

Année Universitaire : 2015-2016



Master Sciences et Techniques : Géoressources et Environnement

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

Etude physico-chimique et géochimique de la qualité des
eaux et sédiments d'Oued Fès et Sebou-Province Fès Maroc

Présenté par:

BISSASSA Mouna

Encadré par:

- Pr. Mme RAIS Naoual, FST – Fès
- Co-encadrant : Pr. Mr. IJJAALI Mustapha, FST - Fès

Soutenu le 16 Juin 2016 devant le jury composé de:

- Mr. EL GAROUANI Abdelkader
- Mr. JABRANE Raouf
- Mr. IJJAALI Mustapha
- Mme. RAIS Naoual

Stage effectué au : Laboratoire Géo-ressources et Environnement, FST-Fès





Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

Nom et prénom: BISSASSA MOUNA

Année Universitaire : 2015/2016

Titre: Etude géochimique de la qualité des eaux des Oueds Fès et Sebou.

Résumé

La mise en place d'une STEP-Fès ayant pour mission de traiter les eaux usées de la ville de Fès avant de les rejeter dans les écosystèmes naturels, a probablement conduit à un rabattement de la charge polluante de Oued Sebou dont tout les travaux antérieures avaient signalés l'état très dégradé de ses eaux. Afin d'étayer cette hypothèse, notre travail a pour objectif d'étudier la qualité des eaux et des sédiments des Oueds Fès et Sebou après la mise en service de la STEP-Fès. Pour se faire, une campagne d'échantillonnage a été réalisée pour prélever les 3 composantes : eaux, sédiments, et végétaux, en vue d'analyser leur propriétés physico-chimiques, géochimiques, et minéralogique à travers des séries d'analyses réalisées au sein du Laboratoire de Géo-ressources et Environnement (FST-Fès), au Centre Universitaire de Recherche et Innovation (Fès), et le Laboratoire d'eau appartenant à l'Office National d'Eau et Electricité (Ain Nokbi-Fès).

A partir de là on sait donc que les stations se situent dans la partie Nord-Est du bassin Fès-Sais, sur les formations calcaires lacustres, des sables fauves ainsi que des alluvions d'âge quaternaire, tandis que le climat se caractérise par un climat semi-aride. En ce qui concerne le cadre hydrogéologique on est au niveau du bassin d'Oued Fès et dont Oued Fès et Sebou constituent ces principales artères.

Le développement des différentes informations ainsi que les observations sur terrains et les résultats des analyses nous ont permis de déterminer la qualité des Oueds Fès et Sebou ainsi que les différentes composantes qui contribue à l'amélioration et la détérioration de leur qualité, après la mise en place de la STEP. Les différents résultats se sont avérés positifs et ceci revient au bon fonctionnement de la station d'épuration qui dans les années à venir contribuera à l'amélioration de la qualité d'eau du Sebou, ce qui permettra de générer des améliorations sur l'irrigation, ainsi que les conditions de potabilisation de l'eau.

Mots clés : Géochimie, Sebou, Oued Fès, Eléments traces métalliques, Eléments nutritifs, pollution urbaine.

Je dédie ce travail de mémoire couronnement de mes études universitaires à ma mère sans qui rien n'aurait été possible...

A la mémoire de mon père...

À ma très chère tante Malika à qui aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour lui exprimer ma gratitude. Je lui dédie ce travail en témoignage de mon profond amour.

À ma très chère tante Nadia qui a toujours été présente pour les bons conseils. Son affection et son soutien m'ont été d'un grand secours au long de ma vie professionnelle et personnelle. J'espère qu'elle trouvera dans cet humble travail ma reconnaissance et gratitude pour tous ces efforts.

A tous les membres de ma famille, petits et grands Veuillez trouver dans ce modeste travail l'expression de mon affection

Préface :

Le travail de recherche présenté dans ce mémoire a été élaboré dans le cadre de la préparation d'un projet d'étude physico-chimique et géochimique des eaux et sédiments des Oueds Fès et Sebou, pour la préparation du projet de fin d'étude afin d'obtenir le diplôme de master en Géo-ressources et Environnement.

Au terme de ce travail, je tiens à remercier en particulier Mme le professeur RAIS Naoual et Mr le professeur IJJAALI Mustapha pour la confiance qu'ils m'ont accordés en acceptant d'encadrer ce travail, pour leurs multiples conseils et pour toutes les heures qu'ils ont consacrées à diriger cette recherche. J'aimerais également leur exprimer à quel point j'ai appréciée leur grande disponibilité et leur respect sans faille des délais serrés de relecture des documents que je leur ai adressés. Enfin, j'ai été extrêmement sensible à leurs qualités humaines d'écoute et de compréhension tout au long de ce travail.

Mes remerciements vont également à Mr le professeur EL GUEROUANI Abdelkader, d'avoir accepté de participer au jury de ce mémoire.

Je tiens également à remercier Mr le professeur JABRANE Raouf, de m'avoir fait l'honneur de participer au jury.

J'exprime ma profonde reconnaissance et toutes mes pensées de gratitude à Mme Halima, qui m'a accompagnée de près durant tout ce travail, pour sa disponibilité, pour la confiance qu'elle a su m'accorder et les conseils précieux qu'elle m'a prodigués tout au long de la réalisation de ce projet.

Ce mémoire n'aurait pu être réalisé sans l'aide précieuse et les encouragements de Mr Sabah Aboubakr, Mr. Bouizrou Ismail, Mlle Kouchou Aziza, Mme Karmouda Nourelhouda, Mr Alami Marrouni Med, et Mr. Bensaber Ibrahim qui ont contribué en grande partie à mener à bien ce mémoire..

Mes sincères remerciements vont au personnel du Centre Universitaire de Recherche et Innovation, ainsi que ceux du Laboratoire de l'Office Nationale de l'Electricité et de l'Eau potable (Ain-Nokbi) pour l'intérêt dont ils ont fait preuve envers ma recherche et le temps qu'ils ont consacré pour la réalisation des différentes analyses.

Finalement, j'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs, ainsi que tous les thésards du Laboratoire de Chimie de la Matière Condensée, et du Laboratoire de la Chimie Organique Appliqué. Je remercie également tout les intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté à me rencontrer et répondre à mes questions durant mes recherches. Il me sera donc très difficile de remercier tout le monde car c'est grâce à l'aide de nombreuses personnes que j'ai pu mener ce mémoire à son terme.

Sommaire

Préface :	1
Sommaire.....	9
Introduction :	13
1- Contexte géographique:	16
2- Contexte géologique:.....	17
3- Contexte lithostratigraphique:	18
4- Contexte hydrologique:	19
5- Contexte climatique:.....	20
5.1- Température:	20
5.2- Précipitations:	21
5.3- Diagramme ombrothermique:	22
1- Choix des sites étudiés:	24
2- Stratégie et méthodologie d'échantillonnage:.....	24
2.1- Prélèvement des eaux :	24
2.2- Prélèvement des sédiments :	25
3- Présentation des sites étudiés:.....	26
4- Analyse de la qualité des eaux:.....	27
4.1- Analyse des paramètres sur terrain :	27
4.1.1.1- La température de l'eau:	27
4.1.1.2- Le pH :	27
4.1.1.3- La conductivité électrique:	27
4.1.1.4- L'oxygène dissous :	28
4.2- Analyse des paramètres au laboratoire :	28
4.2.1.1- Taux des matières en suspension :	28
4.2.1.2- L'alcalinité :	28
4.2.1.3- Analyse des éléments nutritifs :	29

ETUDE PHYSICO-CHEMIE ET GEOCHIMIE DES EAUX ET SEDIMENTS DE OUED FES ET SEBOU

5. Analyse de la qualité des sédiments:.....	29
5.1- Préparation des échantillons:	29
5.2- Analyse physico-chimique:	31
5.3- Analyse géochimique:	32
5.3.1- Eléments traces métalliques dans les sédiments	32
5.4- Analyse minéralogique :	34
5.4.1- la préparation des lames orientées :	34
5.4.2- la préparation des lames désorientées :	35
5.4.3- Analyse des lames par DRX :	35
6. Analyses de la qualité des végétaux :.....	36
6.1- Préparation des échantillons :	36
6.2- Analyse des ETM sur les végétaux :	36
1- Analyse de la qualité des eaux:.....	40
1.1- Analyse des paramètres sur terrain :	40
1.1.1.1- Température de l'eau :	40
1.1.1.2- pH :	41
1.1.1.3- La conductivité électrique :	41
1.1.1.4- L'oxygène dissous:	42
2.2- Analyse des paramètres au laboratoire :	42
2.2.1.1- Taux des matières en suspension :	42
2.2.1.2- L'alcalinité:	43
2.2.1.3- Analyse des éléments nutritifs :	43
2- Analyse de la qualité des sédiments:.....	46
2.1- Analyse des paramètres physico-chimiques :	46
2.2- Analyse géochimique:	50
2.3- Analyse minéralogique:	55
3- Analyse de la qualité des végétaux:	58
Conclusion:.....	64
Liste des normes :	66
Webographie :	70

Liste des figures :

Figure 1: Carte géographique de la situation du bassin de Saïs, Etude du schéma régional d'aménagement du territoire de la région Fès- Boulemane / URAM Intl- 2013.	16
Figure 2: Carte géologique du bassin de Saïs, Etude du schéma régional d'aménagement du territoire de la région Fès- Boulemane / URAM Intl- 2013.	17
Figure 3: Colonne lithostratigraphique synthétique du bassin du Saïs (Ait Brahim, 1991).....	18
Figure 4: Carte du réseau hydrographique du Saïs, Etude du schéma régional d'aménagement du territoire de la région Fès- Boulemane / URAM Intl- 2013.	20
Figure 5: Températures moyennes Fès- Saïs (1990-2014), station météorologique Fès- Saïs aéroport. ...	21
Figure 6: Précipitations Fès- Saïs (1990-2014), station météorologique Fès- Saïs aéroport.	21
Figure 7: Diagramme ombrothermique Fès- Saïs.....	22
Figure 8: Carte de localisation des sites étudiés (élaborée par l'équipe IRD-FST-Fès).	26
Figure 9: Dessin explicatif de la méthode de quartage par cône.	30
Figure 10: Résultats d'analyse de la T° des eaux.	40
Figure 11: Résultats d'analyse du pH des eaux.	41
Figure 12: Résultats d'analyse de la CE des eaux.	42
Figure 13: Résultats d'analyse de l'Oxygène dissous des eaux.....	42
Figure 14: Résultats d'analyse de la matière en suspension des eaux.....	43
Figure 15: Résultats d'analyse de l'alcalinité des eaux.....	43
Figure 16: Résultat de l'analyse des Nitrates dans les eaux.....	44
Figure 17: Résultat de l'analyse des Nitrites dans les eaux.	44
Figure 18: Résultat de l'analyse de l'Ammonium dans les eaux.....	45
Figure 19: Résultat de l'analyse du Phosphore total dans les eaux.	45
Figure 20: Résultats d'analyse de l'humidité résiduelle des sédiments.	46
Figure 21: Résultats d'analyse du pH des sédiments.	46
Figure 22: Résultats d'analyse de la CE des sédiments.	47
Figure 23: Résultats d'analyse de la MO des sédiments.	47
Figure 24: Résultats d'analyse de la CaCO ₃ des sédiments.	48
Figure 25: Triangle isocèle avec la projection des résultats granulométrique des sédiments.....	49
Figure 26: Résultats d'analyse du Chrome au niveau des sédiments.	50
Figure 27: Résultats d'analyse du Cuivre au niveau des sédiments.	51
Figure 28: Résultats d'analyse du Nickel au niveau des sédiments.	51
Figure 29: Résultats d'analyse du Plomb au niveau des sédiments.....	52
Figure 30: Résultats d'analyse du Zinc au niveau des sédiments.	52
Figure 31: Résultats d'analyse de la mobilité des ETM au niveau des sédiments.	53
Figure 32: Résultats d'analyse des MBT au niveau des sédiments.	54
Figure 33: Résultats d'analyse des DBT au niveau des sédiments.....	54
Figure 34: Résultats d'analyse des TBT au niveau des sédiments.	54

ETUDE PHYSICO-CHIMIQUE ET GEOCHIMIQUE DES EAUX ET SEDIMENTS DE OUED FES ET SEBOU

Figure 35: Graphe regroupant les résultats d'analyse des lames d'argiles normales.55
Figure 36: Graphe regroupant les résultats d'analyse des lames d'argiles chauffées.....56
Figure 37: Graphe regroupant les résultats d'analyse des lames désorientées.....57
Figure 38: Résultats d'analyse du Cd au niveau des fèves.58
Figure 39: Résultats d'analyse du Zn au niveau des fèves.....59
Figure 40: Résultats d'analyse du Pb au niveau des fèves.....59

Introduction :

Au Maroc, les volumes d'eaux usées rejetés ont été estimés à 470 Mm³/ an en 1994 et atteindraient 900 Mm³/ an à l'horizon 2020 (Ministère de l'Agriculture et de la Mise en Valeur Agricole, Maroc, 1998). A l'instar des pays en développement, l'essentiel des eaux usées sont déversées dans le milieu naturel sans traitement. Néanmoins, ces dernières années, l'accroissement de la demande en eau pour la consommation humaine, industrielle, agricole et les sécheresses répétées qui sévissent au Maroc ont sensibilisé les décideurs à considérer les eaux usées comme une ressource hydrique appréciable, d'où la nécessité de réfléchir à un programme national d'épuration des eaux usées. De nombreuses stations d'épuration ont été construites, et dont la STEP de Fès en fait partie. Située à une dizaine de kilomètres de la ville de Fès, dans la localité d'Aïn Kansara (province de Moulay Yacoub), cette station est la première du genre dans l'Afrique du Nord, qui a la possibilité d'avoir des impacts positifs sur le moyen Sebou, la santé de la population, l'irrigation, l'abreuvement des animaux, les conditions de potabilisation de l'eau ainsi que les conditions socioéconomiques de la population.

A ce propos plusieurs travaux ont été réalisés afin de déclencher l'alarme d'alerte concernant l'état dégradé de la qualité des eaux du Sebou et de Fès résultant du développement urbain et industriel irrespectueux des exigences environnementales, dans l'intérêt de sensibiliser les décideurs à trouver une issue de secours pour détourner la situation, parmi ces travaux on trouve : la qualité physico-chimique et bactériologique des oueds Fès et Sebou (Fekhaoui et al., 1993, Koukal et al., 2004; Malki et al., 2008, Derwich et al., 2011). Tandis que Dominik et al. (2007) se sont intéressés à étudier la spéciation de Cr dans le système Fès-Sebou. Et plus récemment, un suivi des apports en nutriments et en Cr a été fait par Perrin et al. (2014) et une caractérisation et quantification de la charge polluante anthropique et industrielle dans le bassin du Sebou a été faite par Hayzoun.H et al. (2014) .Cependant, de nos jours aucune étude n'a incisée la nouvelle problématique qui est bien la qualité de ces eaux après la mise en place de la STEP et évaluer la différence entre la situation d'avant et celle actuelle.

Le présent mémoire a donc pour objectif d'évaluer la qualité des eaux des Oueds Fès et Sebou ainsi que celle des sédiments et végétaux irriguées par cette eau après la mise en place de la STEP,

ETUDE PHYSICO-CHIMIQUE ET GEOCHIMIQUE DES EAUX ET SEDIMENTS DE OUED FES ET SEBOU

et ceci dans l'intérêt de compléter le manque d'informations sur la nouvelle situation qualitative de ces eaux et leur influence sur les différentes composantes du milieu qui les entourent. Pour se faire, une campagne d'échantillonnage a été réalisée pour prélever les 3 composantes : Eaux, sédiments et végétaux (fèves comme légumes de saison) en vue d'analyser leurs propriétés physico-chimiques, géochimiques, et minéralogiques (pour les sédiments) à travers des séries d'analyses réalisées au sein du laboratoire de Géo-ressources et environnement (FST-Fès), au Centre Universitaire de Recherche et Innovation de Fès.

Dans le cadre de cette étude et pour atteindre notre objectif on a réparti ce mémoire en quatre chapitres :

- Le premier Chapitre est consacré à la présentation du secteur d'étude dans son contexte géographique, géologique, lithologique, hydrogéologique, et climatologique indispensables pour toute interprétation des résultats ;
- Les méthodes d'analyses au laboratoire des différents échantillons prélevés font l'objet du deuxième chapitre, pour cela on a décrit les différentes méthodologies des manipulations utilisées ;
- Après la présentation des principes généraux des méthodes d'analyses utilisées on présente les résultats des différentes analyses des composantes étudiées dans le troisième chapitre ;
- Quant au quatrième chapitre, il vise à mettre en valeur les discussions et perspectives en se basant sur les résultats du chapitre précédent qu'on avait appuyées par des références bibliographiques traitant le même constat.

Chapitre 1 : Généralités sur la zone d'étude.

1- Contexte géographique:

Notre étude intéresse le bassin d'oued Fès qui fait partie du centre Nord marocain, en couvrant une superficie totale d'environ 879 km², représentant ainsi 2.5% de la superficie du bassin du Sebou. Ce bassin est bordé au Nord par le Prérif et les Rides pré rifaines (Zalagh et Tghat), à l'Est par le couloir de Fès-Taza, à l'Ouest par Oued Beht et au Sud par le causee Moyen atlasique. Se situant ainsi entre les parallèles 33°30 et 34°08N et entre les méridiens 4°54 et 5°09W.

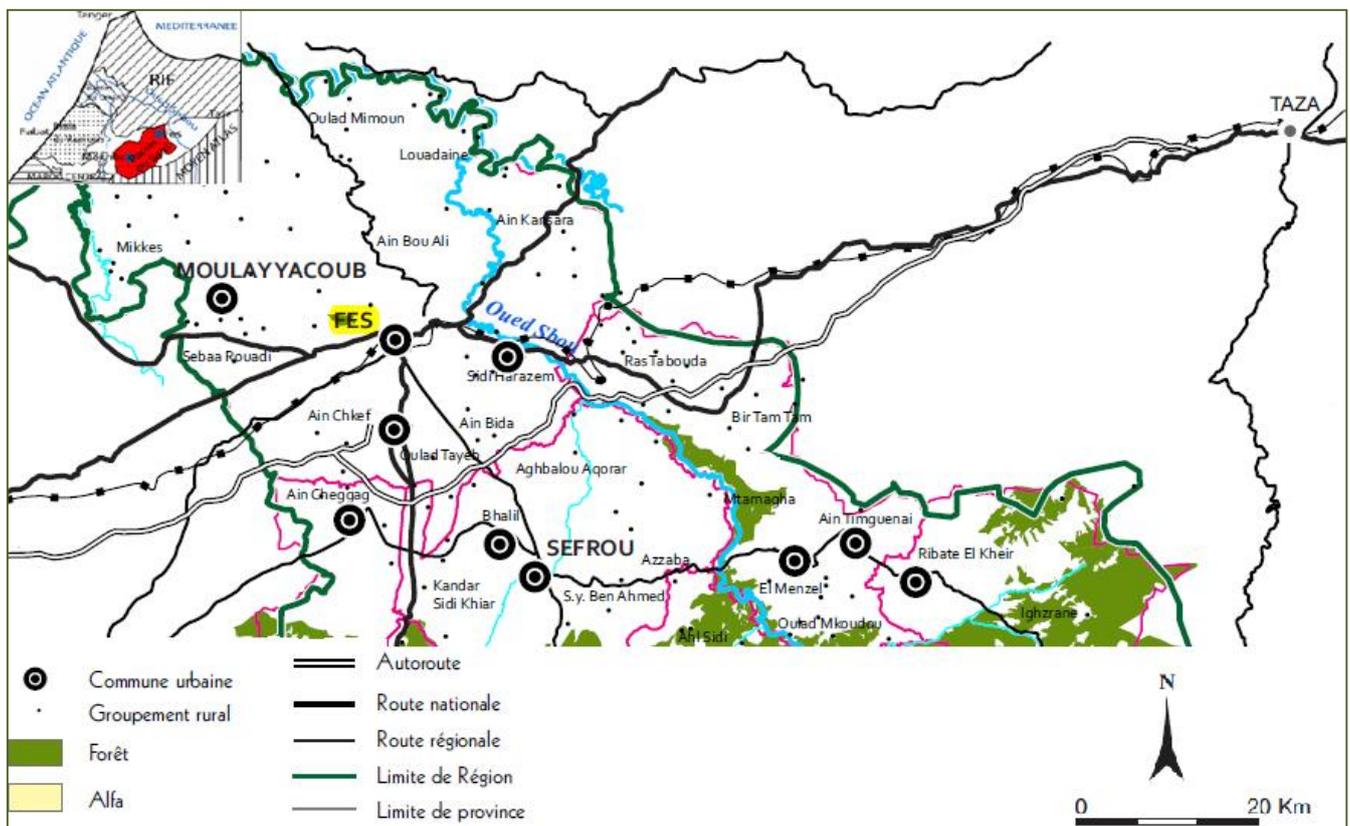


Figure 1: Carte géographique de la situation du bassin de Saïs, Etude du schéma régional d'aménagement du territoire de la région Fès- Boulemane / URAM Intl- 2013.

2- Contexte géologique:

La ville de Fès est située à l'extrémité orientale du bassin de Saïs qui est une dépression orientée E-W, bordée par deux ensembles structuraux majeurs le Rif au Nord et le domaine méséto-atlasique au Sud, et entre ces deux structures une transgression marine a déposée au Miocène une série marneuse très puissante, suivie au Plio-Villafranchien et au Quaternaire par des dépôts continentaux. L'ensemble des deux séries est affecté par des déformations souples et cassantes polyphasées.

En ce qui concerne notre étude, on s'intéressera uniquement à la limite Nord-Est de ce bassin, qui se caractérise par un large affleurement des marnes d'âge tortonien, d'épaisseur assez importante, ainsi que des marnes du Tortonien avec un niveau détritique à la base (Ait Brahim, 1991), tandis que les formations du Pliocène inférieur présentent des variations latérales en allant vers l'Est du bassin où elles diminuent d'épaisseur jusqu'à la disparition près de la ville de Fès, ces formations du Pliocène inférieur se poursuivent par les sables fauves de couleur rouge, jaune ou brune qui affleurent dans les parties les plus orientales du bassin.

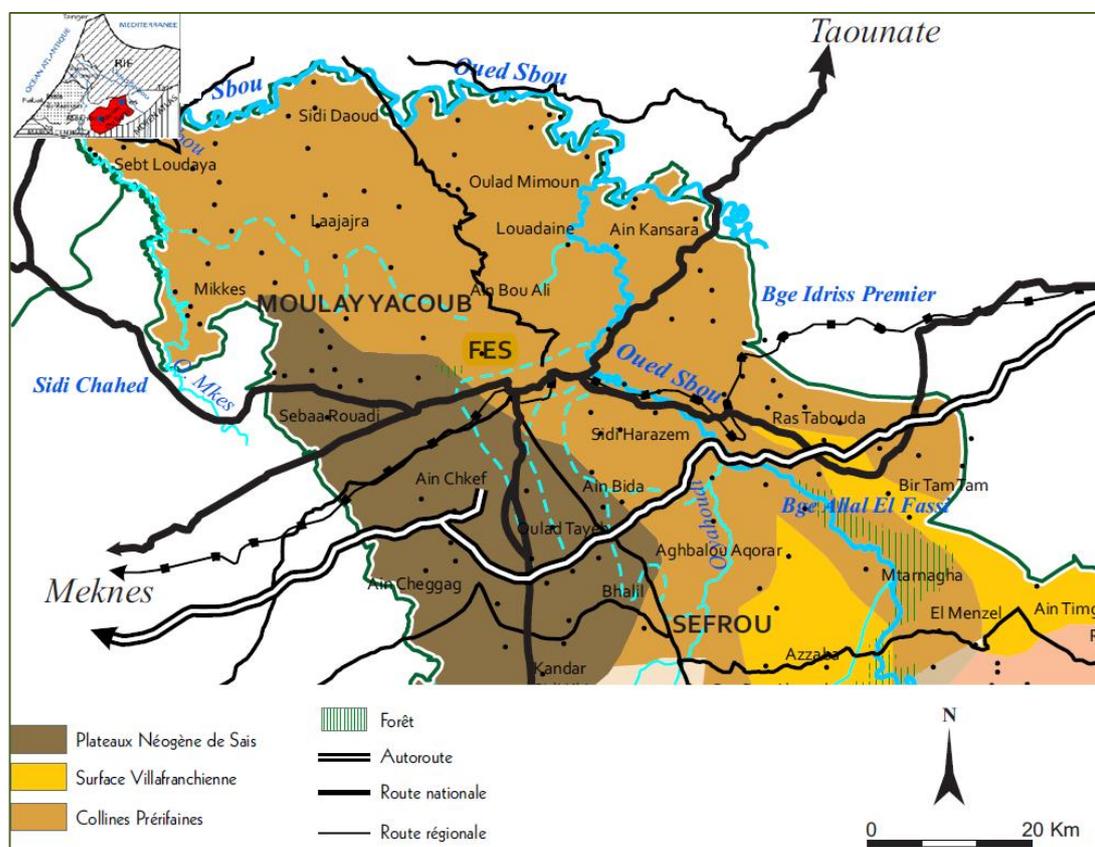


Figure 2: Carte géologique du bassin de Saïs, Etude du schéma régional d'aménagement du territoire de la région Fès- Boulemane / URAM Intl- 2013.

3- Contexte lithostratigraphique:

L'étude stratigraphie du bassin de Saïs a révélée l'existence d'une large structure sédimentaire tertiaire à remplissage miocène et plio-quaternaire, et qui se présente comme suit :

Séquence I: d'âge Miocène, terminal-Pliocène inférieur et moyen comportant trois matériaux: marnes grises, sables à matrice carbonatée et sables fauves. Cette séquence s'est évoluée dans les milieux à tendance d'émersion.

Séquence II: d'âge Pliocène inférieur à moyen, comprenant deux matériaux: sables et calcaires à pseudo-ooïdes, calcaires et calcilutites.

Séquence III: formée des dépôts fluvio-deltaïques quaternaires composés essentiellement par des tufs, des conglomérats, des microconglomérats et des limons fauves qui constituent les dépôts d'alluvions et le complexe fluvio-deltaïque du Quaternaire moyen et supérieur.

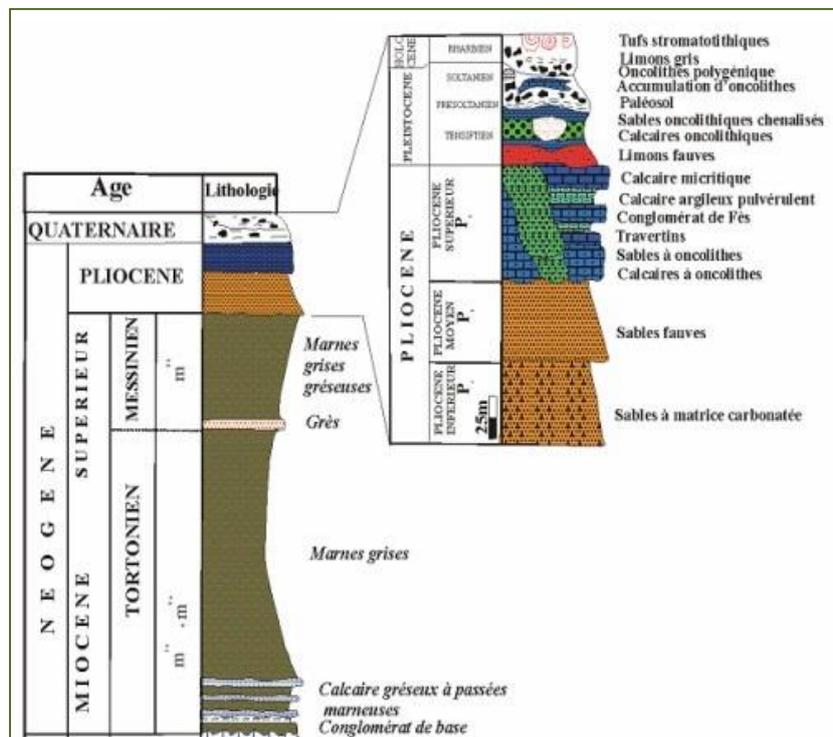


Figure 3: Colonne lithostratigraphique synthétique du bassin du Saïs (Ait Brahim, 1991).

4- Contexte hydrologique:

Du point de vue hydrologique, Oued Fès représente la principale artère du réseau hydrographique du bassin. Il a une direction SW-NE en traversant la ville de Fès et sa médina sur un tronçon de 24 km avant de rejoindre l'oued Sebou. Ce cours d'eau apparaît au niveau du domaine de Ras El Ma, où il est alimenté par des sources très importantes: Aïn Ras El Ma, Atrous, Bergama, Sennad, etc. qui lui garantissent un écoulement permanent, permanence soutenue par une nappe phréatique qui affleure d'ailleurs directement dans la vallée de l'oued Fès. En fonction de ces caractéristiques hydro-géomorphologiques, on peut différencier deux domaines différents de l'espace fluvial de l'oued Fès :

Oued Fès amont : de sa source jusqu'au palais royal, sur un tronçon de 12 km. Sa vallée est caractérisée par une pente très douce, dans laquelle affleure la nappe phréatique qui donne des zones marécageuses (Merja). En plus des sources qui lui donnent naissance, l'oued Fès amont reçoit les eaux de plusieurs affluents. Sa rive droite est alimentée en permanence par les eaux du bassin de l'oued Chkou, notamment les oueds Ain Chkef et Ain Smen. L'oued El Himmer rejoint également la rive droite de l'oued Fès amont ; bien qu'il soit le plus souvent sans débit, il joue un rôle important dans l'alimentation de l'oued Fès en période des pluies. La rive gauche, quand à elle, reçoit les torrents de Jbel Tghat.

Oued Fès Aval : à l'entrée de la médina, les oueds El Mehrasz et Boufekrane rejoignent l'oued Fès et renforcent son débit en période de pluies. Au niveau de la médina, l'oued Fès draine un canal dont la capacité d'évacuation oscille entre 50 et 80 m³ /s. Après avoir traversé la médina, l'oued Fès aval rejoint la vallée qu'il a façonnée, en laissant plusieurs terrasses étagées datant du Quaternaire récent pour déboucher à l'oued Sebou.

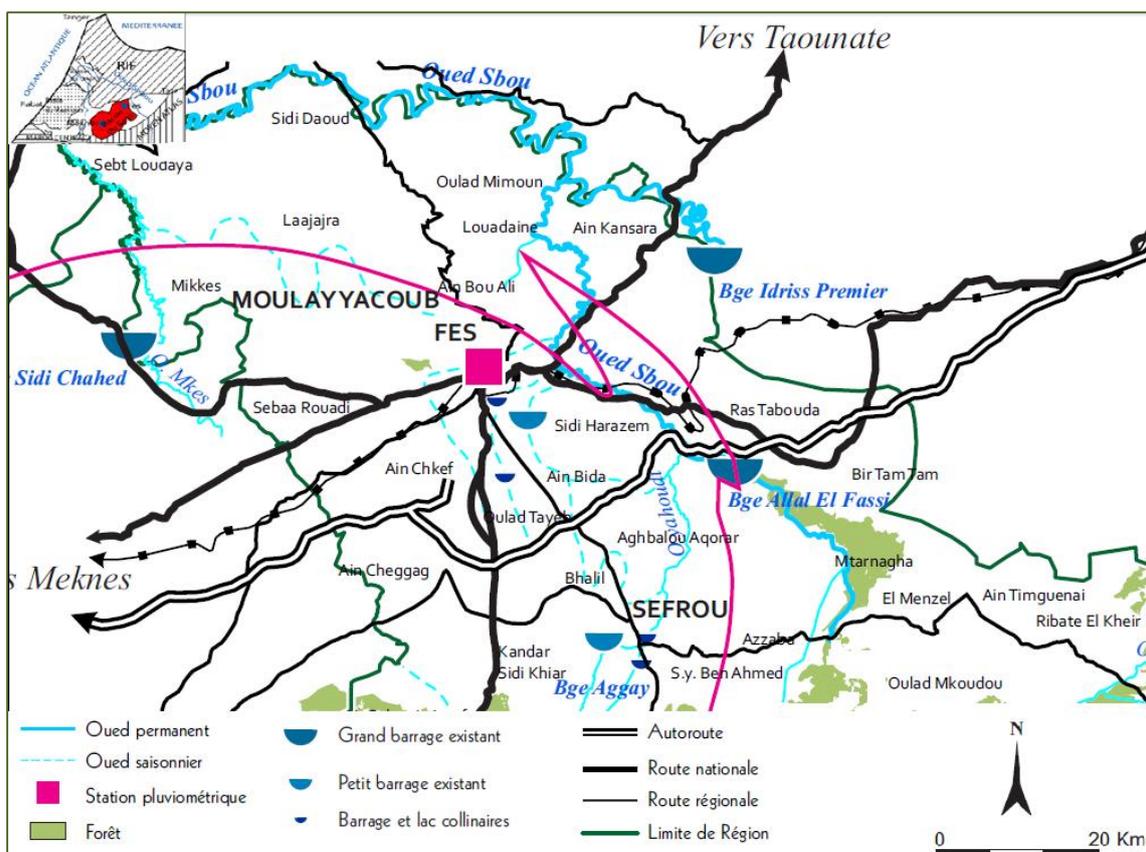


Figure 4: Carte du réseau hydrographique du Saïs, Etude du schéma régional d'aménagement du territoire de la région Fès- Boulemane / URAM Intl- 2013.

5- Contexte climatique:

L'identification des paramètres climatiques de la plaine de Saïs est d'une importance primordiale, étant donné que les paramètres température et précipitations sont les principaux agents qui désagrègent, décomposent et dissolvent les roches pour former les divers éléments drainés par les fleuves, ainsi que les principaux facteurs influençant les régimes des rivières. Concernant notre étude on s'est intéressée à l'étude de l'histoire climatique de la région pour la période allant de 1990 jusqu'à 2014 :

5.1- Température:

La température représente le moteur qui contrôle l'intensité de certains facteurs du cycle de l'eau notamment, l'évaporation et la transpiration des végétaux, et elle dépend de deux types d'agents :

- **Intrinsèques:** latitude, relief, sol;

- **Extrinsèques** : masse d'aire, nébulosité, Saisons.

Pour cette étude nous disposons des températures annuelles de la station de Fès Saïs, pour une période allant de 1990 jusqu'à 2014, et qu'on a représentée sous forme de diagramme :

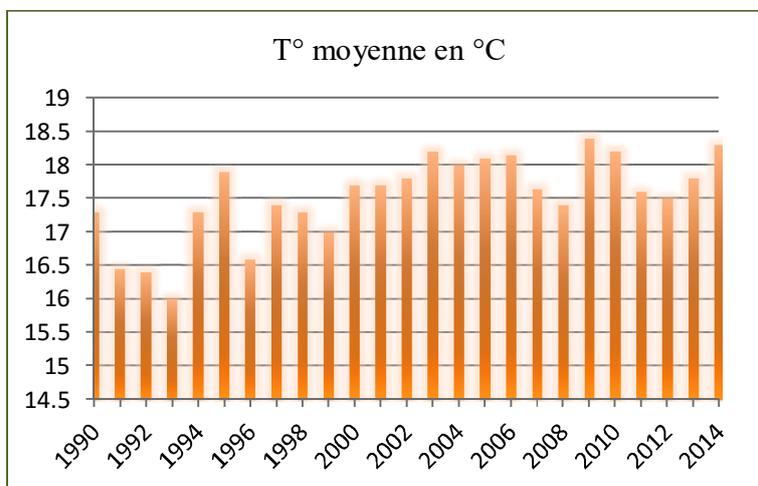


Figure 5: Températures moyennes Fès- Saïs (1990-2014), station météorologique Fès- Saïs aéroport.

5.2- Précipitations:

Les précipitations représentent à leur tour un paramètre hydrologique qui entre en jeu dans la formation d'un sol.

Pour cette étude nous disposons des cumulus des précipitations annuelles de la station Fès-Saïs, pour une période allant de 1990 jusqu'à 2014, et qu'on a représentée sous forme de diagramme:

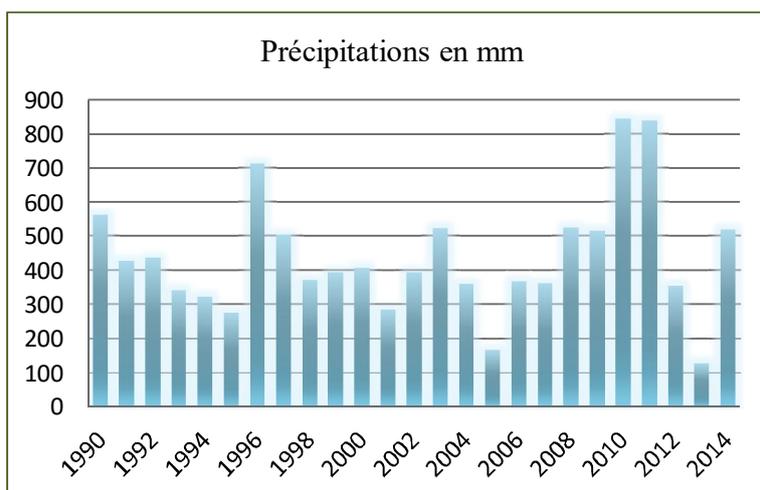


Figure 6: Précipitations Fès- Saïs (1990-2014), station météorologique Fès- Saïs aéroport.

5.3- Diagramme ombrothermique:

Ce diagramme a pour but de définir les mois secs à l'outil des précipitations cumulées mensuellement et des températures moyennes mensuelles où le total des précipitations, exprimées en millimètre, est inférieur au double de la température moyenne en (°C).

Pour notre étude nous avons effectuée un diagramme pour la période allant du mois de septembre en 2013 au mois d'aout 2014 :

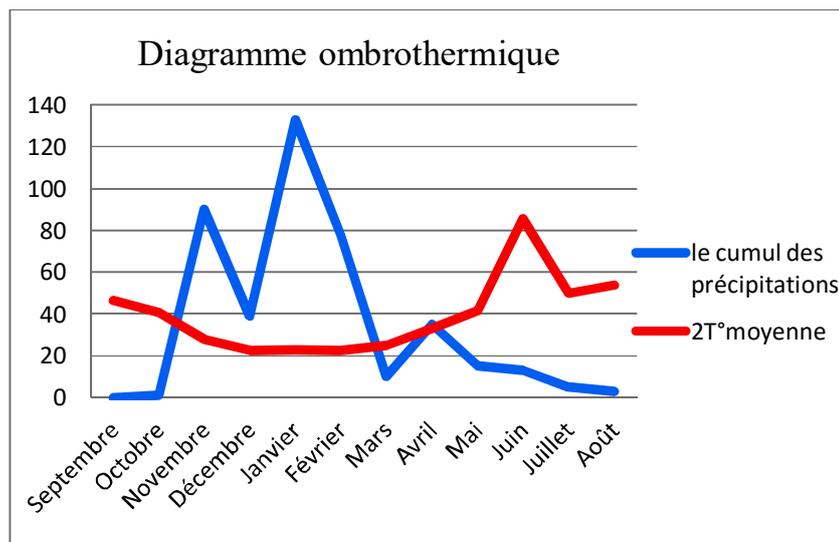


Figure 7: Diagramme ombrothermique Fès- Saïs.

A partir des données que nous avons représentés on peut conclure que :

- La période sèche est située entre mars et octobre.
- La période humide entre novembre et février.
- Novembre et janvier sont les mois les plus humides.
- Le cumul des précipitations est de 422 mm.
- La température moyenne annuelle est de 19.64°C.
- Le climat de la zone étudiée est donc semi-aride.

Chapitre 2 : Matériel et méthodes.

1- Choix des sites étudiés:

Le choix des sites étudiés se rapporte aux choix réalisés par l'équipe IRD-FST-Fès (Perrin et al, 2010) ainsi que (Lombard-latune et al, 2010), lors de leur travail sur la même problématique et qui s'est réalisée avant la mise en place de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Fès (STEP). Le réseau d'observation mis en question a été conçu en Juin 2009 où 8 stations d'études forment les points les plus représentatifs pour caractériser et évaluer l'impact des activités anthropiques sur la qualité d'eau, sédiments et végétaux des Oueds Fès et Sebou.

2- Stratégie et méthodologie d'échantillonnage:

Le prélèvement d'échantillons en vue de l'analyse vise à obtenir une petite portion de la population étudiée qui fournisse de l'information. Habituellement, on recherche des échantillons représentatifs qui devraient refléter adéquatement les propriétés intéressantes de la population échantillonnée sans porter des modifications au milieu dont ils découlent. Pour notre étude, les prélèvements des eaux, sédiments et végétaux ont été effectués selon le « Guide du prélèvement d'échantillons en rivière - Novembre 2006 ».

2.1- Prélèvement des eaux :

Les erreurs dues à l'échantillonnage sont, en général, plus importantes que celles imputables aux analyses de laboratoire. Le prélèvement d'un échantillon d'eau est donc une opération délicate à laquelle il faut apporter le plus grand soin, car il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. Il conviendra donc que :

- d'une part, les échantillons prélevés soient homogènes et aussi représentatifs que possible du milieu qui doit être caractérisé ;
- d'autre part, toutes les précautions soient prises pour que l'eau prélevée subisse le minimum de modification entre l'instant du prélèvement et celui de l'analyse.

Il faut donc prendre soin d'éliminer ou de minimiser toute variation des paramètres à déterminer qui peut être induite par la technique d'échantillonnage. Chaque prélèvement devant répondre à un objet défini, le mode de prélèvement est fonction de cet objet, mais aussi de l'origine de l'eau (rivière profonde ou petit cours d'eau...) et de l'accessibilité au point de prélèvement. En ce qui

concerne nos points de prélèvements, ils représentent des points faciles d'accès et leurs rives nous facilitent l'échantillonnage. Les échantillons d'eau ont été prélevés près des rives (1m) et à 20 cm de profondeur par rapport la surface, à l'aide de bouteilles en plastique préalablement rincées à l'eau de la station, étiquetés, puis conservés à 4°C et transportés ainsi jusqu'au laboratoire. Cependant, un certain nombre de données concernant la nature physique et chimique de l'eau ne peuvent être acquises que sur terrain car leurs valeurs peuvent évoluer très rapidement du moment d'échantillonnage jusqu'à leur analyse au sein du laboratoire. Les principales mesures de terrain effectuées selon les normes en vigueur sont bien : la température de l'eau, le pH, l'oxygène dissout et la conductivité électrique.

2.2- Prélèvement des sédiments :

Les sédiments ont la propriété d'intégrer et de concentrer certains éléments présents dans l'eau, parmi ces éléments on peut trouver des polluants qui se présentent en très faibles concentrations dans l'eau, tels que, les micropolluants organiques et métalliques, mais qui sont plus facilement détectables dans les sédiments. Le protocole de prélèvement des sédiments en vue de connaître la qualité d'un cours d'eau est proche de celui de prélèvements d'eau et renferme plusieurs étapes communes dans leurs démarches avec ce dernier. Cependant, la seule différence entre les deux protocoles repose sur la prise en considération de la nature hétérogène des dépôts sédimentaires dans une rivière. Pour cela, trois prélèvements de dépôts les plus représentatifs du site sont effectués (de préférence répartis) et dont seule la couche superficielle (2 à 5 cm) est prélevée. Les sédiments échantillonnés sont placés dans des sacs en polyéthylène, étiquetés et conservés à 4°C.

2.3- Prélèvement des végétaux :

Le protocole utilisé est initialement prévu pour un prélèvement de sol. Il a été adapté au prélèvement de plante afin de pouvoir quantifier et visualiser les variations de contaminations en éléments traces métalliques (ETM) de la même manière que celle appliquée aux sols/sédiment. Pour se faire, les fèves (légumes de la saison) ont été prélevées manuellement et ensuite été placées dans des sacs en polyéthylène. Quatre éléments de la plante ont été étudiés : les fruits, la paille, les feuilles et les racines. Ainsi, pour réaliser leur analyse il était nécessaire que l'échantillon soit conservé sec (moins de 10 % d'humidité) où la température de son séchage et stockage n'excède pas 5°C (certains éléments ne seraient plus analysable : notamment certains composés de l'azote ou du soufre, le Hg, le Se). Les sachets sont fermés fermement de telle sorte à

limiter au maximum les échanges gazeux avec l'extérieur et éviter que l'échantillon reprenne de l'humidité ou puisse être contaminé par des poussières.

3- Présentation des sites étudiés:

Les 8 stations faisant l'objet de notre étude sont répartis en 4 points sur Oued Fès et ses affluents: Pont Marjane, Oued Mehraz, Oued Boufekrane (avant leurs entrées dans les agglomérations de l'ancienne médina), et Pont Bentatou à l'ancienne médina. Ainsi que 4 autres points sur Oued Sebou : Pont Portugais, Oued Fès confluence, Confluent du Sebou et pont Latrine :

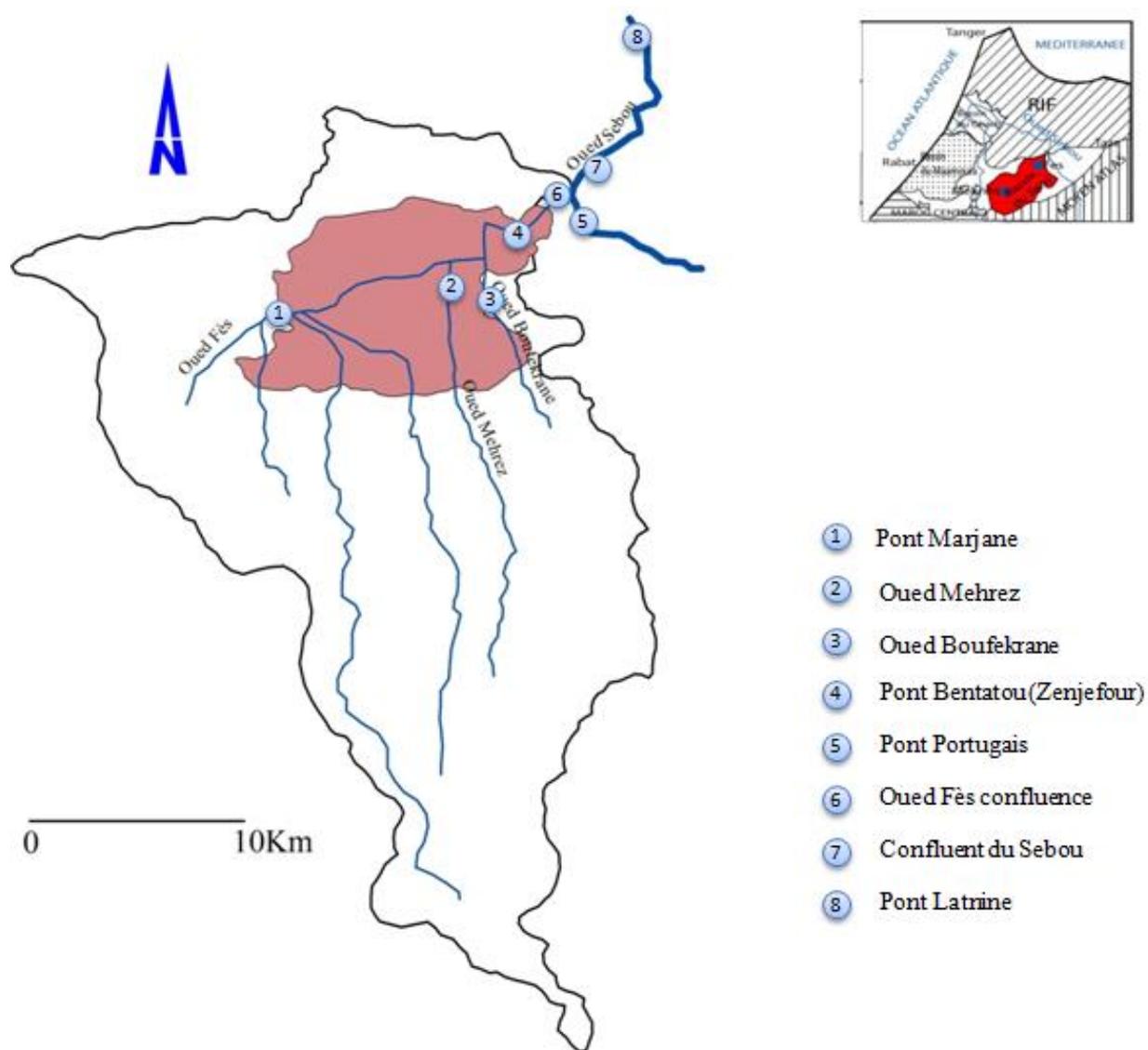


Figure 8: Carte de localisation des sites étudiés (élaborée par l'équipe IRD-FST-Fès).

4- Analyse de la qualité des eaux:

4.1- Analyse des paramètres sur terrain :

4.1.1- Paramètres physico-chimiques :

Une étude des paramètres physico-chimiques de l'eau a été entreprise au niveau de chacune des stations, dans le but de connaître la qualité de ces eaux, en fonction de leurs situations. Pour chaque station, les paramètres suivants ont été mesurés :

4.1.1.1- La température de l'eau:

La température des cours d'eau joue un rôle fondamental dans la dynamique des écosystèmes aquatiques, ainsi elle forme avec l'écoulement et l'oxygène, les principaux paramètres abiotiques qui interagissent pour créer les conditions de l'ensemble des fonctions biologiques. La mesure de la température des eaux s'est effectuée à l'aide d'un multi paramètres HACH LANGE de type HQ40D qui permet à la fois de déterminer la T°, le pH, la conductivité électrique et l'oxygène dissout du milieu étudié.

4.1.1.2- Le pH :

Le pH indique l'équilibre entre les acides et les bases d'un plan d'eau et est une mesure de la concentration des ions hydrogène en solution. Il se mesure sur une échelle de 0 à 14, où un pH de 7 indique une eau neutre, et les valeurs inférieures à 7 indiquent des conditions acides, tandis que les valeurs supérieures à 7 sont caractéristiques de conditions alcalines. Le pH influence la toxicité de plusieurs éléments en régissant un grand nombre de réactions chimiques. Dans notre étude la mesure électrométrique du pH s'est réalisée avec une électrode de verre du multi paramètres HACH LANGE, et dont le protocole adopté correspond à la norme [NF T 90-008].

4.1.1.3- La conductivité électrique:

C'est la capacité d'une eau à conduire l'électricité. La conductivité des eaux dépend de leur concentration ionique et de leur température. Elle donne une bonne indication des changements de la composition des eaux (spécialement de leur concentration en minéraux) ainsi que d'évaluer leur degré de minéralisation, c'est-à-dire la quantité de substances dissoutes ionisées présentes. La mesure de la conductivité s'est réalisée à l'outil d'une électrode du multi paramètres HACH LANGE et dont le protocole correspond à la norme [NF EN 27888].

4.1.1.4- L'oxygène dissous :

La teneur en oxygène dissous est le paramètre le plus fondamental de la qualité de l'eau, elle est déterminée par l'équilibre qui s'établit entre l'apport d'oxygène et la consommation d'oxygène nécessaire à la métabolisation des matières oxydables reçues. Les rejets d'effluents organiques (déchets industriels, déchets agricoles et déchets urbains) produits par l'activité humaine tendent à faire pencher la balance du côté de la consommation. L'épuisement de l'oxygène dissous dans les eaux réceptrices constitue souvent un bon indicateur des besoins en traitement de ces eaux, ce qui rend son analyse indispensable pour toute analyse d'eau. Dans notre étude la mesure de la teneur en oxygène dissous s'est effectuée à l'aide d'une électrode du multi paramètres HACH LANGE.

4.2- Analyse des paramètres au laboratoire :

4.2.1- Paramètres physico-chimiques :

4.2.1.1- Taux des matières en suspension :

Les matières en suspension comprennent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau. Cette quantité de matières en suspension varie notamment selon les saisons et le régime d'écoulement des eaux. Ces matières affectent la transparence de l'eau et diminuent la pénétration de la lumière et, par suite, la photosynthèse. Par ailleurs, les matières en suspension peuvent accumuler des quantités élevées de matières toxiques, d'où la nécessité de leur analyse. La détermination des matières en suspension dans l'eau s'effectue par filtration sur fibre de verre, où l'eau est filtrée et le poids de matières retenues par le filtre est déterminé par pesée différentielle. La méthode de filtration adoptée pour cette analyse correspond à la norme [NF EN 872].

4.2.1.2- L'alcalinité :

L'alcalinité de l'eau se définit comme sa capacité à neutraliser un acide. L'alcalinité de l'eau naturelle est principalement associée aux carbonates, aux bicarbonates et aux hydroxydes. L'alcalinité d'un échantillon est déterminée par un titrage avec une solution d'acide nitrique, tel qu'au fur et à mesure du titrage, le pH diminue légèrement. Lorsque l'échantillon contient des carbonates, un premier point d'équivalence peut être observé aux environs d'un pH basique. Ce point correspond à la transformation des ions carbonates et bicarbonates. Cependant, l'alcalinité est mesurée au deuxième point d'équivalence, soit celui qui correspond à la transformation du

bicarbonate en acide carbonique et qui se trouve aux environ de pH acide. Dans notre étude l'analyse de l'alcalinité s'est effectuée selon le procédé déterminé par la norme [NF EN ISO 9963].

4.2.1.3- Analyse des éléments nutritifs :

Les éléments nutritifs sont indispensables au bon fonctionnement des écosystèmes aquatiques et conditionnent leur productivité. Les nutriments présents dans les écosystèmes aquatiques, découlent des activités anthropiques (fertilisation, rejets urbains...) et entraînent une augmentation importante de ces derniers dans les rivières, notamment l'azote et le phosphore :

- L'azote : est un élément qui peut se transformer biochimiquement et chimiquement par une série de processus formant le cycle de l'azote. Afin de déterminer la qualité de l'eau on mesure les différentes formes d'azote: l'azote total, l'azote ammoniacal et les nitrites/nitrates. L'azote présent dans les eaux provient essentiellement des déjections humaines dans les eaux usées domestiques où l'apport majoritaire est l'urine sous forme d'urée ;
- Le phosphore: est présent à l'état naturel dans les roches, mais aussi dans le sol, par les activités humaines qui constituent une importante source de phosphore, et auxquelles s'ajoutent les fertilisant (CCME, 2009). Cependant, le phosphore est transformé, dans les écosystèmes terrestres et aquatiques, en phosphore organique par les organismes vivants.

L'analyse de ces éléments s'est réalisée au niveau du Laboratoire de l'Office Nationale d'Eau et Electricité (Ain-Nokbi) par spectrophotométrie d'absorption moléculaire.

5. Analyse de la qualité des sédiments:

5.1- Préparation des échantillons:

L'objectif de la préparation des échantillons avant analyse est d'obtenir des échantillons représentatifs dans lesquels la concentration en polluants est aussi proche que celle présente dans les sédiments d'origine. C'est souvent l'étape la plus longue et celle qui génère le plus de sources d'erreur dans la chaîne analytique. Elle comprend :

ETUDE PHYSICO-CHEMIE ET GEOCHIMIE DES EAUX ET SEDIMENTS DE OUED FES ET SEBOU

Le séchage : à une température compatible avec les caractéristiques des composants recherchés. Pour les métaux, le séchage des échantillons de sédiments est le plus souvent réalisé à l'étuve à 105°C [NF ISO 11-164] ;

Le quartage : homogénéisation des prélèvements et sélection d'un échantillon représentatif ;

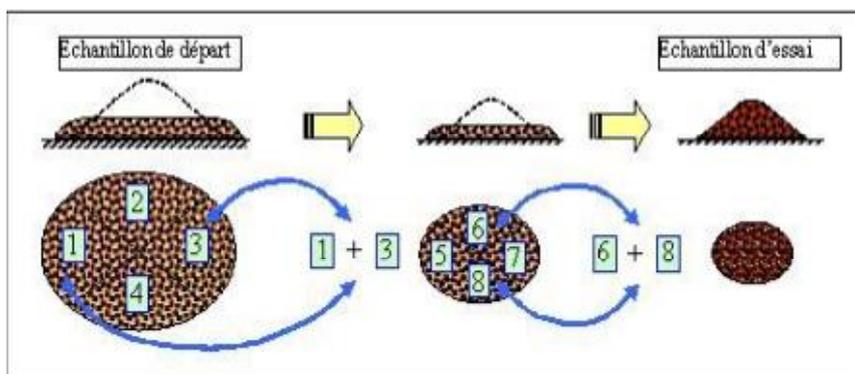


Figure 9: Dessin explicatif de la méthode de quartage par cône.

Le tamisage : pour éventuellement éliminer les gros fragments solides qui ne sont habituellement pas considérés. La fraction conservée pour analyse est généralement celle inférieure à 2 mm [NF X 31-101] ;

Le broyage : réduction des échantillons en poudre fine de façon à favoriser la mise en solution des éléments à analyser (augmentation de la surface spécifique du matériau) ;

Cependant, pour la plupart des analyses physico-chimiques réalisées on a adopté les normes AFNOR sur la qualité des sols [AFNOR 1994]. Ce choix a été motivé par les similitudes de composition et de caractéristiques physico-chimiques entre les sols et les sédiments. Toutefois des techniques différentes de préparation des échantillons ont été mises en œuvre en parallèle des analyses afin de concilier entre représentativité et préservation des sédiments.

5.2- Analyse physico-chimique:

5.2.1. Humidité

Cette mesure permet de calculer la masse sèche utilisée lors des différentes expériences. Celle-ci est définie par la norme [NF X31-102], dont le principe consiste au séchage d'une masse d'échantillon dans une étuve à 105°C jusqu'à ce que la masse soit constante.

5.2.2. pH-métrie:

Le pH est un coefficient qui caractérise l'acidité d'un sédiment par la présence d'ions H^+ , ou sa basicité (due à l'abondance des ions calcium). Il est défini comme étant le cologarithme de la concentration en ions H^+ dans la phase liquide du sédiment, et varie entre 0 et 14. En fonction des valeurs de pH des sédiments on peut les classer de la manière suivante :

- $pH < 4,5$: sédiments très acides ;
- $4,5 < pH < 6$: sédiments faiblement acides ;
- $6 < pH < 7$: sédiment équilibrés;
- $pH > 7$: sédiments alcalins ;

La mesure adoptée est décrite par la norme [NF X 31-103] qui se réalise par la mise en équilibre ionique d'une certaine masse de solide avec un volume donné d'eau déminéralisée. Le ratio de la masse de sédiment au volume d'eau étant fixé à 1/2,5. La mesure s'effectue dans la suspension aqueuse à l'équilibre.

5.2.3. Conductivité électrique:

La conductivité électrique est une mesure qui donne une approximation de la concentration des sels solubles présents dans les sédiments. Dans notre étude, sa mesure s'est effectuée selon la norme [NF X 31-113] qui est basée sur l'extraction des sels d'un échantillon solubles dans l'eau, sous des conditions bien définies et dans un rapport sédiment sec/eau égal à 1/5 (M/M) permettant ainsi de mesurer le courant conduit par les ions présents.

5.2.4. Dosage de la matière organique:

La perte au feu est une technique qui permet de mesurer directement la matière organique présente dans un sédiment. Elle se base sur le chauffage des échantillons pendant une nuit (16 heures) dans un four à moufle à 375 °C.

5.2.5. Calcimétrie:

Le calcimètre de Bernard permet la détermination de la teneur en calcaire d'une terre, en mesurant le CO₂ produit par l'action de l'acide chlorhydrique sur une masse de terre connue, et qui nous permettra par la suite de déterminer la masse de calcaire ayant réagi et donc la teneur en calcaire de l'échantillon analysé.

5.2.6. Ganulométrie:

L'analyse granulométrique est l'opération consistant à déterminer la proportion des diverses classes de grosseur des particules. La méthode utilisée dans cette manipulation est le tamisage selon les normes [NF P 94-056 et NF P 94-057] et qui consiste à diviser un matériau pulvérulent en le faisant passer à travers une série de tamis à maille décroissante et dont les caractéristiques sont connues. Pour cela nous avons réalisés le tamisage en adoptant les 2 voies existantes : humide et sec.

5.3- Analyse géochimique:

5.3.1- Eléments traces métalliques dans les sédiments

5.3.1.1- Détermination des teneurs en ETM par attaque triacide

C'est une méthode de la norme [NF X 31-147] qui allie l'acide fluorhydrique (HF) à l'acide perchlorique (HClO₄) et conduisant à la détermination des "teneurs totales" en ETM. Elle consiste en une mise en solution par les acides fluorhydrique (HF) et perchlorique (HClO₄) où l'utilisation de ce deuxième acide est absolument nécessaire pour éviter la précipitation du calcium sous forme de fluorure (CaF₂). Les acides fluorhydrique et perchlorique sont éliminés par évaporation en fin de réaction ce qui a pour conséquence l'élimination de la silice sous forme d'acide fluorosilicique (H₂SiF₆).

Cette méthode a été choisie par ce qu'elle peut être considérée comme une méthode véritablement totale ne posant de ce fait aucune difficulté d'interprétation. L'appareil utilisé afin de déterminer les ETM est l'ICP AES (HORIBA JOBIN YVON) appartenant au Centre Universitaire de Recherche et Innovation de Fès, et qui permet l'analyse de presque tous les éléments chimiques (ceux avec des lignes sensibles suffisantes d'émission avec la gamme de 190 à 782 nm).

5.3.1.2- Détermination de la mobilité des ETM par attaque triacide

L'application de complexant sur un sol/sédiment entraîne une augmentation de la mobilité des métaux présents dans ce sol (Peters, 1999 ; Madrid et al., 2003 ; Hauser et al., 2005). En effet, les complexants forment avec les métaux des complexes solubles stables, les rendant ainsi plus mobiles. Cependant, du fait de leur fort pouvoir complexant et de leur persistance dans l'environnement, due à leur faible biodégradabilité, les complexants synthétiques (type EDTA) peuvent entraîner une migration massive des métaux vers les eaux souterraines. Ces métaux peuvent alors être absorbés par des animaux ou d'autres plantes et ainsi contaminer des chaînes alimentaires (Grčman et al., 2001). Afin d'avoir un excès d'EDTA la concentration de ce réactif a été fixée à 0.05M selon la norme [NF X 31-120] procédure (AFNOR, 2003).

5.3.1.3- Détermination de composés organostanniques :

Les organostanniques sont les dérivés organiques de l'étain au degré d'oxydation +IV. Ils ont pour formule générale $R_p SnX_{(4-p)}$ où R est un groupement alkyle ou aryle lié à l'atome d'étain par une liaison covalente et X un anion (Cl-, Br-, I-, F-,...) ou un groupement anionique (OH-), p étant compris entre 1 et 4. Quatre familles de composés organostanniques peuvent être distinguées selon leur degré de substitution:

- les monoorganoétains (R_1SnX_3) ;
- les diorganoétains (R_2SnX_2) ;
- les triorganoétains (R_3SnX) ;
- les tétraorganoétains (R_4Sn).

Ces composés ne sont pas présent naturellement dans l'environnement, leurs sources de contamination sont uniquement anthropiques, de ce fait leur dégradation l'environnement peut être définie comme une perte des groupements organiques liés à l'atome d'étain :



Cette dégradation peut avoir lieu suite à 3 processus : la photolyse, la biodégradation ou la dégradation chimique. et donc les organostanniques sont essentiellement d'origine anthropique, à l'exception des méthyle-étains qui peuvent être synthétisés par méthylation durant l'activité biologique, et sont principalement utilisés dans l'industrie chimique. Dans notre étude on s'est intéressé par l'étude de la présence des butylétains et dont les teneurs ont été déterminées par

(Sabah. A, 2016) lors de son étude des diverses teneurs en butylétains au niveau des mêmes stations étudiées.

5.4- Analyse minéralogique :

Les argiles sont considérées comme étant la fraction la plus active de la matrice du sol/sédiment. En effet, c'est à ce niveau que se passe un grand nombre de processus importants concernant le comportement physique et physico-chimique, la nutrition minérale des plantes, la genèse et l'évolution des sols, ainsi que d'autres aspects d'importance comparable. L'influence des argiles sur les propriétés des sols/sédiments dépend non seulement de leur texture mais essentiellement de la nature et les quantités des différentes espèces minérales qui les constituent. C'est à partir de là qu'il s'est avéré utile, voire même indispensable de connaître les quantités de chaque espèce minérale (quantification) constituant ces argiles, afin de pouvoir établir des relations quantitatives avec la minéralogie du sol/sédiment et apporter des éléments de réponse et des jugements plus solides concernant plusieurs problèmes liés aux argiles.

5.4.1- la préparation des lames orientées :

La préparation proposée est souvent plus longue à réaliser que la préparation de routine. Par ailleurs comme la modélisation des diffractogrammes expérimentaux est consommatrice de temps et qu'elle s'applique en général à un nombre restreint d'échantillons, le temps consacré à la préparation peut être considéré comme nécessaire.

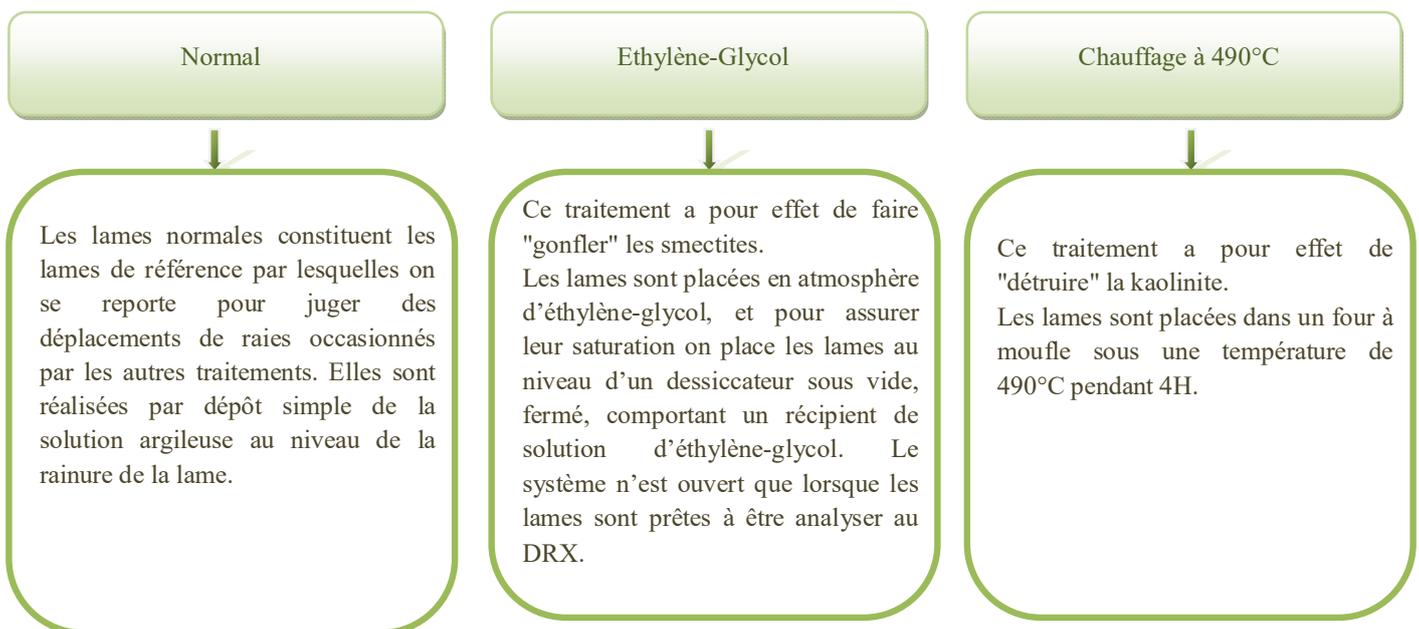
Dispersion de l'échantillon brut : Classiquement en pédologie, la dispersion de l'échantillon est réalisée à l'aide d'un sel de sodium après destruction de la matière organique (avec H_2O_2). Cependant, l'utilisation de ces traitements peut potentiellement altérer les minéraux argileux, c'est la raison pour laquelle on a opté pour une dispersion des minéraux argileux à l'aide d'un ultrason ;

Saturation et lavage des échantillons : La saturation des échantillons est classiquement réalisée par la mise en contact de l'échantillon avec la solution HCl 10% afin d'éliminer les carbonates, puis une série de lavage est entreprise. Ces lavages sont réalisés par ajouts successifs d'eau distillée jusqu'à ce que la concentration en chlorures soit négligeable (pH=7) ;

L'extraction de la fraction $< 2 \mu m$: est l'étape traditionnelle de l'étude des minéraux argileux, particulièrement dans les sols/sédiments. Elle est toujours basée sur la loi de Stokes mais l'extraction peut être faite de deux manières différentes : soit par centrifugation, soit par siphonage

avec une pipette de Robinson. Dans notre étude nous avons réalisée l'extraction par centrifugation où le surnageant constitue la fraction $<2\mu\text{m}$;

Préparation des lames : Il existe différents types de préparations de lames orientées (Moore and Reynolds, 1989), la préparation de routine la plus employée étant la préparation goutte. A ce stade les lames sont prêtes à analyser par DRX. Pour se faire 3 préparations sont nécessaires afin de déterminer les minéraux argileux.



5.4.2- la préparation des lames désorientées :

Ces lames se composent uniquement de la roche mère qui a subi une simple préparation (séchage et broyage) et faisant l'objet d'analyse au DRX.

5.4.3- Analyse des lames par DRX :

La diffraction des rayons X permet une identification rapide des matières, argiles et autres minéraux présents sous forme de particules. Elle fournit des informations détaillées sur la structure cristallographique des échantillons qui peuvent servir à identifier les phases présentes. De plus, celle-ci est particulièrement utile pour identifier les phases des matériaux à grains fins obtenues et difficiles à identifier avec d'autres méthodes.

6. Analyses de la qualité des végétaux :

6.1- Préparation des échantillons :

Le prétraitement effectué pour obtenir l'échantillon d'essai était réalisé avec une très grande attention étant donné que c'est souvent l'étape la plus longue et celle qui génère le plus de sources d'erreur et de contamination dans la chaîne analytique. Elle comprend :

Un nettoyage: les racines sont débarrassés du sol par lavage à l'eau ultra pure ainsi que les parties aériennes qui se sont débarrassées de leur poussières par l'eau distillée;

Un séchage : Lorsque les analytes se prêtent au séchage à l'air ou à l'étuve la préparation de l'échantillon pour essai se simplifie fortement. Les végétaux sont généralement séchés à une température égale à $103 \pm 2^\circ\text{C}$;

Broyage et homogénéisation : une fois que les échantillons sont bien secs, on peut utiliser des systèmes de désagrégation et de broyage pour réduire la granulométrie et la taille des échantillons ;

Conservation : l'échantillon devra être préservé des modifications de sa teneur en eau et donc conservé dans un récipient fermant hermétiquement. Les reprises d'humidité seront d'autant plus à craindre que la déshydratation aura été poussée à un niveau élevé. Les végétaux sont conservés, à température ambiante, dans des sachets en plastique. Une mesure d'humidité résiduelle est nécessaire au moment de la prise d'essai (pesée) pour analyse.

6.2- Analyse des ETM sur les végétaux :

Les activités urbaines, industrielles et agricoles sont responsables d'une contamination croissante des sols et de l'eau par les ions métalliques. Organisme autotrophe, la plante est totalement tributaire de son environnement minéral. Le sol lui fournit donc la grande majorité de ses nutriments, mais elle est également directement exposée à des éléments potentiellement toxiques, dont les plus répandus sont :

- **Le Cadmium :** Compte tenu de sa mobilité dans le sol et de son transfert vers les végétaux généralement importants, il est l'un des éléments polluants les plus problématiques pour la protection des écosystèmes. Les principales sources de contamination en cadmium

proviennent des retombées atmosphériques, de l'utilisation d'engrais fertilisants ou de l'épandage des boues des stations de traitement d'eaux usées ;

- **Le Plomb** : un polluant primaire persistant, sa durée de vie dans le sol est de 1 700 ans, il peut être bioaccumulé dans les chaînes alimentaires et il est toxique pour l'homme. Contrairement au Cadmium le plomb est absorbé passivement par les racines et est rapidement immobilisé dans les cellules racinaires. Son accumulation depuis le sol est assez limitée et sa translocation vers les parties aériennes est faible. Cependant, la déposition de poussières de plomb sur les végétaux ou le sol, ainsi que l'irrigation des plantes par des eaux riches en Plomb peuvent présenter une vraie source de pollution ;
- **Le Zinc** : Le zinc est un métal essentiel, c'est à dire nécessaire en quantité généralement faible à la vie. cependant, l'excès de son utilisation dans les activités urbaines et industrielles peut présenter un danger pour les organismes vivants. Il provient également des minerais de plomb dans lesquels il est toujours associé au cadmium. Du fait de sa forte absorbance, une augmentation de sa concentration dans le sol provoque directement son augmentation dans les tissus des plantes et accumulent le métal dans les racines ;
- **Le Palladium** : La nature chimique et thermodynamique du palladium sous forme solide et en solution suggèrent qu'il est mobile sous forme de complexes hydroxydes. Cependant, ce métal est rare dans la nature, mais on le trouve maintenant dans la poussière des routes à des concentrations parfois plus élevées que dans le précieux minerai dans la nature, ce qui nous laisse penser à sa toxicité vis-à-vis des plantes ;
- **Le Platine** : émis dans l'air par l'intermédiaire des gaz d'échappement des voitures qui utilisent de l'essence au plomb et par conséquent le niveau de platine dans l'air peut être plus élevé dans certains endroits. Les effets du platine sur l'environnement et les animaux n'ont pas encore fait l'objet de recherches intenses. La seule chose que l'on sait est que le platine s'accumule dans les racines des plantes après avoir été absorbé et les micro-organismes peuvent transformer les composés du platine en des substances plus dangereuses dans les sols.

L'analyse des ETM présent au niveau de fèves irriguées par Oued Sebou est comparée avec une analyse des ETM présent au niveau des fèves irriguées par les eaux de la nappe sans l'utilisation d'engrais. Le protocole utilisé est inspiré de la norme [NF-ISO-14 869-1], qui consiste à la mise

ETUDE PHYSICO-CHIMIQUE ET GEOCHIMIQUE DES EAUX ET SEDIMENTS DE OUED FES ET SEBOU

en contact des échantillons calcinés aux 3 acides qui sont bien l'acide nitrique, l'acide perchlorique et l'acide fluorhydrique, dans le but d'évaluer le taux de transfert des éléments traces métalliques via le sol vers les différents compartiments végétaux.

Chapitre 3 : Analyse et résultats.

1- Analyse de la qualité des eaux:

1.1- Analyse des paramètres sur terrain :

1.1.1- Paramètres physico-chimiques :

Les paramètres physico-chimiques des eaux de surface étudiées montrent de grandes variations d'une station à une autre. Les résultats de cette étude seront traités en discutant les paramètres mesurés, et pour cela nous avons utilisé les maxima et les minima pour évaluer les variations de ces paramètres pour chaque station.

1.1.1.1- Température de l'eau :

La température des eaux étudiées est généralement supérieure à 20°C avec des écarts entre le maximum et le minimum des T° mesurées entre 17.4 (S1) et 22.3°C (S2). Selon la norme marocaine de classification des eaux de surfaces décrite dans l'arrêté ministériel n° 1275-01 2002 (Bulletin Officiel n° 5062, 2002), les eaux étudiées appartiennent à une classe bonne qualité à l'exception de la station (S1) et (S3) dont la température correspondent à une eau d'excellente qualité.

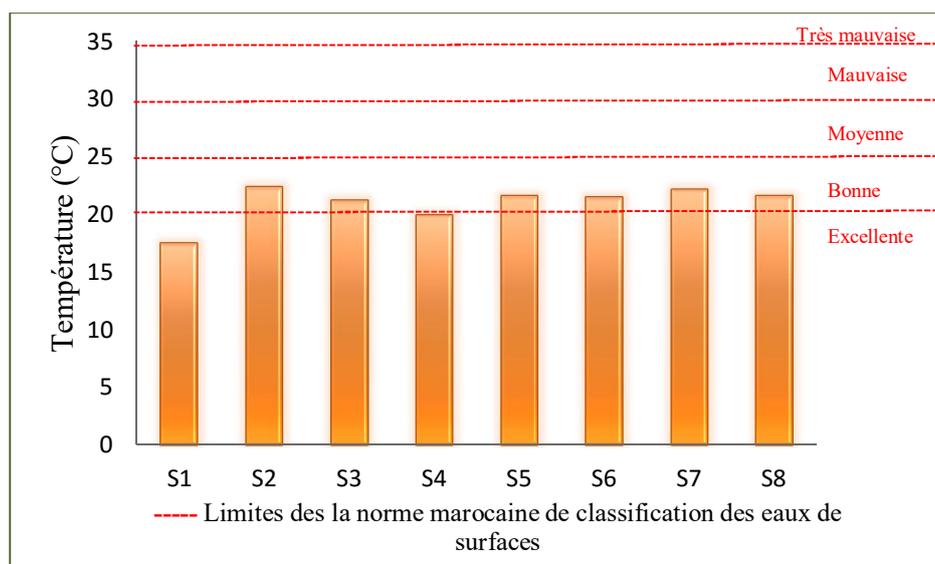


Figure 10: Résultats d'analyse de la T° des eaux.

2.1.1.2- pH :

Le pH de l'eau est alcalin au niveau de toutes les stations, où il prend son essor au niveau de la station (S5) pour 9.5, tandis que les autres collections d'eau sont moins alcalines. De ce fait et selon la norme marocaine de classification des eaux de surfaces les eaux étudiées appartiennent à la classe de moyenne qualité.

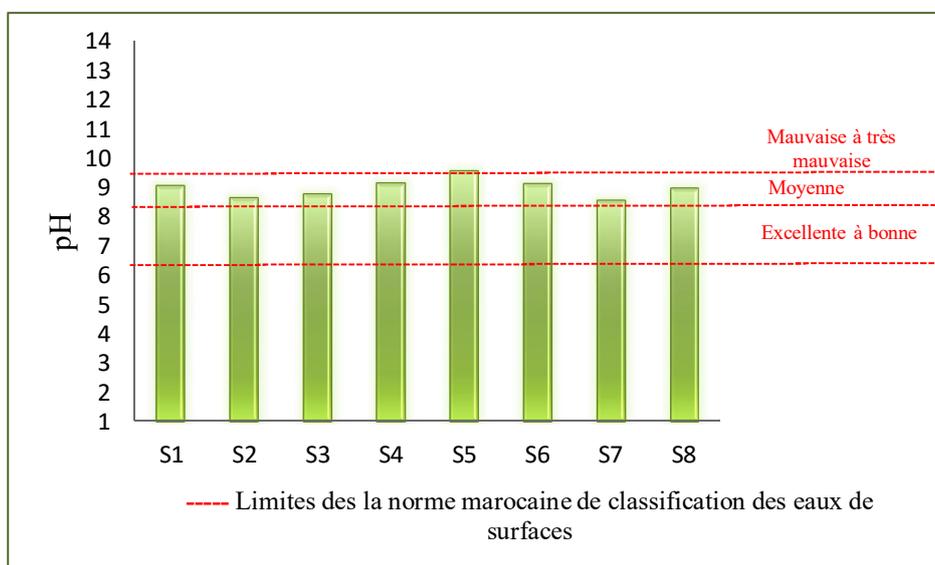


Figure 11: Résultats d'analyse du pH des eaux.

2.1.1.3- La conductivité électrique :

Les valeurs de conductivité électrique oscillent entre 860 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (S1) et 1720 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (S2). Ainsi, selon la classification Marocaine des eaux de surfaces, les valeurs trouvées de la conductivité électrique ($<2700 \mu\text{s}/\text{cm}$) classent ces eaux de moyenne qualité, à l'exception des stations (S1) et (S5) qui sont de bonne qualité.

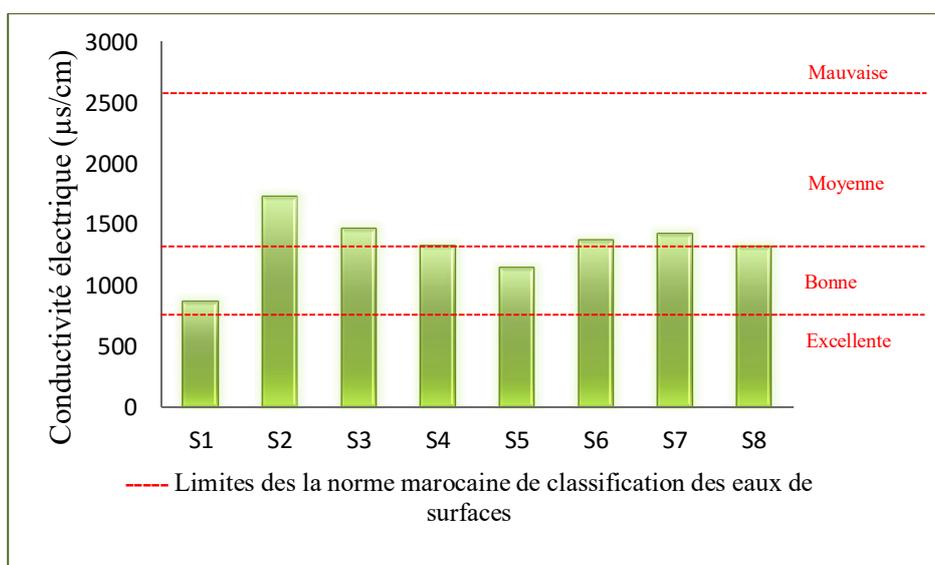


Figure 12: Résultats d'analyse de la CE des eaux.

2.1.1.4- L'oxygène dissous:

Pour l'oxygène dissous, les eaux sont faiblement moyennement oxygénées à l'exception des stations (S2) et (S3) où la teneur en oxygène est très basse (0.15 et 0.16 mg/L). De ce fait et selon la classification Marocaine des eaux de surfaces, les eaux de surfaces étudiées appartiennent à la classe de qualité moyenne à mauvaise.

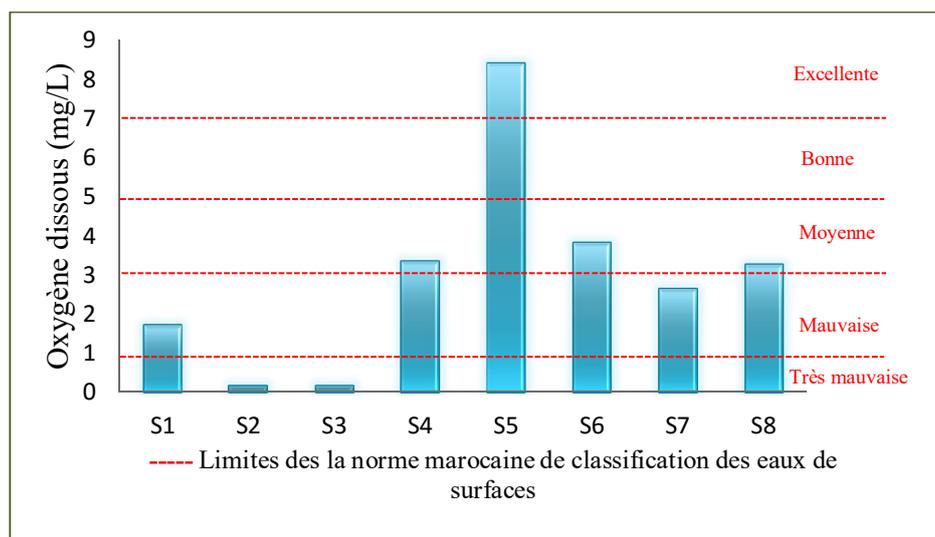


Figure 13: Résultats d'analyse de l'Oxygène dissous des eaux.

2.2- Analyse des paramètres au laboratoire :

2.2.1- Paramètres physico-chimiques :

2.2.1.1- Taux des matières en suspension :

Les taux des matières en suspension s'échelonnent de 2.93 mg/L à 414 mg/L en renfermant en chaque point une très grande teneur en matière organique que minérale. La comparaison des teneurs de ces eaux avec la norme marocaine les places dans la grille bonne à moyenne qualité à l'exception de la station (S1) qui fait partie de la grille d'excellence.

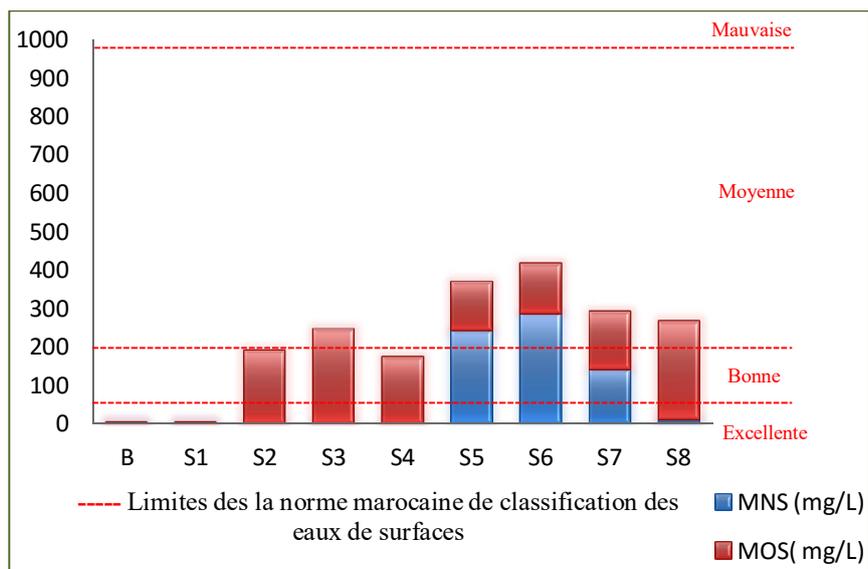


Figure 14: Résultats d’analyse de la matière en suspension des eaux.

2.2.1.2- L’alcalinité:

Dans notre étude, les valeurs de l’alcalinité fluctuent entre 8.13 (S1) et 14.67 (S2) mg, avec des variations légères entre les différentes stations. Ces teneurs classent ces eaux dans la grille des eaux de qualité excellente.

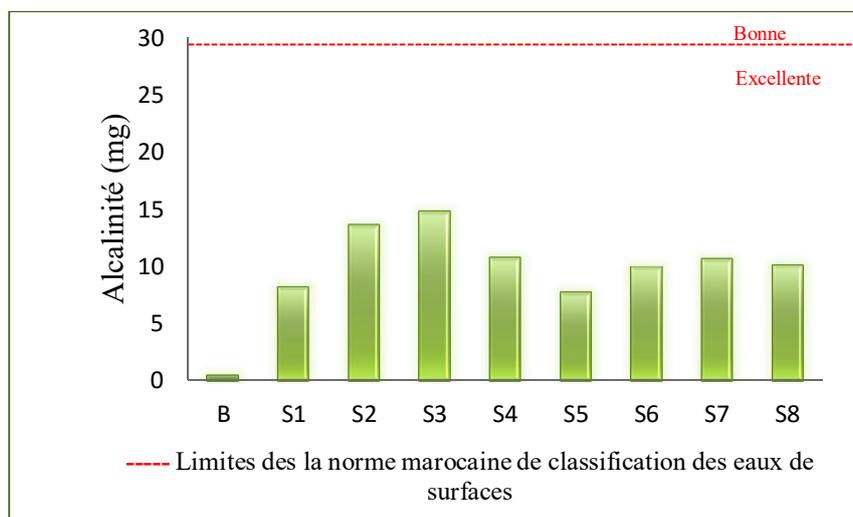


Figure 15: Résultats d’analyse de l’alcalinité des eaux.

2.2.1.3- Analyse des éléments nutritifs :

L’analyse des éléments azoté et phosphatés a fournit les résultats suivants :

- Les nitrates : Les concentrations des nitrates les plus élevées sont enregistrées au niveau de (S6) et (S7) pour des concentrations de 4.3 et 3 mg/L tandis que les concentrations enregistrées varient de 1 à 4.2mg/L et sont inférieures à 10 mg/L permettant de classer ces eaux dans la classe excellente.

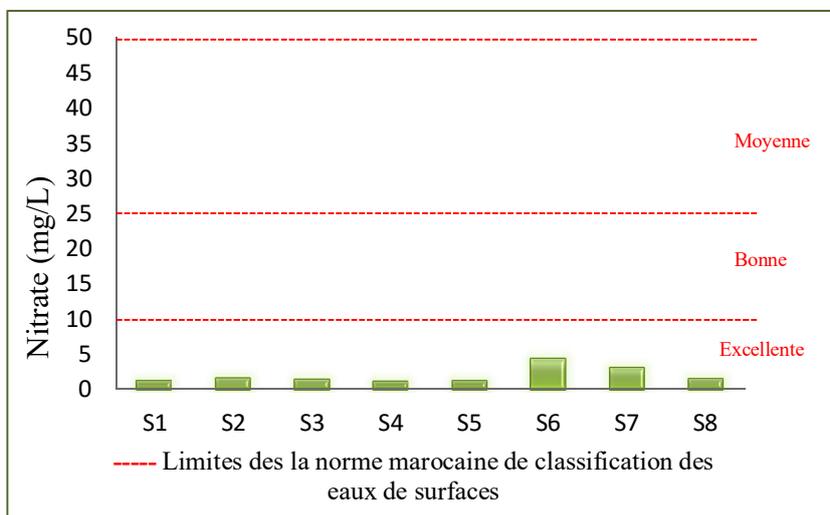


Figure 16: Résultat de l'analyse des Nitrates dans les eaux.

- Les nitrites : Les concentrations des nitrites sont inférieures à 0.5mg/L permettant de classer ces eaux dans la classe excellente.

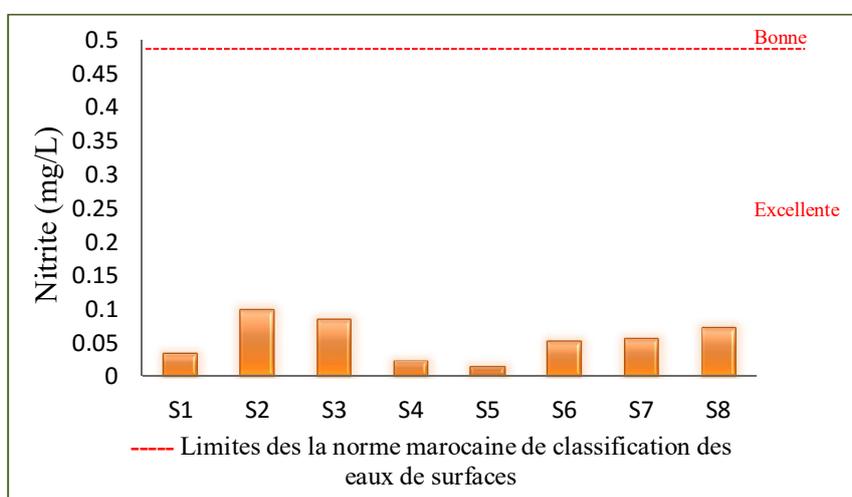


Figure 17: Résultat de l'analyse des Nitrites dans les eaux.

- **L'Ammonium** : Les concentrations en Ammonium oscillent entre 0.15 et 0.4 mg/L dont les plus élevées sont enregistrées au niveau de (S6) et (S7) pour des concentrations de 0.4 et 0.32 mg/L permettant de classer ces eaux dans la classe bonne à excellente qualité.

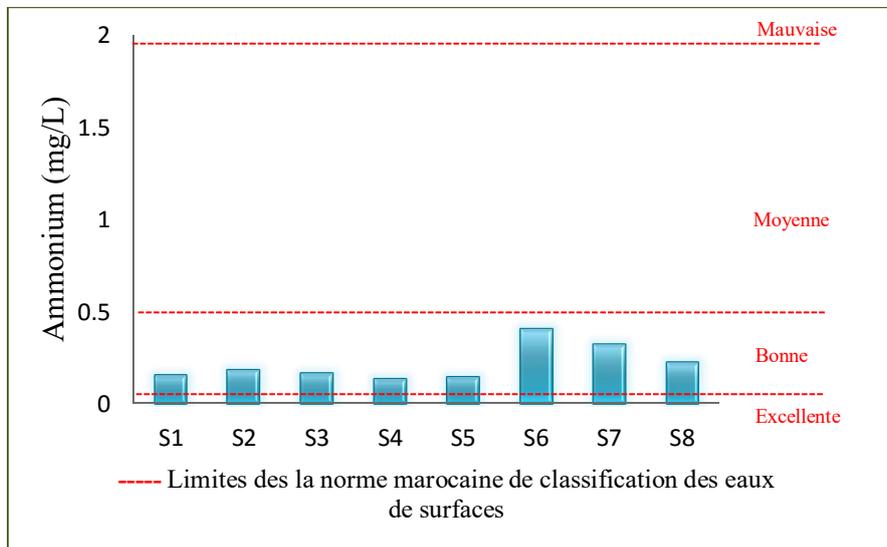


Figure 18: Résultat de l'analyse de l'Ammonium dans les eaux.

- **L'Ammonium** : Les concentrations en Phosphore total s'échelonnent entre 0.06 et 0.25 mg/L permettant de classer ces eaux dans la classe bonne à moyenne qualité.

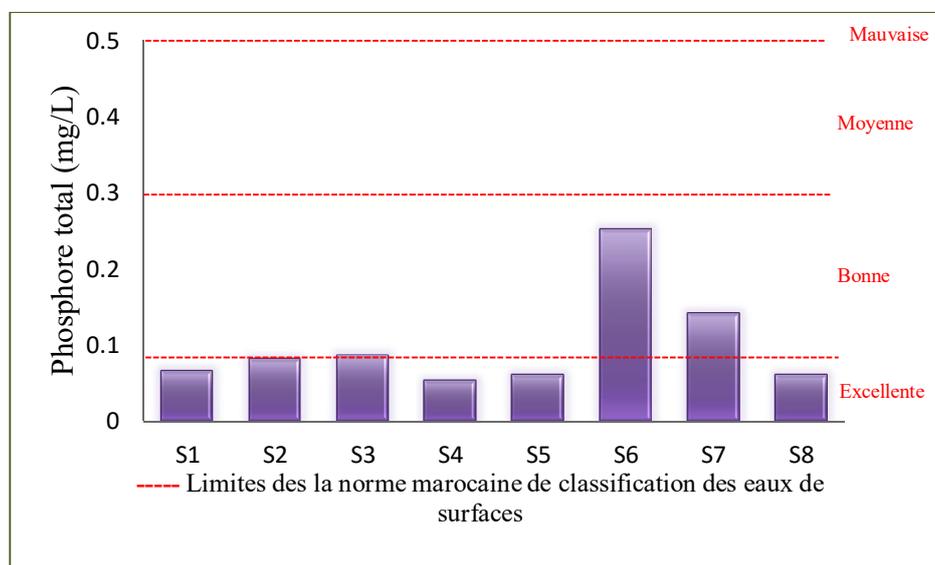


Figure 19: Résultat de l'analyse du Phosphore total dans les eaux.

2- Analyse de la qualité des sédiments:

2.1- Analyse des paramètres physico-chimiques :

2.1.1- l'humidité :

Pour nos échantillons, l'analyse de leur taux d'humidité a donné des résultats qui s'échelonnent de 9.659 à 21.049 % qui correspondent à un taux d'humidité modéré, cependant, ce taux ne correspond pas uniquement à l'eau évaporée mais aussi à une quantité de matière organique qui s'est calcinée à partir de 60°C.

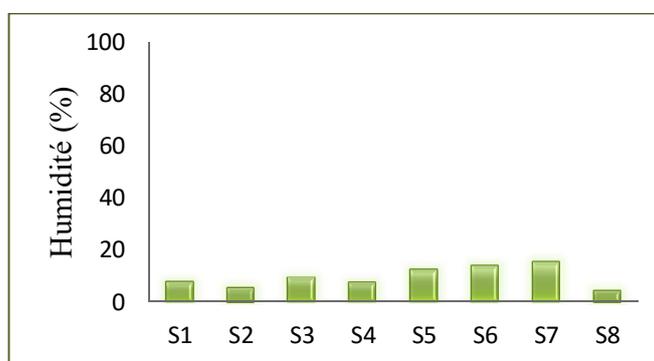


Figure 20: Résultats d'analyse de l'humidité résiduelle des sédiments.

2.1.2- pH :

Les résultats obtenus à partir de l'analyse montrent qu'on est au niveau des sédiments à pH basique et dont les valeurs s'échelonnent de 7.517 à 7.947 avec de légères variations le long de la zone étudiée, et selon la répartition des sols/sédiments en fonction de leur pH on peut attribuer ces sédiments à des sols mères alcalins voire même à alcalinité modérée.

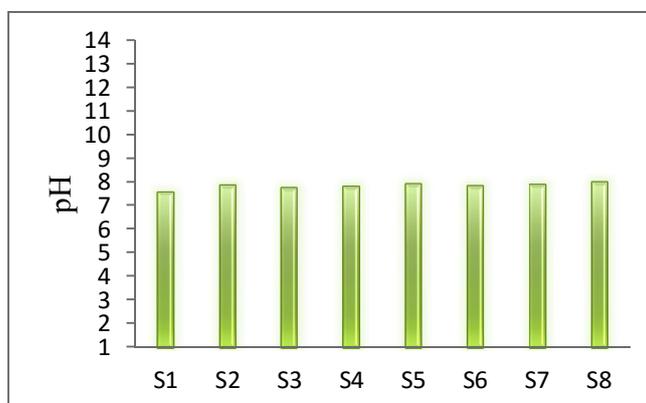


Figure 21: Résultats d'analyse du pH des sédiments.

2.1.3- Conductivité électrique :

D'après les résultats présentés ci-dessus on constate que la zone d'étude se caractérise par une CE moyenne qui varie entre 216 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et 111.4 $\mu\text{s}/\text{cm}$ à l'exception de la station (S6) qui représente une CE faible de l'ordre de 2.533 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

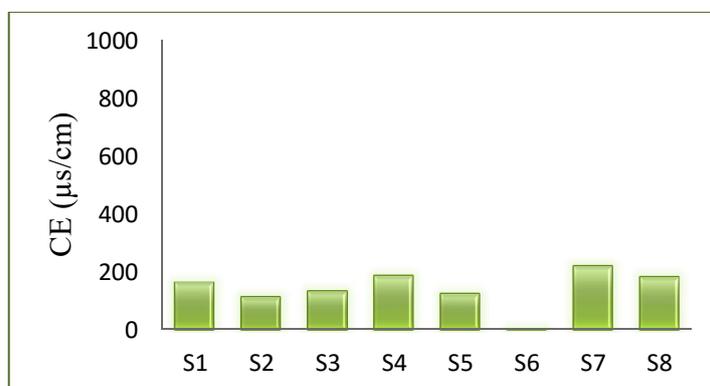


Figure 22: Résultats d'analyse de la CE des sédiments.

2.1.4- Taux de la matière organique :

Les taux de matière organique présentent des valeurs faible voir très faibles allant de 0.7427% à 16.8067%.

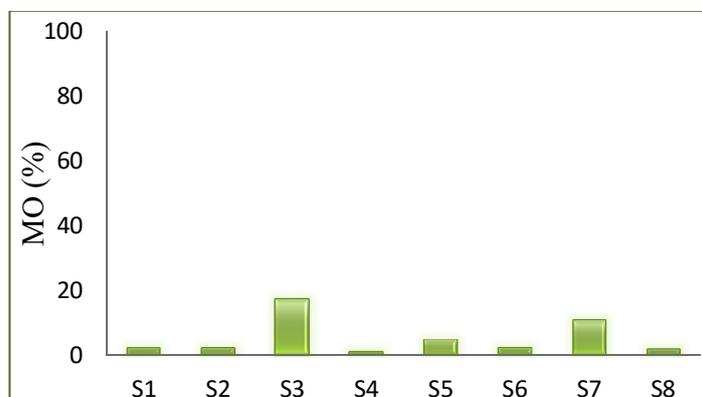


Figure 23: Résultats d'analyse de la MO des sédiments.

2.1.5- Calcimétrie :

L'analyse des résultats obtenus par l'essai calcimétrique nous montre qu'il y a une teneur importante en taux de carbonates en ayant comme valeur minimale 40% et maximale de 86.7%.

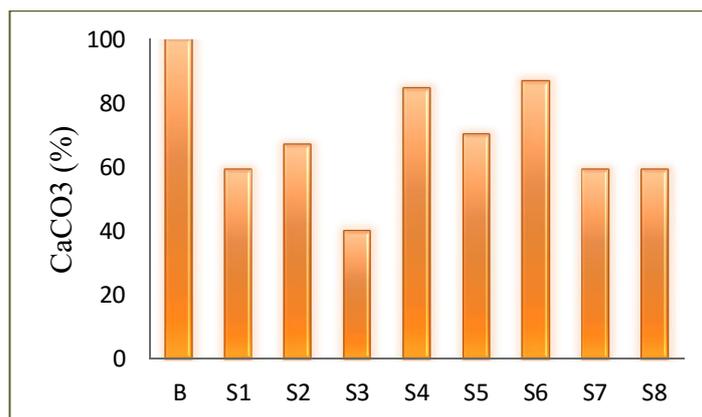


Figure 24: Résultats d'analyse de la CaCO₃ des sédiments.

2.1.6- Granulométrie:

Après la projection des résultats obtenus à partir de l'analyse granulométrique, nos sédiments se caractérisent par une texture limono-argileuse ainsi qu'une texture purement sableuse en certains points.

S1	%	%
Sable Très Grossier	34.90776	49.82512
Sable Grossier	5.3438	
Sable Moyen	3.1526	
Sable Fin	4.40796	
Sable Très Fin	2.013	
Lutites	50.17488	50.17488

S2	%	%
Sable Très Grossier	75.3612	96.35492
Sable Grossier	6.80984	
Sable Moyen	6.1524	
Sable Fin	4.88396	
Sable Très Fin	3.14752	
Lutites	3.64508	3.64508

S3	%	%
Sable Très Grossier	25.11204	52.27236
Sable Grossier	3.0974	
Sable Moyen	5.7076	
Sable Fin	10.57428	
Sable Très Fin	7.78104	
Lutites	55.50868	55.50868

S4	%	%
Sable Très Grossier	65.79152	95.85528
Sable Grossier	17.98112	
Sable Moyen	7.33508	
Sable Fin	2.5066	
Sable Très Fin	2.24096	
Lutites	4.14472	4.14472

S5	%	%
Sable Très Grossier	87.05432	96.18556
Sable Grossier	3.90444	
Sable Moyen	2.3314	
Sable Fin	1.68152	
Sable Très Fin	1.21388	
Lutites	3.81444	3.81444

S6	%	%
Sable Très Grossier	75.44848	98.2736
Sable Grossier	5.68316	
Sable Moyen	6.53268	
Sable Fin	6.83316	
Sable Très Fin	3.77612	
Lutites	1.7264	1.7264

ETUDE PHYSICO-CHEMIQUE ET GEOCHIMIQUE DES EAUX ET SEDIMENTS DE OUED FES ET SEBOU

S7	%	%
Sable Très Grossier	0.26216	30.02236
Sable Grossier	0.30936	
Sable Moyen	1.13016	
Sable Fin	8.79408	
Sable Très Fin	19.5266	
Lutites	69.97764	69.97764

S8	%	%
Sable Très Grossier	6.20708	36.73596
Sable Grossier	0.98264	
Sable Moyen	2.596	
Sable Fin	9.04312	
Sable Très Fin	17.90712	
Lutites	81.17116	81.17116

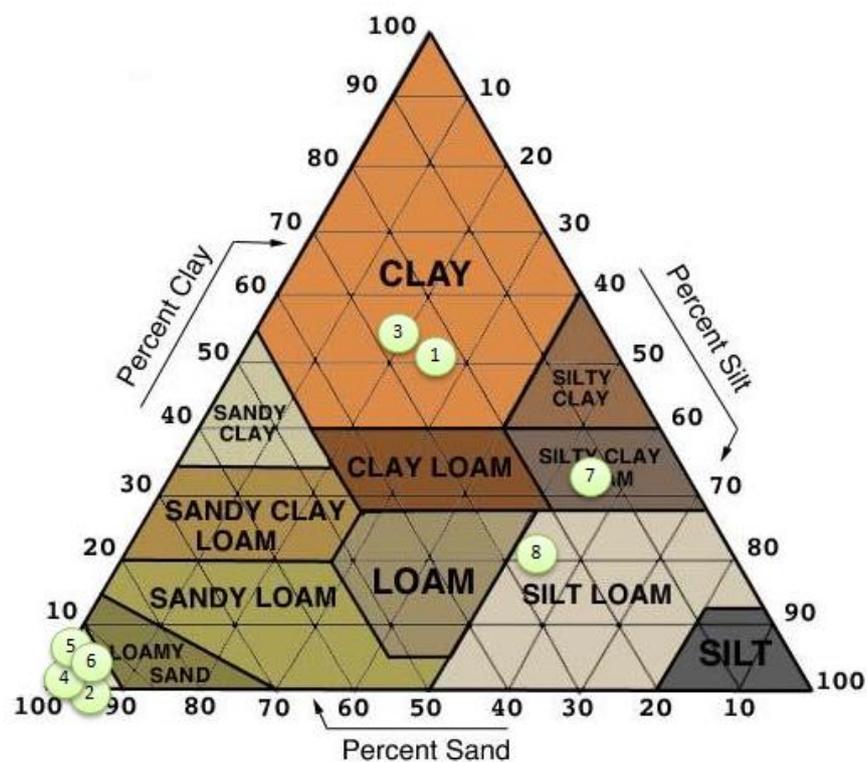


Figure 25: Triangle isocèle avec la projection des résultats granulométrique des sédiments.

2.2- Analyse géochimique:

2.2.1- Eléments traces métalliques dans les sédiments

2.2.1.1- Analyse des ETM:

Notre choix d'analyses des éléments en traces métalliques dans les échantillons prélevés et analysés a été porté sur les éléments couramment rencontrés dans les sédiments, à savoir : Chrome, Cuivre, Nickel, Plomb et Zinc. On rappelle que les éléments en traces métalliques se déposent avec les solides en suspension et tendent à s'accumuler dans les sédiments superficiels des cours d'eau. Ils servent non seulement comme vecteur du transport mais aussi lieu de stockage et d'accumulation.

- Chrome (Cr) : Les valeurs sont faibles et proches du seuil de détection du chrome et varient de 39.9 mg/Kg (S4) à 176.6 mg/Kg (S7). Cette dernière station a enregistré la teneur maximale en Cr, et qui a dépassée la limite maximale définie par les normes françaises de qualité des sédiments.

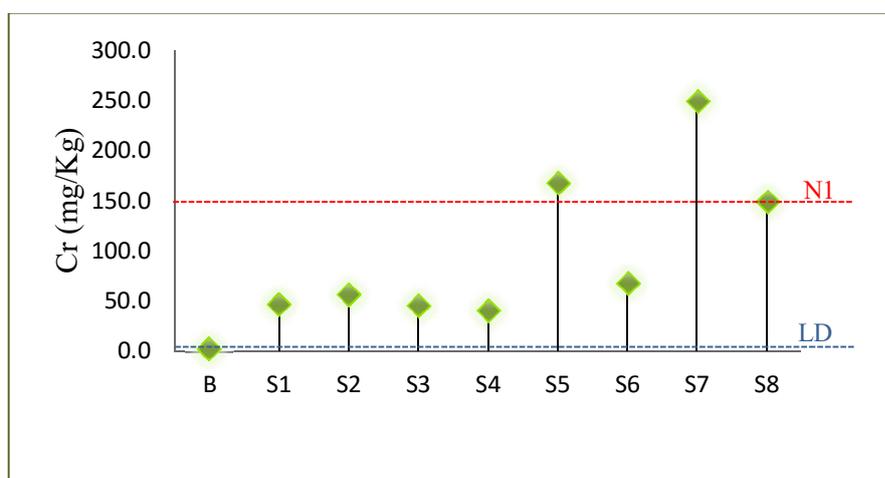


Figure 26: Résultats d'analyse du Chrome au niveau des sédiments.

- Cuivre (Cu) : Les teneurs en ce métal s'échelonnent de 34.2 mg/Kg (S1) à 785.9 mg/Kg (S4) qui représentent des valeurs très élevées en ce métal où leur teneurs ont dépassés la limite maximale définie par les normes françaises de la qualité des sédiments ;

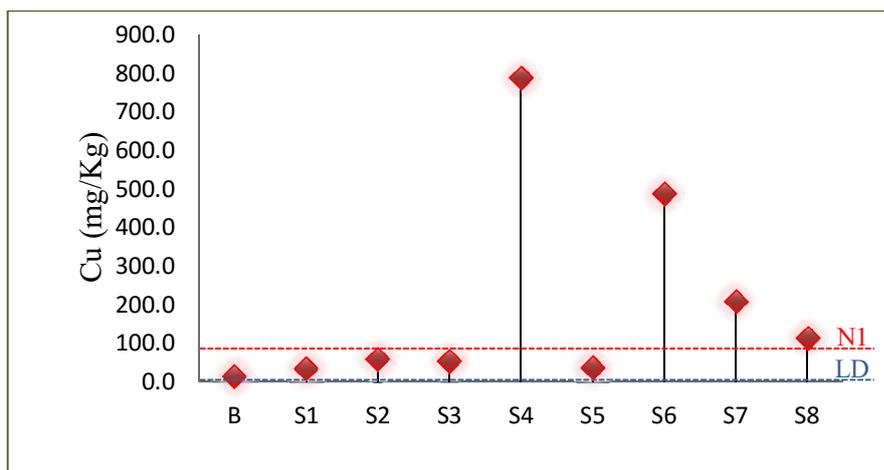


Figure 27: Résultats d'analyse du Cuivre au niveau des sédiments.

- Nickel (Ni) : les variations des teneurs en Ni sont aussi marquées par une concentration maximale et minimale de l'ordre de 23.2 (S1) 36.9 (S7) mg/Kg. Cependant les teneurs en Ni enregistrées au niveau de toutes les stations n'atteignent pas la limite définie par les normes françaises de qualité des sédiments ;

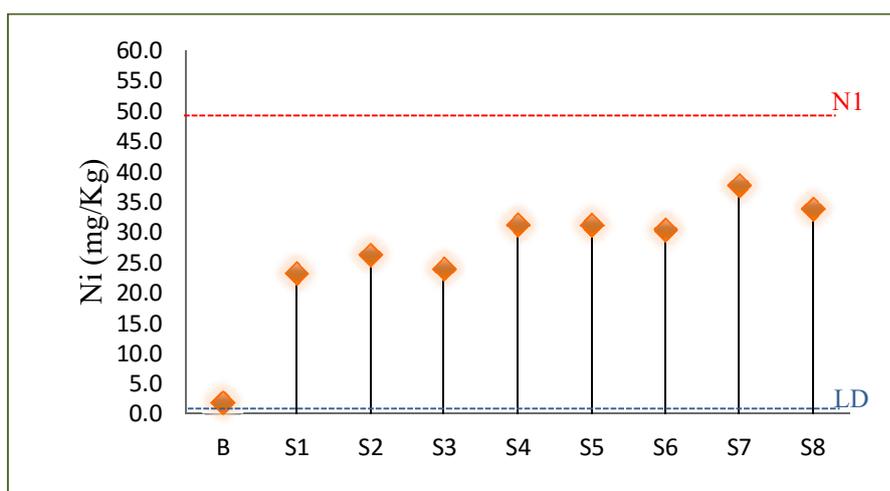


Figure 28: Résultats d'analyse du Nickel au niveau des sédiments.

- Plomb (Pb) : comme le Cu le Pb représente des valeurs minimales et maximales de 2 (S1) à 781.3 (S4) mg/Kg et dont les teneurs dans la majorité des stations n'ont pas dépassés la limite maximale définie par les normes françaises de la qualité des sédiments à l'exception de (S4° et (S6) qui l'ont dépassés;

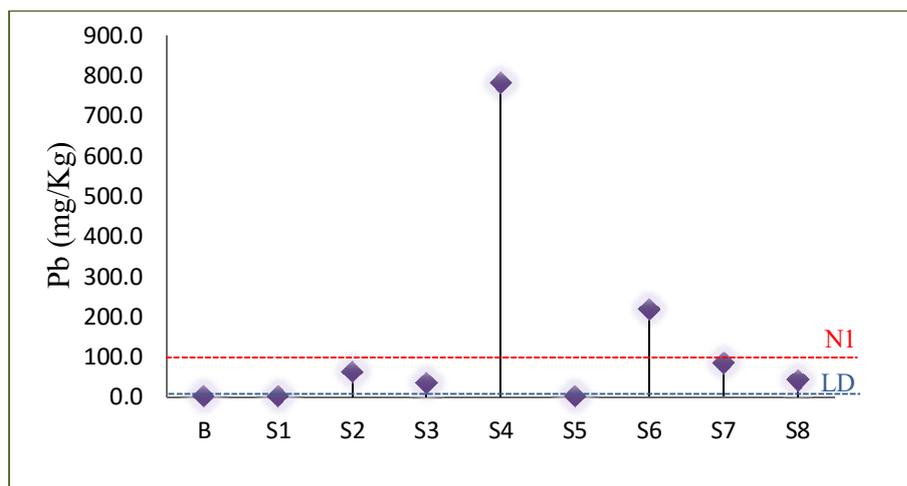


Figure 29: Résultats d'analyse du Plomb au niveau des sédiments.

- Zinc (Zn) : Les teneurs en ce métal oscillent entre 60.6 mg/Kg (S1) et 553.7 mg/Kg (S6). dont certaines teneurs ont dépassés la limite maximale définie par les normes françaises de la qualité des sédiments ;

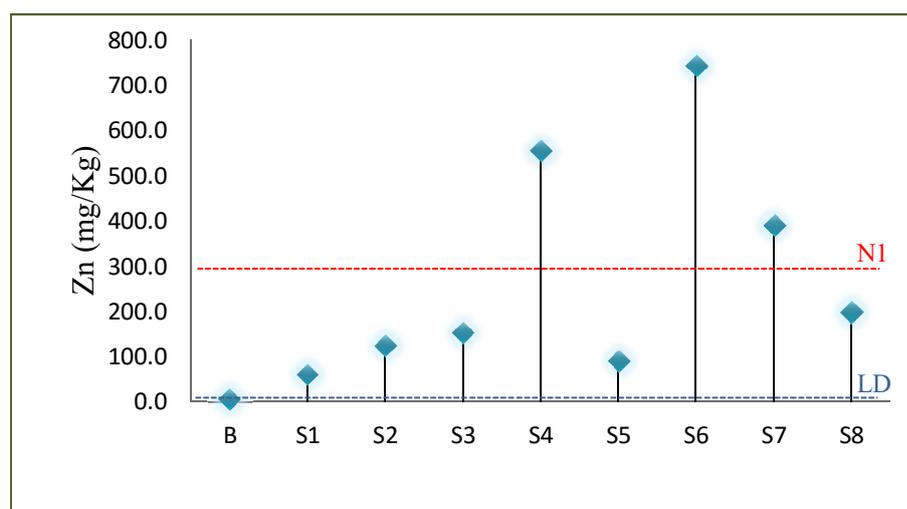


Figure 30: Résultats d'analyse du Zinc au niveau des sédiments.

2.2.1.2- Analyse de la mobilité des ETM:

Dans notre analyse, on remarque que pour tout les ETM étudiés on a une diminution presque totale de leur concentration après l'application de l'EDTA, ce qui nous laisse penser à ce que tous les éléments étudiés disposent d'une forme difficilement mobilisable.

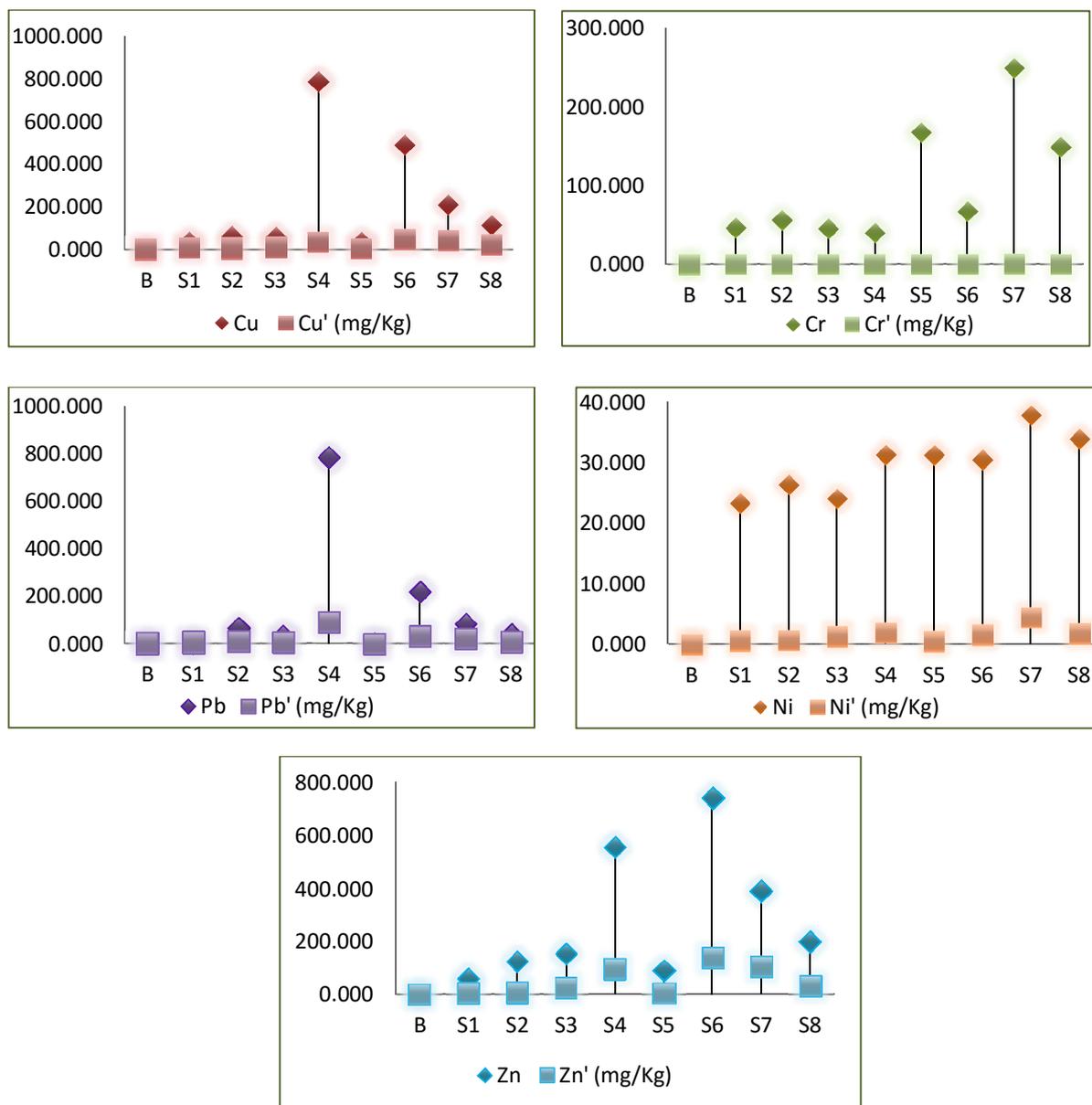


Figure 31: Résultats d'analyse de la mobilité des ETM au niveau des sédiments.

2.2.1.3- Détermination de composés organostanniques :

Le suivie spatio-temporelle des butylétains au niveau des stations a démontré que les concentrations les plus importantes en butylétains étaient mesurées au cours de la campagne de mars 2012. Le TBT et le DBT étaient mesurés au niveau de l'Oued Boufekrane, l'Oued Fès confluence, Sortie de la médina (Pont Bentatou), et Sebou, seulement au cours de la campagne de Mars 2012, et présentent des concentrations quasiment nulles, dans tous les autres sites au cours des 192 campagnes de décembre 2012 et de janvier 2013.

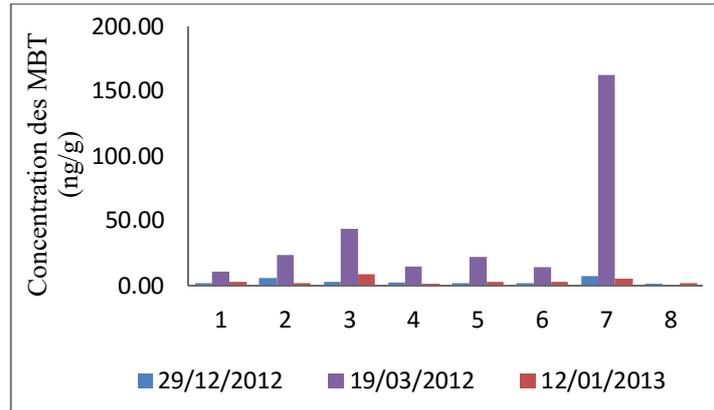


Figure 32: Résultats d'analyse des MBT au niveau des sédiments.

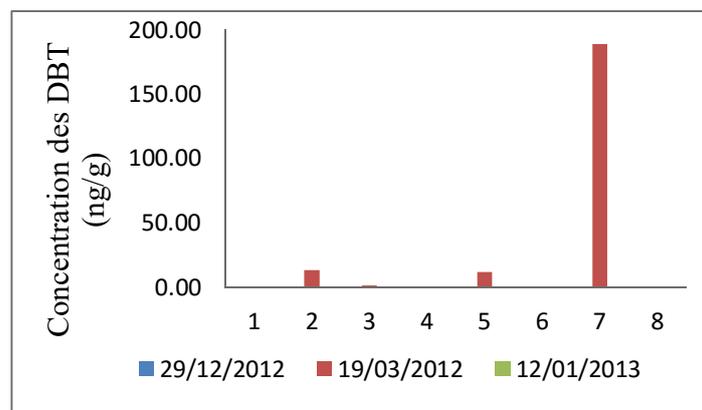


Figure 33: Résultats d'analyse des DBT au niveau des sédiments.

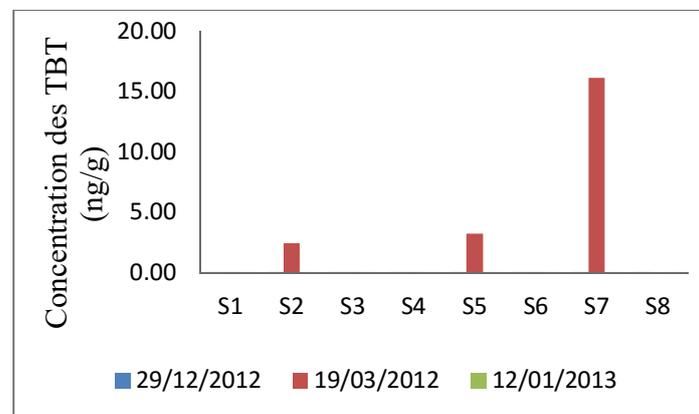


Figure 34: Résultats d'analyse des TBT au niveau des sédiments.

2.3- Analyse minéralogique:

2.3.1- Lames orientées :

2.3.1.1- Lames normales :

La minéralogie des argiles s'effectue sur des lames d'argiles orientées et est déterminé par un faisceau monochromatique (anticathode Cu $K\alpha$; $\lambda = 1.54060 \text{ \AA}$) envoyé sur les plaques comportant les lames d'argiles avec un balayage de 4.0054° à 29.9814° , par pas de $0,017^\circ$ d'une durée de 59.6900s. Les raies diffractées correspondent aux distances inter-réticulaires caractéristiques des différents minéraux présents.

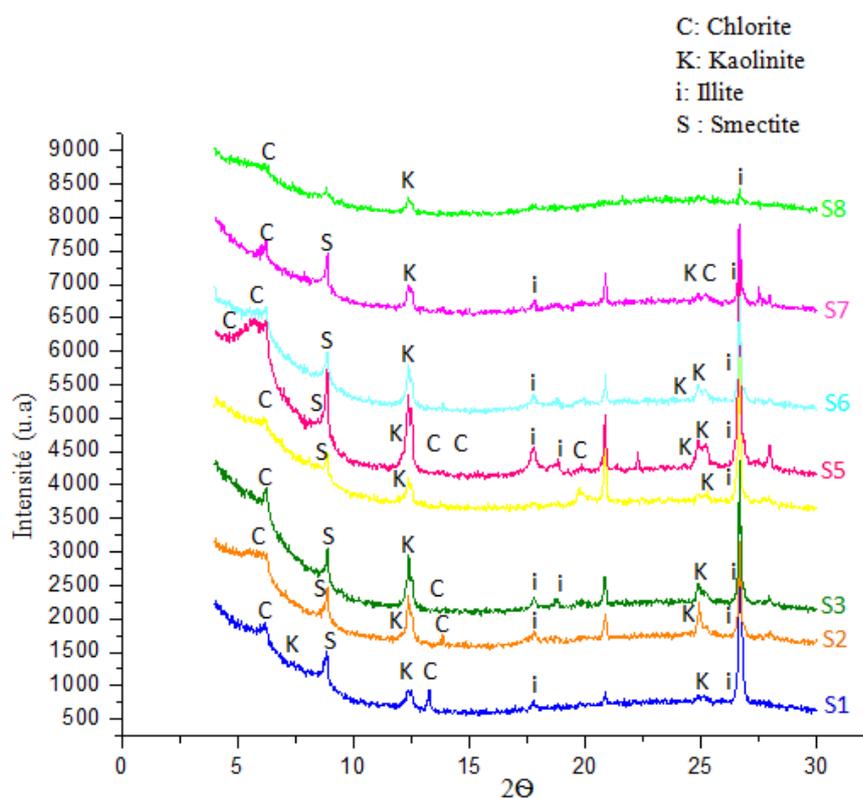


Figure 35: Graphe regroupant les résultats d'analyse des lames d'argiles normales.

A partir du graphe, on constate qu'on est en présence de différents groupes de minéraux argileux à savoir : la Kaolinite, l'Illite, la Smectite et la Chlorite, avec des abondances distinctes pour chaque groupe. En effet, l'Illite représente le groupement argileux le plus abondant dans toutes les stations, suivie par la Kaolinite, la Chlorite et la Smectite.

2.3.1.2- Lames chauffées :

La minéralogie des argiles s'effectue sur des lames d'argiles orientées est déterminé par un faisceau monochromatique (anticathode Cu $K\alpha$; $\lambda = 1.54060 \text{ \AA}$) envoyé sur les plaques comportant les lames d'argiles avec un balayage de 4.0054° à 29.9814° , par pas de $0,017^\circ$ d'une durée de 69.8500s. Les raies diffractées correspondent aux distances inter-réticulaires caractéristiques des différents minéraux présents.

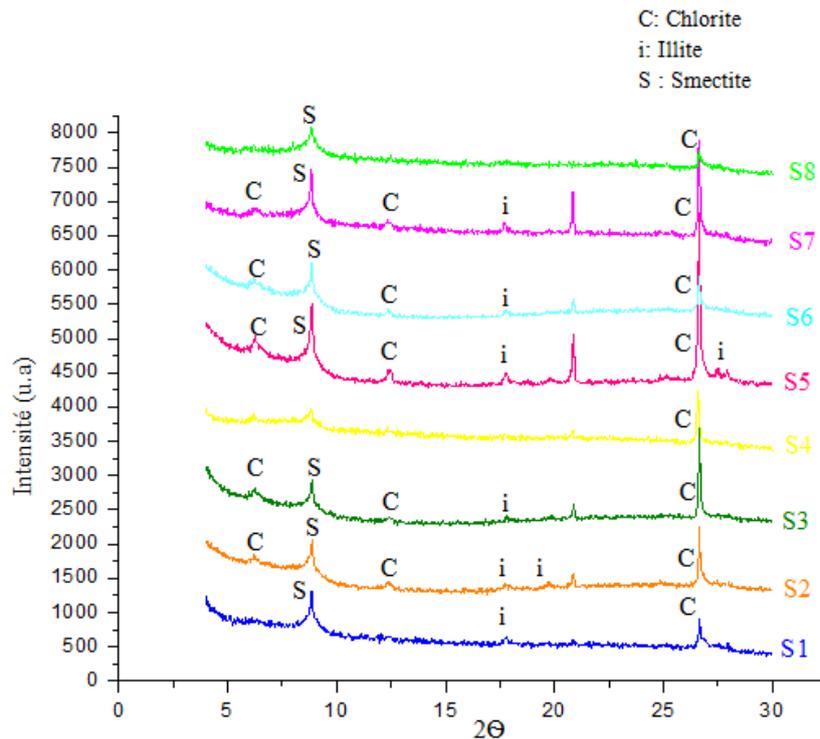


Figure 36: Graphe regroupant les résultats d'analyse des lames d'argiles chauffées.

Le chauffage des lames à pour intérêt de détruire la Kaolinite au niveau des fractions étudiés, et c'est d'ailleurs ce qu'illustre le graphe en question, et que si on le compare au graphe précédent on remarquera la disparition de la Kaolinite au niveau de toutes les stations. Cependant, l'abondance de l'Illite au niveau des lames normales sera remplacée cette fois-ci par la Chlorite, la Smectite puis l'Illite avec des disparitions de l'Illite en certaines stations à savoir (S4) et (S8).

2.3.1.3- Lames à Ethylène- Glycol :

(Attente des résultats au près du CURI)

2.3.2- Lames désorientées :

La minéralogie de la roche totale s'effectue sur des poudres non orientées est déterminé par un faisceau monochromatique (anticathode Cu $K\alpha$; $\lambda = 1.54060 \text{ \AA}$) envoyé sur les plaques comportant les échantillons avec un balayage de 5 à 30° , par pas de $0,017^\circ$ d'une durée de 34.9250s . Les raies diffractées correspondent aux distances inter-réticulaires caractéristiques des différents minéraux présents et nous ont permis d'identifier le cortège minéralogique suivant:

- Le Quartz se caractérise par 2 pics, le premier se situe à 4.25766\AA tandis que le deuxième se situe à 3.34414 \AA ;
- Le pic détecté à 3.85235 \AA , ainsi qu'à 3.03295 \AA correspond à la Calcite ;
- La dolomite quant à elle, elle est caractérisée par 2 pics qui sont bien 4.04707 et 2.90044 \AA .

Cependant dans l'ensemble on constate une abondance de la Calcite sur les Quartz et la Dolomite au niveau de toutes les stations.

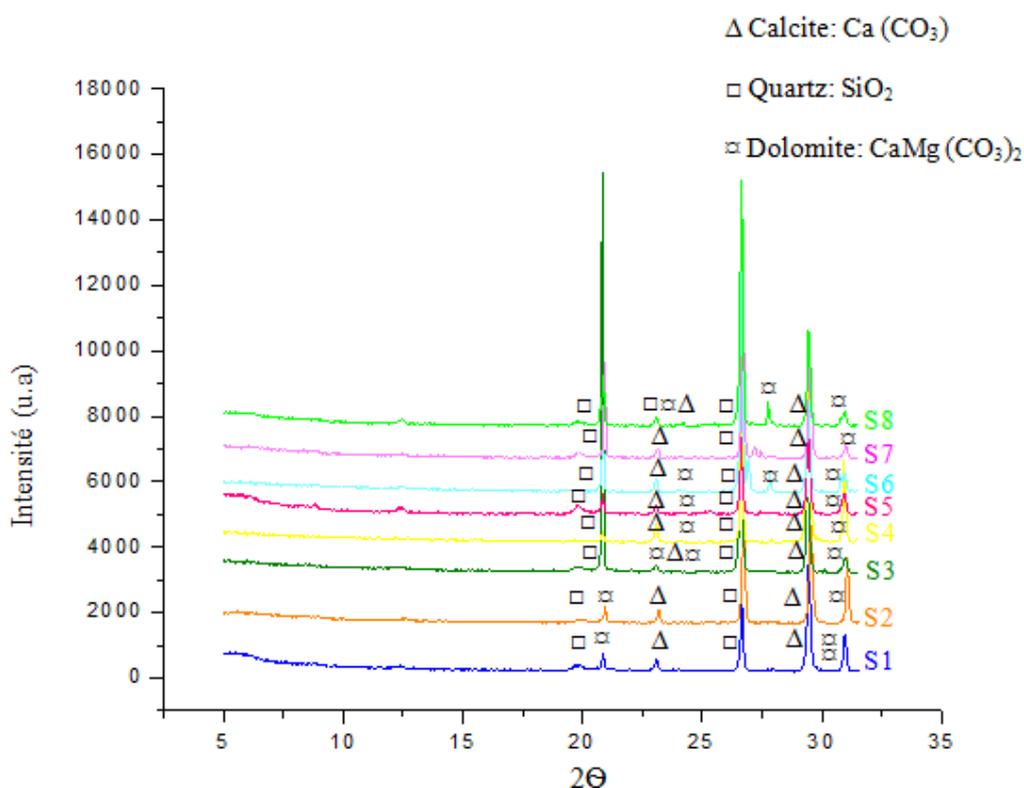


Figure 37: Graphe regroupant les résultats d'analyse des lames désorientées.

3- Analyse de la qualité des végétaux:

Les teneurs naturelles de métaux dans les sols et les eaux de surfaces et leur potentiel de risques pour l'environnement définissent la portée de leur analyse au niveau des végétaux, et nous ont permis de voir le devenir de ces métaux vis-à-vis des plantes qui en sont exposées :

- **Le Cadmium:** les teneurs en Cd représente des valeurs inférieures à la limite de détection dans toutes les composantes des fèves, ce qui rend leur teneur bien loin du seuil toléré par les normes françaises de la qualité des sols.

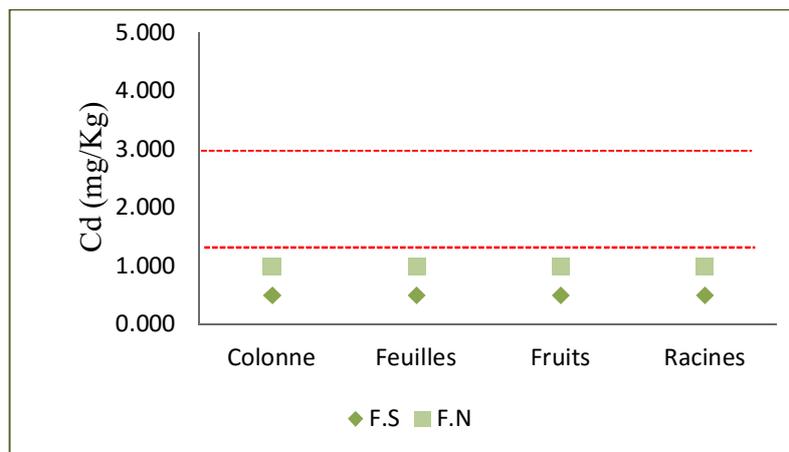


Figure 38: Résultats d'analyse du Cd au niveau des fèves.

- **Le Zinc:** les teneurs en Zn oscillent entre 29.438 au niveau des racines et 38.656 au niveau des fruits pour les fèves irriguées par Sebou, tandis que celles irriguées par la nappe représentent des concentrations allant de 55.194 à 15.99 mg/Kg. pour les deux familles de fèves leurs teneurs sont inférieures au seuil toléré par les normes françaises de la qualité des sols.

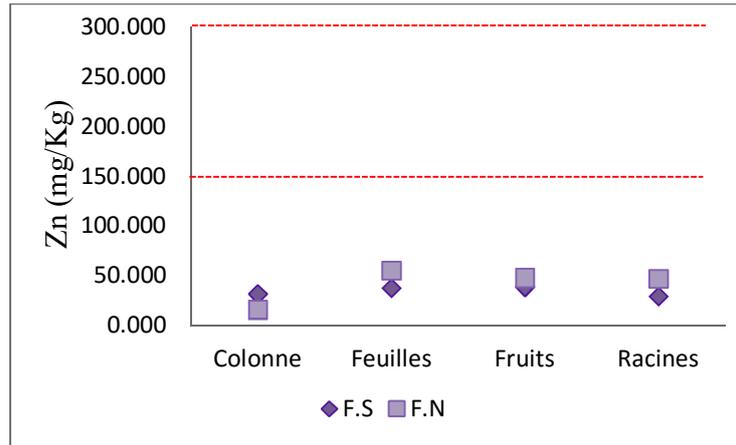


Figure 39: Résultats d'analyse du Zn au niveau des fèves.

- Le plomb: comme pour le Cd et le Zn les teneurs en Pb représente des valeurs inférieures à la limite de détection, ce qui rend leur teneur bien loin du seuil toléré par les normes françaises de la qualité des sols, que ce soit pour les fèves irriguées par Sebou ou la nappe, leurs concentrations sont identiques.

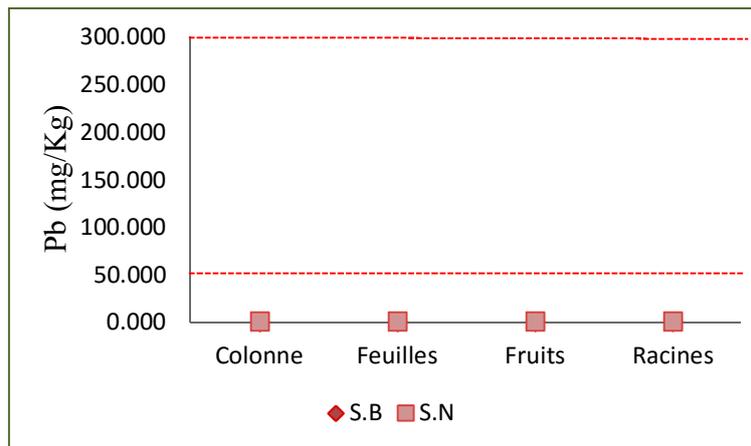


Figure 40: Résultats d'analyse du Pb au niveau des fèves.

Cependant, pour le Platine et le Palladium, l'analyse de leurs teneurs au niveau des plantes n'ont pas franchis le seuil de leur détection par l'ICP-AES, et c'est d'ailleurs la raison pour laquelle nous n'avons pas illustré les résultats de leur analyse.

Chapitre 4 : Discussion des résultats.

Les paramètres physico-chimiques mesurés des eaux d'Oued Fès et Sebou à savoir la température, le pH et l'oxygène dissous montrent des valeurs qui sont dans l'ensemble dans la norme de la bonne qualité ce qui nous renseigne sur l'existence d'un milieu favorable au développement des micro-organismes vivants et ceci par la présence d'une température supérieure à 20°C, ainsi que des pH compris entre 5 et 9 favorables au bon développement de la faune et de la flore (Blinda, 2007). Toutefois, les résultats d'analyse des taux d'oxygène dissous des eaux de Oued Fès et Sebou ont montré que toutes les stations étudiées et à l'exception de (S2) et (S3) « effluents urbains de Oued Fès » montrent des valeurs d'oxygène dissous conformes à la norme, mais les deux faibles teneurs en oxygène au niveau des deux stations (0.15 et 0.16 mg/L) peuvent résulter des déversements directs des eaux des égouts sans traitement au niveau de leur source.

En outre, nous avons remarqué que pour la conductivité électrique on a une augmentation de celle-ci en fonction de la température, et cela peut s'expliquer par l'élévation de la concentration des sels dans l'eau (Bontoux, 1993).

Concernant la matière en suspension, notre étude montre que la composition des MES de Oued Fès et Sebou est de type organique et inorganique avec une prédominance nette de la phase organique principalement pour les stations (S2) et (S3) « effluents urbains de Oued Fès », où la concentration en matières organiques augmente avec l'augmentation de la matière en suspension. Néanmoins, ces teneurs en MES sont comprises entre 2.93 mg/L et 414 mg/L et de ce fait répondent dans l'ensemble à la norme requise.

Les résultats d'analyse des éléments nutritifs (azote et phosphore) nous ont permis de classer les eaux d'Oued Fès et Sebou dans la classe des eaux de bonne qualité, assurant ainsi la disponibilité des éléments nutritifs en des quantités assimilables et tolérables sans nuire au développement des organismes qui se ravitaillent par ces eaux.

Concernant les sédiments d'Oued Fès et Sebou, les analyses effectuées montrent qu'on est au niveau d'un sédiment issu d'un environnement carbonaté qui explique l'alcalinité du milieu. En effet, Les pH varient entre 7.517 et 7.947 et sont considérés comme la variable majeure influençant le comportement des ETM dans les systèmes aquatiques (Warren et Haack, 2001).

Cependant, les taux de matière organique présentent des valeurs allant de 0.7427% à 16.8067% qui peuvent résulter des conditions d'oxygénation, où la matière organique est consommée par des organismes benthiques ainsi que par la microflore aérobie puis anaérobie, et ceci est témoigné par les résultats d'analyse du site (S3) qui représente le site où on a le taux le plus élevé en matière organique avec le taux le plus bas en oxygène dissous.

L'analyse granulométrique a montré qu'on est en présence des sédiments qui présentent des textures différentes d'un site à l'autre, allant de texture argileuse (S1) et (S3), à silteuse (S7) et (S8) à franchement sableuse pour les autres (S2), (S4) et (S6). Cette variété texturale correspond à la diversité d'apports alluviaux dont ces sédiments découlent.

L'analyse minéralogique par DRX de poudres et de lames orientées des sédiments de tous les sites étudiés a montré une abondance des silicates principalement du quartz et des argiles et des carbonates principalement de nature calcaire. Pour la fraction argileuse, elle est dominée par 4 minéraux argileux qui sont bien : la Smectite, la Kaolinite, l'Illite et la Chlorite.

Concernant l'analyse géochimique des sédiments de l'oued Fès et Sebou, une contamination en Cr, Cu, Pb et Zn, a été détectée avec des teneurs dépassant le seuil de qualité N1 comparé aux normes de qualité des sédiments français dans certaines stations, notamment la station (S4) qui montre des valeurs les plus importantes ce qui suggèrent que les ETM dans les sédiments de Oued Fès et Sebou proviennent essentiellement des activités anthropiques. Plus encore, des corrélations positives et significatives sont observées entre Cu, Pb et Zn indiquant que ces éléments proviennent des mêmes activités et sont probablement régis par les mêmes processus physico-chimique durant leur transport. En effet, la mobilité des ETM dans les sédiments est très influencée par leur composition en constituants inorganique et organique. Les principales phases porteuses des ETM sont la matière organique et les argiles disposant des propriétés de surface et de charge qui leur confèrent des capacités d'adsorption importantes. La présence de la M.O. et les argiles principalement smectitiques en quantités non négligeables dans nos sédiments favoriserait le piégeage des ETM anthropiques au sein de ces derniers. Néanmoins ce fait largement établi n'a pas été confirmé par les analyses géochimiques des teneurs en ETM des sédiments attaqués par EDTA, réactif qui libère exclusivement les ETM les plus mobilisables, en effet pour les sédiments d'Oued Fès et Oued Sebou étudiés, les teneurs en ETM mobilisables sont très négligeables.

Cependant, notre étude géochimique nous permet de conclure que les niveaux élevés en ETM des sédiments étudiés, marquent la signature de rejets récents en provenance de la ville de Fès, dont

les tanneries, et les dinanderies forment les principales activités générant des rejets chargés en alliages. Il faut ajouter que la présence de décharges sauvages sur divers tronçons de l'oued Fès (S2) où les déchets domestiques, de construction, d'abattoir et divers déchets d'artisanat, peuvent constituer une source non négligeable de métaux.

En plus des ETM on trouve également des teneurs très faibles de butylétains totaux (Σ BT) (communication personnelle, Aboubakr, 2016). Où dans toute la zone étudiée, les profils des butylétains indiquent clairement une dominance du MBT par rapport aux autres espèces. La prédominance du MBT pourrait être liée aux activités anthropiques où le MBT sert d'additif dans de nombreux produits industriels, agricoles et domestiques (Fent et Muller 1991 ; Takahashi et Mukai et al., 1999 ; Hoch 2001; Diez et al., 2002). Comme il pourrait aussi provenir de la dégradation (photochimique ou biologique) du TBT en DBT puis MBT et en étain inorganique.

Concernant l'analyse géochimique des plantes, le Cd, Zn et Pb montrent dans toutes les parties de la plante des teneurs non négligeables (mais inférieures à la limite maximale de tolérance) que ces plantes soient irriguées par Oued Sebou ou par la nappe.

Néanmoins on pourrait conclure que dans l'ensemble les résultats obtenus au cours de l'étude de la qualité des eaux d'O Fès et d'O Sebou témoignent d'une absence de pollution avérée. En effet, et selon la classification Marocaine des eaux de surfaces, les résultats de nos analyses montrent que les eaux des oueds Fès et Sebou étudiées présentent des signes d'équilibre remarquable, puisque la majorité des paramètres étudiés ne dépassent pas les normes préconisées par les normes Marocaines.

Conclusion:

Ce travail qui a pour objectif principal d'évaluer l'impact de la mise en service de la STEP de Fès sur l'amélioration des paramètres physico-chimiques de qualité des eaux et des sédiments d'Oued Fès et Oued Sebou en aval de la ville de Fès ; nous a permis de dégager d'importants constats qu'on peut résumer comme suit :

L'analyse des paramètres physico-chimiques des eaux à savoir, la température, le pH, la CE et l'oxygène dissous nous a révélée la présence d'un milieu favorable pour le développement de la faune et la flore, cependant ce développement sera incomplet sans la présence d'éléments nutritifs qui assure la continuité de leur vie. Or, l'analyse de ces éléments nutritifs (azote et le phosphore) dans les eaux d'Oueds Fès et Sebou s'est avérée aussi positif et dans les normes de bonne qualité.

L'analyse des paramètres physico-chimiques des sédiments à savoir le pH, CE, M.O., taux de calcaire, a montré qu'on est au niveau d'un milieu fortement alcalin dont les sédiments sont de nature silicaté argileuse et carbonatée avec une texture à granulométrie variable (argileuse, silteuse et sableuse).

L'analyse géochimique des sédiments a montré qu'on est en présence des teneurs supérieures aux normes tolérables en ETM, et qui entre elles présentent des corrélations positives et significatives indiquant ainsi l'existence d'une même source d'origine principalement anthropique et leur confère leur caractère difficilement mobilisable. A ces ETM s'ajoutent les butylétains dont les résultats ont montré de faibles concentrations en éléments organostanniques au niveau de ces eaux.

Et finalement des analyses des ETM au niveau des végétaux (fèves irriguées par les eaux du Sebou) on était entreprises dans l'intérêt de vérifier leur assimilation des métaux biodisponibles dans les eaux. Or, les différents ETM analysés au niveau des composantes des fèves (aériennes et racinaires) ont présentés des teneurs inférieures aux normes tolérables, que ce soit pour celles irriguées par les eaux de Oued Sebou ou celles irriguées par l'eau de la nappe.

En conclusion, notre étude nous a permis de nous renseigner sur l'aspect qualitatif des eaux des Oueds Fès et Sebou après la mise en place de la STEP, et qui montre que ces eaux de surface

ETUDE PHYSICO-CHIMIQUE ET GEOCHIMIQUE DES EAUX ET SEDIMENTS DE OUED FES ET SEBOU

représentent des eaux de bonne qualité selon la grille marocaine des normes de qualité des eaux de surface, que jadis les plaçaient dans la classe des eaux de mauvaise à très mauvaise qualité. Néanmoins, cette étude nous a permis par contre de constater la présence dans les sédiments de ces deux oueds de teneurs non négligeables en métaux lourds peut constituer un danger pour les écosystèmes aquatiques d'Oued Fès et oued Sebou puisqu'il constitue un milieu de piégeage et relargage de ces métaux toxiques dans leur environnement ambiant. De plus, les résultats obtenus lors de cette étude nous renseignent sur l'état de ces composantes lors d'une seule campagne d'échantillonnage (27 Mars 2016), et donc il reste à savoir si ces composantes gardent leur aspect qualitatif durant toute l'année ou juste durant cette période.

Liste des normes :

Les normes de spécification :

- NF EN ISO 9963 - Qualité de l'eau - Détermination de l'alcalinité ;
- NF ISO 11-164 - Qualité des sols- sols, sédiment - préparation d'un échantillon ;
- NF ISO 14 869-1 - Qualité des végétaux – Détermination des ETM par attaque triacide ;

Les normes d'analyses et essais:

- NF X 31-101 - Qualité des sols- sols, sédiment - préparation d'un échantillon ;
- NF X 31-102 - Qualité des sols- sols, sédiment - Détermination de la teneur pondérale en matière sèche et en eau ;
- NF X 31-103 - Qualité des sols- sols, sédiment - Détermination du pH ;
- NF X 31-113 - Qualité des sols- sols, sédiment - Détermination de la conductivité électrique ;
- NF P 94-056 - Qualité des sols- sols, sédiment - Analyse granulométrique des sols ;
- NF P 94-057 -Qualité des sols- sols, sédiment - Analyse granulométrique des sols ;
- NF X 31-147 -Qualité des sols- sols, sédiment - Mise en solution totale par attaque acide ;

- NF X 31-120 -Qualité des sols- sols, sédiment - Extraction par l'acétate d'ammonium en présence d'EDTA
- NF T 90-008 - Qualité de l'eau - Détermination du pH ;
- NF EN 27888 - Qualité de l'eau - Détermination de la conductivité électrique ;
- NF EN 872 - Qualité de l'eau - Dosage des matières en suspension - Méthode par filtration sur filtre en fibres de verre ;

Les normes Marocaines :

La grille de qualité des eaux de surface définit par : Arrêté conjoint du Ministre de l'Equipement et du Ministre chargé de l'Aménagement du Territoire, de l'Urbanisme, de l'Habitat et de l'Environnement n°1275-01 du 10 Chaabane 1423 (17 Octobre 2002).

Les normes Françaises :

La grille de qualité des sédiments relative à : Arrêté du 9 août 2006 relatif aux niveaux à prendre en compte lors d'une analyse de rejets dans les eaux de surface ou de sédiments marins, estuariens ou extraits de cours d'eau ou canaux.

Bibliographie:

AHARIK, Kamal. Elaboration d'un système intégré pour la gestion des ressources en eau (SIGRE) dans le bassin de Saïss. Discipline de Géologie. FST Fès.2011. N° de page : 129 ;

AHMAMOU, M. Etude sédimentologique des calcaires lacustres saïssiens (Plio-Quaternaire) du bassin de Fès-Meknès (MAROC). Thèse 3^{ème} cycle, Aix Marseille III. 1987. 178p.

AMRAOUI, Contribution à la connaissance des aquifères karstiques du liais de la plaine du Saïss et du Causse moyen Atlasique Tabulaire (Maroc). 2005. N° de page : 249p ;

AÏT IBRAHIM, L. et Chotin, p., Mise en évidence d'un changement de direction de compression dans l'avant pays rifain au cours du tertiaire et de quaternaire. Bull. Sec. Géol. France, (7), t. 26, 1984. N°4 pp.681-691 ;

BARGACH,K. Les déformations plio-quaternaires dans la partie frontale de la chaîne du Rif (Rides pré-rifaines, et bassin du Saïss) un exemple de la tectonique en coins expulsés, Discipline : Géologie. Spécialité : Géologie structurale, UNIVERSITÉ MOHAMMED V – AGDAL Faculté Des Sciences Rabat Soutenue le 8 janvier 2011. N° de page : 229 ;

BLINDA M. 2007. Pollution tellurique du littoral nord-ouest du Maroc entre Tanger et Tétouan: Caractérisation, Impact sur l'Environnement et Proposition de Solutions. Thèse de doctorat. Université Mohammed V-Agdal, Faculté des Sciences Rabat, 44 p.

BLOUNDI, M K. Etude géochimique de la lagune de Nador (Maroc oriental): Impacts des facteurs anthropiques. Thèse de doctorat Sciences de la Terre et de l'Univers. Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre Centre de Géochimie de la Surface (UMR 7517) Et Université Mohamed V- Agdal Faculté des Sciences de Rabat UFR 'Océanologie -Géodynamique et Valorisation des Bassins sédimentaires. Soutenue le 16 décembre 2005. N° de pages : 23, 33, 51, 64 ;

BONTOUX J. Introduction à l'étude des eaux douces, eaux naturelles eaux usées, eaux de boisson. Cebedoc éd. Liège. (1993). N° de page : 169 ;

ETUDE PHYSICO-CHIMIQUE ET GEOCHIMIQUE DES EAUX ET SEDIMENTS DE OUED FES ET SEBOU

CCME (Conseil canadien des ministres de l'environnement) 1991. Annexe IX-Protocole d'élaboration des recommandations pour la qualité des eaux en vue de protéger la vie aquatique (avril 1991). Préparé par le Groupe de travail sur les recommandations relatives à la qualité des eaux. Winnipeg.

CHAHINIAN .N , PERRIN .JL , LOMBARD-LATUNE .R , BELLARBI .M, RAIS .N, LAHRACHE A, BENAABIDATE L, IJJALI M. Hydrology and water quality of a semi-arid intermittent river: Oued Fez (Morocco);

EL AROUSSI, O. Etude de l'érosion et de la déposition des sols à l'échelle du bassin versant de l'Oued El Malleh (Fès-Maroc) par l'utilisation conjointe de la télédétection, du SIG et des techniques de mesures sur le terrain. Discipline de Géologie FST Fès.2014. N°de page 140 ;

DAUGUET, S. et al. Mesure des flux d'éléments traces (Pb, Cd, As, Cu, Zn) dans les sols, végétaux, porcs et lisiers des exploitations porcines du Sud-Ouest. N° de page : 179 ;

DERWICH, E. BENZIANE, Z. & BENAABIDATE, L. (2010). Diagnostic of physicochemical and bacteriological quality of fez wastewaters rejected in Sebou River: Morocco. Environmental Earth Sciences, 63(4), 839–846. doi:10.1007/s12665-010-0754-5;

DIEZ, S., ABALOS,M., BAYONA, J.,2002. Organic contamination in sediments from the Western Mediterranean enclosures following 10 years of TBT regulation. Water Research 36, 905–918;

DOMINIK, J. VIGNATI, D. a. L., KOUKAL, et al. (2007). Speciation and Environmental Fate of Chromium in Rivers Contaminated with Tannery Effluents. Engineering in Life Sciences, 7(2), 155–169. doi:10.1002/elsc.200620182;

ESSAHLAOUI, A. 2000. Contribution à la reconnaissance des formations aquifères dans le Bassin de Meknès-Fès (Maroc), Prospection géoélectrique, étude hydrogéologique et inventaire des ressources en eau. Thèse 258p. Université Mohammed VI, Rabat, Maroc.

FEKHAOUI, M., 1996. Les aspects comportementaux de la toxicité aiguë du chrome chez la truite arc-en-ciel (*Salmo gairdneri* R.). Bulletin de l'Institut Scientifique20,151-1540.

FENT, K., MULLER, M.D., 1991. Occurrence of organotins in municipal waste-water and sewage-sludge and behavior in a treatment-plant. Environmental Science and Technology 25, 489-493.

HARMOUZI, O. Reconnaissance détaillée de la partie nord-est du Bassin de Saïs (MAROC): interprétation de sondages électriques verticaux par combinaison des méthodes statistique, géostatistique et d'inversion. Spécialité : Géosciences de l'environnement. L'université Moulay Ismail UFR : Géologie de surface et Environnement et l'Université Bordeaux1 : Ecole Doctorale des Sciences de l'Environnement. Soutenue le 26 mai 2010. N° de Pages : 9, 16, 17, 21,22, 23, 323 ;

HAYZOUN, H. Caractérisation et quantification de la charge polluante anthropique et industrielle dans le bassin du Sebou. Thèse de doctorat. École Doctorale : Mer Et Sciences- Toulon (France) et Centre d'études Doctorales « Sciences Et Technologie » - Fès (Maroc), Spécialité : Chimie de l'environnement. Soutenue le 18 Septembre 2014. N°de pages : 26 à 56 ;

HAYZOUN, H., GARNIER, C., DURRIEU, G., et al (2014). Impact of rapid urbanisation and industrialisation on river sediment metal contamination. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(5), 2851–65. doi:10.1007/s10661-013-3585-5;

HOCH, M., 2001. Organotin compounds in the environment: an overview. *Applied Geochemistry* 16, 719-743.

KHAMAR, M., BOUYA, D. & RONNEAU, C. (2000) Pollution métallique et organique des eaux et des sédiments d'un cours d'eau marocain par les rejets liquides urbains. *Water Qual. Res. J. Canada* 35(1), 147–161.

KOUKAL, B. DOMINIK, J. VIGNATI, D. ARPAGAUS, P. SANTIAGO, S. OUDDANE, B. & BENAABIDATE, L. (2004). Assessment of water quality and toxicity of polluted Rivers Fez and Sebou in the region of Fez (Morocco). *Environmental Pollution (Barking, Essex : 1987)*, 131(1), 163–72. doi:10.1016/j.envpol.2004.01.014;

KRIBI, S. Décomposition des matières organiques et stabilisation des métaux lourds dans les sédiments de dragage. Thèse de doctorat. École doctorale : Chimie Lyon (Chimie, Procédé, Environnement) Spécialité : Science et Technique du Déchet. Soutenue le 23 septembre 2005. N° de pages : de 74 à 77 ;

LEMGHICH, I., & BENAJIBA, M. H. (2007). Survey of imposex in prosobranchs mollusks along the northern Mediterranean coast of Morocco. *Ecological Indicators*, 7(2), 209–214. doi:10.1016/j.ecolind.2005.09.007;

ETUDE PHYSICO-CHIMIQUE ET GEOCHIMIQUE DES EAUX ET SEDIMENTS DE OUED FES ET SEBOU

MALKI M, MARIN I, ESSAHALE A, AMILS R, MOUMNI M., 2008. Physico-chemical parameters and bacterial diversity in the Moroccan's Sebou River. *Journal of the Science of Foud and Agriculture* 6, 172-176 ;

MOUNI, L., MERABET, D., ARKOUB, H., MOUSSACE, K. Étude et caractérisation physicochimique des eaux de l'oued Soummam (Algérie). 2009. *Revue Sécheresse* N° des pages :360-366 ;

PERRIN, J. L., RAÏS, N., CHAHINIAN, N., MOULIN, P., & IJJAALI, M. (2014). Water quality assessment of highly polluted rivers in a semi-arid Mediterranean zone Oued Fez and Sebou River (Morocco). *Journal of Hydrology*, 510, 26–34. doi:10.1016/j.jhydrol.2013.12.002 ;

TAKAHASHI, S., MUKAI, S., TANABE, S., SAKAYAMA, K., MIYAZAKI, T., MASUNO, H., 1999. Butyltin residues in livers of human and wild terrestrial mammals and in plastic products. *Environmental Pollution* 106, 213-218 ;

THIRY, M. CARRILLO, N. FRANKE, C. MARTINEAU, N. Technique de préparation des minéraux argileux en vue de l'analyse par diffraction des Rayons X et introduction a l'interprétation des diagrammes. N° des pages : de 2 à 31 ;

TOUHTOUH, D. MOUJAHID, Y. EL FALEH, E.M. EL Halimi, R. Caractérisations physicochimiques de trois types de sols du Sais, Maroc (Physicochemical characterizations of three types of soils of Sais, Morocco. N° de Page : 11 ;

WARREN, L.A., HAACK, E.A., 2001. Biogeochemical controls on metal behaviour in freshwater environments. *Earth Science Reviews* 54, 261-320.

Webographie :

BULLETIN OFFICIEL n° 5062, (2002). Arrêté ministériel du Royaume du Maroc définissant la grille de qualité des eaux de surface. Disponible sur : <http://www.water.gov.ma/wp-content/uploads/2016/03/2015-12-01-recueil-textes-juridiques-MDCEau-vf-1.pdf>

CHALOUAN, A, AHMAMOU, M, BARGACH, K, BOUMIR, K et GOURARI, L. Les formations Lacustres-palustres Plio-quatenaire du bassin de Saïs : sédimentologie, stratigraphie et

tectonique récente .disponible sur :

http://fundacion.usal.es/rcans/index.php?option=com_content&view=article&id=19:les-formations-lacustres-palustres-plio-quetnaires-&catid=9:post-congress-excursion&Itemid=21

DES ECHOS DU TERRAIN REPOSEE EQUILIBREE AUX BESOINS EN EAU DANS LE BASSIN DE SAIS AU MAROC, disponible sur : <http://www.idrc.ca/FR/Documents/reponse-equilibree-aux-besoins-en-eau-dans-le-bassin-du-saiss-au-maroc.pdf>

Etude du schéma régional d'aménagement du territoire de la région Fès- Boulemane, PHASE I : Diagnostic territorial stratégique, Etape 1 : Rapports sectoriels, LE MILIEU NATUREL, LES RESSOURCES ET L'ENVIRONNEMENT, Juin 2013, Disponible sur : <http://www.srat-rfb.info/documents/MILIEU%20PHYSIQUE%20RESSOURCES%20ET%20ENVIRONNEMENT.pdf?PHPSESSID=51266d699fc656719e963a5fe2bab51a>

Évaluation de la biodisponibilité des métaux dans les sédiments, disponible sur : http://www.eau-artois-picardie.fr/IMG/pdf/evaluation_de_la_biodisponibilite_des_métaux_dans_les_sédiments.pdf

FABIEN HUBERT. Modélisation des diffractogrammes de minéraux argileux en assemblages complexes dans deux sols de climat tempéré. Implications minéralogiques et pédologiques. Disponible sur : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00378892/document>

Le plus gros projet de dépollution du Maroc, disponible sur : <http://www.leconomiste.com/article/899690-le-plus-gros-projet-de-d-pollution-du-maroc>

Directive n° 86-278 du 12/06/86 relative à la protection de l'environnement et notamment des sols, lors de l'utilisation des boues d'épuration en agriculture (JOCE n° L 181 du 4 juillet 1986), disponible sur : http://www.ineris.fr/aida/consultation_document/1081