD | 5 | mg/l |
| DCO | 120 | mg/l |
| Cadmium | 0.2 | mg/l |
| Fer | 3 | mg/l |
| Nickel | 0.5 | mg/l |
| Plomb | 1 | mg/l |
| Cuivre | 0.5 | mg/l |
| Zinc | 3 | mg/l |

Tableau 2. Les normes physico-chimiques de rejets de l'OMS (1989)

| Paramètres | | Normes |
|-------------------|------|---------------|
| T | C° | 30 |
| pH | | 6,5-8,5 |
| OD | mg/l | 5 |
| DCO | mg/l | 90 |
| MES | mg/l | 30 |
| Zinc | mg/l | 2 |
| Cadmium | mg/l | 0,2 |
| Fer | mg/l | 3 |
| Nickel | mg/l | 2 |
| Plomb | mg/l | 1 |
| Cuivre | mg/l | 0,5 |

Résumé :

Les rejets des eaux usées industrielles contiennent des quantités importantes et très diverses de composés chimiques, comme les métaux lourds, ce qui les rends la source potentielle de la pollution des eaux souterraines. Les métaux lourds sont les éléments métalliques naturels dont la masse volumique dépasse 5 g/cm^3 . Ceux-ci sont présents le plus souvent dans l'environnement sous forme de traces : mercure, plomb, cadmium, cuivre, arsenic, nickel, zinc, cobalt, manganèse. Les plus toxiques d'entre eux sont le plomb, le cadmium et le mercure.

Les principales industries polluantes sont la chimie, la métallurgie, la sidérurgie, le traitement de surfaces, la fabrication d'accumulateurs au cadmium-nickel, les tanneries, les teintureries, le verre, la photographie, la fabrication et l'utilisation des pesticides, la papeterie, les industries de la peinture, la fabrication de la céramique, les explosifs, l'imprimerie et la circulation routière qui génère des pollutions aux plombs et zinc.

Au cours de cette étude, dans un premier temps, le degré de la pollution du bassin versant l'Oued Soummam : Sidi-Aich et Bajaia, a été évalué par l'analyse des paramètres physico-chimique, au cours duquel nous nous sommes attachés à mettre en évidence l'impact des rejets sur la qualité des eaux de l'oued. En second lieu, après avoir constaté une pollution accusée, nous nous sommes intéressés à la recherche des solutions pour remédier à cette problématique. Le procédé d'adsorption sur support argileux, à savoir la bentonite Algérienne, a été adapté afin d'éliminer le plomb dans les effluents de l'oued Soummam. Les résultats obtenus justifient clairement le choix de ce type de procédé qui est d'une importance capitale dans le traitement des effluents contaminés par les métaux lourds.

Les mots clés : eaux résiduaires, métaux lourds, adsorption, bentonite, pollution, côte marines, environnement.

Abstract :

Discharges of industrial wastewater contain important and diverse amounts of chemicals, such as heavy metals, which makes them a potential source of groundwater pollution. Heavy metals are natural metallic elements with a density greater than 5 g / cm^3 . These are usually present in the environment in trace mercury, lead, cadmium, copper, arsenic, nickel, zinc, cobalt, manganese. The most toxic of these are lead, cadmium and mercury.

The major industries are chemicals, metallurgy, steel, surface treatment, the production of nickel-cadmium batteries, tanneries, dyers, glass, photography, manufacture and use of pesticides, stationery, paint industries, manufacture of ceramics, explosives, printing and traffic that generates pollution leads or zinc.

In this study, at first, the degree of pollution of the watershed of Oued Soummam: Sidi Aich and Bajaia was evaluated by analysis of physicochemical parameters, in which we focused to highlight the impact of discharges on water quality of the river. Secondly, after finding an accused pollution, we were interested in finding solutions to remedy this problem. The adsorption process on clay support, namely the Algerian bentonite, was adapted to eliminate lead in effluents of Wadi Soummam. The results clearly justified the choice of this type of process is of utmost importance in the treatment of effluents contaminated by heavy metals.

Key words: sewage, heavy metals, adsorption, bentonite, pollution, marine coast environment.

ملخص:

مياه الصرف الصناعي تحتوي على كميات هامة ومتنوعة من المواد الكيميائية، مثل المعادن الثقيلة، مما يجعلها مصدرا محتملا للتلوث المياه الجوفية. المعادن الثقيلة هي العناصر المعدنية الطبيعية مع كثافة أكبر من 5 غ / سم^3 . هذه العناصر عادة ما تكون موجودة في البيئة على شكل آثار: الزئبق، الرصاص، الكاديوم، النحاس، الزرنيخ، النيكل، الزنك، الكوبالت والمنغنيز. الأكثر خطورة هي الرصاص والكاديوم والزرنيخ.

أهم الملوثات الصناعية هي: مواد كيميائية والمعادن والصلب، والمعالجة السطحية، وإنتاج بطاريات النيكل والكاديوم والمدايع، الصباغين، والزجاج، والتصوير الفوتوغرافي، وتصنيع واستخدام المبيدات وصناعات الطلاء، صناعة السيراميك والمتفجرات والطباعة وحركة المرور التلوث في ولاية بئر العاتق.

في هذه الدراسة، وفي البداية، درجة تلوث مياه واد الصومام : سيدي عيش وبجاية تم تقييمها من خلال تحليل المعايير الفيزيائية، التي ركزنا عليها لتسليط الضوء على تأثير عمليات التصريف على نوعية المياه النهر. ثانيا، بعد العثور على التلوث ، نحن مهتمون بإيجاد حلول لمعالجة هذه المشكلة. ، عملية الامتصاص على دعم الطين، وهي البنتونيت الجزائري للقضاء على الرصاص في مياه الملوثة لواد الصومام. النتائج المحصل عليها تبرر اختيار هذا النوع من العمليات الذي له أهمية قصوى في معالجة المياه الملوثة بالمعادن الثقيلة.

الكلمات المفتاحية : مياه الصرف الصحي، المعادن الثقيلة، والامتصاص، البنتونيت، التلوث، الساحل البحري، البيئة.