



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
المدرسة الوطنية العليا للمناجم والمعادن - عناية
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES MINES ET DE LA METALLURGIE
AMAR LASKRI- ANNABA

Département : Génie minier

Mémoire de Fin d'études

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : Génie Minier

Spécialité : Contrôle des Terrains Avancé

Thème

*Diagnostic de la pollution des sols et des eaux aux
alentours d'un site industriel. Cas du Complexe
sidérurgique Mittal Steel*

Présenté par : **Bakri Cheyma**

Encadré par : **Dr. Sameh Habes**

Jury de Soutenance

Achouri Imen

MCA, ENSMM-Annaba

Président

Cheniti hamza

MCB, ENSMM-Annaba

Examineur

Sameh Habes

MCB, ENSMM-Annaba

Encadreur

Juillet 2021



Annexe à l'arrêté n° 1082 du 27 DEC. 2020

fixant les règles relatives à la prévention et la lutte contre le plagiat

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique



Je soussigné(e),

Bakri cheyma

Mr, Mme :

119960995035430005

17. 02. 2019

Qualité : étudiant, enseignant, chercheur :

Portant carte d'identité n° ENSMM Annaba Génie minier

delivrée le :

Inscrit(e) à la faculté/institut.

département de

Chargé(e) d'élaborer des travaux de recherche (mémoire, mémoire de master, mémoire de magister, thèse de doctorat) dont le titre

est Diagnostic de la pollution des sols et des eaux d'un site industriel (complexe sidérurgique Mital Steel)

Je déclare en mon honneur de m'engager à respecter les critères scientifiques et méthodologiques ainsi que les critères d'éthique de la profession et de l'intégrité académique requises dans l'élaboration de la recherche sus citée.

l'élaboration de la recherche

Le

Signature de l'intéressé(e)



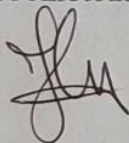
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Supérieure des Mines et de la Métallurgie

Département Génie Minier

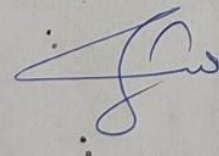
**AUTORISATION DE DEPOT FINAL DU
MEMOIRE DE MASTER**

Je soussigné (e) M. Aïchouni Imen
Président(e) du jury de soutenance de mémoire de Master, déclare avoir autorisé
M. Bakri Cheyma
à déposer son mémoire de Master après avoir apporté les corrections signalées
par les membres du jury.

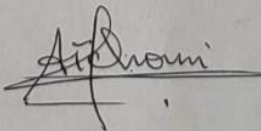
Avis du Promoteur :

A.F. 

Avis de l'Examineur :

A. f. 

Président du Jury



Remerciements

Tout d'abord je tiens à remercier dieu tout puissant et miséricordieux qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

En second lieu, je tiens à remercier ma promotrice Mme HABES Drici Sameh, pour son soutien, sa disponibilité, ces précieux conseils, ces qualités humaines et scientifiques sont pour moi un exemple et une référence.

*Je tiens à remercier le **Mr. Abderrahmane Zerizer** de m'avoir aidé dans l'apprentissage du logiciel utilisé.*

Je tiens bien évidemment à remercier aussi tous les Membres

Du laboratoire L3M de L'ENSMM en acceptant de me

Prendre en charge pendant mon travail

Tout particulièrement Mr. Soukehal Samir, Madame Linda

Nos sincères remerciements à mesdames et messieurs les membres du jury pour l'honneur qu'ils m'ont fait en participant à l'évaluation de ce travail.

Mes remerciements vont aussi à tous les enseignants du département génie minier qui ont contribué à notre formation.

Merci...



Dédicace

En signe de respect et de reconnaissance, je dédie ce modeste travail :



*A mes très chers parents qui m'ont beaucoup aidé pour terminer
Mes études, et qui m'ont tellement encouragé moralement et
Psychiquement, et se sont sacrifiés pour moi.
J'aimerai qu'ils reçoivent le témoignage de ma consécration et leur
Foi en moi.*

*Mes très chers frères, mon cher fiancé,
Mes amies
Imane, Rania, Sarah, Nada*

Une mention spéciale au petit ange Rafif

Résumé

La pollution fait de plus en plus son apparition dans notre quotidien. Il s'agit d'une dégradation de l'environnement causée par des matériaux non naturels qui se répandent dans les multiples environnements qui composent notre univers. Il se produit donc dans l'eau, l'air ou le sol, la plupart du temps du fait des activités humaines.

Dans notre zone d'étude exactement à Oued Meboudja, a été touché par plusieurs principales sources de pollution les rejets urbains, les rejets agricoles, les rejets industrielles.

Parmi les polluants actuellement mis en cause par leur pollution dans oued Meboudja les rejets industriels du complexe sidérurgique

L'objectif de ce travail est d'étudier la pollution dans cette zone par la cartographie, en utilisant le logiciel QGIS pour mettre en évidence la vulnérabilité de cette zone à la pollution par les éléments traces métalliques en amont et en aval du complexe sidérurgique.

Mots clés : ETM, QGIS, Pollution, Environnement, Oued Meboudja

Abstract

Pollution is increasingly appearing in our daily lives. It is an environmental degradation caused by unnatural materials that spread throughout the multiple environments that make up our universe. It therefore occurs in water, air or soil, most of the time as a result of human activities. In our study area exactly at Oued Meboudja, several main sources of pollution were affected by urban discharges, agricultural discharges, and industrial discharges.

Among the pollutants currently implicated by their pollution in Oued Meboudja, industrial discharges from the steel complex

The objective of this work is to study the pollution in this area by mapping, using the QGIS software to highlight the vulnerability of this area to pollution by metallic trace elements upstream and downstream of the steel complex.

Keyword : ETM, QGIS, Pollution, Environnement, Oued Meboudja

ملخص

ظهر التلوث بشكل متزايد في حياتنا اليومية. إنه تدهور بيئي ناتج عن مواد غير طبيعية تنتشر في جميع أنحاء البيئات المتعددة التي يتكون منها الكون. لذلك يحدث في الماء أو الهواء أو التربة، في معظم الأحيان نتيجة للأنشطة البشرية.

منطقة دراستنا بالضبط في واد مبعوجة، تأثرت عدة مصادر رئيسية للتلوث بالتصريفات الحضرية، والتصريفات الزراعية، والتصريفات الصناعية.

من بين الملوثات المتسببة حالياً بتلوث واد مبعوجة التصريفات الصناعية من مجمع الحديد.

دراسة التلوث في هذه المنطقة من خلال رسم الخرائط، باستعمال برنامج العمل هو:

تسليط الضوء على قابلية تعرض هذه المنطقة للتلوث بواسطة العناصر المعدنية النزرة قبل وبعد مجمع الصلب.

الكلمات المفتاحية: التلوث. واد مبعوجة QGIS العناصر المعدنية، التلوث.

Table des matières

<i>Remerciements</i>	I
<i>Dédicace</i>	II
Résumé.....	III
Abstract.....	IV
ملخص	V
Introduction générale	X
1.1. Présentation du complexe.....	1
1.1.1. Historique du complexe.....	1
1.2. Situation géographique du complexe.	1
1.3. Aperçu pédologique.	2
1.4. Géomorphologie.	3
1.5. Situation géographique de la zone d'étude.....	3
1.6. Hydrologie de l'Oued Meboudja.....	4
1.7. Aperçu climatique.	5
1.7.1. Bilan hydrique.	5
1.7.2. Interprétation du bilan de Thornthwaite.	7
1.8. Contexte végétal et agricole.	8
1.9. Le contexte industriel.....	10
1.10. Les différentes activités du complexe sidérurgique.....	10
1.11. Les rejets du complexe sidérurgique Arcelor Mittal Steel.....	11
1.12. Diagnostic de la pollution.	12
1.12.1. Plaine de l'Oued Meboudja	13
1.13. Pollution des sols par les éléments traces métalliques (ETM).....	13
1.14. Origine des éléments traces métalliques dans l'environnement aquatique.	14
1.14.1. Origine naturelle.....	14
1.14.2. Origine anthropique.....	15
1.15. Effets sur l'eau.....	15
1.16. Caractéristiques physico-chimiques de la qualité de l'eau des oueds.	16
➤ Température.	17
➤ Couleur.	17
➤ Le pH.	18
➤ Conductivité.	19

➤ Potentiel redox (Eh).	19
1.17 SIG	22
1.18 Présentation du logiciel QGIS.	23
1.18.1. Un peu d'histoire.	23
1.18.2. Fonctionnalités GIS.	23
2.1. Matériel et méthode.	34
2.1.1 Mesures in situ.	34
2.2. Cartographie des concentrations des éléments mesurés.....	38
2.2.1. Résultats et discussions.	38
Conclusion	43
Références bibliographiques	47

LISTE DES FIGURES :

Chapitre I :

Figure 1. 1: Situation géographique du complexe Sidérurgique d'El-Hadjar	02
Figure 1.2. Carte Orohydrographique de l'Algérie du Nord.	05
Figure 1.3. Représentation graphique du bilan hydrique de la station les salines (1980-2014).	07
Figure 1.4. Représentation graphique du bilan hydrique de la station pont Bouchet (1980-2014).	07
Figure 1.5.: Superficie des cultures irriguées dans la zone d'étude	10

Chapitre II

Figure 2. 1: Multi-paramètre HI9829.	35
Figure 2. 2: Carte inventaire des échantillons d'eau.	35
Figure 2. 3: Carte de la répartition du 'Ca' dans la zone d'étude.	39
Figure 2. 4 : Carte de la répartition du 'Cd' dans la zone d'étude.	39
Figure 2. 5 : Carte de la répartition du 'Cu' dans la zone d'étude.	40
Figure 2. 6: Carte de la répartition du 'Fe' dans la zone d'étude.	41
Figure 2. 7 : Carte de la répartition du 'Mn' dans la zone d'étude.	42

LISTE DES TABLEAUX :

Chapitre I

Tableau 1.1 : Les superficies des différents types de végétation caractérisant les forêts de la région d'étude.....9

Tableau 1.2 : Types et quantité des rejets provenant de l'unité Arcelor Mittal Steel.12

Tableau 1.3 : Les effets de quelques polluants sur l'environnement13

Tableau 1.4. Les effets de quelques polluants sur l'environnement (Wafa MOURDI, 2010).....15

Chapitre II

Tableau 2.1: Les coordonnées géographiques.36

Tableau 2.2 : les paramètres physico-chimiques36

Tableau 2.3 : Les concentrations des éléments des traces métalliques.38

Introduction générale

La consommation d'eau industrielle représente environ 20 % de la consommation mondiale d'eau, et avec le développement économique de divers pays, la consommation d'eau industrielle augmente. L'industrie sidérurgique est une grande consommatrice d'eau, et l'eau existe dans presque toutes les chaînes de production. Toutes ces eaux transporteront différents polluants lors du transport au cours du processus de production, et ces polluants seront rejetés dans l'environnement naturel, entraînant sa dégradation.

Comme toute activité industrielle, le complexe d'El-Hadjar consomme une grande quantité d'eau, qui pénètre dans les différents circuits de refroidissement des équipements et de l'installation de l'usine de production. Tous ces appareils génèrent une grande quantité d'émissions liquides, qui contiennent des polluants, tels qu'ETM, carburant, graisses et huiles en émulsions..., qui sont rejetés dans le milieu récepteur à différentes concentrations. Traitement de l'Oued Meboudja, menaçant ainsi l'équilibre écologique de la zone. Les eaux déversées dans l'Oued Meboudja sont nombreuses et polluent le milieu récepteur et le milieu côtier de la zone.

Les éléments traces métalliques sont les éléments les plus polluants dans notre étude, nous nous sommes intéressés aux : cuivre(Cu), le Calcium(Ca), cadmium(Cd), fer (Fe).

Pour bien étudier la pollution dans cette zone, nous avons utilisé le logiciel QGIS, afin d'étudier la vulnérabilité des éléments traces métalliques aux alentours du complexe sidérurgique.

Le présent projet, qui s'intitule : " Diagnostic de la pollution des sols et des eaux aux alentours d'un site industriel. Cas du Complexe sidérurgique Mittal Steele" est structuré comme suit :

Le premier chapitre est consacré à une revue bibliographique.

Le deuxième chapitre traite la partie expérimentale et concerne : les sorties sur terrains, les prélèvements effectués in situ, et la cartographie via le logiciel QG.

Et on termine par une conclusion.

Chapitre I : Revue Bibliographique

1.1. Présentation du complexe.

1.1.1. Historique du complexe.

La société nationale de sidérurgie a été créée le 03/09/1964 par ordonnance NQ. 642-72, et constitue l'une des cinq (05) entreprises nationales sous la tutelle du Ministère de l'industrie lourde. Elle regroupe différentes unités réparties sur tout le Territoire national. En tant que moyen pour assurer le développement du pays et améliorer les conditions de la vie du peuple algérien, autrement dit pour répondre aux impératifs économiques et sociaux du développement du pays. La SNS a bénéficié des différents plans de développement pour devenir enfin entreprise nationale de sidérurgie suite à la restructuration des sociétés nationales. Groupe Industriel SIDER a développé en 1969 une sidérurgie à El-Hadjar pouvant répondre à une gamme de produits sidérurgiques très variés.

Le complexe intégré d'El-Hadjar depuis 1969 a vu son domaine d'activités se développer au fil des années afin de répondre à la demande incessante, et croissante, En produits sidérurgiques pour la réalisation de plusieurs secteurs (habitat, unités pétrolières, ... etc.). Suite à la politique de privatisation suivie par le pays, pour donner une nouvelle dynamique à la croissance et au développement, le complexe d'El-Hadjar a été acquis par le Groupe Mittal pour devenir la propriété du Groupe Sidérurgique International « ARCELOR-MITTAL ». **(Bouraoui Meriem, 2019)**

1.2. Situation géographique du complexe.

Le complexe sidérurgique d'El-Hadjar, est situé à une distance de 15km au Sud de la ville d'Annaba, à l'extrême Est de l'Algérie, il s'étend sur une superficie de 800ha et se trouve dans la basse plaine de la Seybouse. Il appartient au système aquifère Annaba Bouteldja, dans le sous bassin versant du lac Fetzara, limité dans sa zone Sud par l'Oued Meboudja où se déverse ces effluents. La Meboudja est le dernier affluent de l'Oued Seybouse.



Figure 1.1: Situation géographique du complexe Sidérurgique d'El-Hadjar (Google earth 2021).

1.3. Aperçu pédologique.

La plaine d'El Hadjar qui constitue le prolongement de la plaine Ouest d'Annaba, s'étend sur une superficie de 7980ha. Du point de vue pédologique, la zone d'étude est caractérisée par une homogénéité lithologique où les sédiments du quaternaire (récents) constituent la quasi-totalité des terrains avec prédominance de sables, limons et galets. La couverture pédologique prospectée permet d'avancer que la plaine d'El Hadjar présente une fertilité moyenne à bonne, avec :

- des sols peu évolués : d'origine non climatique (3042ha),
- des vert sols (1331ha), - des sols hydro morphes (482 ha), - des sols halomorphes (684ha),
- des sols calcimagnésiques (1437ha), - et des sols minéraux bruts (372ha). (N. Zenati, & D. Messadi, 2010)

1.4.Géomorphologie.

I.4.1. Les bassins versants.

- **La Mafragh** : Elle occupe la partie est avec une superficie de l'ordre 2915km² et une altitude de 319m.

-**La Seybouse** : Elle se trouve à l'extrémité Ouest et s'étend sur une superficie de 6471 km², elle Renferme divers milieux naturels ce qui conduit à la diversification et la multitude des chemins de Nutrition et de ruissellement.

I.4.2. Les terre.

Représentées par trois unités bien distinctes.

-**Hautes terrasses.** Situées à des altitudes de 100 à 150 m. Ce sont des formations argileuses pratiquement imperméables (ne présentant pas un intérêt hydrogéologique) localisées surtout entre Dréan et Ain-Breda.

-**Moyennes terrasses.** Situées à des altitudes de 20 à 50m. Ce sont des formations caillouteuses à La base, assez fines au sommet, formées de graviers, de galets et surtout d'argiles sableuses (faible Intérêt aquifère), localisées dans la région de Dréan.

-**Basses terrasses.** Situées à une altitude moyenne de 15m. Elles sont formées par des dépôts Alluvionnaires constitués d'un matériel argilo-limoneux avec des galets, graviers et sables, Ce Sont des formations accumulatives d'eaux souterraines. Les marécages. Couvrent environ une superficie de 4786ha et son constitués par des formations argileuses à argilo-sableuses, à faible perméabilité. Ils sont localisés dans les dépressions de basses terrasses Et couvrent la limite Est de la plaine d'Annaba.

1.5. Situation géographique de la zone d'étude.

La zone d'étude est située dans la basse plaine de la Seybouse qui appartient au système aquifère Annaba-Bouteldja et dans le sous bassin versant du lac Fetzara, ses limites naturelles sont :

Au Nord : la mer méditerranée et le massif de l'Edough,

A l'Ouest et au sud-ouest : le prolongement occidental du massif de l'Edough et la dépression du lac Fetzara,

Au Sud : la chaîne numidique orientale (1411m),

Enfin à l'Est : Le prolongement oriental du système aquifère Annaba-Bouteldja.

I.6. Hydrologie de l'Oued Meboudja.

C'est le collecteur intermédiaire entre le lac Fetzara et l'Oued Seybouse. Il draine une Superficie de 203km^2 et constitue le collecteur des eaux du bassin versant du lac Fetzara d'une superficie de 515km^2 et du bassin versant de Oued Ressoul, avec un maximum de $20\text{ m}^3/\text{s}$ (Bounoune, 1986); ceci est dû au mauvais drainage au Sud du complexe sidérurgique d'El Hadjar (ARCELOR MITTAL STEEL) et une croissance importante des mauvaises herbes.

La Meboudja rejoint l'oued Seybouse à environ 8 kilomètres de l'embouchure. Le débit De l'Oued Meboudja est moins important que celui de l'oued Seybouse. Une estimation du débit de l'Oued Meboudja par jaugeage au flotteur pendant la période de Février-Décembre 1999 a donné des valeurs ne dépassent pas les $20\text{m}^3/\text{s}$; ces mesures ont permis de mettre en évidence une relation entre les précipitations et les débits, car les forts débits enregistrés correspondent à la saison humide (forte pluie) alors que les faibles débits correspondent aux faibles précipitations.

La Meboudja rejoint l'Oued Seybouse à environ 8 kilomètres de l'embouchure. Le débit De l'Oued Meboudja est moins important que celui de l'Oued Seybouse. Une estimation du débit de l'Oued Meboudja par jaugeage au flotteur pendant la période de Février-Décembre 1999 a donné des valeurs ne dépassent pas les $20\text{ m}^3/\text{s}$; ces mesures ont permis de mettre en évidence Une relation entre les précipitations et les débits, car les forts débits enregistrés correspondent à la saison humide (forte pluie) alors que les faibles débits correspondent aux faibles précipitations.

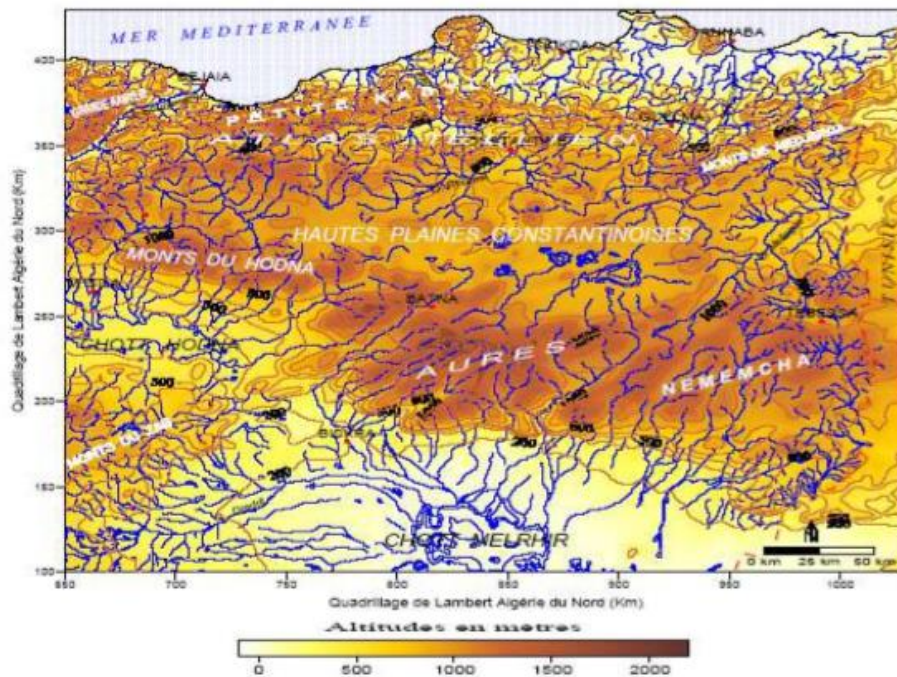


Figure 1.2. Carte Orohydrographique de l'Algérie du Nord. (FERROUM Asma, 2015)

1.7. Aperçu climatique.

1.7.1. Bilan hydrique.

L'étude du bilan hydrique d'une région permet d'évaluer la répartition des précipitations reçues sur une surface entre ses différents composants (écoulement, infiltration et évaporation). Il est calculé par la méthode de THORNTHWAITE, cette dernière tient compte de la température, la pluie, l'ETP et la RFU, selon la formule suivante :

$$P = ETR + I + R$$

Avec : - **P** : Précipitation moyenne annuelle en (mm)

- **ETR** : Evapotranspiration réelle moyenne annuelle en (mm)

- **I** : Infiltration moyenne annuelle (mm)

- **R** : Ruissellement moyen annuel.

- **L'estimation de l'ETP par la méthode de THORNTHWAIT.**

- **L'évapotranspiration potentielle (ETP).**

Elle est estimée par la formule de « THORNTHWAITE » utilisable pour les climats subhumides et semi-arides, selon la formule suivante :

$$ETP \text{ (mm)} = 16 \left(\frac{(10T)}{I} \right)^a$$

$$I = \sum i$$

$$I = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.5}$$

$$a = \frac{1.6}{100} * I + 0.5$$

Avec :

T : Température moyenne annuelle ° C.

i : Indice thermique mensuel.

I : Somme des indices mensuels.

ETP : Évapotranspiration potentiel mensuelle en mm

K : terme correctif dépend de la durée d'insolation.

L'évapotranspiration réelle :

On utilise la méthode de C.W. Thornthwaite, où on distingue deux principaux cas :

* 1er cas : Si : $P - ETP > 0$; c.à.d. $P > ETP$, dans ce cas $ETR = ETP$, donc il y a une

Reconstitution des réserves du sol jusqu'à saturation, le surplus va représenter

* 2ème cas : Si : $P - ETP < 0$; c.à.d. $P < ETP$, ce cas est caractérisé par les deux cas suivants :

▪ Si : $P + RFU > ETP$ $ETR = ETP$ ▪ Si : $P + RFU < ETP$ $ETR = P + RFU$.

▪ L'évapotranspiration.

C'est l'ensemble de deux phénomènes principaux, l'une physique « évaporation » et l'autre biologique « transpiration ». L'évapotranspiration est la plus importante des paramètres, c'est la somme des quantités d'eau exprimées en mm, évaporées par la surface du sol et utilisées par les plantes, on distingue :

▪ **L'évapotranspiration potentiel (ETP).** Est la quantité d'eau pouvant être restituée à l'atmosphère par transpiration des êtres vivants et évaporation du sol et des surfaces d'eaux libres, si ceux-ci contiennent en permanence la quantité d'eau suffisante.

▪ **L'évapotranspiration réelle (ETR).** Correspond à la quantité d'eau effectivement transpirée et évaporée pour une surface donnée et une période définie.

▪ **Le ruissellement (R).** Le ruissellement est la quantité d'eau au cours d'une précipitation échappée à l'infiltration et l'évaporation, il a pour but d'apprécier l'importance de l'érosion mécanique et chimique qui affecte la surface du sol.

▪ **L'infiltration (I).** L'infiltration est un paramètre très important du bilan hydrique, elle est définie Comme la quantité d'eau franchissant la surface du sol. Elle renouvelle les réserves

d'eaux souterraines et entretient le débit de l'écoulement souterrain des sorties après circulation dans les formations hydrogéologiques perméables du sous-sol.

▪ **La réserve facilement utilisable (RFU).**

Elle présente la quantité d'eau emmagasinée dans le sol.

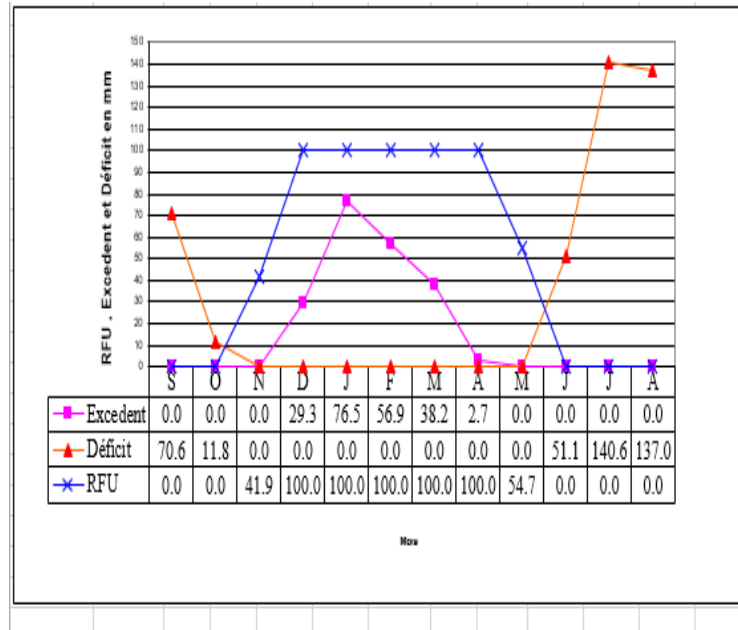


Figure 1.3. Représentation graphique du bilan hydrique de la station les salines (1980-2014)

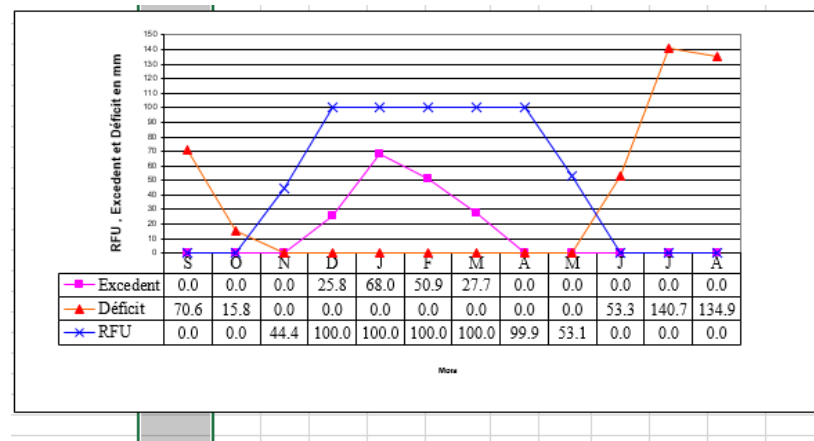


Figure 1.4. Représentation graphique du bilan hydrique de la station pont Bouchet (1980-2014).

1.7.2. Interprétation du bilan de Thornthwaite.

Les résultats du bilan hydrique des deux stations illustrées dans les tableaux et les graphismes précédents, permettent les observations suivantes :

- La zone d'étude reçoit des précipitations moyennes annuelles de :

* 670.6mm pour les Salines ;

* 635.1 mm pour Pont Bouchet ;

- La température moyenne annuelle est de l'ordre de 17,8°C observé au niveau de la station des Salines.

L'évapotranspiration potentielle (ETP) : atteint le maximum au mois d'Aout (144.9mm) et le minimum au mois de Janvier (23.8 mm), alors que le total est de l'ordre de 878.1 mm pour les deux stations.

L'évapotranspiration réelle (ETR) : le total est de l'ordre de 461.9 mm pour la station de Pont Bouchet, alors qu'il est de 467 mm pour celle des Salines.

La reconstitution de la réserve facilement utilisable (RFU) s'effectue au mois de Novembre et Atteint son maximum (100 mm) au mois de Décembre jusqu'au mois d'Avril à partir duquel, il y a un surplus d'eau accompagné par un ruissellement et quand elle a tendance à diminuer et au point qu'il sera carrément vide au mois de Juin, il y aura un épuisement du stock et par conséquent un déficit agricole s'étalant jusqu'au mois d'Octobre pour les deux stations, d'où une moyenne annuelle de 416.2 mm pour la station de Pont Bouchet et 411.1 mm pour la station des Salines. L'excédent annuel est de l'ordre de 172.3 mm à la station de Pont Bouchet et 203.6mm à la station des Salines.

La région d'étude est soumise à un climat méditerranéen caractérisé par deux saisons, à savoir :

- **L'une froide et humide** : allant du Septembre à Mai,
- **L'autre sèche et chaude** : durant les mois de Juin, Juillet et Août.

1.8. Contexte végétal et agricole.

Le couvert végétal est un facteur important dont il faut tenir compte. La zone d'étude se caractérise par une végétation naturelle, un reboisement et des zones culturales ; ils se situent en dehors des zones urbanisées.

Les versants Nord et Sud disposent d'une remarquable couverture végétale donnant l'aspect d'une succession visible à l'œil nu, les maquis sur les niveaux plus au moins hauts et les forêts sur les niveaux de haute altitude. Parmi les espèces végétales les plus répandues du maquis sont les Cistes, Bruyères, Lentisques, Myrtes arbousiers, Diss, Guendouls et les oliviers nains. Alors que les espèces végétales caractérisant les forêts sont les chênes lièges, Pins maritimes, Eucalyptus, Chênes Zeens, Cèdres, Maquis et autre.

Tableau 1.1 : Les superficies des différents types de végétation caractérisant les forêts de la région d'étude
: Source : Direction des forêts (2010) (Wafa MOURDI, 2011)

Essence (type)	Superficie (Ha)
Chêne liégé	5.02
Pin martine	40.74
Eucalyptus	42.4
Chêne zeen	79.8
Chêne zeen et chêne liège	30.9
Chêne zeen Pin martine	83
Cèdre	01
M'acquis	6.23
Autre (terrain de culture)	2.23
Total	250.57

Les sols alluvionnaires se caractérisent par une végétation pastorale occupant les zones basses de la région, c'est une végétation continue et très dense au niveau des marécages et représente une réserve de fourrage pour le cheptel de la région. L'agriculture de la région est basée surtout sur les maraîchères, céréales, vignobles, cultures industrielles (tomate industrielle) et arboricultures fruitières. L'irrigation de ces cultures est assurée par les pluies efficaces pendant la période humide, alors qu'elle est basée sur les eaux des Oueds et des puits domestiques pendant la période sèche à l'aide d'un réseau d'irrigation. La figure I.5 montre la superficie des différentes cultures irriguées de la zone d'étude (Selon la DSA 2010).

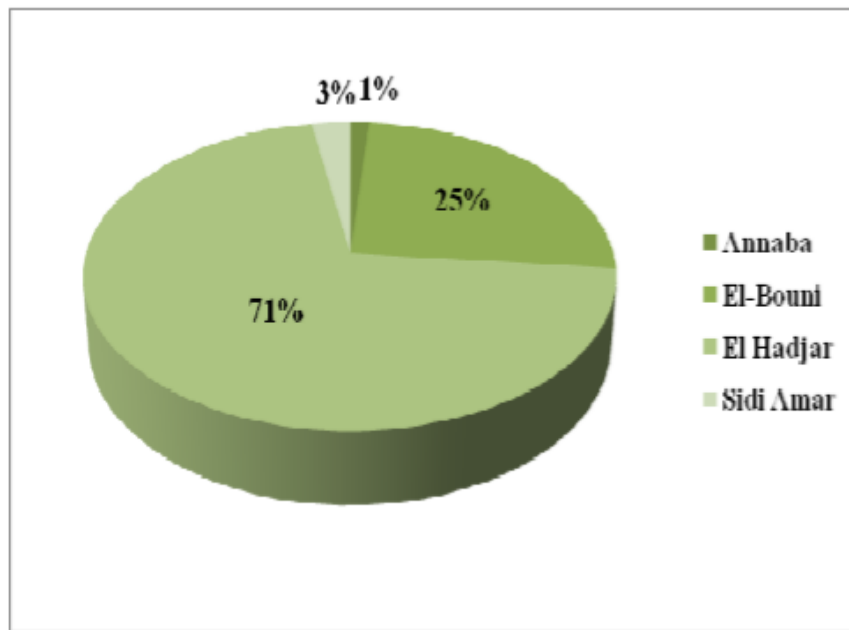


Figure 1.5. : Superficie des cultures irriguées dans la zone d'étude (Wafa MOURDI, 2011).

1.9. Le contexte industriel.

La région d'étude se caractérise par une industrie importante qui se localise surtout en bordure des Oueds Meboudja et Seybouse et aussi au niveau des centres urbains. Cette industrie se subdivise en :

- Industrie lourde : Arcelor Mittal, Sider, S.N.V.I et Ferroviaire...
- Industrie chimique : avec le complexe des engrais phosphatés et azotés (FERTIAL),
- Industrie légère (ORELAIT),
- Et plusieurs industries agroalimentaires ou de transformations représentées par de petites entreprises.

1.10. Les différentes activités du complexe sidérurgique.

Les premières unités ayant débuté la production sont le secteur fente et aggloméré ainsi que la tubaire spirale.

Le programme du complexe visait les objectifs suivants :

- Satisfaction optimale des besoins nationaux.
- Maîtrise des nouvelles technologies.
- Formation du personnel.

- Production ayant un haut niveau d'intégration.
- Substitution de la production nationale à l'importation.

Parmi les principales unités actives au niveau du complexe, l'unité PMA (préparation de minerai et agglomération) qui comprend :

- * Le secteur minerai : dont le rôle est identique en ce qui concerne le minerai acheminé par wagons des mines de l'Ouenza à la station de déchargement.

- * Le secteur Coke et addition

- * Le secteur agglomération qui comprend deux secteurs :

- 1- L'agglomération N°1 mise en service en juin 1961 ayant une capacité de 2100 t/j

- 2- L'agglomération N°2 mise en service en mai 1969 et d'une capacité de 8260 t/j.

1.11. Les rejets du complexe sidérurgique Arcelor Mittal Steel.

Au cours des cycles de production, les effluents gazeux sont rejetés dans l'atmosphère, d'une part et d'autre part, certains liquides toxiques sont déversés dans l'Oued Meboudja sans aucun traitement préalable. Cette situation crée une pollution atmosphérique et hydrique, à titre d'exemple ce complexe rejette annuellement dans l'atmosphère :

- 36890 tonnes de poussières.
- 30895 tonnes de CO.
- 2260 tonnes de SO₂.
- 3093 tonnes de NH₃. (DJORFI Samir, 2012)

Tableau 1.2 : Types et quantité des rejets provenant de l'unité Arcelor Mittall Steel. (DJORFI Samir, 2012)

Unité	Type de rejet	Quantité annuelle	Milieu récepteur	Milieu affecté
Laminoir à chaud (LAC)	Huiles minérales	870 m3/an	Oued Meboudja	Sol d'agriculture eau d'irrigation
Aciérie électrique (ACE)	Poussières	7600 tonnes /an	Atmosphère	L'atmosphère Terrain agricole
Aciérie à oxygène N°1 (ACO2)	Mas à l'Oued poussières	1070 tonnes 190tonnes /an	Oued Meboudja	Sol d'agriculture eau d'irrigation
Aciérie à oxygène N°2 (ACO2)	Huiles minérales	1925 m3 /an	Oued Meboudja	Sol d'agriculture eau d'irrigation
Hauts fourneaux HFX	MES Poussières	4900tonnes /an 8425 tonnes /an	Atmosphère	L'Atmosphère Terrains agricoles
Préparation matières (PMA)	Poussières Nox CO	15120tonnes/an 846 tonnes /an 308950 t/an	Atmosphère	L'Atmosphère Terrains agricoles
Cokerie	Poussières SO2 NH3 MO CN Phénol	5644 tonnes /an 2260 tonnes/an 3093 tonnes/an 1220tonnes/an 94 tonnes/an 660 tonnes/an	Atmosphère Atmosphère Atmosphère Oued Meboudja	L'Atmosphère Terrains agricoles Eaux d'irrigation

1.12. Diagnostic de la pollution.

Les eaux de la région étudiée sont soumises à une intense pollution due à plusieurs sources. Des cas de pollution ont été détectés au niveau des eaux de surface et souterraines de la plaine de Annaba par Fe(t), Mn^{2+} , NH_4^+ , PO_4^{4-} , Cr(t), Pb , Sn^{4+} et NO_3^- , sous l'effet des rejets urbains et industriels au niveau de la nappe superficielle et par l'effet de l'utilisation intensive des engrais chimiques dans l'agriculture.

En effet, une pollution d'origine industrielle a été observée au niveau de la nappe superficielle le long de l'Oued Meboudja, notamment autour du complexe sidérurgique Arcelor-Mittal Steel.

1.12.1 Plaine de l'Oued Meboudja.

La pollution due aux rejets industriels et urbains est très variés, ses sources potentielles sont :

- Les eaux usées d'origine industrielle chargées en polluants provenant du complexe Arcelor Mittal Steel.
- Les rejets des usines des zones industrielles de Chaiba et Pont-Bouchet,
- Les rejets des eaux usées domestiques (habitations, commerce).
- Activités agricoles : L'agriculture et l'élevage sont responsables du rejet de nombreux polluants organiques et inorganiques dans la zone d'étude et proviennent parfois de l'érosion des terres agricoles. (DJORFI Samir, 2012).

1.13. Pollution des sols par les éléments traces métalliques (ETM).

Les éléments traces métalliques sont les 68 éléments minéraux, constituants de la croûte terrestre, présentant une concentration inférieure à 0,1 %. Ensemble ils ne représentent que 0,6 % du total des éléments. L'expression « éléments traces métalliques » fait référence aux métaux présents à l'état de trace tels que le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le nickel (Ni), le plomb (Pb), le zinc (Zn) Le terme « métaux lourds » basé sur la masse atomique de référence, bien qu'il reste largement utilisé, est sujet à discussion (Gimbert, 2006), pour résoudre ces difficultés ont proposé une classification des ETM basée sur l'affinité des ETM avec certains ligands, plus précisément les ligands oxygénés (classe A), les ligands azotés ou soufrés (classe B) ou pour les 2 types de ligands (classe intermédiaire).

Tableau 1.3. Classification des principaux ETM selon leur affinité pour des ligands oxygénés (classe A), des ligands azotés ou soufrés (classe B) et pour les deux types de ligands (classe intermédiaires) d'après (Nieboer et Richardson, 1980) (ATAILIA Amira, 2016)

Classe A	Intermédiaire	Classe B
Calcium	Zinc	Cadmium
Magnesium	Plomb	Cuivre
Manganese	Fer	Mercure
Potassium	Nickel	Argent
Sodium	Vanadium	

1.14. Origine des éléments traces métalliques dans

l'environnement aquatique.

Dans l'environnement aquatique, les ETM sont d'origine naturelle et anthropique. A partir de leurs points d'émission, les ETM vont emprunter différentes voies de dispersion pour se retrouver dans le milieu aquatique. Les cheminements pris par les ETM dépendent de leur mode d'introduction (rejets directs dans les rivières, dans l'atmosphère ou sur le sol) ainsi que de leur forme physique (solide, liquide ou gazeuse) (Foster et Charles Worth, 1996).

L'atmosphère constitue un milieu clé pour le transfert des polluants métalliques vers le milieu aquatique. Ainsi, à l'échelle globale de la Terre, cette voie fournit plus de 70% du plomb et du vanadium total, environ 30 % de mercure total et 20% de cadmium total au milieu aquatique.

Dans les régions rurales et reculées, l'atmosphère fournit la majeure partie des stocks d'ETM dans le milieu aquatique.

(<https://docplayer.fr/5722529-Universite-paris-12-val-de-marne-these.html>)

1.14.1. Origine naturelle.

Les ETM sont présents de façon naturelle dans les sols et constituent ainsi le fonds géochimique. Les teneurs en ETM du fonds géochimique dépendent à la fois des teneurs présentées dans les roches mères et des processus intervenus lors de la formation du sol et qu'ont pu lessiver ou concentrer les éléments (**Robert, 1996**). Les éléments traces ne représentent que 0,6% des éléments totaux alors que les 12 éléments majeurs interviennent pour 99,4%.

Les métaux les plus abondants dans la croûte terrestre sont l'aluminium et le fer.

Ces derniers en particulier, interviennent dans de nombreux processus biologiques notamment dans les processus énergétiques microbiens et ceci dans les environnements aérobies et anaérobies

1.14.2. Origine anthropique.

Les sols peuvent présenter de fortes teneurs en ETM dues à des apports d'origine anthropique.

Les principales sources de pollution des sols en ETM délibérées ou accidentelles sont :

- (1) les activités métallurgiques : activités minières, fonderie et industrie métallurgique
- (2) les pratiques agricoles et horticoles (fertilisants, pesticides)
- (3) les boues d'épuration.
- (4) l'utilisation de combustibles fossiles,
- (5) l'industrie manufacturière et chimique.
- (6) les stockages de déchets.
- (7) les activités sportives de tir et pêche.
- (8) les zones d'entraînement militaire et les zones de combats.

Les sols sont affectés par des sources locales de polluants, le polluant est émis dans l'environnement à proximité (m à km) du sol où il sera retenu, ou depuis des sources éloignées (plusieurs km voire milliers de km). Lorsque des polluants (parmi lesquels les ETM) sont émis dans l'environnement, ils peuvent être transportés sur de larges distances et transférés entre l'atmosphère, l'hydrosphère la lithosphère et la biosphère.

Le transport et le devenir des ETM à de larges échelles spatiales (échelles régionales et continentales) sont principalement contrôlés par les propriétés physico-chimiques du polluant lui-même mais aussi du média (atmosphère, océan...) et des surfaces de déposition.

Les sols pollués constituent une source d'ETM dans l'environnement, ils sont également un puits pour les ETM émis et constituent une source d'exposition majeure des organismes.

1.15. Effets sur l'eau.

Toute pollution (urbaine, industrielle ou agricole) qui touche l'eau circulera à travers son cycle puis en mer. La pollution de l'atmosphère provient des pluies acides qui provoquent un changement des caractéristiques chimiques de l'eau qui atteint finalement les lacs, les rivières et les nappes phréatiques causant des effets néfastes comme la mort biologique des lacs et les cours d'eau. En Suède, par exemple sur 85000 lacs, 18000 environ sont acidifiés dont 4000 gravement. Au Canada, 46000 lacs sont morts.

Tableau 1.4. Les effets de quelques polluants sur l'environnement (Wafa MOURDI, 2010)

Polluants	Effets environnementaux
Les matières en suspension	▪ Eaux plus troubles : perturbe la photosynthèse, la respiration des poissons et colmate les milieux aquatiques.
Pollution organique	▪ Asphyxie du milieu par consommation de l'oxygène dissous, mort des poissons. ▪ Stimulation de la production végétale (eutrophisation) et accumulation de boues. ▪ Faiblement biodégradable.
Azote	▪ Eutrophisation des milieux aquatiques par excès de matières nutritives pour les végétaux (algues) et conduisant à l'asphyxie des milieux. ▪ Toxicité de l'ammoniaque et des nitrites pour la faune aquatique. .
Métaux	▪ Non biodégradables, bioaccumulables.

1.16. Caractéristiques physico-chimiques de la qualité de l'eau des oueds.

La qualité des eaux de surface, un élément-clé de tout portrait de bassin versant, s'évalue en comparant les caractéristiques de l'eau de surface des cours d'eau avec des valeurs de référence établies. Certains paramètres physico-chimiques et bactériologiques doivent en effet demeurer à l'intérieur d'une gamme de limites reconnues pour assurer la sécurité des différents usages d'eau.

Ceux-ci peuvent se classer en 4 catégories, soit

- 1) la consommation d'eau et d'organismes aquatiques.
- 2) la protection de la vie aquatique (toxicité aigüe et chronique).
- 3) la protection de la faune terrestre piscivore.
- 4) la préservation des activités récréatives et du paysage (contact primaire et secondaire).

Il est par exemple possible de déterminer les seuils pour permettre des usages récréatifs potentiels de l'eau comme la baignade, les activités nautiques, ainsi que la protection des plans d'eau contre l'eutrophisation. L'analyse de l'état qualitatif des cours d'eau rend ainsi possible

l'identification des variables limitant la qualité des eaux et permet de cibler ceux où il existe une problématique

Ces paramètres sont souvent regroupés sous le terme de paramètres physico-chimiques. En tout premier lieu, il s'agit de la température et de la salinité qui sont les deux descripteurs de base des masses d'eaux.

Dépendant quasi exclusivement de processus physiques, ils sont de bons traceurs de mélange des eaux.

La qualité générale de l'eau est influencée par des processus chimiques et biologiques, et altérée ou non par des apports anthropiques. Deux descripteurs usuels permettent de caractériser très globalement la qualité du milieu, l'oxygène dissous et le pH, ce dernier étant surtout important dans les milieux estuariens de faible salinité.

➤ **Température.**

La température de l'eau, est un facteur écologique qui entraîne d'importantes répercussions écologiques

La température est, avec la salinité, un des descripteurs de base pour la connaissance du milieu.

La température influe sur l'activité biologique dont dépend la production totale, et sur la répartition des espèces (référéndums thermiques), donc, par exemple, sur la pêche.

La mesure de la température est indispensable pour l'interprétation ou le traitement d'autres paramètres.

Ainsi, la saturation des gaz dissous est fonction de la température et la mesure du pH requiert la connaissance de la température.

Ainsi, la constance de la température d'une eau souterraine constitue un indice de pureté de cette eau puisque ce caractère résulte de l'existence d'une bonne filtration.

➤ **Couleur.**

C'est un paramètre organoleptique lié à la présence d'éléments dissous ou à l'état colloïdal tels que les composés humiques, les métaux ou les déchets de différents types (Beaux, 1997).

Les eaux naturelles sont généralement bleues ou vertes ou brunes à cause des particules en suspension qui réfléchissent la lumière. En faible masse, une eau pure, une eau potable, la couleur naturelle de l'eau pure est vert pale, la teinte bleue fréquemment observée est due aux

réflexions multiples de la lumière du ciel. Lorsque l'eau contient des traces appréciables de matières organiques, elle a tendance à prendre une teinte jaunâtre.

Des traces de fer peuvent aussi apporter une teinte jaune, et des traces de cuivre par exemple dans une piscine, peuvent apporter une teinte bleue. Le plus souvent, la couleur n'a pas elle-même, aucune incidence sur la qualité de l'eau : elle est généralement éliminée par les traitements tels que la floculation, la chloration, l'ozonation. .

➤ Le pH.

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

C'est un paramètre qui nous permet de mesurer l'acidité, l'alcalinité ou la basicité d'une eau. .
Le pH de l'eau de mer voisin de 8.2 est principalement fixé par la présence des carbonates : CO_2 , HCO_3^- , CO_3^{2-} .

La modification des concentrations en CO_2 (respiration, photosynthèse ou échange air-océan) ou en CO_3^{2-} (précipitation) entraîne donc une modification du pH.

En milieu côtier certains rejets industriels ou les apports d'eaux de ruissellement sont la cause de variation du pH qui s'avère être dans ce cas un indice de pollution, mais cette variation reste très localisée aussi bien dans le temps que dans l'espace et cela du fait du « pouvoir tampon » de l'eau de mer.

La mesure du pH aura deux applications à considérer séparément : le suivi de la qualité des eaux, d'une part, et les études thermodynamiques des équilibres chimiques, d'autre part.

La distinction majeure réside dans le niveau de justesse et de précision requis pour ces deux applications.

En milieu côtier certains rejets industriels ou les apports d'eaux de ruissellement sont la cause de variation du pH qui s'avère être dans ce cas un indice de pollution, mais cette variation reste très localisée aussi bien dans le temps que dans l'espace et cela du fait du « pouvoir tampon » de l'eau de mer.(<https://docplayer.fr/39703605-Alimentation-et-nutrition.html>)

➤ **Conductivité.**

La conductivité électrique (EC) est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. La plupart des sels minéraux en solution sont de bons conducteurs.

Par contre, les composés organiques sont de mauvais conducteurs. La conductivité électrique standard exprime généralement en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

L'estimation de la quantité totale de matières dissoutes peut être obtenue par la multiplication de la valeur de la conductivité par un facteur empirique dépendant de la nature des sels dissous et de la température de l'eau.

➤ **Potentiel redox (Eh).**

Dans les systèmes aqueux, le potentiel redox (ou disponibilité en électrons) affecte les états d'oxydation des éléments (H, C, N, O, S, Fe...). Dans une eau bien oxygénée, les conditions d'oxydation dominent. Quand les concentrations d'oxygène diminuent, le milieu devient plus réducteur ce qui se traduit par une réduction du potentiel redox.

Dans les eaux naturelles, des comparaisons relatives de l'évolution du potentiel redox peuvent être utiles pour suivre les degrés de changement du système aquatique.

Le potentiel redox se mesure en mV.

➤ **Oxygène dissous (O₂).**

La quantité d'oxygène en solution dans une eau régit les réactions d'oxydoréduction et présente une évolution identique à celle du Eh. (Khababa Amir., 2017)

✓ **Les indicateurs de qualité de l'eau. (Victor Hugo Grisales Palacio, 2007)**

Les eaux usées sont des liquides de composition hétérogène, chargés de matières minérales ou organiques pouvant être en suspension ou en solution, et dont certaines peuvent avoir un caractère toxique. L'élaboration et la définition de paramètres qualitatifs de la pollution ont conduit à établir des mesures quantitatives de la pollution :

- **Matières en suspension (MES).** Quantité (en mg/L) de particules solides, de nature minérale ou organique, véhiculées par les eaux usées. La mesure des MES est effectuée par filtration ou bien par centrifugation d'un échantillon, après séchage à 110 °C.

- **Demande chimique en oxygène (DCO).** Permet de mesurer la consommation d'oxygène (en mgO₂/L) dans les conditions d'une réaction d'oxydation complète. C'est une mesure de la

pollution organique. On utilise pour cela un oxydant puissant (le bichromate de potassium) dans un milieu acide (acide sulfurique). La quantité d'oxygène cédée par l'oxydant au cours de la réaction constitue la demande chimique en oxygène. Celle-ci est d'autant plus importante que l'eau est polluée. Cette méthode qui permet un résultat rapide, est utilisée surtout pour les eaux très polluées. On sépare généralement la DCO particulaire de la DCO soluble pour différencier les matières en suspension (partie organique) des matières organiques solubilisées.

• **Demande biochimique en oxygène (DBO).** Représente la consommation d'oxygène (en mgO_2/L) résultant de la métabolisation de la pollution organique biodégradable par les micro-organismes. L'échantillon prélevé est dilué par une solution contenant les substances nutritives appropriées et une semence d'un grand nombre de populations bactériennes. La procédure d'analyses biochimique dépendant des prévisions de la charge polluée, normalement plusieurs tests sont effectués avec différentes dilutions, afin de couvrir la gamme complète des concentrations possibles. Le mélange est laissé en incubation dans un flacon étanche, isolé de l'air, pour faciliter les mesures d'oxygène utilisé durant les réactions de métabolisme. Un test supplémentaire est réalisé sur la culture de micro-organismes avec une dilution d'eau, afin d'établir les corrections liées à la fraction d'oxygène consommée par la semence biologique. Les résultats de ce test dépendent de la température ainsi que de la période d'incubation. Si la température standard est fixée à 20 °C, la durée d'oxydation peut varier. La Demande Biochimique en Oxygène (DBO) est souvent mesurée après 5 jours, la notation utilisée dans ce cas est généralement DBO5. Au cours de cette période, l'oxydation n'est pas totale (de 60 à 70% de la réaction complète), alors qu'elle est estimée entre 90% et 95% après une incubation de 20 jours. La DBO a été reconnue depuis très longtemps comme la principale mesure de la pollution organique.

• **Azote global (NGI).** Quantité totale d'azote (en mgN/L) correspondant à l'azote organique (Norg) et ammoniacal (ion ammonium, NH_4) et aux formes minérales oxydées de l'azote : nitrates (NO_3) et nitrites (NO_2). L'analyse de l'ammoniac est réalisée sous un pH élevé par la technique de minéralisation (chauffage et condensation) et un test de colorimétrie. Le test Kjeldahl consiste à faire subir à un échantillon, un processus de digestion où l'azote organique est transformé en ammoniac. Par conséquent, l'azote Kjeldahl (NTK) représente l'azote organique et ammoniacal. Les formes oxydées (nitrates et nitrites) sont mesurées par colorimétrie.

✓ Les principaux polluants. (Victor Hugo Grisales Palacio, 2007)

Les phénomènes de pollution des eaux se traduisent par des effets particuliers liés aux spécificités écologiques propres aux milieux aquatiques. En effet, l'eau peut dissoudre, souvent avec facilité, de nombreuses substances chimiques et biologiques. Par conséquent, tout polluant peut être véhiculé fort loin de la source de contamination. La problématique des déchets présents dans l'eau peut être abordée de plusieurs façons, qui donnent chacune lieu à une classification différente. Ainsi, les impuretés peuvent être identifiées suivant qu'elles soient vivantes ou inertes, minérales ou organiques, solides ou dissoutes. D'autres techniques de classification sont basées sur leur dimension, leurs degrés de toxicité,... Parmi les principaux polluants on peut distinguer les suivants :

- Les matières organiques : constituent, de loin, la première cause de pollution des ressources en eaux. Ces matières organiques (déjections animales et humaines, graisses,...) sont notamment issues des effluents domestiques, mais également des rejets industriels (industries agro-alimentaire, en particulier). La pollution organique peut être absorbée par le milieu récepteur tant que la limite d'auto-épuration n'est pas atteinte.
- Les éléments minéraux : regroupent essentiellement les produits azotés ainsi que les produits phosphorés. Ces matières proviennent principalement des activités agricoles. La pollution minérale des eaux peut provoquer le dérèglement de la croissance végétale ou des troubles physiologiques chez les animaux.
- Les métaux lourds : les plus fréquemment rencontrés mais qui sont aussi les plus dangereux sont le mercure, le cuivre, le cadmium, le chrome, le plomb et le zinc. Ils ont la particularité de s'accumuler dans les organismes vivants ainsi que dans la chaîne trophique. La pollution radioactive peut avoir des effets cancérigènes et mutagènes sur les peuplements aquatiques.
- Les matières pathogènes : sont constituées de virus et bactéries entraînant souvent une inhibition des mécanismes biologiques. La pollution micro-biologique se développe conjointement à la pollution organique, par une prolifération des germes d'origine humaine ou animale dont certains sont éminemment pathogènes.
- Les substances toxiques : sont des composés chimiques de synthèse, issus des activités industrielles et agricoles. Les conséquences souvent dramatiques de la pollution chimique sur les écosystèmes, varient suivant la concentration de composés dans les rejets.
- Les hydrocarbures : provenant des industries pétrolières et des transports, ces composés chimiques sont des substances peu solubles dans l'eau et difficilement biodégradables. Leur densité inférieure à l'eau les fait surnager et leur vitesse de propagation dans le sol est 5 à 7 fois

supérieure à celle de l'eau. Ils constituent un redoutable danger pour les nappes phréatiques. Une autre classification très importante est fondée sur le pouvoir de dégradation des déchets polluants. On distingue ainsi deux classes principales :

- Les matières biodégradables : affectées par les activités biologiques des microorganismes, ces substances sont soumises aux divers processus biochimiques de conversion. Cette fraction biodégradable peut être structurée en deux groupes :
 - Les matières aisément dégradables, composées des substances solubles, ces matières ont la caractéristique de pouvoir être directement absorbées par les bactéries.
 - Les matières lentement dégradables, composées des substrats particuliers formés par un mélange de substances organiques solides, colloïdales et solubles. Ces matières sont soumises à certains processus intermédiaires avant d'être absorbées par les populations bactériennes.
- Les matières non-biodégradables : ces substances inertes ne subissent aucun phénomène biologique de transformation. Ces matières sont soit présentes dans les eaux résiduaires, comme les métaux lourds, soit issues des phénomènes de mortalité des micro-organismes au cours des processus biologique d'épuration. Les composants non-biodégradables solubles peuvent traverser la station d'épuration sans être modifiés mais les matières inertes en suspension peuvent être éliminées par des mécanismes de décantation. La structure chimique des polluants permet de distinguer deux types de composés :
 - Les matières organiques : elles sont constituées d'un grand nombre de composés qui ont la particularité commune de posséder au moins un atome de carbone, d'où leur nom de substance carbonées. Ces atomes de carbone sont oxydés biologiquement par les microorganismes pour fournir l'énergie nécessaire à leur croissance.
 - Les matières inorganiques : sont des substances ne contenant pas de carbone. La fraction minérale des eaux résiduaires représente principalement les produits azotés et phosphorés.

1.17.SIG.

Un Système d'Information Géographique (SIG) est une collection de logiciels qui vous permet de créer, visualiser, rechercher et analyser des données géo spatiales. Ces données se réfèrent à des informations concernant l'emplacement géographique d'une entité .Ceci implique souvent l'utilisation de coordonnées géographiques, tel qu'une valeur de latitude ou de longitude. Le terme donnée spatiale est également employé couramment, ainsi que : donnée géographique, donnée SIG, donnée cartographique, donnée de localisation, donnée de géométrie spatiale... Les applications

utilisant des données géo spatiales réalisent une grande variété de fonctions. La création de carte est celle-là plus admise, les logiciels cartographiques prennent les données géo spatiales et les restituent sous une forme visuelle, sur un écran d'ordinateur ou sur une page imprimée. Ces applications peuvent présenter des cartes statiques (une seule image) ou des cartes dynamiques qui peuvent être personnalisées par la personne regardant la carte via un logiciel bureautique ou une page internet. Beaucoup de gens présumant à tort que les applications géo spatiales se limitent à la production de cartes alors que l'analyse des données est une autre importante fonction de ces logiciels...

1.18. Présentation du logiciel QGIS.

QGIS est un logiciel de Systèmes d'Information Géographiques (SIG). Libre d'accès et gratuit, il représente un des logiciels cartographiques les plus performants du moment et constitue un choix intéressant pour nombre d'utilisateurs impliqués dans la gestion des ressources naturelles.

1.18.1. Un peu d'histoire.

Apparue dans les années '80, la cartographie informatisée permet d'acquérir et de manipuler des données à caractère géographique. Lancé en 2002, QGIS est un logiciel SIG « open source » ou libre. Il est développé par une communauté d'utilisateurs et se caractérise par sa gratuité et son code source libred'accès. Enfin, il constitue aujourd'hui l'un des principaux projets de l'Open Source Geospatial Foundation (OSGeo) dont l'objectif est de soutenir le développement de logiciels libres d'accès dans le domaine de la cartographie informatisée.

1.18.2. Fonctionnalités GIS.

Ses fonctionnalités De nombreux logiciels SIG open source et gratuits existent. Cependant, QGIS se démarque des autres de part la richesse de ses fonctionnalités ainsi que par l'importance de sa communauté d'utilisateurs. Un des plus grands atouts de QGIS est son interface intuitive, conviviale et entièrement en français. Il est également très simple d'installation.

Un autre avantage du logiciel est sa compatibilité avec différentes plateformes (Windows, Mac, OS X ou encore Linux). De plus, il prend en charge de nombreux formats de données cartographiques (format « .shp », « .gpx », « .tif », etc.). Cette capacité représente un atout majeur lorsqu'il s'agit de travailler avec des données provenant de sources diverses. QGIS intègre l'ensemble des fonctionnalités communes aux logiciels.

Il est donc possible de gérer le contenu des tables d'attributs ainsi que le style des couches, de réaliser diverses analyses et sélection ou encore de gérer les projections. Depuis le lancement de la version 2.0 de QGIS, les fonctionnalités de mise en page sont devenues très performantes et beaucoup plus intuitive que dans les versions précédentes.

QGIS intègre également un module de WebMapService (WMS) qui permet la visualisation de cartes géoréférencées à partir de serveurs de données cartographiques. Enfin, notons que les fonctionnalités de QGIS peuvent être enrichies en téléchargeant des extensions qui viennent Greffer sur le module de base.

(www.qgis.org & www.osgeo.org)

Chapitre II : Partie Expérimentale

Le complexe sidérurgique d'El-Hadjar comme toute activité industrielle, consomme des quantités énormes d'eau qui rentrent dans les différents circuits de refroidissement des équipements et des installations des unités de production. Toutes ces unités génèrent de grandes quantités de rejets liquides chargés en polluants, tels que, les ETM, des carburants, des graisses et des huiles en émulsions..., en concentrations variables vers un milieu récepteur, l'Oued Meboudja sans traitement préalable, menaçant ainsi l'équilibre écologique de l'écosystème.

2.1. Matériel et méthode.

2.1.1 Mesures in situ.

Afin de déterminer les paramètres physico-chimiques des eaux de rejets industrielles, dans notre site d'étude, nous avons utilisé le multi paramètre du type Hanna HI9829.

Les échantillons d'eau ont été obtenus depuis différents points, afin d'évaluer leurs qualité par la mesure d'un ensemble de paramètres.

- Les paramètres physico-chimiques (température, pH, oxygène dissous, et conductivité) ont été mesurés sur le terrain (in situ) à l'aide d'un multi paramètre de terrain de type HANNA 9828.

Son utilisation consiste à plonger la sonde appropriée dans un récipient qui contient l'échantillon d'eau, puis attendre quelque minutes jusqu'à la stabilisation de l'affichage sur l'écran ensuite noter les résultats de la mesure.



Figure 2. 1: Multiparamètre HI9829 et quelque paramètre insitu (sortie du 06 juin 2021)

La figure ci-dessous présente les points de prélèvement et leurs localisations :

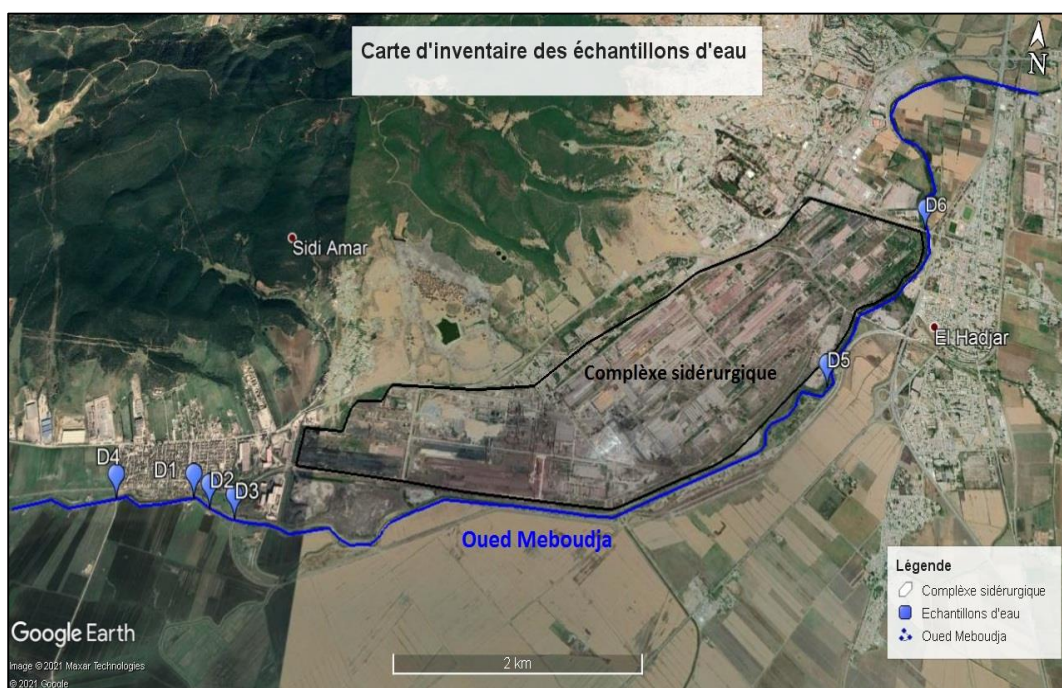


Figure 2. 2: Carte d'inventaire des points d'eau.

Tableau 2.1: Les coordonnées géographiques.(UTM.WGS84)

	D1	D2	D3	D4	D5	D6
Lat.	N36°46'58,9155	N36°47'05,47	N36°46'56'7523	N36°47'42,567	N36°46'55,808	N36°48'31,58496
x	6"	08"	82"	36"	004"	"
Long	E7°39'11,9178"	N7°39'37,208	E7°39'5081796"	E7°43'21,468"	E7°39'58,5601	E7°43'58,88856"
y		52"			2"	

Les résultats indiqués dans le tableau ci-dessous montrent les paramètres physico-chimiques mesurés par le multiparamètre.

Tableau 2.2 : les paramètres physico-chimiques.

	D1	D2	D3	D4	D5	D6
T (c°)	26.11	26.65	27.38	26.11	27.38	26.65
pH	7.74	7.40	7.29	7.74	7.29	7.40
Conductivité µs/cm	2185	1891	1981	2188	1981	1891
OD%	7.1	4.8	11.4	7.1	11.4	4.8

✓ pH.

Les valeurs des échantillons analysés présentent un pH >7, donc neutre à légèrement basique. Ce paramètre dépend de l'origine des eaux, de la nature géologique du substrat et du bassin versant traversé. Il conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques, et dépend de facteurs multiples. La variation du pH causée par certains rejets industriels ou les apports d'eaux de ruissellement est un indice de pollution.

✓ Conductivité électrique.

La variabilité de ce paramètre est un signe primordial donnant de précieux renseignements sur l'évolution spatiale et temporelle de la qualité de l'eau, elle permet d'évaluer rapidement la minéralisation globale de l'eau.

Elle est liée à la présence des espèces ioniques en solution. Cette mesure nous permettra de quantifier les ions liés contenue dans la solution qui sont réparties en deux groupes distincts :

Les cations : Calcium, Magnésium, Potassium, Sodium

Les anions : Bicarbonates, Chlorures, Sulfates, Nitrates, Phosphates.

Les résultats de la mesure sont le plus souvent indiqués en $\mu\text{S}/\text{cm}$. Une élévation de la température augmente la mobilité des ions dans l'eau, la valeur mesurée est alors plus élevée. Le résultat de la mesure doit toujours comporter l'indication de la température à laquelle elle a été faite, surtout si elle est différente de la température de référence de 20°C .

Ces valeurs sont très élevées dans tous les points prélevés, allant de 1891 à $2188\mu\text{S}/\text{cm}$, indiquant une forte minéralisation des eaux de l'Oued Meboudja.

(<https://manifest.univ-ouargla.dz/>)

✓ La température.

La température est régie généralement par les conditions climatiques saisonnières, elle intervient dans les caractéristiques microbiologiques de l'eau, car elle influe d'une part sur les propriétés physiques et chimiques de l'eau : la densité, la viscosité, la solubilité des gaz (notamment celle de l'oxygène), et d'autre part, sur la croissance et la survie des microorganismes dans le milieu. Pour les eaux de ces oueds, les températures oscillent de 26°C à 27°C .

✓ Oxygène dissout.

Les teneurs en oxygène dissout dans l'eau sont différentes d'un point à un autre avec une valeur maximale 11.4 mg/l et une valeur minimale de 4.8mg/l . Cette variation est due essentiellement à la diminution de la température de l'eau, car une eau froide contient une plus grande quantité d'oxygène dissous qu'une eau chaude.

Nous avons prélevés des échantillons tout en respectant les exigences de la méthode d'échantillonnage. Les prélèvements sont effectués dans des bouteilles préalablement nettoyées et rincées, ensuite transportés dans une glacière au laboratoire pour être analyser, les résultats sont indiqués dans le tableau suivant :

Tableau 2.3 : Les concentrations des éléments des traces métalliques.

Nom	Ca	Cd	Cu	Fe	Mn
Echantillons	Mg /l				
D1	58	0.004	0.081	3.129	≤ 0.0005
D2	50	0.004	0.085	4.949	
D3	43	0.015	0.073	4.690	
D4	48	0.014	0.079	4.561	
D5	687	0.004	0.081	0.016	
D6	69	0.011	0.085	0.0210	

Pour étudier la vulnérabilité de la zone de la Meboudja à la pollution par les éléments traces métalliques aux alentours du complexe sidérurgique, on a utilisé le logiciel **QGIS** pour réaliser une cartographie des zones vulnérables et les figures qui vont suivre montrent la répartition obtenue.

2.2. Cartographie des concentrations des éléments mesurés.

Dans cette cartographie nous avons utilisés des classes en couleur conventionnelles qui répondent aux réglementations internationales de consommation des eaux, le bleu présente des eaux potables, le vert caractérise les eaux valables pour l'irrigation, le jaune est utilisé pour les eaux médiocres, l'orange c'est pour les eaux de mauvaise qualité et le rouge marque les eaux de très mauvaise qualité.

2.2.1. Résultats et discussions.

 Pour le Calcium.

La présence des ions Ca dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles : soit la présence des formations carbonatées (CaCO_3), soit la dissolution des formations gypseuses (CaSO_4). La plupart des points d'eau ont de fortes concentrations en Calcium.

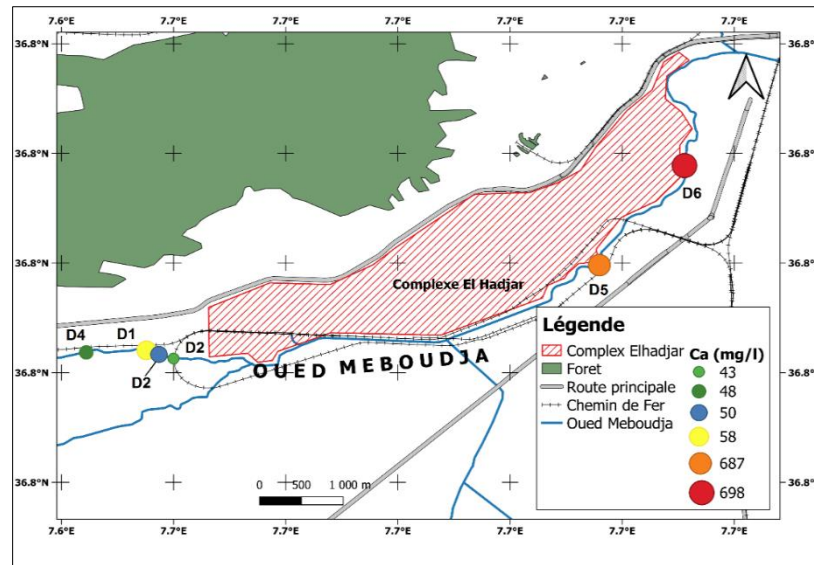


Figure 2. 3: Carte de la répartition du « Ca » dans la zone d'étude.

On remarque que les concentrations sont plus faibles en aval qu'en amont de l'usine ce qui indique que ces eaux sont moins influencées par la dissolution des formations carbonatées et gypseuses suite au phénomène de dilution.

✚ Pour le Cadmium.

Le cadmium est un métal relativement rare dans la nature. Sa stabilité dans l'eau est fonction du pH et du potentiel d'oxydoréduction. Son origine, d'un point de vue industriel, est liée aux matières plastiques, huiles de moteurs, piles et dans les produits de stabilité thermique.

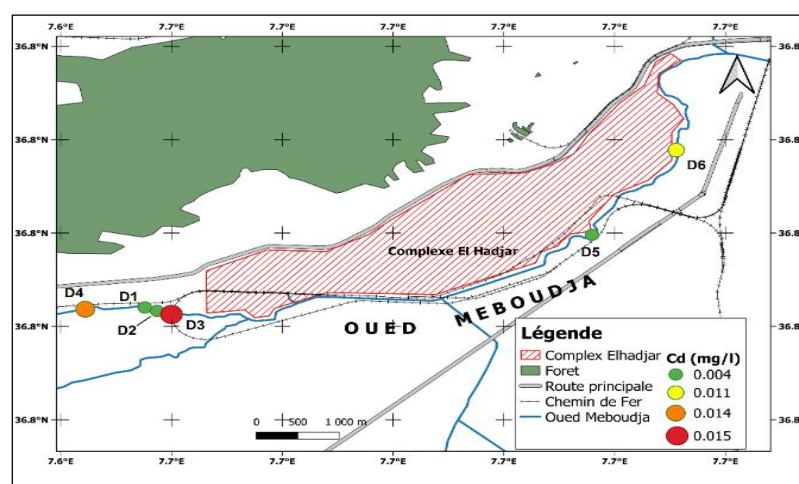


Figure 2. 4 : Carte de la répartition du « Cd » dans la zone d'étude.

Au niveau des eaux de l'Oued Meboudja, on remarque les teneurs du Cd sont un peu élevées indiquant une certaine pollution des eaux.

✚ Pour le Cuivre.

Le cuivre est un métal très courant car il est utilisé dans de nombreuses applications industrielles et dans la vie courante .

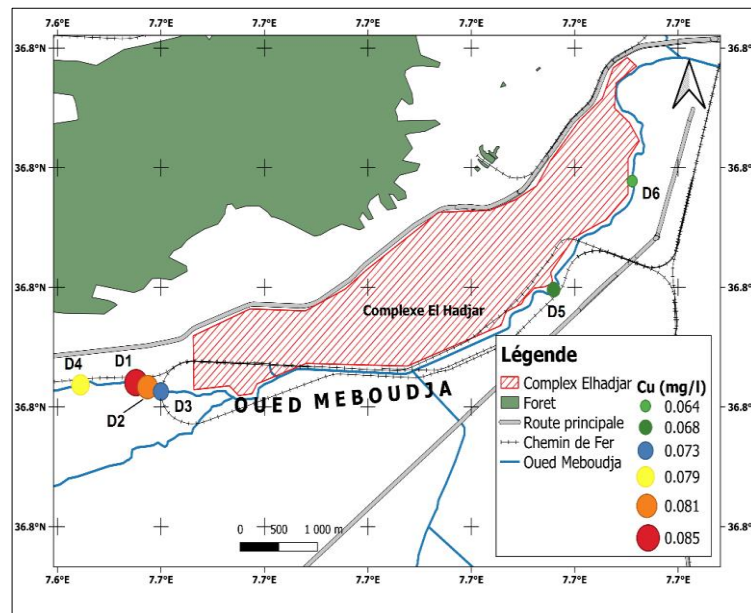


Figure 2. 5 : Carte de la répartition du « Cu » dans la zone d'étude.

Les concentrations sont élevées mais restent en dessous de la norme 2mg/l dans toutes les stations étudiées, La répartition des teneurs en Cuivre montre que les concentrations, les plus élevées ont été relevées au niveau des points situés à proximité de l'industrie sidérurgique et métallurgique et de la Décharge (l'entrée de la zone d'étude).

✚ Pour le Fer.

Le fer est un élément très répandu dans la croûte terrestre. Il s'emploie largement dans la métallurgie. Les résultats obtenus démontrent leur abondance relative qui varie d'une station à une autre Les concentrations les plus élevées (supérieures à la Norme OMS 0.3mg/l), sont enregistrées respectivement au niveau des stations D2. D3. D4.

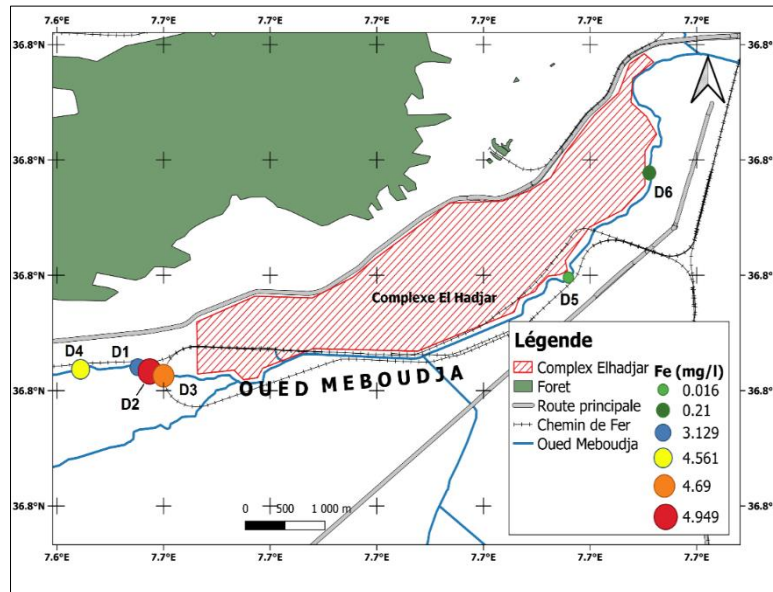


Figure 2. 6 : Carte de la répartition du « Fe » dans la zone d'étude.

La différence entre l'amont et l'aval est remarquable ce qui montre le rôle majeur de la sidérurgie Mittal Steel dans la présence de ces éléments au niveau des eaux de Oued Meboudja. La pollution par le fer provient essentiellement de l'industrie sidérurgique et métallurgique comme il peut aussi provenir des effluents urbains, de la corrosion de toutes les ferrailles métalliques ...

✚ Pour le Manganèse.

Le manganèse est un élément chimique, de symbole Mn et de numéro atomique 25 et qui existe dans la nature à l'état d'oxydes (**Hurlbut et Klein, 1982**). C'est un métal de transition gris blanc qui ressemble au fer. Le manganèse fond sans difficulté, mais il est facilement oxydé. Le manganèse n'est ferromagnétique qu'après un traitement spécifique.

Dans l'Oued Meboudja, les concentrations de cet élément sont souvent faibles, et inférieures à la norme (0.1mg/l).

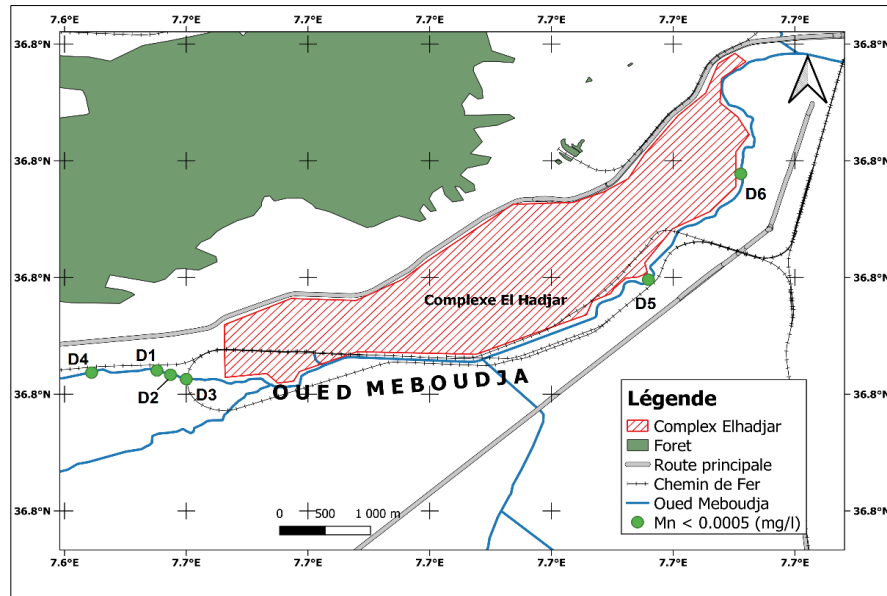


Figure 2. 7: Carte de la répartition du « Mn » dans la zone d'étude.

La source du manganèse dans les eaux de l'Oued Meboudja semble être liée au contact des eaux avec les roches calcaires et dolomitiques qui sont fortement présentes dans notre zone d'étude. Sa présence en aval de l'usine est liée aux rejets industriels déversés par cette dernière.

Ces deux éléments chimiques « Fe-Mn » sont souvent rencontrés ensemble dans la nature. La présence de fer dans l'eau peut avoir diverses origines : naturelle par le lessivage des terrains argileux, ou industrielle (métallurgiques, sidérurgiques). Par contre, la présence du manganèse, du point de vue industrielle, est liée à la métallurgie, l'industrie électrique et l'industrie chimique. Dans les eaux bien aérées, les concentrations de ces deux éléments sont souvent faibles.

Le manganèse peut apparaître dans l'eau à un potentiel Redox plus élevé que celui du fer.

Conclusion générale.

Depuis 1969, le complexe d'El-Hadjar a pu se développer dans son domaine d'activité au fil des années pour répondre à la demande croissante de produits sidérurgiques pour multiples secteurs (logement, installations pétrolières, etc.). Suite à la politique de privatisation menée par l'Etat et donnant un nouvel élan à la croissance et au développement, le complexe d'El-Hadjar est racheté par le Groupe Mittal et devient la propriété du groupe sidérurgique international "ARCELOR-MITTAL".

Au cours du cycle de production, d'une part, des gaz d'échappement sont rejetés dans l'atmosphère, d'autre part, certains liquides toxiques sont rejetés à Oued Meboudja sans aucun traitement préalable.

Cette étude nous a permis de montrer l'existence de plusieurs éléments chimiques qui ont des concentrations qui varient en fonction de plusieurs facteurs à savoir, des facteurs naturels (géologie, le climat,...), et des facteurs anthropiques (zone urbanisée, industrialisée, activité agricole ...).

La pollution due aux rejets industriels et urbains est très variée, ses sources potentielles sont:

- Les eaux usées d'origine industrielle chargées en polluants provenant du complexe SIDER.
- Les rejets des usines des zones industrielles de Chaiba et Pont-Bouchet
- Les rejets des eaux usées domestiques (habitations, commerce).
- L'activité agricole : L'agriculture et l'élevage sont responsables du rejet de nombreux polluants organiques et inorganiques dans la zone d'étude et proviennent parfois de l'érosion des terres agricoles.

Cette situation peut entraîner une pollution de l'air, de l'eau, et en même temps du sol. Cela peut présenter un risque permanent pour la santé des habitants de la plaine d'Annaba. Cela se propage à travers le sol agricole de la région et les eaux de surface et les eaux souterraines utilisées pour l'irrigation et la consommation quotidienne.

Donc on a pu constater que les rejets industriels de Mittal Steel jouent un rôle important dans la modification de la composition chimique des eaux de l'Oued Meboudja. Et en même temps la pollution de l'Oued Seybouse, et enfin la mer Méditerranée.

Pour mieux montrer la vulnérabilité de la région aux effets des ETM, on a réalisé un modèle à l'aide de la plate-forme QGIS, pour mieux cerner la distribution de ces éléments dans la nature.

Références bibliographiques

ATAILIA Amira, 2016. Impact de la pollution industrielle (métaux lourds) sur le développement et la reproduction de l'escargot *Helix aspersa* : Effets sur les biomarqueurs. Thèse de doctorat. Université Badji Mokhtar – Annaba, .110p

Bouraoui Meriem, 2019. Etude théorique et expérimentale de la production et l'utilisation des eaux dans l'industrie cas de complexe -Hadjar. Master. Université Badji Mokhtar – Annaba, .85p .

Benoune A., Laouar L., Ramoul H., 1986. Essai d'aménagement d'une commune sub-litorale (cas d'El-Hadjar).mémoire ing. Unervisitité Constantine .123p.

DJORFI Samir, 2012. Analyse, approche de gestion et de réhabilitation des sites pollués de la région d'Annaba, Nord-est algérien. . Université Badji Mokhtar – Annaba, .143p .

FERROUM Asma, 2015. Caractérisation des eaux superficielles de la plaine d'El Hadjar. Magister. Université Badji Mokhtar – Annaba, .92p.

Hurlbut et Klein, 1982 -Jr CS, Klein C (1982). Manual de Mineralogía de Dana. Editorial Reverté, Barcelona, 564.

Khababa Amir, 2017. Détermination du degré de pollution de l'Oued Meboudja par les métaux lourds issus de l'usine Mittal Steel. Mémoire d'ingénieur, ENSMM Annaba, 78p.

MOURDI Wafa, 2011. pollution urbaine, impact sur l'homme et l'environnement « cas de l'agglomération Annaba et ses environs » .magister . Université Badji Mokhtar – Annaba.177p

N. Zenati, D. Messadi, 2010. Utilisation de la géostatistique dans l'établissement de la carte de vulnérabilité intrinsèque d'une nappe superficielle a un polluant par une infiltration verticale. Cas de la nappe superficielle de la plaine Ouest d'El-Hadjar Annaba. Water quality journal, volume 6, numéro 1, 41-48pp.

Nieboer E & Richardson DHS (1980) the replacement of the nondescript term 'heavy metals' by a biologically and chemically significant classification of metal ions. Environmental Pollution 1B, 3–26

Robert PERRIN et Jean 1996–Pierre SCHAREF .Chimie industrielle, 2^eédition

Victor Hugo Grisales Palacio, 2007. Modélisation et commande floues de type Takagi-Sugeno appliquées à un bioprocédé de traitement des eaux usées. Thèse de Doctorat en Automatique-Robotique. Université Paul Sabatier – Toulouse, France. 231p.

Site internet:

http://www.aflichenologie.fr/telecharger/Bull_AFL_old/Bull_2003/AFL_2003_1_31_43_ODaillant.pdf.

<https://docplayer.fr/5722529-Universite-paris-12-val-de-marne-these.html>

<http://www.obvcapitale.org/plans-directeurs-de-leau-2/2e-generation/introduction2e/section-2-caracteristiques-physiques-du-territoire-et-description-des-habitats/hydrographie-et-hydrologie>

https://www.memoireonline.com/08/09/2463/m_Contribution--letude-des-parametres-physico-chimiques-et-bacteriologiques-de-lembouchure-de-l2.html

https://www.memoireonline.com/04/12/5607/m_Pollution-des-eaux-et-rivieres-et-impact-sur-les-populations-riveraines-cas-de-la-riviere-Mgoua-d7.html

<https://docplayer.fr/39703605-Alimentation-et-nutrition.html>

<https://manifest.univ-ouargla.dz/>

www.qgis.org & www.osgeo.org)