

REPUBLIC ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID – TLEMCEM



FACULTE DES SCIENCES  
DEPARTEMENT DE CHIMIE



Laboratoire de Chimie Inorganique et Environnement

# MEMOIRE

*En vue de l'obtention du*

## DIPLOME DE MASTER

*Spécialité : Chimie*

*Option : Chimie Inorganique et Environnement*

*Thème*

**Contribution à l'étude de la qualité des eaux en aval de  
oued Tafna**

**Présenté par : Melle BOUDGHENE STAMBOULI Hasna  
Melle ZERGA Nadjiba Zineb**

*Soutenue le 18 Juin 2017 devant le jury composé de :*

<b>Président</b>	Mr BENGUELLA	Belkacem	Professeur U.A. B. B. Tlemcen
<b>Examinatrice</b>	Mme GUENFOUD	Imene	Maître de conférences U.A.B.B. Tlemcen
<b>Rapporteur</b>	Mme KAID SLIMANE	Nacéra	Professeur U.A. B. B. Tlemcen

**ANNEE UNIVERSITERE 2016-2017**

## **Remerciements**

*Tout d'abord, nous tenons à remercier Allah, notre créateur pour nous avoir donné de la force, la volonté et le courage afin d'accomplir ce modeste travail.*

*Nous tenons à remercier notre encadreur, Mme KAID SLIMANE Nacéra, pour sa disponibilité, sa rigueur, ses encouragements et ses critiques ainsi que pour ses précieux conseils et pour son accompagnement le long du déroulement du master.*

*Nous exprimons nos chaleureux remerciements au professeur BENGUELLA Belkacem pour l'honneur qu'il nous a fait en président ce jury et pour son aide et ses conseils portés à l'analyse statistique, et aussi pour l'échantillonnage.*

*Nous tenons à remercier vivement Madame GHENFOUD Imane d'avoir accepté d'examiner ce mémoire et de participer à ce jury.*

*Nous remercions par la même occasion, le chauffeur, monsieur CHAHLAOUI Salah.*

*Les travaux de recherche qui font l'objet de cette étude ont été réalisés au laboratoire de Chimie Inorganique et Environnement « L.C.I.E » de l'université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, sous la direction du Professeur MOKHTARI Malika. Veuillez trouver ici, Madame, l'expression de ma reconnaissance et de mes remerciements les plus sincères. Aussi au laboratoire de Valorisation des Actions de l'Homme pour la Protection de l'Environnement et Application en Santé Publique, sous la direction de Mme ABDELLAOUI Karima.*

*Nous présentons nos remerciements à l'équipe du laboratoire de recherche « Chimie Inorganique et Environnement », et du laboratoire de « Valorisation des actions de l'homme pour la protection de l'environnement et application en santé publique » pour leurs aide, leurs soutien et leurs gentillesse.*

*Nous adressons aussi nos remerciements à nos collègues pour l'aide et le soutien qu'ils nous ont porté tout au long de ce travail.*

*Dédicaces*

*Nous dédions ce travail à nos chers parents et nous les remercions pour la confiance qu'ils nous ont toujours accordée, pour leurs encouragements et leur soutien de tous les instants. Merci pour leur entière implication et leur curiosité qu'ils nous ont également transmise.*

*Nous remercions chaleureusement tous les membres de notre famille pour leur aide inestimable et leurs encouragements inlassables pour les discussions fructueuses et les conseils qu'ils nous ont apportés tout le long de notre étude.*

*Nous n'oublierons pas de remercier vivement les enseignants qui nous ont assuré notre formation.*

*Enfin, nous remercions tous ceux qui, ont collaboré, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.*

***BOUDGHENE STAMBOULI Hasna***

***ZERGA Nadjiba Zineb***

# Sommaire

<b>INTRODUCTION GENERALE.....</b>	<b>1</b>
-----------------------------------	----------

## **Chapitre I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE**

I.1 Généralités sur l'eau.....	3
I.2 Le cycle de l'eau.....	3
I.3 Répartition de l'eau .....	4
• L'eau destinée à la consommation.....	4
• L'eau destinée à l'irrigation.....	4
• L'eau traitée.....	4
• Eau de mer.....	4
I.4 Les caractéristiques de l'eau.....	5
I.4.1 Les paramètres organoleptiques.....	5
a) La couleur.....	5
b) L'odeur et le goût .....	5
I.4.2 Les paramètres physico-chimiques .....	6
a) Température .....	6
b) pH.....	6
c) Conductivité.....	6
d) L'oxygène dissous.....	6
e) Salinité.....	7
f) Le potentiel redox.....	7
I.4.3 Les paramètres de minéralisation.....	7
a) La dureté totale.....	7
b) L'alcalinité.....	8
c) La dureté calcique.....	8
d) La dureté magnésienne.....	8
I.4.4 Les paramètres de pollution.....	8
1. Les paramètres organiques.....	8
a) Les nitrates et nitrites.....	8
b) Les chlorures.....	9
c) Les sulfates.....	9
d) La DCO.....	9

2. Les paramètres inorganiques Métaux lourds.....	9
---	---

## **Chapitre II : ZONE D'ETUDE**

II.1 Présentation de la zone d'étude.....	11
II.2 Climatologie de la région.....	12
II.3 Aperçu géologique.....	12

## **Chapitre III : MATERIELS ET METHODES**

III.1 Choix des stations de prélèvement.....	13
III.2 Prélèvement.....	13
III.3 Les mesures effectuées.....	15
III.3.1 Les paramètres organoleptiques.....	15
III.3.2 Les paramètres physicochimiques.....	15
III.4 Travail au laboratoire.....	16
III.4.1 Minéralisation.....	16
❖ La dureté totale.....	17
❖ La dureté magnésienne.....	17
❖ La dureté calcique.....	17
❖ Alcalinité.....	18
III.4.2 Les paramètres de pollution.....	18
1. Les paramètres organiques.....	18
❖ Les nitrates.....	18
❖ Les nitrites.....	19
❖ Dosage de chlorure : méthode de Mohr.....	19
❖ Les sulfates.....	19
❖ La DCO.....	20
2. Absorption atomiques.....	21
III.4.3 Analyse Factorielle des correspondances.....	23

## **Chapitre IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS**

IV.1 Paramètres physico-chimiques.....	24
IV.1.1 Température.....	24
IV.1.2 pH.....	24
IV.1.3 Conductivité.....	27
IV.1.4 Salinité.....	27

IV.1.5 Oxygène dissous.....	28
IV.1.6 Potentiel redox.....	28
IV.2 Paramètres de minéralisation.....	28
IV.2.1 Dureté totale.....	29
IV.2.2 Alcalinité.....	29
IV.2.3 Dureté calcique.....	29
IV.2.4 Dureté magnésienne.....	31
IV.3 Paramètres de pollution.....	31
IV.3.1 Paramètres organiques.....	31
4. IV.3.1.1 Nitrates.....	31
IV.3.1.2 Nitrites.....	33
IV.3.1.3 Chlorures.....	34
IV.3.1.4 Sulfates.....	34
IV.3.1.5 Demande chimique en oxygène.....	35
IV.3.2 Paramètres inorganiques - Métaux lourds.....	35
IV.3.2.1 Zinc.....	35
IV.3.2.2 Cuivre.....	36
IV.3.2.3 Plomb.....	36
IV.3.2.4 Cadmium.....	37
IV.3.2.5 Cobalt.....	37
IV.3.2.6 Chrome.....	37
IV.3.2.7 Fer.....	37
IV.3.2.8 Molybdène.....	38
IV.3.2.9 Nickel.....	38
IV.3.2.10 Manganèse.....	38
IV.4 Calcul d'indice.....	41
1.5. Analyse factoriel.....	41
IV.6 Comparaison des résultats avec la littérature.....	43
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>45</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>46</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>51</b>



## LA LISTES DES FIGURES

Figure I.1 : Cycle général de l'eau.....	3
Figure II.1 : Situation géographique du bassin de la Tafna.....	11
Figure III.1 : Les stations de prélèvement.....	13
Figure III.2 : Les cinq stations de prélèvement.....	15
Figure III.3 : MULTIPARAMETRE C5010T PORTABLE.....	16
Figure III.4: Photomètre de type Wagtech WTD (Wag-WE10441).....	17
Figure III.5 : Photomètre de type HI 83099 COD and Multiparameter Photometer.....	19
Figure III.6 : Montage du dosage des sulfates.....	20
Figure III.7: Photomètre de type VELP SCIENTIFICA (ECO 8 Thermoreactor).....	20
Figure III.8: Photomètre de type HI 83214 Multiparameter Bench.....	21
Figure III.9 : Spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme (SAAF).....	23
Figure IV.1 : Variations temporelles des paramètres physicochimiques.....	25
Figure IV.2 : Variations spatiales des paramètres physicochimiques.....	26
Figure IV.3 : Variations temporelles des paramètres de minéralisation.....	30
Figure IV.4 : Variations spatiales des paramètres de minéralisation .....	30
Figure IV.5 : Variations temporelles des paramètres de pollution organique.....	32
Figure IV.6 : Variations spatiales des paramètres de pollution organique.....	33
Figure IV.7 : Variations temporelles des teneurs métalliques.....	39
Figure IV.8 : Variations spatiales des teneurs métalliques.....	40
Figure IV.9 : Plan factoriel engendré par les deux premiers axes calculés à partir des paramètres physico chimiques, minéralisation et de pollution.....	42

## **LA LISTES DES TABLEUX**

Tableau I.1 : Principaux effets associés aux éléments listés.....	10
Tableau IV.1 : Résultats du HEI calculés.....	41
Tableau IV.2 : Comparaison des paramètres de pollution de oued Tafna avec la littérature et les normes de l’OMS (2013) et les normes marocaines (2007).....	43

# **INTRODUCTION GENERALE**

## INTRODUCTION GENERALE

L'eau est indispensable à la vie sur terre, c'est une richesse nécessaire à toutes activités humaine (le développement industriel et agricole).

L'eau à l'état naturel, superficielle, n'est jamais « pure » ; c'est un milieu vivant qui se charge très rapidement de divers éléments en contact avec des milieux qu'elles traversent.

L'agriculture est de loin, l'activité ayant la plus grande consommation d'eau, l'irrigation des régions agricoles représente 70% de l'eau utilisée dans le monde entier et joue un rôle important dans la production de la nourriture et la sécurité alimentaire.

Certaines eaux d'irrigation contiennent des substances chimiques susceptibles de réduire les rendements des cultures et de détériorer la fertilité des sols.

Les problèmes liés à l'environnement en particulier ceux concernant la pollution chimique et biologique de l'eau sont devenue une préoccupation majeure pour l'ensemble de la population et une priorité pour les autorités publiques.

Les eaux de oued Tafna sont destinées à l'irrigation des périmètres agricoles, le contrôle et l'analyse physico-chimique et chimique est indispensable pour le suivi de la qualité de ces eaux. Notre travail est une modeste contribution à l'étude de la qualité des eaux en aval de oued Tafna.

Pour une meilleure connaissance de l'utilisation de l'eau nous nous sommes intéressés à la détermination de la qualité physico-chimique afin d'évaluation le niveau de pollution, en fonction d'un ensemble de paramètre.

Le manuscrit s'articule autour de quatre chapitres :

- Le premier chapitre est la synthèse bibliographique sur la qualité des eaux de oued Tafna, dont un aperçu général sur l'eau
- Le deuxième chapitre est une présentation de la zone d'étude.
- Le troisième chapitre est la détermination des matériels et méthodes utilisés.
- Le quatrième chapitre est l'interprétation des résultats obtenus et leur discussion.

Les deux derniers chapitres exposeront la méthodologie préconisée par notre professeur quant à l'évaluation de la qualité des eaux destinées à l'irrigation.

Finalement, une conclusion générale et des perspectives à mettre en évidence.

**Chapitre I :**  
**SYNTHESE**  
**BIBLIOGRAPHIQUE**

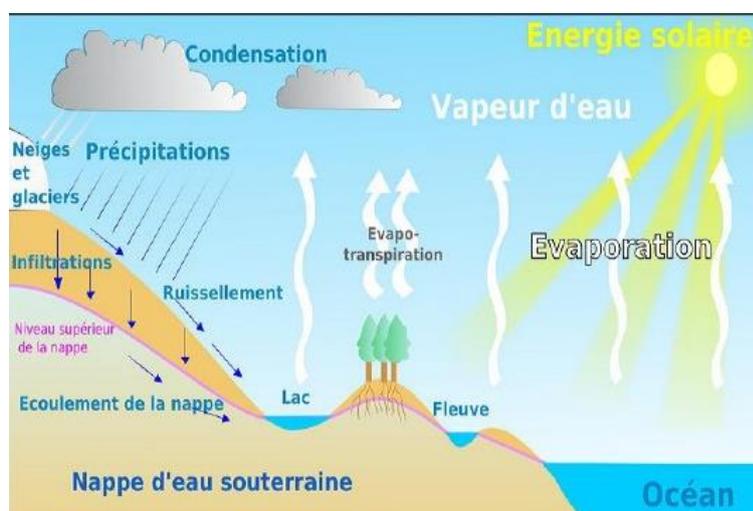
### **I.1 Généralités sur l'eau :**

L'eau liquide est souvent perçue comme une substance assez ordinaire car elle est transparente, inodore, insipide et se présente sur terre en grande quantité (GRAINI, 2011). Elle est d'une importance primordiale, indispensable à toute forme de vie. L'eau est une richesse nécessaire à toutes activités humaines. C'est un facteur de production déterminant dans le développement durable. Elle devient de plus en plus au centre des intérêts stratégiques (BAZIZ, 2008).

L'eau est un constituant fondamental de notre environnement. Elle se présente sous différents états : solide, liquide et gazeuse.

### **I.2 Le cycle de l'eau :**

Les eaux de surface résultent des précipitations. Une partie de cette eau s'évapore et retourne dans l'air sous forme de vapeur d'eau. La deuxième durcit à cause du froid, ou s'écoule à la surface du sol et pénètre jusqu'à la nappe phréatique. Le cycle de l'eau se fait par évaporation permanente des eaux de mer ou de rivière, formant des nuages et des brouillards, puis retombent sous forme de précipitations (pluie ou neige) dans les lacs, rivières et océans (DJOGHRAF et ANADA, 2010 ; SIGG et al. 2014).



**Figure I.1 :** Cycle général de l'eau (SARI, 2014)

### **I.3 Répartition de l'eau :**

- **L'eau destinée à la consommation :**

L'eau potable est une eau qui est apte à être utilisée par l'être humain. Elle peut contenir des polluants très divers. Comme pollution naturelles, on peut trouver des substances comme les algues ou des composés en suspension. Les pollutions d'origine humaine peuvent être dues entre autres aux nitrates et aux pesticides, qui parviennent dans les eaux à travers le sol.

La plupart des eaux potables proviennent des eaux souterraines et des eaux de source. Pour enrichir la nappe phréatique, on laisse passer artificiellement de l'eau de surface de telle sorte qu'elle soit filtrée par le sol et qu'elle parvienne ainsi à la nappe phréatique (BLIEFERT, PERRAUD, 2008).

- **L'eau destinée à l'irrigation :**

L'origine de l'eau utilisée en agriculture, au titre de l'arrosage ou de l'irrigation, est très variable, il peut s'agir d'une eau de bonne qualité microbiologique, d'une eau de surface plus ou moins polluée, voire d'une eau usée recyclée.

Le risque est lié à l'importance de la contamination appréciée par la concentration en bactéries indicatrices de contamination fécale, à la destination de cette eau (cultures, prairies, pelouses) et au mode d'épandage de ces eaux (RODIER, 2009).

- **L'eau traitée :**

Le recyclage de l'eau usée épurée est une solution de plus en plus souvent proposée dans les milieux où la pression hydrique est forte, à cause du manque d'eau et en particulier l'eau de qualité. On peut d'ailleurs présumer que la réutilisation deviendra une solution durable et régulièrement appliquée.

Les eaux usées peuvent, après traitement, être utilisées à des fins agricoles, par arrosage ou par irrigation, sous réserve que leurs caractéristiques et leurs modalités d'emploi soient compatibles avec les exigences de protection de la santé publique et de l'environnement (RODIER, 2009).

- **Eau de mer :**

Les ressources en eau douce dans le monde sont en diminution sous l'effet de la croissance démographique, de l'expansion de l'activité industrielle et du changement climatique. Pour satisfaire la demande en eau douce dans des régions où les réserves sont

insuffisantes, plusieurs pays ont fait appel au dessalement de l'eau de mer. En effet, l'eau disponible sur notre planète se trouve à 97% dans les mers et les océans, elle doit alors être traitée pour être rendue potable (KHAWAJIA et al., 2008). Plusieurs méthodes permettent la séparation de l'eau de mer en une eau douce contenant une faible concentration des sels dissous, et une solution concentrée en sels. On citera notamment la distillation, l'osmose inverse, la congélation et l'électrodialyse.

### **I.4 Les caractéristiques de l'eau :**

Les eaux naturelles contiennent de nombreuses substances et à des concentrations diverses, à l'état dissous ou de suspension. Les eaux de surface contiennent des matières organiques (MO) et inorganiques d'origines très variées. Les matières organiques et inorganiques participent à beaucoup de paramètres de la qualité de l'eau tels que la turbidité, la couleur, sous-produits de désinfection, odeurs, saveurs... (RODIER, 2009).

#### **I.4.1 Les paramètres organoleptiques :**

##### **a) La couleur :**

La coloration des eaux peut être due à certaines impuretés telles que le fer (couleur rouille) et le manganèse (couleur noire) mais également à certaines matières organiques en particulier provenant de la dégradation de végétaux (substances humiques, tannins, lignine) (TARDAT-HENRY et BEAUDRY 1984 ; RODIER, 2005).

##### **b) L'odeur et le goût :**

Selon les normes, les eaux de consommation doivent posséder un goût et une odeur non désagréables. Ces deux propriétés, purement organoleptiques sont extrêmement subjectives et il n'existe aucun appareil pour les mesurer.

Elles sont causées par la présence des substances relativement volatiles dans l'eau comme le chlore, le bioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) ou le sulfure d'hydrogène (H<sub>2</sub>S) ou organiques comme les esters, les alcools, les dérivés aromatiques et des composés plus ou moins bien identifiés résultant de la décomposition de matières animales ou végétales, comme les algues ou encore dus à la pollution.

Dans le cas d'une eau potable, l'apparition ou le changement de goût et d'odeur peuvent être signe d'activité microbienne et de lacunes dans le traitement ou de contamination dans le réseau de distribution. (TARDAT-HENRY et BEAUDRY 1984; RODIER, 2005).

#### **I.4.2 Les paramètres physico-chimiques :**

##### **a) Température :**

La température de l'eau est un facteur important dans la vie. Elle peut être modifiée d'une part, par les conditions locales et d'autre part par les rejets, comme elle est influencée par la température de l'air.

C'est l'élément du climat le plus important étant donné que tous les processus métaboliques en dépendent (DAJOZ, 1996). Elle représente un facteur limitant de toute première importance, car elle contrôle ensembles des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espèces et des communautés d'êtres vivants dans la biosphère (RAMADE, 2003).

##### **b) pH:**

Le pH est une mesure de l'acidité de l'eau. Le pH d'une eau naturelle peut varier entre 4 et 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés. Dans le domaine de l'eau, le pH joue un rôle primordial à la fois dans :

- Les propriétés physico-chimiques (acidité, agressivité).
- Les processus biologiques dont certains exigent des limites très étroites de pH.
- L'efficacité et les mécanismes de certains traitements (coagulation, adoucissement, contrôle de la corrosion, chloration) (RODIER, 2005).

##### **c) Conductivité :**

La minéralisation d'une eau correspond à l'ensemble des sels minéraux dissous dans l'eau et dont la nature dépend des terrains traversés. L'eau contient beaucoup d'ions dissous dont les principaux sont le calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), le magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), le sodium ( $\text{Na}^+$ ), le potassium ( $\text{K}^+$ ), les bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ), les sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) et les chlorures ( $\text{Cl}^-$ ) (RODIER, 2005).

##### **d) L'oxygène dissous :**

Il joue un rôle primordial dans le maintien de la vie aquatique et dans l'autoépuration. Sa présence dans les eaux naturelles est déterminée principalement par la respiration des organismes, par l'activité photosynthétique de la flore, par l'oxydation et la dégradation des polluants et enfin par les échanges air-eau (CHAHLAOUI, BENGOUNI, EL MOUSTAINE, BELGHITI 2013).

La concentration en oxygène dissous varie de manière journalière et saisonnière car elle dépend de nombreux facteurs tels que la pression partielle en oxygène de l'atmosphère, la température de l'eau, la salinité, la pénétration de la lumière, l'agitation de l'eau et la disponibilité en nutriments. Une valeur inférieure à un milligramme d'O<sub>2</sub> par litre indique un état proche de l'anaérobie. Cet état se produit lorsque les processus d'oxydation des déchets minéraux, de la matière organique et des nutriments consomment plus d'oxygène que celui disponible. (SIGG et al., 1992). Une faible teneur en oxygène dissous provoque une augmentation de la solubilité des éléments toxiques qui se libèrent des sédiments (RAMADE, 2003).

**e) Salinité :**

La salinité est une variable indispensable à la description des milieux aquatiques, elle est souvent associée à la mesure de la température. Bien qu'elle soit considérée comme représentant le contenu en sels dissous de l'eau de mer. La salinité doit être considérée comme un concept pratique (AMINOT et KEROUEL, 2004). La teneur en sels dissous de l'eau de mer peut être mesurée et exprimée de différentes manières suivant que l'on considère l'ensemble des corps dissous ou seulement les sels dominants (RODIER, 2009).

**f) Le potentiel redox :**

La mesure du potentiel redox permet de caractériser le milieu et de suivre son évolution, en particulier pendant les périodes de faible oxygénation. Le potentiel redox est fonction de l'équilibre entre les formes réduites et les formes oxydées des composés chimiques présents (FILMED, 2010).

**I.4.3 Les paramètres de minéralisation :**

**a) La dureté totale :**

La dureté ou titre hydrotimétrique (TH) correspond à la concentration totale en ions calcium (Ca<sup>2+</sup>) et en ions magnésium (Mg<sup>2+</sup>). Ils proviennent de la dissolution à partir des roches calcaires ou dolomitiques (TARDAT-HENRY et BEAUDRY, 1984).

La présence de CO<sub>2</sub> dans l'eau favorise cette dissolution.

$$TH = [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]$$

TH = la dureté calcique TH<sub>Ca</sub> + la dureté magnésienne TH<sub>Mg</sub>.

Les ions calciums et les ions magnésiums sont positifs, donc dans l'eau, ils peuvent se lier à d'autres ions négatifs ; De ce fait, on peut diviser la dureté en deux catégories :

-La dureté carbonatée ou temporaire qui est éliminable par ébullition de l'eau. Les ions calciums et magnésiums sont liés aux bicarbonates  $\text{HCO}_3^-$ .

-Dans le cas de la dureté permanente les ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  sont liés généralement aux ions  $\text{Cl}^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$ . (Rodier, 2009)

### **b) L'alcalinité :**

La dureté composée des éléments de calcium et magnésium ont tendance à précipiter avec les carbonates qui composent l'alcalinité (BENMOUSSAT, ADJIM, BENSAOULA, 2014). L'alcalinité exprime la capacité de neutralisation des acides présents dans l'eau (TAMRABET, 2011).

### **c) La dureté calcique :**

Le calcium s'introduit dans le système d'eau douce sous l'action de la météorisation des roches, particulièrement celle des roches calcaires, et par entraînement à partir du sol dans les eaux d'infiltration, par lixiviation et par ruissellement. La concentration du calcium dans l'eau dépend du temps de séjour de l'eau dans des formations géologiques riches en calcium (NECHAD, FADIL, FADIL, 2014).

### **d) La dureté magnésienne :**

Selon RODIER (2005), le magnésium constitue un élément significatif de la dureté de l'eau, sa teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrés (calcaires dolomitiques, dolomies du jurassique ou du trias moyen).

## **I.4.4 Les paramètres de pollution :**

### **1. Les paramètres organiques :**

#### **a) Les nitrates et nitrites :**

Les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) et les nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) sont des ions présents de façon accidentelle dans l'environnement. Ils sont le résultat d'une nitrification de l'ion ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), présent dans l'eau et le sol, qui est oxydé en nitrites par les bactéries du genre Nitrosomonas, puis en nitrates par les bactéries du genre Nitrobacter (SANTECANADA, 1992). Les nitrates sont très solubles dans l'eau, ils migrent dans la nappe phréatique lorsque les niveaux excèdent les besoins de la végétation (SANTE CANADA, 1992). La toxicité des nitrates résulte de leur réduction en nitrites et de la formation de méthémoglobine d'une part et de leur

contribution possible à la synthèse endogène de composés N-nitrosés d'autre part (NRC, 1995).

**b) Les chlorures :**

L'eau contient presque toujours des chlorures mais en proportions très variables. Leur teneur augmente généralement avec le degré de minéralisation de l'eau (AOUISSI, HOUHAMDI, 2009). Les eaux trop riches en chlorures sont laxatives et corrosives (HUMBERT ET POMMIER, 1988 IN TARIK, 2005).

**c) Les sulfates :**

Le soufre se combine avec l'oxygène pour donner l'ion sulfate, celui-ci existe à l'état naturel dans certains minéraux tel le gypse et la baryte. Sa présence dans des eaux phréatiques invoque une dissolution de gypse ou de pyrite. La concentration des sulfates dans les eaux superficielles est généralement comprise entre 2,2 et 58 mg/l (MEYBECK ET AL., 1996).

**d) La DCO :**

La DCO est une mesure de toutes les matières organiques (ou presque) contenues dans les eaux naturelles ou usées, qu'elles soient ou non biodégradables. Elle correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pour dégrader la totalité de la matière organique par voie chimique (RODIER, 2005).

**2. Les paramètres inorganiques Métaux lourds :**

Les métaux lourds peuvent être définis comme des éléments :

- ayant une densité supérieure à  $5\text{mg/cm}^3$ .
- ayant un numéro atomique élevé, en général supérieur à celui du Sodium ( $Z=11$ ),
- pouvant être toxique pour les systèmes biologiques.

Certains éléments présents à l'état de trace, sont essentiels pour les organismes vivants (Cu, Zn, Co, Fe, Mn, Ni, Cr, V, Mo, Se, Sn), mais l'augmentation de leurs concentrations peut aboutir à des phénomènes de toxicité. D'autres éléments ne produisent que des effets néfastes (Pb, Hg, Cd) (BONNET, 2000).

Les métaux lourds sont dangereux pour les systèmes vivants parce qu'ils sont non biodégradables et ils ont tendances à s'accumuler dans les organismes vivants et à se

concentrer dans les chaînes trophiques et arrivent à l'homme étant le dernier maillon de la chaîne alimentaire (LAFTANT, 2009).

**Tableau I.1** : Principaux effets associés aux éléments listés :(SPARKS, 1998 ; EWERS, SCHILPKOTER, 1991 ; INERIS, 2005 ; J.B. BOISLEVE, 1997 ; CORBERAN, DAVID, DEUGNIER, FREY, GIRAUDET, ET AL, 2001; SIMON, HARBAK ,2012)

Elément	Effets
Cd	Hypertension, dommages sur le foie, Affections respiratoires, troubles rénaux.
As	Toxique, possible cancérigène
Cr	Cancérigène sous forme de Cr(VI), troubles dermatologiques, anémie.
Cu	Peu toxique envers les animaux, toxique envers les plantes et les algues à des niveaux élevés.
Hg	Toxicité chronique et aiguë, Troubles du système nerveux (mémoire, fonctions sensorielles de coordination)
Ni	Maladies respiratoires, asthme, malformations congénitales, Cancérigène.
Pb	Toxique, troubles du système nerveux et cardiovasculaire, fatigue, cancérigène, affection du foie et des reins.
Se	Essentiel à faibles doses, toxique à doses élevées.
Zn	Toxique pour les végétaux à de fortes teneurs.
Fe	L'hémochromatose, cirrhose du foie et le diabète, troubles hormonaux, des douleurs abdominales, de l'asthénie, des douleurs articulaires, de l'ostéoporose, des dépressions et des maladies cardiaques diverses.
Co	Problèmes pulmonaires tels que l'asthme ou la pneumonie, Vomissements et nausées, Problèmes de vision, Problèmes cardiaques, Détérioration de la thyroïde.

**Chapitre II :**  
**ZONE D'ETUDE**

## II.1 Présentation de la zone d'étude :

Le bassin versant de la Tafna, s'étend sur la totalité de la wilaya de Tlemcen sur une superficie de 7245 km<sup>2</sup>. Il est subdivisé en trois grandes parties (Figure II.2) :

- Partie orientale avec comme principaux affluents (l'oued Isser et l'oued Sikkak).
- Partie occidentale comprenant la Haute Tafna (Oued Sebdou et Oued Khemis) et l'Oued Mouilah.
- Partie septentrionale : qui débute pratiquement du village Tafna et s'étend jusqu'à la plage de Rachgoun, embouchure de la Tafna sur la mer. Les oueds Boukiou, Boumessaoud et Zitoun sont les principaux affluents de cette partie (BOUANANI, 2004).

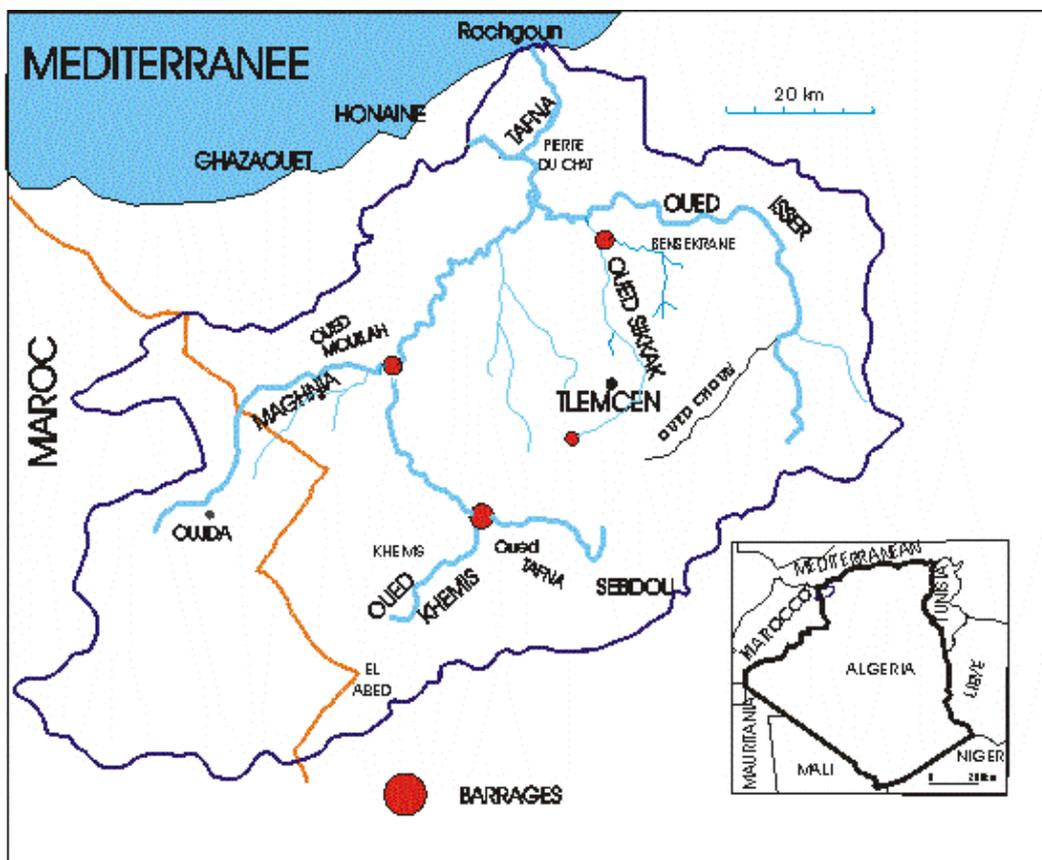


Figure II.1 : Situation géographique du bassin de la Tafna (BEMMOUSSAT, 2012)

### **II.2 Climatologie de la région :**

La région de Tlemcen est sous l'influence du climat méditerranéen, caractérisée par une période froide et humide de courte durée, en hiver et au début de printemps, et une période chaude et sèche de longue durée l'été et l'automne (DALI YUCEF, 2005).

Le climat varie d'un lieu à un autre en agissant sur l'approvisionnement en eau par la modification du régime des cours d'eaux et le volume des nappes, De type méditerranéen, le climat du bassin versant de la Tafna est de type semi-aride (BOUKHATEB, 2013).

### **II.3 Aperçu géologique :**

Le bassin versant de la Tafna se divise en deux zones de l'amont vers l'aval la Tafna traverse un grand ensemble de terrains dont les substrats présentent une diversité très importante. L'oued est caractérisé par des brisures parmi lesquelles, une, correspond à la partie méridionale des monts de Tlemcen, formés de dolomies et de calcaires jurassiques et une autre, correspond au cours de la basse Tafna, à travers les roches tendres du miocène moyen, entre les Traras et les Sebàa Chioukh (TINTHOIN, 1948).

**Chapitre III :**  
**MATERIEL ET**  
**METHODES**

### III.1 Choix des stations de prélèvement :

Trois campagnes d'échantillonnages ont été réalisées sur cinq stations qui ont été choisies sur la partie aval du bassin versant de la TAFNA (Figure III.1) pendant l'hiver plus précisément durant le mois de février et mars 2017 (15/02/2017 ; 01/03/2017 ; 19/03/2017).

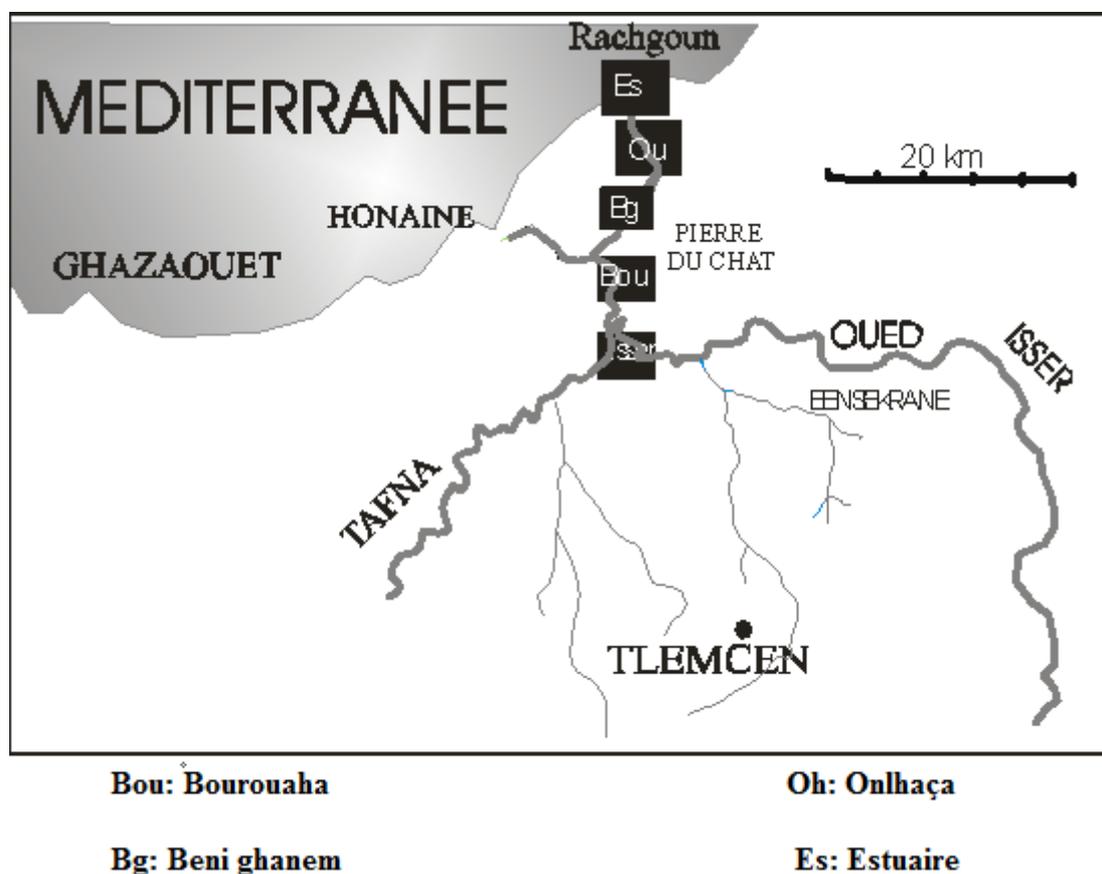


Figure III.1 : Les stations de prélèvement

### III.2 Prélèvement :

Les échantillons ont été prélevés dans des bouteilles de 1,5 L bien stérilisées étiquetées. Une partie à servit pour les paramètres de minéralisation et l'autre partie pour l'analyse des paramètres chimiques. Les paramètres physico chimiques (température de l'air et de l'eau, pH, conductivité, salinité, l'oxygène dissous et le potentiel redox) ont été prélevés in situ. Les échantillons ont été transporté au laboratoire où ont été filtrés sous vide suivit par la détermination des paramètres de minéralisation. Une deuxième partie a été conservée au congélateur pour l'analyse des métaux après avoir mis une goutte d'acide.

### **La première station : située à ISSER.**

L'oued Isser, affluent le plus important de la Tafna par son long parcours et par son fort débit. Son bassin versant a une superficie de 1140 km<sup>2</sup>. L'oued Isser prend naissance dans les monts de Tlemcen et s'étend ainsi vers l'Est de la région de la haute Tafna. A son entrée dans le bassin tertiaire, il est grossi au nord d'Ouled Mimoun par l'oued Lakhdar (Chouly) sur la rive gauche et l'oued Ain Tellout sur la rive droite (BOUANANI, 2004).

### **La deuxième station : située à Bourouaha.**

Cette station située sur oued Tafna avant pierre du chat.

### **La troisième station : située à Beni-ghanem.**

Oued Tafna s'écoule près de la ville de Béni ghanem qui se situe à 7km de Rachgoun et 15 km de la ville de Béni-Saf.

### **La quatrième station : située à Oulhaça.**

Cette station est située dans la commune de Oulhaça, située à l'ouest de la wilaya d'Aïn-Témouchent, sur la rive gauche de oued Tafna.

### **La cinquième station : situe à Rachgoun (l'estuaire).**

. Notre estuaire se situe dans la plage de Rachgoun, il est la partie terminale de oued Tafna, c'est une zone intermédiaire où s'affrontent les influences de la mer et de l'oued.



**Figure III.2 :** Les cinq stations de prélèvement (Boudghene Stambouli, Zerga, 2017)

### **III.3 Les mesures effectuées :**

#### **III.3.1 Les paramètres organoleptiques :**

La couleur de l'eau change en fonction de certaines impuretés (le fer, le manganèse, les matières organiques), ainsi que les matières en suspensions.

#### **III.3.2 Les paramètres physicochimiques :**

Les mesures ont été réalisées à l'aide d'un appareil multi paramètres de type (MULTIPARAMETRE C5010T PORTABLE) in situ (Figure III.3).



**Figure III.3 : MULTIPARAMETRE C5010T PORTABLE**

La température de l'air et de l'eau ont été mesurées sur le terrain à l'aide du thermomètre du multi paramètres. La lecture a été faite après immersion de l'électrode pendant quelques minutes jusqu'à ce que la température se stabilise.

La mesure du pH, de la conductivité, de l'oxygène dissous, de la salinité et du potentiel rédox ont été pris à l'aide des électrodes spécifiques du multi paramètres.

#### **III.4 Travail au laboratoire :**

Afin de compléter les propriétés de l'eau d'oued, nous avons réalisés les analyses chimiques au laboratoire de chimie inorganique et environnement (CIE) et au laboratoire de valorisation des actions de l'homme pour la protection de l'environnement et application en santé publique.

##### **III.4.1 Minéralisation :**

Les paramètres de minéralisation ont été effectuées à l'aide d'un photomètre de type Wagtech WTD (Wag-WE10441) et des réactifs spécifiques pour chaque mesure (Figure III.4).



**Figure III.4:** Photomètre de type Wagtech WTD (Wag-WE10441)

❖ **La dureté totale :**

Les réactifs spécifiques utilisés pour l'analyse de la dureté totale sont les pastilles « Hardicol N° 1 » et les pastilles « Hardicol N° 2 ».

Le tube en verre de type (Wag-WE10755) a été rempli d'eau de prélèvement pour chaque station jusqu'à 10 ml. Une pastille Hardicol N°1 a été dissoute dans le tube, ensuite une autre pastille 'Hardicol No 1', a été dissoute. Après 5 minutes (le temps de changement de couleur) le tube a été placé dans le photomètre pour la lecture de la mesure.

❖ **La dureté magnésienne :**

**Les réactifs spécifiques :** «les Pastilles Magnecol »

1ml d'échantillon prélevé à l'aide d'une micropipette a été placé dans le tube du photomètre, puis complété avec de l'eau distillé à 10ml. Une pastille 'Magnecol', a été dissoute dedans. Après 5 minutes déchargement de couleur. Le tube a été placé dans le photomètre pour la lecture de la mesure de Mg (mg/l).

❖ **La dureté calcique :**

Le même protocole que la dureté total a été utilisé avec des réactifs différents qui sont Les pastilles « Calcicol N° 1 » et les Pastilles « Calcicol N° 2 ».

**❖ Alcalinité :**

Nous avons utilisé aussi le même protocole que la dureté calcique avec des Pastilles« Alkaphot »le résultat donne la valeur de  $\text{CaCO}_3$  (mg/l).

Ces résultats donnent TAC ( $\text{CaCO}_3$ ) à TAC ( $\text{HCO}_3^-$ ) en multipliant le résultat par 1,22 selon le protocole fourni avec l'appareil.

**III.4.2 Les paramètres de pollution :**

Plusieurs paramètres sont des indicateurs de la présence de polluants dans l'eau et de leur quantité. Dans le but d'évaluer leurs degrés de pollution. Nous avons déterminé les nitrates, les nitrites en utilisant un photomètre « HI 83214», la DCO en utilisant un photomètre «HI 83214 Multi paramètres Bench photometer 'HANNA' » et leurs réactifs spécifiques, les chlorures et sulfates ont été déterminés par dosage analytique et les concentrations des métaux par absorption atomique.

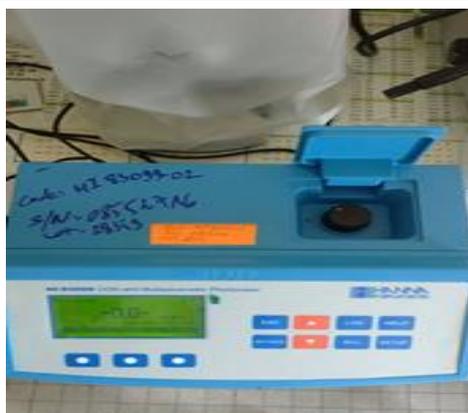
**1. Les paramètres organiques****❖ Les nitrates :**

La mesure a été faite avec le photomètre de paillasse «HI 83099 COD and Multiparameter Photometer » (Figure III.5) pour le traitement des eaux de la manière suivante :

-Six millilitres d'eau ont été pipetée puis remplie dans la cuvette, jusqu'à la moitié de sa hauteur. Cette cuvette a été placée dans le support pour une première lecture.

-Ensuite nous avons retirés la cuvette pour ajouter le réactif (HI 93728-0).

-Après agitation, la cuvette est replacée pour une lecture finale.



**Figure III.5 :** Photomètre de type HI 83099 COD and Multiparameter Photometer

❖ **Les nitrites :**

Nous avons utilisé le même protocole que la dureté total avec des réactifs différents qui sont les pastilles « Nitricol ». Le résultat obtenu donne  $\text{NO}_2$  en mg/l.

❖ **Dosage de chlorure : méthode de Mohr :**

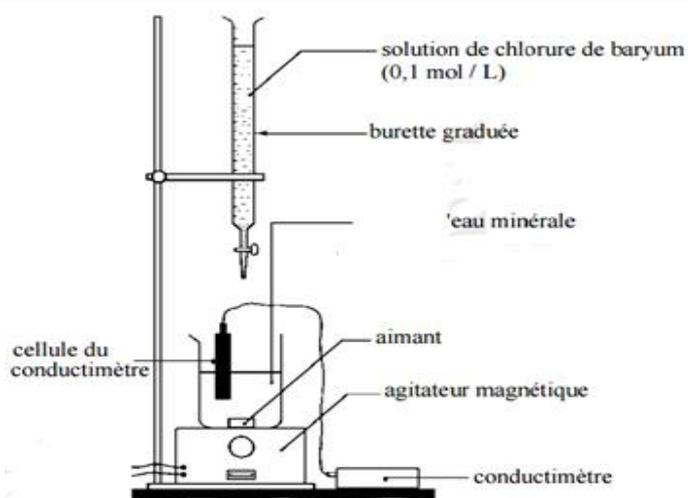
Les chlorures ont été dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium.

Dans un erlenmeyer de 250 ml, un volume de 100 ml d'eau à analyser a été prélevé, puis 1 ml de chromate de potassium ( $\text{KCrO}_4$ ) de concentration (0.5M) a été ajouté. La solution de nitrate d'argent  $\text{AgNO}_3$  (0,2N) a été dosée jusqu'à l'apparition de la couleur rouge brique qui caractérise le chromate d'argent.

❖ **Les sulfates :**

Pour le dosage des ions sulfates contenues dans l'eau, nous avons effectué un titrage par précipitation suivi de mesure conductimétrique (Figure III.6).

Un volume de 40 ml d'eau a été placé dans un bécher de 250 ml, puis introduite dans la cellule conductimétrique. La conductimètre de chaque millilitre a été noté jusqu'à la consommation du volume total.



**Figure III.6 :** Montage du dosage des sulfates

❖ **La DCO :**

Nous avons utilisé les réactifs (HI 93754B-25). Nous avons préchauffé le bloc C9800 à 150°C. A l'aide d'une micropipette propre, nous avons mis 2ml de l'échantillon dans un tube et 2ml d'eau distillée dans un autre tube. Après agitation nous avons placé les tubes dans le réacteur pour chauffage (Figure III.7).



**Figure III.7:** Photomètre de type VELP SCIENTIFICA (ECO 8 Thermoreactor)

Après le refroidissement, nous avons placés les tubes dans le Photomètre de type HI 83214 pour l'analyse (Figure III.8).



**Figure III.8:** Photomètre de type HI 83214 Multiparameter Bench

## 2. Absorption atomiques:

Les métaux lourds ont été dosés par le spectrophotomètre d'absorption atomique de type PERKINELEMERA ANALYST 300 au niveau du laboratoire 'chimie inorganique et environnement' (CIE) (Figure III.9) et par le Photomètre de type HI 83099 COD and Multiparameter Photometer (Figure III.5).

### 1-Principe de l'absorption atomique :

Cette méthode repose sur une mesure effectuée sur des éléments à l'état atomique libre. L'échantillon a été porté à une température de plusieurs milliers de degrés, pour que les éléments présents dans l'échantillon passent sous forme de gaz à l'état atomique. Les mesures sont faites à longueurs d'ondes fixes, choisies en fonction des éléments recherchés.

Le dispositif thermique est constitué par un bruleur alimenté par un mélange comburant, l'échantillon, qui doit être en solution aqueuse, est nébulisé avant d'être entraîné dans le mélange combustible. Le parcours optique traverse la flamme qui crée sur quelques centimètres un petit nuage d'atomes de l'élément à analyser. L'absorption est liée à la concentration de l'élément par la relation de Beer-Lambert.

### Principe de la loi de Beer-Lambert :

Cette loi permet de définir deux grandeurs :

Transmittance T : exprimée en % :

$$T = I/I_0 = e^{-\epsilon c l}$$

Absorbance A:  $A = \log(I_0/I) = \epsilon lc$

Avec :

$I_0$  : intensité du faisceau incident,

I : intensité du faisceau émergent de la solution,

$\epsilon$ : Coefficient d'extinction molaire (l /mole.cm),

l : longueur du trajet optique (épaisseur de la cuve) (cm),

C : concentration de la solution à analyser.

### **2-Appareillage :**

Le dispositif expérimental utilisé en absorption atomique, se compose d'une source, la lampe à cathode creuse, d'un brûleur et un nébuliseur, d'un monochromateur et d'un détecteur relié à un amplificateur et un dispositif d'acquisition.

#### **2.1 La lampe à cathode creuse :**

La lampe à cathode creuse est constituée par une enveloppe de verre scellée et pourvue d'une fenêtre en verre ou en quartz contenant une cathode creuse cylindrique et une anode. La cathode est constituée de l'élément que l'on veut doser. Un vide poussé est réalisé à l'intérieur de l'ampoule qui est ensuite remplie d'un gaz rare (argon ou néon) sous une pression de quelques mm d'Hg.

#### **2.2 Le nébuliseur :**

L'échantillon à analyser est en solution. Celle-ci est aspirée au moyen d'un capillaire par le nébuliseur. A l'orifice du nébuliseur, du fait de l'éjection d'un gaz à grande vitesse, il se crée une dépression (effet Venturi). La solution d'analyse est alors aspirée dans le capillaire et à la sortie, elle est pulvérisée en un aérosol constitué de fines gouttelettes. Cet aérosol pénètre alors dans la chambre de nébulisation dont le rôle est de faire éclater les gouttelettes et d'éliminer les plus grosses. Ce brouillard homogène pénètre alors dans le brûleur.

#### **2.3 La flamme – atomisation :**

L'aérosol pénètre dans le brûleur puis dans la flamme. Au bout d'un certain parcours au seuil de la flamme, le solvant de la gouttelette est éliminé, il reste les sels ou particules solides qui sont alors fondus, vaporisés puis atomisés.

## 2.4 Monochromateur avec détecteur :

Le monochromateur va simplement sélectionner une longueur d'onde particulière du spectre de la cathode creuse. Pour cela, on réglera la position du réseau ainsi que les fentes (Fellah, 2010).



**Figure III.9 :** Spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme (SAAF)

### III.4.3 Analyse Factorielle des correspondances

L'analyse factorielle est un ensemble de méthodes permettant de procéder à des transformations linéaires d'un grand nombre de variables inter corrélées de manière à obtenir un nombre relativement limité de composantes non corrélées (Vogt, 1993). Elle permet de réduire le nombre de variables et de rendre l'information moins redondante.

L'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) est une méthode qui permet d'étudier l'association entre deux variables qualitatives. Cette méthode est basée sur l'inertie. Son but consiste à représenter un maximum de l'inertie totale sur le premier axe factoriel, un maximum de l'inertie résiduelle sur le second axe, et ainsi de suite jusqu'à la dernière dimension.

L'analyse factorielle des correspondances vise à rassembler en un nombre réduit de dimensions la plus grande partie de l'information initiale en s'attachant non pas aux valeurs absolues mais aux correspondances entre les variables, c'est-à-dire aux valeurs relatives. Cette réduction est d'autant plus utile que le nombre de dimensions initial est élevé. La notion de "réduction" est commune à toutes les techniques factorielles – c'est-à-dire où l'on extrait des facteurs – l'AFC offre la particularité (contrairement aux ACP) de fournir un espace de représentation commun aux variables et aux observations.



**Chapitre IV :**  
**RESULTATS ET**  
**DISCUSSION**

### **IV.1 Paramètres physico-chimiques :**

Les figures IV.1 et IV-2 présentent respectivement les variations temporelles et spatiales des paramètres physicochimiques (la température de l'eau et de l'air, le pH, la conductivité, la salinité, le potentiel redox et l'oxygène dissous) relevés dans les cinq stations choisies (Isser, Bourouaha, Beni ghanem, Oulhaça et l'estuaire de la Tafna). Le tableau des valeurs maximales, minimales, moyennes et écarts types des paramètres physicochimiques mesurés durant les trois campagnes d'échantillonnage est donné en annexe 1.

#### **IV.1.1 Température :**

La température de l'air varie entre 13,5°C et 24,1°C, le maximum est observé à Oulhaça au début du mois de mars et le minimum à Beni ghanem durant le même mois (Figure IV.1). Les variations spatiales montrent un profil classique. Les températures varient entre 16,5°C à Beni ghanem et 21°C à Oulhaca (Figure IV.2).

La température de l'eau varie entre 13,1°C et 18,6°C, le maximum est observé durant le début du mois de mars à Beni ghanem et le minimum durant le mois de février à Isser (Figure IV.1). Les variations spatiales présentent une ascension progressive, elles augmentent de 15,43°C marquée à Isser pour atteindre 17,9 °C inscrite à l'estuaire. (Figure IV.2).

Globalement, la température de l'eau suit celle de l'air qui dépend du climat régional de type méditerranéen semi-aride à hiver chaud (EMBERGER, 1955). La température de l'eau est un facteur important dans la production biologique. Ceci vient du fait qu'elle affecte les propriétés physiques et chimiques de celle-ci ; en particulier sa densité, sa viscosité, la solubilité de ses gaz (notamment celle de l'oxygène) et la vitesse des réactions chimiques et biochimiques (HCEFLCD, 2006).

#### **IV.1.2 pH :**

Il varie entre 7,68 marquée au début du mois de mars dans la station de l'estuaire et 8,12 enregistré pendant le mois de février au niveau de la station d'Isser (Figure IV.1). Les moyennes fluctuent d'une manière régulière dans les trois premières stations et varient de 7,99 à Beni ghanem, à 7,88 au niveau d'Oulhaça (Figure IV.2).

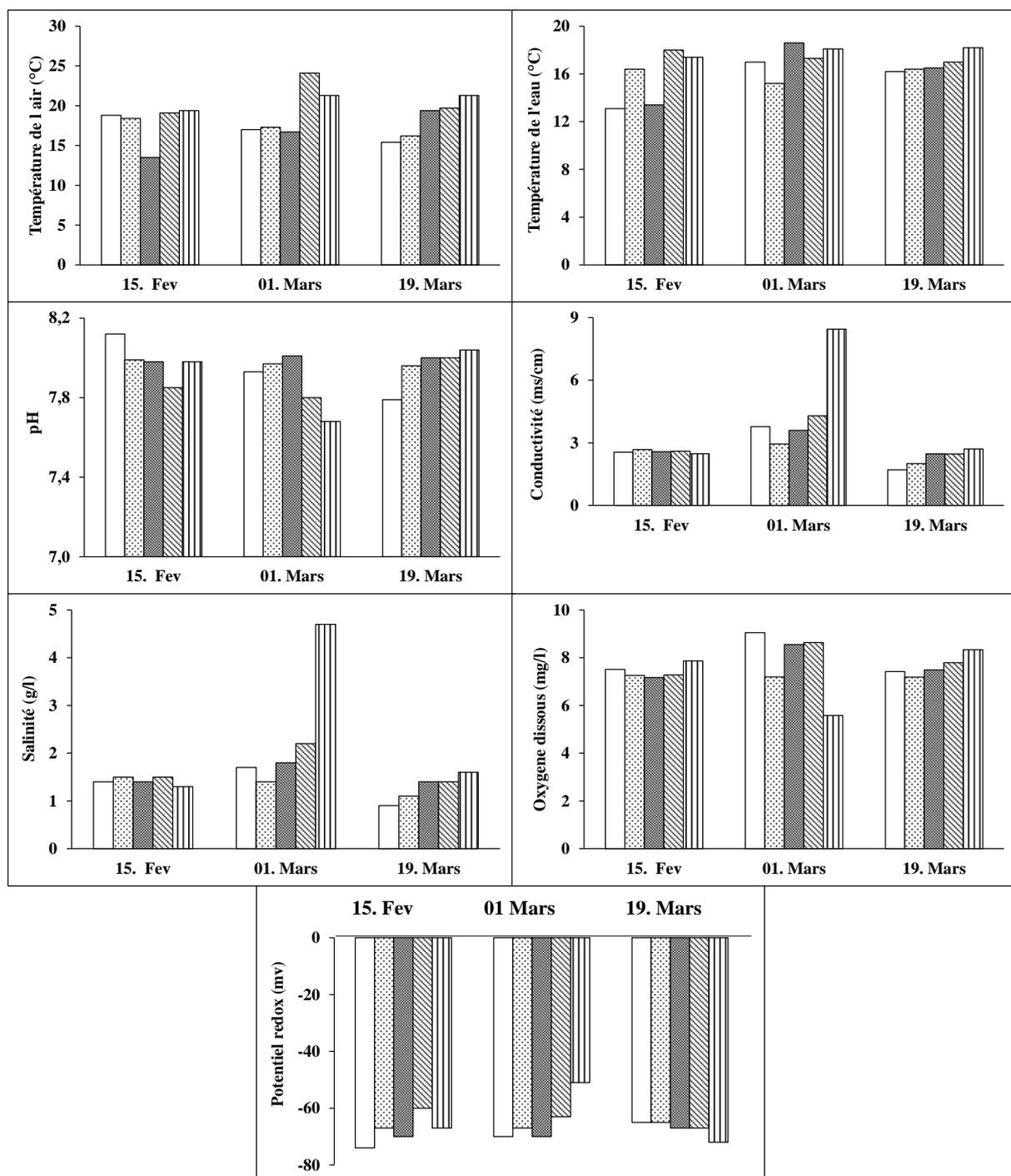


Figure IV.1 : Variations temporelles des paramètres physicochimiques

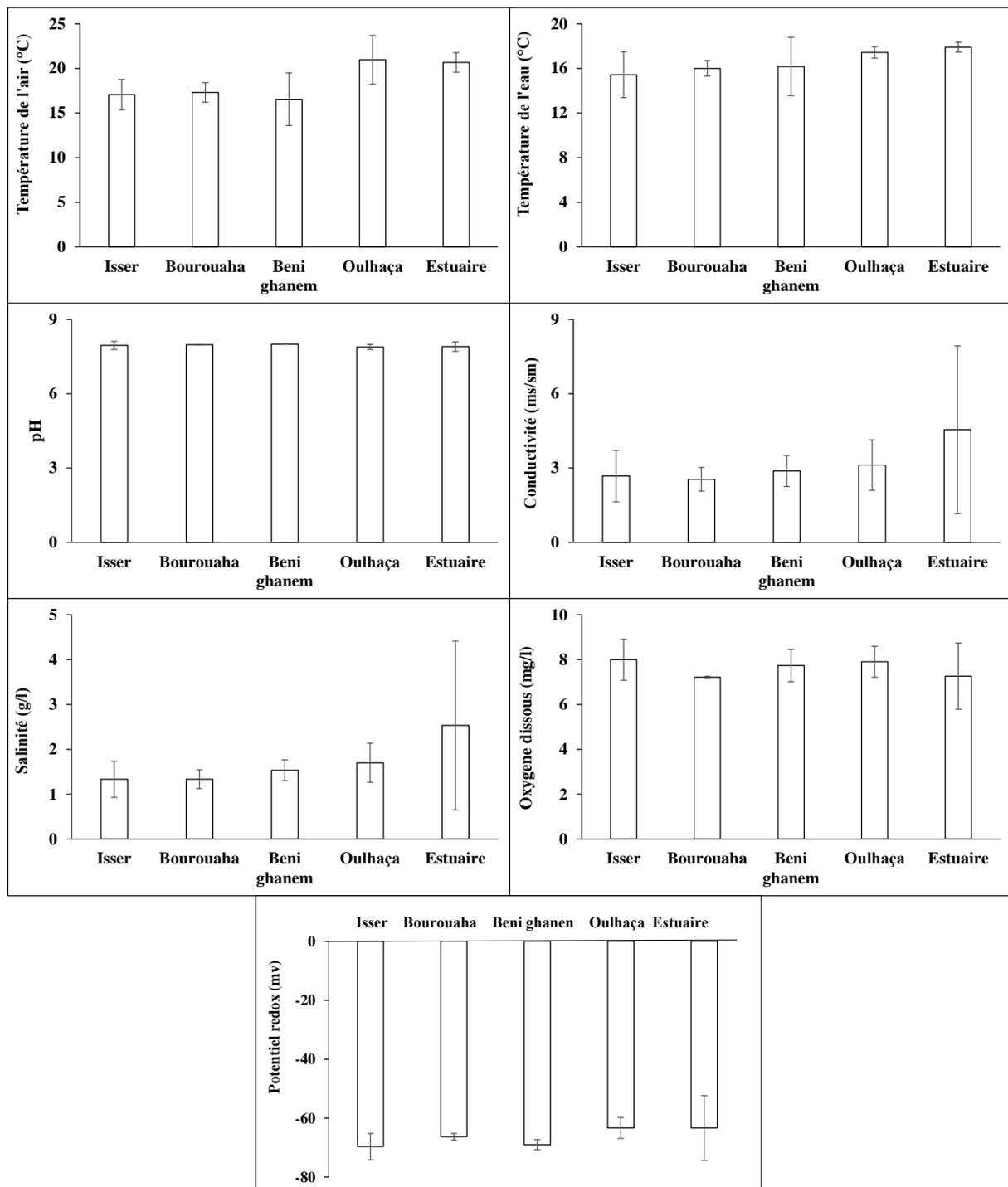


Figure IV.2 : Variations spatiales des paramètres physicochimiques

Les résultats trouvés montrent que le pH ne varie pas beaucoup durant toute la période d'étude dans toutes les stations. Les eaux sont légèrement alcalines, ce qui coïncide avec une nature calcaire et argileuse des terrains traversés, une utilisation intense d'engrais dans les cultures avoisinantes, une activité photosynthétique élevée, donc une grande consommation de CO<sub>2</sub> (BOUKHATEB, 2013). Dans la plupart des eaux naturelles, le pH est compris habituellement entre 6 et 8,5. Il dépend de l'origine des eaux, de la nature géologique du substrat et du bassin versant traversé (DUSSART, 1966 ; BERMOND ET VUICHARD, 1973). Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques entre l'eau, le gaz carbonique dissous, les carbonates et les bicarbonates qui constituent des solutions tamponnées conférant à la vie aquatique un développement favorable.

### **IV.1.3 Conductivité :**

Selon la figure IV.1, les conductivités illustrées durant notre période d'étude montrent des variations entre 5,62 ms/cm inscrite au début du mois de mars à l'Estuaire et 1,7 ms/cm enregistrée durant la mi- mars au niveau de la station d'Isser. Les valeurs moyennes enregistrées oscillent entre 2,54 enregistré à Bourouaha et 4,54 ms/cm à l'estuaire (Figure IV.2). Elles ne dépassent pas la norme marocaine de 12 ms/cm fixée pour l'eau destinée à l'irrigation.

La conductivité permet d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau, donc de sa minéralisation. Elle dépend des charges de matière organique endogène et exogène, génératrices de sels après décomposition et minéralisation et également avec le phénomène d'évaporation qui concentre ces sels dans l'eau, elle varie aussi suivant le substrat géologique traversé (BELGHITI, CHAHLAOUI, BENGOUNI, EL MOUSTAINE, 2013).

### **IV.1.4 Salinité :**

D'après les résultats présentés sur la figure (IV.1), nous observons une distribution temporelle de la salinité similaire à celle de la conductivité électrique. Dans notre étude les valeurs de la salinité sont comprises entre 0,9 g/l marquée dans de la station d'Isser durant la mi-mars et 4,7 g/l enregistrée dans de la station de l'estuaire au début de mois de mars. Les teneurs relevées lors de la variation spatiale sont comprises entre 1,3 et 2,53 g/l. Elles augmentent régulièrement de l'amont à l'aval (Figure IV.2). On peut observer que pour chaque station, la salinité présente les mêmes fluctuations que la conductivité. Dans ensemble, les résultats obtenus ne dépassent pas la norme marocaine 7,68 g/l destinée à l'eau d'irrigation. La conductivité et la salinité constituent de bons indicateurs d'appréciations des

matières en solution (RHOADES et al., 1992 ; RODIER, 1996). Elles sont fortement liées et peuvent être d'origine naturelle ou anthropique. Le contrôle de la salinité de l'eau d'irrigation est d'une importance majeure. Une valeur élevée de la salinité signifie une grande quantité d'ions en solution, ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par la plante. Une salinité trop élevée peut causer des brûlures racinaires (BOUAROUDJ, 2012).

#### **IV.1.5 Oxygène dissous :**

Au cours du temps, le changement de la teneur en oxygène dissous dans les stations est en relation avec les variations de la température de l'air et de l'eau, du débit, de la vitesse du courant et de l'intensité de l'activité photosynthétique dans l'eau (BOUKHATEB, 2013).

D'après l'analyse des résultats de la figure (IV.1), les teneurs en oxygène dissous ( $O_2$ ) sont comprises entre 5,58 et 9,05 mg/l. Le maximum et le minimum sont enregistrés au début du mois de mars dans les stations d'Isser et l'Estuaire. Les valeurs moyennes fluctuent autour de 7,21 à 7,99 mg/l durant la période d'étude (Figure IV.2). Ces résultats ne dépassent pas la norme (5 mg/l) fixée par L'agence Nationale des Ressources Hydrauliques pour l'eau destinée à l'irrigation.

L'oxygène dissous ( $O_2$ ) est très important par le fait qu'il conditionne l'état de plusieurs sels minéraux, la dégradation de la matière organique et la vie des animaux aquatiques (HCEFLCD, 2007).

#### **IV.1.6 Potentiel redox :**

Les valeurs du potentiel redox varient entre -74 et -51 mv pour les eaux de notre zone d'étude, le potentiel le plus élevé est mesuré dans la station d'Isser pendant le mois de février, le plus faible enregistré au début du mois de mars au niveau de la station de l'estuaire (Figure IV.1). Selon la figure (IV.2), les valeurs moyennes du potentiel redox varient de -63,33 mv enregistré à Isser à -69,66 mv à l'estuaire.

Le potentiel redox est une des caractéristiques fondamentales des milieux aquatiques, au même titre que la température, la salinité, le pH ou l'oxygène dissous. Sa mesure trouve donc une place justifiée dans le suivi d'un milieu aquatique (FILMED, 2010).

#### **IV.2 Paramètres de minéralisation :**

Les figures IV.3 et IV.4 présentent les variations temporelles et spatiales des différentes analyses des paramètres de minéralisation effectués au laboratoire (la dureté totale,

l'alcalinité, la dureté calcique et magnésienne) au niveau des cinq stations d'étude (Isser, Bourouaha, Beni ghanem, Oulhaça et l'estuaire de la Tafna à la plage de Rachgoun). Le tableau des valeurs maximales, minimales, moyennes et écarts types des paramètres de minéralisation mesurés durant les trois campagnes d'échantillonnage est donné en annexe 2.

#### **IV.2.1 Dureté totale :**

La dureté dépend essentiellement du contexte géologique. Les eaux des régions calcaires sont plus dures que celles des régions granitiques (INERIS, 2004).

Les résultats obtenus (Figure IV.3) présentent une variation inconstante de la dureté totale au niveau des zones étudiées. Les valeurs varient de 290 à 520 mg/l de CaCO<sub>3</sub> observés respectivement au niveau d'Isser et Bourouaha. Les valeurs moyennes fluctuent entre 396,66 et 506,66 mg/l, la valeur la plus élevée est enregistrée à Bourouaha (Figure IV.4), cette augmentation peut être expliquée par la nature du font géochimique de la région.

#### **IV.2.2 Alcalinité :**

Les concentrations en bicarbonates dans les eaux naturelles sont en relation directe avec le pH de l'eau, la température, la concentration en CO<sub>2</sub> dissous et la nature lithologique du sol. (AOUSSI, HOUHAMDI, 2009). Les teneurs enregistrées sont variables comprises entre 180 mg/l observé à l'estuaire durant le mois de février et 450 mg/l à Beni ghanem observé au début du mois de mars (Figure IV.3). Les résultats illustrés sur la figure (IV.4), montre une moyenne qui oscillent entre 258,33 mg/l relevée à l'estuaire et 311,66 mg/l enregistré à Beni ghanem, nous avons remarqués que, pour tous les points d'eau, les résultats de l'alcalinité sont conformes aux normes (500 mg/l) fixées par l'OMS pour l'eau destinée à l'irrigation.

#### **IV.2.3 Dureté calcique :**

Le calcium est un autre élément qui constitue la dureté de l'eau et sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés (AOUSSI, HOUHAMDI, 2009). La figure (IV.3) montre une variation importante pour les concentrations de Ca<sup>2+</sup> dans les eaux étudiées. Nous constatons une augmentation brusque des teneurs en calcium dans la deuxième sortie. Les teneurs sont comprises entre 4mg/l enregistré au niveau d'Isser et 90mg/l marqué au niveau de l'estuaire. Pour la variation spatiale, les valeurs moyennes varient entre 38 mg/l à Beni ghanem et 56,66 mg/l à l'estuaire (Figure IV.4).

Selon BAZIZ (2008) ; MEROUANI et BOUGUEDAH (2013), le calcium est un élément dominant dans les eaux. Composant majeur de la dureté de l'eau. Il existe surtout à l'état d'hydrogencarbonates. LECHAARI (1990) montre que l'origine du calcium liée généralement au terrain traversé et les eaux d'alimentation.

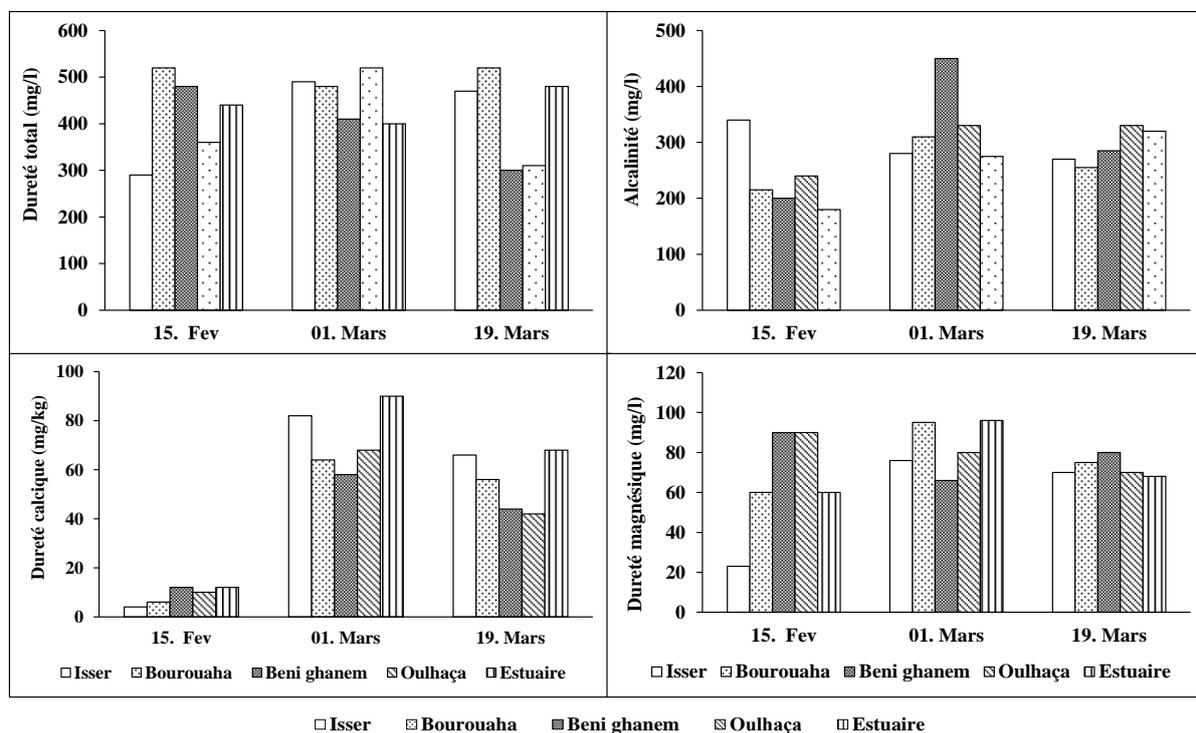


Figure IV.3 : Variations temporelles des paramètres de minéralisation

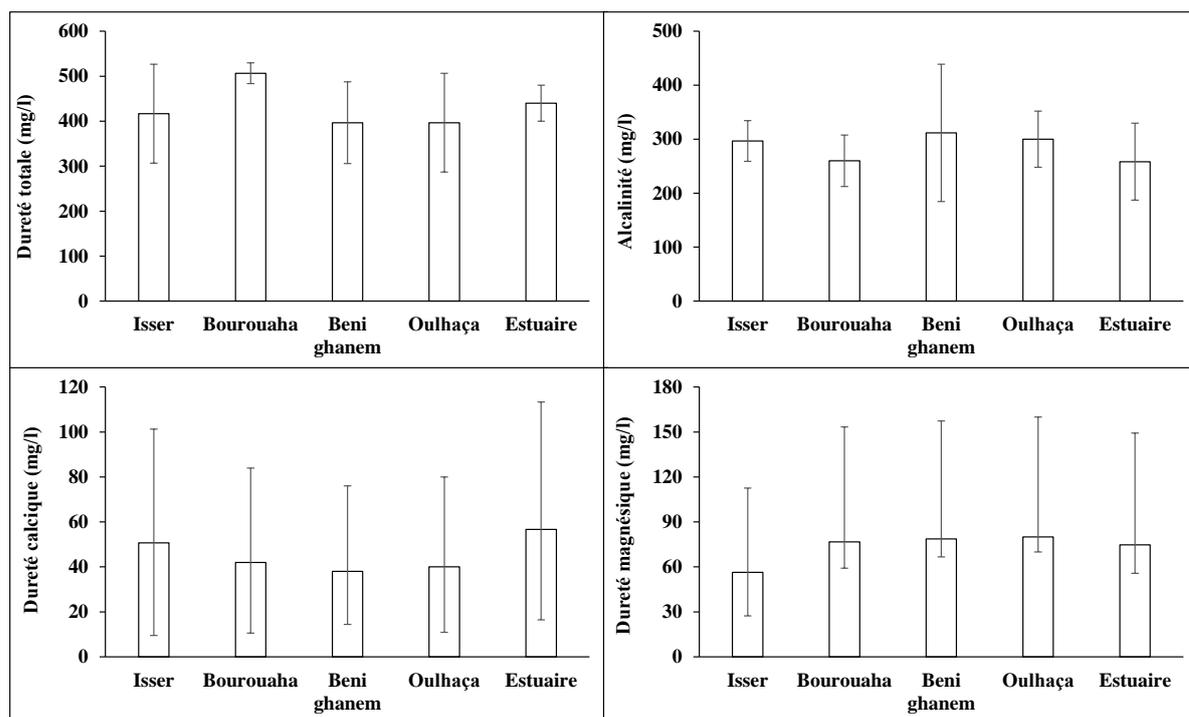


Figure IV.4 : Variations spatiales des paramètres de minéralisation

#### **IV.2.4 Dureté magnésienne :**

A partir de l'analyse des résultats mentionnés sur la figure (IV.3), nous observons que la distribution temporelle de la dureté magnésienne est approximativement similaire à celle de la dureté calcique. Les teneurs du magnésium de nos eaux sont comprises entre 23mg/l enregistré pendant le mois de février à Isser et 95mg/l marqué au début du mois de mars à Bourouaha. Concernant la variation spatiale, les concentrations de magnésium sont très importantes et varient entre 56,33 à Isser et 80 mg/l à Oulhaça (Figure IV.4).

#### **IV.3 Paramètres de pollution :**

##### **IV.3.1 Paramètres organiques**

Afin d'évaluer le degré de pollution organique de nos échantillons, certaines analyses ont été effectuées tel que, les nitrates, les nitrites, les chlorures, les sulfates et la DCO.

Les figures IV.5 et IV.6 présentent les variations temporelles et spatiales des paramètres de pollution organiques de l'eau au niveau des cinq stations choisies (Isser, Bourouaha, Beni ghanem, Oulhaça et l'estuaire de la Tafna). Le tableau des valeurs maximales, minimales, moyennes et écarts types des paramètres de pollution mesurés durant les trois sorties d'échantillonnage est donné en annexes 3.

##### **4. IV.3.1.1 Nitrates :**

Au vu des résultats de la figure (IV.5), nous avons constatés que les teneurs en nitrates restent variables durant les campagnes et diminuent de l'amont vers l'aval. La valeur la plus élevée est observée au début du mois de mars (30mg/l) pour les deux premières stations et nulle au niveau d'Oulhaça et l'estuaire. Concernant la variation spatiale (Figure IV.6), les teneurs moyennes en nitrates diminuent au fur et à mesure quand on se dirige vers l'estuaire. La valeur la plus élevée est 19,36 mg/l noté à Isser et la plus faible est 0,36 mg/l à l'estuaire. Globalement, nous avons constaté que les concentrations pour tous les échantillons sont dans l'ensemble inférieures à la norme de 50 mg/l (OMS, 2013) pour les eaux destinées à l'irrigation.

Les ions nitrates représentent la forme la plus oxygénée de l'azote. C'est une forme très soluble. Selon SAMAKE (2002), les nitrates sont présents dans l'eau par lessivage des produits azotés dans le sol, par décomposition des matières organiques ou des engrais naturels

ou de synthèse. D'après CHAIBI (2014), les nitrates sont utilisés comme indicateur de pollution. Ils jouent le rôle de fertilisant pour les plantes qui assimilent l'azote sous la forme  $\text{NO}_3^-$ . Dans certaines régions ce sont les rejets azotés d'origine animale excessifs qui sont la cause des variations des teneurs en nitrates et sont liées au développement du phytoplancton. Le transport des nitrates dans eau dépend essentiellement des précipitations, de la nature du sol, de la conduite des cultures, de la fertilisation et des systèmes de production (AOUISSI, HOUHAMDI, 2009).

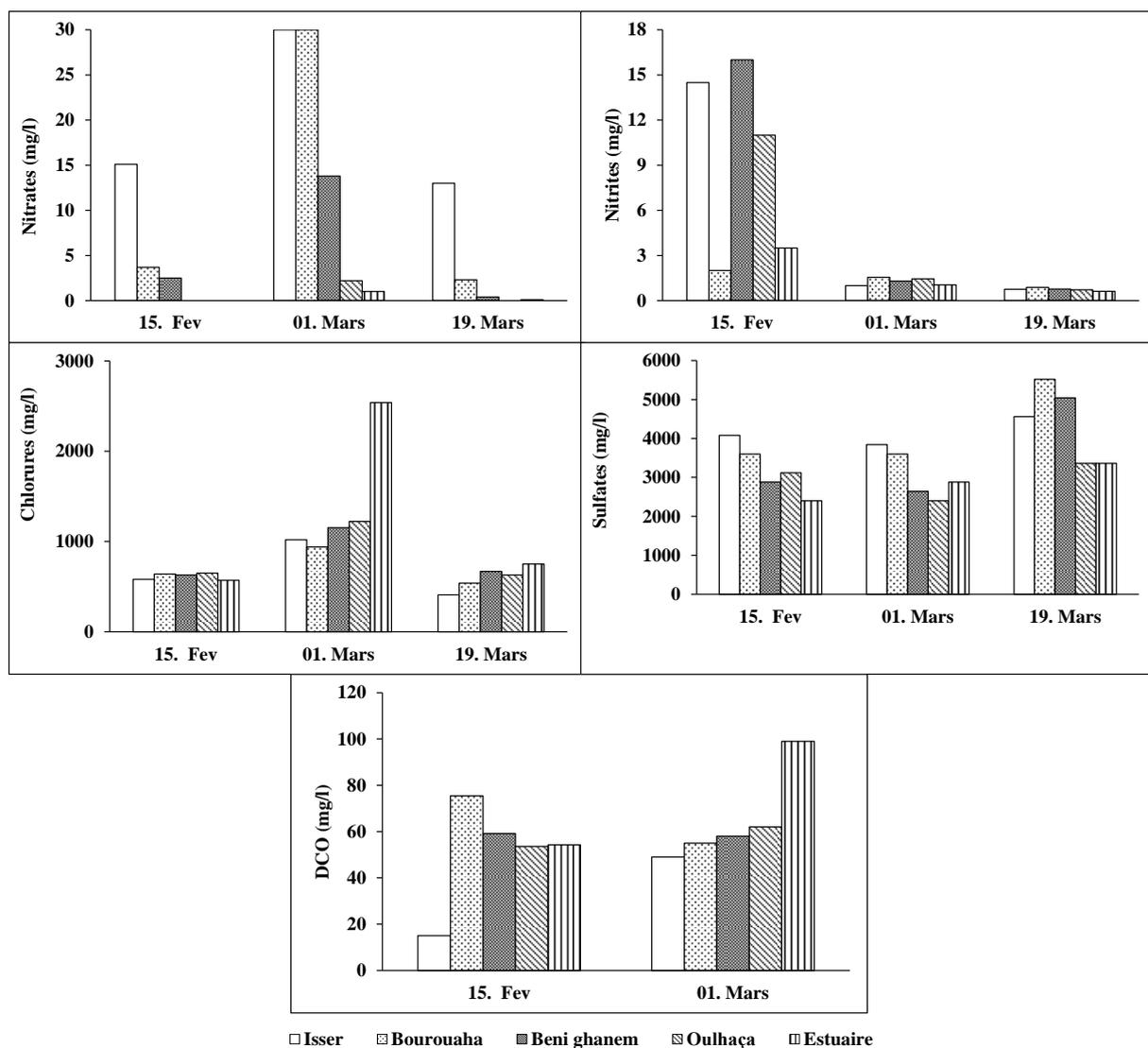


Figure IV.5 : Variations temporelles des paramètres de pollution organiques

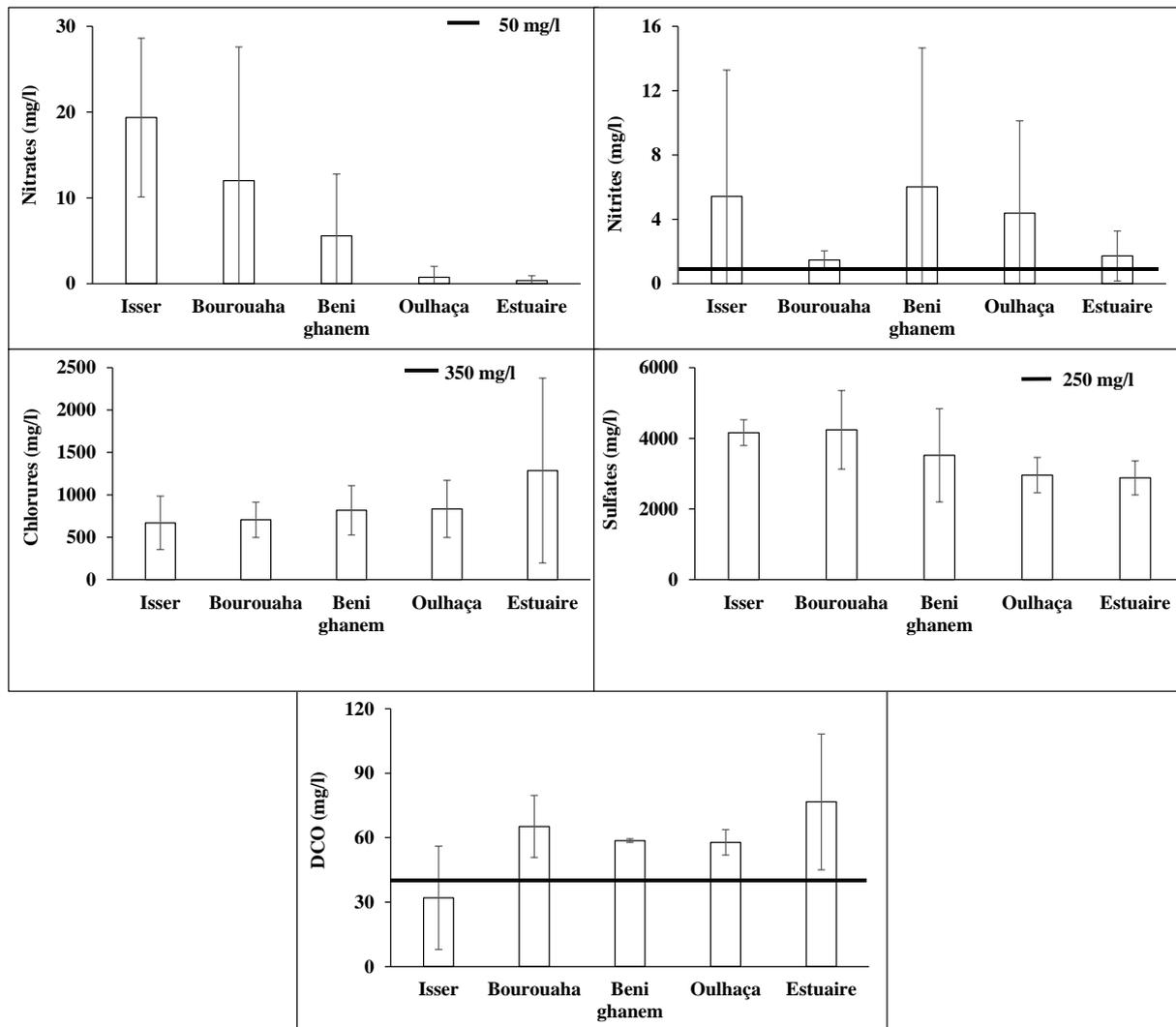


Figure IV.6 : Variations spatiales des paramètres de pollution organiques

#### IV.3.1.2 Nitrites :

Le profil temporel des nitrites présente une variation notable pour tous les prélèvements. Les teneurs les plus élevées sont enregistrées durant le mois de février (le maximum 16,5mg/l noté à Beni ghanem), puis elles diminuent brusquement et atteignent 0,62 mg/l à l'estuaire (Figure IV.5). L'augmentation de nitrite lors de la première campagne d'échantillonnage peut être expliquée par des fortes crues.

La figure (IV.6) nous montre une variation irrégulière en teneurs des nitrites. Les valeurs moyennes des eaux de notre étude dépassent la norme (1 mg/l) requise par OMS (2013). Le maximum enregistré est de 6,02 mg/l au niveau de Beni ghanem.

Les nitrites proviennent d'une oxydation incomplète des matières organiques. Comme les nitrates, les nitrites sont très répandus dans les eaux. Les fortes teneurs correspondent à la réduction des nitrates en nitrites par les anaérobies sulfito-réducteurs. Elles peuvent également être liées à l'oxydation bactérienne de l'ammoniac (BENGOUMI, 2004) et (CHAIBI, 2014). Elles sont toxiques pour l'organisme de l'être humain, sa présence en quantité importante dégrade la qualité de l'eau. La toxicité liée au nitrite est très significative en raison de leur pouvoir oxydant (COULIBALY, 2005). Les nitrates sont également assez largement présents, mais à des niveaux bien moindres que les Nitrates (BENGOUMI ET AL, 2004). Son origine est liée à l'agriculture et aux rejets urbains et industriels (AOUISSI, HOUHAMDI, 2009).

#### **IV.3.1.3 Chlorures :**

Les résultats de la variation spatiale (Figure IV.5), présentent des teneurs en chlorures variables entre les trois prélèvements. Les teneurs dans la deuxième sortie sont plus élevées, avec un maximum de 2540 mg/l au niveau de l'estuaire, et un minimum de 410mg/l inscrit à Isser durant la troisième sortie.

Sur la base des résultats des analyses effectuées pour les échantillons des eaux, les teneurs en chlorures lors de la variation spatiale augmentent régulièrement de l'amont 670 mg/l vers l'aval 1286,66 mg/l (Figure IV.6). Au niveau de la région d'étude, les teneurs en chlorures dépassent largement la valeur 350mg/l fixée par les normes marocaines pour l'eau destinée à l'irrigation(2007). Les chlorures sont toujours présents dans les eaux naturelles mais à des proportions variables. Ils proviennent essentiellement de la dissolution des sels naturels par le lessivage des terrains salifères ; des rejets des eaux usées d'origine domestique et industrielle (DEBBAKH, 2012).

#### **IV.3.1.4 Sulfates :**

D'après les résultats de la figure (IV.5), les teneurs en sulfates sont comprises entre 5520 et 2400 mg/l. La teneur maximale est observée pendant le mois de mars à Beni ghanem et la teneur minimale est enregistrée durant le mois de février et le début le mars respectivement dans les deux dernières stations. Pour la variation spatiale, Les valeurs enregistrées oscillent entre 2880 à l'estuaire et 4240 mg/l à Bourouaha, et restent largement supérieurs à la norme marocaine 250 mg/l relative à la qualité des eaux destinées à l'irrigation (Figure IV.6).

Les sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) proviennent du ruissellement ou d'infiltration dans les terrains à gypse. Ils résultent également de l'activité de certaines bactéries (chlorothiobactéries, rhodothiobactéries, etc.). Cette activité peut oxyder l'hydrogène sulfuré ( $\text{H}_2\text{S}$ ) toxique en sulfate (HCEFLCD, 2006).

#### **IV.3.1.5 Demande chimique en oxygène :**

Au vue de la figure (IV.5), les résultats obtenus restent variables pour les deux prélèvements, la valeur la plus faible 15mg/l est enregistrée durant le mois de février au niveau la station d'Isser et la plus élevée 99mg/l noté à l'estuaire au début de mois de mars. Alors que les valeurs moyennes de la DCO sont comprises entre 32 mg/l à Isser et 76,65 mg/l à l'estuaire (FigureIV.6). L'apport important en matières organiques dans l'estuaire s'explique par les rejets domestiques de la ville de Rachgoun. Globalement, les teneurs en DCO dépassent la norme (40mg/l) approuvé par OMS (2013).

La demande chimique en oxygène, représente le paramètre habituellement utilisé d'une manière indirecte, pour décrire la charge organique de l'eau (GAID, 1993; ADLER, 2005). Si la matière organique présente des effets néfastes pour les milieux aquatiques par la surconsommation d'oxygène de ces milieux, elle est d'un grand intérêt en irrigation. Les effets de la matière organique s'exercent principalement sur les propriétés du sol, soient physiques (stabilité structurale, aération, rétention et économie d'eau), chimiques (capacité d'échange) ou biologique (HILLEL, 1998 ; SPARKS, 2003).

#### **IV.3.2 Paramètres inorganiques - Métaux lourds :**

Les figures IV. 7 et IV.8 montrent les variations temporelles et spatiales des dix métaux (Cu, Cd, Ni, Mo, Cr, Co, Fe, Pb, Zn, Mn) détectés durant toute la campagne d'échantillonnage dans les cinq stations d'étude. Le tableau des valeurs maximales, minimales, moyennes et écarts des concentrations métalliques sont données en annexe 4.

##### **IV.3.2.1 Zinc :**

Durant toute la période d'étude, les concentrations du zinc restent largement négligeables pour les deux premiers prélèvements, avec un minimum de 0,01mg/l marqué au début de mars à Bourouaha. Ensuite, augmentent pendant la mi-mars et atteignent 1.845 mg/l inscrit à la station d'Isser (Figure IV.7). En ce qui concerne les variations spatiales (Figure IV.8), les teneurs restent similaires le long des cinq stations, elles diminuent légèrement de l'amont à

l'aval allant de 0,49 à 0,66 mg/l relevées respectivement à Isser et l'estuaire. Dans l'ensemble, les résultats restent conformes à la valeur maximale 2 mg/l fixée par l'OMS (2013) pour l'eau destinée à l'irrigation.

L'apport en zinc marqué au niveau de la zone d'étude est le résultat du déversement des eaux usées de la ville de Rachgoun et notamment le lessivage des ordures ménagères incontrôlées au bord de l'estuaire (FELLAH, 2010). En effet, le zinc forme de 44 à 47% des piles et, accumulateurs, 12 à 13% des produits ferreux protégés par zinc contre la corrosion, 11 à 13% des caoutchoucs, 8 à 9% des papiers-carton, etc (PHILIBERT et al., 2002). D'autre part, les sols cultivés peuvent aussi contribuer dans l'apport en zinc, puisque les fertilisants utilisés sont responsables de cet apport. D'ailleurs, MERMUT et al., (1996) ont montré que les fertilisants à base d'azote et de phosphate peuvent contenir jusqu'à 83,3 mg du zinc par kilogramme/de fertilisants.

#### **IV.3.2.2 Cuivre :**

La variation temporelle du cuivre (Figure IV.7), Montre une variation notable le long de la période de prélèvement. Le maximum est d'ordre de 0,27mg/l enregistrée durant la mi-mars au niveau de l'estuaire, et en trace à Beni ghanem pendant le mois de février.

Au regard des résultats trouvés (Figure IV.8), les teneurs moyennes en cuivre augmentent légèrement d'une station à une autre. Elles s'échelonnent entre 0,06 mg/l à Beni ghenam et 0,16 mg/l à Oulhaça. Dans l'ensemble, toutes les teneurs enregistrées restent inférieures au seuil (0,2 mg/l) fixée par l'OMS (2013) pour l'eau destinée à l'irrigation.

#### **IV.3.2.3 Plomb :**

L'ensemble des résultats obtenus pour le plomb pendant la période d'étude révèle d'une manière globale, que toutes les valeurs restent négligeables au cours du mois de février et au début de mars, puis ces concentrations augmentent pendant la mi-mars et atteignent les valeurs maximales (0,97 et 0,815 mg/l) marquées respectivement au niveau d'Oulhaça et l'estuaire (Figure IV.7). Les teneurs moyennes en plomb (Figure IV.8) varient de 0 à 0,32 mg/l. Les fortes teneurs sont soulignées au niveau d'Oulhaça et l'estuaire. Cependant, toutes les concentrations en plomb dans notre zone d'étude se situent en dessous de la norme (5mg/l) fixée par l'OMS (2013) pour l'eau destinée à l'irrigation.

**IV.3.2.4 Cadmium :**

Les teneurs en cadmium présentent des variations qui semblent identiques pendant le mois de mars (Figure IV.7). La concentration la plus élevée (19,06 mg/l) est enregistrée durant le mois de février après des pluies torrentielles. En revanche, les concentrations diminuent et atteignent la valeur minimale de 6,872 mg/l notée à la mi-mars au niveau de l'estuaire. Ceci s'explique probablement par les phénomènes de dilution (FELLAH, 2010).

La variation spatial consigné sur la figure (IV.8), révèle une évolution similaire le long des cinq stations, elles fluctuent entre 8,04 et 11,57mg/l notés respectivement au niveau de Bourouaha et Beni ghanem. La contamination par le cadmium est largement prononcée, elle dépasse la valeur limite (0,01mg/l) préconisée par OMS (2013) pour l'eau destinée à l'irrigation. En revanche, puisque il n'y a pas de source industrielle du cadmium à proximité du site, cette contamination serait peut être liée à l'activité agricole utilisant des composés phosphatés contenant d'importantes quantités de cadmium (BEN BOUIH et al., 2005).

**IV.3.2.5 Cobalt :**

Nous constatons que les teneurs en cobalt restent avoisinantes au cours des deux premières sorties (Figure IV.7), la valeur minimale est de l'ordre de 0,296 mg/l inscrite à Beni ghanem. Puis, elles augmentent durant la mi-mars atteignant 0,847 mg/l au niveau de l'estuaire. Le cobalt (Figure IV.8) manifeste des concentrations importantes et identiques durant tous les points de prélèvement, elles accroissent régulièrement de 0,39 à 0,49 mg/l allant de l'amont vers l'aval. En générale, les valeurs moyennes de cobalt restent largement supérieures à la norme de l'OMS (2013) estimée (0,05 mg/l) pour l'eau destinée à l'irrigation.

**IV.3.2.6 Chrome :**

Il ressort de la figure (IV.7) que les teneurs enregistrées varient entre 0,045 mg/l à Isser et 0,223 mg/l à l'estuaire, les plus grandes valeurs sont marquées durant la mi-mars. Alors que, les teneurs moyennes présentent des variations qui semblent identiques le long de la zone d'étude (figure IV.8). Elles sont acceptables et de l'ordre de 0,08 et 0,1 mg/l, et restent inférieure à la norme (0,1mg/l) établies par l'OMS (2013) pour l'eau destiné à l'irrigation.

**IV.3.2.7 Fer :**

Les résultats illustrés sur la figure IV.7, nous indique que l'évolution temporelle des concentrations du fer reste identique au cours de la campagne, à l'exception de la teneur 0,81mg/l marquée au début du mois de mars à l'estuaire. Concernant les teneurs moyennes

(Figure IV.8), elles sont très voisines pour les quatre premières stations, varient entre 0,08 et 0,1 mg/l respectivement à Bourouaha et Isser, puis elles augmentent brusquement jusqu'à 0,33 mg/l l'estuaire. En revanche, les résultats trouvés ne présentent aucun danger pour l'environnement. Elles restent inférieures à 5 mg/l fixée par l'OMS (2013) pour l'eau destinée à l'irrigation.

#### **IV.3.2.8 Molybdène :**

Selon la (Figure IV.7), les concentrations en molybdène sont généralement négligeables, la concentration maximale (0,5 mg/l) est inscrite au début du mois de mars au niveau de Beni ghanem. Concernent la variation spatial, les teneurs moyennes en molybdène varient d'une manière irrégulière (Figure IV.8), elles sont en traces et de l'ordre de 0 et 1,2 mg/l inscrites à Oulhaça et Beni ghanem. Cependant, toutes les valeurs dépassent largement le seuil (0,01 mg/l) de l'OMS (2013) pour l'eau destiné à l'irrigation.

#### **IV.3.2.9 Nickel :**

En ce qui concerne les concentrations temporelles du nickel (Figure IV.7), toutes les valeurs sont à l'état de traces et sont comprises entre 0,002 durant la mi-mars à Isser et 0,299 mg/l en février à l'estuaire. L'analyse spatiale (Figure IV.8) montre que les teneurs moyennes oscillent entre 0,014 mg/l à Bourouaha et 0,11 mg/l à l'estuaire. Les cinq stations étudiées présentent des valeurs inférieurs à 0,2 mg/l fixés par l'OMS (2013) pour l'eau destinée à l'irrigation.

#### **IV.3.2.10 Manganèse :**

Nous observons que le manganèse a été détecté uniquement en trace au début de mars avec des concentrations comprises entre 0,2 et 1mg/l (Figure IV.7). Les teneurs moyennes de l'élément manganèse restent légèrement élevées durant notre étude. La teneur maximal (0,33mg/l) est observé au niveau d'Oulhaça, la teneur minimale (0,06mg/l) notée au niveau de l'estuaire (Figure IV.8). Les résultats obtenus dépassent largement la valeur limite (0,2mg/l) souscrite par l'OMS (2013) pour l'eau destinée à l'irrigation.

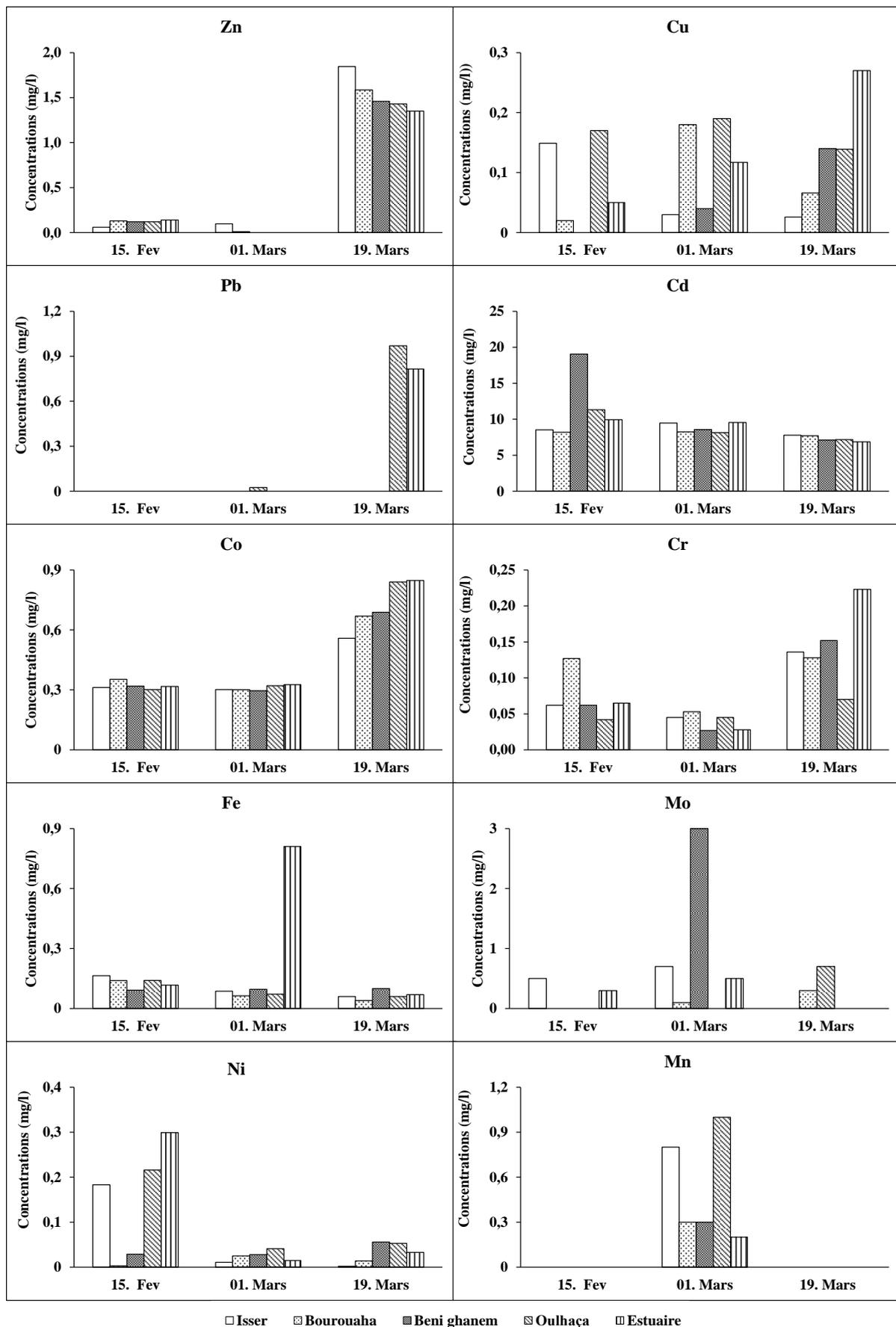


Figure IV.7 : Variations temporelles des teneurs métalliques

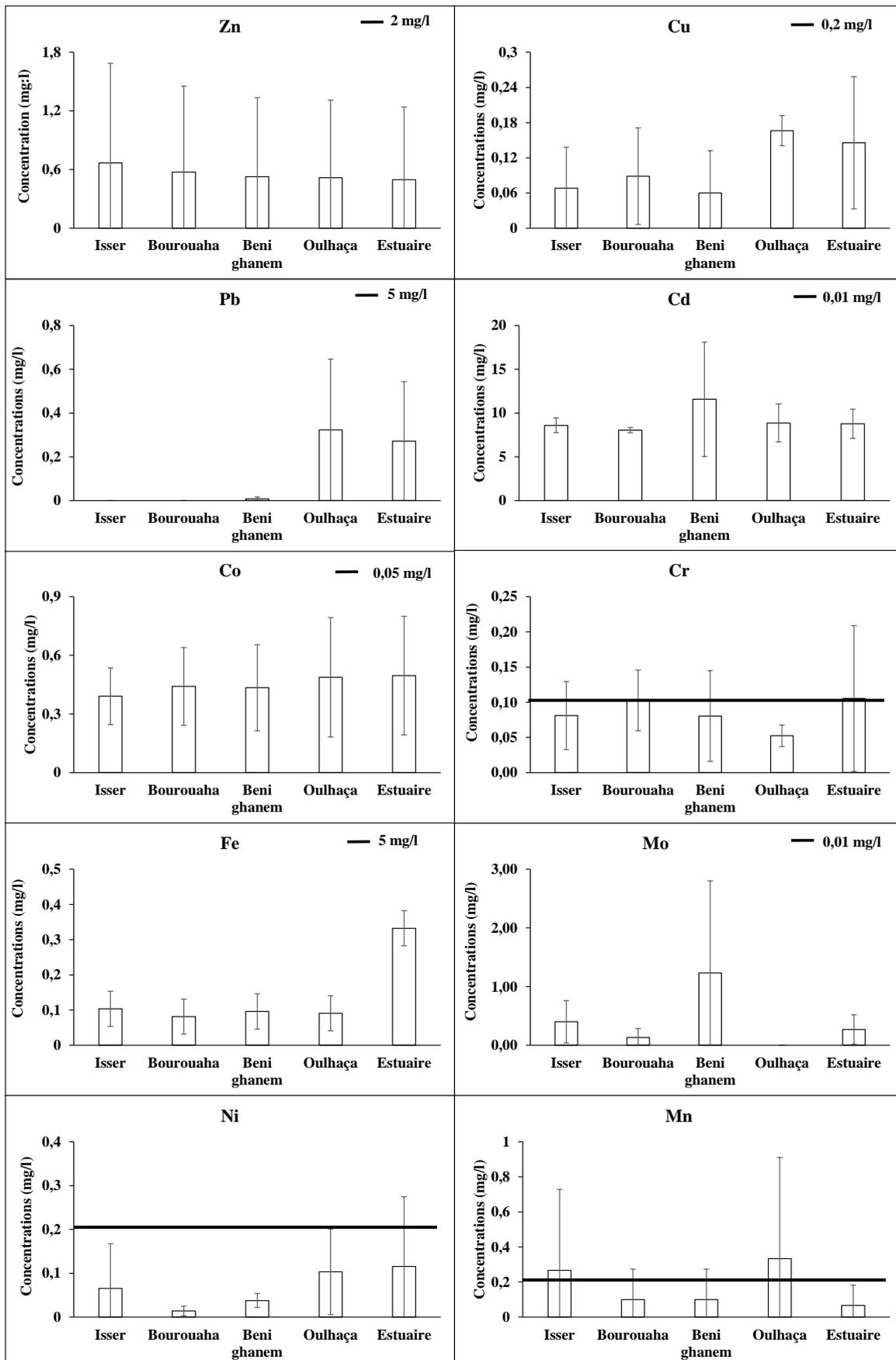


Figure IV.8 : Variations spatiales des teneurs métalliques

**IV.4 Calcul d'indice :**

Pour situer le degré de contamination en métaux lourds de oued Tafna, nous avons calculé le HEI :

L'indice d'évaluation en métal fournit une qualité globale de l'eau par rapport aux métaux (EDET et OFFIONG, 2002) et il est exprimé par la relation suivante :

$$HEI = \sum_{i=1}^n \frac{H_c}{H_{mac}}$$

D'où : Hc : La concentration surveillée

Hmac : La concentration maximale admissible

Le métal	Cu	Pb	Mo	Ni	Fe	Cr	Zn	Mn	Cd	Co	La somme
HEI	0,5	0,024	40	0,3	0,028	0,016	0,275	0,85	917	9	967,993

**Tableau IV.1 : Résultats du HEI calculés**

Selon les résultats mentionnés dans le tableau IV.1, exceptionnellement pour le cadmium et le molybdène, nous constatons que le HEI de notre eau ne dépasse pas la valeur maximale qui est de 20. La concentration élevée en cadmium et en molybdène peut être expliquée par une pollution ponctuelle.

**1.5 Analyse factoriel :**

La figure IV.9 présente les plans factoriels calculés à partir des paramètres physico-chimiques, de minéralisation et de pollution.

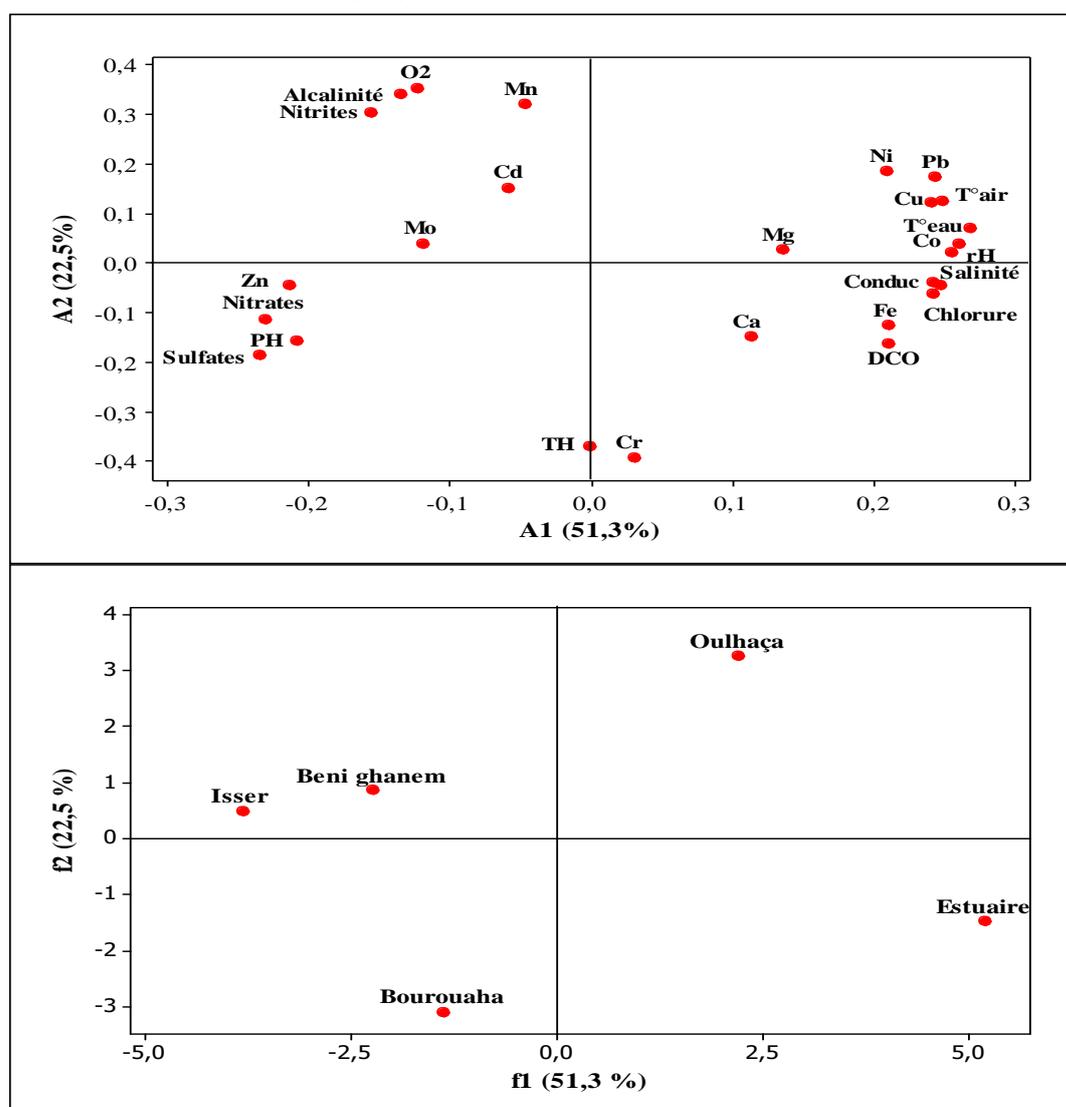
Deux premiers axes représentent respectivement 51,3% et 22,5% de l'information, soit 73,7 % de la variabilité totale. Le plan factoriel f2 permet de distinguer les paramètres physico-chimiques, de minéralisation et de pollution.

L'axe 1 : Il existe une corrélation positive entre les stations Oulhaça et l'estuaire et les paramètres suivants : Ni, Pb, Cu, Fe, Co, T°air, T°eau, rH, conductivité, salinité, chlorures, DCO, Cr, Mg et Ca, et une corrélation négative avec les paramètres suivants : Zn, nitrates, pH, sulfates, nitrites, Mo ,Cd ,O<sub>2</sub>, Alcalinité et Mn .

Les concentrations les plus importantes du Ni, Pb, Cu, Fe, Co, les températures de l'air et l'eau, le potentiel rédox ( $r_H$ ), la conductivité, la salinité, le chlorures et la DCO, Ca, Mg, Cr sont importants dans les stations de Oulhaça et l'estuaire.

L'axe 2 : les points colonnes de coordonnées positives sont présentés par O<sub>2</sub>, alcalinité, nitrites, Mn, Cd, Mo, Ni, Pb, Cu, T°air, T°eau,  $r_H$ , Co et Mg à l'opposé Zn, nitrates, pH, sulfates, Ca, conductivité, chlorures, salinités, Fe, DCO et Cr sont de coordonnées négatives.

Il existe une corrélation positive entre les stations Isser, Beni ghanem et Oulhaça et les paramètres suivants : O<sub>2</sub>, l'alcalinité, nitrites, Mn, Cd, Mo, Mg, Ni, Pb, T°air, T°eau, Cu, Co,  $r_H$  et une corrélation négative avec les paramètres suivants : Zn, nitrates, pH, sulfates, conductivité, salinité, chlorures, Fe, DCO, Ca et Cr.



**Figure IV.9 :** Plan factoriel engendré par les deux premiers axes calculés à partir des paramètres physico chimiques, minéralisation et de pollution

**IV.6 Comparaison des résultats avec la littérature :**

Dans cette partie, nous avons comparé les résultats obtenus avec la littérature et les normes de l'OMS (2013) et les normes marocaines (2007) pour l'eau destinée à l'irrigation. Afin de situer la qualité de notre eau.

**Tableau IV.2 :** Comparaison des paramètres de pollution de oued Tafna avec la littérature et les normes de l'OMS (2013) et les normes marocaines (2007)

Les paramètres de pollution en (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	DCO	Cu	Pb	Mo	Ni	Fe	Cr	Zn	Mn	Cd	Co
Oued Soumam	61,83	0,72	542,49	1354,15	98,13	0,19	1,7	-	-	2,01	-	0,21	-	0,56	-
Oued Es-Souk	-	-	1251,9	-	-	-	2,04	-	-	580,509	-	577,597	8,588	1,4222	-
Oued sebou	44,25	-	38,05	170,5	-	1,5	-	-	-	49	5,65	-	-	0,05	0,36
Oued Fés	242	-	78,3	277	-	4,6	-	-	-	180	59	-	-	0,07	1
Oued Bouregreg	16,16	-	39,73	33,40	-	-	25,08×10 <sup>-3</sup>	-	-	-	0,55×10 <sup>-3</sup>	-	-	0,22×10 <sup>-3</sup>	-
Oued Tafna	7,60	3,80	3552	863,06	58,05	0,10	0,12	0,40	0,06	0,14	0,08	0,55	0,17	9,17	0,45
Les normes de l'OMS (2013) pour l'eau destinée à l'irrigation	50	1	-	-	40	0,2	5	0,01	0,2	5	0,1	2	0,2	0,01	0,05
Les normes marocaines pour l'eau destinée à l'irrigation (2007)	30	-	250	350	-	2	5	0,01	2	5	1	2	0,2	0,01	0,5

Les résultats obtenus (Tableau IV.2) pour l'eau d'oued Tafna sont comparables à celles rapportées pour des études similaires des eaux des oueds Fès et Sebou (HAYZOUN, 2014), oued Bouregreg (ZERKI, 2013), oued Soummam (MOUSSACEB, 2009) et oued Es-Souk (BOUKHALFA, 2010).

Nous constatons que les teneurs en nitrates sont largement inférieures à la littérature ; cependant les nitrites dépassent les valeurs marqués pour oued Soummam, pour les chlorures les valeurs dépassent largement celles trouvés pour les oueds marocains (Sebou, Fés et Bouregreg). Nos eaux présentes des concentrations en sulfates fortement élevés aux autres oueds.

Concernant les métaux lourds, nos eaux présentes des faibles teneurs, à l'exception du cadmium qui est présent en grande quantité dépassent les normes pour l'eau d'irrigation. Majoritairement, tous les résultats trouvés respectent les normes pour l'eau d'irrigation, ce qui nous amène à placer l'eau de oued Tafna comme étant une eau destiné à l'irrigation.

# **CONCLUSION GENERALE**

## **CONCLUSION GENERALE**

La présente étude s'inscrit dans le contexte de l'évaluation des eaux de oued Tafna. Elle se fixe comme objectifs la caractérisation de la qualité de cette eau, car elle a une importance primordiale dans l'alimentation des terrains agricoles avoisinants. Le bassin versant de la Tafna est la principale unité hydrographique de l'extrême Ouest algérien.

Notre travail est une continuation des travaux antérieurs réalisés sur cette région. Pour cela, cinq stations ont été prises en compte en aval du bassin versant de la Tafna, qui sont Isser, Bourouaha, Beni ghenam, Oulhaça et l'estuaire de la Tafna à la plage de Rachgoun.

Afin de dresser un bilan général sur la qualité de cette eau, nous nous sommes basés sur la détermination de certains paramètres, comme les paramètres physico-chimiques, de minéralisations et de pollution.

Du point de vue physico-chimique, les résultats obtenus montre que le pH de notre eau est légèrement alcalin, une salinité acceptable croissante de l'amont vers l'aval.

Du point de vue chimique, nos résultats ont démontré que l'eau de Tafna est dure le long des cinq stations, avec une alcalinité conforme aux normes de l'eau destinée à d'irrigation.

Concernant les résultats des polluants étudiés, les nitrites, les chlorures, les sulfates, et la DCO se trouvent à des quantités élevées dépassent les normes adoptés pour l'eau d'irrigation ce qui indique une pollution anthropique. Pour la détermination du degré de pollution métallique, nous avons réalisés l'analyse de dix métaux suivis par le calcul de l'indice de l'évaluation en métal (*HIE*).

L'analyse factoriel confirme nos résultats expérimentaux, et montre que Oulahaça et l'estuaire sont des zones à risque.

Mis à part le cadmium, le molybdène et le cobalt, les résultats obtenus sont conformes aux normes adoptés pour l'eau destinée à l'irrigation.

En perspectives, la détermination d'autres paramètres comme le sodium et le potassium seraient souhaitables pour pouvoir calculer le SAR (risque du sodium pour l'eau), l'élaboration du diagramme de Piper, de Schoeller Berkloff et de Riverside, etc....

Certaines recommandations doivent être suivit afin d'éviter la détérioration de la qualité des eaux et des sols agricoles de la région :

- Traitement des effluents issus des industries avant de les rejetés dans l'environnement.
- L'utilisation raisonnable des engrais en agricultures.
- Une surveillance périodique de l'eau d'irrigation reste importante.

# **BIBLIOGRAPHIE**

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

**ADLER E., 2005.** Eléments sur l'épuration des eaux usées et la gestion des sous-produits de l'assainissement. Centre d'Affaires des Monts d'or, St Genis les Ollières, p 87.

**AMINOT A., et KEROUEL R., 2004.** Hydrologie des écosystèmes marins. Paramètres et analyses. Edition Ifremer, p 160.

**(ANRH) : L'agence Nationale des Ressources Hydrauliques, 2010. Ourgla, p 9.**

**AOUISSI A., HOUHAMDI M., 2009.** Contribution à l'étude de la qualité de l'eau de quelques sources et puits dans les communes de Belkheir et Boumahra Ahmed. Prossiding. Laboratoire LBEE, Université Guelma, p 9.

**BAZIZ N., 2008.** Etude sur la qualité de l'eau potable et risque potentiels sur la sante cas de la ville de Batna. Mémoire magister. Université de Batna, p 154.

**BEMMOUSSAT A., 2012.** Impact de l'activité agricole sur la qualité des eaux souterraines à travers le bassin de la Tafna. Mémoire de magister. Option : Mobilisation et protection des ressources en eau. Université de Tlemcen. Département d'hydraulique.

**BEMMOUSSAT A., ADJIM M., BENSAOULA F., 2014. Etude des eaux souterraines de la plaine d'Henaya (bassin de la Tafna – NW Algérien).** Prossiding. Université de Tlemcen, p 73.

**BEN BOUIH H., NASSALI H., LEBLANS M., et SRHIRI A., 2005.** Contamination en métaux traces des sédiments du lac Fouarat (Maroc). Afrique Science, 1(1) :109-125.

**BENGOUMI M. et al., 2004.** Qualité de l'eau en aviculture. Revue trimestrielle d'information scientifique et technique – Volume 3 – N°1, Maroc, 5-25.

**BERMOND R., VUICHAARD R., 1973.** Les paramètres de la qualité des eaux. Documentation Française, Paris, p 179.

**BLIEFERT C., et PERRAUD R., 2008.** Chimie de l'environnement air, eau, sols, déchets. 2<sup>ème</sup> édition. Paris, p 478.

**BOISLEVE J.B., 1997.** Les métaux toxiques .Conseil et formation santé relations humaine, p 10.

**BONNET C., 2000.** Développement de bioessais sur sédiments et applications de l'étude en laboratoire, de la toxicité de sédiments dulçaquicoles contaminés. Thèse de doctorat. Université de Metz, p 326.

**BOUANANI A., 2004.** Hydrologie, transport solide et modélisation : Etude de quelques sous-bassin de la Tafna. Thèse de doctorat. Es-Sciences. Université de Tlemcen, p 250.

**BOUAROUDJ S., 2012.** Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation. Mémoire magister. Université de TLEMEN, p 25.

**BOUKHALFA C., 2010.** Heavy metals in the water and sediments of Oued Es-Souk, Algeria, a river receiving acid effluents from an abandoned mine. African Journal of Aquatic Science, 32:3, 245-249.

**BOUKHATEB Y., 2013.** Etude des Diptères Simuliidae de la haute Tafna (Nord-Ouest algérien). Mémoire de master. Université de Tlemcen, p 24-25.

**CHAHLAOUI A., BENGOUIMI D., EL MOUSTAINE R., BELGHITI M L., 2013.** Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe Plio-Quaternaire dans la région de Mekenèse (Maroc). Larhyss Journal, 14, 21-36.

**CHAIBI R., 2014.** Connaissance de l'ichtyofaune des eaux continentales de la région des aures et du sahara septentrional avec sa mise en valeur. Thèse de doctorat. Université de Biskra, p 237.

**COULIBALY K., 2005.** Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau des puits de certains quartiers du district de BAMAKO. Thèse de doctorat. Faculté de Médecine de Pharmacie et D'Odonto- Stomatologie, p 69.

**DALI YUCEF N., 2005.** Contribution à l'étude des polluants métalliques dans les sédiments de oued Tafna. Thèse de doctorat. Université de Tlemcen, p 28.

**DAJOZ R., 2006.** Précis d'écologie. Edition Dunod. Paris, 8ème édition, p 640.

**DEBBAKH A., 2012.** Qualité et dynamique des eaux des systems Lacustres en amont de l'Oued Righ. Mémoire de magister. Université de KASDI MERBAH, p 176.

**DJOGHLAF A. et ANADA T., 2010.** Eau potable, biodiversité et développement. Secrétariat de la convention sur la diversité biologique. Un guide des bonnes pratiques, p 48.

**DUSSART B., 1966.** Limnologie : Etude des eaux continentales. Gauthier-Villars, Ed., Paris, p 25.

**EDET, A.E., OFFIONG, O.E., 2002.** Evaluation of water quality pollution indices for heavy metal contamination monitoring. A study case from Akpabuyo-Odukpani area, Lower Cross River Basin (Southeastern Nigeria). - GeoJournal 57: 295-304.

**EMBERGER L., 1955.** Une classification biologique des climats. Rev. Trav. lab. Bot. Et Zool. Fac. Sci. Montpellier, série Bot, Vol 7 : p 3-43.

**EWERS U., SCHILPKOTER H.W., 1991.** Chronic toxicity of metals and metals compounds, In: Metals and their compounds in the environment. Edition Merian E, VCH, Weinheim, 591-604.

**FELLAH A., 2010.** Contribution a l'étude des polluants métalliques dans l'eau et les sédiments de l'estuaire de la Tafna ( Rachgoune ,Tlemcen ).magister en chimie. Université de Tlemcen, p 95.

**FILMED, 2010.** Forum Interrégional des Lagunes Méditerranéennes. Journal Pôle relais lagunes méditerranéennes, p 8.

**GAID A., 1993.** Traitement des eaux usées urbaines. Techniques de l'Ingénieur, C5 – 220 -2, p 30.

**GRAINI L., 2011.** Contrôle de la pollution de l'eau par méthode acousto-optique. Thèse de magister. Université de Setif, p 106.

**HAYZOUN H., 2014.** Caractérisation et quantification de la charge polluante anthropique et industrielle dans le bassin du Sebou. Thèse de doctorat. Université de Toulon, p 175.

**HCEFLCD : Haut-Commissariat Aux Eaux et Forêt et la Lutte Contre la Désertification, 2006.** Etude sur la pisciculture au barrage Almassira, CR dar CHAFAAI, Cercle d'ELBROUGE, Province de Settat, p 201.

**HILLEL D., 1998.** Environmental soil physics: fundamentals, applications and environmental considerations. Academic Press, p 801.

**INERIS, 2005.** Fiches de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques.

**KHAWAJIA A.D., KUTUBKHANHA I.K., WIEB J-M., 2008.** Advances in seawater desalination technologies. Desalinéation, 221, 47–69.

**LAFTANT L., 2009.** Fractionnement des isotopes stable de mercure bolivienne et dans les cheveux de populations humaines exposées. Thèse de doctorat. Université de Toulouse.

**LECHAARI M., 1990.** Contribution a l'étude hydrogéologique des nappes superposées de la MANUEL DE BERGEY., 1984. Systematique bactériologie ; 9th édition, p 533.

**MERMUT A.R., JAIN J.C., SONG L., KERRICH R., KOZAK L., JANA. S., 1996.** Trace element concentrations of select soils and fertilizers in Saskatchewan, Canada. Environ. Qual. 25, 845-853.

**MEROUANI M., et BOUGUEDAH A., 2013.** Etude de la pollution chimique et la vulnérabilité alla pollution des eaux souterraines de la cuvette d'OUARGLA. Mémoire de master. Université Ouargla, p 59.

**MEYBECK M., KUUSISTO E., MAKELA A., MALKKI E., 1996.** A practical guide to the design and implementation of fresh water quality studies and monitoring programme, E & F.N. Spon, Water quality Monitoring. In : J. Bartram, R. Balance, London. 9-34.

**MOIRAND R., MORTAJI AM., LOREAL O., PAILLARD F., BRISSOT P., DEUGNIER Y., Lancet, 1997.** A new syndrome of liver iron overload with normal transfer in saturation. 349, 95-7.

**MOUSSACEB K., 2009.** Etude et caractérisation physico-chimique des eaux de l'oued Soummam (Algérie). Sécheresse ; 20 : 360-6. doi : 10.1684/sec.2009.0209.

**NECHAD I., FADIL K., FADIL F., 2009.** Qualité physicochimique des eaux des sources Ain Regrag et Ain Sidi Bouali dans la région de Sefrou (moyen atlas, Maroc). prossiding. Université de Fès. p 137.

**NORME MAROCAINE, 2007.** Qualité des eaux d'alimentation humaine. Norme marocaine de l'eau potable NM 03.7.001(<http://www.sante.gov.ma/Departements/DELM/cd%20zakia/NM037001.pdf>. consulté le 20/03/2013).

**OMS., 2013.** Organisation mondiale de la santé. Guidelines for drinking-water quality. Fourth edition. ISBN 978 92 4 154815 1.

**PHILIBERT J., 2002.** Métallurgie, Du minerai au matériau, Dunod, 2ème édition, Paris.

**RAMADE F., 2003.** Elément d'écologie. Ecologie fondamentale. Edition Dunod. 3<sup>ème</sup> édition, p 704.

**RHOADES J.D., 1992.** The use of saline waters for crop production. FAO irrigation and drainage paper n°48, FAO, Rome.

**RODIER J., 2009.** L'analyse de l'eau, Eaux naturelles, Eaux résiduelles, Eaux de mer, Edition Dunod 9<sup>ème</sup> édition, Paris, p 1526.

**SAMAKE H., 2002.** Analyse physico-chimique et bactériologique au L.N.S des eaux de consommation de la ville de Bamako durant la période 2000 et 2001, p 77.

**SANTE CANADA, 1992.** Le nitrate et le nitrite. Consulté en janvier 2006 sur le site : [http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/alt\\_formats/hecs-sesc/pdf/pubs/water-eau/doc-sup-appui/nitrate\\_nitrite/nitrate\\_nitrite\\_f.pdf](http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/alt_formats/hecs-sesc/pdf/pubs/water-eau/doc-sup-appui/nitrate_nitrite/nitrate_nitrite_f.pdf).

**SARI H., 2014.** Contribution a l'étude de la qualité chimique et bactériologique de l'eau de la source « ATTAR» (TLEMCEM). Thèse de magister. Université de Tlemcen, p 92.

**SIGG L., BEHRA P., et STUMM W., 2014.** Chimie des milieux aquatiques. Illustration de couverture : canal du MIDI © PHILIPPE BEHRA. 5<sup>ème</sup> édition. Paris, p 30.

**SPARKS D.L., 1998.** Environmental soil chemistry. Academic Press, p 267.

**SIMONSEN, L. O., HARBAK, H., AND BENNEKOU, P. (2012).** Cobalt metabolism and toxicology—A brief update. *Sci. Total Environ.* 432, 210–215.

**TARDAT-HENRY M. et BEAUDRY J.P., 1984.** Chimie des eaux. Les éditions : Le Griffon d'argile, Sainte-Foy, Québec, p 340.

**TARIK A., 2005.** Qualité physico-chimique de l'eau de boisson et la solubilité de certains médicaments utilisés chez la volaille dans certaines Région du Maroc. Thèse de doctorat vétérinaire IAV Hassan II. Rabat. Maroc, p 183.

**TINTHOIN R., 1948.** Les aspects physiques du tell oranais. Essais de morphologie du pays semi-aride. Edition fouque. Oran, Algérie, p 638.

**VERNET M., CORBERAND J., DAVID V., DEUGNIER Y., FREY J., GIRAUDET P., RENVERSEZ J.C., SEBAHOUN G., 2001.** Algorithmes de prescription recommandés pour le diagnostic d'un déficit et d'un surcharge en fer, *Annales de biologie clinique*, 2, 149-55.

**ZERKI N., (2013).** Apport de la chimiométrie pour l'analyse et l'interprétation de quelques paramètres physico-chimiques influençant la répartition des métaux lourds, des éléments nutritifs et des anions dans les eaux de l'oued de Bou Regreg, Thesis, Fac. des Sci., Université de Rabat, Morocco.

# **ANNEXES**

**Annexe 1 : Valeurs maximales, minimales, moyennes et écarts types des paramètres physicochimiques mesurés dans l'eau pour les cinq stations de oued Tafna durant les trois campagnes d'échantillonnage**

	Température de l'air (°C)	Température de l'eau (°C)	pH	Conductivité (ms/cm)	Oxygène dissous (mg/l)	Salinité (g/l)	Potentiel redox (mv)
Minimum	13,5	13,1	7,68	1,7	5,58	0,9	-74
Maximum	24,1	18,6	8,12	5,62	9,05	4,7	-51
Moyenne	18,5	16,58	7,94	3,15	7,62	1,7	-66,33
Ecarts types	1,91	1,26	0,098	1,3	0,76	0,61	4,37

**Annexe 2 : Valeurs maximales, minimales, moyennes et écarts types des paramètres de minéralisation analysés de l'eau pour les cinq stations de oued Tafna durant les trois campagnes d'échantillonnage**

	La dureté totale (mg/l)	Alcalinité (mg/l)	La dureté calcique (mg/l)	La dureté magnésienne (mg/l)
Minimum	290	180	4	23
Maximum	520	450	90	95
Moyenne	431,33	285,33	45,46	73,26
Ecarts types	74,73	67,22	33,09	17,5

**Annexe 3 :** Valeurs maximales, minimales, moyennes et écarts types des paramètres de pollution (organiques) analysés de l'eau pour les cinq stations de oued Tafna durant les trois campagnes d'échantillonnage

	Les nitrates (mg/l)	Les nitrites (mg/l)	Les chlorures (mg/l)	Les sulfates (mg/l)	La DCO (mg/l)
Minimum	0	0,62	410	2400	15
Maximum	30	16,5	2540	5520	99
Moyenne	7,6	3,8	863,06	3552	2640
Ecart types	6,78	4,87	447,99	755,30	15,37

**Annexe 4 :** Valeurs maximales, minimales, moyennes et écarts types des paramètres de pollution (inorganiques-Métaux lourds) analysés de l'eau pour les cinq stations de oued Tafna durant les trois campagnes d'échantillonnage

	Fe (mg/l)	Cu (mg/l)	Pb (mg/l)	Co (mg/l)	Mo (mg/l)	Ni (mg/l)	Zn (mg/l)	Cd (mg/l)	Cr (mg/l)	Mn (mg/l)
Minimum	0,04	0	0	0,296	0	0,002	0	6,87	0,045	0
Maximum	0,81	0,27	0,97	0,847	0,5	0,299	1,84	19,06	0,223	1
Moyenne	0,14	0,1	0,12	0,45	0,4	0,067	0,55	9,17	0,08	0,17
Ecart types	0,11	0,07	0,2	0,23	0,46	0,07	0,84	2,3	0,05	0,3

## المخلص:

الخصائص الفيزيائية والكيميائية (درجة الحرارة، درجة الحموضة، الناقلية، الأوكسجين المذاب، الملوحة وإمكانية الأكسدة) خصائص التمعدين (قساوة الماء، القلوية، الصلابة الكالسيوم، و صلابة المغنيسيوم) وخصائص التلوث (النترات، النتريت، الكلوريدات، الكبريتات، طلب الأكسجين الكيميائي والمعادن الثقيلة) تم تحديدها في خمس محطات من مصب وادي تافنة (إيسر، بورواحة، بني غانم، ولهاصة ومصب الوادي الواقع على مستوى شاطئ رشقون) بغرض تقييم نوعية مياه وادي تافنة (شمال غرب الجزائر) التي تستعمل لري المناطق الفلاحية المجاورة. فنتائج الخصائص الفيزيائية والكيميائية لم تظهر اية خاصة معينة، فيما يتعلق بخصائص التمعدين فمياه تافنة تعتبر قاسية والتي يمكن تفسيرها بالاتصال المباشر للماء مع الصخور. واخيرا فالنتائج المتحصل عليها و المتعلقة بمعايير التلوث فإنها تبين وجود تدهور في نوعية مياه تافنة، كما ان المحتوى المعدني لهذه المياه يبدو منخفضا نسبيا باستثناء الكاديوم الذي سجل كميات جد معتبرة على مستوى محطات أخذ العينات الخمس.

**الكلمات المفتاح:** مياه الري، وادي تافنة، تلوث، المعادن.

## RESUME

Les paramètres physico-chimiques (température, pH, conductivité, oxygène dissous, salinité et le potentiel rédox), les paramètres de minéralisation (la dureté totale, l'alcalinité, la dureté calcique, et la dureté magnésienne) et les paramètres de pollution (les nitrates, les nitrites, les chlorures, les sulfates, la DCO, et les métaux lourds) ont été déterminés dans cinq stations en aval de oued Tafna (Isser, Bourouaha, Beni genam, Oulhaça, et l'estuaire situé à la plage de Rachgoun) pour l'évaluation de la qualité de l'eau de ce oued (Nord-Ouest Algérien), une eau destinée principalement à l'irrigation des périmètres agricoles.

Les résultats des paramètres physico-chimiques nous ont montré aucune anomalie particulière, mais concernant les résultats des paramètres de minéralisation l'eau de Tafna c'est avéré très dure cela s'explique par le contact de l'eau avec les roches et enfin Les résultats des paramètres de pollution montrent une dégradation de la qualité des eaux, aussi les teneurs métalliques de ces eaux sont relativement faibles sauf le cadmium qui atteint des concentrations particulièrement élevées au niveau des cinq stations de prélèvement.

**Mots clés :** eau d'irrigation, oued Tafna, pollution, métaux.

## ABSTRACT :

Physico-chemical (temperature, pH, conductivity, dissolved oxygen, salinity, and redox potential), mineralization parameters (total hardness, alkalinity, calcium hardness, and magnesia hardness) and pollution parameters (nitrates, nitrites, chlorides, sulphates, DCO, and heavy metal) were determined at five stations downstream of Tafna (Isser, Bourouaha, Beni genam, Oulhaça) and the estuary at Rachgoun) for water quality assessment of oued Tafna (Algeria's North-West). A water intended mainly for the irrigation of agricultural perimeters. The results of the physicochemical parameters showed us no particular anomaly, but concerning the results of the mineralization parameters the water of Tafna is proven very hard the contact of the water with the rocks, and finally the results of the pollution parameters show a degradation of the water quality, so the metallic contents of these waters are relatively low except cadmium which reaches particularly high concentrations at the five sampling stations.

**Keywords :** Irrigation water, Oued Tafna, pollution, metals.