

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

BADJI MOKHTAR UNIVERSITY ANNABA

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA



جامعة باجي مختار عنابة

Année 2013-2014

Faculté des Sciences

Département des Sciences de la Mer

# Thèse de Doctorat

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de  
Doctorat en Sciences

**Variations de la qualité des eaux et son  
impact sur le sol des zones humides du PNEK**

Option : Sciences de la Mer

Par

**Amel BENDJAMA**

Directeur de thèse : Pr. DJABRI Larbi

Université Badji Mokhtar Annaba

DEVANT LE JURY

**Président** : Pr. Bensouilah Mourad Abdelkrim

Université Badji Mokhtar Annaba

**Examineur 1**: Pr. Drardja Brahim

Université Badji Mokhtar Annaba

**Examineur 2**: Dr. Labar Sofiane (MCA)

Université El-Tarf

**Examineur 3**: Dr. Gouaidia Layachi (MCA)

Université Tébessa

**Examineur 4**: Dr. Baali Fethi(MCA)

Université Tébessa

---

**RESUME**

---

L'étude réalisée a pour objectif de caractériser les eaux superficielles et les sédiments de surface des zones humides du PNEK de la région d'El Kala, à travers le suivi spatio-temporel de plusieurs paramètres physico-chimiques et métalliques. Afin de réaliser notre étude, 144 prélèvements d'eau et de sédiment de surface ont été effectués au cours de l'année 2010.

L'étude des paramètres physico-chimiques a révélé des variations qui reflètent bien l'état réel et la nature des eaux superficielles douces et salines des zones humides de la région d'El-Kala. Ces variations reviennent à la localisation des stations étudiées qui sont influencées par les apports et les pertes des eaux douces et salines.

La matrice de corrélation des paramètres physico-chimiques montrent qu'il existe une forte corrélation entre la température et les autres paramètres.

Les résultats obtenus montrent que la distribution des métaux lourds analysés dans les deux matrices est assez variable, aussi bien entre les saisons, qu'entre les stations, cette observation est appuyée par le test d'analyse de la variance à un critère de classification.

Les paramètres physico-chimiques soumis à l'analyse en composante principale permettent de cerner une forte corrélation de la température de l'eau et du potentiel d'hydrogène avec le reste des paramètres analysés, et sur le plan spatial, on relève aussi que les paramètres physico-chimiques sont faiblement corrélés dans les eaux salines et fortement corrélés au niveau des eaux douces.

Cette étude relève aussi, que les eaux superficielles de la zone concernée sont indemnes de toute contamination par le fer, le cuivre et le zinc du fait que les valeurs d'indices de contamination relevés par ces éléments sont inférieures à la norme admise par notre étude, par contre ces eaux présentent des indices de contamination par le plomb, le chrome, le nickel et le manganèse nettement supérieurs à la norme.

Au niveau des eaux superficielles, il a été constaté une forte corrélation entre, le fer et le manganèse avec un «  $r=0.95$  » au niveau des trois lacs, le chrome et le nickel avec un «  $r=0.97$  » au niveau du lac Oubeira, le fer et le plomb avec un  $r=0.95$  au niveau du Tonga et El Mellah.

Les sédiments de surface de la zone d'étude sont contaminés par le fer, le plomb, le nickel et le chrome et indemnes de toute contamination par le cuivre, le zinc et le manganèse. Cette conclusion est appuyée par le calcul des indices de contamination relevés par ces éléments.

Les résultats des analyses relatifs aux métaux lourds des trois plans d'eaux ont permis de tracer pour les stations étudiées des histogrammes, l'observation de ces derniers montre une fluctuation des concentrations, selon une évolution saisonnière, présentant, une augmentation dans le sens saison humide, saison sèche, c'est-à-dire hiver, printemps et été, et une décroissance dans le sens été, automne.

La qualité des eaux et des sédiments dépend en grande partie de la qualité physico-chimique du milieu aquatique, surtout de la température de l'eau, et du potentiel d'hydrogène du milieu.

Cette étude confirme que les zones humides de la région d'El Kala souffrent d'un problème de pollution des eaux et des sédiments de surface, cette pollution est d'origine naturelle « nature géologique des sédiments et nature des eaux et d'origine anthropique (domestique : eaux usées et activités agricoles).

**Mots clés :** *eaux, sédiments, métaux lourds, zone humide, qualité, hydrochimie, contamination.*

---

**ABSTRACT**


---

The study aims to characterize the surface waters and surface sediments of wetlands PNEK of El Kala region through the spatio-temporal monitoring of several physico-chemical parameters and metal. To carry out this study, 144 samples of water and sediment surface were made during 2010. This study reveals the following lines.

The study of physico-chemical parameters to reveal variations that reflect the actual state and the nature of the surface water and saline wetlands of El-Kala region. These changes returned to the location of the studied stations that are influenced by the gain and loss of freshwater and saline.

The correlation matrix of the physico-chemical parameters show that there is a strong correlation between temperature and other parameters except for the electrical conductivity and the biochemical oxygen demand. Da couples strongly and positively correlated variables are (T-Ca), (pH-Ca), (OCD-TH), (BOD-TAC) (SDT-Ca), (TH-Ca) (Ca-Mg ) and (Mg-Cl).

The results show that the distribution of heavy metals analyzed in the two matrices are quite variable both between seasons and between stations, this observation is supported by the analysis of variance.

The physico-chemical parameters subject to principal component analysis allows to identify a strong correlation of temperature and water potential of the hydrogen with the remainder of the parameters analyzed. And spatially, it also notes that the physico-chemical parameters are weakly correlated in saline and highly correlated in freshwater waters.

It is part of this study that the surface waters of the study area are free of contamination by iron, copper and zinc that the evidence of contamination identified by these values are below the accepted standard for our study, for against these waters show evidence of contamination identified by the lead, chromium, nickel, and well above the standard manganese, thus qualifying the waters of the study area as water contaminated with these metals.

At the level of surface water is a strong correlation between iron and manganese with an " $r = 0.95$ " in the three lakes, a strong correlation between chromium and nickel with an " $r = 0.97$ " at the lake Oubeira, and a strong correlation between iron and lead with  $r = 0.95$  at the Tonga and El Mellah.

Surface sediments of the study area are contaminated with iron, lead, nickel and chromium and free from contamination by copper, zinc and manganese. This conclusion is supported by the calculated indices of contamination identified by these elements.

The results of analyzes on Heavy Metals of the three bodies of water have to draw histograms for the stations studied, the observation of these shows a fluctuating concentrations recent follow a seasonal pattern that is distributed according to a seasonal cycle, showing an increase taking place in the wet season meaning, dry season, that is to say, winter, spring and summer, then follows a decline taking place in the direction summer, autumn.

Water quality and sediment depends largely on the physico-chemical quality of the aquatic environment, especially water temperature, medium pH, redox potential, and suspended solids.

This study shows that wetlands of El Kala region suffer from a problem of water pollution and sediment surface, this pollution is natural and anthropogenic (domestic and agricultural).

**Keywords:** *water, sediment, heavy metals, wetland, quality, water chemistry, contamination.*

## ملخص

تهدف هذه الدراسة الى دراسة كيمياء المياه السطحية و تقييم مستويات التلوث بسبعة معادن ثقيلة و المتمثلة في الحديد، الزنك، النحاس، المنغنيز، النيكل، الكروم، الرصاص،) و ذلك بالبحيرات الرئيسية الثلاثة (طونغا، أبيرة، الملاح) لمجمع المناطق الرطبة للخطيرة الوطنية بالقالمة و ذلك على مستوى المياه و الرواسب مع تبين اثر هذا التلوث على راسب البحيرات الرئيسية الثلاثة. ولإجراء هذه الدراسة اُخذت 144 عينة من الماء و الراسب خلال سنة 2010

دراسة المعلمات الفيزيائية والكيميائية للكشف عن التغييرات التي تعكس الحالة الفعلية وطبيعة الأراضي الرطبة والمياه العذبة قليلة الملوحة في منطقة القالة . تعود هذه التغييرات إلى موقع المحطات المدروسة التي تتأثر بمكسب أو خسارة من المياه العذبة والمالحة .

مصفوفة الارتباط للمعلمات الفيزيائية والكيميائية تبين أن هناك علاقة قوية بين درجة الحرارة وغيرها من المعالم باستثناء الأكسجين الحيوي الممتص. أزواج بقوة والمتغيرات ارتباطا إيجابيا هي (T-Ca)، (pH- Ca) - (DCO-TH) (DBO5-TAC)، (Ca-Mg)، (CL-Mg)، (TH-Ca)، (TDS-Ca)

كما أظهرت النتائج المتحصل عليها أن توزيع المعادن الثقيلة التي تم تحليلها في كل من الراسب و الماء تعتبر متغيرة تماما سواء بين الفصول أو بين المحطات، و يدعم هذا الاستنتاج بطرق إحصائية أجريت على مختلف النتائج

المعلمات الفيزيائية و الكيميائية الخاضعة لACP وجود علاقة قوية بين درجة حرارة المياه و درجة الحموضة مع باقي المعلمات الخاضعة في هذه الدراسة. على المستوى المكانية نستنتج وجود علاقة ارتباط واضحة بين المعلمات الكيميائية الفيزيائية على مستوى المياه العذبة أما العلاقة على مستوى المياه المالحة فهي ضئيلة.

جزء من هذه الدراسة يبين أن المياه السطحية المحللة هي خالية من التلوث عن طريق الحديد والنحاس والزنك لأن عوامل التلوث التي تحصلنا عليها أقل من المعيار المأخوذ به في هذه الدراسة، كما أظهرت عوامل التلوث التي حددها كل من الرصاص والكروم والنيكل أنها أعلى بكثير من مستوى المنغنيز، وبالتالي تعتبر هدد المياه السطحية ملوثة بهذه المعادن.

المياه السطحية تمتاز بوجود علاقة قوية بين الحديد والمنغنيز مع  $R = 0.95$  " في البحيرات الثلاث، وجود علاقة تواجد قوية بين الكروم والنيكل مع  $R = 0.97$  " في بحيرة أبيرة ، و ارتباط قوي بين الحديد والرصاص مع  $R = 0.95$  في طونغا و الملاح. ملوثة الرواسب 7 سطح لمنطقة الدراسة مع الحديد والرصاص و النيكل و الكروم وخالية من التلوث النحاس والزنك و المنغنيز. ويدعم هذا الاستنتاج من خلال حساب مؤشرات التلوث التي حددها هذه العناصر.

الرواسب السطحية لمنطقة الدراسة تعتبر ملوثة بالحديد والرصاص والنيكل والكروم وخالية من التلوث ب النحاس والزنك والمنغنيز. ويدعم هذا الاستنتاج كون هذه المعادن تتجاوز المقاييس المحددة لهذه العناصر.

نتائج التحليلات بشأن المعادن الثقيلة في كل من البحيرات الثلاثة مكنتنا من رسم رسوم بيانية للمحطات التي تمت دراستها، مراقبة هذه الأخيرة تظهر تغيرات في التركيز. هذه التراكيز تتبع توزيع موسمي وفقا لدورة موسمية، والتي تبين زيادة في التركيز في فصل الصيف و انخفاض ملحوظ في التركيز في موسم الشتاء.

نوعية المياه و الرواسب يعتمد إلى حد كبير على نوعية الفيزيائية و الكيميائية المائي للوسط ، وخاصة درجة حرارة الماء و درجة حموضة المياه.

إن نوعية المياه و الرواسب يعتمد إلى حد كبير على نوعية الفيزيائية و الكيميائية للبيئة المائية، وخاصة درجة حرارة المياه، ودرجة الحموضة ، وإمكانات الأكسدة، والمواد الصلبة العالقة.

هذه الدراسة تؤكد على أن المناطق الرطبة للخطيرة الوطنية بالقالمة تعاني بشكل كبير من تلوث المياه و الرواسب السطحية هذا التلوث ناتج عن الطبيعة كالتراكيب الجيولوجية و طبيعة المياه أو نشاطات الإنسان "نشاطات زراعية مياه مستعملة....."

**كلمات البحث :** المياه، الرواسب، المعادن الثقيلة، المناطق الرطبة، النوعية، كيمياء المياه، التلوث.

## **Remerciements**

*Au terme de ce travail, je tiens à remercier en premier lieu le Professeur, Larbi Djabri pour la confiance qu'il m'a donnée en acceptant d'être le directeur de cette thèse et pour toute l'aide qu'il m'a apportée pour accomplir ce projet.*

*Mes vifs remerciements également aux membres de jury :*

*M<sup>r</sup> Bensouilah Mourad Abd El Karim, Professeur à l'Université Badji Mokhtar Annaba, qui a bien accepté de me faire le grand honneur de présider le jury de ma soutenance.*

*Messieurs Drardja Brahim, Labar Sofiane, Baali Fethi et Gouaidia Layachi, d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer ce travail et de siéger au jury de ma soutenance,*

*Cette thèse n'aurait pas pu aboutir sans le concours de bien d'autres personnes, aussi je me dois de remercier ;*

*M<sup>er</sup> Bouhouche Salah, Directeur de l'unité de recherche appliquée en sidérurgie et métallurgie pour son aide ;*

*M<sup>er</sup> Lemboub, Directeur général des laboratoires centraux d'Arcelor Mittal ainsi que les laborantins du laboratoire de contrôle de la qualité des eaux.*

*M<sup>er</sup> Bendjidid le Directeur du Parc national d'El Kala « PNEK », d'avoir autorisé et facilité l'accès aux différentes stations de prélèvement.*

*Je remercie beaucoup les ingénieurs du laboratoire d'analyse chimique du département biologie Laboratoire BMC, à l'université de Jijel pour l'aide qu'ils m'ont présentée pour accomplir le dosage des métaux lourds, surtout Monsieur Djamaa Saad Eddine*

*Je remercie beaucoup Mme Hakar Mesbah, enseignante associée au centre de recherche et de développement de Boumerdes, le CRD.*

*L'ensemble du personnel de la Direction de la police scientifique d'Alger en particulier l'équipe du laboratoire de qualité et surtout M<sup>er</sup> Chelghoum, M<sup>er</sup> Lhachemi Benradja et M<sup>er</sup> Mahfoud Denene.*

*J'adresse aussi mes sincères remerciements à mes enseignants du département des sciences de la mer : Dr. Derbal Farid chef de département des sciences de la mer, Dr. Retima Abd Khalek, Dr. Frehi Hocine. Professeur Kara Hichem, Professeur Chaoui Lamia, Professeur Djebbar Borhane Eddine, Professeur Bensouilah Mourad, Dr Drardja Brahim et son épouse.*

*Je remercie aussi le personnel du département des sciences de la mer et le personnel du département de géologie (surtout Soraya, Sonia et Djamila).*

*Un grand merci à M<sup>er</sup> Mihoub, employé à la bibliothèque de l'Université Badji Mokhtar d'Annaba.*

*Je suis reconnaissante à ma chère collègue M<sup>me</sup> Hamouda Assia Divisionnaire à l'unité de recherche appliquée en sidérurgie et métallurgie et M<sup>me</sup> Morakchi Karima MCA à l'université d'Oum El Bouagui, pour tous ses conseils précieux pendant la rédaction de ce travail.*

*Je suis reconnaissante aussi à mes deux chères collègues M<sup>me</sup> Hariki Saliha et M<sup>me</sup> Djemili Samira*

*Je réserve une grande gratitude à mes chers parents qui m'ont beaucoup soutenu, encouragé et épaulé tout au long de mes années d'études, sans eux ce mémoire n'aurait pu voir le jour. Je leur témoigne mon affection et mes remerciements les plus sincères.*

*Enfin, je remercie toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont apporté leur contribution à ce travail. Je leur exprime ici toute ma reconnaissance et ma gratitude.*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce travail*

*A*

*Mes parents pour tout l'amour que je  
ressente pour eux*

*A*

*Mon époux, ma chère fille Insaf et*

*Mon cher Fils Abd EL-Hakim*

*A*

*Mes frères et ma sœur unique Assia*

*A*

*Mes Oncles Boulsane Mouloud & Bendjama*

*Abd Hafid*

*A mes chères cousines Lilya, Kawter et  
Farida*

**LISTE DES TABLEAUX****CHAPITRE I : GENERALITE**

<b>01</b>	Les sources potentielles industrielles de rejets de fer	<b>9</b>
<b>02</b>	Les diverses industries utilisatrices du chrome	<b>16</b>
<b>03</b>	Les applications industrielles du manganèse	<b>19</b>

**CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES**

<b>04</b>	Classe de pentes du bassin versant du Tonga	<b>23</b>
<b>05</b>	Occupation du sol du bassin versant du lac Tonga 2004	<b>24</b>
<b>06</b>	Occupation du sol année 1979, BNEDER	<b>24</b>
<b>07</b>	Population du bassin versant du lac Tonga	<b>26</b>
<b>08</b>	Alimentation en AEP et mode d'évacuation des eaux usées	<b>26</b>
<b>09</b>	Besoin en eau potable des populations du BV du Tonga	<b>27</b>
<b>10</b>	Consommation en eau potable des populations du BV du Tonga	<b>28</b>
<b>11</b>	Volume des Rejets des eaux usées dans le bassin versant du Tonga	<b>28</b>
<b>12</b>	Répartition de la SAU dans le BV	<b>29</b>
<b>13</b>	Répartition des effectifs par type d'élevage	<b>30</b>
<b>14</b>	Classe de pentes du bassin versant de l'Oubeira	<b>35</b>
<b>15</b>	Occupation du sol du bassin versant du lac Oubeira	<b>36</b>
<b>16</b>	Comparaison des superficies végétales	<b>37</b>
<b>17</b>	Données sur la population du bassin versant du lac Oubeira	<b>38</b>
<b>18</b>	AEP et évacuation des eaux usées du bassin versant de l'Oubeira	<b>39</b>
<b>19</b>	consommation en eau potable des populations du BV du lac Oubeira	<b>39</b>
<b>20</b>	Volume des rejets des eaux usées du bassin versant de l'Oubeira	<b>40</b>
<b>21</b>	Répartition de la SAU du bassin versant du lac Oubeira	<b>40</b>
<b>22</b>	Répartition des effectifs par type d'élevage	<b>41</b>
<b>23</b>	Superficie Partielle et proportions des différents tranches de profondeur	<b>45</b>
<b>24</b>	Volume partiel des tranches de profondeur du lac Oubeira	<b>45</b>
<b>25</b>	Classement et pente et superficie du bassin versant d'Oubeira	<b>47</b>
<b>26</b>	Occupation du sol du bassin versant du lac Oubeira	<b>48</b>
<b>27</b>	Superficie des faciès pour l'année 1979 ET 2004	<b>50</b>
<b>28</b>	Données sur la population du bassin versant du lac Mellah	<b>51</b>
<b>29</b>	Sources d'AEP et mode d'évacuation des eaux usées	<b>51</b>
<b>30</b>	Besoin en eau potable des populations du BV du lac Mellah	<b>52</b>
<b>31</b>	Consommation en eau potable des populations du BV d'El Mellah	<b>52</b>
<b>32</b>	Volume des Rejets des eaux usées dans le bassin versant d'El Mellah	<b>53</b>
<b>33</b>	Répartition des effectifs par type d'élevage	<b>54</b>
<b>34</b>	Répartition de la Superficie Agricole Utile (SAU) en ha.	<b>53</b>
<b>35</b>	Superficie partielle et proportion des différentes tranches de profondeur du lac mellah	<b>57</b>
<b>36</b>	Volume partiel des tranches de profondeur du lac Mellah	<b>58</b>
<b>37</b>	Les températures moyennes mensuelles de la zone d'étude durant 5 ans	<b>61</b>
<b>38</b>	Les précipitations moyennes mensuelles de la zone d'étude durant 5 ans	<b>62</b>
<b>39</b>	Humidité relative de la zone d'étude durant 5 ans	<b>63</b>
<b>40</b>	La vitesse du vent dans la zone d'étude durant 5 ans	<b>64</b>
<b>41</b>	L'évaporation dans la zone d'étude durant 5 ans	<b>65</b>
<b>42</b>	Station de prélèvement et Nature des échantillons prélevés	<b>66</b>
<b>43</b>	Tableau récapitulatif des Méthodes d'analyses des paramètres physico-chimiques.	<b>72</b>

<b>44</b>	Valeurs guide des teneurs en métaux lourds des eaux de surface	<b>74</b>
<b>45</b>	Valeurs guide des teneurs en métaux lourds des sédiments de surface	<b>74</b>
<b>46</b>	Valeurs guides des métaux lourds algériennes	<b>74</b>
<b>47</b>	Classement du sédiment en fonction de l'Ic	<b>75</b>
<b>CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION</b>		
<b>PREMIERE PARTIE</b>		
<b>48</b>	Qualité physico-chimique des eaux superficielles	<b>79</b>
<b>49</b>	Evolution spatiotemporelle de la température de l'eau	<b>80</b>
<b>50</b>	Résultat de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les six stations prospectées concernant les variations de la température	<b>81</b>
<b>51</b>	Evolution spatiotemporelle de la conductivité électrique de l'eau	<b>81</b>
<b>52</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les six stations prospectées concernant les variations de la conductivité électrique.	<b>82</b>
<b>53</b>	Evolution spatiotemporelle du Ph de l'eau	<b>82</b>
<b>54</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les six stations prospectées concernant les variations du potentiel d'Hydrogène	<b>83</b>
<b>55</b>	Evolution spatiotemporelle de l'oxygène dissous de l'eau	<b>83</b>
<b>56</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les six stations prospectées concernant les variations de l'oxygène dissous	<b>85</b>
<b>57</b>	Evolution spatiotemporelle des matières en suspension de l'eau	<b>85</b>
<b>58</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les six stations prospectées concernant les variations des matières en suspension.	<b>86</b>
<b>59</b>	Evolution spatiotemporelles de la DCO de l'eau	<b>87</b>
<b>60</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les six stations prospectées concernant les variations de la DCO	<b>88</b>
<b>61</b>	Evolution spatiotemporelles de la DBO de l'eau	<b>89</b>
<b>62</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les six stations prospectées concernant les variations de la DBO	<b>90</b>
<b>63</b>	Evolution spatiotemporelles du taux des sels dissous de l'eau	<b>90</b>
<b>64</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les six stations prospectées concernant les variations des TDS	<b>91</b>
<b>65</b>	Evolution spatiotemporelles du TH de l'eau	<b>91</b>
<b>66</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les six stations prospectées concernant les variations du Th de l'eau	<b>92</b>
<b>67</b>	Evolution spatiotemporelles du TAC de l'eau	<b>93</b>
<b>68</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les six stations prospectées concernant les variations du TAC de l'eau.	<b>93</b>
<b>69</b>	Evolution spatiotemporelles du Ca++ de l'eau	<b>94</b>
<b>70</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les six stations prospectées concernant les variations du Ca++ de l'eau	<b>95</b>
<b>71</b>	Evolution spatiotemporelles du Mg++ de l'eau	<b>95</b>
<b>72</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les six stations prospectées concernant les variations du Mg++ de l'eau	<b>96</b>
<b>73</b>	Evolution spatiotemporelles du Cl- de l'eau	<b>96</b>
<b>74</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les six stations prospectées concernant les variations du Cl- de l'eau	<b>98</b>
<b>75</b>	Matrice de corrélation des 13 variables au niveau de la S1	<b>101</b>
<b>76</b>	Matrice de corrélation des 13 variables au niveau de la S2	<b>102</b>

<b>77</b>	Matrice de corrélation des 13 variables au niveau de la S3	<b>104</b>
<b>78</b>	Matrice de corrélation des 13 variables au niveau de la S4	<b>105</b>
<b>79</b>	Matrice de corrélation des 13 variables au niveau de la S5	<b>107</b>
<b>80</b>	Matrice de corrélation des 13 variables au niveau de la S6	<b>108</b>
<b>CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION</b>		
<b>DEUXIEME PARTIE</b>		
<b>81</b>	Evolution spatiotemporelle des métaux lourds des eaux superficielles des trois lacs	<b>118</b>
<b>82</b>	Teneurs en fer relevées dans l'eau en ppm du lac Tonga	<b>119</b>
<b>83</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en fer dans l'eau du lac Tonga.	<b>119</b>
<b>84</b>	Valeurs d'indice de contamination par le fer dans l'eau du lac Tonga	<b>120</b>
<b>85</b>	Teneurs en plomb relevées dans l'eau en ppm du lac Tonga	<b>120</b>
<b>86</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en plomb dans l'eau du lac Tonga.	<b>121</b>
<b>87</b>	Valeurs d'indice de contamination par le plomb dans l'eau du lac Tonga	<b>121</b>
<b>88</b>	Teneurs en cuivre relevées dans l'eau en ppm du lac Tonga	<b>122</b>
<b>89</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en cuivre dans l'eau du lac Tonga.	<b>122</b>
<b>90</b>	Valeurs d'indice de contamination par le cuivre dans l'eau du lac Tonga	<b>122</b>
<b>91</b>	Teneurs en zinc relevées dans l'eau en ppm du lac Tonga	<b>123</b>
<b>92</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en zinc dans l'eau du lac Tonga.	<b>123</b>
<b>93</b>	Valeurs d'indice de contamination par le zinc dans l'eau du lac Tonga	<b>123</b>
<b>94</b>	Teneurs en chrome relevées dans l'eau en ppm du lac Tonga	<b>124</b>
<b>95</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en chrome dans l'eau du lac Tonga.	<b>124</b>
<b>96</b>	Valeurs d'indice de contamination par le chrome dans l'eau du lac Tonga	<b>124</b>
<b>97</b>	Teneurs en nickel relevées dans l'eau en ppm du lac Tonga	<b>125</b>
<b>98</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en nickel dans l'eau du lac Tonga.	<b>125</b>
<b>99</b>	Valeurs d'indice de contamination par le nickel dans l'eau du lac Tonga	<b>126</b>
<b>100</b>	Teneurs en manganèse relevées dans l'eau en ppm du lac Tonga	<b>126</b>
<b>101</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en manganèse dans l'eau du lac Tonga.	<b>126</b>
<b>102</b>	Valeurs d'indice de contamination par le manganèse dans l'eau du lac Tonga.	<b>127</b>
<b>103</b>	Tableau récapitulatif des teneurs en métaux lourds au niveau du lac Tonga	<b>128</b>
<b>104</b>	Teneurs en fer relevées dans l'eau en ppm du lac Oubeira	<b>130</b>
<b>105</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en fer dans l'eau du lac Oubeira	<b>130</b>
<b>106</b>	Valeurs d'indice de contamination par le fer dans l'eau du lac Oubeira	<b>130</b>
<b>107</b>	Teneurs en plomb relevées dans l'eau en ppm du lac Oubeira	<b>131</b>
<b>108</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en plomb dans l'eau du lac Oubeira	<b>131</b>
<b>109</b>	Valeurs d'indice de contamination par le plomb dans l'eau du lac Oubeira	<b>132</b>
<b>110</b>	Teneurs en cuivre relevées dans l'eau en ppm du lac Oubeira	<b>132</b>
<b>111</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en cuivre dans l'eau du lac Oubeira.	<b>133</b>
<b>112</b>	Valeurs d'indice de contamination par le cuivre dans l'eau du lac Oubeira	<b>133</b>

<b>113</b>	Teneurs en zinc relevées dans l'eau en ppm du lac Oubeira	<b>133</b>
<b>114</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en zinc dans l'eau du lac Oubeira	<b>134</b>
<b>115</b>	Valeurs d'indice de contamination par le zinc dans l'eau du lac Oubeira	<b>134</b>
<b>116</b>	Teneurs en chrome relevées dans l'eau en ppm du lac Oubeira	<b>134</b>
<b>117</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en chrome dans l'eau du lac Oubeira	<b>135</b>
<b>118</b>	Valeurs d'indice de contamination par le chrome dans l'eau du lac Oubeira	<b>135</b>
<b>119</b>	Teneurs en nickel relevées dans l'eau en ppm du lac Oubeira	<b>136</b>
<b>120</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en nickel dans l'eau du lac Oubeira	<b>136</b>
<b>121</b>	Valeurs d'indice de contamination par le nickel dans l'eau du lac Oubeira	<b>136</b>
<b>122</b>	Teneurs en manganèse relevées dans l'eau en ppm du lac Oubeira	<b>137</b>
<b>123</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en manganèse dans l'eau du lac Oubeira	<b>137</b>
<b>124</b>	Valeurs d'indice de contamination par le manganèse dans l'eau du lac Oubeira	<b>137</b>
<b>125</b>	Concentration en métaux lourds dans les eaux du lac Oubeira	<b>138</b>
<b>126</b>	Teneurs en fer relevées dans l'eau en ppm du lac Mellah	<b>139</b>
<b>127</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en fer dans l'eau du lac Mellah	<b>139</b>
<b>128</b>	Valeurs d'indice de contamination par le fer dans l'eau du lac Mellah	<b>140</b>
<b>129</b>	Teneurs en plomb relevées dans l'eau en ppm du lac Mellah	<b>141</b>
<b>130</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en plomb dans l'eau du lac Mellah	<b>141</b>
<b>131</b>	Valeurs d'indice de contamination par le plomb dans l'eau du lac Mellah	<b>141</b>
<b>132</b>	Teneurs en cuivre relevées dans l'eau en ppm du lac Mellah	<b>142</b>
<b>133</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en cuivre dans l'eau du lac Mellah	<b>142</b>
<b>134</b>	Valeurs d'indice de contamination par le cuivre dans l'eau du lac Mellah	<b>142</b>
<b>135</b>	Teneurs en zinc relevées dans l'eau (ppm) du lac El Mellah	<b>143</b>
<b>136</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en zinc dans l'eau du lac Mellah	<b>143</b>
<b>137</b>	Valeurs d'indice de contamination par le zinc dans l'eau du lac Mellah	<b>144</b>
<b>138</b>	Teneurs en chrome relevées dans l'eau en ppm du lac Mellah	<b>144</b>
<b>139</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en chrome dans l'eau du lac Mellah	<b>144</b>
<b>140</b>	Valeurs d'indice de contamination par le chrome dans l'eau du lac Mellah	<b>145</b>
<b>141</b>	Teneurs en nickel relevées dans l'eau en ppm du lac Mellah	<b>145</b>
<b>142</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en nickel dans l'eau du lac Mellah	<b>145</b>
<b>143</b>	Valeurs d'indice de contamination par le nickel dans l'eau du lac Mellah	<b>146</b>
<b>144</b>	Teneurs en manganèse relevées dans l'eau en ppm du lac Mellah	<b>146</b>
<b>145</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en manganèse dans l'eau du lac Mellah	<b>146</b>
<b>146</b>	Valeurs d'indice de contamination par le manganèse dans l'eau du lac Mellah	<b>147</b>
<b>147</b>	Tableau récapitulatif des teneurs en métaux lourds au niveau du lac Mellah	<b>147</b>
<b>148</b>	Matrice de corrélation des métaux lourds au niveau de la S1	<b>149</b>
<b>149</b>	Matrice de corrélation des métaux lourds au niveau de la S2	<b>150</b>

<b>150</b>	Matrice de corrélation des métaux lourds au niveau de la S3	<b>151</b>
<b>151</b>	Matrice de corrélation des métaux lourds au niveau de la S4	<b>152</b>
<b>152</b>	Matrice de corrélation des métaux lourds au niveau de la S5	<b>154</b>
<b>153</b>	Matrice de corrélation des métaux lourds au niveau de la S6	<b>155</b>
<b>154</b>	Les ICM pour chaque station et pour chaque élément métallique	<b>156</b>
<b>155</b>	Ordre d'enrichissement des stations pour chaque élément métallique	<b>157</b>
<b>156</b>	La comparaison de notre étude avec d'autres travaux réalisés dans des lacs en Afrique, Asie et Europe	<b>161</b>

### **CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION**

#### **TROISIEME PARTIE**

<b>157</b>	Evolution spatiotemporelle des métaux lourds des sédiments de surface des trois lacs	<b>166</b>
<b>158</b>	Teneurs en fer relevées dans le sédiment en ppm du lac Tonga	<b>166</b>
<b>159</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en fer dans le sédiment du lac Tonga.	<b>167</b>
<b>160</b>	Valeurs d'indice de contamination par le fer dans le sédiment du lac Tonga	<b>167</b>
<b>161</b>	Teneurs en plomb relevées dans le sédiment en ppm du lac Tonga	<b>167</b>
<b>162</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en plomb dans le sédiment du lac Tonga.	<b>168</b>
<b>163</b>	Valeurs d'indice de contamination par le plomb dans le sédiment du lac Tonga	<b>168</b>
<b>164</b>	Teneurs en cuivre relevées dans le sédiment en ppm du lac Tonga	<b>168</b>
<b>165</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en cuivre dans le sédiment du lac Tonga.	<b>169</b>
<b>166</b>	Valeurs d'indice de contamination par le cuivre dans l'eau du lac Tonga	<b>169</b>
<b>167</b>	Teneurs en zinc relevées dans le sédiment en ppm du lac Tonga	<b>169</b>
<b>168</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en zinc dans le sédiment du lac Tonga.	<b>170</b>
<b>169</b>	Valeurs d'indice de contamination par le zinc dans le sédiment du lac Tonga	<b>170</b>
<b>170</b>	Teneurs en nickel relevées dans le sédiment en ppm du lac Tonga	<b>170</b>
<b>171</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en nickel dans le sédiment du lac Tonga.	<b>171</b>
<b>172</b>	Valeurs d'indice de contamination par le nickel dans l'eau du lac Tonga	<b>171</b>
<b>173</b>	Teneurs en chrome relevées dans le sédiment en ppm du lac Tonga	<b>171</b>
<b>174</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en nickel dans le sédiment du lac Tonga.	<b>172</b>
<b>175</b>	Valeurs d'indice de contamination par le nickel dans le sédiment du lac Tonga	<b>172</b>
<b>176</b>	Teneurs en manganèse relevées dans le sédiment en ppm du lac Tonga	<b>172</b>
<b>177</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en manganèse dans le sédiment du lac Tonga.	<b>173</b>
<b>178</b>	Valeurs d'indice de contamination par le manganèse dans le sédiment du lac Tonga.	<b>173</b>
<b>179</b>	Variation des teneurs brutes en métaux lourds dans les sédiments du lac Tonga.	<b>173</b>
<b>180</b>	Teneurs en fer relevées dans le sédiment en ppm du lac Oubeira	<b>176</b>
<b>181</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en fer dans le sédiment du lac Oubeira	<b>176</b>
<b>182</b>	Valeurs d'indice de contamination par le fer dans le sédiment du lac Oubeira	<b>176</b>
<b>183</b>	Teneurs en plomb relevées dans le sédiment en ppm du lac Oubeira	<b>177</b>
<b>184</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en plomb dans le sédiment du lac Oubeira	<b>177</b>
<b>185</b>	Valeurs d'indice de contamination par le plomb dans le sédiment du lac Oubeira	<b>177</b>

<b>186</b>	Teneurs en cuivre relevées dans le sédiment en ppm du lac Oubeira	<b>175</b>
<b>187</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en cuivre dans le sédiment du lac Oubeira	<b>175</b>
<b>188</b>	Valeurs d'indice de contamination par le cuivre dans le sédiment du lac Oubeira	<b>175</b>
<b>189</b>	Teneurs en zinc relevées dans le sédiment en ppm du lac Oubeira	<b>176</b>
<b>190</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en zinc dans le sédiment du lac Oubeira	<b>176</b>
<b>191</b>	Valeurs d'indice de contamination par le zinc chrome dans le sédiment du lac Oubeira	<b>176</b>
<b>192</b>	Teneurs en nickel relevées dans le sédiment en ppm du lac Oubeira	<b>177</b>
<b>193</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en nickel dans le sédiment du lac Oubeira	<b>177</b>
<b>194</b>	Valeurs d'indice de contamination par le nickel dans le sédiment d'oubeira	<b>177</b>
<b>195</b>	Teneurs en chrome relevées dans le sédiment en ppm du lac Oubeira	<b>178</b>
<b>196</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en chrome dans le sédiment du lac Oubeira	<b>178</b>
<b>197</b>	Valeurs d'indice de contamination par le chrome dans le sédiment du lac Oubeira	<b>178</b>
<b>198</b>	Teneurs en manganèse relevées dans le sédiment en ppm du lac Oubeira	<b>179</b>
<b>199</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en manganèse dans le sédiment du lac Oubeira	<b>179</b>
<b>200</b>	Valeurs d'indice de contamination par le manganèse dans le sédiment du lac Oubeira	<b>179</b>
<b>201</b>	Variation des teneurs brutes en métaux lourds dans les sédiments du lac Oubeira	<b>179</b>
<b>202</b>	Teneurs en fer relevées dans le sédiment en ppm du lac Mellah	<b>182</b>
<b>203</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en fer dans le sédiment du lac Mellah	<b>182</b>
<b>204</b>	Valeurs d'indice de contamination par le fer dans le sédiment du lac Mellah	<b>182</b>
<b>205</b>	Teneurs en plomb relevées dans le sédiment en ppm du lac Mellah	<b>183</b>
<b>206</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en plomb dans le sédiment du lac Mellah	<b>183</b>
<b>207</b>	Valeurs d'indice de contamination par le plomb dans le sédiment du lac Mellah	<b>183</b>
<b>208</b>	Teneurs en cuivre relevées dans le sédiment en ppm du lac Mellah	<b>184</b>
<b>209</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en cuivre dans le sédiment du lac Mellah	<b>184</b>
<b>210</b>	Valeurs d'indice de contamination par le cuivre dans l'eau du lac Mellah	<b>184</b>
<b>211</b>	Teneurs en zinc relevées dans le sédiment en ppm du lac Mellah	<b>184</b>
<b>212</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en zinc dans le sédiment du lac Mellah	<b>185</b>
<b>213</b>	Valeurs d'indice de contamination par le zinc dans le sédiment du lac Mellah	<b>185</b>
<b>214</b>	Teneurs en nickel relevées dans le sédiment en ppm du lac Mellah	<b>185</b>
<b>215</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en chrome dans le sédiment du lac Mellah	<b>186</b>
<b>216</b>	Valeurs d'indice de contamination par le chrome dans l'eau du lac Mellah	<b>186</b>
<b>217</b>	Teneurs en chrome relevées dans le sédiment en ppm du lac Mellah	<b>186</b>
<b>218</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en chrome dans le sédiment du lac Mellah	<b>187</b>
<b>219</b>	Valeurs d'indice de contamination par le chrome dans le sédiment du lac Mellah	<b>187</b>
<b>220</b>	Teneurs en manganèse relevées dans le sédiment en ppm du lac Mellah	<b>187</b>
<b>221</b>	Résultats de l'AV1 appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en manganèse dans le sédiment du lac Mellah	<b>187</b>

---

<b>222</b>	Valeurs d'indice de contamination par le manganèse dans le sédiment du lac Mellah	<b>188</b>
<b>223</b>	Les teneurs brutes en métaux lourds dans les sédiments du lac Mellah	<b>188</b>
<b>224</b>	Matrice de corrélation des métaux lourds dans le sédiment du lac Tonga S1	<b>190</b>
<b>225</b>	Matrice de corrélation des métaux lourds dans le sédiment du lac Tonga S2	<b>190</b>
<b>226</b>	Matrice de corrélation des métaux lourds dans le sédiment du lac Oubeira S3	<b>191</b>
<b>227</b>	Matrice de corrélation des métaux lourds dans le sédiment du lac Oubeira S4	<b>192</b>
<b>228</b>	Matrice de corrélation des métaux lourds dans le sédiment du lac Mellah S5	<b>193</b>
<b>229</b>	Matrice de corrélation des métaux lourds dans le sédiment du lac Mellah S6	<b>194</b>
<b>230</b>	Classement des sédiments selon les indices de contamination	<b>196</b>
<b>231</b>	Ordre d'enrichissement des stations étudiées pour chaque métal	<b>196</b>
<b>232</b>	Les indices de contamination moyenne par métal et par station	<b>196</b>
<b>233</b>	comparaison de notre étude avec d'autres travaux réalisés dans des lacs en Afrique, Asie, Europe	<b>200</b>

## **LISTE DES FIGURES**

<b>CHAPITRE I : GENERALITE</b>		
01	Classification périodique des métaux lourds par Mendeleïev.	06
<b>CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES</b>		
02	Situation géographique du parc national d'El kala (PNEK)	20
03	Occupation du sol du bassin versant du lac Tonga	25
04	Réseau hydrographique du lac Tonga (BNEDER 2004, modifiée)	31
05	Localisation des stations de prélèvement au niveau du lac Tonga	34
06	Occupation du sol du bassin versant du lac Oubeira	36
07	Réseau hydrographique du lac El Oubeira (BNEDER 2004, modifiée)	42
08	Retrait des eaux au niveau du lac Oubeira,	46
09	Localisation des stations de prélèvement au niveau du lac Oubeira	47
10	Occupation du sol du bassin versant du lac Mellah	49
11	Réseau hydrographique du lac mellah	55
12	Mouvement des eaux du lac Mellah	60
13	Localisation des stations de prélèvement au niveau du lac Mellah	61
14	Température mensuelles moyennes de la zone d'étude durant l'année 2010	62
15	Précipitations mensuelles moyennes de la zone d'étude durant l'année 2010	63
16	Le taux de l'humidité relative de la zone d'étude durant l'année 2010	64
17	La vitesse du vent de la zone d'étude durant l'année 2010	64
18	L'évaporation de la zone d'étude durant l'année 2010	65
19	Situation géographique des sites de prélèvement	67
20	Différents protocole de traitement et d'analyse des échantillons d'eau et sédiment	70
21	Spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme	73
<b>CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION « PREMIERE PARTIE »</b>		
22	Evolution spatiotemporelle de la température de l'eau	80
23	Evolution spatiotemporelle de la conductivité électrique de l'eau	81
24	Evolution spatiotemporelle du potentiel d'hydrogène de l'eau	83
25	Evolution spatiotemporelle de l'oxygène dissous	84
26	Evolution spatiotemporelle de la matière en suspension	85
27	Evolution spatiotemporelle de la DCO	87
28	Evolution spatiotemporelle de la DBO	89
29	Evolution spatiotemporelles du taux des sels dissous de l'eau (S1-S4)	90
30	Evolution spatiotemporelles du taux des sels dissous de l'eau (S5-S6)	91
31	Evolution spatiotemporelles du TH de l'eau	92
32	Evolution spatiotemporelle de TAC de l'eau	93
33	Evolution spatiotemporelles du Ca++ de l'eau	94
34	Evolution spatiotemporelles du Mg++ de l'eau ( S1-S4)	95
35	Evolution spatiotemporelles du Mg++ de l'eau (S5-S6)	96
36	Evolution spatiotemporelles du Cl- de l'eau (S1-S4)	97
37	Evolution spatiotemporelles du Cl- de l'eau (S5-S6)	97
38	Evolution spatiotemporelles du Cl- de l'eau (S6-S5)	99
39	Projection des variables sur le plan 1-2 (ACP1)	101
40	Projection des variables sur le plan 1-2 (ACP2)	103
41	Projection des variables sur le plan 1-2 (ACP3)	104
42	Projection des variables sur le plan 1-2 (ACP4)	106

43	Projection des variables sur le plan 1-2 (ACP5)	107
44	projection des variables sur le plan 1-2 (ACP6)	109

### CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION « DEUXIEME PARTIE »

45	Variations spatiotemporelles des teneurs en fer en ppm dans l'eau du lac Tonga	119
46	Variations spatiotemporelles des teneurs en plomb en ppm dans l'eau du lac Tonga	121
47	Variations spatiotemporelles des teneurs en cuivre en ppm dans l'eau du lac Tonga	122
48	Variations spatiotemporelles des teneurs en zinc en ppm dans l'eau du lac Tonga	123
49	Variations spatiotemporelles des teneurs en chrome en ppm dans l'eau du lac Tonga	124
50	Variations spatiotemporelles des teneurs en nickel en ppm dans l'eau du lac Tonga	125
51	Variations spatiotemporelles des teneurs en manganèse en ppm dans l'eau du lac Tonga	126
52	Histogramme récapitulatif de toutes les teneurs au niveau du lac Tonga	128
53	Variations spatiotemporelles des teneurs en fer en ppm dans l'eau du lac Oubeira	129
54	Variations spatiotemporelles des teneurs en plomb en ppm dans l'eau du lac Oubeira	130
55	Variations spatiotemporelles des teneurs en cuivre en ppm dans l'eau du lac Oubeira	131
56	Variations spatiotemporelles des teneurs en zinc en ppm dans l'eau du lac Oubeira	132
57	Variations spatiotemporelles des teneurs en chrome en ppm dans l'eau du lac Oubeira	133
58	Variations spatiotemporelles des teneurs en nickel en ppm dans l'eau du lac Oubeira	135
59	Variations spatiotemporelles des teneurs en manganèse en ppm dans l'eau du lac	136
60	Histogramme récapitulatif de toutes les teneurs au niveau du lac Oubeira	138
61	Variations spatiotemporelles des teneurs en fer en ppm dans l'eau du lac Mellah	139
62	Variations spatiotemporelles des teneurs en plomb en ppm dans l'eau du lac Mellah	140
63	Variations spatiotemporelles des teneurs en cuivre en ppm dans l'eau du lac Mellah	141
64	Variations spatiotemporelles des teneurs en zinc en ppm dans l'eau du lac Mellah	142
65	Variations spatiotemporelles des teneurs en chrome en ppm dans l'eau du lac Mellah	143
66	Variations spatiotemporelles des teneurs en nickel en ppm dans l'eau du lac Mellah	144
67	Variations spatiotemporelles des teneurs en manganèse en ppm dans l'eau du lac	145
68	Histogramme récapitulatif de toutes les teneurs au niveau des six stations	148
69	Projection des variables sur le plan 1-2 (ACP1)	149
70	Projection des variables sur le plan 1-2 (ACP2)	151
71	Projection des variables sur le plan 1-2 (ACP3)	152
72	Projection des variables sur le plan 1-2 (ACP4)	153
73	Projection des variables sur le plan 1-2 (ACP5)	154
74	Projection des variables sur le plan 1-2 (ACP6)	155
75	Variation des IC des éléments métalliques dans les eaux superficielles des 6 stations	156
76	Pollution des eaux des lacs Tonga, Oubeira, El Mellah	160

### CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION « TROISIEME PARTIE »

77	Variations spatiotemporelles des teneurs en fer en ppm dans le sédiment du lac	165
78	Variations spatiotemporelles des teneurs en plomb en ppm dans le sédiment du lac	166
79	Variations spatiotemporelles des teneurs en cuivre en ppm dans le sédiment du lac	167
80	Variations spatiotemporelles des teneurs en zinc en ppm dans le sédiment du lac	168
81	Variations spatiotemporelles des teneurs en chrome en ppm dans le sédiment du lac	169
82	Variations spatiotemporelles des teneurs en nickel en ppm dans le sédiment du lac	170
83	Variations spatiotemporelles des teneurs en manganèse en ppm dans l'eau du lac	170
84	Zoom sur les variations du fer au niveau du lac Tonga	172
85	Histogramme récapitulatif de toutes les teneurs au niveau du lac Tonga	175
86	Variations spatiotemporelles des teneurs en fer en ppm dans le sédiment du lac	175
87	Variations spatiotemporelles des teneurs en plomb en ppm dans le sédiment du lac	174

88	Variations spatiotemporelles des teneurs en cuivre en ppm dans le sédiment du lac	175
89	Variations spatiotemporelles des teneurs en zinc en ppm dans le sédiment du lac	176
90	Variations spatiotemporelles des teneurs en chrome en ppm dans le sédiment du lac	177
91	Variations spatiotemporelles des teneurs en nickel en ppm dans le sédiment du lac	178
92	Variations spatiotemporelles des teneurs en manganèse en ppm dans l'eau du lac	179
93	Zoom sur les variations du fer au niveau de l'Oubeira	180
94	Histogramme récapitulatif de toutes les teneurs au niveau du lac Oubeira	181
95	Variations spatiotemporelles des teneurs en fer en ppm dans le sédiment du lac	182
96	Variations spatiotemporelles des teneurs en plomb en ppm dans le sédiment du lac	183
97	Variations spatiotemporelles des teneurs en cuivre en ppm dans le sédiment du lac	184
98	Variations spatiotemporelles des teneurs en zinc en ppm dans le sédiment du lac	185
99	Variations spatiotemporelles des teneurs en nickel en ppm dans le sédiment du lac	186
100	Variations spatiotemporelles des teneurs en chrome dans le sédiment du lac Mellah	186
101	Variations spatiotemporelles des teneurs en manganèse en ppm dans l'eau du lac	187
102	Zoom sur les variations du fer au niveau d'el mellah	188
103	Histogramme récapitulatif de toutes les teneurs au niveau du lac Mellah	189
104	Projection des variables sur le plan 1-2 (ACP1)	190
105	Projection des variables sur le plan 1-2 (ACP2)	191
106	Projection des variables sur le plan 1-2 (ACP3)	192
107	Projection des variables sur le plan 1-2 (ACP4)	193
108	Projection des variables sur le plan 1-2 (ACP5)	194
109	projection des variables sur le plan 1-2 (ACP6)	195
110	Variation des ICM pour chaque métal et chaque station au niveau des 6 stations	197
111	Mode de transport et devenir des matériaux issu de l'érosion dans les milieux	205

## *SOMMAIRE*

Résumé en français .....	II
Résumé en anglais .....	III
Résumé en arabe .....	IV
Remerciements.....	V
Introduction générale .....	01
<b>CHAPITRE I : GENERALITES</b>	<b>05</b>
<b>1. Eléments traces et environnement</b> .....	<b>06</b>
<b>1.1. Introduction</b> .....	<b>06</b>
<b>1.2. La contamination métallique</b> .....	<b>06</b>
<b>1.3. Caractéristiques des métaux lourds analysés dans cette étude</b> .....	<b>08</b>
<b>1.3.1. Fer</b> .....	<b>08</b>
<b>1.3.2. Plomb</b> .....	<b>10</b>
<b>1.3.3. Cuivre</b> .....	<b>12</b>
<b>1.3.4. Zinc</b> .....	<b>14</b>
<b>1.3.5. Chrome</b> .....	<b>15</b>
<b>1.3.6. Nickel</b> .....	<b>17</b>
<b>1.3.7. Manganèse</b> .....	<b>18</b>
<b>CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES</b>	<b>20</b>
<b>1. Cadre géographique de la zone d'étude</b> .....	<b>21</b>
<b>1.1. Lac Tonga et son bassin versant</b> .....	<b>22</b>
<b>1.1.1. Le relief et les pentes</b> .....	<b>22</b>
<b>1.1.2. Géomorphologie</b> .....	<b>23</b>
<b>1.1.3. Occupation du sol</b> .....	<b>23</b>
<b>1.1.4. Population du bassin versant</b> .....	<b>25</b>
<b>1.1.5. La pollution domestique</b> .....	<b>28</b>
<b>1.1.6. Hydrologie du bassin versant</b> .....	<b>30</b>
<b>1.1.7. Morphométrie du lac Tonga</b> .....	<b>32</b>
<b>1.1.8. Situation géographique du lac Tonga et localisation des stations de prélèvement</b> .....	<b>33</b>
<b>1.2. Lac Oubeira et son bassin versant</b> .....	<b>35</b>
<b>1.2.1. Le relief et les pentes</b> .....	<b>35</b>
<b>1.2.2. Géomorphologie</b> .....	<b>35</b>
<b>1.2.3. Occupation du sol</b> .....	<b>35</b>
<b>1.2.4. Population du bassin versant</b> .....	<b>38</b>
<b>1.2.5. La pollution domestique</b> .....	<b>40</b>
<b>1.2.6. Hydrologie du bassin versant</b> .....	<b>41</b>
<b>1.2.7. Morphométrie du lac Oubeira</b> .....	<b>44</b>
<b>1.2.8. Situation géographique du lac Oubeira et localisation des stations de prélèvement</b> .....	<b>46</b>
<b>1.3. Lac el Mellah et son bassin versant</b> .....	<b>47</b>
<b>1.3.1. Le relief et les pentes</b> .....	<b>47</b>
<b>1.3.2. Géomorphologie</b> .....	<b>48</b>
<b>1.3.3. Occupation du sol</b> .....	<b>48</b>
<b>1.3.4. Population du bassin versant</b> .....	<b>50</b>
<b>1.3.5. La pollution domestique</b> .....	<b>53</b>

1.3.6.	Hydrologie du bassin versant.....	54
1.3.7.	Morphométrie du lac El Mellah.....	57
1.3.8.	Hydrodynamisme du lac El Mellah.....	59
1.3.9.	Situation géographique du lac El Mellah et localisation des stations de prélèvement.....	60
2.	Climatologie de la zone d'étude.....	61
2.1.	Les températures moyennes mensuelles .....	61
2.2.	Les précipitations moyennes mensuelles .....	62
2.3.	Le taux de l'humidité.....	63
2.4	La vitesse du vent .....	64
2.5.	Evaporation .....	64
3.	Echantillonnage .....	66
4.	Analyses des paramètres physico chimiques de l'eau.....	71
4.1.	Température.....	71
4.2.	Potentiel d'hydrogène pH.....	71
4.3.	Oxygène dissous OD.....	71
4.4.	Conductivité électrique CE.....	71
4.5.	Matière en suspension MES.....	71
4.6.	Demande chimique en Oxygène DCO.....	71
4.7.	Demande biochimique en Oxygène DBO5.....	71
4.8.	Taux des sels dissous TDS.....	71
4.9.	Titre hydrotimétrique TH.....	72
4.10.	Titre alcalimétrique complet TAC.....	72
4.11	Ions majeurs.....	72
4.11.	Calcium Ca <sup>++</sup> .....	72
4.11.	Magnésium Mg <sup>++</sup> .....	72
4.11.	Chlorure Cl <sup>-</sup> .....	72
5.	Dosage des métaux lourds.....	73
5.1.	Appareillage.....	73
5.2.	Valeurs guides des métaux lourds dans les eaux et les sédiments.....	74
5.2.1.	Les normes de qualité des eaux de surface.....	74
5.2.2.	Valeurs guides des métaux lourds dans un sédiment.....	74
5.2.3.	Indice de contamination «Ic» pour évaluer le degré de pollution.....	75
6.	Test statistiques .....	75
6.1.	Analyses statistiques uni variées .....	75
6.1.1.	Description des données.....	75
6.1.2.	L'analyse de la variance à un critère de classification.....	75
6.2.	Analyse statistique multi varié.....	76
	<b>CHAPITRES III : RÉSULTATS ET DISCUSSION</b>	77
	<b>PREMIERE PARTIE : Qualité hydro-chimiques des eaux de surface superficielles</b>	78
1.	Introduction.....	78
2.	Evolution spatiotemporelles des paramètres physico-chimiques des eaux superficielles.....	78
3.	Résultats d'analyse en composante principale.....	98
4.	Etude statistique des données des paramètres physico-chimiques des eaux.....	99
5.	Résultats de L'ACP et matrice de Corrélation station/station.....	100
5.1.	Corrélations et ACP des paramètres physicochimique des eaux station par station.....	100
6.	Bilan générale de la qualité hydro chimique des eaux superficielles de la zone d'étude.....	110
6.1.	Bilan des paramètres de qualité hydrochimique des eaux superficielles de la zone d'étude.....	110

6.2.	Structure et comportement hydrochimique des eaux superficielles de la zone d'étude.....	113
7.	<b>Conclusion</b> .....	115
	<b>DEUXIEME PARTIE : Contamination métallique des eaux de surfaces superficielles</b>	118
1.	<b>Introduction</b> .....	118
2.	<b>Evolution spatiotemporelle des métaux lourds des eaux superficielles des trois lacs</b> .....	118
2.1.	<b>Les eaux du lac Tonga</b> .....	119
2.1.8.	Bilan de la qualité chimique des eaux du lac Tonga.....	127
2.2.	<b>Les eaux du lac Oubeira</b> .....	129
2.2.8.	Bilan de la qualité chimique des eaux du lac Oubeira.....	136
2.3.	<b>Les eaux du lac El Mellah</b> .....	139
2.3.8.	Bilan de la qualité chimique des eaux du lac El Mellah.....	146
3	<b>Résultat de l'ACP des métaux lourds dans les eaux superficielles et matrice de corrélation</b>	148
4.	<b>Bilan générale de la contamination métallique des eaux superficielles</b> .....	155
4.1	Bilan et degré de la contamination des eaux à partir des valeurs d'indice de contamination.....	155
4.2	Comportement spatial et temporel des éléments métalliques des eaux superficielles .....	155
5.	<b>Conclusion</b> .....	160
	<b>TROISIEME PARTIE : Contamination métallique des sédiments superficiels</b>	
1.	<b>Introduction</b> .....	165
2.	<b>Evolution spatiotemporelle des métaux lourds des sédiments de surface des trois lacs</b> .....	166
2.1.	<b>Les sédiments superficiels du lac Tonga</b> .....	166
2.1.8.	Bilan de la qualité chimique des sédiments du lac Tonga.....	173
2.2.	<b>Les sédiments superficiels du lac Oubeira</b> .....	176
2.2.8.	Bilan de la qualité chimique des sédiments du lac Oubeira.....	182
2.3.	<b>Les sédiments superficiels du lac El Mellah</b> .....	186
2.3.8.	Bilan de la qualité chimique des sédiments du lac El Mellah.....	192
3.	<b>Résultats de L'ACP et matrice de Corrélation site / site &amp; lac/lac</b> .....	194
4.	Bilan général de la contamination des sédiments superficiels.....	207
5	<b>Conclusion</b> .....	210
	<b>Conclusion générale</b> .....	208
	<b>Références bibliographiques</b> .....	213
	<b>Annexes</b> .....	222

## LISTE DES ABREVIATIONS

<b>PNEK :</b>	Parc National d'El Kala
<b>UNESCO :</b>	Organisation des nations unies pour l'éducation, la science et la culture
<b>BNEDER :</b>	Bureau national des études et du développement rural Alger.
<b>OMS :</b>	Organisation mondiale de la santé
<b>MPRH :</b>	Ministère de la pêche et des ressources halieutiques
<b>ONDPA :</b>	Office nationale de développement de la pêche et de l'aquaculture
<b>DSA :</b>	Direction des services agricoles
<b>SAU :</b>	Surface agricole
<b>AEP :</b>	Alimentation en eau potable
<b>BV :</b>	Bassin versant
<b>IBGE</b>	institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement
<b>AFNOR :</b>	Agence française de normalisation
<b>WQC :</b>	Water Quality Criteria
<b>BRGM :</b>	Bureau de recherche géologique et minière
<b>SGRAL :</b>	Service géologique régional Alsace
<b>ACP :</b>	Analyse en composante principale
<b>ANOVA :</b>	Analyse de la variance
<b>P :</b>	Valeur de Pearson
<b>r</b>	Coefficient de corrélation
<b>EDTA :</b>	Ethylène Diamine tétra acétate
<b>DDT :</b>	Dichloro-Diphényle-Trichloroéthane

### Abréviation des variables analysées

<b>T :</b>	température
<b>pH :</b>	Potentiel d'hydrogène
<b>CE :</b>	Conductivité électrique
<b>OD :</b>	Oxygène dissous
<b>MES :</b>	Matière en suspension
<b>DCO :</b>	Demande chimique en oxygène
<b>DBO :</b>	Demande biologique en oxygène
<b>TDS :</b>	Taux des sels dissous
<b>TH :</b>	Titre hydrométrique
<b>TAC :</b>	Titre alcalimétrique complet
<b>Ca :</b>	Calcium
<b>Mg :</b>	Magnésium
<b>Cl :</b>	Chlorure
<b>Fe :</b>	Fer
<b>Pb :</b>	Plomb
<b>Cu :</b>	Cuivre
<b>Zn :</b>	Zinc
<b>Ni :</b>	Nickel
<b>Cr :</b>	Chrome
<b>Mn :</b>	Manganèse

# ***Introduction générale***

---

## INTRODUCTION GENERALE

---

Sur les 13 600 millions de km<sup>3</sup> d'eau qui couvrent notre planète, seulement 0,014 % est de l'eau douce utilisable par l'homme sous forme d'eaux de surface, Moudallal (1997). Si cette quantité est suffisante pour répondre aux futurs besoins de l'humanité, l'altération de la qualité de l'eau rend la part compatible avec les utilisations humaines de plus en plus petite Wheal(1991).

D'une manière générale la qualité des eaux naturelles de surface peut résulter de contraintes naturelles et anthropiques, ainsi que de la gestion et l'économie de ces eaux. Ce sont ces facteurs là à considérer pour améliorer ou conserver les sources d'eau sans les dégrader. Bouras et al. (2010).

Comme tous les autres pays du monde, les eaux de surface de l'Algérie n'échappent pas au fléau de la pollution et l'activité anthropique demeure la cause principale de la dégradation de la qualité des eaux de surface naturelle. Par ailleurs, l'activité agricole surtout l'utilisation des engrais et des pesticides et la pollution domestique constituent aussi la cause de la pollution des eaux de surface.

Ainsi la contamination des écosystèmes aquatiques par des éléments toxiques notamment par les métaux lourds a attiré l'attention de plusieurs chercheurs, et la lutte contre cette pollution est au centre des discussions et des débats à l'échelle mondiale. Des centaines de titres consacrés à ce sujet ont pu être relevés dans la presse, des centaines de colloques, rencontres, congrès se sont déroulés pour en débattre, El Mohrit (2005). Sans oublier les campagnes de sensibilisations réalisées par les associations nationales de protection de l'environnement, El Mohrit (2005).

Ce type de pollution constitue en effet l'un des aspects de la pollution la plus menaçante pour les milieux récepteurs, Azzaoui (2002), Mohamdou (2008). Les dégradations résultant de cette pollution compromettent l'équilibre des écosystèmes concernés, le renouvellement des ressources naturelles ainsi que le bien être et la santé de la population humaine, El Mohrit (2005).

Par exemple, les maladies d'origine hydrique ont été responsables de vastes épidémies de dysenterie, fièvre typhoïde, choléra, entre autres, George et Servais (2002). Aujourd'hui, ces maladies sont à l'origine d'un taux de mortalité très élevé chez les populations des pays en voie de développement. Dans le monde, environ 6 millions d'enfants meurent chaque année des suites de gastro-entérites, 100 millions de personnes souffrent en permanence de gastro-entérites hydriques, 260 millions d'individus sont atteints de bilharziose, 2 à 3 millions de décès sont observés chaque année parmi les 800 millions de sujets impaludés et 30 millions d'onchocercose sont dénombrés, OMS (2004).

Les écosystèmes aquatiques, notamment les écosystèmes lacustres ou zones humides, sites de notre étude, sont de plus en plus menacés par ce type de pollution qui risque de diminuer ses potentialités écologiques et économiques et d'avoir des répercussions néfastes sur la santé humaine. Par ailleurs, le choix d'étudier les deux compartiments eaux et sédiments des zones humides appartenant au PNEK de la région d'El-Kala, est motivé par leur statut de fournisseurs d'eau pour la population riveraine d'une part; et d'autre part par

leurs rôles importants dans le soutien d'étiages, la recharge des nappes, la régulation des crues, un filtre pour l'épuration des eaux et source de biodiversité. De part leurs différentes fonctions, elles sont de réelles infrastructures naturelles. Elles jouent un rôle prépondérant dans la gestion qualitative et quantitative de la ressource en eau à l'échelle du bassin versant. Ces zones humides sont aussi un lieu propice à d'innombrables processus chimiques et biologiques de la biosphère et certains auteurs n'ont pas hésité à les dénommer des "supermarchés biologiques", essentiels dans la régulation des climats à l'échelle globale, Whittaker et Likens (1973).

Parmi les substances chimiques susceptibles de constituer un danger pour la vie aquatique, nous signalons les métaux lourds dont certains comme le chrome, le nickel, le plomb sont très toxiques. Certains métaux non toxiques le deviennent vu leur pouvoir bio-accumulateur dans le milieu aquatique et notamment dans les sédiments. Car les éléments métalliques ne sont pas totalement éliminés par voie biologique, El Mohrit (2005).et constitue l'un des aspects de pollution le plus menaçant pour ces milieux, Serghini (2001), d'où le choix d'étudier ces éléments : Fe, Cr, Ni, Cu, Zn, Cd et Pb, dans l'eau et le sédiment .

Le compartiment sédiment fait partie intégrante du continuum de l'eau et ne devrait pas être négligé car sa contamination peut engendrer des effets délétères qui doivent être considérés dans la surveillance des écosystèmes aquatiques, SedNet (2006). Le choix des sédiments réside dans le fait qu'ils reflètent bien les divers processus physico-chimiques ayant eu lieu non seulement en milieu aquatique, mais aussi à l'échelle du bassin versant et sont d'excellents indicateurs de l'état de la qualité des plans d'eau grâce à leur pouvoir accumulateur, Pasternak, (1969), Mathis & Cumminig (1973), Friant(1979) ; Lascombe & Cardot(1984) ; Burton & Scott (1992). Aussi selon Babut et Perrodin (2001) ; les polluants émis sont rapidement pris en charge par le sédiment où ils peuvent s'accumuler et la couche superficielle des sédiments nous intéresse plus particulièrement dans cette étude, car elle constitue la pollution récente et les particules nouvellement déposées seront les premières à entrer en contact avec les organismes du milieu. (Poissons, mollusques,...etc).

Par ailleurs, dans notre étude, la caractérisation hydrochimique des eaux de surface superficielles, constitue aussi, l'une des composantes principales dans l'évaluation de la qualité des écosystèmes aquatiques notamment les zones humides de la région d'El Kala, qui sont soumis à une double influence marine et continentales. Dans ce contexte, la présente étude consiste d'une part, à étudier la qualité hydrochimique des eaux superficielles des zones humides de la région d'El Kala, par le suivi de certains paramètres physicochimiques, dans le temps et dans l'espace. Les résultats sont soumis à une analyse en composante principale pour comprendre le comportement et le fonctionnement des eaux de la zone d'étude, et d'autre part, à évaluer la pollution métallique des eaux et des sédiments de la zone d'étude à travers le suivi spatial et temporel de sept éléments métalliques : Fe, Pb, Cu, Zn, Cr, Ni, et Mn. L'évaluation est basée sur les valeurs d'indice de contamination relevée par chaque élément.

En effet, Un diagnostic complet de la situation actuelle de la pollution des zones humides de la région d'El-Kala et un suivi spatiotemporel rigoureux de son évolution, s'avèrent d'une grande nécessité afin de pouvoir juger de la qualité des sédiments et des eaux et de son impact sur l'écosystème local. C'est dans cette perspective que nous avons procédé

à l'étude de la contamination métallique des eaux et des sédiments au niveau des sites de prélèvement indiqués dans notre étude.

L'organisation du manuscrit : Ce manuscrit qui débute par une introduction générale s'articule ensuite autour de trois chapitres. Le premier chapitre s'intitule « Généralités sur les métaux lourds », constitue un rappel sur les métaux lourds, leurs propriétés fondamentales, leurs sources naturelles et anthropiques et leur toxicité. Le second chapitre « Matériels et Méthodes » évoque une description de la zone d'étude, avec ses divers aspects et les différents matériaux utilisés afin de réaliser notre étude. Le troisième et dernier chapitre est consacré aux résultats et discussion qui consiste en trois bilans, le premier bilan a trait à la qualité hydro chimique des eaux superficielles de la zone d'étude, le second concerne la contamination métallique des eaux de surface superficielles, quant au troisième il porte sur la contamination métallique des sédiments superficiels de la zone d'étude. Une conclusion générale et une liste de références bibliographiques clôture ce manuscrit.

# ***Chapitre I : Généralités***

## CHAPITRE I : GENERALITES

Pour mieux appréhender notre sujet, il est essentiel d'énumérer de façon succincte quelques caractéristiques des éléments traces ou métaux lourds caractérisés par cette étude. Il s'agit de souligner les propriétés fondamentales des éléments métalliques, les sources probables de ces éléments dans la nature, et les processus qui concourent à les introduire dans les milieux aquatiques.

Le milieu aquatique, dans son ensemble, est un système très complexe qui est le siège d'un grand nombre de réactions chimiques, physiques et biologiques. Ce système est, de manière générale, en étroite relation avec l'ensemble des autres systèmes ou compartiments constituant le milieu naturel et que l'on peut décomposer en trois grandes parties : l'atmosphère, l'eau et le sol (incluant les sédiments), Stumm et Morgan (1996).

### 1. Eléments traces et environnement

#### 1.1. Introduction

Les éléments traces ou les métaux lourds sont des constituants de la croûte terrestre, au nombre de 68 « Figure 1 ». Les éléments traces sont ainsi nommés parce qu'ils se trouvent en faibles concentrations dans la croûte terrestre. La concentration est pour chacun d'eux est inférieure à 0,1% et ne représentent que 0,6% du total des éléments chimiques, Alloway (1990), Baize (1997).

Une fois que les métaux lourds sont libérés dans le milieu, ils peuvent être transportés par voie aqueuse via l'eau, les matières en suspension ou les sédiments de fonds des cours d'eau ; leurs concentrations est un paramètre important.

Il est à signaler aussi que le degré dans lequel un métal est absorbé ou précipité dépend notamment des ses propriétés intrinsèques « état d'oxydation », des paramètres physico-chimiques de l'environnement « pH » et de la nature de l'adsorbant.

**CLASSIFICATION PERIODIQUE DES ELEMENTS**

- Métaux
- Semi-conducteurs
- Non-métaux
- Gaz nobles
- Lanthanides et actinides

- Li** : Solide à 25°C, sous 1 bar
- He** : Gaz à 25°C, sous 1 bar
- Br** : Liquide à 25°C, sous 1 bar
- Tc** : Obtenu par synthèse

	I														VIII			
1	1 <b>H</b>		II											2 <b>He</b>				
2	3 <b>Li</b>	4 <b>Be</b>											5 <b>B</b>	6 <b>C</b>	7 <b>N</b>	8 <b>O</b>	9 <b>F</b>	10 <b>Ne</b>
3	11 <b>Na</b>	12 <b>Mg</b>											13 <b>Al</b>	14 <b>Si</b>	15 <b>P</b>	16 <b>S</b>	17 <b>Cl</b>	18 <b>Ar</b>
4	19 <b>K</b>	20 <b>Ca</b>	21 <b>Sc</b>	22 <b>Ti</b>	23 <b>V</b>	24 <b>Cr</b>	25 <b>Mn</b>	26 <b>Fe</b>	27 <b>Co</b>	28 <b>Ni</b>	29 <b>Cu</b>	30 <b>Zn</b>	31 <b>Ga</b>	32 <b>Ge</b>	33 <b>As</b>	34 <b>Se</b>	35 <b>Br</b>	36 <b>Kr</b>

Fig.1 : Classification périodique de Mendeleïev des éléments métalliques

## 1.2. La contamination métallique

Contrairement à la plupart des contaminants organiques, les métaux sont des constituants naturels dans les roches. Ces éléments se trouvent normalement à de faibles teneurs dans les sols, les sédiments, les eaux de surface et les organismes vivants, Alloway (1997). Afin d'évaluer l'impact d'un métal lourd dans l'environnement la seule présence n'est pas suffisante. Cet impact est potentiel si le métal donné se trouve à des concentrations anormalement élevées par rapport aux normes.

Généralement les apports en éléments métalliques présents dans l'environnement sont d'une part émis dans l'atmosphère par les processus naturels et anthropogénique, qui peuvent ensuite se déposer au niveau terrestre (sol, végétation et milieu aquatique) grâce aux processus de dépôt et d'interception. Les gouttes de pluies, poussières grossières se déposent sous l'effet de la gravité, les poussières fines et les gaz en suspension dans l'air, sont interceptés et déposés au contact des feuilles et des aiguilles des arbres. D'autre part les éléments métalliques sont libérés dans le sol par l'altération des minéraux des roches, par les activités anthropiques et par des dépôts atmosphériques qui vont être dispersés dans les systèmes aquatiques grâce à l'érosion hydrique qui dépend de l'héritage minéralogique, de la dynamique propre de l'élément chimique, des précipitations et de la pente des versants.

Les conséquences environnementales de ces processus sont non seulement les pertes en éléments nutritifs des sols mais également le transport vers les eaux de surface des polluants fixés sur des particules solides, Baize (1997).

Les métaux considérés par notre étude sont le fer (Fe), le manganèse (Mn), le chrome (Cr), le nickel (Ni), le cuivre (Cu), le plomb (Pb) et le zinc (Zn). Ces métaux ont des effets très différents sur le milieu vivant. Certains sont nécessaires pour les organismes. Ils sont dits essentiels, bien qu'à de fortes concentrations, ils peuvent être nocifs pour les organismes et dont l'absence entrave le fonctionnement ou empêche le développement d'un organisme. Toutefois, si ces éléments essentiels se trouvent en fortes concentrations, ils peuvent devenir toxiques pour les organismes, c'est pourquoi ils existent des guides pour la qualité des eaux et des sédiments.

Par exemple, certains métaux, dits oligoéléments, sont indispensables au monde vivant (fer, cuivre, chrome, zinc...) mais en très faible quantité ; ils permettent le bon fonctionnement de certains métabolismes aussi bien chez les végétaux, les animaux que chez l'homme. En quantité insuffisante, ils peuvent entraîner des carences qui provoquent des maladies alors que leur présence en forte concentration peut engendrer des effets indésirables, voire toxiques Baize (1997). D'autres éléments tels que le plomb, le cadmium, le mercure, n'ont pas ce caractère indispensable « dits : éléments non essentiels »; ils ont la propriété de s'intégrer et de s'accumuler dans la chaîne alimentaire, et ainsi de devenir toxique pour l'homme, consommateur final, Freiberg *et al* (1979), Alloway et Ayres (1997).

Selon Bliefert et Perraud (2001), le comportement de ces oligoéléments, au sein de l'organisme humain est souvent délicat. En effet leur action sur la croissance, la production de la biomasse, et l'activité biologique est positive, seulement s'il se trouve à une concentration

ni trop élevée ni trop faible, donc « optimale », et ceci à l'endroit approprié au sein de l'organisme.

- Si un organisme contient une concentration d'un oligoélément en dessous de la valeur nécessaire, une fonction, telle que le processus métabolique, peut être inhibé. De plus, des symptômes peuvent apparaître par manque d'éléments essentiels.
- Si un élément se trouve en concentration trop élevée, selon l'organisme considéré, il peut avoir un effet toxique.

Un équilibre doit donc être trouvé entre excès et défaut de ces éléments dans l'organisme humain. Dans l'organisme, certains de ces éléments sont des biocatalyseurs du métabolisme et se rencontrent généralement au niveau des protéines. Le chrome est un oligoélément essentiel qui intervient dans l'organisme comme facteur de tolérance du glucose. Le cobalt possède certains composés minéraux qui jouent le rôle de catalyseur. Il fait également partie des constituants de la vitamine B12 ou Cyanocobalamine. Le cuivre et le nickel sont deux oligoéléments indispensables au bon fonctionnement de divers systèmes enzymatiques. Le zinc entre dans la composition de nombreuses métallo-enzymes. Au niveau sanguin, le zinc se retrouve à 85% environ dans les globules rouges ; sa liaison aux protéines plasmatiques se fait majoritairement avec la sérum-albumine. Il se distribue surtout dans le foie, le rein, les muscles, les os, la prostate et la rétine. Bliefert et Perraud (2001).

Outre cette fonction biologique, certains éléments sont également utilisés dans des composés pour le traitement chimiques des plantes contre certains agresseurs. Le cuivre, sous forme de sulfate (bouillie bordelaise), est utilisé en agriculture pour le traitement des fongiques des vignes et vergers Coppenet (1974) ; Coppenet et al (1993). Le plomb est également utilisé dans certains pesticides tels que les arséniate pour le traitement des vergers, vignes et horticulture, Baize (1997).

## 2. Caractéristiques des métaux lourds analysés dans cette étude

### 1.3.1. Fer

#### 1.3.1.1. Propriétés fondamentales :

Le fer du latin «*ferrum*», est un élément métallique blanc argenté, de symbole **Fe**, magnétique et malléable. C'est un élément de transition de numéro atomique **26**. A l'état libre, le fer métallique se trouve dans les météorites, en général allié au nickel. Le métal est largement présent dans certains composés chimiques. Il occupe la 4<sup>ème</sup> quatrième place juste après l'Al (aluminium) dans la classification d'abondance des éléments dans la croûte terrestre. Proche de l'aluminium par ses propriétés, c'est le plus abondant des métaux. De petites quantités de fer sont présentes sous formes combinées dans les eaux naturelles, les plantes et le sang, in Casas (2005).

Le fer se trouve généralement à l'état divalent dans les eaux qui ne se trouvent pas en contact avec l'air par contre dans les eaux superficielles exposés à l'air le fer est entièrement ou partiellement à l'état ferrique <sup>+3</sup>.

Les caractéristiques chimiques du fer et du manganèse sont semblables, mais il existe néanmoins certaines différences, par exemple le Mn se réduit plus facilement que le fer et il est plus difficile à oxyder que le fer.

Dans la lithosphère le rapport Fe/Mn est de 50 / 1, donc le manganèse tend à rester dans l'eau en plus grande quantité que le fer .

Les concentrations en manganèse rencontrées généralement dans les cours d'eau sont rarement supérieures à 2 mg/l. in Casas (2005).

### ***1.3.1.2. Utilisation du fer***

Le décapage, dont le but est d'éliminer les écailles et la rouille des surfaces métalliques, est l'une des sources de pollution de l'eau par le fer, les plus importantes .Les quantités d'eau nécessaire pour le décapage varie selon le type d'installation, dans les grandes usines qui traitent plus de 10000 tonnes d'acier par mois, les quantités de liqueurs utilisées sont de 20 à 60 m<sup>3</sup> / jour pour les liqueur concentrées et de 25 m<sup>3</sup> /heure pour l'eau de rinçage. Thomas R (1996).

Plusieurs composés de fer sont utilisés pour les étapes de floculation et coagulation dans le traitement des eaux. La corrosion dans les circuits de distribution d'eau et dans les circuits de refroidissement de diverses industries a toujours posé de sérieux problèmes pour la présence de fer dans ces eaux. (in Levesque, 1975),

L'agressivité des eaux vis à vis du fer est causée par la présence d'ion H<sup>+</sup> libres et d'O<sub>2</sub>.

Les sulfatobactéries et les ferrobactéries jouent également un rôle prépondérant dans le phénomène de corrosion du fer, les secondes bactéries transforment les sels solubles de fer et de Mn en composés insolubles par oxydation.

Concernant le fer et le manganèse ce sont deux éléments minéraux présents généralement ensemble dans le milieu mais existent sous différentes formes selon le pH et le potentiel d'oxydo-réduction de l'eau ou ils se trouvent.

Selon les conditions du milieu, le manganèse se trouve sous forme soluble ou sous forme d'oxyde et d'hydroxyde de faible solubilité.

Dans la plupart des eaux de surface, à un pH neutre, le Mn se trouve à l'état soluble ou Mn<sup>2+</sup> ou sous forme de complexe inorganique : bicarbonate de manganèse et sulfates de manganèse. . (in Levesque, 1975),

### ***1.3.1.3. Cycle, Sources naturelles et anthropiques :***

Le fer peut être entraîné dans les eaux par diverses voies dont principalement la dissolution superficielle des roches, le lessivage des terrains miniers, les rejets industriels directement dans les eaux ou bien dans l'atmosphère et les particules émises retombant à la surface de la terre avec les pluies. . (in Levesque, 1975),

Les sources potentielles industrielles de rejets de fer soluble dans les eaux sont présentées dans le tableau suivant :

**Tableau 1:** Les sources potentielles industrielles des rejets de fer.

Extraction des minerais	Industrie de teinture
Transformation des minerais	Métallurgie – sidérurgies
Industrie chimique	Conservation alimentaire
Tanneries et production du dioxyde de titane.	

C'est l'industrie sidérurgique qui semble la source de pollution la plus importante. Le déversement des eaux résiduaires des ateliers de décapage dans les cours d'eau et les égouts est particulièrement dangereux en raison de la présence de concentrations d'acides et de sels de fer et les formes de pollution de l'eau imputable au décapage sont les suivants :

- Transformation par hydrolyse des sels ferreux en hydroxydes ferreux insolubles qui oxydés par l'oxygène dissous dans l'eau se transforme en hydroxydes ferriques donnant un important précipité brunâtre.
- Réduction de la teneur en oxygène dissous ce qui diminue le pouvoir auto épurateur du cours d'eau.
- Dépôt ferrique sur la faune et la flore et prolifération des bactéries assimilant les matières ferrugineuses.

D'autre part, les rejets dans l'atmosphère des fumées rousses d'oxyde de fer sont un autre type de pollution due à l'industrie sidérurgique. Ces fumées se forment lors des procédés d'élaboration de l'acier (cas du complexe sidérurgique d'El-Hadjar).

En effet, dans les principaux procédés d'élaboration de l'acier, la fonte mélangée à une certaine quantité de ferraille et de matériaux favorisant la formation du laitier, est affinée par des oxydes de fer ou par des injections d'air ou d'oxygène qui font disparaître en grande partie les impuretés, le carbone, le soufre, le phosphore ....etc.

#### **1.3.1.4. Effets biologiques et toxicité**

Le fer dans les eaux semble avoir un effet de stimulation sur la croissance algale vis à vis des poissons, la toxicité du fer dépend du pH et est reliée au dépôt d'hydroxyde ferrique sur les branchies.

Vis à vis des organismes inférieurs et microorganismes, la limite de toxicité est considérablement plus élevée et dans le plus défavorable des cas est de l'ordre de 80 mg /L. Selon Chernyev (*in* Levesque, 1975), le fer à une concentration de 0.52 mg/L cause la mort d'œufs de poissons incubés. Celle-ci résulterait d'une précipitation du fer sous forme d'oxydes sur la membrane de l'œuf.

Le fer est un oligo-élément indispensable à la vie et, de ce fait, il est indispensable dans le régime alimentaire de l'homme et des mammifères ;néanmoins sa présence en trop forte concentration dans l'eau ,si elle ne présente pas de problèmes de toxicité entraîne divers inconvénient : goût et odeur désagréable et plus particulièrement dans les systèmes de distribution d'eau, des dépôts dans les canalisations favorisant le développement de bactéries filamenteuses dont leur présence peut être gênante dans certaines eaux à usage industriel et dans bien des cas un prétraitement de l'eau devra être impliqué afin d'éliminer le fer .

### **1.3.2. Plomb**

#### **1.3.2.1. Propriétés fondamentales**

C'est un élément métallique de couleur gris bleuâtre, de symbole **Pb** et de numéro atomique **82** (Fig.1), peu ou rarement disponible à l'état natif, il est présent dans de nombreux minerais, la galène PbS, associé au zinc PbZn. . (in Levesque, 1975),

Il existe sous trois formes essentielles: le plomb dissous, le plomb colloïdal et le plomb particulaire.

- Sous forme dissoute, les espèces dominantes dans l'eau de mer par exemple sont  $\text{PbCO}_3$ ,  $\text{PbCl}_2$  ou  $\text{PbCl}^+$ . Cette répartition ne prend pas en compte la matière organique dissoute et le fait que le plomb, dans l'eau de mer, se trouverait essentiellement sous forme de complexes organiques labiles. De même que pour le mercure, le plomb peut-être méthyle par les bactéries dans les sédiments, mais ce phénomène revêt une moindre importance.

- Aussi, le plomb présente une forte affinité pour la matière particulaire. A peine 10 % du plomb se trouve sous cette forme dans l'océan. L'adsorption du plomb sur la matière particulaire est fonction du pH et augmente avec ce dernier. . (in Levesque, 1975),

### **1.3.2.2. Utilisations du plomb**

Le plomb est très souvent associé au zinc dans les minerais mais aussi à de nombreux autres éléments: Fe, Cu, Cd, Bi, Sb, Ge, As, Ag, qui sont en grande partie (sauf Fe) récupérés lors des opérations métallurgiques. Les minerais mixtes Pb-Zn représentent 70 % de la production minière de plomb, les minerais de plomb en représentent 20 %, et 10 % de la production de plomb proviennent d'une coproduction lors du traitement du minerai de cuivre, de zinc ou d'autres métaux. Le principal minerai du plomb est la galène (PbS) très souvent associé à la blende et à la pyrite, Chiffolleau *et al* (2001).

L'utilisation du plomb est directement liée à la métallurgie. Dans l'antiquité, pour la production de la monnaie, les canalisations et la vaisselle ; et actuellement dans l'industrie, l'imprimerie, les peintures et les carburants automobiles. Cette dernière utilisation qui consistait à ajouter du plomb à l'essence comme antidétonant est aujourd'hui prohibée, Miquel (2001).

### **1.3.2.3. Cycle et sources naturelles et anthropiques**

Dans l'air, les émissions de plomb provenant de poussières volcaniques véhiculées par le vent sont reconnues d'importance mineure. Les rejets atmosphériques sont principalement anthropiques. Les apports de plomb à l'océan se font majoritairement par voie atmosphérique, la source principale étant encore à l'heure actuelle la combustion des carburants automobiles, Marchand et Kantin (1997).

Dans les sédiments, le plomb peut être remis en solution par dégradation aérobie de la matière organique particulaire à laquelle il est associé. Cette solubilisation s'observe également en sub-surface par dissolution des oxydes de fer et de manganèse, Marchand et Kantin (1997).

### **1.3.2.4. Effets biologiques et toxicité**

Les doses létales du plomb, sous la forme de sel minéral, sont souvent supérieures à sa limite de solubilité dans l'eau de mer, c'est à dire 4 mg/L. Le plomb inorganique peut donc être considéré comme toxique (concentration létale de 1 à 10 mg/L) ou modérément toxique (concentration létale de 10 à 100 mg/L). Marchand et Kantin (1997).

Le seuil de qualité sanitaire réglementaire est de 1,5 mg/kg (p.h) du règlement européen CE 221/2002.

Des effets sur la croissance de certaines espèces phytoplanctoniques ont été enregistrés à partir de 0,5µ/L.

Les invertébrés marins aux stades embryonnaires sont plus sensibles que les adultes. Ainsi, la concentration inhibitrice du développement embryonnaire de la moule (*Mytilus galloprovincialis*) est d'environ 500 µg/L ; de plus, à cette concentration, un grand nombre de larves sont anormales. L'effet toxique du plomb peut se traduire par une compétition avec des métaux essentiels. Chez la moule, *Mytilus edulis*, en présence de plomb (0,1 mg/L), il y a perturbation du métabolisme des autres métaux divalents: notamment le calcium, le magnésium et le cuivre, Marchand et Kantin (1997).

Enfin, le saturnisme désigne l'ensemble des manifestations de l'intoxication humaine par le plomb. Ses principaux organes cibles sont le système nerveux, les reins et le sang. Cette maladie se caractérise par une anémie et une perturbation du métabolisme par compétition avec les ions  $\text{Ca}^{2+}$ .

### 1.3.3. cuivre

#### 1.3.3.1. Propriétés fondamentales

Elément chimique métallique de couleur rouge-brun, de symbole **Cu** et NA **29** (tableau 1) .Il est indispensable au métabolisme des êtres vivants (oligo-éléments).L'ion  $\text{Cu}^{2+}$  forme de nombreux complexes stables avec des ligands minéraux, comme les chlorures ou l'ammonium, ou avec des ligands organiques, ATSDR (1990), Dameron et Howe (1998). Dans les milieux aqueux, le comportement du cuivre est influencé par de nombreux processus:

- Complexation avec des ligands organiques (surtout sur les groupes  $\text{NH}_2$  et  $\text{SH}$ , et dans une moindre mesure sur le groupe  $\text{OH}$ ) ou minéraux,
- Adsorption sur des oxydes métalliques, des argiles ou des matières organiques particulières,
- Bioaccumulation, présence de cations de compétition ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ).
- Echanges entre les sédiments et l'eau, ATSDR (1990), Dameron et Howe (1998). L'oxyde cuivreux  $\text{Cu}_2\text{O}$  est insoluble dans l'eau alors que les formes  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  et  $\text{CuCl}_2$  le sont. La majorité du cuivre rejeté dans l'eau est sous forme particulaire et tend à se déposer, à précipiter ou à s'absorber à la matière organique, au fer hydraté, aux oxydes de manganèse ou aux argiles. Dans l'eau, le cuivre particulaire représenterait de 40 à 90 % du cuivre, ATSDR (1990). Après introduction du cuivre dans le milieu aquatique, l'équilibre chimique est généralement atteint en 24 heures.

#### 1.3.3.2. Utilisations du cuivre:

Le cuivre existe à l'état natif et est extrait d'une grande variété de minerais. Il se rencontre surtout sous forme de sulfures  $\text{CuS}$  et  $\text{Cu}_2\text{S}$  dans la tétrahédrite et l'énergite, et sous forme d'oxydes. Le minerai le plus important est la chalcopyrrite. La teneur en cuivre dans les minerais varie de 0,5 à 5 %. Elle est de 0,01 % dans les roches volcaniques et de 0,0055 % dans les roches cristallines. . (in Levesque, 1975),

Le cuivre est l'un des métaux les plus employés à cause de ses propriétés physiques et de sa conductibilité électrique et thermique. Il est utilisé dans la métallurgie, dans la fabrication des alliages de bronze (avec étain), de laiton (avec zinc) ou de bijouterie (avec or et argent).

Il est très largement employé dans la fabrication de matériels électriques (fils, enroulements de moteurs, transformateurs), dans la plomberie, dans les équipements industriels, dans l'automobile et en chaudronnerie.

L'acétate de cuivre est utilisé comme catalyseur, notamment dans la fabrication de caoutchouc, comme pigments pour les céramiques et les teintures, comme fongicide et comme insecticide.

Le chlorure cuivrique est employé comme catalyseur, agent désodorisant, désulfurant ou purifiant, fixateurs pour la photographie. Il est utilisé pour la production de couleurs dans les compositions pyrotechniques ou encore pour la conservation du bois et le raffinage des métaux. Aussi, le sulfate de cuivre anhydre est utilisé en analyse pour la détection et l'élimination de traces d'eau provenant des alcools. . (in Levesque, 1975),

La forme hydratée est utilisée comme fongicide agricole, bactéricide et herbicides. Il entre aussi dans le traitement des vignes.

### ***1.3.3.3.Cycle et sources naturelles et anthropiques***

Le cuivre est présent dans l'environnement de manière ubiquiste. Sa concentration dans l'écorce terrestre est estimée à environ 70 mg/kg.

Le transport par le vent des poussières de sol, les éruptions volcaniques, les décompositions végétales, les feux de forêts et les aérosols marins constituent les principales sources naturelles d'exposition.

Les principales sources anthropiques sont l'industrie du cuivre et des métaux en général, l'industrie du bois, l'incinération des ordures ménagères, la combustion de charbon, d'huile et d'essence et la fabrication de fertilisants (phosphate).

Le milieu environnemental le plus exposé au cuivre est le sol: 97 % du cuivre libéré dans l'environnement s'y retrouve contre seulement 3 % dans les eaux et 0,04 % dans l'air ATSDR (1990).

La contamination des sols est due principalement aux résidus d'extraction et de broyage des minerais de cuivre, les boues des usines de traitement des eaux usées, les déchets de la galvanoplastie, l'industrie du fer et de l'acier.

Dans les eaux, le cuivre provient pour la majeure partie de l'érosion des sols par les cours d'eau (68 %), de la contamination par le sulfate de cuivre (13 %) et des rejets d'eaux usées qui contiennent encore du cuivre, même après traitement.

La viticulture, principale monoculture dans la région méditerranéenne constitue une source potentielle de pollution métallique. Divers fongicides à base de cuivre sont, par exemple, largement utilisés pour protéger la vigne. ATSDR (1990).

En plus, dans la zone Méditerranéenne, l'importance du ruissellement et de l'érosion est susceptible d'accroître les transferts vers les eaux superficielles des produits phytosanitaires issus du traitement de la vigne, le cuivre inclus. Par conséquent, ce métal, connu pour son effet fongicide sur les végétaux, se retrouve présent dans l'écosystème aquatique récepteur et peut être à l'origine de perturbations au niveau des populations phytoplanctoniques. ATSDR (1990).

#### ***1.3.3.4. Effets biologiques et toxicité***

Le cuivre est un élément essentiel chez l'homme et l'animal. Il est impliqué dans de nombreuses voies métaboliques, notamment pour la formation d'hémoglobine et la maturation des polynucléaires neutrophiles. De plus, il est un cofacteur spécifique de nombreuses enzymes et métalloprotéines de structure intervenant dans un métabolisme oxydatif, la respiration cellulaire, la pigmentation OMS. IPCS (1998). Il a une importance capitale dans l'entretien des processus biologiques. Chez les mollusques, le sang renferme un pigment respiratoire à base de cuivre, l'hémocyanine.

La toxicité vis à vis des organismes marins dépend de la forme chimique du cuivre et de son état d'oxydation. En particulier, la concentration létale en 48 h pour 50 % des larves d'huîtres plates serait de 1 à 3 µg/L et des inhibitions de croissance du phytoplancton se produisent à partir de 4 µg/l.

Les caractéristiques physico-chimiques du milieu (pH, dureté, teneurs en autres éléments inorganiques) agissent sur le degré de dissociation entre les formes métalliques et ioniques. Le cuivre complexé est moins toxique que le cuivre à l'état ionique.

### ***1.3.4. zinc***

#### ***1.3.4.1. Propriétés fondamentales***

Le zinc est un élément chimique métallique, bleuâtre, de symbole **Zn** et de NA **30** (tableau 1). Il s'agit d'un oligo-élément indispensable au développement de la vie, son utilisation est variable et multiple, une grande partie de la pollution provient de la métallurgie. Sa toxicité pour les organismes marins n'est pas prouvée, sauf à de forte concentrations, il s'agit sur la reproduction des moules et le croissance larvaire.

#### ***1.3.4.2. Utilisation du zinc***

Il est assez présent dans la croûte terrestre, on le trouve pas à l'état libre dans la nature, mais sous forme d'oxyde de zinc (ZnO), de silicates (2ZnO, SiO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O), de carbonates de zinc (ZnCO<sub>3</sub>)...etc. A l'état pur le zinc est un métal cristallin, insoluble dans l'eau. Son origine artificiel ne peut être qu'industrielle. Casas ,(2005).

Il est principalement utilisé comme revêtement protecteur anti-corrosif des aciers, on le trouve également dans les plaques des piles électriques sèches et il est utilisé dans le traitement des eaux industrielles.

Il est souvent associé au plomb et au cadmium dans les minerais, avec une teneur variant de 4 à 20 %. Le minerai principal est la blende, sulfure de zinc (ZnS). Il est produit principalement suivant un procédé hydro-métallurgique ou encore pyro-métallurgique.

Le zinc est principalement utilisé pour les revêtements de protection des métaux contre la corrosion (galvanoplastie, métallisation, traitement par immersion). Il entre dans la composition de divers alliages (laiton, bronze, alliages légers). Il est utilisé dans la construction immobilière, les équipements pour l'automobile, les chemins de fer et dans la fabrication de produits laminés ou formés. Il constitue un intermédiaire dans la fabrication d'autres composés et sert d'agent réducteur en chimie organique et de réactif en chimie analytique. Casas ,(2005).

#### ***1.3.4.3. Cycle, sources naturelles et anthropiques***

Le zinc principalement sous forme de sulfure (blende) est assez uniformément distribué dans les roches magmatiques (40 à 120 mg.kg.1). Sa concentration est un peu plus élevée dans les sédiments argileux (80 à 120 mg/kg), alors qu'elle est plus faible dans les roches mères sableuses. Il entre naturellement dans l'atmosphère à partir du transport par le vent de particules du sol, des éruptions volcaniques, des feux de forêts et d'émission d'aérosols marins. Les apports anthropiques de zinc dans l'environnement résultent des sources minières industrielles (traitement minerai, raffinages, galvanisation du fer, gouttières de toitures, piles électriques, pigments, matières plastiques, caoutchouc), des épandages agricoles (alimentation animaux, lisiers) et des activités urbaines (trafic routier, incinération ordures). Dans les zones portuaires, le zinc est introduit à partir de la dissolution des anodes destinées à la protection des coques de bateaux contre la corrosion, et est contenu dans certaines peintures antisalissure. Casas ,(2005).

#### ***1.3.4.4. Propriétés biologiques et toxicité***

Comme le cuivre, le zinc est un métal essentiel, nécessaire à la vie d'un grand nombre d'organismes, en quantité généralement faible.

Le zinc est l'un des oligo-éléments les plus abondants chez l'homme (besoins 15 mg/jour).

Il intervient au niveau de la croissance, du développement osseux et cérébral, de la reproduction, du développement foetal, du goût et de l'odorat, des fonctions immunitaires et de la cicatrisation des blessures, NAS/NRC (1989).

Sa toxicité pour les organismes aquatiques n'en fait pas un contaminant prioritaire, bien qu'il agisse, à de fortes concentrations, sur la reproduction des moules et la croissance des larves.

### ***1.3.5. Chrome***

#### ***1.3.5.1. Propriétés fondamentales***

Le chrome est un élément chimique de symbole **Cr**, et de NA **24** (tableau 1). Son étymologie vient du grec : *chroma* signifiant couleur, car les composés du chrome sont différemment colorés.

- Le chrome fait partie de la série des métaux de transition. C'est un métal dur, d'une couleur gris acier argenté. Il résiste à la corrosion et au ternissement.
- Les états d'oxydation les plus communs du chrome sont  $+2$ ,  $+3$ , et  $+6$ ;  $+3$  étant le plus stable et les  $+4$  et  $+5$  sont relativement rares.
- Les composés du chrome d'état d'oxydation  $+6$  (chrome hexavalent) sont de puissants oxydants, Brown ; (1971).

Le chrome est essentiellement obtenu à partir de la chromite, minéral du type spinelle, ce dernier est un minéral assez répandu sur le globe. Dans ce minéral le chrome est pratiquement toujours associé au magnésium sous forme de chromite de fer  $\text{FeCr}_2\text{O}_4$  mais peut être également associé au magnésium sous forme de chromite de magnésium ( $\text{MgCr}_2\text{O}_4$ ).

On y trouve également de l'oxyde d'aluminium  $\text{Al}_2\text{O}_3$  et de la silice. D'après M. Sittig 1976, le chrome représente 0.037% de la croûte terrestre.

### 1.3.5.2. Composés du chrome

Il existe un grand nombre de combinaisons du chrome, ces composés ayant un éventail très large d'applications dans les industries les plus diverses. Les combinaisons du chrome sont subdivisées en deux grands groupes :

- Les combinaisons du chrome trivalent, le chlorure chromique, le nitrate de chrome, l'acétate de chrome. Coriou et Grall (1970), in Levesque (1975)
- Les combinaisons de chrome hexavalent dont principalement l'acide chromique ou plus exactement le trioxyde de chrome, mais aussi les chromates de baryum, de zinc, de plomb et les bichromates d'ammonium et de potassium, Guenent (1974 -1975).

**Utilisations du chrome:** Les diverses industries utilisatrices du chrome sont présentées dans le tableau qui suit :

**Tableau 2 :** Les diverses industries utilisatrices du chrome

Industrie chimique	Industrie du cuir
Industrie des couleurs et laques	Industrie des métaux
Industrie des films et photographie	Industrie métallurgique
Industrie galvanique et électrique	Industrie pharmaceutique
Industrie du bois	Industrie de polissages
Protection contre la corrosion	Industrie textile
Industrie des allumettes.	

### 1.3.5.3. Propriétés biologiques et toxicité

Le chrome trivalent est un oligo-élément essentiel pour le métabolisme du sucre chez l'être humain. Une déficience en chrome peut affecter le potentiel de l'insuline à réguler le niveau

de sucre dans l'organisme L'impact immédiat de sa présence dans le milieu marin se manifeste par sa concentration dans les différents organismes aquatiques.

Des études ont montré qu'une alimentation adéquate en chrome améliore la croissance et la longévité et de paire avec l'insuline, favorise un bon métabolisme du glucose, des lipides et des protéines.

D'après le « Water Quality Criteria » (1963), les poissons sembleraient plus résistants que les autres espèces aquatiques aux sels de chrome .Dans l'ensemble les tests biologiques montrent le chrome hexavalent comme étant plus toxique pour les poissons que le chrome trivalent. Bon nombre d'auteurs ont constaté dans leurs études expérimentales que le chrome trivalent est la forme la plus toxique pour les poissons.

D'après les études de Renholdt (1976) et ses collaborateurs sur la distribution du chrome chez la carpe, cet élément a tendance à s'accumuler principalement dans le foie et les reins des organismes intoxiqués, Zecher (1970).

### **1.3.6. Nickel**

#### **1.3.6.1. Propriétés fondamentales**

Le nickel est un élément chimique de symbole **Ni**, et de NA **28** (tableau 1). Le nickel, d'après Granier (1975) ; occupe la 23<sup>ème</sup> place dans l'ordre d'abondance des éléments minéraux dans la croûte terrestre. Il représente environ 0.016 % de celui-ci .Malgré cette abondance relative, les minerais exploitables économiquement ne sont localisés qu'en quelques sites, les deux principales formes sous lesquelles le nickel est exploité étant les amas sulfurés et les latérites nickélifères Sittig (1976).

#### **1.3.6.2. Utilisation du nickel**

Le nickel trouve une large gamme d'utilisation dans le domaine industriel. Une grande partie de la consommation de Ni sert à la production d'alliages avec le cuivre, le fer , le manganèse , le zinc, le chrome, le molybdène...l'acier inoxydable contient de 3 à 35 % de Ni et les alliages cuivre – nickel contiennent environ 70% de Ni. Les alliages sont utilisés, en raison de leur grande résistance à la corrosion, dans les circuits d'eau de mer, entre autres, dans les unités de dessalement d'eau de mer.

Le nickel est d'ailleurs utilisé pour la fabrication d'aciers spéciaux résistants à la corrosion et à la chaleur. Sous forme d'alliage, le nickel sert également à la fabrication de pièces de monnaie.

Le nickel est employé aussi dans bon nombre d'autres applications industrielles dont notamment selon Branch (1973).

- Le revêtement électrolytique ou chimique ;
- La préparation de catalyseurs largement utilisés pour l'oxydation et la réduction de composés organiques, le séchage des huiles, la purification des eaux résiduaires,
- La production de céramiques, et de verre ;
- La production de batteries Ni-Cd ...etc. Granier (1975).

### **1.3.6.3. Sources de pollution par le nickel**

La principale source de rejet de nickel dans les eaux résiduaires industrielles est représentée par l'industrie métallurgique, notamment les opérations de revêtement faisant intervenir le nickel.

Les eaux usées provenant de revêtement contiennent des sels de nickel, principalement les formes sulfates et chlorures.

Le nickel se trouve en moindre importance, dans les eaux résiduaires de raffineries d'argent, des fabriques d'acier, des fonderies, des industries automobile et aéronautique, des fabriques de peintures.

Le nickel se trouve aussi dans les eaux de ruissellement en milieu urbain. Le salage des routes en période hivernale contribue à augmenter de façon notable la teneur en nickel des eaux de ruissellement.

### **1.3.6.4. Effets biologiques et toxicité**

D'après le Water Quality Criteria, WQC, le nickel apparaît moins toxique à la vie aquatique que le cuivre et le zinc. Il semble néanmoins plus toxique pour les poissons que le fer et le manganèse. Des études réalisées par Friedrich & Filice (1976) sur l'accumulation du nickel chez un mollusque bivalves d'eau de mer ont montré que pour des concentrations en nickel entre 0.018 mg/L et 0.03 mg/L, il n'y a pas d'accumulation significative du nickel dans les tissus des organismes exposés. Celle-ci devient significative pour des concentrations supérieures comprises entre 0.03 et 0.107 mg/L.

L'ingestion quotidienne à partir de l'alimentation et les boissons est estimée être de 300 à 600 µg / jour pour un adulte.

Certaines boissons peuvent contribuer de manière importante à l'apport de nickel à l'organisme : thé, café, qui peuvent contenir jusqu'à 100 µg Ni / 100 g. D'après les analyses effectuées sur plusieurs groupes d'êtres humains, le nickel absorbé par l'organisme, suite à une ingestion orale, se trouve surtout dans le foie, les reins, l'aorte, le cœur, la rate et le cerveau, selon Friedrich & Filice (1976). Les normes européenne pour le nickel dans l'eau de consommation est fixée à 0.05 mg/L selon la directive du conseil des communautés européennes du 16 juin 1975.

## **1.3.7. manganèse**

### **1.3.7.1. Propriétés fondamentales**

Elément chimique métallique, blanc argenté, de symbole **Mn** et de NA **25**(tableau 1).il existe à l'état soluble dans les eaux, mais une fois collecté il s'oxyde rapidement, précipite de la solution échantillonnée ou s'adsorbe sur les parois du récipient. Il occupe la 12<sup>ème</sup> place des éléments dans la croûte terrestre.

C'est un oligo-élément indispensable ; on le trouve dans tous les tissus. Il catalyse les réactions d'oxydo-réduction et la phosphorylation et favorise aussi l'hydrolyse des esters d'acides aminés et des peptides car il est indispensable au métabolisme des lipides ; il stimule la synthèse du cholestérol.

Ses propriétés caractéristiques sont principalement les points d'ébullition et de fusion très élevés ainsi que des chaleurs de vaporisation et de fusion élevées.

### **1.3.7.2. Sources naturelles et anthropiques**

On le trouve dans la nature sous forme d'oxyde (pyrolusite, braunite, manganite), de sulfure, oxyde de carbonate et de silicate.

Les principaux pays producteurs de manganèse sont l'URSS, l'Afrique du sud, le Brésil, le Gabon dont le gisement de Moanda assure à lui seul 10% de la production mondiale.

D'autre part les fonds océaniques offrent une réserve importante de nodule de manganèse. Des estimations donnent pour l'Océan Pacifique une réserve en Mn de l'ordre de 300 milliards de tonnes. Traversy *et al* (1979).

Le Manganèse peut être relargué dans les eaux, de manière naturelle par lessivage des terrains miniers. Il est intéressant également de signaler que le drainage des sols et litières peut entraîner une certaine quantité de manganèse dans les eaux Kirchner & S.Brabowxski (1972).

Il a été montré que les forêts de conifères et de diverses espèces à feuille caduque accumulaient du manganèse.

**1.3.7.3. Utilisation du manganèse :** Par ses propriétés, le manganèse se trouve dans de nombreuses applications industrielles.

*Tableau 3 : Les applications industrielles du manganèse.*

Peintures et vernis	Alliages en métallurgie
Encre et colorants	Batteries sèches
allumettes et fusées pour les feux d'artifice.	Glace et céramique

### **1.3.7.4. Effets biologiques et toxicité**

D'après Wilson (1972), le manganèse aurait un effet sur le métabolisme du phytoplancton ; seule la photosynthèse serait affecté et pas la respiration ni la formation de chlorophylle. Une déficience en manganèse réduirait considérablement le taux de photosynthèse en faible lumière, cet effet étant moins marqué en lumière forte. D'autre part Hecker (1972) émet une hypothèse que le Mn est impliquée dans le système de libération de l'O<sub>2</sub> durant la photosynthèse. Chez les poissons, le manganèse se concentre principalement dans les parties du squelette. L'introduction quotidienne de Mn dans l'organisme humain par l'eau est d'ordinaire de 0.01 mg et dépasse très rarement 1 mg et son élimination par le corps humain se fait presque exclusivement par le tractus gastro-intestinal et très largement à travers la bile, l'élimination par l'urine est très faible et ne représentant que 0.1 à 3 % du total. Le manganèse peut être toxique pour l'homme quand il est inhalé, et ce sont les travailleurs exposés dans l'industrie du manganèse qui sont particulièrement touchés. De ce fait, des normes ont été établies par la communauté européenne de telle manière à limiter le taux de manganèse dans l'eau domestique à 0.05ppm.

# ***Chapitre II***

## ***Matériels & Méthodes***

---

## CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

---

### 1 .Cadre géographique de la zone d'étude

La zone de notre étude, fait partie du Parc National d'El Kala (PNEK), qui constitue un patrimoine important par la richesse biologique de ses habitats. D'une superficie de 80.000 ha. Le PNEK, est composé d'une mosaïque particulière d'écosystème, caractérisée par des zones humides dont l'ensemble constitue un complexe considéré comme unique dans le bassin méditerranéen. Ouelmouhoub (2005). Il est situé à l'extrême Nord Est algérien à 80 km à l'est d'Annaba. Limité à l'est par la frontière algéro-tunisienne, au nord par la mer Méditerranée, à l'Ouest par les plaines d'annaba et au sud par les montagnes de la Medjerda (Fig.2).

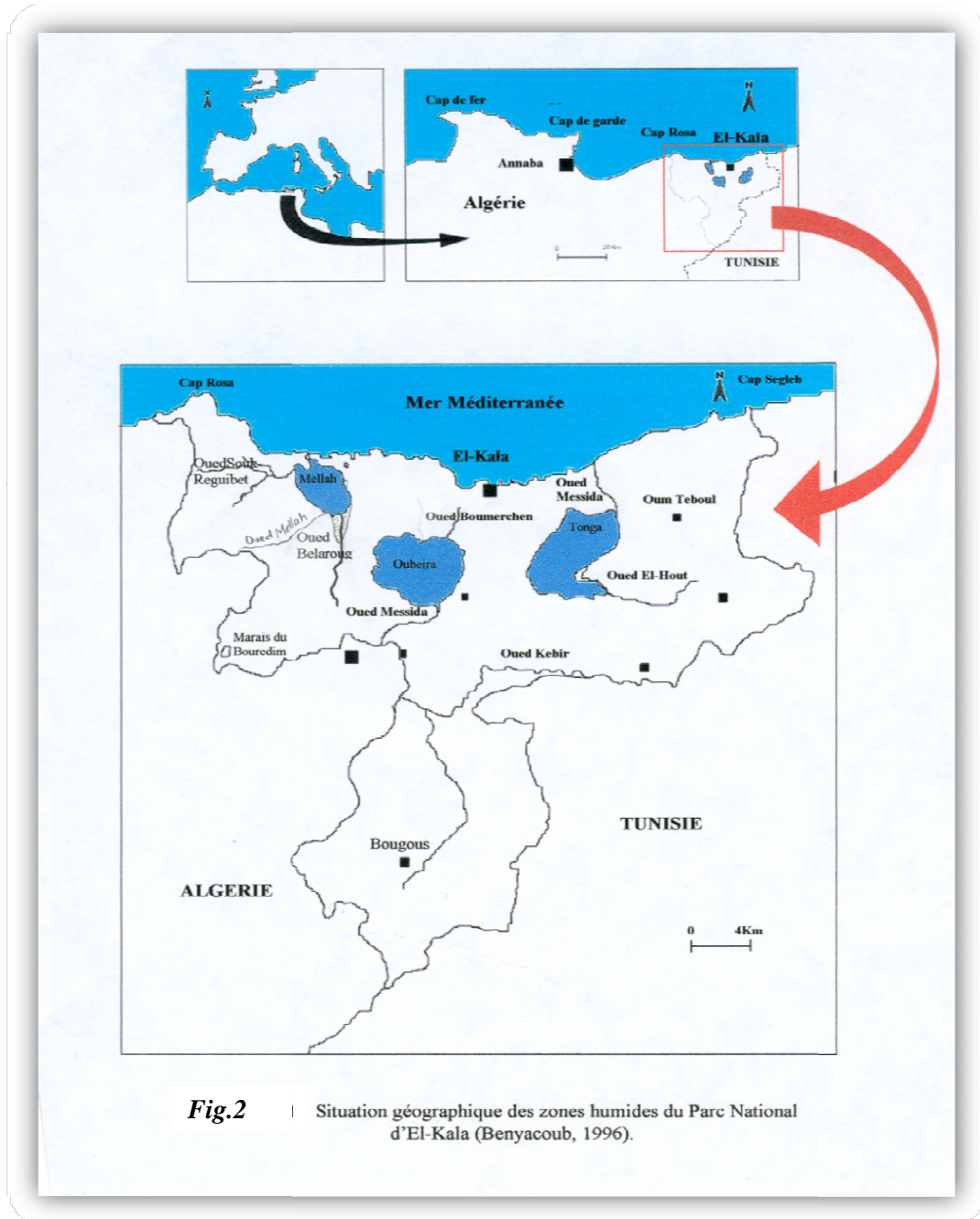
En vue d'une gestion rationnelle et une protection des ses divers milieux, la région d'El kala a été érigée en parc national dès 1983 sous le décret n°83-462 le 23 juillet 1983. Elle a en outre été classée en 1990 dans la catégorie du patrimoine national et culturel international et comme réserve de la biosphère par l'UNESCO.

A l'intérieur de ce parc sont situés les trois lacs Mellah, Oubeira et Tonga qui sont considérés comme site d'importance internationale par la convention de Ramsar.

Administrativement, Le PNEK est inclus dans la wilaya d'El-Tarf et comprend les communes suivantes : Bouteldja, ain El Assel, El Kala, el aioun, Bougous, souarekh, Roum El Souk et Zitouna.

L'objectif réel d'un parc national est la conservation et la protection des ressources naturelles. Dans le cas du PNEK, les objectifs sont multiples et clairement explicités par De Belair en (1990) : protéger et conserver toutes les richesses du milieu naturel ; maintenir l'aspect naturel de tous les paysages, assurer la reproduction et le développement des espèces forestières et animales ; promouvoir les activités de recherches scientifiques dans le Parc.

La zone d'étude sous l'influence d'un climat subhumide, variante à hiver tempéré à chaud se caractérise par une pluviométrie forte généreuse. Le climat est à caractère méditerranéen avec une période pluvieuse d'octobre à avril et une période sèche de mai à septembre. Les mois les plus chauds sont juillet et août où la température est autour de 25°C. Les mois les plus froids sont décembre et janvier avec des températures moyennes de l'ordre de 12°C.



Durant la saison estivale, se sont les vents chauds et secs qui dominent. Ils assèchent l'atmosphère et favorisent le déficit hydrique de la végétation et contribuent fortement à la propagation de violents incendies de forêts. Par ailleurs, la pluviométrie forte généreuse de la zone d'étude permet non seulement l'entretien du couvert forestier, mais surtout le maintien du réseau hydrographique important existant au sein du Parc. Ce dernier est représenté essentiellement par les 3 grands lacs cités précédemment à savoir Tonga, Oubeira et El Mellah, de même de nombreux oueds et sources traversant la zone.

Les principaux traits géologiques sont en grande partie dus aux surrections alpines du Tertiaire. Durant le quaternaire des mouvements transverses et des phénomènes de torsions ont mis en place une série de domes et de cuvettes, dirigeant les chaînes telliennes vers le Nord-Est. Collines et basses montagnes de la région présentent un socle sédimentaire constitué par des grès de Numidie (Eocène supérieur) et des argiles de Numidie (Eocène moyen), Marre

(1987). Des sols profonds, meubles, sablonneux, de nature siliceuse favorisent l'installation du chêne liège.

### **1.1. Lac Tonga et son bassin versant**

#### **1.1.1. Le relief et les pentes**

Le bassin versant du lac Tonga, situé à l'extrême est de la wilaya où il fait frontière avec la Tunisie, s'étend sur 16 390 ha.

Son altitude moyenne est comprise entre 10 et 550 m. Elle croît d'Est en Ouest, elle culmine à 562 m à Kef El Hammam. Son plan d'eau de 2300 ha, 12% de l'ensemble, est le réceptacle de deux oueds qui ont édifié les cônes de déjection qui forment les plaines d'Oued El Hout (225 ha) et d'Oum Teboul 200 ha).

**Tableau 04 : Classes de pentes du bassin versant du Tonga** Source : B.N.E.D.E.R (2004)

Classe de pentes	Superficie (en ha)	Pourcentage (en %)
0 à 3%	2279	13.90
3 à 12.5%	2914	17.78
12.5% à 25%	3736	22.79
Supérieur à 25%	5411	33.02
Plan d'eau	2300	12.51
Total	16390	100

Le relief est en général accidenté puisque plus de 33 % des terres présentent une pente forte de plus de 25 %, soit 5411 ha, correspondant aux zones d'affleurement du complexe argilo-gréseux du numidien. Les pentes faibles de 0 – 3% concernent la plaine d'Oum Teboul et les zones de cônes de déjection façonnés par oued El Eurg et oued El Hout. Cette classe s'étend sur superficie de 2279 ha soit 13.90 % de la superficie totale du bassin versant. Les terrains à faible pente sont sujets à la déflation qui s'opère sous l'action éolienne en période sèche (MPRH, 2004).

#### **1.1.2. Géomorphologie**

La dépression du lac Tonga se situe sur un synclinal. Sa bordure ouest correspond à un accident tectonique, ou aucun niveau n'est observable ; Seuls les dépôts de pente tapissent les versants et passent au fond du lac, le contact entre le versant et la plaine suit la ligne de faille. Sur la bordure Est, il existe des niveaux datant du quaternaire qui ont donné naissance à des glacis et des cônes de déjection, ces derniers sont nettement visibles et forment des deltas.

La formation du Tonga date du quaternaire. Des mouvements tectoniques ont permis le creusement de sa cuvette composé d'argiles de Numidie, une dépression laguno-marine qui s'est transformée en lac d'eau douce par des dépôts de sédiments arrachés au relief. Le bassin versant est constitué dans la dépression de sols de marécages et d'alluvions formées de sables limoneux récents, de formations du Pontien composées de conglomérat de grès de Numidie, d'argiles de Numidie de l'éocène moyen. Les sols de marais n'apparaissent que dans la partie centrale du lac, les sols tourbeux dans l'aulnaie et les dépôts alluvionnaires se déposent autour pour former les sols de prairies marécageuses. Le lac Tonga est alimenté par de nombreux affluents dont les plus importants sont : Oued El Hout et Oued El Eurg.

### 1.1.3. Occupation du sol

L'analyse de l'occupation du sol est faite sur la base des données obtenues par le planimétrage de la carte de l'occupation du sol réalisée par le B.N.E.D.E.R en juillet 2004 et par les images satellites de l'année 2001.

**Tableau 05 : Occupation du sol du bassin versant du Lac Tonga (2004)**

	Agg	A	C	C+P	Fc	Fc/Md	Md	Mc	Fd	Fi	P	Lac	Total
Occ	393	13	1470	576	1456	3220	137	81	3982	239	2051	1538	16 395
%	2,39	0,07	8,96	3,51	8,88	19,65	8,39	0,5	24,29	1,46	12,52	9,38	100

**Agglo+j** = agglomérations et jardins. **C** = cultures et terres labourables. **Fc** = forêts claires. **Fc.Md** = forêts claires et maquis dense. **Md** = maquis dense. **Fc.Mc** = forêt clair et maquis clair. **Mc** = maquis clair. **Fd** = forêt dense. **Fi** = forêt incendiée. **P** = parcours. **R** = reboisement.

#### 1.1.3.1. Le domaine forestier

Les formations forestières occupent une superficie de 10354 ha, soit 63 % de la superficie totale. Elles sont favorisées par les fortes pentes du bassin versant. Les forêts denses se localisent sur le versant de djebel Haddada, kef El Hammam et une partie de kef Oum Teboul où elles occupent une superficie de 3982 ha, soit 38.5% de la superficie totale des formations forestières, et 24% de la surface totale du bassin versant.

Les forêts claires de chêne liège (*Quercus suber*) occupent 1456 ha sur les nversants Est des Djebels Zouaïa d'El Kala soit 14%. Cette espèce tend à disparaître pour avoir subi les effets d'une succession d'incendies. Seules quelques reliques persistent. Elle est supplantée par le pin d'alep. Les maquis occupent une aire de 4677 ha, avec 4596 ha de maquis denses (y compris Fc-Md) et seulement 81 ha de maquis clair, soit 28% de la superficie totale du bassin versant.

La couverture forestière est en régression avec disparition de l'espèce dominante, le chêne-liège. Elle est remplacée par une végétation basse essentiellement des maquis avec localement reliques de chêne liège de pin d'alep, MPRH/ONDPA (2004).

#### 1.1.3.2. Le domaine agricole

Les terres agricoles s'étendent sur une superficie de 2059 ha, soit 12.5 % de la surface totale du bassin versant. Elles sont constituées par les parcelles de terres travaillées par les riverains, mais aussi et de plus en plus par les jachères. On pratique également, de l'arboriculture, des cultures maraîchères et surtout des arachides qui sont assimilées à une culture industrielle bien que la conduite soit traditionnelle, MPRH/ONDPA (2004).

#### 1.1.3.3. Les parcours

Les parcours du bassin versant occupent une aire de 2051 ha soit 13 % de la superficie totale. Ils correspondent, en fait, à la jachère pâturée et aux terres agricoles délaissées et aux espaces du domaine forestier.

#### 1.1.3.4. Tendances de l'occupation du sol

Pour déterminer les tendances évolutives, les données de la carte d'occupation du sol de l'année 1979, réalisée dans le cadre de l'inventaire des terres et forêt, ont été comparé avec celle de la carte de l'occupation actuelle, *B.N.E.D.E.R (2004)*

**Tableau 06** : Occupation du sol année 1979 source : *B.N.E.D.E.R (2004)*

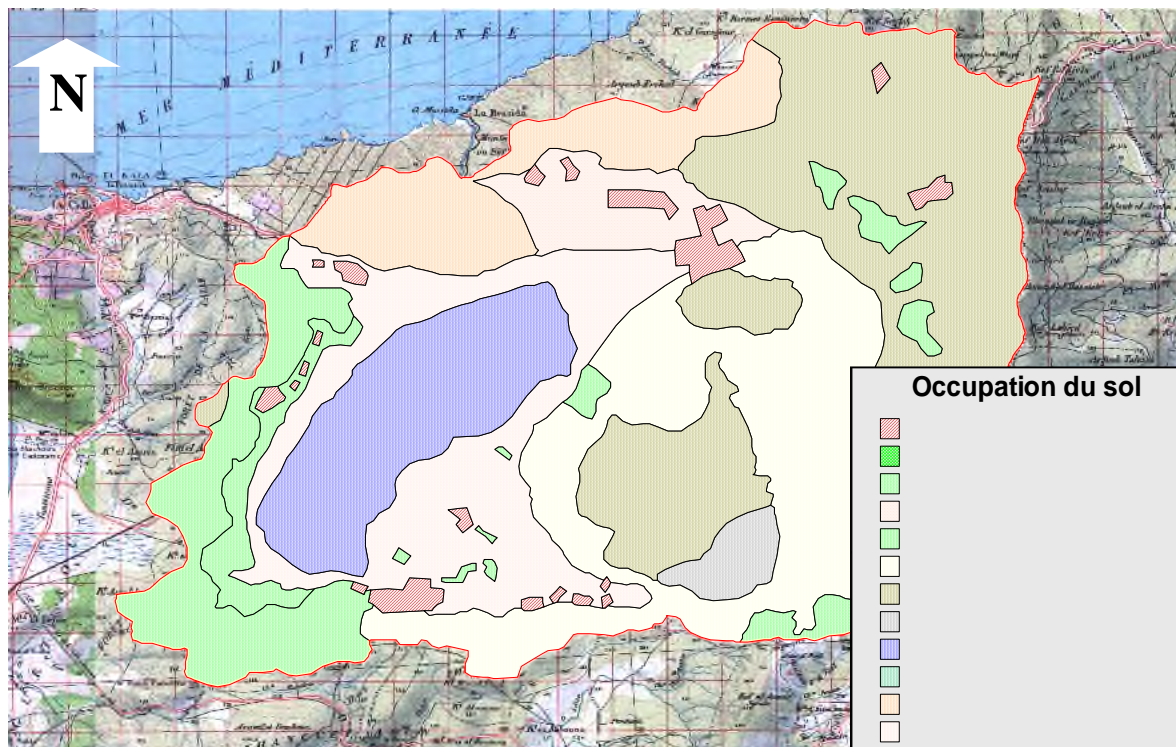
	aggl	A	C	C+P	Fc	Fc/Md	Md	Fc/Mc	Mc	Fd	Fi	P	Reb	Lac
<b>1979</b>	61		4557		193		4483			4900			760	1441
<b>2004</b>	393	13	1470	576	1456	3220	1376	588	81	3982	239	2051		1538

**Agglo+j** = agglomérations et jardins. **C** = cultures et terres labourables. **Fc** = forêts claires. **Fc.Md** = forêts claires et maquis dense. **Md** = maquis dense. **Fc.Mc** = forêt clair et maquis clair. **Mc** = maquis clair. **Fd** = forêt dense. (Essentiellement à base d'eucalyptus). **Fi** = forêt incendiée. **P**= parcours. **R** = reboisement.

On relève de ce tableau une évolution régressive des forêts denses qui sont passées de 5660 ha à 3982 ha, soit une différence de 1678 ha. Les observations et enquêtes effectuées sur le terrain confirment cette régression qui a pour origine les incendies de forêts, le défrichement et le surpâturage. Les forêts sont, par endroits, remplacées par des clairières dénudées vite exploitées par les riverains et exposées au processus d'érosion.

Les autres occupations du sol ne présentent pas une évolution significative. Il est à noter que les agglomérations et jardins ont augmenté de 332 ha au détriment des terres agricoles (cas de l'agglomération secondaire d'oued El Hout, de l'extension du chef lieu d'Oum Teboul vers koudiet El Arneb. Les parcours gagnent en superficie (2051 ha).

Le bassin versant est une zone de pâturage très convoitée par les éleveurs. En revanche. Les superficies mises en culture ont diminué de 2498 hectares depuis 1979. Cette différence est à mettre sur le compte de l'abandon de certaines cultures et de l'extension de la pratique de la jachère au profit de l'élevage, MPRH/ONDPA (2004).



**Fig.03:** Occupation du sol du bassin versant du lac Tonga. *B.N.E.D.E.R (2004)*

### 1.1.4. Population du bassin versant

Le bassin versant du lac Tonga rayonne sur cinq communes: El Kala, Souarekh (Om Teboul), Aïn El Assel, El Aïoun et Raml Souk. Les mechtas et les agglomérations qui font partie du bassin versant sont :

- **Commune de Ain el Assel** : Oum Djhour
- **Commune d'el Kala** : -Tonga -Mezila – Feïd Emrad - Feïd Alliga
- **Commune El Aïoun** ; A C L (agglomération chef Lieu)
- **Commune Souarekh** (Oum Teboul) : Haddada, Seglêb, Dridra, Om Chtab, Melloul, -Dey Zitoun-Oum Teboul (ACL)
- **Commune de Raml souk** :- l'agglomération secondaire de l'Oued El Hout, Aïn Toubib/El Ksir.

*Tableau 07: Population du bassin versant du lac Tonga*

Localité	Pop totale 98	Pop totale 2003*	Taux d'accrois 98/03(%)
Tonga– Mezila	30	50	13,33
Fed Emrad - Feïd el Alliga	100	150	10,00
A C L (El Aïoun)	3624	4020	2,73
Oued El Hout (A.S)	1049	1410	8,60
AïnTebib/El Ksir	697	798	2,90
Oum Teboul (ACL)	3627	4720	7,53
Haddada	320	416	7,50
Dey Zitoun	54	120	24,44
Melloul	820	1200	9,26
Om Chtab	370	536	8,97
Dridra	150	208	7,73
Seglêb	65	104	12,00
Oum Djhour	97	111	2,88
<b>Total</b>	<b>11003</b>	<b>13843</b>	

Source : \* A. P. C/Ain El Assel/ Souarekh/ Raml Souk/ El Aïoun et El Kala (estimation 2003)  
MPRH/ONDPA (2004).

La population qui totalise 13843 habitants se présente de la manière suivante : 8740 habitants au chef lieu des communes de Souarekh et El Aïoun, soit 63 %., 2610 habitants en agglomération secondaire de Oued El Hout et Melloul, soit 19% du total. 2493 habitants en zone éparsé, soit 18%. La population a augmenté de manière significative dans les agglomérations secondaires de Oued El Hout et Melloul entre 1998 et 2003. Ces dernières présentent des taux d'accroissement respectifs de 8.60% et 9.26% (cinq à six fois supérieures aux taux moyen des communes de Souarekh (Om Teboul) et Raml Souk.

#### 1.1.4.1. Alimentation en eau potable et assainissement :

*Tableau 08: Alimentation en AEP et mode d'évacuation des eaux usées*

Localité	Nombre de Logts	Logt relié au réseau A. E. P	Sources d'alimentation AEP			Evacuation des eaux usées		
			Nbr de Puits	Source	Fontaine publique	Réseau Assainis	Fosse septique	A ciel ouvert
Tonga	10		2				10	
Mezila Feïd Emrad Feïd Alliga	22		10	1			22	

<b>Sous Total 1</b>	<b>32</b>		<b>12</b>			<b>32</b>	
El Aioun	620	620				620	
<b>Sous Total 2</b>	<b>620</b>					<b>620</b>	
Oued E Hout	220	220				220	
Aïn Tebib El Ksir	130	4		2		130	
<b>Sous Total 3</b>	<b>350</b>						
Oum Teboul	761	761				761	
Haddada	70	70				70	
Dey Zitoun	19		19				19
Melloul	200	200				200	
Om Chtab	80	80				80	
Dridra	35			1		35	
Seglêb	17				1	17	
<b>Sous Total 4</b>	<b>1182</b>						
Oum Djdour	20		1			20	
<b>Sous Total 5</b>	<b>20</b>						

A. P. C Ain El Assel/Souarekh/ Raml souk/ El Aioun et El Kala (estimation 2003). Source : B.N.E.D.E.R (2004)

Selon le tableau 08 ; les réseaux d'alimentation en eau potable existent dans les agglomérations chefs-lieux d'El Aioun et d'Oum Teboul et dans les agglomérations secondaires de Melloul et Oued El Hout et en zone éparsée dans les mechtas de Mouchtob et Melloul. Le reste des populations du bassin versant du Tonga s'approvisionnent des fontaines publiques, des puits, des sources. Dans les puits l'eau est à 3 mètres de profondeur.

Le réseau d'assainissement, peu développé dans le bassin versant du lac Tonga, ne concerne en fait que les agglomérations chef-lieu et les agglomérations secondaires. Les rejets se font dans le milieu naturel et rejoignent le plan d'eau du lac Tonga. En zone éparsée, les douars et mechtas utilisent fosses septiques ce qui favorisent la pollution des affluents qui alimentent directement le lac.

#### 1.1.4.2. Besoin en eau

Tableau 9: Besoin en eau potable des populations du bassin versant du Tonga

Localité	Population 2003	Dotation (l/j)	Besoin en eau 2003 (m <sup>3</sup> /j)
<b>Tonga</b>	50	90	4,500
<b>Mezila/Feïd Emrad/Feïd Alliga</b>	150	90	13,500
<b>A C L (El Aioun)</b>	4020	90	361,800
<b>Oued El Hout</b>	1410	90	126,900
<b>Aïn Tebib/El Ksir</b>	798	90	71,820
<b>OumTeboul (ACL)</b>	4720	90	424,800
<b>Haddada</b>	416	90	37,440
<b>Dey Zitoun</b>	120	90	10,800
<b>Melloul</b>	1200	90	108,000
<b>Om Chtab</b>	536	90	48,240
<b>Dridra</b>	208	90	18,720
<b>Seglêb</b>	104	90	93,60
<b>Oum Djdour</b>	111	90	9,990
<b>Total</b>	13843	90	1 245,870

B.N.E.D.E.R (2004)

La norme de l'Agence des bassins hydrographiques fixe une dotation de 90 litres d'eau par jour et par habitant. Une distinction est faite selon qu'il s'agisse de zones éparses, d'agglomérations secondaires ou de chefs-lieux de communes. En 1998, La consommation en eau potable était de 990 m<sup>3</sup>/j pour une population de 11 003 habitants, elle est passée en 2003 à 1 245 m<sup>3</sup>/j pour une population de 13843 habitants.

**Tableau 10 : Consommation en eau potable des populations du bassin versant du Tonga.**

Localité	Nbre habitants	réseau A.E.P (l/j)	Puits (l/j)	Sources (l/j)	Fontaines publiques (l/j)	Total (m <sup>3</sup> /j)
Tonga	10 **		1500			1,500
A C L El Aioun	4020*	281400				281,400
Oued El Hout	1410*	98700				98,700
Ain Tebib/El Ksir	130**	1708	18900			20,608
Oum Teboul	4720*	330400				330,400
Haddada	416*	29120				29,120
Dey Zitoun	19**		2850			2,850
Melloul	1200*	84000				84,000
Om Chtab	536*	37520				37,520
Dridra	35**			5250		5,250
Seglêb	17**				2550	2,550
Oum Djeddour	20**		3000			3,000
<b>Total</b>		862848	30000	7750	2550	903,148

Source : B.N.E.D.E.R 2004 ; \* nombre d'habitants \*\* nombre de ménages

Des ménages ont deux ou plusieurs sources d'approvisionnement, l'une réservée exclusivement pour la boisson et pour les autres pour les différents usages domestiques.

Dans les douars, la population puise l'eau des puits et des sources avoisinantes lorsqu'elles existent. Les quantités prélevées des puits avoisinent 150 l/j/ménage, et celle puisée des sources est proche de 100 l/j/ménage. Nous avons retenu la moyenne de 70 l/j/habitant pour cette catégorie d'utilisateurs. Le tableau ci-dessus fait apparaître que la consommation réelle, de la population du bassin versant est de 903,148 m<sup>3</sup>/j soit 329 649 m<sup>3</sup>/an. Les besoins en alimentation comparés et la consommation réelle font apparaître un déficit de 342,722 m<sup>3</sup>/j.

### 1.1.5. La pollution domestique

#### 1.1.5.1. Les rejets

**Tableau 11 : Rejet des eaux usées dans le bassin versant du Tonga (Source B.N.E.D.E.R.)**

Localité	Consommation (l/j)	Rejet (m <sup>3</sup> /j)
Tonga	1500	1,200
Mezila/Feïd Emrad/Feïd Alliga	6250	5,000
A C L (El Aioun)	281400	225,120
Oued El Hout	98700	78,960
Aïn Tebib/El Ksir	20608	16,486
Oum Teboul	330400	264,320
Haddada	29120	23,296
Dey Zitoun	2850	2,280
Melloul	84000	67,200
Om Chtab	37520	30,016

Dridra	5250	4,200
Seglêb	2550	2,040
Oum Djdour	3000	2,400
Total	903148	722,518

80% de la quantité d'eau utilisée par les ménages est restituée au milieu naturel sous forme d'eau usée. On estime ainsi que les volumes des rejets qui regagnent le plan d'eau du lac par la surface ou entraînées par les eaux souterraines sont de 722,517 m<sup>3</sup>/j, soit 263719 m<sup>3</sup>/an,

### 1.1.5.2. L'agriculture

La répartition de la SAU permet d'apprécier l'étendue de chaque groupe de culture dans la zone d'étude. Deux groupes se dégagent distinctement celui des cultures menées en sec (céréales, légumes secs, fourrages, arboriculture rustique et jachère) et celui des cultures en irrigué (maraîchage de plein champ, arachides).

*Tableau 12: Répartition de la SAU dans le BV, Source : D.S.A (2004)*

localité	Céréale (ha)	Arboric (ha)	Maraîchage (ha)	Cultures Industrielles (ha)	Cultures Fourragères (ha)
Tonga				25	
Oued El Hout	150	12	150	130	50
Aïn Tebib/El Ksir	45	17	30	10	350
Haddada		16,25	16	15	5
Dey Zitoun		25	18	55	
Melloul		32	58	45	10
Om Chtab		18	47	25	12
Dridra		15,5	15	38	4
Seglêb		10,5	12	42	5
Oum Djdour	10	2	25	35	5
Total	205	148.25	391	465	441

Les cultures maraîchères et les arachides occupent à elles seules 52% de la surface agricole travaillée. Les fourrages et les céréales en moyenne 39% de la surface agricole. Généralement, les agriculteurs associent ces dernières à la pratique de l'élevage.

La fertilisation est utilisée pour les arachides et les cultures maraîchères. L'engrais utilisé est le tertiaire 11.15.15 à raison d'une application par cycle végétatif, et une dose qui varie entre 1 et 1,35 qt/ha, soit une utilisation optimale de 1155.6 quintaux pour l'ensemble des terres menées en irriguées. Le fumier est appliqué à raison de 100 à 140 qt/ha.

Les produits phytosanitaires sont utilisés selon le niveau d'infestation. Le produit le plus employé est le D D T, à raison de 0,25 qt/ha pour les cultures maraîchères.

### 1.1.5.3. L'élevage

L'élevage occupe une place privilégiée dans les activités de la population du bassin versant. Le cheptel constitue traditionnellement la principale source de revenu des petites exploitations.

**Tableau 13: Répartition des effectifs par type d'élevage**

localité	Ovins	Caprins	Bovins	Total
Tonga	200	120	300	620
Mezila	450	150	400	1000
Feïd Emrad Feïd el Alliga				
Oued El Hout	400	100	580	1080
Aïn Tebib/ El Ksir	400	200	300	900
Haddada	500	150	450	1100
Dey Zitoun	600	200	550	1350
Melloul	700	180	600	1480
Om Chtab	600	150	400	1150
Dridra	550	160	400	1110
Seglèb	580	175	450	1205
Oum Djhour	400	150	300	850
<b>Total</b>	<b>5380</b>	<b>1735</b>	<b>4730</b>	<b>11845</b>

L'activité pastorale s'articule principalement autour de l'élevage bovin mené en extensif. L'alimentation du cheptel reste basée en grande partie, sur les ressources fourragères pâturables (jachère, fourrage). Le nombre élevé de bovin, mais aussi des ovins se traduit globalement par une pression de l'activité d'élevage sur les ressources naturelles de la zone. Le déficit fourrager est prélevé dans les massifs forestiers. L'étude portant diagnostic sur les eaux usées et l'épuration, montre par ailleurs que la consommation d'eau du cheptel (sans nettoyage des étables) peut être estimée à 50 litres par tête/jour pour le gros bétail et de 8 à 10 litres/tête/j pour le petit bétail. Si l'on tient compte de ces chiffres, la consommation journalière serait donc de:

- 71150 litres jour pour le petit bétail.
- 236500 litres jour pour le gros bétail.
- Soit un total de 307,650 m<sup>3</sup>/j.

#### **1.1.6. Hydrologie du bassin versant**

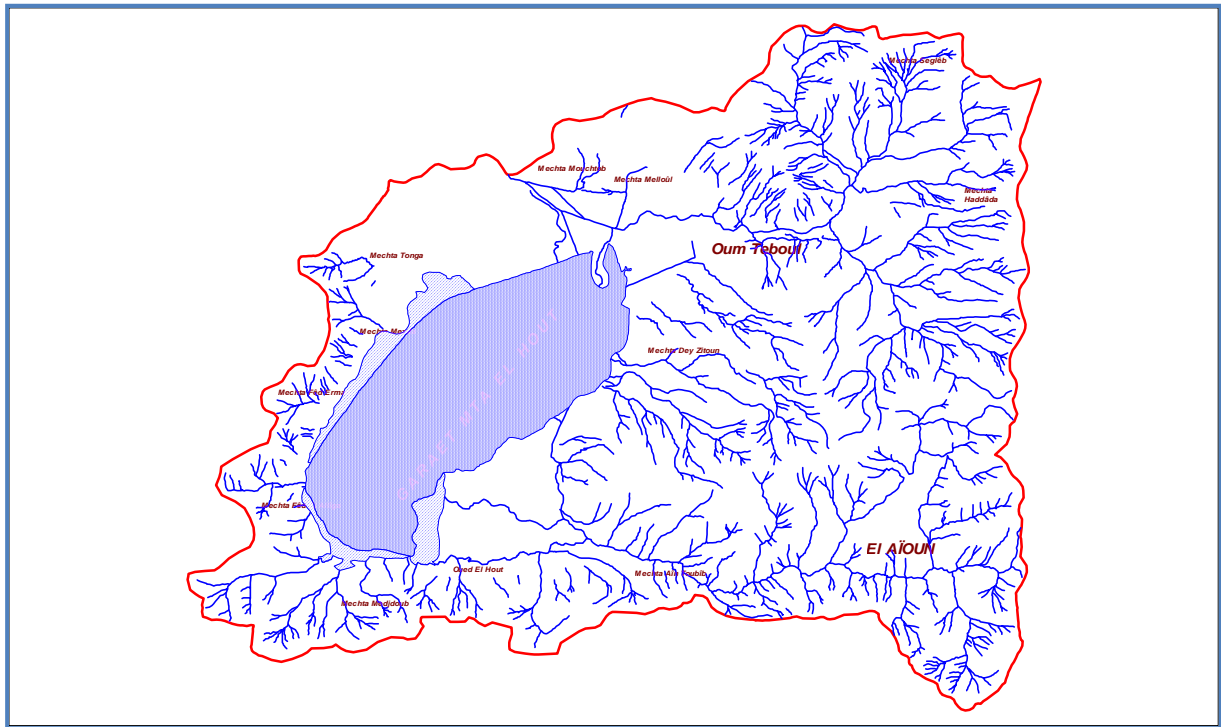
Le plan d'eau du lac Tonga dispose d'un bassin versant relativement large en comparaison avec ceux de l'Oubeïra et du Mellah.

Le lac Tonga est un milieu semi artificiel. Il a fait l'objet de plusieurs tentatives d'assèchement qui se sont échelonnées de la fin du XIX siècle jusque vers 1940.

Le but des travaux engagés était de canaliser les deux principaux affluents directement vers la mer pour réduire les apports vers le plan d'eau et d'évacuer le reste des apports en drainant le lac vers une digue qui partage la dépression centrale en deux où elle est pompée et rejetée dans le prolongement du canal de la Messida.

Les aménagements, encore visibles, n'ont pas été en mesure de supprimer le plan d'eau et de disposer des terres convoitées. Ils ont toutefois profondément modifié le fonctionnement naturel ce qui a causé un comblement rapide de la tranche d'eau avec apparition d'une riche végétation aquatique qui l'asphyxie mais qui sert d'habitat à une faune en voie de disparition. Comblement qui se poursuit et s'accroît avec le recul de la couverture forestière du bassin

versant. Le lac reçoit également les eaux souterraines des nappes dans les terrains qui le bordent tout autour.



*Figure.04: Réseau hydrographique du lac Tonga, B.N.E.D.E.R (2004)*

#### **1.1.6.1. Caractéristiques du bassin versant**

- Superficie totale : 16 390 ha.
- Superficie du plan d'eau (hautes eaux) : 2300 ha.
- Superficie du bassin versant ruisselant (sans le plan d'eau) : 14 341 ha.
- Périmètre du bassin versant : 63,57 km.
- Périmètre du lac (basses eaux) : 23 km.
- Superficie des zones inondables :
  - Zone inondable est : 78 ha.
  - Zone inondable sud : 56 ha.
  - Zone inondable ouest : 146 ha.
- Longueur totale du réseau hydrographique : 419 km.
- Densité du drainage du bassin versant ruisselant : 2,9 km/km<sup>2</sup>.

#### **1.1.6.2. Les apports superficiels**

Le régime d'écoulement est pérenne pour

- l'oued Messida (exutoire du bassin versant vers la mer).
- L'oued El Eurq qui draine la partie nord nord-est du bassin versant.
- Les écoulements des autres cours d'eau ont un régime temporaire.

- Le débit d'étiage est relativement faible pour l'oued El Eurg mais relativement fort pour l'oued Messida. Le débit étiage de l'oued Messida diminue légèrement entre la mesure de mi-juillet celle de fin août.
- Les mesures de conductivité électrique de l'eau effectuées pendant le jaugeage pendant les débits d'étiage ont révélé des eaux de très faible conductivité c-a-d (eaux peu chargées en sels).
- Le coefficient d'écoulement évalué à la station hydrométrique de Aïn El Assel 38 % de la lame précipitée correspondante est de l'ordre de 322 mm/an.
- L'apport moyen annuel en eau vers le lac à partir de son bassin versant ruisselant qui est de l'ordre de 46,2 Hm<sup>3</sup>/an.
- L'apport annuel moyen en eau de précipitation directement sur le plan d'eau et de l'ordre de 17 Hm<sup>3</sup>/an.
- Le volume des prélèvements en irrigation sont difficiles à évaluer. Mais sur la base d'un besoins en eau pour l'irrigation de 2000 m<sup>3</sup>/ha, une estimation évoque que les agriculteurs utilisent pour leur 710 ha, 1,4 Hm<sup>3</sup>/an soit un débit fictif de 46 litres par seconde.
- Le lac se vidange dans la mer par l'intermédiaire de l'oued Messida selon un débit d'étiage de l'ordre de 132 litres par seconde soit 3,96 Hm<sup>3</sup>/an.

#### **1.1.6.3. Les apports souterrains**

- Le lac Tonga constitue le niveau de base vers lequel s'écoulent les eaux souterraines des nappes aquifères situées à sa périphérie.
- Les terrains géologiques sont classés en fonction de leur coefficient d'infiltration.
- La Somme des infiltrations par nature de terrains donne:
- Le volume d'eau infiltrée par an dans le bassin versant : 11,3 Hm<sup>3</sup>/an soit 79 mm/an.
- Le volume de l'eau souterraine qui rejoint le lac sous forme de débit d'étiage continu moyen est de l'ordre de 0,072 Hm<sup>3</sup>/an.
- Le volume qui constitue l'apport direct des nappes phréatiques, est égal à 1,5 Hm<sup>3</sup>/an.

#### **1.1.6.4. Bilan hydrique du plan d'eau**

- Les apports sont constitués par :
- L'écoulement des eaux de surface qui rejoignent le plan d'eau,
- Les précipitations et,
- Les eaux souterraines à travers le flux des nappes ou celui des débits d'étiage.
- Les pertes se font par :
- L'évapotranspiration réelle au dessus du plan d'eau,
- L'écoulement vers la mer, et
- Les prélèvements pour l'irrigation.
- Le bilan hydrique du lac tonga s'établit en soustrayant les volumes des pertes à celui des apports.

## **1.7. Morphométrie du lac Tonga**

### **1.7.1. Localisation**

Le Lac Tonga est un plan d'eau de type « étang » c'est-à-dire de moins de 6 m de profondeur, localisé à 5 km au sud-est de la ville d'El-Kala et 65 km au sud-est de la ville d'Annaba. Ses coordonnées géographiques au centre sont 36° 51' 511 Nord – 8° 30' 100 Est.

### **1.7.2. Dimensions**

De forme allongée, on peut définir des axes d'allongement remarquables.

- Sa longueur, selon un axe Nord-Est – Sud-Ouest, est de 7,1 km.
- La largeur selon un axe est-ouest passant par le centre est de 3,5 km en moyenne.
- Le périmètre est égal à 22 km environ.
- La superficie en situation de pleine eau est égale à 2300 ha environ. Elle est sensiblement réduite en été du fait de l'évaporation.

### **1.7.3. Bathymétrie**

Les mesures bathymétriques font ressortir que le lac Tonga est un plan d'eau peu profond. La profondeur maximale mesurée en période estivale est de 1,80 m. La profondeur moyenne est de 1,20 m. Les mesures effectuées dans le périmètre des trois hectares font ressortir une profondeur maximale de 1,20 m au niveau du canal et 0,65 m de part et d'autre de ce même canal. MPRH/ONDPA (2004).

A l'instar du lac Oubeira, on retiendra que le lac Tonga se caractérise par une variation relativement faible de la profondeur au niveau des rives.

Dans sa majeure partie, la topographie du fond du lac peut être considérée comme très homogène.

### **1.7.4. Volume**

Le volume estimé à partir de la profondeur moyenne du lac tonga, donne une valeur de 28.000.000 m<sup>3</sup> environ en période de pré étiage. Cette valeur doit être sensiblement supérieure en période de pleine eau.

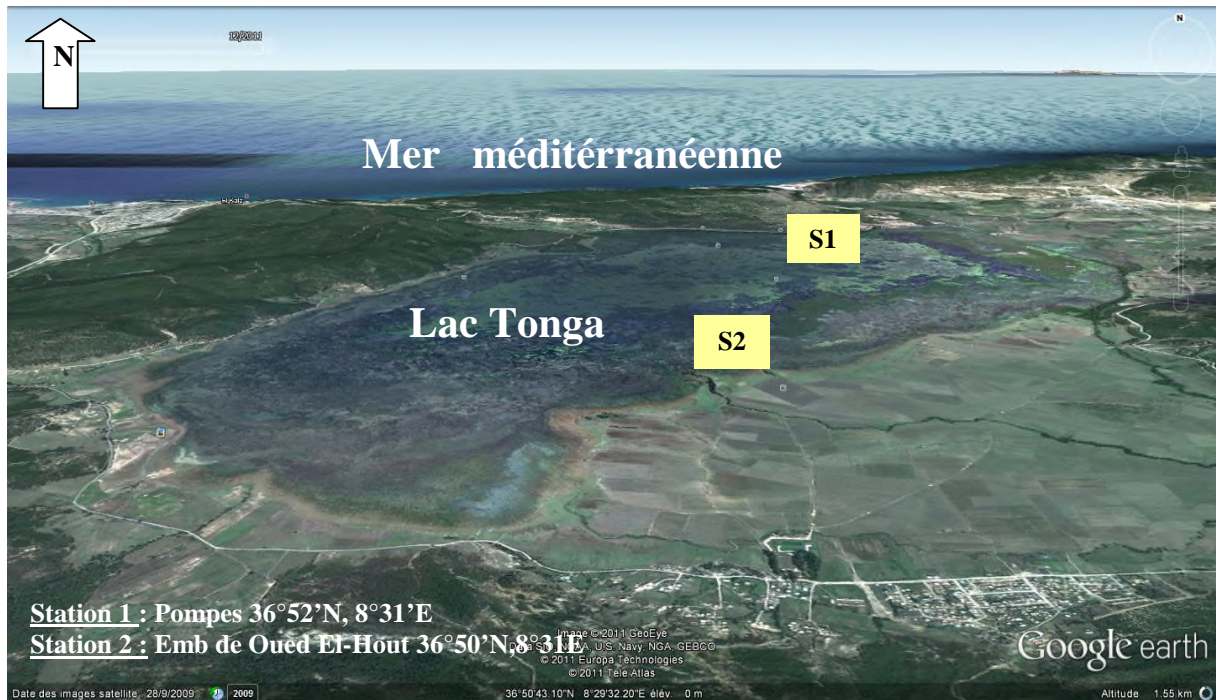
Le caractère endoréique du lac Tonga l'expose à des variations sensibles de son volume et de sa surface en eau. L'intense évaporation estivale peut retirer un volume d'eau important, supérieur à 50% du volume maximal.

Le lac Tonga, qui est une zone marécageuse, est un site particulier. Son plan d'eau n'a pas de forme précise qui permette de mesurer un volume global et les fluctuations du niveau de l'eau comme celui du lac Oubeira.

### **1.1.8. Situation géographique du lac Tonga et localisation des stations de prélèvement**

C'est une zone marécageuse qui prend, par endroit, en hiver, les formes d'un étang d'eau douce et, en été, celles d'un marécage. Il occupe une vaste dépression côtière d'une superficie de 2200 ha Il est situé à 5 km au sud-est d'El-Kala et à 65 km d'Annaba. Ses coordonnées géographiques au centre sont 36° 51' 511 Nord – 8° 30' 100 Est.

Il est limité à l'ouest et au Sud - Est par les contreforts des monts de la Kroumirie, au nord-Ouest par des collines sableuses qui le séparent du lac Oubeira et au Nord par les dunes qui le séparent de la mer.. Son bassin versant est plus important que celui de l'Oubeira, il s'étend sur 165 Km<sup>2</sup> (16 390 ha).



**Fig.05 :** Localisation des stations de prélèvement au niveau du lac Tonga, Bendjama (2010)

En pleine eau, sa superficie est égale à 2300 ha. Elle est sensiblement réduite en été du fait de l'évaporation. Les zones exondées sont localisées à l'ouest et à l'ensemble de la partie sud du lac. Son altitude moyenne est 2,20 mètres. D'une profondeur moyenne de 1 à 1.5 m, relié à la mer par le canal de Messida.

Le réceptacle des eaux de deux importants cours d'eau, l'oued El-Hout dont le réseau hydrographique s'étend au sud puis à l'est et l'oued El-Eurg qui draine le nord-est et à l'est. Son émissaire, le canal de la Messida, a été rectifié pour drainer les eaux du lac vers la mer. Aujourd'hui, il ne reçoit plus les eaux de l'oued El-Eurg canalisées directement vers le canal de la Messida.

Le plan d'eau du lac joue un rôle important dans la maîtrise des crues en période hivernale, comme il retient les sédiments arrachés en amont qui participent à son comblement.

Son plan d'eau de 2300 ha, (12% de l'ensemble du BV), est le réceptacle de deux oueds qui ont édifié les cônes de déjection fertiles qui forment les plaines d'Oued El Hout (225 ha) et d'Oum Teboul (200 ha).

Le choix des stations est motivé par leur proximité des sources de pollution qui se résume comme suit: Influencées par les apports d'eaux douces et marines, élevage des animaux : ovins, bovins, volailles, Les cultures maraichères utilisant d'importantes quantités de fertilisants, Rejets urbains qui déversent des eaux usées domestiques dans l'environnement sans traitement préalable.

Le lac appartient aux domaines de l'Etat, mais les terres agricoles qui le bordent tout autour sont de statut privé. Les pelouses exondées au fur et à mesure du retrait des eaux servent de pâturage.

## 1.2. Lac Oubeira et son bassin versant

### 1.2.1. Le relief et les pentes

**Tableau 14:** Classes de pentes du bassin versant de l'Oubeira

Classe de pentes	Superficie (ha)	Pourcentage (%)
0 à 3%	2175	22.36
3 à 12.5%	2655	27.30
12.5% à 25%	1904	19.57
Supérieur à 25%	874	8.98
Plan d'eau	2257	21.79
<b>Total</b>	<b>9865</b>	<b>100</b>

Le bassin versant du lac Oubeira, d'une superficie de 9730 ha, fait partie de la zone lacustre d'El Kala. Le plan d'eau représente environ 22% de la superficie totale du bassin versant.

Les pentes faibles de 0 – 3% concernent en grande partie la plaine d'El Frin, les zones marécageuses et les replats rencontrés sur les hauts et bas versants. Cette classe s'étend sur superficie de 2175 ha soit presque 23 % du bassin versant. Les terrains à faible pente sont sujets à la déflation qui s'opère sous l'action éolienne en période sèche.

Les terrains se trouvant sur des pentes supérieures à 25 % sont moindres et ne représentent que 8% de la superficie totale. Les terrains à fortes pentes correspondent aux zones d'affleurement du complexe argilo-gréseux du Numidien. Il s'agit des versants des forêts domaniales d'El Oubeira, de Khanguet Aoun et de la calle.

Le plan d'eau du lac Oubeira, couvre une superficie de 2120 ha, soit un peu plus du 1/5 de la surface totale du bassin versant.

### 1.2.2. Géomorphologie

Les versants qui entourent l'Oubeira portent un manteau colluvial dont on peut observer un exemple au pied de koudiet feid Rihana. Une coupe permet d'observer qu'au-dessus du substrat que forment les grès numidiens s'est mis en place *une couverture de sables argileux rougeâtres, épais de 2 m recouverts d'un pavage de fragments de grès*. L'analyse texturale de sables argileux met en évidence la valeur de la finesse du matériel composé ainsi : 60.9% sables ; 18.6 % limons ; 20.5 % argiles.

Le plan d'eau du lac est situé sur un synclinal, un autre synclinal est marqué par djebel Bez-Zez et koudiat El Frin, entre les deux se dessine un anticlinal argileux, qui correspond à la partie Sud du lac Mellah.

Le lac s'est installé dans une large cuvette synclinale bordée au sud par le chevauchement du djebel Ach Lahmar et, au Nord, par le djebel Boulif, pli numidien de direction Nord caractéristique des monts d'El Kala.

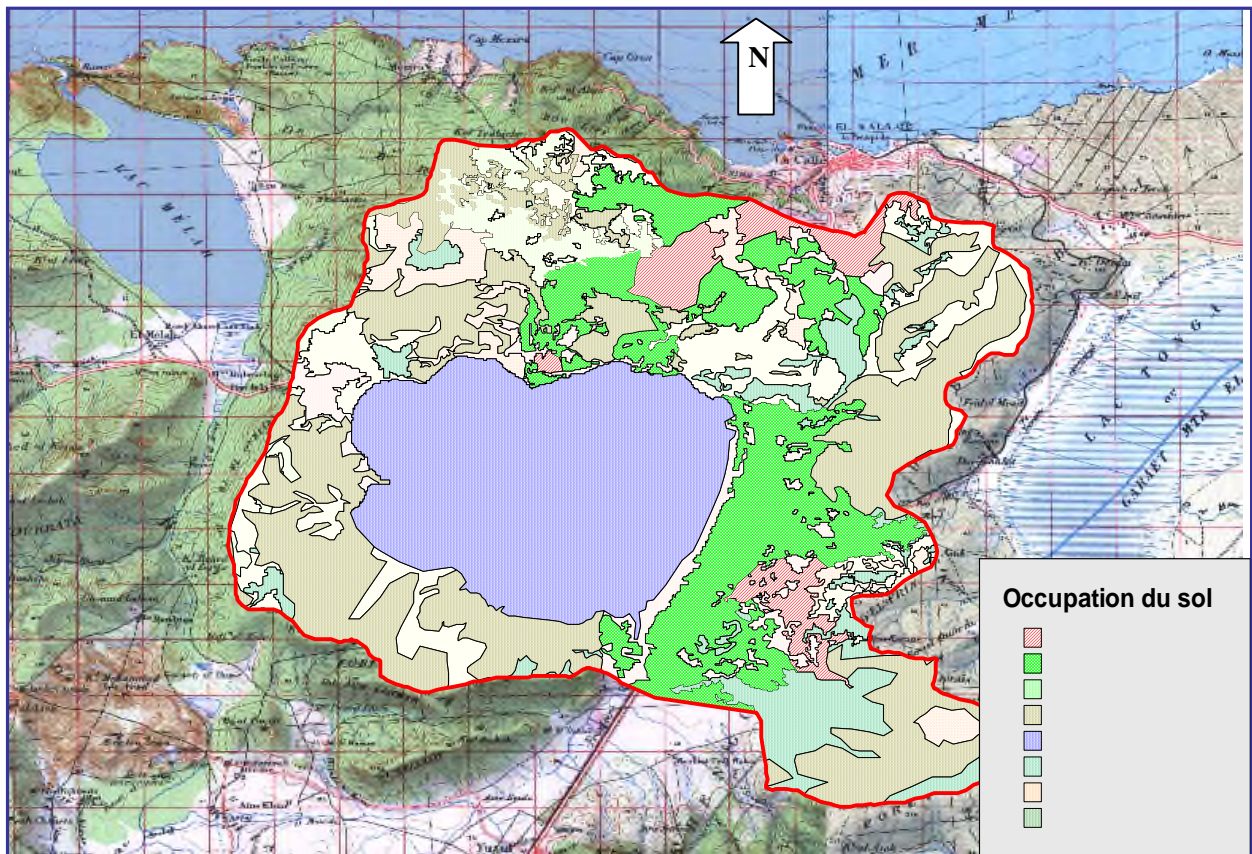
### 1.2.3. Occupation du sol

L'analyse de l'occupation du sol est établie à partir du planimétrage de la carte de l'occupation du sol et par l'interprétation des images satellites de l'année 2001, réalisées par le B.N.E.D.E.R. en juillet 2004.

**Tableau 15:** Occupation du sol du bassin versant du Lac Oubeïra

	<i>Aggl</i>	<i>C</i>	<i>C</i>	<i>Fc</i>	<i>Fc/</i>	<i>Md</i>	<i>Fc/</i>	<i>Mc</i>	<i>Fd</i>	<i>P</i>	<i>R</i>	<i>Plan</i>	<i>total</i>
<i>Occu</i>	430	1541	/	/	109	408	373	737	2626	399	/	2137	9750
<i>en %</i>	4.41	15.8			11.2	4.18	3.83	7.5	26.93	4.0		21.92	100

*Agglo+j* = agglomérations et jardins. *C* = cultures et terres labourables. *Fc* = forêts claires. *Fc.Md* = forêts claires et maquis dense. *Md* = maquis dense. *Fc.Mc* = forêt clair et maquis clair. *Mc* = maquis clair. *Fd* = forêt dense. *Fi* = forêt incendiée. *P* = parcours. *R* = reboisement.



**Fig. 06:** Occupation du sol du bassin versant du lac Oubeïra (BNEDER 2004)

#### 1.2.3.1. Le domaine forestier

Le domaine forestier s'étend sur une superficie globale de 7 123 ha qui correspond à un taux de boisement de 73%. Des disparités importantes apparaissent d'un endroit à un autre. Le versant nord Ouest de la forêt de Khanguet Aoun, le versant Ouest de la forêt d'El Kala, la forêt d'El Oubeïra, d'El Frin présentent un taux global de boisement appréciable de 26% alors que la couverture forestière est de 15% au nord du bassin versant.

Le domaine forestier évolue dans des conditions d'équilibre instable et a pu se maintenir grâce à la plasticité et l'extrême résistance des principales essences forestières : le chêne liège, chêne zène et le pin d'Alep. Ces espèces se rencontrent dans les massifs d'El Kala et de Khanguet Aoun.

Le chêne liège est dominant mais cela n'empêche pas la progression des maquis qui est la forme dégradée de ces formations. Les maquis denses et clairs couvrent respectivement une aire de 1507 ha et 737 ha. Ils sont situés au nord et au sud du bassin versant.

### 1.2.3.2. Le domaine agricole

Le domaine agricole est constitué par les parcelles de terres travaillées par les riverains, mais également par les jachères. Il s'étend sur une superficie de 1541 ha, soit 16 % de la surface totale du bassin versant. Les cultures pratiquées sont le *maraîchage*, *l'arboriculture*, *mais surtout les arachides* notamment dans la plaine d'El Frin.

### 1.2.3.3. Les parcours

Les parcours du bassin versant occupent une aire de 399 ha, soit 4 % de la superficie totale du bassin versant. Ils correspondent, en fait, à la jachère pâturée et aux terres agricoles délaissées.

### 1.2.3.4. Agglomérations et jardins

Il s'agit surtout des agglomérations secondaires d'El Frin et Meridima, zones d'habitation éparées qui s'étendent sur 430 ha.

### 1.2.3.5. Tendances de l'occupation du sol

Pour déterminer les tendances évolutives, la carte d'occupation du sol de l'année 1979, réalisée dans le cadre de l'inventaire des terres et forêt, est comparée, avec celle de la carte de l'occupation actuelle 2004.

**Tableau 16 : Comparaison des superficies végétales.** MPRH/ONDPA (2004).

	Aggl+j	A	C	C+P	Fc	Fc/Md	Md	Fc/Mc	Mc	Fd	P	R	Lac
<b>Occ 1979</b>	1	/	1779	/	190		1807		727	1363		1747	2136
<b>Occ 2004</b>	430	/	1541	/	/	1099	408	373	737	2626	399	/	2137

**Aggl+j** = agglomérations et jardins. **C** = cultures et terres labourables. **Fc** = forêts claires. **Fc.Md** = forêts claires et maquis dense. **Md** = maquis dense. **Fc.Mc** = forêt clair et maquis clair. **Mc** = maquis clair. **Fd** = forêt dense. **Fi** = forêt incendiée. **P** = parcours. **R** = reboisement.

L'analyse du tableau montre que l'évolution régressive des forêts denses sont passées de 3110 ha à 2626 ha, soit une différence de 484 ha. Cette régression a pour cause les incendies de forêts successifs, le défrichement et le surpâturage.

L'analyse montre la même tendance pour Les forêts claires/maquis denses et maquis denses qui ont connu une diminution de leur superficie pour les mêmes causes.

Depuis quatre décennies les formations qui ont subsisté dans le bassin versant de l'Oubeira ont considérablement diminué sous la pression d'une population riveraine en extension.

Aujourd'hui, les formations arborescentes homogènes (forêt naturelle et reboisement) ne représentent plus que 50 % de l'ensemble du domaine forestier du bassin versant. Il y a une nette prépondérance des formations ligneuses dégradées représentées par les maquis et les pelouses occupant respectivement environ 29 % et 14% de l'ensemble du domaine forestier.

Le tableau fait ressortir une diminution de 238 hectares de terres labourables. Pour des motifs liés au statut des terres agricoles, les terres sont délaissées et livrées aux troupeaux.

La superficie des agglomérations et jardins a connu une hausse de 430 hectares, il s'agit principalement d'extensions du chef lieu d'El Kala vers El Meridima et de l'agglomération secondaire d'El Frin.

#### **1.2.4. Population du bassin versant :**

Les populations résidentes des communes d'El Kala et d'Ain El Assel sont respectivement de 26 918 et 13 332 habitants en 2003. Les mechtas qui font partie du bassin versant sont :

- pour la commune d'Ain El Assel : El Frin, M'guessira, Dey Garaa.
- Pour la commune d'El Kala : Meridima, Gelas Sud (quartier périphérique d'El Kala) Demt Rihâna et Gantra El Hamra,

**Tableau 17: Données sur la population du Bassin versant du Lac Oubeira, Estimation 2003**

Localité	Pop totale 98	Pop totale 2003	Taux d'accrois 98/03(%)
Frin	2 657	3100	4,16
M'guessira	149	160	1,84
Dey el Grâa	373	395	1,47
Meridima	1650	2500	12,87
Gelas	3245	3570	2,50
Demt er Rihâna - Demet el Grâa	240	285	2,40
EL Gantra el Hamra (Oubeira)	242	265	2,37
<b>Total</b>	<b>8556</b>	<b>10275</b>	

Source : A. P. C Ain El Assel et A. P. C El Kala

La densité de population pour l'ensemble du bassin versant (plan d'eau non compris) est de 135 habitants par km<sup>2</sup>.

La population d'El Frin, s'est accrue de 17,30% entre 1998 et 2003, c'est 30 % de la population totale du bassin versant. Meridima, représente 24 % de la population totale du bassin versant.

##### **1.2.4.1. Alimentation en eau potable et assainissement**

**Tableau 18:** AEP et d'évacuation des eaux usées du bassin versant de l'Oubeïra, Estimation (2003).

Localité	Nbre de Logement	Source d'alimentation en AEP				Evacuation des eaux usées		
		Relié au Réseau A. E. P	Nbre de Puits	Oued	Autres	Réseau Assainis	Fosse septique	A ciel ouvert
M'guessira	39		<b>39</b>				<b>39</b>	
Dey el Grâa	117	<b>17</b>	<b>100</b>			<b>17</b>	<b>100</b>	
Meridima	450	450				<b>450</b>		
Demt Rihâna - Demet el Grâa	57			*	Lac Oubeira			**

Source : A. P. C Ain el Assel et A. P. C el kala

Au niveau d'El Meridima, les habitations sont raccordées au réseau d'AEP, et au réseau d'assainissement. Ce dernier rejette les eaux usées dans l'oued Bou Merchen et en fin de course dans le lac.

A Gelas, les logements sont raccordés au réseau A E P, mais pas au réseau d'assainissement ; L'évacuation des eaux usées se fait dans des fosses septiques collectives qui ne sont pas vidangées régulièrement. Lorsqu'elles sont pleines, elles débordent et s'écoulent dans le milieu naturel. Les habitants de Demt Rihana puisent leur eau potable à partir des fuites de la conduite d'eau qui alimente la ville d'El Kala.

Gantra El Hamra (bassin versant d'Oubeïra), qui dispose de 40 foyers, n'a accès ni au réseau d'AEP ni aux autres sources d'approvisionnement. Ces foyers s'approvisionnent leurs voisins du village (bassin versant du lac Mellah). Leur réseau d'assainissement rejette sur les rives du Lac Oubeïra.

#### 1.2.4.2. Besoin en eau

La norme de l'Agence des bassins hydrographiques envisage une dotation de 90 L/j/habitant. Les besoins estimés sont de 925 m<sup>3</sup>/jour, soit 337 554m<sup>3</sup>/an.

**Tableau 19:** Consommation en AEP des populations au niveau du bassin versant du lac Oubeïra. Estimation (2003).

Localité	Nbre de ménage ou habitants	A partir du Réseau AEP (L/j)	A partir des Puits (L/j)	A partir du Lac (L/j)	A partir des Oueds (L/j)	Autres	Total (l/j)
El-Frin	3100*	217 000					<b>217 000</b>
M'guessira	39**		5 850				<b>5 850</b>
Dey el Grâa	100** 65*	4522	15 000				<b>19522</b>
Meridima	2500*	175000					<b>175000</b>
Gelas	3750*	262500					<b>262500</b>
Demt EL Rihâna - Demet el Grâa	57**			8 550	5 700		<b>14 250</b>
El Gantra el Hamra Oubeïra	40**			6 000		4000	<b>10 000</b>
<b>Total</b>		<b>659022</b>	<b>20850</b>	<b>14550</b>	<b>5700</b>	<b>4000</b>	<b>704122</b>

Source : calculs B.N.E.D.E.R.\* nombre d'habitants.\*\* nombre de ménages

Les enquêtes effectuées par le *B.N.E.D.E.R* sur le terrain auprès des ménages ont montré que la population des douars non raccordés au réseau AEP, puise l'eau des puits et des sources existantes.

L'eau extraite des puits et du lac équivaut en moyenne à 150 L/j/ménage, et celle des sources est moindre et avoisine les 100 L/j/ménage. Pour les ménages qui sont raccordés au réseau d'AEP, une norme de dotation moyenne retenue est de 70 L/j/habitant.

### 1.2.5. La pollution domestique :

#### 1.2.5.1. Les rejets :

La quantité d'eau nécessaire à l'alimentation en eau potable des populations (tab.19) est prélevée, en grande partie à partir des différentes ressources en eau existantes localement et elle sera rejetée à son tour, après usage, dans le milieu naturel du bassin versant lac Oubeira. Si 80% de cette quantité d'eau consommée est restituée, 563m<sup>3</sup>/j ou 205 603 m<sup>3</sup>/an, d'eau de qualité réduite regagnera superficiellement ou souterrainement lac Oubeira

**Tableau 20:** Volumes des rejets des eaux usées du bassin versant de l'Oubeira (Source : BNEDER)

Localité	Consommation	Rejet (m <sup>3</sup> /j)
<b>Frin</b>	217 000	173,600
<b>M'guessira</b>	5 850	4,680
<b>Dey el Grâa</b>	19522	15,618
<b>Meridima</b>	175000	140,000
<b>Gelas</b>	262500	210,000
<b>Demt er Rihâna - Demet el Grâa</b>	14 250	11,400
<b>EL Gantra el Hamra ( Oubeira)</b>	10 000	8,000
<b>Total</b>	<b>704122</b>	<b>563,298</b>

#### 1.2.5.2. Agriculture

**Tableau 21:** Répartition de la SAU du bassin versant de lac Oubeira (Source : DSA 2004)

Communes	Céréales (Ha)	Arbo (Ha)	Maraichage (Ha)	Cultures Industrielles (Ha)	jachère pâturée(Ha)	Total
		3	40	160		<b>203</b>
<b>M'guessira</b>	50	3	100	100	40	<b>293</b>
<b>Dey el Grâa</b>	60	5	90	100	50	<b>305</b>
<b>Meridima</b>	30	6	50	40	20	<b>146</b>
<b>Demt er Rihâna - Demet el Grâa</b>		2	80	100		<b>182</b>
<b>EL Gantra el Hamra ( Oubeira)</b>	15	5	30	40	10	<b>100</b>
<b>Total</b>	<b>155</b>	<b>24</b>	<b>390</b>	<b>540</b>	<b>120</b>	<b>1229</b>

Deux groupes distincts se dégagent au niveau de la zone BV Oubeira: jachère pâturée (parcours), et les cultures irriguées qui rassemblent le maraîchage de plein champ, et la culture des arachides assimilée à une culture industrielle.

Le lac Oubeira est en effet, la principale ressource pour l'irrigation des cultures. Il assure l'arrosage de 95 % des surfaces irriguées. L'arrosage à partir des puits, bien qu'insignifiant par rapport à celui à partir du lac, prend cependant de l'ampleur. Les oueds pendant la saison sèche.

L'accroissement et l'extension des activités agricoles entraînent à terme une baisse des quantités d'eau vont vers les lacs. De la même manière, la qualité des eaux est subordonnée au volume des fertilisants employés par les agriculteurs.

Les terres agricoles sont irriguées avec de l'eau du réseau hydrographique. La fertilisation est utilisée pour les arachides et les cultures maraîchères.

Les engrais utilisés sont le tertiaire 11.15.15 à raison d'une application par cycle végétatif, avec une dose comprise entre 1 et 1,35 qt/ha, soit une utilisation optimale de 1255.5 quintaux pour l'ensemble des terres menées en irriguées. Le fumier est aussi appliqué à raison de 100 à 140 qt/ha.

Les produits phytosanitaires sont utilisés selon le niveau d'infestation. Le produit le plus employé est le D D T, à raison de 0,25 qt/ha, surtout pour les cultures maraîchères.

### 1.2.5.3. L'élevage

L'élevage occupe une place privilégiée dans les activités de la population.. Le troupeau, sa composante et sa taille donnent de précieuses informations sur la pression exercées sur les ressources naturelles mais encore sur l'évolution des activités humaines et de leurs besoins. L'effectif total est composé d'ovins, caprins et bovins.

Tableau 22: Répartition des effectifs par type d'élevage (Source : DSA 2004)

Localités	Ovins	Caprins	Bovins	Total
Frin	566	250	700	1516
M'guessira	385	135	405	925
Dey el Grâa	423	138	435	996
Meridima	345	128	468	941
Demt er Rihâna - Demet el Grâa	350	100	400	850
<b>Total</b>	<b>2069</b>	<b>751</b>	<b>2408</b>	<b>5228</b>

L'activité pastorale s'articule principalement autour de l'élevage bovin mené en extensif. L'alimentation du cheptel reste basée en grande partie, sur les ressources fourragères (jachère, parcours forestiers). Le nombre élevé de bovin, mais aussi des ovins se traduit par une pression croissante. Le déficit en nourriture autour des zones humides est compensé par le pacage dans les formations forestières. La consommation d'eau du cheptel (sans le nettoyage des étables) est estimée à 50 litres/tête/jour pour le gros bétail et de 8 à 10 litres/tête/jour pour

le petit bétail. Ce qui donne pour le BV de l'Oubeira :  $28 \text{ m}^3 / \text{j}$  pour le petit bétail et  $120 \text{ m}^3 / \text{j}$  pour le gros bétail, soit un total de  $148 \text{ m}^3 / \text{j}$ .

### 1.2.6. Hydrologie du bassin versant

Le bassin versant du lac Oubeira est à géométrie variable. L'oued Messida au Sud-Est joue à la fois le rôle d'affluent et celui d'émissaire du lac selon que l'on se trouve en période de crue ou en période d'étiage.

La crue de l'oued El Kébir, l'artère hydrologique de la région, raccorde momentanément l'Oubeira à son réseau qui s'étend jusqu'aux marais de la Mekkada où se trouve le lac des oiseaux.

Le bassin versant est drainé par d'autres affluents, l'oued Demt Rihana, l'oued Bou Marchen et l'oued Dey Elgarah et à un moindre degré l'oued Bou Hachicha. Il correspond à la décrue et à l'étiage, périodes longues et stables pour les fluctuations des volumes du plan d'eau et pendant lesquelles l'Oubeira joue le rôle de réservoir et réalimente le Kébir. Le bassin se subdivise selon ses principaux affluents:

- Sous bassin versant de l'oued Dey El' garah
- Sous bassin versant de l'oued Bou Hachicha.
- sous bassins versants de l'oued Bou Merchen.
- Sous bassin versant de l'oued Demt Rihana

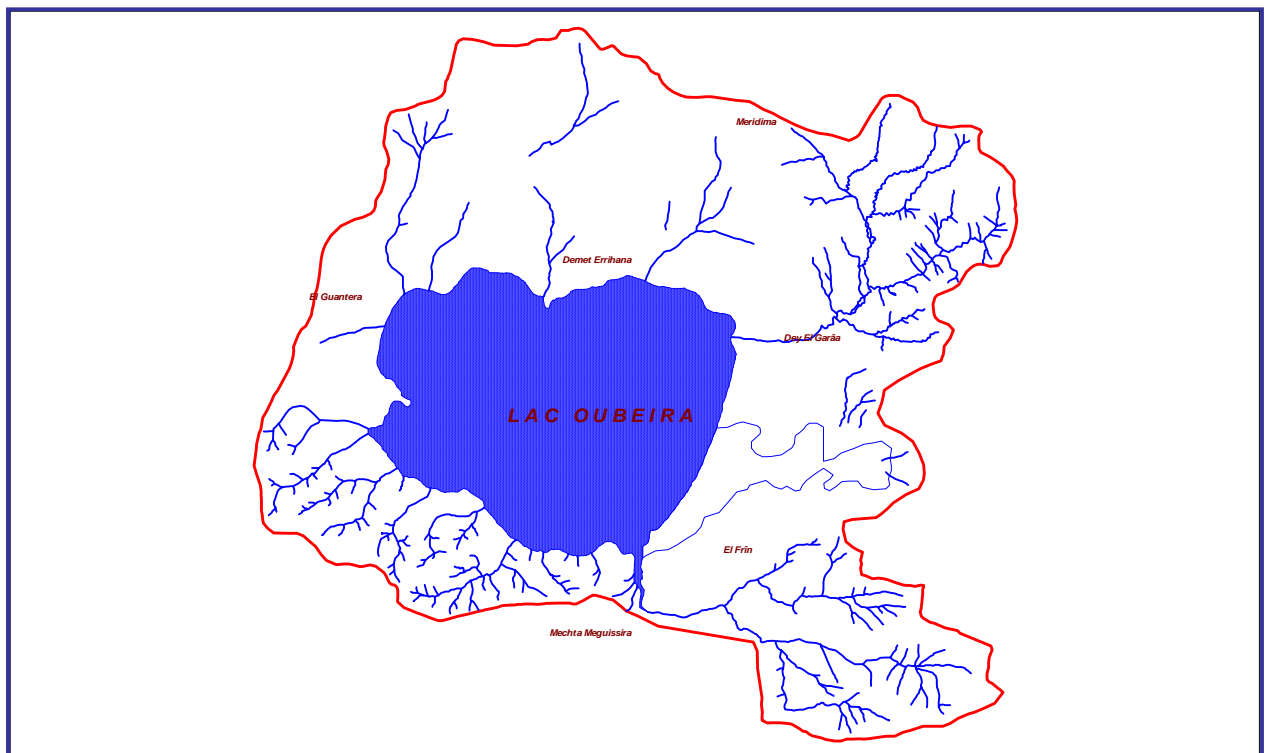


Fig. 07: Réseau hydrographique du lac Oubeira (B.N.E.D.E.R 2004)

#### 1.2.6.1. Caractéristiques du bassin versant

- Superficie totale : ..... 9823.5 ha

- Superficie du lac ;.....2257 ha
- Superficie du bassin versant (sans le plan d'eau) .....7572 ha.
- Périmètre du plan d'eau .....22,75 Km
- Longueur totale du réseau hydrographique.....121 Km
- Densité de drainage.....1,6 Km / Km<sup>2</sup>

### 1.2.6.2. Les apports superficiels

- Les Oueds à écoulement pérenne sont : l'oued Dey garaah, l'oued Bou marchen, l'oued Demt Rihana et l'oued Bou Hachicha.
- Les débits d'étiage des oueds sont relativement faibles mais constants pendant la période sèche. Les mesures effectuées à la mi-juillet et à la fin août n'ont montré qu'une faible variation pour l'oued Bou Hachicha.
- L'apport moyen annuel en eau vers le lac Oubeira à partir de son bassin versant par l'écoulement de ses affluents est égal à 23 Hm<sup>3</sup>/an (23 millions de m<sup>3</sup>/an)
- L'apport annuel moyen direct sur le plan d'eau par les précipitations est égal à 18 Hm<sup>3</sup>/an.
- L'évaporation au dessus du plan d'eau est de 35,66 Hm<sup>3</sup>/an. (ETR =1580 mm/an, la valeur de l'évaporation moyenne annuelle est tirée d'une thèse d'ingénieur sur le barrage de Mexa ). (la valeur de l'évaporation moyenne annuelle est tirée d'une thèse d'ingénieur sur le barrage de Mexa).
- Le lac Oubeira reçoit une fraction des eaux de l'Oued Kebir Est lors des crues importantes mélangées éventuellement avec celles de la partie historique de son bassin versant (avant la capture).
- Le lac Oubeira subit des pertes par pompage direct pour l'irrigation. Les prélèvements d'eau totaux effectués par les agriculteurs dans le bassin versant du lac Oubeira pour irriguer une superficie de 1074 ha (une irrigation d'appoint de 2000 m<sup>3</sup>/ha) sont de l'ordre de 2,1 hm<sup>3</sup>/an soit un débit fictif continu de 70 l/s. Ce débit est prélevé à partir des eaux souterraines et de surface.
- Après la décrue, le lac Oubeira restitue par l'intermédiaire de l'Oued Messida une partie de l'eau qu'il reçoit à l'Oued Kébir. La construction du pont vanne avait permis de réguler et de commander les entrées et les sorties de l'eau du lac Oubeira. Actuellement la mécanique du pont vanne est en panne.
- Une fraction de l'eau d'irrigation rejoint les eaux souterraines des nappes chargées entraînant avec elle les résidus de la fertilisation.
- Les crues de l'Oued Kebir sont théoriquement régulées depuis la mise en service du barrage de Mexa, mais sur terrain ce n'est pas toujours le cas.

### 1.2.6.3. Les apports souterrains

- L'évaluation du volume d'eau infiltrée par an dans le bassin versant soit : 6,65 Hm<sup>3</sup>/an.

- L'évaluation du volume des eaux souterraines qui rejoignent le plan d'eau mesuré par les débits d'étiages soit :  $0,3 \text{ Hm}^3/\text{an}$ .
- L'évaluation des apports par les nappes phréatiques sont estimés à  $1 \text{ Hm}^3/\text{an}$ .
- Le lac Oubeira subit une perte d'eau par une voie souterraine à travers les alluvions de l'Oued Messida dont l'ordre de grandeur est de :  $0,06 \text{ hm}^3/\text{an}$ .
- Le plan d'eau du lac est un niveau de base vers lequel sont drainées les eaux souterraines des nappes peu profondes à la périphérie. Elles rejoignent le lac sous forme de débit des cours d'eau pérenne (débit d'étiage) et sous la forme d'un flux souterrain convergent. Il faut noter également les pertes :
- Le lac Oubeira subit une perte d'eau par une voie souterraine à travers les alluvions de l'Oued Messida dont l'ordre de grandeur est de :  $0,06 \text{ hm}^3/\text{an}$ .
- Les prélèvements d'eau totaux effectués par les agriculteurs dans le bassin versant du lac Oubeira pour irriguer une superficie de 1074 ha (une irrigation d'appoint de  $2000 \text{ m}^3/\text{ha}$ ) sont de l'ordre de 2,1 soit un débit fictif continue de 70 l/s .Ce débit est prélevé à partir des eaux souterraines et de surface .
- Il est utile de noter qu'une fraction de l'eau d'irrigation rejoint les eaux souterraines des nappes chargées éventuellement de polluants (notamment dans les zones à sols sableux profonds).

#### **1.2.6.4. Bilan hydrique du plan d'eau**

- Les apports sont constitués par :
  - L'écoulement des eaux surface qui rejoignent le plan d'eau,
  - Les précipitations
- Le lac Oubeira subit une perte d'eau par :
  - une voie souterraine à travers les alluvions de l'Oued Messida dont l'ordre de grandeur est de :  $0,06 \text{ hm}^3/\text{an}$ .
  - Les eaux souterraines par le flux des nappes ou celui des débits d'étiage et
  - Les eaux des crues hivernales de l'oued El Kébir.
- Les pertes sont représentées par
  - L'évapotranspiration réelle au dessus du plan d'eau,
  - L'écoulement estival, à l'étiage dans l'oued Messida,
  - Les prélèvements pour l'irrigation.
- Le bilan hydrique du lac s'établit en soustrayant le volume des pertes à celui des apports.

#### **1.2.7. Morphométrie du lac Oubeira**

##### **1.2.7.1. Localisation**

- C'est un plan d'eau de type « étang » c'est-à-dire de moins de 6 m de profondeur.
- Localisée à 5 km au Sud-Ouest de la ville d'El-Kala et 54 km à l'Est-Sud-est de la ville d'Annaba.

- Ses coordonnées géographiques au centre sont 36° 50' 695 Nord – 8° 23' 272 Est.
- de ce fait, il est localisé à 2,3 km au Sud-Est du lac Mellah.

### 1.2.7.2. Dimensions

- De forme grossièrement carrée, sa longueur selon un axe Nord-Sud passant par le milieu est de 4,20 km.(fig.7).
- La largeur selon un axe Est-Ouest passant par le milieu est de 5,22 km.
- Le périmètre est égal à 19,80 km.
- La superficie totale mesurée est de 2256
- 

### 1.2.7.3. Bathymétrie

**Tableau 23** : superficie partielle et proportion des différentes tranches de profondeur.(Messerer,1999)

Intervalle de profondeur (m)	Superficie partielle (ha)	Proportion %
0,00 - 0,90	123 ha 71 are 64 ca	5,48
0,90 - 1,10	87 ha 46 are 28 ca	3,88
1,10 - 1,30	73 ha 54 are 46 ca	3,26
1,30 - 1,50	97 ha 63 are 46 ca	4,33
1,50 - 1,70	128 ha 20 are 21 ca	5,68
1,70 - 1,90	88 ha 91 are 14 ca	3,94
1,90 - 2,10	151 ha 06 are 15 ca	6,69
2,10 - 2,30	615 ha 77 are 34 ca	27,29
2,30 - 2,50	883 ha 50 are 95 ca	39,15
2,50 - 2,50	6ha 88 are 77 ca	0,31

Les mesures bathymétriques font ressortir que le lac Oubeira est un plan d'eau peu profond. La profondeur maximale est de 2,50 m en situation de pleine eau et ne représente que 0,3% de la superficie (tab. 23). La profondeur moyenne est égale à 2,15 m.

On retiendra de ce tableau que le lac Oubeira se caractérise par une variation relativement rapide de la profondeur au niveau des rives ; plus particulièrement les rives Sud et Est. La rive Ouest, en revanche, se caractérise par une variation lente de la profondeur.

Dans sa majeure partie, la topographie du fond du lac peut être considérée comme très homogène. En effet, dans les 67% de la superficie, la profondeur ne varie que d'une quarantaine de cm.

### 1.2.7.4. VOLUME

**Tableau 24**: volume partiel en fonction des tranches de profondeur du lac Oubeira  
(source : B.N.E.D.E.R.2004)

Intervalle de profondeur (m) $h_i$	Superficie partielle (ha) $S_i$	volume partiel ( $v_i$ ) $m^3$
0,00 - 0,90	123 ha 71 are 64 ca	556724

0,90 - 1,10	87 ha 46 are 28 ca	874628
1,10 - 1,30	73 ha 54 are 46 ca	882535
1,30 - 1,50	97 ha 63 are 46 ca	1366884
1,50 - 1,70	128 ha 20 are 21 ca	2051234
1,70 - 1,90	88 ha 91 are 14 ca	1600405
1,90 - 2,10	151 ha 06 are 15 ca	3021230
2,10 - 2,30	615 ha 77 are 34 ca	13547015
2,30 - 2,50	883 ha 50 are 95 ca	21204228
2,50 - 2,50	6ha 88 are 77 ca	172193

Le volume total du lac est de l'ordre de  $45.277 \text{ m}^3$ . Soit un peu plus de 45 millions de mètres-cubes en situation de hautes eaux (fig 08.b).

Le caractère endoréique du lac Oubeira l'expose à des variations sensibles de son volume d'eau. L'intense évaporation estivale retire un volume d'eau important (chiffre). Une diminution de la colonne d'eau de 0,90 m aura pour conséquence la mise au sec d'une superficie de 124 ha environ (fig 08.a).

Si la colonne d'eau évaporée atteint 1,50 m, la mise au sec sera de 382 ha ; et le retrait des eaux serait de 400 m environ au niveau de la rive Nord et Ouest. Il serait de 150 m au niveau de la rive Sud et 200 m au niveau de la rive Est.



(a) basses eaux

(b) hautes eaux

Fig.8 : retrait des eaux au niveau du lac Oubeira, MPRH, ONDPA (2004)

### 1.2.8. Situation géographique du lac Oubeira et localisation des stations de prélèvements

Le lac Oubeira est plan d'eau douce de moins de 6 m de profondeur « fig.09 », situé à 5 km au sud-ouest d'El-Kala et 54 km à l'est d'Annaba. Ses coordonnées géographiques au centre du plan d'eau sont  $36^{\circ} 50' 695 \text{ Nord} - 8^{\circ} 23' 272 \text{ Est}$ . Il est distant de 2,3 km du lac Mellah qui se trouve au nord ouest.

C'est un site de 2200 ha, profond de 4 mètres au maximum. Il s'inscrit dans un quadrilatère de 5 x 4 km et développe 19 km de rives.

Il est alimenté par quatre cours d'eau importants : l'oued Demet Rihana au nord, l'oued Boumerchène au Nord-Est, l'oued dey El Garâa à l'est et l'oued Messida au Sud.

En hiver, à l'occasion des fortes précipitations, les eaux de l'Oued El-Kebir parviennent au lac principalement par l'oued Messida. En été, quand le niveau de l'oued El-Kebir est au plus

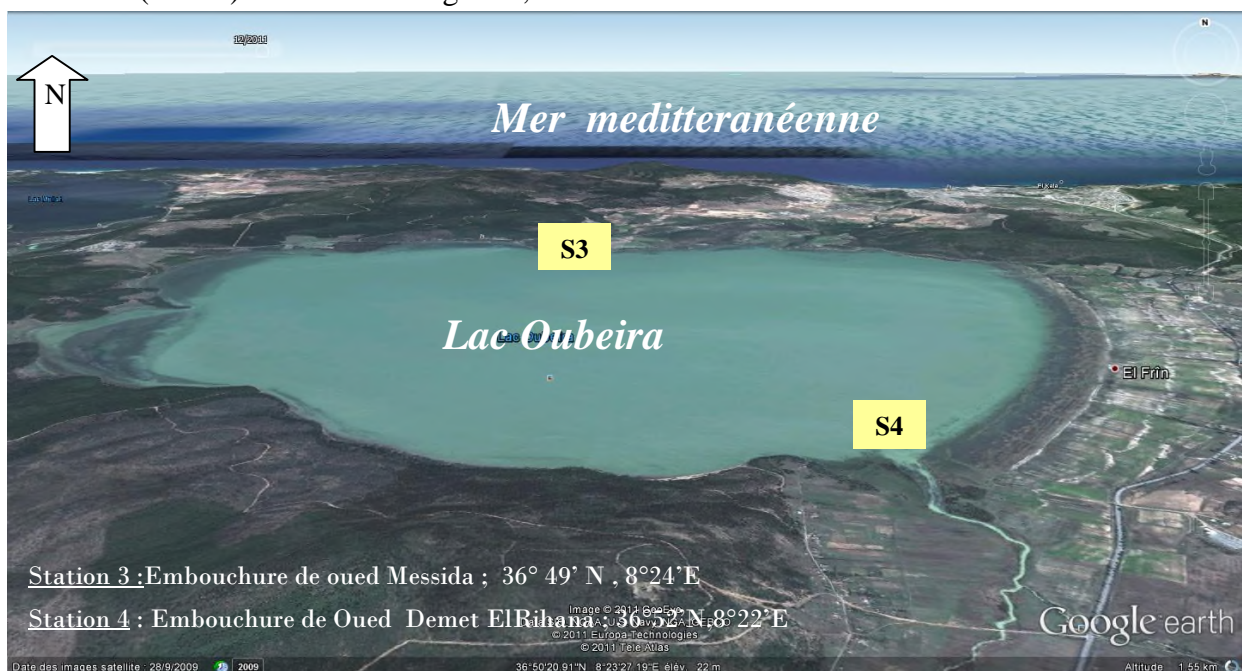
bas, le système hydrologique fonctionne en sens inverse, l'oued Messida ayant cette singularité de couler dans les deux sens selon la crue ou l'étiage.

Le bassin versant du lac Oubeira, d'une superficie de 12500 ha, fait partie de la zone lacustre d'El-Kala.

Sa limite nord s'étend d'est en ouest de l'altitude 170 m à 182 m. Cette ligne de crête, légèrement sinueuse où culmine le kef Trébiche à 256 mètres marque la limite avec le BV du Mellah.

La bordure Ouest du bassin versant progresse vers le sud en longeant les sommets du Djebel Oubeira (100 m) jusqu'au voisinage de fedj Zana (91 m) avant d'être relayés dans la partie Sud par les Djebels Ach Lahmar (138 m) et Hellilif (189 m) qui constituent les flancs ouest de l'oued Messida« fig.09 ».,.

A l'est, le bassin versant est formé d'une bordure plane qui s'étale au pied du Djebel Bou Merchène (184 m) au Nord-est« fig.09 ».,.



*Fig.09: Localisation des stations de prélèvement au niveau du lac Oubeira*

### **1.3. Lac El-Mellah et son bassin versant :**

#### **1.3.1. Le relief et les pentes**

Le bassin versant du lac Mellah s'étend sur une superficie de 8 250 hectares soit 82,5 km<sup>2</sup>. Le plan d'eau (lac seulement) représente le un dixième (1/10) de la surface totale. Physiquement, le bassin versant est limité à l'ouest par une suite de petits chaînons montagneux aux formes allongées et sinueuses (kef Karussa 247 m, djebel Koursi 329 m, djebel Bez Zeze 309 m, kef Fegaia 325 m), leurs versants sont exposés au Nord-Est et sont entaillés par une multitude de talwegs donnant naissance à deux principaux oueds (Reguibet et Mellah).

Le bassin versant de l'Oubeira est subdivisé en trois sous bassins versants, il s'agit des sous bassins versants de l'oued Reguibet, Mellah et de l'oued El Aroug.

Quatre classes de pentes ont été identifiées selon le tableau n° 25 qui montrent une prédominance des classes de pentes de 3 à 12% et celle de plus de 25% avec respectivement 35% et 28% de la totalité des superficies du bassin versant.

**Tableau 25:** classe pentes et superficie du bassin versant

Classe de pentes	Superficie ( ha)	Pourcentage (%)
0 à 3%	1093	13.07
3 à 12.5%	2904	34.71
12.5% à 25%	1110	13.27
Supérieur à 25%	2391	28.58
Plan d'eau	864	10.37
Total	8250	100

La classe 0 – 3% est représentée par les fonds de vallées des principaux oueds notamment l'oued Reguibet, l'oued Mellah, l'oued El Aroug, les zones marécageuses et les replats rencontrés sur les hauts et bas versants. Cette classe s'étend sur superficie de 1093 ha soit 13 % du bassin versant. Les terrains à faible pente sont sujets à la déflation qui s'opère sous l'action éolienne en période sèche.

La classe 12 – 25% s'étend sur une surface de 1110 ha soit un peu plus de 13% de la superficie totale. Par ailleurs, cette classe peut être caractérisée comme une classe intermédiaire. Les terrains où prédomine cette classe, offrent des possibilités d'aménagement beaucoup plus avantageuses que les terrains ayant des classes de pentes supérieures à 25%. Ces derniers correspondent aux zones d'affleurement du complexe argilo-greux du numidien.

Les terrains situés sur des pentes supérieures à 25% correspondent aux zones d'affleurement du complexe argilo-greux du numidien.

Le plan d'eau du lac Mellah, couvre une superficie de 864 ha, soit 10% de la surface totale.

### **1.3.2. Géomorphologie**

Le Bassin versant du lac Mellah s'allonge sur un ensemble de structures synclinales/anticlinales, qui du sud du cap Rosa se prolonge sous le synclinal du lac Oubeira. Le creusement de sa cuvette est antérieur au pliocène. La structure synclinale correspondant à la vallée de l'oued R'guibet. La structure anticlinale à celle de l'oued Mellah. Ces formations sont recouvertes des sables mobiles issus du cordon littoral « fig.10 ».

### **1.3.3. Occupation du sol**

L'analyse de l'occupation du sol est établie à partir du planimétrage de la carte de réalisée par le B.N.E.D.E.R en juillet 2004.

Tableau 26 : Occupation du sol du bassin versant DSA (2003)

	Agglo+j	C	Fc	Fc/Md	Md	Fc/M	Mc	Fd	Fi	P	Lac	Total
Occup	171	60	/	3733	133	588	481	1494	104	134	919	8366
En %	2	7	/	44	2	7	6	18	1	2	11	100

*Agglo+j* = agglomérations et jardins. *C* = cultures et terres labourables. *Fc* = forêts claires. *Fc.Md* = forêts claires et maquis dense. *Md* = maquis dense. *Fc.Mc* = forêt clair et maquis clair. *Mc* = maquis clair. *Fd* = forêt dense. *Fi* = forêt incendiée. *P* = parcours. *R* = reboisement.

L'occupation des terres du bassin versant est marquée par l'importance de la couverture forestière dont la superficie est de 6533 ha ce qui représente 78 % de l'ensemble du bassin versant. Les terres agricoles occupent quant à elles 9 % du bassin versant, le reste étant considéré comme des zones d'habitations et jardins, « fig.10 ».

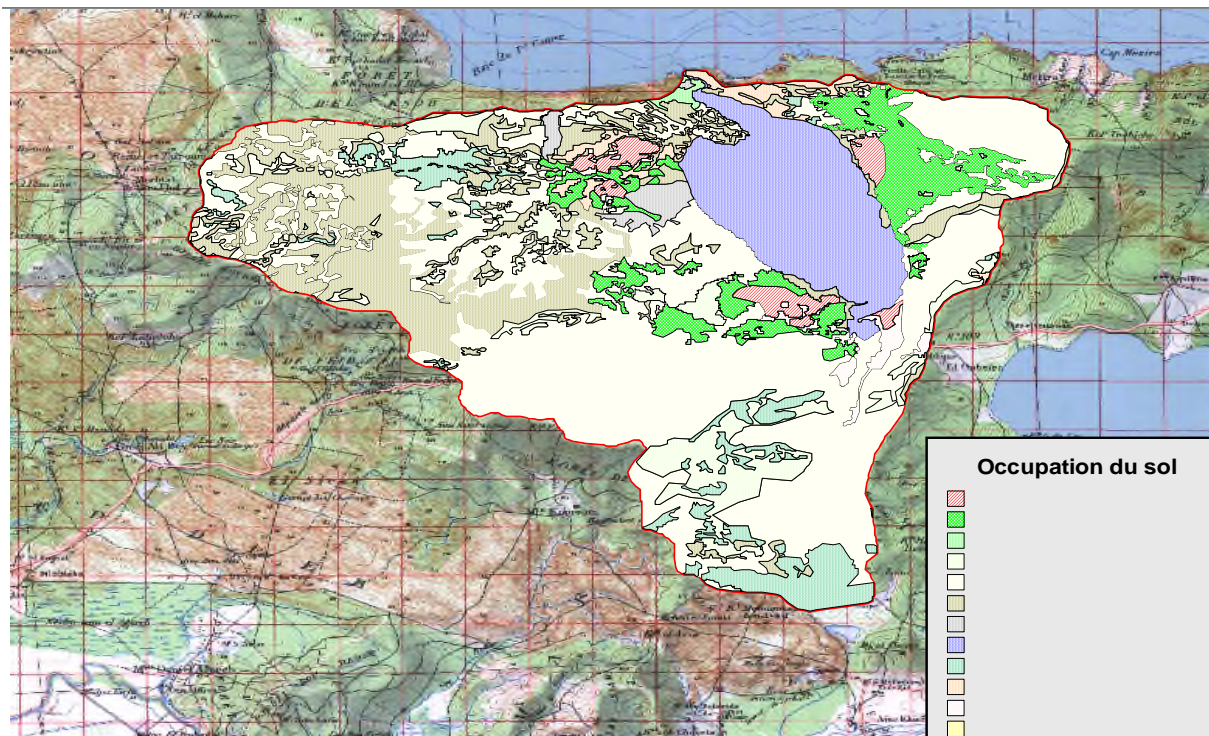


Fig.10: Occupation du bassin versant du lac Mellah. (B.N.E.D.E.R. 2004).

### 1.3.1.1. Le domaine forestier

Les superficies forestières occupent 5331 ha ce qui représente quelque 63% de tout le bassin versant. Toutefois, les formations forestières proprement dites n'en constituent que 18 %, soit une superficie réellement forestière estimée à 1494 ha. Cela réduit le taux de boisement à seulement 4 % ce qui est très loin de la moyenne nationale qui est de 12 %.

Les forêts naturelles sont principalement des peuplements de chêne Kermès et de chêne liège et d'ancien reboisement à base d'eucalyptus. L'ensemble de ces formations occupe généralement la partie orientale du bassin versant « fig.10 »..

Le domaine forestier est dominé par les maquis denses et accessoirement les maquis clairs avec un total de **4935** ha qui couvrent plus de 59 % du domaine forestier (tab.26)

Les maquis denses sont des formations 2 mètres de haut. Ils sont de type méditerranéen car accompagnés par endroits d'associations floristiques diverses. Ils occupent une superficie de 3866 ha (tab.26) « fig.10 »..

Les maquis clairs sont formés de végétations basses dégradées en formations touffues n'excédant pas 1 mètre de hauteur.

Les maquis clairs, d'une superficie totale de 1069 ha, soit 13 % de l'aire total se présentent dans des conditions de conservation alarmant. Dans un état de dégradation très avancé, ils fragilisent les sols et prête le flanc à l'érosion hydrique« fig.10 »..

### 1.3.3.2. Le domaine agricole

La superficie de terres agricoles avoisine 734 ha, ce qui représente en valeur absolue 9% de la superficie totale du bassin versant« fig.10 »..

Les douars sont constitués par des habitations dispersées et jardin dont la superficie planimétrie est de 170 ha, soit 2% du total.

La plus grande partie du domaine agricole est de la terre arable. 130 ha Seulement en sont soustraits pour servir de parcours et qui correspondent, en fait, à la jachère pâturée et à des terres délaissées.

L'importance de la SAU est cependant atténuée par le peu de diversité dans l'affectation du sol. Il n'y a que 174 ha de cultures maraîchères sur les 609 ha de SAU. Le reste exploité en cultures de l'arachide associée à la pratique de la jachère donc l'élevage.

### 1.3.3.3. Tendances de l'occupation du sol

Le tableau 27 montre une comparaison entre les données de la carte d'occupation du sol de l'année 1979, avec celle de la carte de l'occupation du sol de l'année 2004.

**Tableau 27:** Superficie des faciès pour les années 1979 et 2004.

	aggl	C	Fc	Fc/Md	Md	Fc/Mc	Mc	Fd	Fi	P	R	Lac	Total
<b>Occ79</b>	/	260	834		3946		310	1761			293	962	8366
<b>Occ04</b>	171	609	/	3733	133	588	481	1494	104	134	/	919	8366

*Agglo+j* = agglomérations et jardins. *C* = cultures et terres labourables. *Fc* = forêts claires. *Fc.Md* = forêts claires et maquis dense. *Md* = maquis dense. *Fc.Mc* = forêt clair et maquis clair. *Mc* = maquis clair. *Fd* = forêt dense. *Fi* = forêt incendiée. *P*= parcours. *R* = reboisement.(Source : Rapport MPRH et ONDPA.2004).

Le tableau fait ressortir une augmentation de 483 ha de terres labourables qui sont passés de 260 ha à 743 ha. Une extension qui s'est effectuée au détriment de la couverture forestière.

Le tableau montre aussi que les forêts denses et les forêts claires ont connu une régression de 702 hectares, soit une régression de 24% de la couverture forestière.

Les maquis ont connu une diminution de leur superficie par suite des activités de parcours et défrichage pour mise en culture.

Les agglomérations ont, aussi, connu une extension considérable puisqu'il s'agit de 170 ha d'habitat et jardins.

Le bassin versant de l'Oubeira est caractérisé par une diminution des superficies forestières et une augmentation des terres agricole accompagnée d'une extension de la zone éparsée. Cette tendance, liée à la croissance démographique et l'absence de maîtrise, risque de l'occupation de l'espace, et ne montre pas signe de fléchissement et va se poursuivre.

#### 1.3.3.4. Population du bassin versant :

Le bassin versant du Lac Mellah fait partie intégralement de la commune d'El Kala qui avait une population résidente de 24793 Habitants en 1998, Elle est passée à 26918 Habitant en 2003.

##### 1.3.4.1. Données sur la population du bassin versant

Elle est regroupée autour des localités suivantes :

- Douar Souk Erguibet
- Melha El Frine
- Douar Aslâa - Bou mâlek - El Gmihet (Lac bleu).
- Gantra El Hamra (BV Mellah)

**Tableau 28: Données sur la population du Bassin versant du Mellah**

Localité	Pop totale 98	Pop totale 2003*	Taux d'accrois 98/03(%)
Gantra El Hamra (Mellah)	750	946	6,5
Mellah El Frine	579	632	2,25
Douar Aslâa - Bou mâlek - El Gmihet	487	536	2,50
Souk Requibet	456	498	2,25
<b>Total</b>	<b>2272</b>	<b>2612</b>	<b>3,75</b>

Source : Donnés RGPH 98 et \* A. P. C el Kala et subdivision agricole (estimations 2003)

La population du BV du Mellah représente le 1/10 de la population totale de la commune d'El Kala.

La densité est de 36 habitants/ km<sup>2</sup>. Elle est partagée entre une agglomération secondaire Gantra El Hamra et une zone rurale éparsée. (Melha- El Frine, Douar Bou mâlek - El Gmihet et Souk Reguibet) « *Tableau 28* ».

La population d'El Gantra el Hamra a augmenté de 26% durant la période 98/2003. Elle est passée de 750 en 1998 à 946 en 2003, soit taux de croissance calculé moyen de 6,5 %. C'est le triple de la commune pour la même période. Elle représente environ 36 % de la population totale du bassin versant. Une partie de l'agglomération de Gantra El Hamra est située dans le bassin versant du lac Oubeira« *Tableau 28* ».

#### 1.3.4.2. Alimentation en eau potable et assainissement

**Tableau 29: Source d'alimentation en eau potable et mode d'évacuation des eaux usées**

Localité	Nombre de Logts	Source d'alimentation en eau potable				Evacuation des eaux usées	
		Relié au Réseau A. E. P	Nbre de Puits	Source	Autres	Réseau Assainissement	Fosse septique
Souk Reguibet	82	–	82	2	–	–	82
Mellha El Frine	100	–	100	–	*	–	100
Aslâa-Bou Malek – ElGmihet-	86	50	36	–	*	–	86
Gantra ElHamra	170	170	–	–	–	170	–

Source : A. P. C el Kala et subdivision agricole (estimation 2003).

*Souk Reguibet* est alimentée en eau potable par deux (2) sources captées qui font office de fontaine publique pour tout le douar. Les eaux usées sont rejetées dans le milieu naturel.

*El-Mellha et El Frine* puisent l'eau potable dans les puits mais également à partir des fuites de la conduite qui alimente la ville d'El Kala.

L'eau ne dépasse pas 3 mètres de profondeur dans les puits. Elle sert exclusivement aux besoins managers.

L'évacuation des eaux usées se fait dans des fosses septiques. En cas de remplissage des fosses septiques, la vidange se fait de manière archaïque.

*Gantra El Hamra* est raccordé au réseau A E P, et elle dispose d'un réseau d'évacuation des eaux usées mais qui déverse ses rejets dans une ravine qui conduit au lac.

Pour *Aslâa - Bou mâlek - El Gmihet-* une partie seulement (Aslâa et bou mâlek) est raccordée anarchiquement à la conduite d'adduction qui aliment Gantra El Hamra. Par contre le raccordement au réseau d'assainissement est pratiquement inexistant.

*Les rejets essentiellement des eaux usées domestiques ont pour destination finale l'exutoire le réseau hydrographique et les eaux souterraines qui rejoignent le plan d'eau du lac. Il y existe depuis 1983, une station de traitement pour le village de Gantra El Hamra mais elle n'a jamais été mise en service.*

#### 1.3.4.3. Besoins en eau

**Tableau 30:** Besoins en AEP des populations du bassin versant du lac Mellah.

Localité	Population 2003	Dotation l/j/hab.	Besoin 2003 (m <sup>3</sup> /j)
Gantra El Hamra (BV Mellah)	946	90	85,140
Melha el Frine	632	90	56,880
Douar Aslâa - Bou mâlek – El Gmihet (Lac bleu)-El Gantra	536	90	48,240
Souk Reguibet	498	90	44,820
<b>Total</b>	<b>2612</b>	<b>90</b>	<b>235,080</b>

Source : BNEDER

Selon l'Agence des bassins hydrographiques la norme est de 90 l/j/ha pour la population rurale. Les besoins en eau sont estimés à 235,080 m<sup>3</sup>/j pour une population totale de 2612 habitants.

**Tableau 31:** Consommation en eau potable des populations du bassin versant du Mellah.

Localité	(*) (**)	A partir du R.A.E.P (m <sup>3</sup> /j)	A partir des Puits (m <sup>3</sup> /j)	A partir des sources (m <sup>3</sup> /j)	Au- -tres	Total (m <sup>3</sup> /j)
Souk REguibet	83**	0	12,450	8,300	0	20,75
Frin Mellah	105**	0	15,750	0	10	26,25
Aslâa - Bou mâlek – El Gmihet (Lac bleu)-El Gantra	89**	22,260	5,400	3,600	0	31,26
Gantra El Hamra ( BV Mellah)	946*	66,220	0	0	0	66,22
<b>Total</b>	<b>2612</b>	<b>88,480</b>	<b>33,600</b>	<b>11,900</b>	<b>10,5</b>	<b>144,48</b>

Source : B.N.E.D.E.R (\*) nombre d'habitants (\*\*) nombre de ménages. (R) réseau

Dans les douars non raccordés au réseau d'alimentation en eau potable, la population puise l'eau des puits et des sources lorsqu'elles existent.

L'eau prélevée dans les puits équivaut en moyenne à 150 l/j/ménage, et celle des sources les 100 L/j/ménage.

Pour les ménages qui sont raccordés au réseau d'AEP, une norme de dotation moyenne retenue est de l'ordre de 70 L/j/habitant.

La consommation réelle en eau potable serait proche de **144,480 m<sup>3</sup>/j** pour l'ensemble de la population du bassin versant, soit **52 000 m<sup>3</sup>/an**.

### 1.3.5. La pollution domestique

#### 1.3.5.1. Les rejets

La quantité d'eau nécessaire à l'alimentation en eau potable des populations est prélevée, en grande partie, des différents points d'eau existants localement. Elle est rejetée, après usage, dans le milieu naturel du Bassin versant du lac.

Considérant qu'environ 80% de cette quantité d'eau consommée est restituée, on estime que 115,584 m<sup>3</sup>/j, en d'autres termes 42188.16 m<sup>3</sup>/an d'eau de qualité réduite regagnera superficiellement ou par voie souterraine les eaux du lac.

**Tableau 32:** Volumes des rejets des eaux usées dans le Bassin versant du Mellah

Localité	Consommation (m <sup>3</sup> /j)	Rejet (m <sup>3</sup> /j)
Gantra El Hamra ( Mellah)	66,220	52,976
Melha / El Frine	26,250	21,000
Douar Aslâa - Bou mâlek - El Gmihet (Lac	31,260	25,008
Souk Reguibet	20,750	16,600
Total	144,480	115,584

Source : calculs B.N.E.D.E.R,2004

#### 1.3.5.2. Agriculture

La répartition de la superficie agricole utile permet d'apprécier l'importance de chaque groupe de cultures. Deux groupes distincts se dégagent: la jachère et les cultures menées en irrigué représentées le maraîchage de plein champ et l'arachide qui est assimilée à une culture industrielle.

**Tableau 33:** Répartition de la Superficie Agricole Utile (SAU) en ha.

	Céréales	Arboric	Maraichage	Cultures Industrielles	Jachère pâturée	Total
Souk Reguibet		2	20	35	94	151
Melha El Frine	-	2	34	60	21	117
Aslâa-Bou mâlek-El	-	3	120	145	17	285
Gantra El Hamra						
<b>Total</b>		<b>7</b>	<b>174</b>	<b>240</b>	<b>132</b>	<b>553</b>

(Source : DSA 2004)

La fertilisation est utilisée pour les arachides et les cultures maraîchères, les engrais utilisés sont le tertiaire 11.15.15 à raison d'une application par cycle végétatif, avec une dose comprise entre 1 et 1,35 qt/ha, soit une utilisation optimale de **553.5** quintaux pour l'ensemble des terres menées en irriguées. Le fumier est aussi appliqué à raison de 100 à 140 qt/ha.

Les produits phytosanitaires sont utilisés selon le niveau d'infestation. Le produit le plus employé est le D.D.T, à raison de 0,25 qt/ha. Les agriculteurs disent ne pas utiliser les produits phytosanitaires pour les arachides. Ils sont plutôt utilisés pour les cultures maraîchères.

### 1.3.5.3. L'élevage

L'élevage occupe une place privilégiée dans les activités de la population. Le cheptel constitue traditionnellement une source de revenu d'appoint pour les petites exploitations, en même temps que le capital de survie en période difficile. L'effectif total est composé de **1726** ovins, **500** caprins et **3132** bovins.

*Tableau 34: Répartition des effectifs par type d'élevage*

Localités	Ovins	Caprins	Bovins	Total
Souk Reguibet	410	100	820	1330
Melha El Frine	600	200	1000	1800
Aslâa-Bou mâlek-El Gmihet	516	150	1032	1698
Gantra El Hamra	200	50	280	530
<b>Total (ha)</b>	<b>1726</b>	<b>500</b>	<b>3132</b>	<b>5358</b>

(Source : DSA 2004)

L'activité pastorale s'articule principalement autour de l'élevage bovin mené en extensif. Le nombre élevé de bovin, mais aussi des ovins se traduit par une pression sur les ressources naturelles surtout les sources hydriques.

L'accroissement des troupeaux influe directement sur la régression de la couverture végétale et *voie de conséquence sur la qualité et la quantité des des eaux qui vont au lac.*

Il faut noter par ailleurs, le prélèvement de l'eau destiné à la consommation du cheptel (sans nettoyage des étables) est estimé à 50 Litre/tête/jour pour le gros bétail et entre 8 et 10 Litres/tête/jour pour le petit bétail. *L'eau est puisée dans les puits et les oueds.*

### 1.3.6. Hydrologie du bassin versant

Le lac peut être considéré comme un niveau de base vers lequel convergent les eaux de surface et les eaux souterraines. Il constitue un réceptacle particulier compte tenu de sa relation directe avec la mer par son chenal au nord. Il est alimenté par trois principaux cours

d'eau. L'oued Reguibet (ou oued Bou Hadjla) au Nord-Ouest, l'oued Mellah au Sud-Ouest et l'oued El Aroug qui subdivisent le bassin versant du mellah en trois sous-bassins.

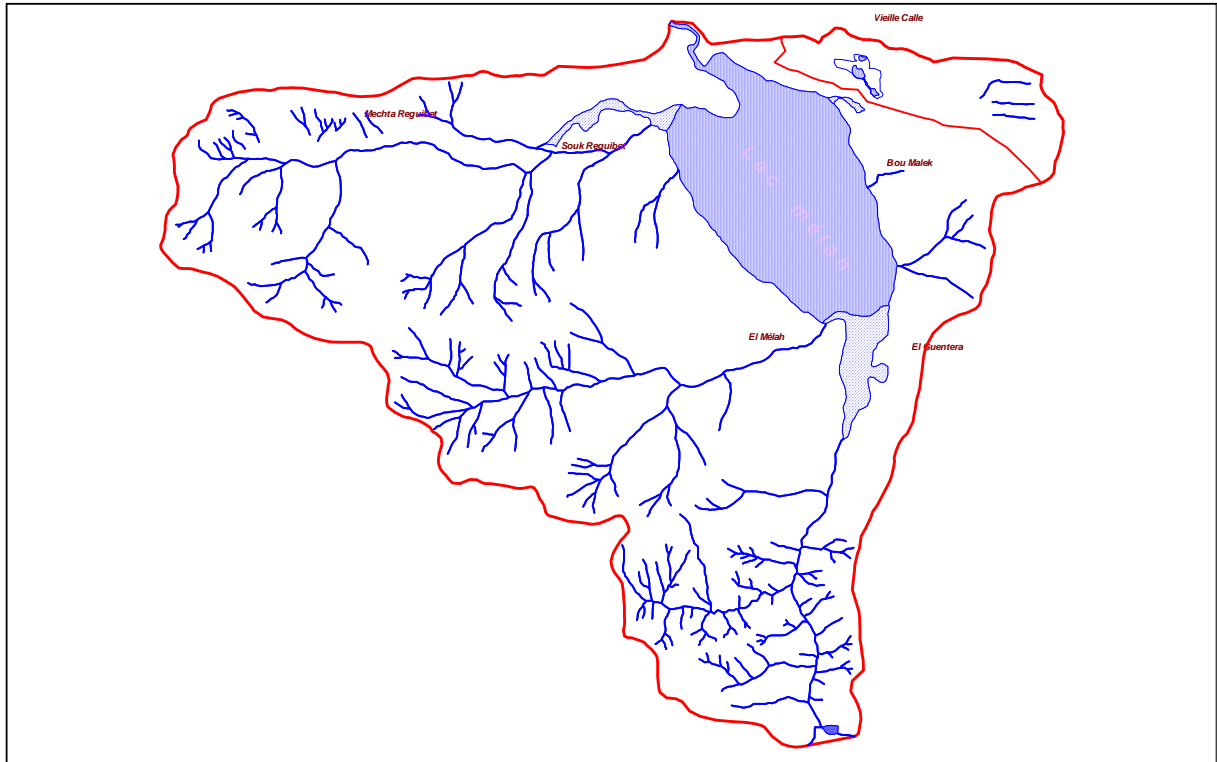


Fig.11: Réseau hydrographique du lac Mellah (B.N.E.D.E.R 2004)

**1.3.6.1. Caractéristiques du bassin versant**

- Superficie totale :.....8250 ha
- Superficie du lac ;.....864 ha
- Superficie du bassin versant (sans le plan d'eau)..... 7386 ha
- Périmètre du plan d'eau .....13,53 Km
- Superficie du micro bassin versant de Garaet Ez Zerga..... 425,9 ha
- Périmètre du Micro bassin versant de Garaet Ez Zerga.....11,32 Km.
- Superficies des zones inondables (hautes eaux)
  - Oued El Aroug.....88,11 ha
  - Ouest Er Rekibet..... 32,5 ha
- longueur totale du réseau hydrographique .....124, 3 Km
- Densité de drainage ..... 1,65 Km / Km<sup>2</sup>

**1.3.6.2. Les apports superficiels**

- Le régime d'écoulement des oueds dans le bassin versant est pérenne pour l'oued El Aroug, l'Oued El Melah et l'Oued Rekibat. Il est temporaire pour les autres cours d'eau qui arrivent au lac.
- Le débit d'étiage est relativement faible mais il est resté constant entre mi-juillet et fin Août 2004.
- L'apport en eau du bassin versant ruisselant du lac Mellah égale à  $21,8 \text{ Hm}^3/\text{an}$
- L'apport direct des précipitations sur le lac égale à  $6,7 \text{ Hm}^3/\text{an}$ .
- Les pertes par évaporation au dessus du lac qui serait de  $1580 \text{ mm}/\text{an}$  soit :  $13,6 \text{ Hm}^3/\text{an}$ .

### ***1.3.6.3. Les apports souterrains***

- Le lac Mellah constitue un niveau de base vers lequel s'écoulent non seulement les eaux de surface mais également les eaux souterraines sous forme de débit d'étiage des oueds pérennes ou sous forme d'un flux continu convergent à partir des aquifères phréatiques qui se trouvent à la périphérie du lac. A partir du graphique pluie–infiltration établi par la FAO pour chaque classe de terrain, on peut calculer
- Le volume d'eau infiltrée par an qui est de :  $5,7 \text{ hm}^3/\text{an}$  (soit :  $76 \text{ mm}/\text{an}$ ).
- Le volume d'eau souterraine qui rejoint le lac sous forme d'un débit d'étiage continu moyen (aux pertes près : par évaporation et prélèvement) est de l'ordre d' $1 \text{ Hm}^3/\text{an}$ .
- L'évaluation de l'apport direct des nappes phréatiques est de l'ordre de :  $0,7 \text{ hm}^3/\text{an}$ .
- Les prélèvements effectués par les agriculteurs pour irriguer une superficie de  $553 \text{ ha}$  (irrigation d'appoint de  $2000 \text{ m}^3/\text{ha}$ ) sont de l'ordre de  $1,1 \text{ Hm}^3/\text{an}$ .

### ***1.3.6.4. Bilan des échanges entre le lac et la mer***

Par le chenal du lac Mellah se produisent des transferts de volumes qui sont liés aux mouvements des marées et de la houle qui élèvent sensiblement le niveau de la mer au dessus de celui des eaux du lac. La mer « coule dans le lac ». A l'inverse, quand les précipitations relèvent le niveau des eaux du lac au dessus de celui de la mer, le lac « coule » vers la mer. Les volumes d'eau échangés entre le lac et la mer ont été calculés à partir des vitesses de courant à l'aplomb de la section où est faite la mesure. Cela donne:

- Le débit des entrées moyennes annuelles d'eau marine :  $5,63 \text{ Hm}^3/\text{an}$
- Le débit des sorties moyennes annuelles des eaux du lac :  $21,49 \text{ Hm}^3/\text{an}$

Le débit des sorties annuelles est quatre fois plus important que celui des entrées. Le volume global annuel exporté du bassin versant est égal à  $15,86 \text{ Hm}^3/\text{an}$

### ***1.3.6.5. Bilan hydrique du plan d'eau***

- Les apports sont constitués par
  - L'écoulement des eaux de surface qui rejoignent le plan d'eau,
  - Les précipitations sur le plan d'eau,

- Les eaux souterraines par le flux des nappes ou celui des débits d'étiage et pour le cas précis du lac Mellah l'intrusion des eaux marines par le chenal.
- Les pertes sont constituées par
  - L'évapotranspiration réelle au dessus du plan d'eau,
  - L'écoulement vers la mer et, à l'étiage,
  - Les prélèvements en amont pour l'irrigation.
- Le bilan hydrique du lac (B) s'établit en soustrayant le volume des pertes à celui des apports.

### 1.3.7. Morphométrie du lac El-Mellah

#### 1.3.7.1. Localisation

Le lac Mellah est une lagune côtière localisée à 9,5 km à l'ouest de la ville d'El-Kala et 48,75 km à l'est de la ville d'Annaba. Ses coordonnées géographiques au centre sont 36° 53' 565 Nord – 8° 19' 560 Est. « fig.11, p55 ».

#### 1.3.7.2. Dimensions

- De forme ovoïde, sa longueur, depuis l'exutoire de l'oued Bouaroug jusqu'au début du chenal, est égale à 4,790 km « fig.11, p55 ».
- La largeur maximale est égale à 2,603 km dans la moitié nord.
- La largeur minimale est égale à 0,620 km dans la moitié sud.
- La largeur moyenne est égale à 1,950 km environ.
- Le périmètre est égal à 13,53 km.
- La longueur du chenal est égale à 0,870 km, sa largeur est de 15 m environ.
- La superficie totale mesurée est de 863 ha 55 are 80 ca, soit 864 ha environ.

#### 1.3.7.3. Bathymétrie

Les mesures bathymétriques font ressortir que le lac Mellah est un plan d'eau peu profond. La profondeur maximale est de 6,40 m et ne représente que 0,3% de la superficie (tab. n°35). La profondeur moyenne est égale à 2,7 m. Messerer (1999),.

**Tableau 35 : superficie partielle et proportion des différentes tranches de profondeur Messerer (1999).**

Intervalle de profondeur (m)	Superficie partielle (ha)	Proportion %
0,00 – 0,50	12 ha 11 are 16 ca	1,4
0,50 – 1,00	75 ha 85 are 20 ca	8,8
1,00 – 1,50	102 ha 60 are 43 ca	11,9
1,50 – 2,00	71 ha 35 are 08 ca	8,3
2,00 – 2,50	56 ha 54 are 40 ca	6,5
2,50 – 3,00	64 ha 05 are 18 ca	7,4
3,00 – 3,50	57 ha 90 are 73 ca	6,7
3,50 – 4,00	94 ha 75 are 07 ca	11,0
4,00 – 4,50	113 ha 38 are 27 ca	13,1
4,50 – 5,00	134 ha 60 are 27 ca	15,6
5,00 – 5,50	66 ha 25 are 99 ca	7,7
5,50 – 6,40	11 ha 42 are 36 ca	1,3
6,40 – 6,40	02 ha 71 are 66 ca	0,3

L'intervalle de profondeur le plus étendu est celui de la tranche 4,50 – 5,00 m avec une superficie de 135 ha environ.

On remarque du reste, que la tranche de profondeur de 4,00 – 5,00 m occupe près de 29% de la superficie du lac soit une superficie de 248 ha.

Les faibles profondeurs 0,00 – 0,50 m, n'occupent que 1,4 % de la superficie du lac, soit environ 12 ha le long de la périphérie.

L'analyse du tableau 35 révèle que la topographie est peu homogène à lac Mellah. Les variations de profondeur sont relativement brutales au niveau de l'ensemble des berges sauf au niveau de la zone centre-est, au sud du douar Boumalek. A ce niveau, la variation de profondeur est faible jusqu'à des distances de 300 à 400 m de la berge.

En revanche, la zone centrale du lac, présente, d'est en ouest, une variation lente de la bathymétrie, de sorte que le fond ne varie que de 2,00 m sur une distance d'environ 2 km dans une direction sud-est – nord-ouest. Cette relative homogénéité du fond disparaît au fur et à mesure que l'on se dirige vers le centre sud du lac. C'est à ce niveau que l'on observe les fonds les plus importants. Leurs succèdent, vers les berges sud et sud-est, des hauts fonds constitués de sable qui s'élèvent brutalement jusqu'à moins 0,50 m. ces hauts fonds sont constitués par une accumulation du sables lors des tempêtes de secteur nord, les plus fréquentes. Ces tempêtes sont à l'origine du bourrelet sableux qui sépare le lac du marais.

#### 1.3.7.4. Volume

Les calculs de volume ont été réalisés par la méthode des superficies partielles multipliées par la moyenne de la hauteur de leur colonne d'eau (tab. n°)  $V_t = \sum v_i = \sum (h_i \times S_i)$

**Tableau 36:** volume partiel en fonction des tranches de profondeur du lac Mellah

Intervalle de profondeur (m) $h_i$	Superficie partielle (ha) $S_i$	volume partiel ( $v_i$ )
0,00 – 0,50	12 ha 11 are 16 ca	30279
0,50 – 1,00	75 ha 85 are 20 ca	568890
1,00 – 1,50	102 ha 60 are 43 ca	1282554
1,50 – 2,00	71 ha 35 are 08 ca	1248639
2,00 – 2,50	56 ha 54 are 40 ca	1272240
2,50 – 3,00	64 ha 05 are 18 ca	1761425
3,00 – 3,50	57 ha 90 are 73 ca	1881987
3,50 – 4,00	94 ha 75 are 07 ca	3553151
4,00 – 4,50	113 ha 38 are 27 ca	4818765
4,50 – 5,00	134 ha 60 are 27 ca	6393628
5,00 – 5,50	66 ha 25 are 99 ca	3478645
5,50 – 6,40	11 ha 42 are 36 ca	656857
6,40 – 6,40	02 ha 71 are 66 ca	169788

Ainsi le volume total du lac  $V_t = 27.116.847 \text{ m}^3$ . Soit un peu plus de 27 millions de mètres-cube. Le volume du lac n'est pas susceptible d'une grande variation puisque la communication avec la mer permet une compensation des eaux évaporées. Du reste, une

diminution de la colonne d'eau de 0,50 m, n'aura pour conséquence que la mise au sec d'une superficie de 12 ha environ, évènement très peu probable si le chenal reste fonctionnel.

### **1.3.8. Hydrodynamisme du lac El Mellah**

L'eau est le facteur déterminant dans le fonctionnement des processus naturels du lac. Les volumes d'eau échangés entre le bassin versant et le plan d'eau et entre celui-ci et la mer participent par leur qualité et leur quantité au bon fonctionnement de l'écosystème. *MPRH et ONDPA (2004)*.

Les ruisseaux qui se jettent dans le lac ont un débit intermittent selon le régime pluviométrique et sont en général secs l'été. De plus, une partie de l'eau recueillie dans le bassin versant du Mellah s'infiltré et alimente les nappes souterraines, elles même en communication probable avec le lac.

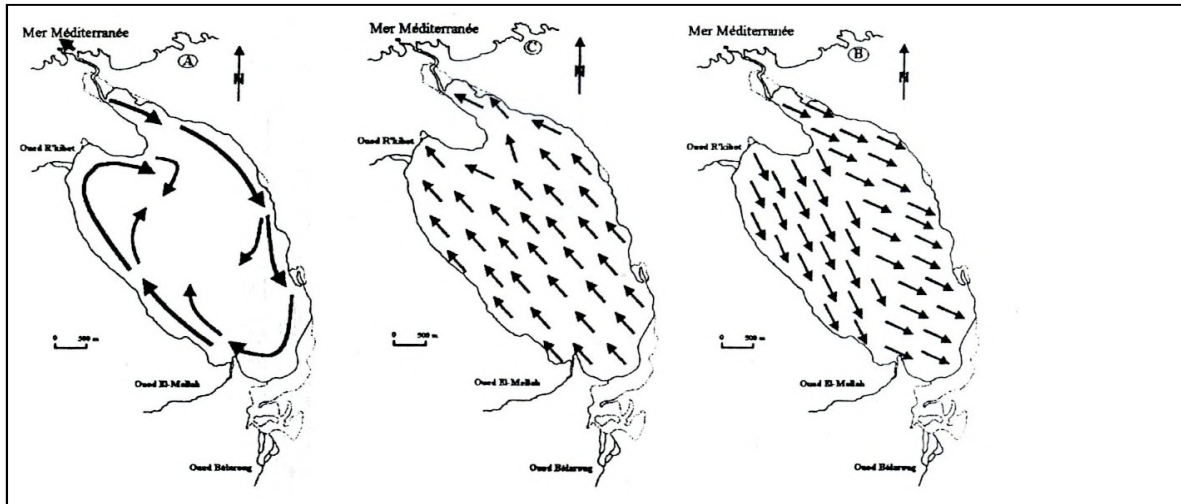
L'apport des ruisseaux peut être estimé à environ 20 millions m<sup>3</sup> /an (Messerer, 1999). Les mouvements hydrologiques de ce lac dépendent des conditions météorologiques, des mouvements d'eaux marines transitant par le chenal et aussi du débit variable (selon les saisons) des eaux douces provenant des oueds *Draredja (1992)*.

Les mesures réalisées par *Guélorget et al (1989) et Messerer (1999)*, ont montré qu'entre le plus bas niveau ( en été) et le plus haut (en hiver), l'amplitude pouvait atteindre environ 80 cm. Il est possible d'estimer ces variations de niveau en notant régulièrement les valeurs atteintes sur un repère fixe (une échelle graduée fixée à une digue ou un ponton par exemple).

Les résultats peuvent alors être mis en relation avec d'autres phénomènes observés ou mesurés (précipitations, vents, heures de marée, températures, ...).

Les marées et les courants: les marées sont mises en évidence par l'alternance du mouvement d'entrées des eaux de mer vers le lac (le flot), et les sorties des eaux de celle-ci vers la mer (le jusant).

Ces marées peuvent atteindre une amplitude de 40cm, *Thomas et al (1973)*. Cependant, la dynamique des eaux de la lagune est réglée par le régime des marées non seulement barométrique, *Semroud (1983)* qui sont d'ailleurs très faibles, mais surtout d'origine astronomiques, *Quinissi et al (2002)*. Le régime de marée est de type microtidale semi diurne. Il peut être occulté par le remplissage du lac en hiver et au printemps, où la marée se trouve masquée par l'évacuation d'eau excédentaire continentale. En été, le régime semi-diurnes s'affirme avec deux cycles de marées durant 23 heures environ, *Quinissi et al (2002)*.



A : trajectoires hypothétiques ' d'après Gueloget et al 1989), B et C : mouvements rectilignes des eaux respectivement pendant le flot et le jusant (d'après Messerer, 1999) , In Drardja (2007)

*Fig.12 : Mouvements des eaux superficielles*

### **1.3.9. Situation géographique du lac El Mellah et localisation des stations de prélèvement**

Le lac Mellah est une lagune côtière située à 9 km à l'ouest d'El Kala et 48 km à l'est d'Annaba. Ses coordonnées géographiques au centre du plan d'eau sont 36° 53' 565 Nord – 8° 19' 560 Est « Fig.10, p49 ».

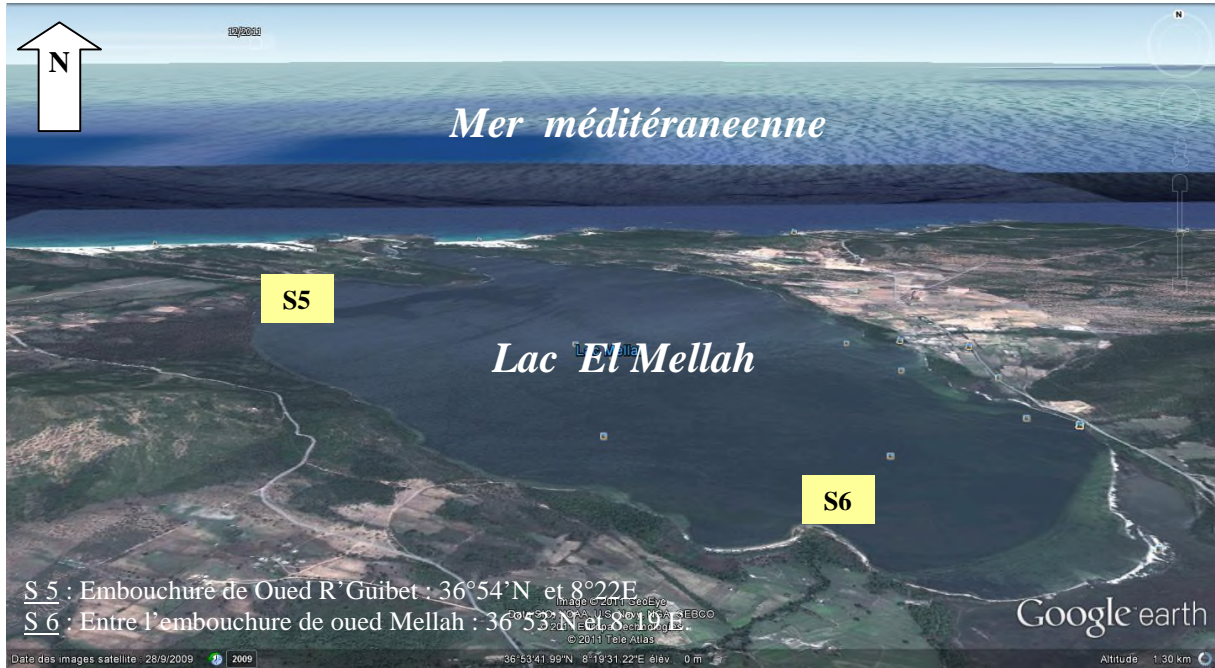
C'est une ancienne vallée fluviale envahie par la mer et qui s'est transformée en lagune, reliée à la mer par un chenal de 900 mètres de long. Sa profondeur maximale est de 6 m pour une profondeur moyenne de 2,5 m et une superficie totale de 860 ha. Le lac Mellah est alimenté par l'Oued El-Aroug, Oued Mellah et Oued R'Guibet« Fig.13, p 49 »..

Le bassin versant du lac Mellah s'étend sur une superficie de 8 250 hectares soit 82,5 km<sup>2</sup>. Le plan d'eau du lac représente le un dixième (1/10) de la surface totale.

Le bassin versant est limité à l'ouest par de petits chaînons montagneux (kef Karussa 247 m, djebel Koursi 329 m, djebel Bezeze 309 m, kef Fegaia 325 m), leurs versants exposés au nord-est sont entaillés par une multitude de talwegs qui donnent naissance à deux des trois principaux oueds du bassin versant, l'oued Reguibet et l'oued Mellah« Fig.13 »..

Comme pour les autres sites, le choix des stations est motivé par leur proximité des sources de pollution qui se résume comme suit:

- Influencées par les apports d'eaux douces et marines.
- Elevage des animaux : ovins, bovins, volailles.
- Rejets urbains qui déversent des eaux usées domestiques dans l'environnement sans traitement préalable.



**Fig.13:** Localisation des stations de prélèvement au niveau du lac Mellah

## 2. Climatologie de la zone d'étude

### 2.1. Les températures moyennes mensuelles

La température est un élément fondamental du climat. Elle est liée à la radiation solaire. Sa variation influe sur la transformation des eaux en vapeur, que ce soit à la surface ou dans le sous sol. De ce fait, elle influe sur le degré d'évapotranspiration et par conséquent elle agit sur le taux de salinité des eaux. Toutefois, la température a un rôle important dans la variation des composantes du bilan hydrologique, Gouaidia (2008).

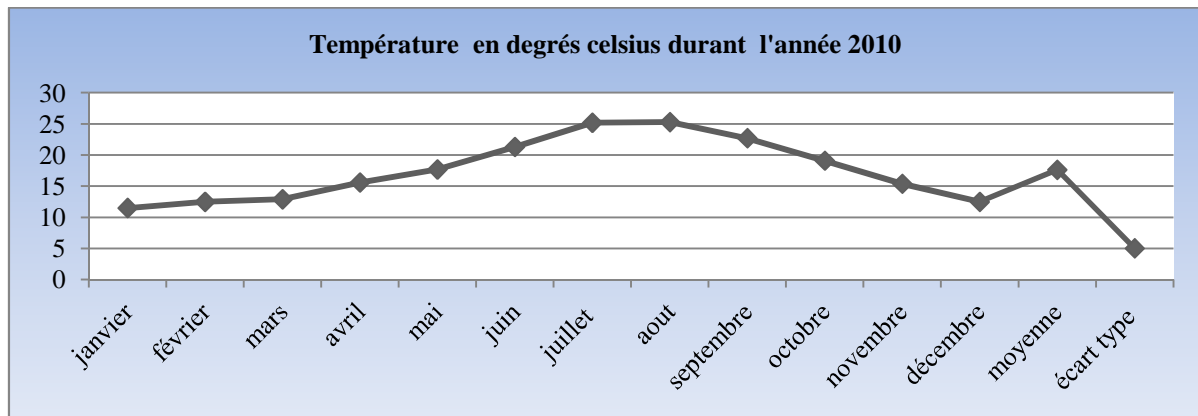
**Tableau 37 :** Les températures moyennes mensuelles de la zone d'étude durant 5 ans

Mois/Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
2008	11.2	11.3	12.3	16.1	19.1	21.6	25.3	25.6	23.6	19.7	14.8	11.0
2009	11.1	10.5	12.1	14.4	19.5	22.8	25.9	26.1	22.8	18.9	15.1	13.8
2010	11.5	12.5	12.9	15.6	17.7	21.3	25.2	25.3	22.7	19.1	15.4	12.5
2011	11.2	10.9	12.8	16.1	18.4	21.7	25.3	25.3	23.7	19.5	16.0	12.5
2012	11.2	8.4	13.2	15.8	18.2	24.1	26.0	27.0	23.4	20.4	16.8	12.6

L'analyse de l'évolution moyenne mensuelle de la température de l'air dans les différentes stations d'étude du PNEK pendant la période d'étude (Fig. 2), montre que les températures moyennes mensuelles sont comprises entre une valeur minimale de l'ordre de 11.5°C durant le mois de janvier et une valeur maximale de l'ordre de 25.3°C durant le mois d'aout.

En général, la proximité de la mer méditerranéenne confère au complexe des zones humides un climat à caractère méditerranéen avec une période pluvieuse d'octobre à avril et une période sèche de mai à septembre. La moyenne des températures notées au cours de l'année

2010 est de 17.64°C contre des températures moyennes pendant 2008, 2009, 2011 très proche de l'ordre de 17.8°C, par contre en 2012 la température moyenne est de 33.4°C.



**Fig.14:** Evolution mensuelle de la température mensuelle moyenne dans la zone d'étude

La température de l'air des zones humides, doit être connue avec précision, car elle agit sur les processus physiques, biologiques et chimiques du milieu aquatique.

## 2.2. Les Précipitations moyennes mensuelles

Les précipitations constituent le facteur essentiel qui gouverne l'écoulement des cours d'eau. En effet, ils ont un effet direct sur le débit, les matières en suspension et les phénomènes de dilution. Le tableau ci-dessous montre les variations mensuelles des précipitations de la région d'El Kala durant 5 ans.

**Tableau 38 :** Les précipitations moyennes mensuelles de la zone d'étude durant 5 ans

Mois/Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>2008</b>	13.7	16.5	98.5	16	41.9	2.4	7	0.2	60	48.7	40.5	87.3
<b>2009</b>	216.8	83.1	91.3	127.4	89.7	0.2	2.2	6.4	122.1	52.6	72.4	83.3
<b>2010</b>	89.8	53.5	60.0	32.4	40.6	19.3	0.0	1.1	27	99.0	120.7	40.7
<b>2011</b>	51.4	122.0	84.7	56.5	85.0	6.9	3.5	0.0	36.5	108.5	59.3	85.0
<b>2012</b>	34.9	172.4	51.2	49.8	3.3	0.6	1.0	11	76.5	65.0	35.6	69.9

L'année 2010 se caractérise par des précipitations maximales de l'ordre de 120.7mm enregistrées durant le mois de novembre et par des précipitations minimales de l'ordre de 0mm enregistrées durant le mois de juillet. La moyenne des précipitations notées durant cette année est de 48.7mm. La pluviométrie est forte généreuse durant la période froide. Ce qui contribue à l'entretien du couvert forestier, mais surtout le maintient du réseau hydrographique important existant au sein du Parc. La pluviométrie est très faible durant la période sèche.

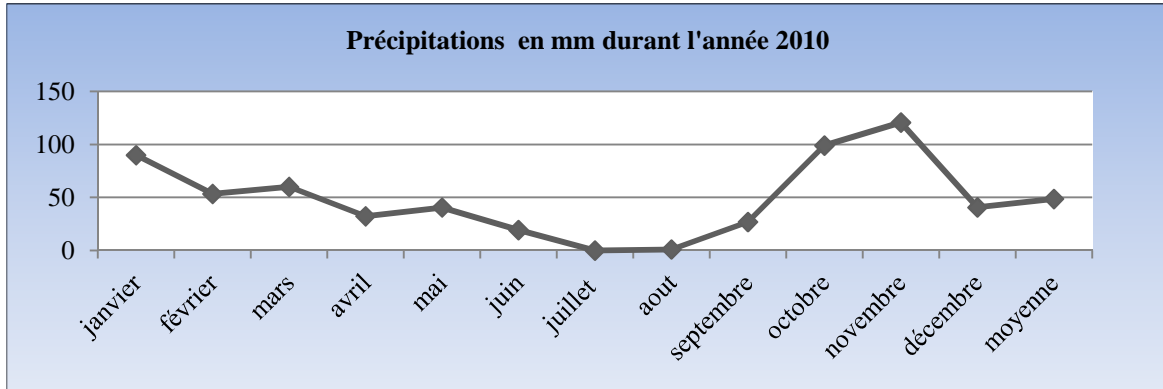


Fig.15: Evolution mensuelle des précipitations moyennes dans la zone d'étude

En littérature, La région d'El-Kala compte parmi les régions les plus abondamment arrosées en Algérie. Deux phénomènes météorologiques principaux conditionnent la pluviosité dans cette région, les perturbations cyclonique et les dépressions méditerranéennes.

Les perturbations cycloniques d'origine atlantique de l'Ouest et du Nord-Ouest, après avoir traversé l'Espagne et une partie de la Méditerranée, affectent le littoral Nord-Est algérien de Bejaïa à El-Kala.

Quant aux dépressions elles prennent naissance en Méditerranée occidentale, généralement centrées dans le périmètre du golfe de Gènes entre la Corse et la Sardaigne. Celles-ci n'affectent en général que la partie orientale du Tell algérien. Elles lui confèrent son statut de région la plus arrosée d'Algérie avec une moyenne annuelle de 910 mm par an selon Seltzer (1946).

### 2.3. Le taux de l'humidité

L'humidité relative s'exprime en % et se définit comme le rapport de la quantité d'eau effectivement contenue dans l'air et la capacité d'absorption à une température données.

Tableau 39: Humidité relative mensuelles en % de la zone d'étude durant 5 ans

Mois/Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
2008	81	79	79	71	76	77	73	74	74	79	71	79
2009	81	76	51	79	79	71	72	77	9	71	76	76
2010	78	62	79	82	78	75	74	73	74	80	77	71
2011	81	80	81	81	80	78	71	74	78	78	83	81
2012	80	88	86	84	85	79	79	80	83	85	86	83

Les humidités relatives moyennes mensuelles année (2010) oscillent entre un minimum de 62% durant le mois de février, et un maximum de 82% durant le mois d'avril.

D'après Semadi (1989), mesurée en pourcentage, l'humidité relative de l'air dans la région d'El Kala, est assez constante durant toute l'année. Ceci est dû principalement à l'action modératrice de la mer et des plans d'eau qui contribuent au maintien d'une hygrométrie élevée en été réduisant la durée et l'intensité de la sécheresse estivale. Rien que l'appellation de complexe de zones humides attribuée à la région d'El Kala liée à la présence de nombreuses espèces d'Odonates (libellules), dont certaines sont qualifiées de tropicales, impliquent l'existence d'un degré hygrométrique de l'air élevé et de températures assez chaudes dans le parc national Telailia (1990).

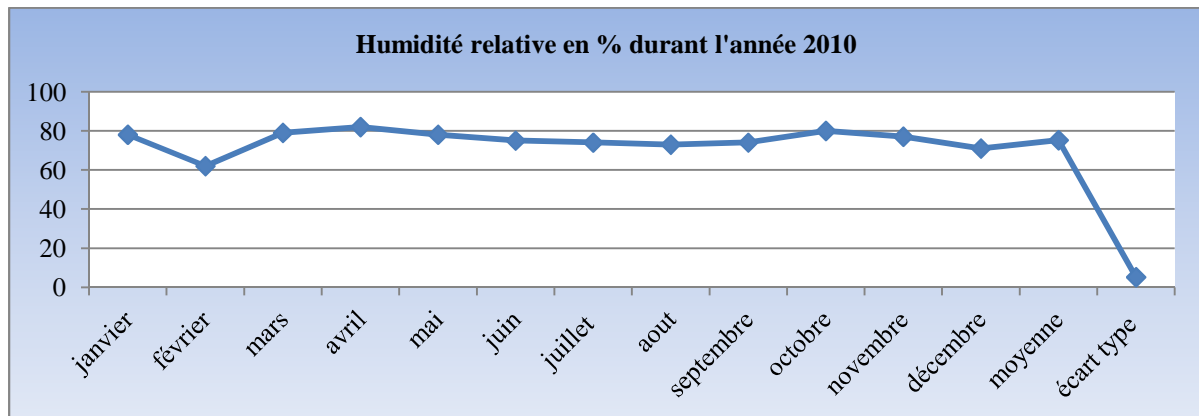


Fig 16: Evolution mensuelle de l'humidité relative moyenne dans la zone d'étude

#### 2.4. La vitesse du vent

Le vent est un facteur climatique très important, car il joue un rôle fondamental dans le transport, la propagation et la dissémination des polluants de différentes tailles vu ses caractéristiques de direction et de force.

Tableau 40: la vitesse du vent de la zone d'étude durant 5 ans

Mois /années	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
2008	3,1	2,9	3,6	4	3,6	3,8	5,4	4,3	3,7	3,3	3,7	3,4
2009	3,7	3,2	2,9	3,7	3,3	3,6	3,6	3,8	3,6	4	3,1	3,5
2010	4,2	3,2	3,1	3	3,2	3,3	3,3	3,3	3,2	3	3	3,2
2011	3,3	4,2	3,9	3,8	3,7	3,8	4,1	3,9	3,9	3,8	3,1	4
2012	4,2	4,3	3,3	3,6	3,7	3,7	4,2	3,5	3,6	3	3	3,8

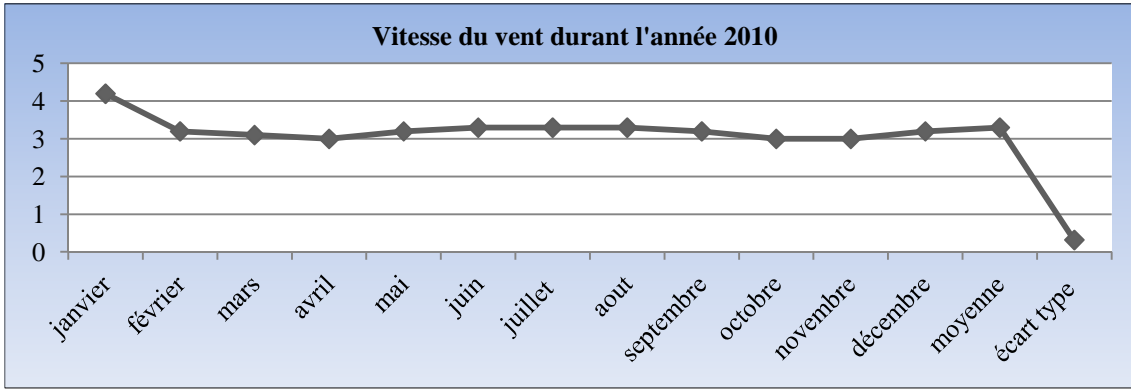


Fig 17: Evolution mensuelle de la vitesse du vent moyenne dans la zone d'étude

La vitesse du vent la plus élevée est de l'ordre de 4.2 m/s durant enregistrée le mois de janvier. Par contre la vitesse du vent la plus faible « 3m/s » est enregistrée durant le mois d'avril, d'octobre et novembre. La vitesse moyenne durant l'année d'étude est de 3.3 m/s.

Généralement, durant la saison estivale, se sont les vents chauds et secs qui dominent. Ils assèchent l'atmosphère et favorisent le déficit hydrique de la végétation et contribuent fortement à propagation de violents incendies de forêt.

### 2.5. Evaporation

L'évaporation représente le processus au cours duquel l'eau se transforme en vapeur. L'estimation de ce paramètre est essentielle pour le calcul du bilan d'eau, le calcul de l'irrigation et dans la gestion des ressources hydriques, Gouaidia (2008).

Tableau 41: Evaporation dans la zone d'étude durant l'année 2010

Mois/année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
2008	49	44	66	76	87	89	110	95	89	58	86	43
2009	51	76	52	41	70	80	112	101	90	119	64	69
2010	51	76	52	41	70	80	112	101	90	119	64	69
2011	43	44	52	56	54	69	112	113	81	77	59	49
2012	57	36	43	65	61	87	100	103	76	66	52	45

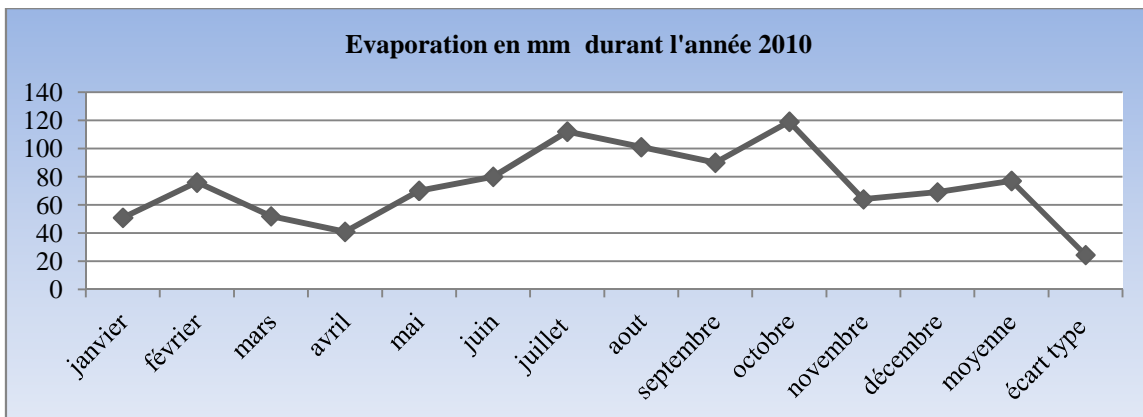


Fig.18: Evolution mensuelle l'évaporation mensuelle moyenne dans la zone d'étude

La zone d'étude se caractérise par une forte évaporation enregistrée durant le mois de juillet avec une valeur de 112 mm. « Période des basses eaux » Une faible évaporation est enregistrée durant le mois d'avril avec une valeur de 41mm « période des hautes eaux ».

Généralement durant la période des basses eaux, les eaux souterraines participent d'une manière déterminante au cycle de l'eau. Elles offrent des propriétés de qualité et de protection des eaux de surface. Elles entretiennent le débit de base des zones humides. L'eau souterraine (communément appelée «nappe») contenue dans les terrains perméables et poreux (où l'eau se faufile entre les grains de terre), et dans les fissures des roches, se retrouve dans toutes les couches géologiques.

Il est à noter, que plusieurs critères des zones humides de la région d'El-kala sont sous l'influence des éléments climatiques et vis versa. Parmi on a, le relief, la pédologie, et l'hydrologie.

Le relief par exemple, est un facteur déterminant pour la répartition des éléments climatiques sur le territoire. Les dépressions ou les bombements offrent autant de stations abritées ou exposées dont la flore peut varier en fonction des affinités écologiques des espèces. D'une manière générale, le relief du parc national d'El-Kala se compose d'une juxtaposition de dépressions dont le fond est occupé par des formations lacustres ou palustres et par de hautes collines aux formes variées tels que des dômes, des escarpements et des alignements de crêtes, couverts par une végétation dense, De Belair G (1990). Le relief du parc national d'El Kala est formé dans sa partie septentrionale par un cordon dunaire qui s'étend d'une part d'Ouest en Est le long de la côte sur une distance de 40 km et d'autre part vers le Sud jusqu'au pied du Djebel Segleb, s'enfonçant parfois jusqu'à 24 km à l'intérieur des terres, avec de petites éminences de relief gréseux de faible altitude. Un ensemble de collines ne dépassant pas 600 m de hauteur se situent au Nord, à l'Est et à l'Ouest de la région d'étude. Une plaine alluviale et marécageuse est adossée à ces collines, Joleaud (1936).

La pédogenèse est étroitement liée aux facteurs climatiques, à la nature du substrat et au couvert végétal. L'étude des sols de la région d'El-Kala permet de déterminer plusieurs types de sols dont les principaux sont les sols podzoliques insaturés à vocation forestière de chêne-liège. Ils sont à structure granuleuse légèrement lessivée sans accumulation importante de la litière. Les sols de marais occupent la partie centrale des différentes cuvettes, formés d'argiles lacustres. Par ailleurs il y a les sols des prairies marécageuses, les sols tourbeux non inondés, les sols alluvionnaires des oueds, les colluvions des pentes gréseuses et les sols dunaires, Durand (1954).

Concernant l'hydrologie, le parc national d'El-Kala constitue ensemble de plans d'eau répartis entre lacs et marais dont les principaux sont le lac Tonga, le lac Oubeira, le lac Mellah, le lac Bleu, le marais de Bourdim et beaucoup d'autres d'importances écologiques égales

La partie orientale du parc national d'El Kala est mal drainée. De nombreux affluents issus des massifs formant la frontière algéro-tunisienne, s'écoulent suivant une direction de l'Est vers l'Ouest et aboutissent à la plaine d'Oum Teboul. Une partie des eaux alimente alors le lac Tonga par l'intermédiaire de l'Oued El-Hout. Une autre partie s'infiltré dans les alluvions et recharge la nappe phréatique. Le reste stagne sous la forme de marécages sur les argiles de

Numidie. Par ailleurs la partie méridionale de cette région est drainée par 3 oueds avec Oued Bougous, Oued Mellila et Oued El-Kebir lequel joue le rôle de collecteur principal. Par contre la partie occidentale englobe plusieurs chaâbet et oueds liés aux lacs Mellah et Oubeira (Joleaud L, 1936).

L'importance du réseau hydrographique existant dans la région d'El Kala joue un rôle considérable dans le maintien du complexe de zone humide. La longueur de chaque oued existant dans la région varie entre 1,5 à 35 km.

### 3. Echantillonnage

**Tableau 42:** Periode et Stations de prélèvement et nature des échantillons prélevés

Numéro de la station	Nom de la station	Situation Géographique Des stations	Nature de l'échantillon	Nombre de prélèvements	Période de prélèvement
<b>Site</b>	<b>Lac Tonga</b>				
<b>S1</b>	Les pompes	Nord du lac Tonga	<u>Eau</u> : douce <u>Sédiment</u> : vaseux	Eau : (12) Sédiment : 1(12)	Année 2010
<b>S2</b>	Oued El-hout	Sud-est du lac Tonga	<u>Eau</u> : douce <u>Sédiment</u> : vase légèrement sableuse	Eau : (12) Sédiment : (12)	Année 2010
<b>Site</b>	<b>Lac Oubeira</b>				
<b>S3</b>	Embouchure de Demet rihana	Nord du lac Oubeira	<u>Eau</u> : douce <u>Sédiment</u> : vaseux	Eau : (12) Sédiment : (12)	Année 2010
<b>S4</b>	Embouchure de Oued Messida	Sud est du lac Oubeira	<u>Eau</u> : douce <u>Sédiment</u> : vase sableuse	Eau : (12) Sédiment : (12)	Année 2010
<b>Site</b>	<b>Lac El-Mellah</b>				
<b>S5</b>	Embouchure de Oued R'kuibet	Nord-Ouest du lac El mellah	<u>Eau</u> : douce <u>Sédiment</u> :sable	Eau : (12) Sédiment : (12)	Année 2010
<b>S6</b>	Embouchure de Oued Mellah	Sud ouest du lac El Mellah	Eau : douce Sédiment : sable	Eau : (12) Sédiment : (12)	Année 2010

L'échantillonnage réalisé durant l'année 2010 a été effectué au niveau de deux stations par lac. Dans chaque station nous avons effectué 12 prélèvements d'eau et 12 prélèvements de sédiment à pas mensuel. En tous, pour réaliser notre étude, 144 prélèvements d'eau et de sédiment ont été effectués.

#### 3.1. Mode de prélèvement et traitement des échantillons



*Fig.19 : Situation géographique des stations de prélèvement*

### **3.1.1. Mode de prélèvement de l'eau :**

L'eau est prélevée dans des bouteilles en verre ou en polyéthylène décontaminés. Au moment des prélèvements les bouteilles seront de nouveaux rincés trois fois avec de l'eau de la station de prélèvement puis remplis jusqu'au bord, en évitant l'introduction de bulles d'air (plus de détails dans la partie annexes). L'eau est prélevée à une profondeur maximale de 50cm.

### **3.1.2. Traitement de l'échantillon d'eau**

Avant le traitement au laboratoire, nous avons effectué des mesures sur terrain de certains paramètres physico-chimiques (pH, température, conductivité, oxygène dissous) à l'aide d'un multiparamètre.

#### **➤ Filtration**

La filtration des échantillons d'eau est nécessaire avant toute analyse particulièrement l'analyse des métaux lourds. Elle est indispensable pour supprimer toute matière en suspension susceptible d'absorber de la lumière; (Krempp, 1988).

Les échantillons d'eau sont filtrés sur des membranes 'Millipore' de 0,45  $\mu\text{m}$ . Ensuite ils sont conservés à 4°C. Les 500 ml d'eau destinés à l'analyse des traces ont été acidifiés par HCl 1N pour éviter toutes précipitations minérales.

### **3.2. Mode de prélèvement du Sédiment**

Les prélèvements des échantillons de sédiments superficiels « les 10 premiers centimètres » ont été effectués à l'aide d'une benne à main ou un seau en polyéthylène, en utilisant un couvercle afin d'éviter le lessivage par les eaux de la partie supérieure.

Les prélèvements des sédiments de surface ont été effectués sur la couche superficielle en deux à trois points espacés de 6 mètres, sous différentes épaisseurs d'eau ; maximum à 1 mètre de profondeur.

Le sédiment quelque soit sa nature sablonneux ou vaseux est recueilli dans des sachets en plastique et brassés jusqu'à l'obtention d'un mélange homogène ; ces sachets sont ensuite conservés depuis le prélèvement jusqu'au laboratoire, dans une glacière à  $T^{\circ} : 4^{\circ} \text{C}$ , puis congelés.

### 3.2.1. Traitement du sédiment

Différentes procédures de digestion d'un sédiment sont décrites dans la littérature, parmi ces procédures, la digestion humide et la calcination sèche qui sont des techniques soit effectuées seules ou en combinaison. La digestion humide fait appel, le plus souvent, soit à deux acides forts et oxydants (acide nitrique et/ou acide sulfurique) dans des proportions bien définie, soit à l'eau régale qui est un mélange d'acide nitrique et d'acide chlorhydrique suivi d'un chauffage, Marcet *et al.*(1997).

**3.2.1.1. Phase prés-analytique** : après décongélation, le sédiment est soumis à une phase pré analytique qui consiste à un séchage et un tamisage (Fig.20):

**-Séchage** : le sédiments décongelé est transvasé dans des béchers borosilicatés de 250 ml et séchés dans une étuve à une température de  $105^{\circ}\text{C}$  pendant 6h à 8h.

**-Tamisage**: après refroidissement du sédiment, les échantillons sont broyés manuellement dans un mortier en porcelaine afin de les réduire en particules fines, puis tamisés avec un tamis de 63mili micron. C'est dans cette fraction que la digestion sera effectuée.

**3.2.1.2. Phase analytique** : Pour être analysé, le sédiment fin est mis en solution par digestion acide, selon le mode opératoire suivant :

- Peser exactement une masse de sédiment sec de l'ordre de 5g dans un Becher de 100ml.
- Mouillez avec 70 ml d'eau bi distillée.
- Ajouter 5ml d'acide chlorhydrique, opérer avec précaution (bouillonnement; projection)
- Ajouter 25ml d'acide nitrique ( $\text{HNO}_3$ ) concentré.
- Couvrir et porter à ébullition douce sur un bain de sable pendant 15 à 24h et veiller à ce que la solution ne s'assèche pas. Rajouter éventuellement de l'acide nitrique et réduire le chauffage.
- Laisser refroidir et reprendre le chauffage en ajoutant quelques gouttes d' $\text{HCl}$  1mol/l
- Chauffer au bain de sable pendant une demi-heure avec homogénéisation toutes les 5min.
- Centrifuger avec précaution après avoir récupéré l'eau bi distillée servant au rinçage du récipient de digestion.
- Recueillir le surnageant dans une éprouvette jaugée de 100ml.

- Ajouter 1ml de solution de lanthane.
- Ajuster à 100ml par l'HCl (1mol/l).
- La solution obtenue est prête pour analyse par le spectrophotomètre d'absorption atomique A flamme (SAAF).

► Calcul de la concentration métallique en mg / kg de poids sec : La concentration de l'élément métallique (Cm) dans le sédiment est obtenue par la formule de Joanny et al., (1983).

$$C_m \text{ (mg / Kg)} = \frac{CE \cdot V}{M}$$

Cm : concentration du métal en mg/kg de poids sec de sédiment.  
 CE : concentration lue sur la courbe d'étalonnage en ppm ou mg /kg.  
 V : Volume de la solution finale après digestion (ml)  
 M : Masse du sédiment minéralisé (Kg)

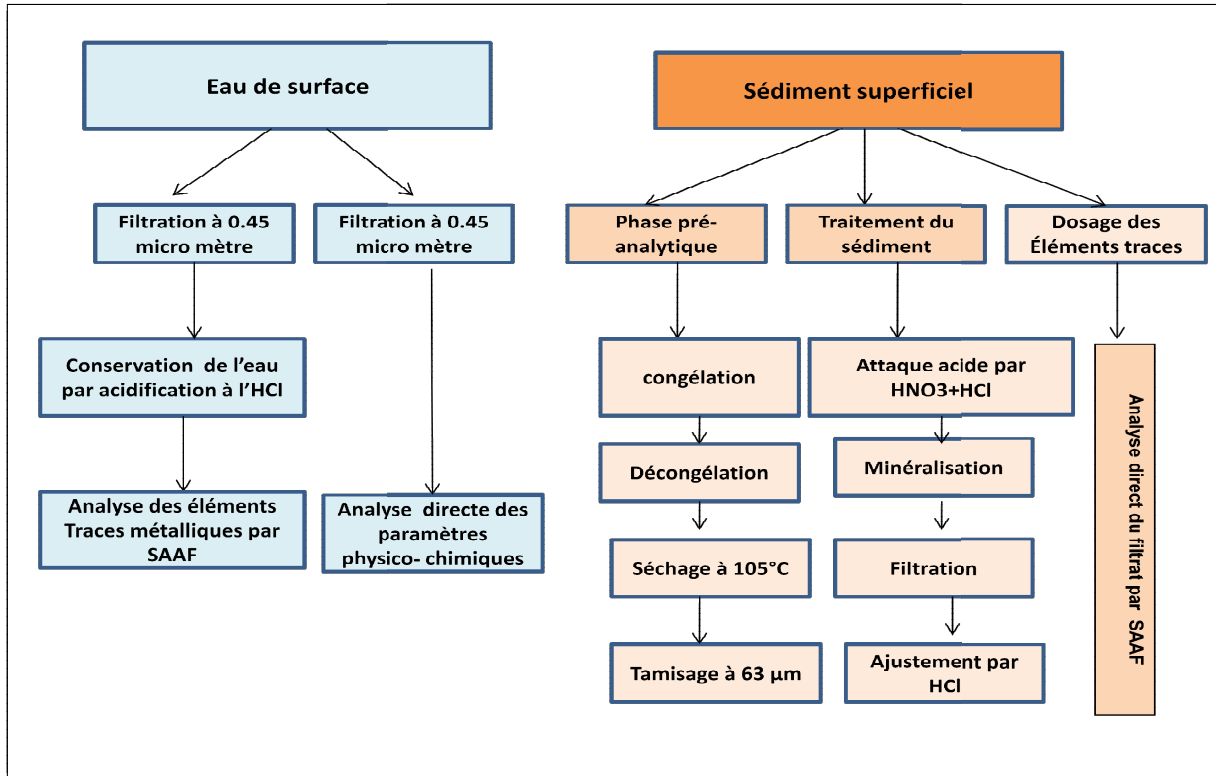


Fig.20. Différents protocoles de traitement d'analyses d'eau et sédiment

#### 4. Methodes d'analyses des paramètres physico chimiques de l'eau

##### 4.1.Température (T)

Les relevés de la température de l'eau, du pH et de l'oxygène dissous des trois lacs Tonga, Oubeira, El Mellah, sont réalisés in situ à l'aide d'un multi paramètres (consort535) utilisant différente sondes. La température est exprimée en degrés Celsius (°C).

L'utilisation de cet appareil consiste à faire plonger la sonde appropriée dans l'eau, après étalonnage, puis à attendre quelques secondes avant de lire le résultat de la mesure, après stabilisation de l'affichage sur l'écran.

#### **4.2. Potentiel d'hydrogène pH**

Les relevés du pH aussi sont réalisés in situ à l'aide d'un multi paramètres de type (consort535) utilisant différentes sondes.

#### **4.3. Oxygène Dissous OD**

Les relevés de l'OD aussi sont réalisés in situ à l'aide d'un multi paramètres de type (consort535) utilisant différentes sondes. Le résultat est exprimé en mg/l d'O<sub>2</sub>.

#### **4.4. Conductivité électrique CE**

Les mesures de la conductivité ont été effectuées à l'aide d'un conductimètre au niveau du laboratoire, elle est exprimée en µS/cm)

#### **4.5. Matières en suspensions MES**

La détermination des matières en suspension dans l'eau a été réalisée au niveau du laboratoire, par l'application de la méthode de pesée différentielle après filtration sur un filtre de fibre de verre WHATMAN GF/ C47 µm, elle est exprimée en mg/l selon la norme AFNOR NF T90, Rodier (1996).

#### **4.6. Demande chimique en oxygène DCO**

La demande chimique en oxygène DCO, est déterminée au niveau du laboratoire par la méthode de dichromate de potassium K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>. Le résultat est exprimé en mg d'O<sub>2</sub>/l selon la norme AFNOR NF T 90-101. Rodier (1996).

#### **4.7. Demande Biologique en oxygène DBO<sub>5</sub>**

La demande biochimique 4en oxygène est déterminée par la méthode de dilution selon la norme AFNOR NF T90-103, Rodier (1996).

Il existe une autre méthode de dosage des matières organiques dans l'eau, qui est la méthode extractible par l'hexane

#### **4.8. Taux des sels dissous TDS**

Une manière commode de mesurer le TDS est d'examiner la conductivité de l'échantillon. La conductivité est une mesure de la capacité de l'eau à faire passer un courant électrique d'un point A vers un point B, cette traversée est affectée par la présence des matières solides dissoutes. Car si le niveau du TDS monte, la conductivité augmentera également. Donc, La conductivité de l'eau fournit une indication de la qualité et de la quantité de matières dissoutes dans l'eau. La conductivité d'une eau est généralement mesurée en micro-Siemens par cm (µS/cm),

#### 4.9. Titre hydrotimétrique TH

La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau correspond à la somme des concentrations calcique et magnésienne et son dosage est effectué selon la méthode de titrimétrie à l'EDTA Rodier (1996).

#### 4.10. Titre alcalimétrique complet TAC

Le titre alcalimétrique complet est déterminé selon la méthode titrimétrique basé sur la neutralisation d'un volume d'eau connue par un acide  $H_2SO_4$  en présence d'un indicateur coloré le méthyle orange, Rodier (1996).

#### 4.11. Ions majeurs

**4.11.1. Calcium  $Ca^{2+}$**  : Le calcium est dosé par la méthode titrimétrique à l'EDTA (voir J.Rodier, 1996, p245).

**4.11.2. Magnésium  $Mg^{+2}$**  : Le magnésium est dosé par la méthode titrimétrique à l'EDTA Rodier (1996).

**4.11.3. Chlorures  $Cl^-$**  Les chlorures sont dosés par la méthode de Mhor, dosage par une solution de nitrate d'argent en présence du chromate de potassium, Rodier (1996).

**Tableau 43 : Récapitulatif des Méthodes d'analyse des paramètres physico-chimiques.**

Paramètre	Méthode d'analyse	Unités	Sources
Température	Multi-paramètres de type consort 535	°C	/
Potentiel hydrogène	Multi-paramètres de type consort 535		/
Oxygène dissous	Multi-paramètres de type consort 535	mg/l d'O <sub>2</sub>	/
Conductivité électrique	Conductimètre	µS/cm	/
Matières en suspension	Méthode de filtration. Les MES sont déterminé par pesage après séchage	mg/l	J.Rodier, 1996 AFNOR NF T90-105
Demande chimique en oxygène	Méthode de dichromate de potassium	mg/l d'O <sub>2</sub>	J.Rodier, 1996, AFNOR NF T90-101
Demande biologique en oxygène	Méthode par dilution	mg/l d'O <sub>2</sub>	J.Rodier, 1996, AFNOR NF T90-103
Taux des sels dissous		mg/l	
Dureté TH	Méthode hydrotimétrique à l'EDTA	°F	J.Rodier, 1996, AFNOR NF T90-003
Titre alcalimétrique complet	Méthode titrimétrique basé sur la neutralisation d'un volume d'eau connue par un acide $H_2SO_4$ en présence d'un indicateur coloré le méthyle orange.	°F	J.Rodier, 1996, AFNOR NF T90-036
Calcium	Méthode titrimétrique à l'EDTA	mg/l	Rodier, 1996, AFNOR NF T90-016
Magnésium	Méthode titrimétrique à l'EDTA	mg/l	Rodier, 1996, AFNOR NF T90-016
Chlorures	Méthode de Mohr : dosage des chlorure par une solution de nitrate d'argent en présence du chromate de potassium.	mg/l de Cl-	Rodier, 1996, AFNOR NF T90-014

## 5. Le dosage des métaux lourds

### 5.1. Appareillage

Le dosage des métaux lourds « fer, cuivre, zinc, plomb, chrome, nickel et manganèse) dans les deux matrices étudiées eau et sédiment, a été effectué par spectrométrie d'absorption atomique de type SHIMADZU ATOMIC ABSORPTION FLAME EMISSION SPECTROPHOTOMETER AA-6200 (fig.21).



*Fig.21: spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme*

En spectrophotométrie d'absorption atomique avec flamme, la solution analysée est aspirée dans un nébuliseur qui la transforme en brouillard fin.

Ce brouillard est ensuite aspiré vers le brûleur, où la flamme évapore l'eau et casse les molécules en atomes isolés.

L'instrument utilisé dans cette expérience fonctionne sur le principe du double faisceau, ce qui permet d'éviter de subir les fluctuations de la lampe.

### 5.2. Valeurs guides admise pour déterminer les niveaux de contamination des eaux et des sédiments

Du fait de la gravité des effets des métaux lourds sur la santé et l'environnement, des réglementations ont été adoptées, à tous niveaux (eaux, sédiment...etc).

### 5.2.1. Les normes de qualité des eaux de surfaces

La communauté européenne a établie des normes relatives aux teneurs des métaux lourds dans les eaux de surface. Du fait de l'absence des normes algériennes concernant les eaux de surfaces ; nous avons retenues les normes européennes pour évaluer le niveau de contamination des eaux des trois lacs.

**Tableau 44 :** Valeurs guides des teneurs en métaux lourds dans les eaux de surface en ppm Directive de la CE pour les eaux de surfaces (in Débièche, 2002)

Eléments	Valeurs guides
Fer	0.2 mg/l
Cuivre	1
Zinc	5
Manganèse	0.05
Plomb	0.05
Nickel	0.05
Chrome	0.05

$$1\text{ppm} = 1\text{mg/l}$$

### 5.2.2. Valeurs guides des teneurs en métaux lourds dans un sédiment :

Les normes admises par notre étude sont représentées dans les tableaux 45 et 46.

**Tableau 45 :** Valeurs guides européennes des teneurs en métaux lourds dans les sédiments en mg/Kg de p.s

Métaux	Valeurs guides
Fer	2000
Cuivre	26
Zinc	88
Manganèse	400
Nickel	45
Chrome	45
Plomb	22

**Tableau 46:** Valeurs guides algériennes des teneurs en métaux lourds dans les sédiments en mg/Kg, p.s

Eléments	Valeurs guides
Fer	5000
Cuivre	150
Zinc	500
Manganèse	500
Nickel	75
Chrome	250

Plomb	250
-------	-----

Réf - Les valeurs des Recommandations algériennes concernant les métaux lourds dans le sédiment  
(Services de l'environnement mis dans le journal officiel, 9 novembre 1991)

### 5.2.3. Indice de contamination « Ic » pour évaluer le degré de pollution

#### ➤ Pour les eaux

Pour apprécier la qualité des eaux superficielle de la zone d'étude, on se base sur l'évaluation des indices de contamination calculés à partir des concentrations brutes moyennes des éléments métalliques analysés, de chaque station. Belamie *et al* (1982), Boust *et al* (1981), Rosso *et al* (1993) et Bennasser *et al* (2000), in El-Mohrit (2009), évaluent le degré ou l'indice de contamination (IC), défini par un métal donné comme étant le rapport de la teneur mesurée à une station donnée sur la teneur naturelle ou norme. Pour un IC proche de 1, on considère que le site n'est pas ou peu contaminé par les métaux. En général, c'est au delà de 2 que les auteurs admettent que le site est contaminé.

#### ➤ Pour le sédiment

Selon l'Agence du Bassin du Rhône (1990), il y a trois classes de pollution en fonction de l'indice de contamination « Ic », qui est le rapport entre la valeur considérée comme normale et celle relevée dans le sédiment.

**Tableau 47 : Classement du sédiment en fonction de l'Ic**

Indice de contamination	Classement	Interprétations
$Ic < 3$	Classe 1	Zone Normale
$3 \leq Ic < 10$	Classe 2	Zone Polluée
$10 \leq Ic$	Classe 3	Zone à risque

Pour comparer les stations les unes par rapport aux autres, nous avons calculé un indice de contamination (IC) qui est défini par un élément donné, comme le rapport de la teneur mesurée sur la teneur naturelle ou la norme. Si IC est proche de 2 ; le site est considéré comme pas ou peu pollués. Si IC est supérieur à 2 ; le degré de pollution est plus grand.

## 6. Test statistiques réalisés

### 6.1. Analyses statistiques uni variées

#### 6.1.1. Description des données

Pour mieux décrire les différentes variables qui caractérisent les données obtenues pour l'ensemble des stations et des saisons au niveau des trois lacs, nous avons calculé certains paramètres statistiques de base tels que la moyenne arithmétique  $\bar{x}$ , l'écart type, les valeurs minimales et maximales et l'effectif des données par le logiciel Minitab ( voir en Annexe ) .

#### 6.1.2. Analyse de la variance à un critère de classification (ANOVA)

La comparaison entre stations concernant la distribution des teneurs de chaque métal est réalisée à l'aide de l'analyse de la variance à un facteur contrôlé (stations) (P.Dagnellie, 2000).

- Si  $p > 0.05$  : il n'existe pas des  $\neq$  significatives entre les stations. **NS.**
- Si  $p \leq 0.05$  : il existe des  $\neq$  significatives entre les stations. \*

- Si  $p \leq 0.01$  : il existe des  $\neq$  hautement significatives entre les stations \*\*
- Si  $p \leq 0.001$  : il existe des  $\neq$  très hautement significatives entre les stations \*\*\*

## **6.2. Analyses statistiques multi variées**

### **6.2.1. L'analyse en composante principale**

C'est une méthode factorielle qui permet la description simplifiée de mesure difficilement manipulable, composée de variables à aspects quantitatifs issus d'un plan d'eau d'observation espace temps, Escouffier (1979).

L'information synthétisée repose sur la réduction du nombre de caractère et sur la construction simultanée de nouveaux caractères synthétiques, Bourache & Saporta (1983). Ces derniers forment les composantes principales qui sont obtenues par combinaison linéaire des caractères initiaux. L'ACP établit particulièrement les corrélations entre les variables (EL-Mohrit.2005).

### **6.2.2. But de l'analyse en composante principale**

L'analyse en composantes principales (ACP) est employée dans notre étude, pour étudier le comportement chimique des eaux. Avec les observations des N variables, on construit la matrice (N x N) des coefficients de corrélations linéaires entre les couples de variables. Les vecteurs propres sont les "facteurs" ou "composantes principales" de l'ACP. La valeur propre, relative à chaque vecteur propre, représente la variance de l'ensemble des observations expliquée par ce vecteur.

### **6.2.3. Traitement des données**

L'ACP, classe les valeurs propres par ordre décroissant. Le premier vecteur propre, relatif à la valeur propre la plus importante, est celui qui exprime le plus fort pourcentage de la variance totale du nuage de points. Le second, indépendant du premier (donc perpendiculaire dans l'espace à N dimensions) et relatif à la deuxième valeur propre la plus importante, exprime la plus grande partie de la variance résiduelle, et ainsi de suite.

A partir des vecteurs propres de la matrice des corrélations sont calculées les coordonnées des observations sur les axes factoriels (composantes principales).

Pour réaliser notre travail nous avons choisi une matrice comportant 13 variables et 12 analyses chimiques (N observations) pour chaque station.

### **6.2.4. Matrice de corrélation**

Le premier résultat intéressant dans l'analyse en composante principale est la matrice de corrélation. En effet le tableau de la matrice des corrélations donne les coefficients de corrélation linéaire « r » des variables prises deux à deux. C'est une succession d'analyses bi variées, constituant un premier pas vers l'analyse multi variée.

# *Résultats & Discussion*

## *Première partie*

---

## CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

---

### *Première partie*

#### *La qualité hydrochimique des eaux de surfaces superficielles des sites retenus*

---

##### **1. Introduction**

Cette partie aborde la qualité hydrochimique des eaux superficielles de la zone d'étude, par le suivi et l'analyse de quelques paramètres physicochimiques au niveau des différentes stations prospectées des trois lacs (Tonga, Oubeira, El Mellah) appartenant au complexe des zones humides de la région d'El-Kala « PNEK ». Ceci nous permettra d'établir un bilan général de la qualité hydrochimique des eaux des trois lacs.

Selon les données climatologiques de la région d'El Kala (année 2010), la zone d'étude est sous l'influence d'un climat subhumide, variante à hiver tempéré à chaud caractérisé par une pluviométrie forte généreuse. Le climat est à caractère méditerranéen avec une période pluvieuse d'octobre à avril et une période sèche de mai à septembre. Les mois les plus chauds sont juillet et août où la température est autour de 25°C. Les mois les plus froids sont décembre et janvier avec des températures moyennes de l'ordre de 12°C. Durant la saison estivale, se sont les vents chauds et secs qui dominent. Ils assèchent l'atmosphère et favorisent le déficit hydrique de la végétation et contribuent fortement à la propagation de violents incendies de forêts. Par ailleurs, la pluviométrie forte généreuse de la zone d'étude permet non seulement l'entretien du couvert forestier, mais surtout le maintien du réseau hydrographique important existant au sein du Parc.

Concernant les apports des eaux de surface, on a le premier site : le lac Tonga est le réceptacle des eaux de *deux* importants cours d'eau, l'oued El-Hout dont le réseau hydrographique s'étend au sud puis à l'est et l'oued El-Eurg qui draine le nord-est et à l'est. Son émissaire, le canal de la Messida, a été rectifié pour drainer les eaux du lac vers la mer. Aujourd'hui, il ne reçoit plus les eaux de l'oued El-Eurg canalisées directement vers le canal de la Messida ; Et le plan d'eau du lac Tonga joue un rôle important dans la maîtrise des crues en période hivernale.

Deuxième site, Lac Oubeira, est alimenté par *deux* cours d'eau importants : l'oued Démet Rihana au nord, et l'oued Messida au Sud. En hiver, à l'occasion des fortes précipitations, les eaux de l'Oued El-Kebir parviennent au lac principalement par l'oued Messida. En été, quand le niveau de l'oued El-Kebir est au plus bas, le système hydrologique fonctionne en sens inverse, l'oued Messida ayant cette singularité de couler dans les deux sens selon la crue ou l'étiage.

Troisième site lac El-Mellah, est une ancienne vallée fluviale envahie par la mer et qui s'est transformée en lagune, reliée à la mer par un chenal de 900 mètres de long. Ce plan d'eau est alimenté principalement par trois cours d'eau notamment Oued El-Aroug, Oued Mellah au sud est et au sud ouest et Oued R'Guibet au nord ouest.

Donc si on observe la carte géographique des stations étudiées (fig.13), on remarque que le suivi et le contrôle des eaux est localisé à l'entrée et à la sortie de chaque site.

## 2. Evolution spatio-temporelle des paramètres physico-chimiques des eaux superficielles des six stations prospectées :

13 paramètres ont fait l'objet de notre étude notamment la température, le potentiel d'hydrogène, l'oxygène dissous, la conductivité, les matières en suspension, le taux des sels dissous, la demande chimique en oxygène, la demande biochimique en oxygène, le TH, le TAC et les ions majeurs (calcium, chlorure et magnésium); les résultats des analyses obtenus durant l'année 2010 sont représentés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 48 : Qualité physico-chimiques des eaux superficielles de la zone d'étude**

Sites	Lac Tonga		Lac Oubeira		Lac El Mellah	
Stations	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Variables	Moy ± E.type (Max-Min)	Moy±E.type (Max-Min)	Moy ± E.type (Max-Min)	Moy ± E.type (Max-Min)	Moy ± E.type (Max-Min)	Moy ± E.type (Max-Min)
<b>T°C</b>	20.75±5.83 (28-12)	20.58±5.83 (28-12)	21.75±6.13 (31-12)	21.79±5.71 (29-11.5)	21.79±5.71 (28-12)	20.65±6.32 (30-12)
<b>CE</b> (Ms/Cm)	586.83±43.59 (685-550)	409.75±20.0 (448-388)	467±73.94 (660-413)	282.83±24.20 (420-345)	2445±69.87 (2525-2315)	2574.25±88.07 (2654-2330)
<b>pH</b>	7.04±0.18 (7.3-6.76)	7.16±0.21 (7.4-6.86)	7.41±0.70 (8.29-6.33)	7.41±0.43 (8-6-86)	7.54±1.32 (8.35-3.7)	7.33±1.35 (8.47-4.1)
<b>OD</b> (mg/L)	8.70±2.28 (11.8-5.4)	7.95±2.10 (12.2-5.1)	9.95±2.94 (15.75-6)	8.97±2.06 (12-5)	10.57±7.91 (34-3.9)	9.99±6.36 29-4.5
<b>MES</b> (mg/L)	47.25±28.96 (102-19)	80±6.30 (100.1-71)	71.11±44.52 (113-10)	31.22±11.50 (45-9)	48.33±56.72 (160-10)	55.33±56.50 170-24
<b>DCO</b> (mg/L)	43.91±5.33 (54-25.66)	58.54±9.23 (71-43)	37.27±5.15 (42-22.33)	53.42±9.86 (64-30.66)	47.45±6.76 (58.40-37.3)	49.01±6.41 64.3-40.1
<b>DBO<sub>5</sub></b> (mg/L)	25.44±4.95 (34-21)	33.47±7.46 (46.66-22)	27.57±4.12 (26-33)	42.02±8.29 (31.5-55.23)	42.02±8.29 (55.24-31.5)	43.26±9.02 58.99-34.29
<b>TDS</b> (Mg/L)	278.75±100.8 (393-140)	214.91±62.6 (289-137)	198.66±36.02 (230-132)	187.58±32.34 (215-126)	36417.6±527.13 (38089-36210)	37925.8±534.9 38142-36235
<b>TH</b> (°F)	12.17±4.99 (17.7-4.73)	8.98±3.20 (13 - 4.1)	14.40±22.47 (70-4.8)	6.36±1.00 (7.06-4.3)	530.66±60.54 (621-418)	529.83±42.04 (593-457)
<b>TAC</b> (°F)	10.7±3.84 15-4.2)	21.13±35.23 (108-4.1)	5.95±1.17 (6.8-3.2)	5.74±0.96 (6.58-3.6)	12.37±0.69 (13.2-11.4)	12.65±1.22 (14.2-11.1)
<b>Ca<sup>++</sup></b> (mg/L)	7.85±4.16 (12-4)	7.29±2.42 (10.3-3.7)	3.08±0.34 (3.9-2.8)	3.10±0.18 (3.4-2.8)	140.83±23.01 (172-107)	95.16±13.34 (117-71)
<b>Mg<sup>++</sup></b> (mg/L)	3.55±1.83 (6.3-1.2)	3.27±1.46 (5.20-1.02)	3.38±0.87 (4.15-1.8)	3.14±0.93 (4-1.4)	368.25±75.63 (445-163)	405.33±99.27 (476-104)
<b>Cl</b> (mg/L)	91.86±45.90 (136.5-29.8)	78.14±32.52 (104-25.7)	39.63±8.60 (48.12-23.65)	40.73±12.25 (52.13-21.11)	17132.14±212.7 (17585-17000)	17433.92±221. (17608-17014)

**S1** : Lac Tonga Nord « les pompes » ; **S2** : Lac Tonga Sud « Oud El Hout » ; **S3** : Lac Oubeira Nord « Demet el Rihana » ; **S4** : Lac Oubeira Sud « Oued Messida » ; **S5** : Lac El Mellah Nord Oued R'guibet ; **S6** : Lac El Mellah Sud « oued el Mellah » ; **Moy** : moyenne, **E. Type** : Ecart Type, **Max** : valeur Maximale, **Min** : valeur minimale. **T** : température. **CE** : conductivité électrique ; **pH** : potentiel d'Hydrogène ; **OD** : oxygène dissous ; **MES** : Matières en suspension ; **DCO** : demande chimique en oxygène ; **DBO<sub>5</sub>** : demande biochimique en oxygène ; **TDS** : taux des solides dissous ; **TH** : titre hydrométrique, **TAC** : titre alcalimétrique complet ; **Ca<sup>++</sup>** : Calcium ; **Mg<sup>++</sup>** : Magnésium ; **Cl** : chlorure.

### 2.1. Température de l'eau

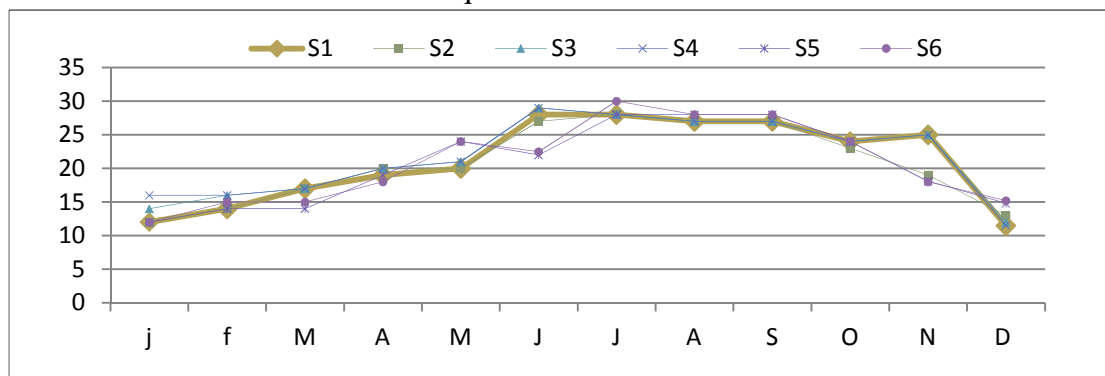
La température des eaux superficielles au niveau des trois lacs montre des variations spatiotemporelles similaires. La température maximale (31°C) a été enregistrée durant la saison chaude (juin 2010) et la température minimale (11°C) a été obtenue pendant la saison

froide (décembre 2010). Ceci reflète bien l'influence du climat de la région d'El Kala. Les valeurs de la température des eaux sont maximales en été et minimales en hiver. Des résultats similaires, ont été soulignés dans des travaux ultérieurs, *Chaibi (2004)*, *Baba Ahmed (2006)*. Durant la période froide, la température montre l'existence d'une phase de croissance de janvier à septembre 2010, suivi d'une phase de croissance de septembre à décembre 2010. Nos résultats font apparaître l'existence de deux périodes : l'une froide et l'autre chaude.

**Tableau 49:** Evolution spatiotemporelle de la température de l'eau en °C

T°	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>S1</b>	12	14	17	19	20	28	28	27	27	24	25	11,5
<b>S2</b>	12	14	17	20	20	27	28	27	27	23	19	13
<b>S3</b>	14	16	17	20	21	29	28	27	27	24	25	12
<b>S4</b>	16	16	17	20	21	29	28	27	27	24	25	11,5
<b>S5</b>	12	14	14	19	24	22	28	28	28	24	18,1	14,8
<b>S6</b>	12	15	15	18	24	22,5	30	28	28	24	18	15,2

La différence entre le mois le plus chaud (Aout) et le mois le plus froid (Janvier) est de 20°C. Cet écart est le reflet du caractère méditerranéen de la région où les contrastes entre la saison froide et la saison chaude sont très marqués.



**Fig.22:** Evolution spatiotemporelle de la température de l'eau en °C

Les résultats de la fig.22 montrent des variations spatio-temporelles similaires pour toute la période d'étude. Quant aux variations spatiales, aucune différence significative n'a été relevée, et les écarts enregistrés ne sont dus en fait qu'au décalage horaire journalier entre les mesures dans les différentes stations prospectées.

Les fluctuations de ce paramètre abiotique sont en relation avec les conditions climatiques locales et plus particulièrement avec la température de l'air et les phénomènes d'évaporation d'eau qui en résultent quand cette dernière augmente.

Il est à signaler que la température de l'eau est un paramètre d'une importance majeure dans la vie des écosystèmes aquatiques. Elle agit sur plusieurs processus physique, chimique et biologique (Barbe, 1981), par exemple la température joue un rôle important en ce qui concerne la solubilité des sels et des gaz, aussi elle accroît les vitesses des réactions chimiques et biochimiques. L'activité métabolique des organismes aquatique est accélérée lorsque la température augmente, IBGE (2005).

**Tableau 50:** Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les six stations prospectées concernant les variations de la température

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	5	18.2	3.6	0.10	0.991 NS
Variation résiduelle	66	2343.7	35.5		
Total	71	2361.9			

Valeur du test d'AVI : Fobs : valeur de Fischer, P : Probabilité

Selon la valeur de P résultante de l'analyse de la variance, on constate qu'ils n'existent pas des différences significatives entre les trois lacs concernant les variations de la température de l'eau et même au sein du même lac les variations de la température sont similaires.

## 2.2. Conductivité électrique

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau. La plupart des sels minéraux en solution sont de bons conducteurs. Par contre, les composants organiques sont de mauvais conducteurs. Elle est proportionnelle à la quantité des sels dissous, Nisbet et Verneau (1970). Des températures élevées agissent sur la conductivité électrique par action sur la mobilité des sels Dussart (1966), il est à signaler que la conductivité est fonction de la température de l'eau, car elle est plus importante lorsque la température augmente. Une conductivité élevée traduit soit des pH normaux, soit le plus souvent une salinité élevée, Bremond et Perrodon (1979).

**Tableau 51 :** Evolution spatiotemporelle de la conductivité électrique de l'eau en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 

CE	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
S1	569	670	564	685	550	567	570	583	585	560	561	578
S2	395	420	390	448	388	392	420	431	432	410	398	393
S3	555	660	470	465	462	423	420	418	413	413	420	490
S4	345	410	410	401	390	360	350	380	373	375	380	420
S5	2500	2486	2482	2525	2500	2485	2473	2470	2380	2374	2350	2315
S6	2610	2654	2641	2650	2620	2595	2582	2580	2565	2560	2330	2504

Les résultats obtenus dans notre étude montrent des valeurs oscillant entre 345  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 2654  $\mu\text{S}/\text{cm}$  respectivement durant le mois de janvier 2010 au niveau du lac Oubeira et durant le mois de février au niveau du lac El Mellah. La conductivité électrique des eaux superficielles des trois lacs montre des variations importantes entre les valeurs minimales et maximales, surtout au niveau des eaux salines des stations S5 et S6, cela est dû aux influences d'origine marines car le lac El Mellah est un milieu paralytique en relation avec la mer méditerranéenne par un chenal de 900m de longueur ; la forte conductivité des eaux du lac El Mellah (S5 et S6) résulte particulièrement des fortes teneurs en chlorures Gartet *et al.*(2001). Les valeurs inférieures à 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$  caractérisent les eaux douces du lac Tonga et Oubeira qui sont des écosystèmes fermés, cela résulte des faibles teneurs en sels minéraux.

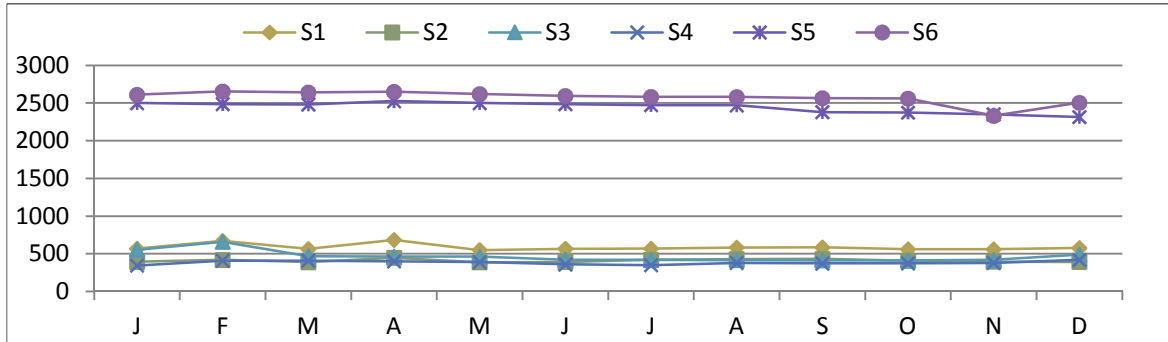


Fig.23: Evolution spatiotemporelle de la conductivité électrique de l'eau

Tableau 52: Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les six stations prospectées concernant les variations de la conductivité électrique de l'eau

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	5	67498954	13499791	3857.71	0.000***
Variation résiduelle	66	230963	3499		
Total	71	67729916			

L'analyse de la variance montre l'existence de différences très hautement significatives entre les trois lacs concernant la conductivité électrique de l'eau, la même conclusion est relevée entre les stations au sein du même lac.

### 1.3. Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH de l'eau résume la stabilité de l'équilibre établi entre les différentes formes de l'acide carbonique. Il est lié au système tampon développé par les carbonates et les bicarbonates. Il dépend de la diffusion du gaz carbonique à partir de l'atmosphère, du bilan des métabolismes respiratoires et photosynthétiques (Hutchinson, 1987), ainsi que de l'origine des eaux, la nature géologique du milieu traversé, les rejets des eaux usées, etc. (Dussart, 1966). Le pH des eaux des trois lacs varie entre un minimum de 6.33 enregistré dans la station S3 « nord du lac Oubeira », pendant le mois de janvier 2010 et un maximum de 8.47 enregistré dans la station S6 « le sud du lac El mellah » pendant le mois d'Aout 2010). En littérature un pH naturel entre 6.5 et 8.5 caractérise des eaux où la vie se développe de manière optimale

Tableau 53: Evolution spatiotemporelle du pH de l'eau

pH	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
S1	6,92	6,76	6,77	7,02	7,07	7,3	7,02	7,25	7,23	7,21	7,05	6,91
S2	6,89	6,96	6,86	7,3	7,35	7,26	7,33	7,4	7,37	7,26	7,1	6,88
S3	6,33	6,68	6,96	7,65	6,98	8,01	8	8,21	8,29	8,2	6,8	6,9
S4	7,1	7,1	6,93	7,75	6,86	7,02	7,21	7,86	7,99	8	7,8	7,3
S5	8,07	8,07	7,73	8,17	8,12	8,07	3,7	8,35	8,25	8,24	7,9	7,65
S6	7,79	7,79	7,84	7,95	8,47	8,26	4,1	8,47	8,35	8,28	7,8	7,65

En 1995, il a été démontré par Goterman que la minéralisation de la matière organique provoque une chute du pH (Goterman, 1995). Il a une action directe sur la disponibilité des ions métalliques dans l'environnement marin et donc sur le taux de leur adsorption par les sédiments et leur accumulation par les organismes aquatiques tout en modifiant la forme du métal et en agissant sur la physiologie des organismes (Bryan, 1979). Les métaux lourds peuvent être mobilisés en cas de modification des conditions environnementales. Il existe un pH au dessus duquel les métaux sont brusquement relargués, ce pH est différent selon le métal considéré.

Selon Bremond et Perrodon (1979), les gammes de pH qui sont directement mortelles pour les poissons, sont celles inférieures à 5 et celles supérieures à 9. Les valeurs du pH trouvées dans les six stations prospectées au cours de notre année d'étude ne présentent aucun danger pour la faune et la flore et ces variations sont difficiles à interpréter.

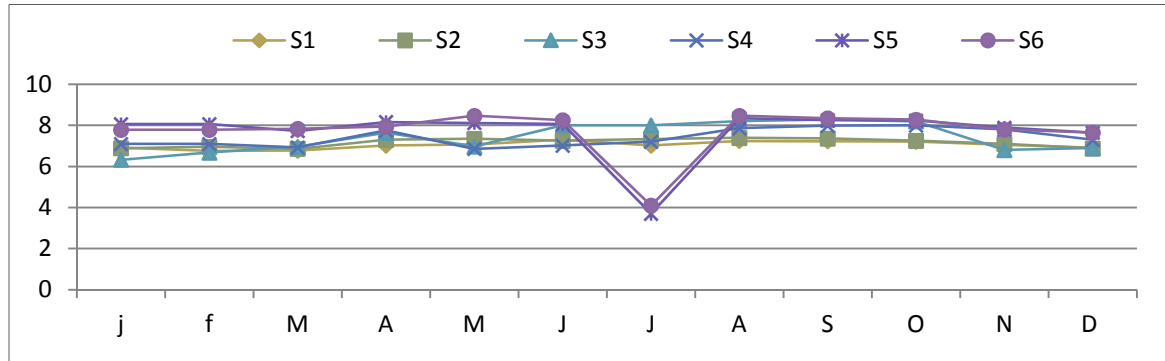


Fig.24: Évolution spatiotemporelle du potentiel hydrogène de l'eau

Les eaux du lac El Mellah montrent un pH généralement alcalin proche de 8, cela est relativement lié aux variations de la salinité de l'eau. L'alcalinité du pH des eaux d'El Mellah montre aussi qu'elle est sujette à une forte activité photosynthétique.

Généralement, un pH égale à 8, est du au système tampon développé par les carbonates et les bicarbonates Jadal (2002), Himmi *et al* (2003), par contre la baisse du pH enregistrée au niveau des eaux du lac El Mellah durant le mois d'aout est due à des substances acides charriées par les oueds ou encore à des pluies acides en relation avec les rejets atmosphériques du Complexe Arcelor Mittal de sidérurgie et métallurgie ou encore la présence des matières organiques biodégradables.

Tableau 54: Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les six stations prospectées concernant les variations du pH des eaux

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	5	67498954	13499791	3857.71	0.000***
Variation résiduelle	66	230963	3499		
Total	71	67729916			

L'AVI montre l'existence de différences très hautement significatives entre les trois lacs concernant le pH de l'eau, la même conclusion est relevée au sein du même lac.

#### 1.4. Oxygène dissous OD

L'oxygène dissous est un paramètre essentiel dans le maintien de la vie aquatique. Il joue un rôle prépondérant dans les phénomènes de dégradation de la matière organique et de la photosynthèse. C'est un paramètre utilisé essentiellement pour contrôler la qualité des eaux de surface. L'oxygène dissous est donc un paramètre utile dans le diagnostic biologique du "milieu eau".

Tableau 55: Évolution spatiotemporelle de l'oxygène dissous de l'eau en mg/l

OD	J	f	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
S1	11,8	11,2	10,1	9	8,7	5,4	3,8	4,5	6,1	8,7	9,8	11,4
S2	9,2	9,11	9,11	8	7,6	5,1	4,2	2,6	6,5	8,2	9,6	12,2
S3	10,2	7,7	10	8	8,5	6,33	4,5	3,8	10,2	12	10,9	15,7
S4	11,1	10,65	9,1	9,3	9,1	7,20	4,3	4,0	12	12	10,9	10,4
S5	10,1	12	34	6,1	6	7,75	3,9	3,1	8	9,9	11	8,1
S6	8,9	11,9	29	5,9	5,8	6,9	4,5	4,2	9	8,2	10	9,1

Les relevés spatiotemporelles de ce paramètre abiotique mettent en évidence l'existence de fortes teneurs en oxygène dissous durant la saison hivernale et automnale allant jusqu'à 34mg/l au niveau du lac El Mellah et de faibles teneurs durant la saison estivale allant jusqu'à 2.6mg/l au niveau du lac Tonga.

Généralement les teneurs en oxygène dissous varient d'un site à un autre et d'un mois à l'autre. Les teneurs en oxygène dissous de l'eau du lac Tonga varient entre 2.6mg/l au nord du lac (S1) et 12.2 mg/l au sud du lac (S2). Au niveau du lac Oubeira les teneurs varient entre 3.8 mg/l et 15.7mg/l au nord du lac (S3) et au niveau du lac El Mellah les teneurs en oxygène dissous sont comprises entre 3.1 mg/l et 34 mg/l au nord du lac (S5).

Les faibles teneurs en OD enregistrées dans les trois plans d'eau durant la saison estivale et les teneurs élevées enregistrées durant les saisons froides (hiver et automne) sont liées à plusieurs facteurs :

- Les variations saisonnières de la température de l'eau qui limite la solubilité de l'oxygène et la respiration des organismes aquatiques durant l'été, créant une bonne oxygénation durant les saisons froides.
- Le calme hydrodynamique caractérisé par la baisse des débits des échanges, qui empêche le brassage de l'eau durant la saison chaude.
- A l'augmentation du brassage de l'eau engendrée par l'augmentation des échanges oued-Lac-chenal.
- Augmentation de la salinité des eaux qui limite la solubilité de l'eau durant la saison chaude notamment au niveau du lac El Mellah.
- L'action du brassage qui favorise les échanges avec la mer et les apports d'eau douce (oueds).
- La décomposition de la matière organique au niveau du fond due à la forte consommation de l'oxygène par les particules en suspensions.

Les normes algériennes caractérisent la qualité de l'eau à partir des seuils en oxygène dissous suivants : *supérieur à 7 mg/l* l'eau est de bonne qualité, de *3 à 7 mg/l* l'eau est de qualité passable à médiocre.

Si on se réfère à ces seuils, nous pouvons conclure que durant les saisons froides les eaux des trois plans d'eau sont de qualité excellente du fait que les teneurs en oxygène dissous dépassent la valeur 7mg/l, et que durant la saison chaude les eaux sont généralement de qualité passable à médiocre du fait que les teneurs sont comprises le plus souvent entre 2 et 7 et durant le printemps les eaux sont de bonne qualité.

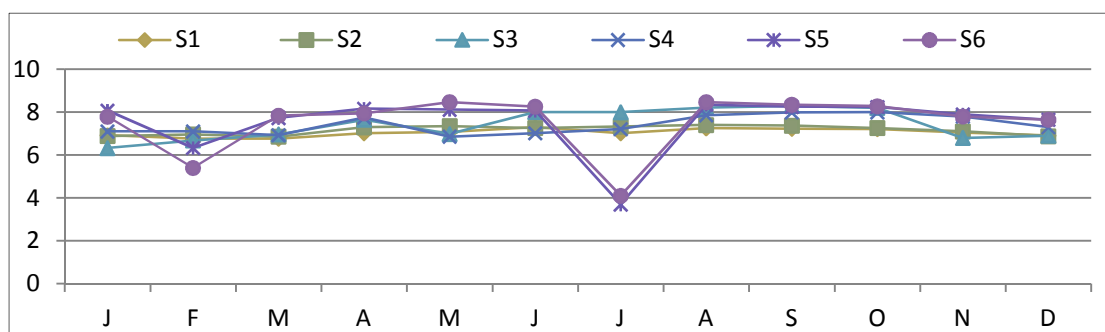


Fig.25: Évolution spatiotemporelle de l'oxygène dissous de l'eau

**Tableau 56:** Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les six stations prospectées concernant les variations de l'oxygène dissous.

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	5	57.5	11.5	0.55	0.738 NS
Variation résiduelle	66	1383.0	21.0		
Total	71	1440.6			

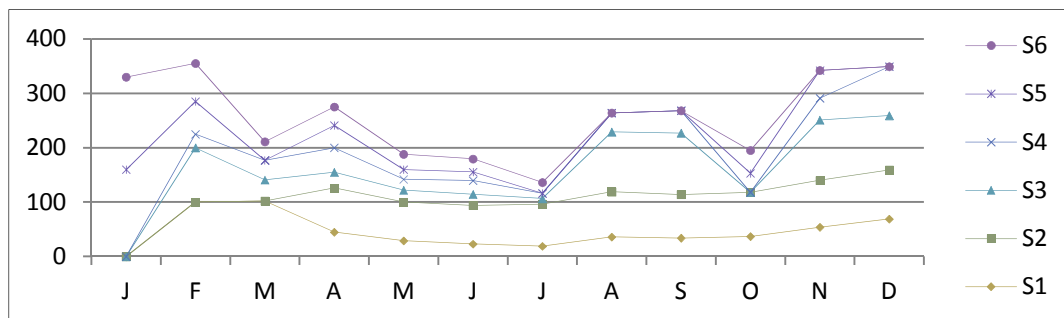
Selon la valeur de P résultante du test d'analyse de la variance, on peut conclure qu'il n'existe pas des différences significatives entre les trois plans d'eau concernant les variations des concentrations en oxygène dissous de l'eau. la même remarque est relevée entre les stations au sein du même lac.

### 2.5. Matières en suspensions MES

Selon les résultats obtenus on constate que les teneurs en MES dans les trois plans d'eau présentent une allure proche au niveau des six stations prospectées. Les teneurs oscillent entre un minimum de 9,5mg/l au niveau du lac Oubeira durant l'été et un pic de 170mg/l au niveau du lac El Mellah durant l'hiver. Même remarque a été relevé par Drardja (2007), au niveau des eaux du lac Mellah, où il a trouvé que les plus fortes valeurs de ce paramètre sont enregistrées en janvier, en pleine période de crue. C'est ainsi que les apports pluviométriques par les ruissellements et les oueds, jouent un rôle prépondérant dans l'enrichissement en matière en suspension de la colonne d'eau (Drardja B, 2007). Généralement, les MES sont constituées de toutes les particules organiques ou minérales véhiculées par les eaux. Elles peuvent être composées de particules de sable, de terre et de sédiment arrachées par l'érosion, de divers débris apportés par les eaux usées ou les eaux pluviales très riches en MES et d'êtres vivants planctoniques.

**Tableau 57:** Évolution spatiotemporelle de la matière en suspension de l'eau en mg/l

MES	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
S1	100.2	100	102	45	29	23	19	36	34	37	54	69
S2	99.8	97.8	100.1	81	71	71	77	83	80	81	86	90
S3	100.8	100	39	29	22	20,5	10,6	110	113	112.8	111	100
S4	50.50	25	36	45	20	25	9,5	35	41	40.60	40	90
S5	160	60	16.4	41	18	16	10.5	27.8	30.8	35	51	148.20
S6	170	70	34	34	28	24	20	93.2	38.2	42	53.3	150.10



**Fig.26 :** Évolution spatiotemporelle de la matière en suspension de l'eau en mg/l

Dans notre étude les eaux des six stations prospectées sont riches en MES provenant, soit de l'érosion des bassins versant suite à des précipitations, soit à des rejets d'eau résiduaires domestiques ; Ce paramètre à une certaines valeur est considéré comme limitant à la fluctuation et au développement de la faune. Les concentrations sont généralement liées aux effets hydrologiques (crues et étiages). En générale quant les teneurs en matière en MES augmentent, la turbidité augmente, la salinité chute et l'oxygène dissous du milieu baisse. Cependant des teneurs élevées peuvent empêcher la pénétration des rayons solaires, diminuer l'oxygène dissous et limiter alors le développement de la vie aquatique ; l'asphyxie des poissons, par colmatage des branchies.

D'une façon générale, les matières en suspension interviennent dans la composition de l'eau par leurs effets d'échanges d'ions ou d'absorption, aussi bien sur les éléments chimiques à l'état de traces que sur les micro-organismes. En particulier, les argiles et les particules organiques ayant, une large surface d'absorption constituent un support idéal pour les ions, les molécules diverses et les agents biologiques .De ce fait, ils peuvent constituer un vecteur pour la pénétration de ces produits dans l'organisme. De plus, les agents dynamiques tels que les courants liées à la marée, contribuent eux aussi à l'augmentation de la teneur en MES par la remise en suspension de la couche fine des sédiments, Kaimoussi (2002). D'autre auteurs Hébert & Légaré (2000) ont montré que la fluctuation de la MES est essentiellement liée aux apports issus des principaux rejets des eaux résiduaires domestiques.

**Tableau 58:** Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les six stations prospectées concernant les variations des matières en suspension de l'eau

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	5	57.5	11.5	0.55	0.738 NS
Variation résiduelle	66	1383.0	21.0		
Total	71	1440.6			

Selon la valeur de P résultante du test d'analyse de la variance effectué, on peut conclure qu'il n'existe pas des différences significatives entre les trois lacs concernant les variations des concentrations en matières en suspension de l'eau. La même remarque a été relevée au sein du même lac.

### **2.6.Demande chimique en oxygène DCO**

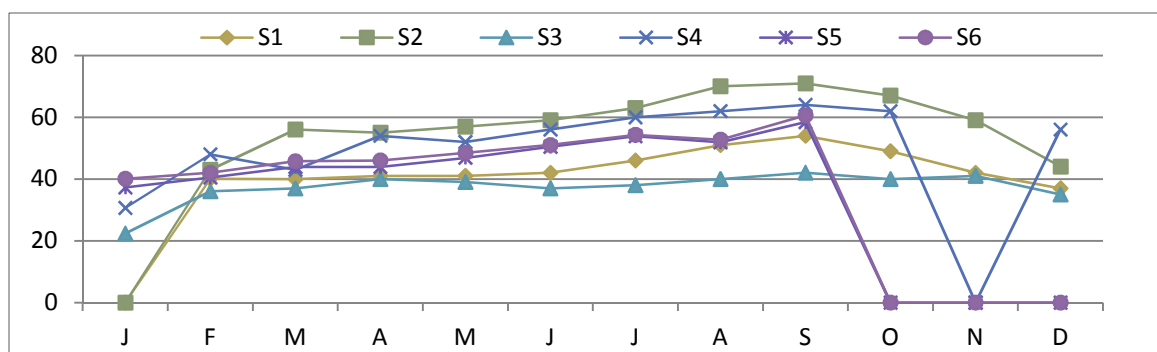
La DCO est la quantité d'oxygène consommée par les matières existant dans l'eau et oxydables dans des conditions opératoires définies. En fait la mesure correspond à une estimation des matières oxydables présentes dans l'eau, quelque soit leurs origines organique ou minérale (fer ferreux, nitrites, ammonium, sulfure et chlorures). Il s'agit donc d'un paramètre important permettant de caractériser la pollution globale d'une eau par des composés organiques.

En littérature, on a toujours une DCO supérieure à la DBO car les bactéries ne permettent pas d'oxyder les éléments organiques et chimiques les plus stables, cela est constaté également dans notre étude durant toute l'année 2010 et au niveau de toutes les stations prospectées.

Les différences obtenues par la DCO et la DBO constituent une indication de l'importance des matières organiques peu ou pas biodégradables.

**Tableau 59: Évolution spatiotemporelle de la DCO de l'eau en mg/L**

DCO	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>S1</b>	25,66	40,1	40	41	41	42	46	51	54	49	42	37
<b>S2</b>	31,88	43	56	55	57	59	63	70	71	67	59	44
<b>S3</b>	22,33	36	37	40	39	37	38	40	42	40	41	35
<b>S4</b>	30,66	48	43	54	52	56	60	62	64	62	60,00	56
<b>S5</b>	37,3	40,5	43,89	43,9	46,87	50,47	53,87	51,86	58,4	60,42	57,33	55,22
<b>S6</b>	40,1	42	45,78	46,04	48,45	51,02	54,33	52,77	60,62	64,30	60,25	58,39



**Fig.27: Évolution spatiotemporelle de la DCO de l'eau en mg/l d'O<sub>2</sub>.**

Nos résultats montrent que les variations spatiotemporelles de la DCO dans les six stations prospectées sont similaires, il ya toujours une augmentation durant la saison chaude, et une diminution durant la saison froide. Donc il ya une relation proportionnelle entre la température de l'eau et la demande chimique en oxygène. Les valeurs moyennes de la DCO varient entre 37 mg/l O<sub>2</sub> et 58 mg/l O<sub>2</sub>. La DCO atteint son max au niveau de la station S6 au sud du lac El Mellah durant le mois d'octobre par une valeur de 64.30 mg/l O<sub>2</sub> et sa valeur minimale est de l'ordre de 22.33 mg/l O<sub>2</sub> au niveau de la station S3 au nord du lac Oubeira durant le mois de janvier.

En Algérie, le ministère de l'environnement et de l'aménagement du territoire caractérise la qualité de l'eau de surface à partir des seuils suivants : DCO inférieure à 20 mg/l O<sub>2</sub>: l'eau est de qualité excellente ; DCO comprise entre 20 mg/l O<sub>2</sub> et 25 mg/l O<sub>2</sub>: l'eau est de bonne qualité, : DCO entre 25 mg/l O<sub>2</sub> à 40 mg/l O<sub>2</sub>, l'eau est de qualité passable ; DCO entre 40 mg/l et 80 mg/l O<sub>2</sub>, l'eau est de qualité médiocre, DCO supérieure à 80 mg/l O<sub>2</sub>, l'eau est très polluée.

Si on se réfère à ces seuils, nous pouvons conclure qu'en fonction des saisons, les eaux des trois lacs sont de qualité passable à médiocre du fait que les valeurs de la DCO sont comprises entre 20 mg/l O<sub>2</sub> et 80 mg/l O<sub>2</sub>. Avec ces valeurs on peut conclure que les eaux des trois lacs sont riches en matières organiques.

	situation normale	situation douteuse	situation anormale
DBO <sub>5</sub> , mg/l O <sub>2</sub>	< 1	3 à 6	> 6
DCO, mg/l O <sub>2</sub>			> 30

Grille issue de la norme française, Grille d'interprétation - eau de surface

Si on se réfère à la grille de la norme française, on relève que les eaux des trois lacs sont fortement polluées du fait que les valeurs de la DCO sont supérieures à 30mg/l O<sub>2</sub>

**Tableau 60 :** Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les six stations prospectées concernant les variations de la DCO de l'eau

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	5	21385	4277	3.91	0.004**
Variation résiduelle	66	72112	1093		
Total	71	93497			

Selon la valeur de P résultante du test d'analyse de la variance effectué par le logiciel MINITAB 15, on peut conclure qu'ils existent des différences hautement significatives à très hautement significatives entre les trois lacs concernant les variations de la DCO de l'eau. La même remarque est relevée au sein du lac Tonga et Oubeira, contrairement au niveau du lac El Mellah où la DCO varie de la même manière au niveau des deux stations S5 et S6, c'est-à-dire il n'y a pas des différences significatives entre les stations du lac mellah concernant la DCO.

### **2.7.La Demande biologique en Oxygène DBO<sub>5</sub>**

La DBO<sub>5</sub> ou Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours, représente la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes pour oxyder ou dégrader l'ensemble de la matière organique présente dans un échantillon d'eau maintenu à 20°C, à l'obscurité, pendant 5 jours.

#### **Définition 1 :**

La demande biologique en oxygène DBO<sub>5</sub>, permet l'évaluation des matières organiques biodégradables dans les eaux, Bontoux (1993). Plus précisément, ce paramètre mesure la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction des matières organiques grâce aux phénomènes d'oxydation par voie aérobie. Pour la mesurer, on prend comme référence la quantité d'oxygène consommée au bout de 5 jours ; c'est la DBO<sub>5</sub>. La DBO<sub>5</sub> est un paramètre intéressant pour l'appréciation de la qualité des eaux : dans les eaux pures elle est inférieure à 1 mg d'(O<sub>2</sub>)/l, et quand elle dépasse les 9 mg/l l'eau est considérée comme étant impropre Gomella & Guerree (1978).

#### **Définition 2 :**

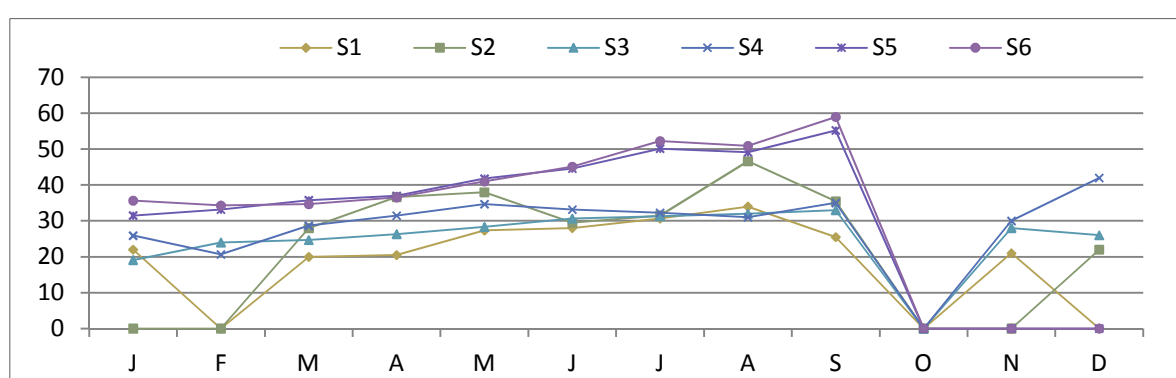
La DBO<sub>5</sub> exprime la consommation naturelle d'oxygène en mg d'oxygène par litre, des corps contenus dans l'eau, dégradés par les bactéries du milieu par une oxydation. L'oxydation des composés organiques biodégradables par les microorganismes entraîne une consommation de l'oxygène, IBGE (2005).

La mesure de cette demande en oxygène permet d'évaluer le contenu d'une eau en matières organiques biodégradables, donc son degré de pollution ou sa qualité. La DBO<sub>5</sub> est sensiblement proportionnelle à la teneur de l'eau en matière organique biodégradable et donc à la quantité de micro-organismes et inversement proportionnelle à la teneur en oxygène

dissous, c'est à dire, plus la DBO<sub>5</sub> est élevée, plus la quantité de matières organiques présentes dans l'échantillon est élevée et plus la concentration en oxygène dissous du milieu est faible. IBGE (2005).

**Tableau 61 :** Évolution spatiotemporelle de la BDO<sub>5</sub> de l'eau en mg/l d'O<sub>2</sub>

DBO <sub>5</sub>	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
S1	22	22,66	20	20,5	27,33	28	30,66	34	25,5	24.50	21	18.5
S2	27,3	21,50	28	36,66	38	29,5	31,5	46,66	35,5	33.50	29.5	22
S3	19,1	24,01	24,66	26,33	28,33	30,65	31,29	32	33	31.00	28	26
S4	25,9	20,66	28,66	31,44	34,66	33,14	32,25	31	35	33.00	30	42
S5	31,5	33,15	35,77	36,99	41,78	44,56	50,14	49,12	55,23	40.23	42.50	44.85
S6	35,66	34,29	34,65	36,57	40,98	45,13	52,24	50,9	58,99	40.23	46.75	47.10



**Fig.28:** Évolution spatiotemporelle de la BDO<sub>5</sub> de l'eau mg/l d'O<sub>2</sub>

Les concentrations spatiotemporelles de la DBO<sub>5</sub> des six stations prospectées montrent des valeurs moyennes variant entre 25.44 mg/l O<sub>2</sub>ce et 43.26 mg/l O<sub>2</sub> ce qui traduit la forte concentration en matières organiques présentes dans le milieu, ces concentrations dépassent la norme de qualité admise par notre étude. (Selon la grille algérienne de la qualité des eaux de surface établie par le ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement.

Et si on se réfère à la grille de la norme française, on relève que les eaux des trois lacs sont fortement polluées du fait que les valeurs de la DBO<sub>5</sub> sont supérieures à 6 mg/l O<sub>2</sub>.

L'évolution temporelle de la DBO<sub>5</sub> se caractérise par des valeurs plus importantes durant la période estivale.

La dilution provoquée par les eaux de pluie au niveau de Tonga et Oubeira (S1, S2, S3, S4) et de la marée au niveau d'El Mellah (S5 et S6) reste le facteur déterminant de cette constatation.

**Tableau 62:** Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les six stations prospectées concernant les variations de la DBO<sub>5</sub> de l'eau

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	5	21385	4277	3.91	0.004**
Variation résiduelle	66	72112	1093		
Total	71	93497			

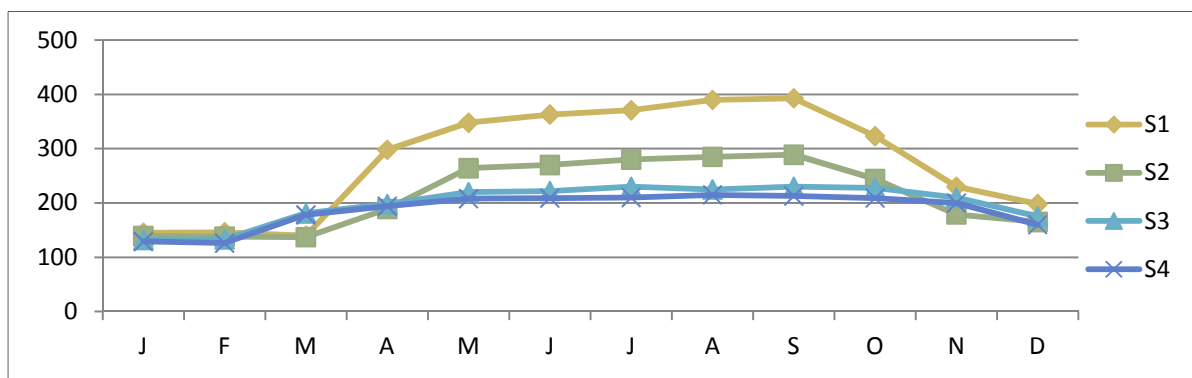
Selon la valeur de P résultante du test d'analyse de la variance, on peut conclure qu'ils existent des différences très hautement significatives entre les trois lacs concernant les variations de la DBO<sub>5</sub> de l'eau. La même remarque est relevée uniquement au sein du lac Tonga par contre à lac El Mellah et lac Oubeira la DBO<sub>5</sub> ne présente pas des différences significatives au sein des deux lacs.

**2.8.Total des sels dissous**

TDS signifie total des solides dissous. Ce paramètre représente la concentration totale des substances dissoutes dans l'eau. Le TDS est composé de sels inorganiques et de quelques matières organiques. Les sels inorganiques communs trouvés dans l'eau incluent le calcium, le magnésium, le potassium et le sodium qui sont tous des cations ; et des carbonates, nitrates, bicarbonates, chlorures et sulfates qui sont tous des anions. Des cations sont des ions chargés positivement et des anions sont des ions chargés négativement. Comment ces solides se retrouvent-ils dissous dans l'eau? Ces minéraux peuvent provenir d'un certain nombre de source naturelle autant que suite aux activités humaines. Des sources d'eau minérales contiennent de l'eau avec un taux élevé de solides dissous parce qu'elles ont coulé à travers des régions où les roches contiennent beaucoup de sel. L'eau dans les prairies contient beaucoup de solides dissouts dus aux fortes quantités de calcium et magnésium dans le sol.

*Tableau 63: Évolution spatiotemporelle du taux des solides dissous TDS de l'eau*

TDS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
S1	145	146	140	298	348	363	371	390	393	323	230	198
S2	139	138	137	189	264	270	280	285	289	244	179	165
S3	132	133	181	198	220	222	230	225	230	228	210	175
S4	129	126	178	194	208	209	210	215	213	209	200	160
S5	36210	36220	3625	36259	3627	3628	3629	3631	3628	36270	3626	3623
S6	38012	38002	3801	38054	3811	3812	3812	3814	3812	38117	3808	3805



*Fig.29: Évolution spatiotemporelle du taux des sels solides TDS de l'eau des 4 stations (S1-S4) durant l'année 2010*

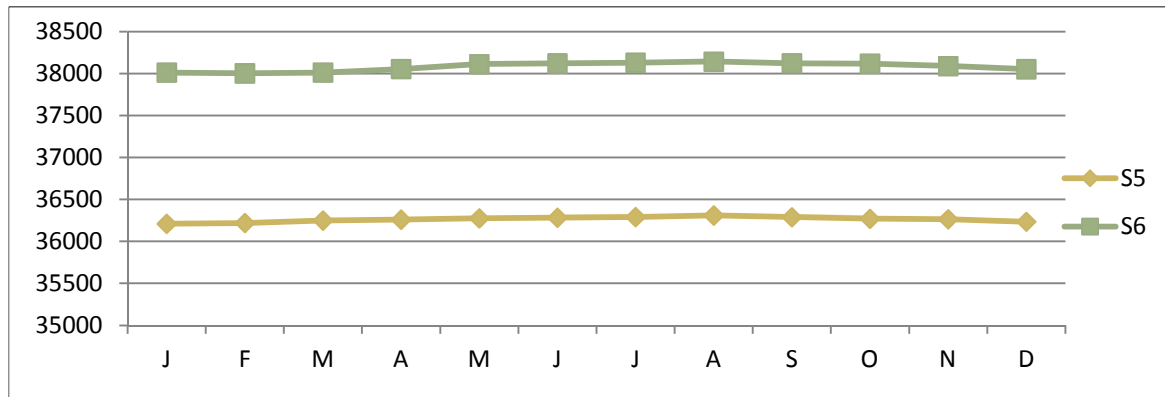


Fig. 30: Évolution spatiotemporelle du taux des sels solides TDS de l'eau des 2 stations (S5-S6)

L'évolution spatiale des TDS, montrent des valeurs moyennes variant entre 187.58 ppm et 278.75ppm au niveau du lac Tonga et Oubeira.

Le taux des solides dissous dans les eaux des deux lacs précités augmente généralement durant le printemps et l'été et diminue au début de la saison automnale et hivernale. Des valeurs moyennes plus élevées variant entre 36417 ppm et 37925 ppm caractérisent les eaux salines du lac El Mellah riches en sels dissous inorganiques.

Dans notre étude le taux des sels dissous varie entre un minimum de 140 mg/l au niveau de la station S1 (lac Tonga) durant le mois de mars 2010 et un maximum 38142 mg/l au niveau de la station S6 (lac el mellah) durant le mois d'aout 2010.

Tableau 64: Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les six stations prospectées concernant les variations de la DBO5 de l'eau

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	5	21860593323	43721118665	45193.95	0.000***
Variation résiduelle	66	6384921	96741		
Total	71	21866978244			

Selon la valeur de P résultante du test d'analyse de la variance, on peut conclure qu'ils existent des différences très hautement significatives entre les trois lacs concernant les variations du TDS de l'eau. La même remarque est relevée uniquement au sein du lac El Mellah. Par contre au niveau du lac Tonga et lac Oubeira, le TDS ne présente pas des différences significatives entre les stations .

### 2.9.Dureté de l'eau ou titre hydrométrique TH

Le titre hydrotimétrique (T.H) ou dureté de l'eau, est l'indicateur de la minéralisation de l'eau. Elle est surtout due aux ions calcium et magnésium. La norme dit qu'une eau douce se caractérise par un TH compris entre 7 et 15, et une eau dure se caractérise par un TH compris entre 25 et 42°F.

Tableau 65: Évolution spatiotemporelle du TH de l'eau en °F

TH	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
S1	5,9	4,73	5,4	13,8	14,4	14,9	15,6	17,3	17,7	12	8,6	7,22
S2	4,8	4	5,12	11,9	11,5	13,1	12,2	15,1	15,5	14,5	10,6	6,58
S3	6	5,84	4,8	7,2	7	70	6,81	6,76	6,7	6,76	6,76	6,05
S4	5,3	5,17	4,3	6,8	6,72	6,9	7,06	6,96	6,88	6,96	6,92	5,94
S5	418	490	519	528	568	585	607	621	550	530	500	452
S6	469	500	510	520	539	560	578	593	569	542	521	457

Généralement, on distingue la dureté permanente et la dureté temporaire, la somme des deux étant la dureté totale. La dureté se détermine par un dosage complexométrique par l'EDTA. Les sels minéraux sont essentiels à la santé et une eau de dureté moyenne apporte quotidiennement une grande partie de nos besoins en calcium et magnésium.

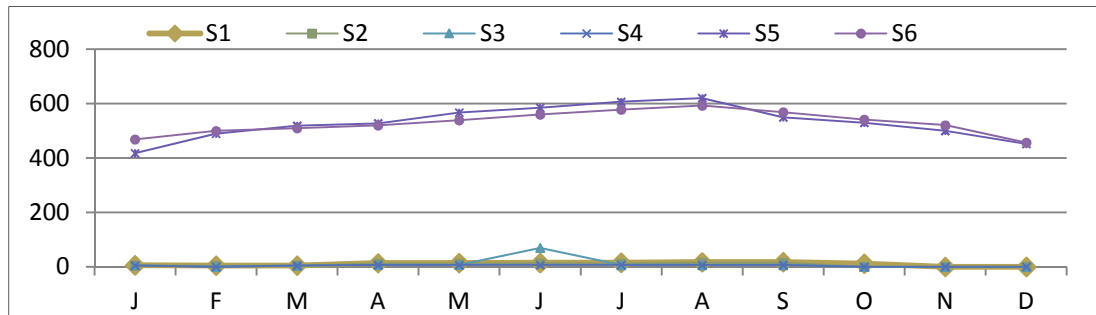


Fig.31: Évolution spatiotemporelle du titre hydrométrique TH de l'eau

Les résultats obtenus montrent des valeurs de TH variant entre 4°F et 17.7°F au niveau du lac Tonga et Oubeira, alors qu'au niveau du lac ELMellah le TH varie entre 418°F et 621°F. D'après ces chiffres, on constate les eaux du lac Oubeira sont douces, les eaux du lac Tonga sont moyennement dures. Alors que lac El Mellah se caractérisent par des eaux très dures c'est à dire très riche en sels dissous inorganiques surtout en  $Mg^{++}$  et  $Ca^{++}$ .

Une eau douce ne permet pas l'instauration de la couche carbonatée assurant une protection des canalisations contre les risques de corrosion. Par contre, une dureté élevée constitue un risque important d'entartrage des canalisations. Au-delà de 20 °F, l'eau peut devenir entartrant et en dessous de 10 °F, elle risque de devenir agressive et susceptible de détériorer les canalisations. Ces phénomènes de corrosion entraînent la solubilisation d'éléments tels que le fer, le cuivre et plus grave, le plomb, le cadmium. Ils sont également fonction du pH, de l'alcalinité et de la concentration en oxygène dissous.

L'eau destinée à la consommation humaine ne doit pas être agressive. En cas de dureté excessive et après un adoucissement, elle doit avoir une dureté résiduelle minimale de 15 °F. Pour tenir compte à la fois de l'intérêt de la consommation d'une eau dure pour la santé et des inconvénients liés à l'entartrage, il est admis qu'une dureté comprise entre 15°F et 20°F est idéale.

Tableau 66: Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les six stations prospectées concernant les variations du TH de l'eau

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	5	43321556	866431	893.81	0.000***
Variation résiduelle	66	63978	969		
Total	71	4396134			

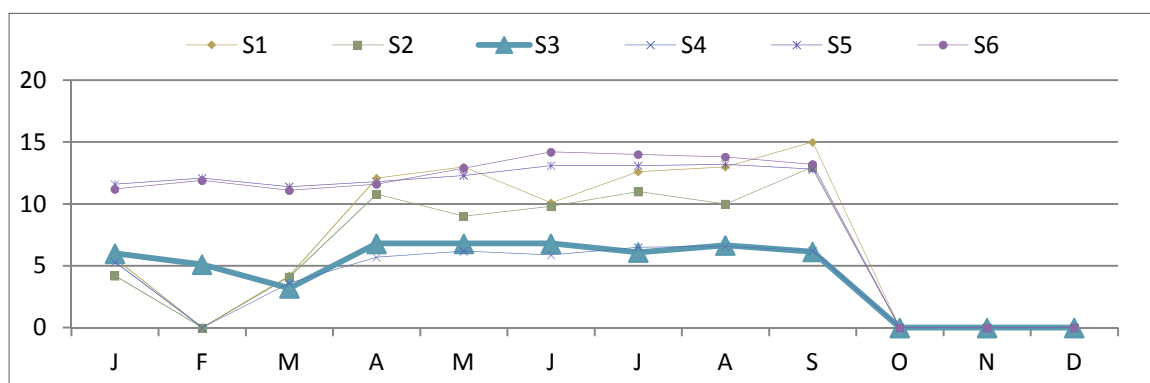
Selon la valeur de P résultante du test d'analyse de la variance effectué par le logiciel Minitab 15, on peut conclure qu'ils existent des différences très hautement significatives entre les trois lacs concernant les variations du TH de l'eau. Par contre au sein du même lac, le TH ne présente pas des différences significatives entre les stations.

## 2.10. Titre alcalimétrique complet TAC

Le TAC (titre alcalimétrique complet) est la grandeur utilisée pour mesurer le taux d'hydroxydes, de carbonates et de bicarbonates d'une eau, son unité est le degré français (°f). En titrant l'eau à analyser avec un acide, on obtient une première valeur qui est le TA (titre alcalimétrique) et qui correspond à pH 8,2 (virage de la phénolphthaléine). À ce stade, on a neutralisé l'ensemble des hydroxydes et des carbonates. En continuant le dosage, on est amené à un deuxième point de neutralisation à pH 4,4 (virage de l'héliantine). On aura alors dosé la totalité des hydroxydes, carbonates et bicarbonates présents initialement.

**Tableau 67:** Évolution spatiotemporelle du titre alcalimétrique complet TAC de l'eau

TAC	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
S1	5,6	4,71	4,2	12,1	13	10,1	12,6	13	15	11,10	7,10	6,20
S2	4,2	3,98	4,1	10,8	9	9,8	11	10	13	13,10	9,30	5,13
S3	6	5,11	3,2	6,8	6,8	6,8	6,1	6,66	6,14	6,15	5,93	5,75
S4	5,3	4,80	3,6	5,7	6,2	5,88	6,5	6,58	6,21	6,26	5,89	5,63
S5	11,6	12,1	11,4	11,8	12,3	13,1	13,1	13,2	12,8	12,5	12,15	11,65
S6	11,2	11,9	11,1	11,6	12,9	14,2	14	13,8	13,2	13,00	13,05	12,34



**Fig.32:** Évolution spatiotemporelle du titre alcalimétrique complet TAC de l'eau

Les valeurs moyennes du TAC des eaux des six stations prospectées varient entre 5.95F° et 12.65F° et puisque le TA est toujours nul, on constate que les eaux sont hydrogénocarbonatées c'est-à-dire  $TAC = HCO_3^-$ .

**Tableau 68:** Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les six stations prospectées concernant les variations du TAC de l'eau

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	5	539.98	108.00	22.29	0.000***
Variation résiduelle	66	319.77	4.84		
Total	71	859.75			

Selon la valeur de P résultante du test d'analyse de la variance effectué par le logiciel Minitab 15, on peut conclure qu'ils existent des différences très hautement significatives entre les trois lacs concernant les variations du TAC de l'eau. Par contre au sein du même lac le TH ne présente pas des différences significatives.

## 2.11. Ions majeurs

La minéralisation de la plupart des eaux est dominée par 8 ions, appelés couramment les ions majeurs. On distingue les cations: Calcium, Magnésium, Sodium et Potassium, et les anions : Chlorures, Sulfates, Nitrates, et bicarbonates. Parmi ces ions majeurs on a dosé le calcium, le magnésium et les chlorures.

**2.11.1. Calcium Ca<sup>++</sup>**

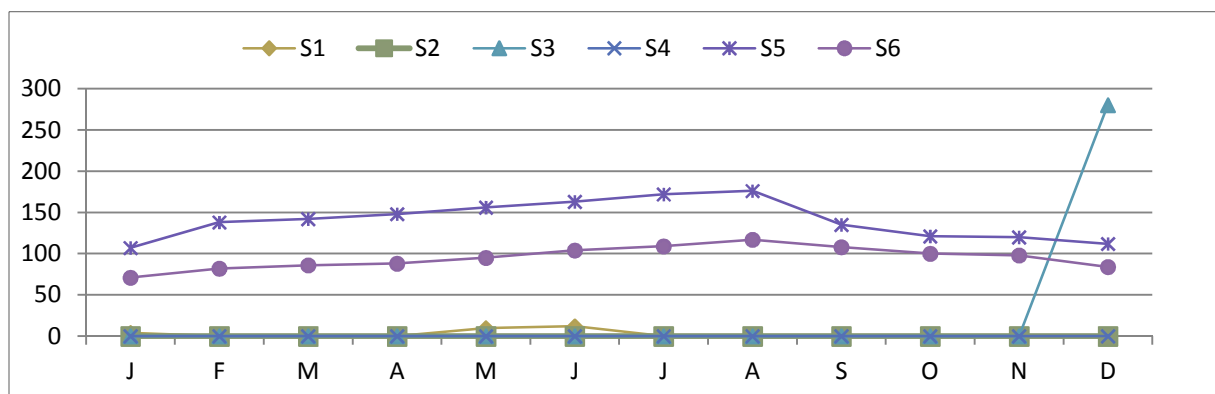
Le calcium est un élément alcalinoterreux, son origine est généralement naturelle issu de la dissolution du calcaire, du gypse) ; sa teneur est variable de 1 à 200mg/l de Ca<sup>++</sup> en eau douce, d'environ 400mg/l de Ca<sup>++</sup> en eau de mer. Gaujous (1999).

Les teneurs en calcium sont relativement faibles au niveau des deux plans d'eau Oubeira et Tonga variant entre un minimum de 3.20 mg/l et un maximum de 12 mg/l. Lac El Mellah se caractérise par des concentrations assez fortes variant entre 71 mg/l et 172 mg/l vue la nature saline des eaux.

Nos résultats montrent une évolution spatiotemporelle qui se caractérise par des teneurs moyennes en calcium comprises entre 3.10 mg/l et 140.83 mg/l. La teneur maximale est enregistrée au niveau de la S6 du lac El Mellah, durant le mois d'aout et la teneur minimale est enregistrée au niveau de la station S3 et S4 du lac Oubeira durant le mois de décembre et avril.

**Tableau 69:** Évolution spatiotemporelle du Ca<sup>++</sup> de l'eau en mg/l

Ca <sup>+</sup>	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>S1</b>	4	3.20	4.2	8.90	10	12	9.70	11.2	11.4	8.30	6.10	5.21
<b>S2</b>	3.70	3.98	4.1	7.80	8.00	9.40	8.60	10.1	10.3	9.70	7.20	4.66
<b>S3</b>	3.90	3.80	3.00	3.05	3.00	3.00	2.91	2.90	2.88	2.90	2.92	280
<b>S4</b>	3.40	3.32	2.90	2.80	2.82	3.01	3.21	3.20	3.17	3.20	3.18	3.05
<b>S5</b>	107	138	142	148	156	163	172	176	135	121	120	112
<b>S6</b>	71	82	86	88	95	104	109	117	108	100	98	84



**Fig.33 :** Évolution spatiotemporelle du Ca<sup>++</sup> de l'eau

Les teneurs en calcium se caractérisent par une légère augmentation durant la l'été au niveau des six stations prospectées et une légère diminution durant l'hiver. Les fortes concentrations caractérisent les eaux salées du lac Mellah par contre les faibles concentrations sont enregistrées dans les eaux douce du lac Oubeira et Tonga.

**Tableau 70:** Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les six stations prospectées concernant les variations du  $Ca^{++}$  de l'eau

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	5	215850	43170	357.49	0.000***
Variation résiduelle	66	7970	121		
Total	71	223820			

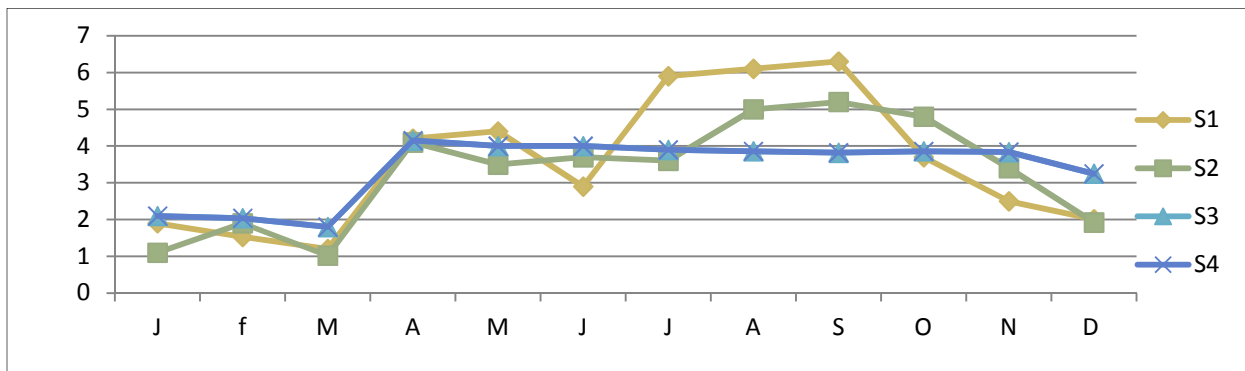
Selon la valeur de P résultante du test d'analyse de la variance effectué on peut conclure qu'ils existent des différences très hautement significatives entre les trois lacs concernant les variations de la teneur en calcium de l'eau, même remarque est relevée au niveau du lac El-Mellah Par contre dans les eaux du lac Tonga et Oubeira les teneurs en  $Ca^{++}$  ne présentent pas des différences significatives.

### 2.11.12. Magnésium

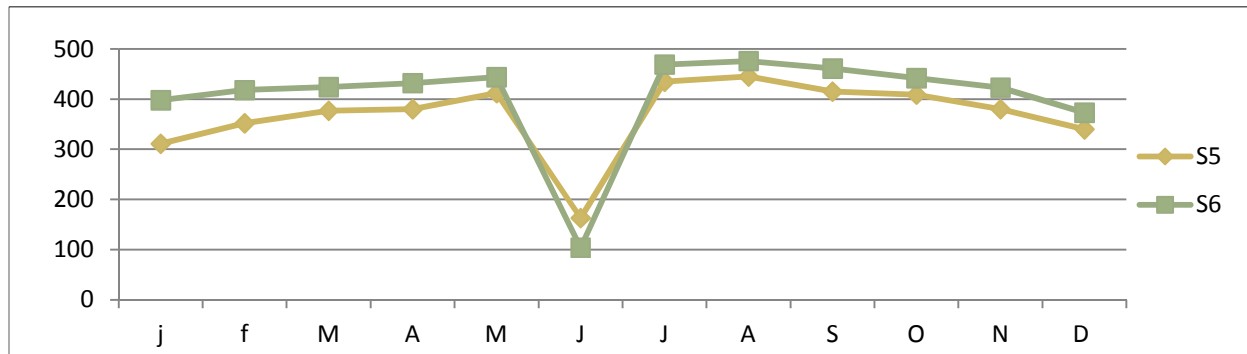
Les ions ( $Mg^{++}$ ) proviennent, comme les ions calcium, de la dissolution des formations carbonatées riches en magnésium (dolomite). Les ions  $Mg^{++}$  sont très solubles et donc largement représentés dans la plupart des eaux. Les roches cristallines libèrent du magnésium mais en quantité moindre que les roches sédimentaires. Il est à signaler aussi que la norme dit qu'en eau douce, les concentrations en magnésium sont inférieures au calcium et qu'en eau de mer, c'est le contraire. Cette remarque est relevée par nos résultats trouvés.

**Tableau 71:** Évolution spatiotemporelle du magnésium  $Mg^{++}$  de l'eau

$Mg^{++}$	J	f	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
S1	1.90	1.53	1.20	4.2	4.4	2.90	5.90	6.10	6.30	3.70	2.5	2.01
S2	1.1	1.9	1.02	4.1	3.5	3.70	3.60	5.00	5.20	4.80	3.40	1.92
S3	2.1	2.04	1.80	4.15	4.00	4.00	3.90	3.86	3.82	3.86	3.84	3.25
S4	1.90	1.85	1.4	4	3.9	3.01	3.85	3.76	3.71	3.76	3.74	2.89
S5	311	352	377	380	412	163	435	445	415	409	380	340
S6	398	418	424	432	444	104	469	476	461	442	423	373



**Fig.34:** Évolution spatiotemporelle du magnésium  $Mg^{++}$  de l'eau S1-S4



**Fig.35:** Évolution spatiotemporelle du magnésium Mg<sup>++</sup> de l'eau S5-S6

Selon les résultats obtenus, on relève que Les teneurs moyennes en Mg<sup>++</sup> relevées dans les eaux des six stations prospectées varient entre 3.14 mg/l au niveau du lac Oubeira et 405.33mg/l au niveau du lac El mellah.

Nous notons toutefois que les variations spatiotemporelles du Mg<sup>+2</sup> suivent la même évolution que le Ca<sup>+2</sup> dans les quatre stations du lac Oubeira et Tonga, elles sont basses en hiver (1.1 mg/l) puis remonte au printemps pour atteindre le maximum en été (6.30mg/l). De même pour lac El Mellah les teneurs en Mg<sup>++</sup> augmentent durant les mois de juillet aout et septembre, puis elles baissent a partir du mois de septembre. La différence par rapport au 4 premières stations, c'est que les teneurs en Mg<sup>++</sup> diminuent nettement durant le mois de juin.

**Tableau 72:** Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les six stations prospectées concernant les variations du Mg<sup>++</sup> de l'eau

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	5	2360828	472166	181.79	0.000***
Variation résiduelle	66	171424	2597		
Total	71	2532251			

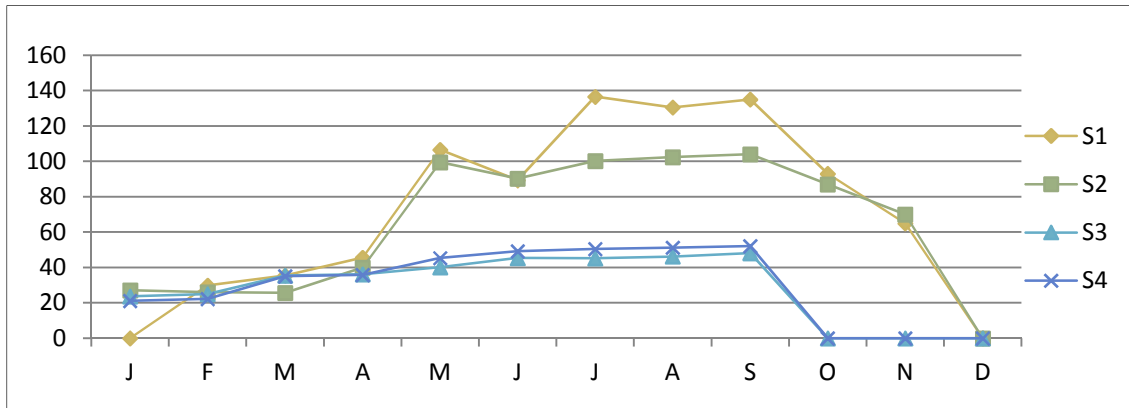
Selon la valeur de P résultante du test d'analyse de la variance, on peut conclure qu'ils existent des différences très hautement significatives entre les trois lacs concernant les variations de la teneur en magnésium de l'eau, Par contre dans les eaux des trois lacs les teneurs en Mg<sup>++</sup> ne présentent pas des différences significatives.

### 2.11.13. Chlorures Cl-

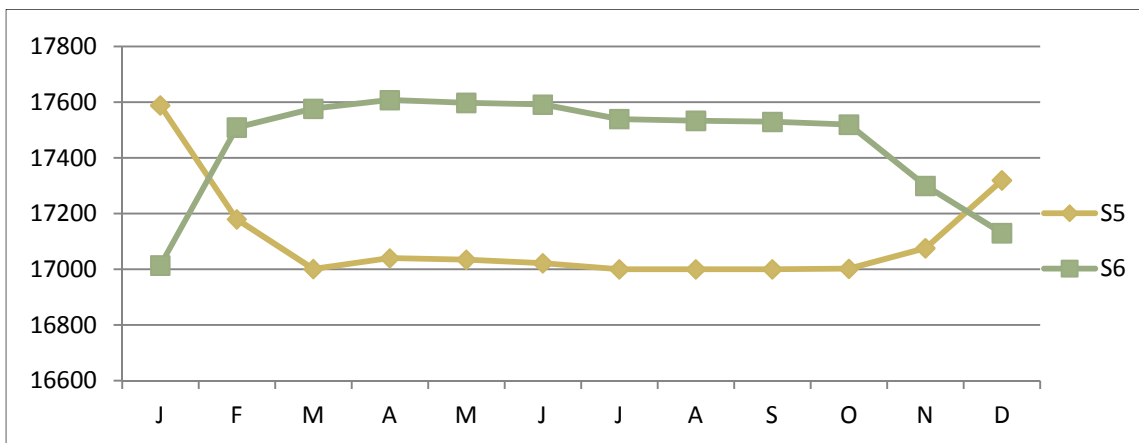
L'ion chlorure possède des caractéristiques différentes de celles des autres éléments, il n'est pas adsorbé par les formations géologiques, ne se combine pas facilement avec les éléments chimiques et reste très mobile. Il constitue un bon indicateur de la pollution (Gouaidia L, 2008). Les chlorures peuvent avoir plusieurs origines ; Les argiles sableuses gypsifères, Les dépôts évaporitiques, le déversement des eaux usées. Les chlorures largement répandus dans la nature, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl-) et de potassium (KCl-); ils représentent environ 0,05 % de la lithosphère Ce sont les océans qui contiennent la plus grande quantité de chlorures dans l'environnement. la norme de potabilité de l'OMS est fixée à 250 mg/l , OMS (1979).

**Tableau 73:** Évolution spatiotemporelle des chlorures  $Cl^-$  de l'eau

Cl-	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>S1</b>	32,3	29,8	35,5	45,55	106,5	89,3	136,5	130,5	135	93	65	45.75
<b>S2</b>	27,2	26,1	25,7	39,95	99,4	90,3	100,2	102,4	104	87	70	39.33
<b>S3</b>	23,65	24,98	35,5	36,15	40,13	45,33	45,21	46,21	48,1	48.12	46.60	35.65
<b>S4</b>	21,11	22,24	35,1	35,75	45,33	49,22	50,45	51,25	52,13	51.85	49.25	25.10
<b>S5</b>	17589	17180	17001	17040	17035	17022	17000	17000	17000	17002	17076	17320
<b>S6</b>	17014	17510	17577	17608	17598	17592	17540	17534	17530	17520	17300	17130



**Fig.36:** Évolution spatiotemporelle des chlorures  $Cl^-$  de l'eau S1-S4



**Fig.37:** Évolution spatiotemporelle des chlorures  $Cl^-$  de l'eau S5-S6

Selon les résultats obtenus, on constate que les teneurs moyennes en  $Cl^-$  varient entre 136 mg/l au niveau du lac Tonga (S1) et 17589 mg/l au niveau de la lagune El Mellah (S5). Les variations spatiotemporelles sont similaires dans 5 stations : S1, S2, S3, S4 et S6 où on observe que les teneurs en  $Cl^-$  augmentent durant l'été et diminuent durant l'hiver. Exception à la station 5 au niveau du lac El Mellah où les concentrations en chlorures diminuent en été et augmentent en hivers, et cela peut se traduire par les apports des eaux marines entrant par le biais du chenal communiquant avec la mer méditerranéenne.

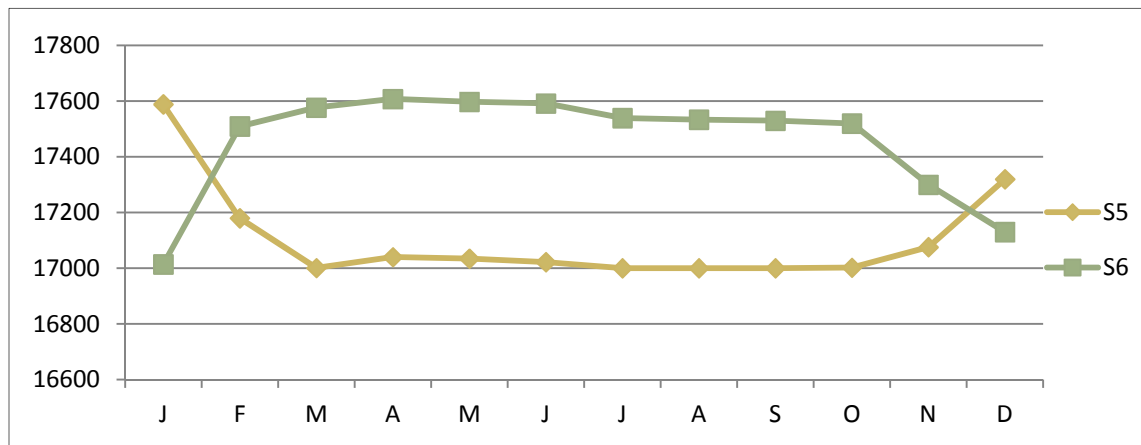


Fig.38: Évolution spatiotemporelle des chlorures cl- de l'eau S6

Tableau 74: Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les six stations prospectées concernant les variations du Cl- de l'eau

Source de variation	ddl	SCE	CM	F <sub>obs</sub>	P
Différences entre les stations	5	4746982142	949396428	74493	0.000***
Variation résiduelle	66	819152	12411		
Total	71	4747801294			

Selon la valeur de P résultante du test d'analyse de la variance, on peut conclure qu'ils existent des différences très hautement significatives entre les trois lacs concernant les variations de la teneur en chlorure de l'eau, même remarque est relevée au niveau du lac El-Mellah. Par contre dans les eaux du lac Tonga et Oubeira les teneurs en Cl- ne présente pas des différences significatives entre les stations.

### 3. Etude statistiques des paramètres physico-chimiques des eaux

La composition chimique des eaux est fonction de plusieurs facteurs naturels (la nature géologique des formations à travers lesquelles l'eau a circulé et a séjourné, les variations du climat) et anthropiques (les actions engendrées par l'être humains).

Dans le but de déterminer les paramètres pouvant influencer le comportement chimique des eaux superficielles dans le cadre de notre étude, nous avons utilisé l'analyse en composantes principales réalisée à l'aide du logiciel Statistica 10

### 4. Résultats de l'Analyse en composante principale

#### 4.1. Interprétation des résultats

Pour l'interprétation, de l'ACP, nous nous contenterons de l'analyse du cercle des corrélations ou cercle d'ACP. Ce cercle sert à mettre en évidence les différences dans les liens entre les différentes variables.

Le cercle des corrélations, correspond à une projection des variables initiales sur un plan à deux dimensions « les axes F1 et F2 », constitués par les deux premiers facteurs. Lorsque deux variables sont loin du centre du graphique, alors si elles sont : proches les unes par rapport aux autres, alors elles sont significativement et positivement corrélées ( $r$  proche de 1), orthogonales les unes par rapport aux autres, alors elles sont significativement non-corrélées ( $r$  proche de 0), symétriquement opposées par rapport au centre, alors elles sont significativement et négativement corrélées ( $r$  proche de -1).

Lorsque les variables sont relativement proches du centre du graphique, alors toute interprétation est hasardeuse, et il est nécessaire de se référer à la matrice de corrélations à d'autres plans factoriels pour interpréter les résultats.

#### 4.2. Matrice de corrélation

Le premier résultat intéressant dans l'analyse en composante principale est la matrice de corrélation. En effet le tableau de la matrice des corrélations donne les coefficients de corrélation linéaire « r » des variables prises deux à deux. C'est une succession d'analyses bi variées, constituant un premier pas vers l'analyse multi variée.

### 3. Résultats de L'ACP et matrice de Corrélat

#### 4. ion (station/station)

##### 5.1. Corrélations et ACP des paramètres physicochimique des eaux (station par station)

5.1.1. Les pompes (S1) : l'analyse réalisée porte sur 144 analyses (12 observation\*12 mois) et 13 variables.

##### 5.1.1.1. Matrice de corrélation des 13 variables au niveau des pompes (S1)

Tableau 75: Matrice de corrélation des 13 variables au niveau de la S1

Stations/ variables	S1 T	S1 PH	S1 OD	S1 MES	S1 CE	S1 DCO	S1 DBO	S1 TDS	S1 TH	S1 TAC	S1 CA <sup>++</sup>	S1 Mg <sup>++</sup>	S1 CL <sup>-</sup>
S1T°	1												
S1PH	<b>0,79</b>	1											
S1OD	0,24	0,09	1										
S1MES	-0,78	<b>-0,84</b>	<b>-0,37</b>	1									
S1CE	-0,29	-0,31	0,25	<b>0,25</b>	1								
S1DCO	<b>0,77</b>	0,61	0,16	<b>-0,63</b>	<b>-0,04</b>	1							
S1DBO	<b>0,71</b>	0,63	0,36	<b>-0,63</b>	<b>-0,25</b>	0,54	1						
S1TDS	<b>0,84</b>	0,87	0,39	<b>-0,94</b>	<b>-0,19</b>	0,74	0,76	1					
S1TH	<b>0,84</b>	0,82	0,48	<b>-0,87</b>	<b>-0,10</b>	0,71	0,77	0,96	1				
S1TAC	<b>0,71</b>	0,77	0,40	<b>-0,88</b>	<b>-0,06</b>	0,70	0,66	0,95	0,95	1			
S1CA <sup>++</sup>	<b>0,82</b>	0,89	0,48	<b>-0,92</b>	<b>-0,18</b>	0,67	0,73	0,97	0,96	0,91	1		
S1Mg <sup>++</sup>	<b>0,71</b>	0,67	0,31	<b>-0,76</b>	<b>-0,06</b>	0,73	0,74	0,89	0,91	0,94	0,82	1	
S1CL <sup>-</sup>	<b>0,83</b>	0,74	0,24	<b>-0,82</b>	<b>-0,38</b>	0,76	0,83	0,91	0,88	0,86	0,84	0,90	1



matrice de corrélation qui met en évidence une opposition entre les MES et tous les autres paramètres analysés.

Selon l'axe **F2** qui exprime 10.85% de la variance des données, on remarque une opposition entre les paramètres de conductivité et les autres paramètres analysés, cela est confirmé déjà par la matrice de corrélation qui met en évidence une opposition entre les MES et tous les autres paramètres analysés

**5.1.2. Embouchure d'Oued El Hout S2**

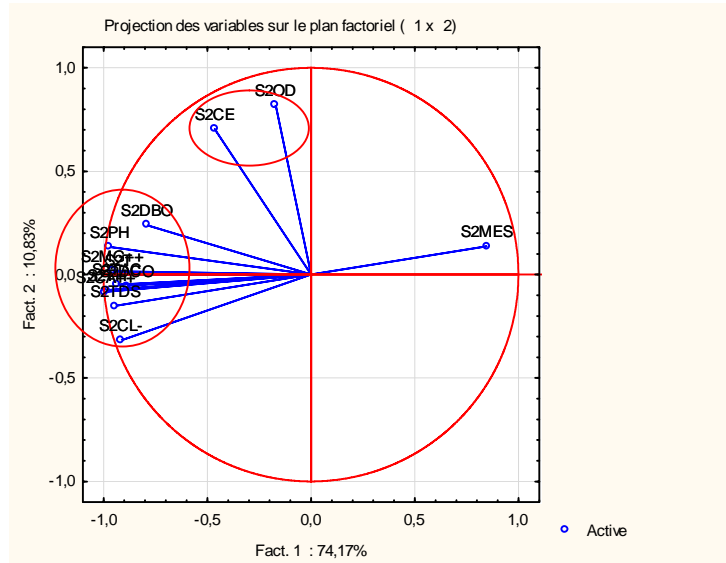
**5.1.2.1. Matrice de corrélation des 13 variables au niveau d'Oued El Hout**

*Tableau 76 : Matrice de corrélation des 13 variables au niveau de la S2*

Stations/ variables	S2 T	S2 pH	S2 OD	S2 MES	S2 CE	S2 DCO	S2 DBO	S2 TDS	S2 TH	S2 TAC	S2 CA++	S2 MG++	S2 CL-
S2T	1												
S2PH	0,86	1											
S2OD	0,23	0,30	1										
S2MES	-0,75	-0,85	-0,23	1									
S2CE	0,39	0,51	0,39	-0,14	1								
S2DCO	0,88	0,78	0,09	-0,63	0,37	1							
S2DBO	0,65	0,81	0,28	-0,54	0,45	0,69	1						
S2TDS	0,91	0,91	0,11	-0,86	0,28	0,79	0,69	1					
S2TH	0,88	0,92	0,06	-0,82	0,43	0,87	0,77	0,90	1				
S2TAC	0,83	0,88	0,04	-0,78	0,48	0,83	0,64	0,82	0,95	1			
S2CA++	0,92	0,93	0,08	-0,83	0,41	0,88	0,74	0,93	0,99	0,94	1		
S2MG++	0,82	0,92	0,04	-0,75	0,57	0,84	0,74	0,84	0,96	0,94	0,96	1	
S2CL-	0,87	0,87	-0,05	-0,83	0,16	0,80	0,66	0,96	0,88	0,81	0,90	0,82	1

On relève du tableau 71 une corrélation forte et positive entre (la température de l'eau, le pH) et les autres paramètres analysés. Sauf avec les matières en suspension la corrélation est forte mais négative avec un  $r (T/MES) = -0.75$  et  $r (pH/MES) = -0.85$ . C'est-à-dire plus la température de l'eau augmente plus la quantité des matières en suspensions est faible. Et plus le pH du milieu augmente plus la quantité en matière en suspension est faible. La DCO, la DBO5, le TDS, le TH, le TAC, le Ca++ et le Mg++ sont aussi fortement et positivement corrélé avec les autres paramètres, c'est-à-dire la relation est proportionnelle. Les faibles corrélations entre les paramètres, sont marquées par l'oxygène dissous et la conductivité électrique de l'eau. Cela est nettement clair dans le cercle de l'ACP2.

**5.1.2.2. Cercle de l'ACP2**



**Fig.40** : Projection des variables sur le plan 1-2 (ACP2)

L'analyse du cercle ACP2 formé par les deux axes F1F2 (Fig.40), permet de dégager deux principaux groupes de paramètres. Le premier groupe est constitué du pH, T, DCO, DBO5, TDS, Cl-, Mg<sup>++</sup>, Ca<sup>++</sup>, TH et TAC et le deuxième groupe de la CE et l'OD.

L'observation du cercle de l'ACP2 (fig. 40), montre que le facteur F1 exprime 74.17% de la variance des données et montre évolution inverse entre les matières en suspensions et les autres paramètres analysés. C'est-à-dire plus la teneur en MES est élevée dans le milieu plus la teneur des autres paramètres est faible. Cela est confirmé déjà par la matrice de corrélation qui met en évidence une opposition entre les MES et tout les autres paramètres analysés. La même remarque a été relevée au niveau de la station1.

L'axe **F2** qui exprime 10,83% de la variance des données. L'axe F2 met aussi une évolution inverse entre les matières en suspension et les autres variables analysées.

On relève de l'ACP1 et L'ACP2 que les deux paramètres température et pH jouent un rôle important dans le comportement des autres variables. C'est-à-dire la présence de la matière organique et les sels solides dans les eaux de surface est très liée au pH et à la T° du milieu.

On constate que la variabilité de la qualité des eaux superficielles à l'entrée et à la sortie du lac Tonga est fortement liée à la température et le ph du milieu.

Contrairement, la conductivité électrique et la quantité d'oxygène dissous n'influent pas aux mêmes degrés que la température et le pH sur la variabilité de la qualité des eaux superficielles du milieu.

*Donc la température de l'eau est un paramètre d'une importance majeure dans la vie des écosystèmes aquatiques.*

### 5.1.3. Embouchure d'oued Démet Rihana

#### 5.1.3.1. Matrice de corrélation des 13 variables au niveau de la S3

Tableau 77 : Matrice de corrélation des 13 variables au niveau de la S3

Stations variables	S3 T	S3 PH	S3 OD	S3 MES	S3 CE	S3 DCO	S3 DBO	S3 TDS	S3 TH	S3 TAC	S3 CA <sup>++</sup>	S3 Mg <sup>++</sup>	S3 CL-
S3T	1												
S3PH	0,79	1											
S3OD	-0,44	-0,57	1										
S3MES	0,70	0,58	-0,18	1									
S3CE	-0,72	-0,69	0,79	-0,57	1								
S3DCO	0,60	0,61	-0,62	0,02	-0,56	1							
S3DBO	0,85	0,88	-0,71	0,48	<b>-0,75</b>	0,80	1						
S3TDS	0,84	0,81	-0,74	0,49	<b>-0,91</b>	0,75	0,92	1					
S3TH	0,41	0,28	-0,25	0,22	-0,20	-0,01	0,23	0,22	1				
S3TAC	0,45	0,41	-0,29	0,30	-0,33	0,14	0,41	0,44	0,29	1			
S3CA <sup>++</sup>	-0,50	<b>-0,60</b>	0,93	-0,15	<b>0,85</b>	-0,74	-0,76	-0,84	-0,08	-0,16	1		
S3Mg <sup>++</sup>	0,70	0,67	-0,69	0,33	<b>-0,74</b>	0,63	0,77	0,84	0,25	0,79	-0,68	1	
S3CL-	0,84	0,78	-0,79	0,56	<b>-0,91</b>	0,75	0,927	0,96	0,22	0,36	-0,80	0,78	1

La température et le pH du milieu présentent de forte corrélation avec les autres paramètres analysés, sauf avec l'OD et le Ca<sup>++</sup> la corrélation est faible selon la valeur du Coefficient de corrélation.

L'oxygène dissous présente une forte corrélation avec les paramètres analysés sauf avec les MES, le TH, le TAC la corrélation est faible.

La CE présente de forte corrélation avec la DBO, le TDS, et les ions majeurs. La faible corrélation est apparente avec la DCO, le TH et le TAC.

La DCO est fortement corrélée avec la DBO, le TDS, et les ions majeurs. La faible corrélation est enregistrée avec le Th et le TAC.

La DBO est fortement corrélée avec le TDS, et les ions majeurs. La faible corrélation est enregistrée avec le Th et le TAC Les ions majeurs sont fortement corrélés entre eux. Les MES sont faiblement corrélées avec les autres paramètres analysés Le TH est faiblement corrélé avec les ions majeurs et le Tac.

5.1.3.2. Cercle de l'ACP3

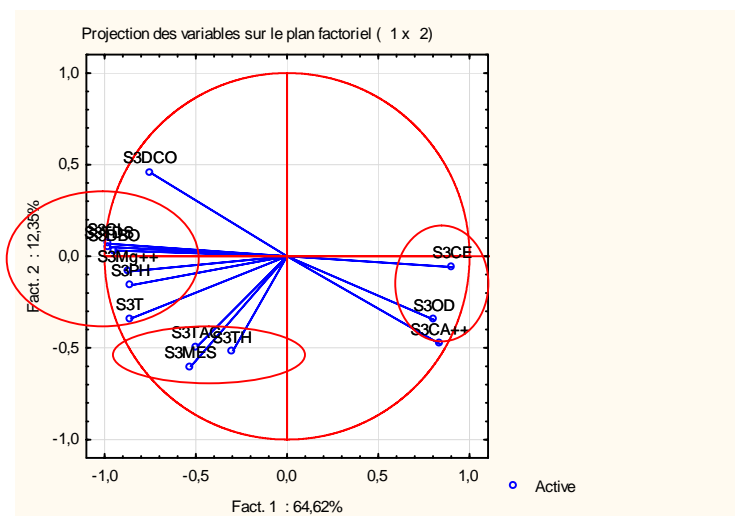


Fig.41 : Projection des variables sur le plan 1-2 (ACP3)

Selon le cercle de l'ACP3 (Fig.41) on observe que le facteur F1 exprime 64.62% de la variance des données et montre une évolution inverse entre les facteurs responsable de la pollution organique et les facteurs responsables de la pollution minérale représentée par (le taux des solides dissous et Ions majeurs).

Le facteur F2 exprime 12,35% de la variance des données. Et montre une évolution opposée entre ces groupes de variables (CE, Ca<sup>++</sup>, OD) et (DCO, DBO, Mg<sup>++</sup>, MES, pH, T°, TH, TAC, TSD).c'est à dire plus les paramètres du premier groupe sont élevés dans le milieu, plus les paramètres du deuxième groupe sont faibles.

#### 5.1.4. Embouchure d'oued Messida

##### 5.1.4.1. Matrice de corrélation des 13 variables au niveau de la S4

Tableau 78 : Matrice de corrélation des 13 variables au niveau de la S4

Stations variables	S4 T	S4 PH	S4 OD	S4 MES	S4 CE	S4 DCO	S4 DBO	S4 TDS	S4 TH	S4 TAC	S4 CA <sup>++</sup>	S4 Mg <sup>++</sup>	S4 CL <sup>-</sup>
S4T	1,												
S4PH	0,39	1											
S4OD	-0,22	-0,16	1										
S4MES	0,32	0,48	0,37	1									
S4CE	<b>-0,62</b>	<b>-0,07</b>	-0,08	-0,52	1								
S4DCO	<b>0,63</b>	<b>0,64</b>	<b>-0,63</b>	-0,10	0,01	1							
S4DBO	0,08	0,19	<b>-0,83</b>	-0,17	0,10	0,51	1						
S4TDS	<b>0,81</b>	0,43	<b>-0,50</b>	0,24	-0,25	<b>0,77</b>	0,50	1					
S4TH	<b>0,74</b>	<b>0,56</b>	<b>-0,54</b>	0,15	-0,41	<b>0,78</b>	0,46	<b>0,77</b>	1				
S4TAC	<b>0,63</b>	<b>0,50</b>	<b>-0,52</b>	0,09	-0,48	<b>0,67</b>	0,45	<b>0,61</b>	<b>0,93</b>	1			
S4CA <sup>++</sup>	0,05	0,19	0,23	0,11	-0,46	-0,11	-0,43	-0,40	-0,07	0,13	1,		
S4Mg <sup>++</sup>	<b>0,61</b>	<b>0,59</b>	-0,53	0,17	-0,23	<b>0,78</b>	0,51	<b>0,78</b>	<b>0,95</b>	<b>0,87</b>	-0,23	1	
S4CL <sup>-</sup>	<b>0,90</b>	0,47	-0,41	0,27	-0,40	<b>0,77</b>	0,33	<b>0,95</b>	<b>0,76</b>	<b>0,63</b>	-0,15	<b>0,73</b>	1

Le tableau 78 permet de dégager les corrélations suivantes : La température au niveau de la station S4 est fortement corrélée avec la DCO, le TDS, le TH, le TAC, le Mg<sup>++</sup>, et le Cl<sup>-</sup> et inversement corrélée avec la CE. Elle est faiblement corrélée avec le reste des variables.

Le pH est fortement corrélé avec la DCO et le Mg<sup>++</sup>. Mais il est faiblement corrélé avec les autres paramètres.

L'OD est inversement corrélé à la DCO et la DBO, et faiblement corrélé avec les autres paramètres.

La DCO est fortement corrélée avec le TDS, le TH, le TAC, le Mg<sup>++</sup> et le Cl<sup>-</sup> par contre faiblement corrélée avec la DBO et le Ca<sup>++</sup>.

La DBO est faiblement corrélé avec le TDS, le TH, le TAC, le Mg<sup>++</sup>, le Ca<sup>++</sup> et le Cl<sup>-</sup>.

Le TDS est fortement t corrélé avec le TH, le TAC, et le Mg<sup>++</sup> et le Cl<sup>-</sup>.

Le TH est fortement corrélé avec le TAC, le Mg<sup>++</sup> et le Cl<sup>-</sup>.

Le TAC est fortement corrélé avec le  $Mg^{+2}$  et le  $Cl^-$ . Le  $Mg^{++}$  est fortement corrélé avec le  $Cl^-$ .

On relève aussi, le  $Ca^{+2}$  est faiblement corrélé avec les autres paramètres analysés.

#### 5.1.4.2. Cercle de l'ACP4

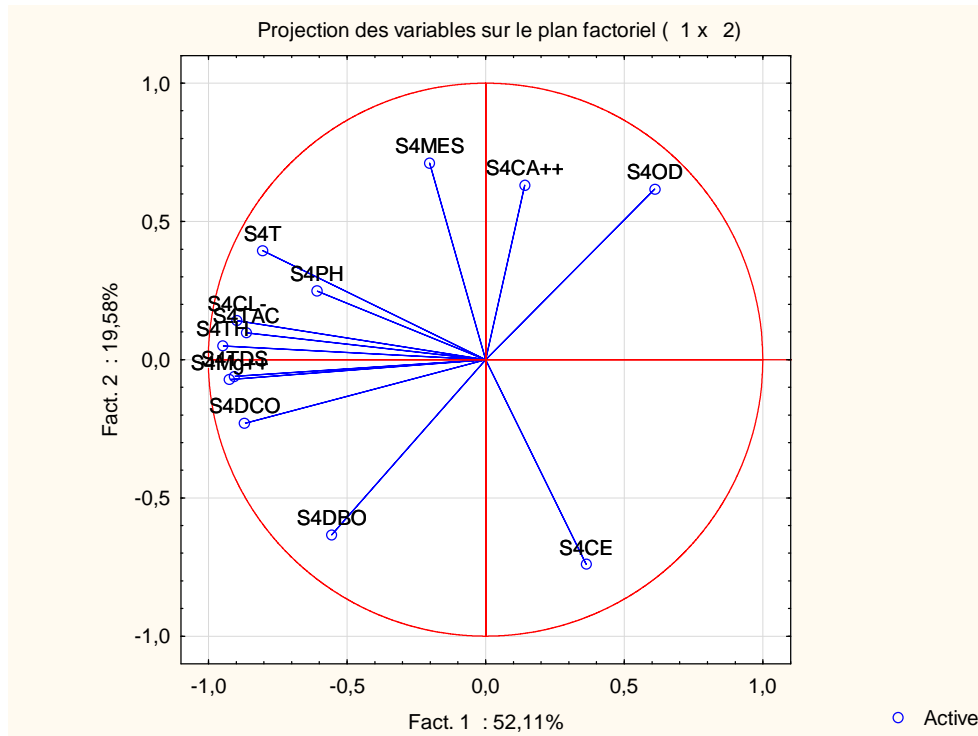


Fig.42 : Projection des variables sur le plan 1-2 (ACP4)

Le cercle de l'ACP4 Fig.42 ou espace des variables montre que le facteur F1 exprime 52,11% de la variance des données et une évolution inverse entre ces deux groupes de variables ( MES, T, pH, Cl, TAC, TH, TDS, Ca, OD) et ( Mg, DCO, DBO5, CE).

Le facteur 2 exprime 19,58% de la variance des données et montre une évolution inverse entre le groupe (Ca, OD) et (MES, T, pH, Cl, TAC, TH) et entre la CE et le groupe (DBO5, DCO, Mg, TDS).

On relève de l'ACP3 et ACP4, l'existence d'une relation inverse entre les éléments indicateurs de la pollution organique et les éléments indicateurs de la pollution minérale.

#### 5.1.5. Embouchure d'oued R'Guibet

##### 5.1.5.1. Matrice de corrélation des 13 variables au niveau de la S5

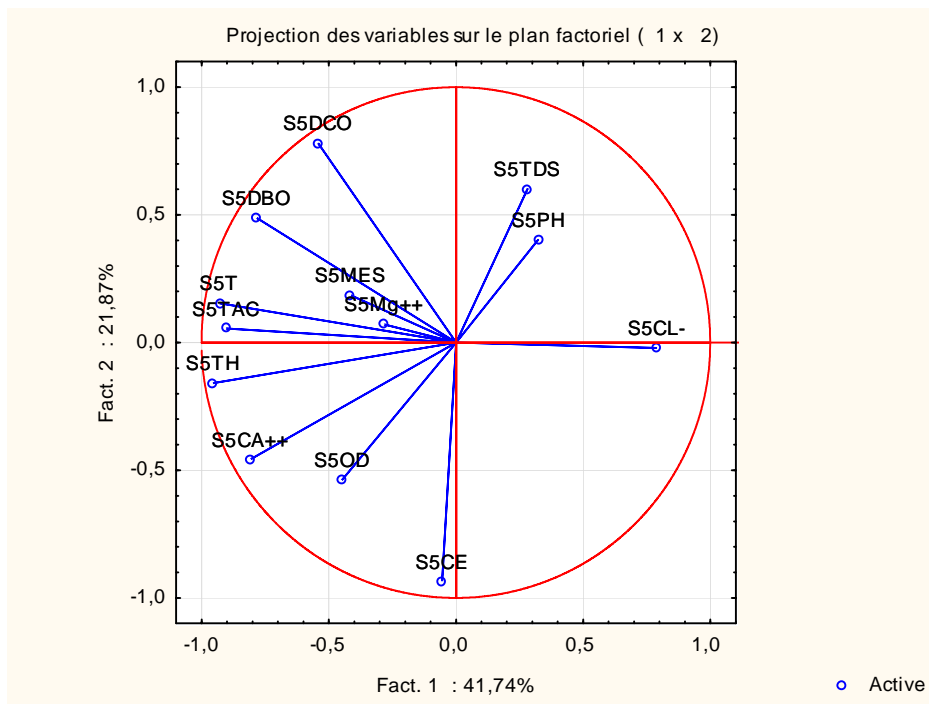
**Tableau 79: Matrice de corrélation des 13 variables au niveau de la S5**

Stations variables	S5 T	S5 PH	S5 OD	S5 MES	S5 CE	S5 DCO	S5 DBO	S5 TDS	S5 TH	S5 TAC	S5 CA <sup>++</sup>	S5 Mg <sup>++</sup>	S5 CL <sup>-</sup>
S5T	1												
S5PH	-0,14	1											
S5OD	0,27	<b>-0,93</b>	1										
S5MES	0,26	0,10	0,01	1									
S5CE	-0,04	-0,13	0,34	-0,06	1								
S5DCO	<b>0,61</b>	0,01	-0,06	0,29	-0,47	1							
S5DBO	<b>0,82</b>	-0,14	0,15	0,36	-0,40	<b>0,75</b>	1						
S5TDS	-0,25	0,02	-0,17	0,06	<b>0,70</b>	0,25	0,16	1					
S5TH	<b>0,86</b>	-0,21	0,39	0,40	<b>0,75</b>	0,36	<b>0,63</b>	-0,36	1				
S5TAC	<b>0,87</b>	-0,23	0,34	<b>0,59</b>	0,01	0,50	<b>0,73</b>	-0,28	<b>0,82</b>	1			
S5CA <sup>++</sup>	<b>0,64</b>	-0,32	0,50	0,35	0,54	-0,00	0,41	-0,35	<b>0,91</b>	<b>0,67</b>	1		
S5Mg <sup>++</sup>	<b>0,41</b>	-0,19	0,10	<b>-0,66</b>	-0,13	0,27	0,27	-0,10	0,24	0,06	0,12	1	
S5CL <sup>-</sup>	<b>-0,68</b>	0,078	-0,18	-0,19	-0,02	-0,49	-0,50	0,33	<b>-0,82</b>	-0,54	<b>-0,65</b>	-0,31	1

Par rapport aux matrices de corrélation au niveau des eaux douces du lac Tonga et Oubeira, les paramètres sont faiblement corrélés entre eux au niveau des eaux du lac Mellah.

En effet, Il existe 19 coefficients de corrélation forte sur 91 coefficients de corrélation, donc 72 coefficients de corrélation faible caractérisent cette matrice « tableau 79 ».

**5.1.5.2.Cercle de l'ACP5**



**Fig.43 : Projection des variables sur le plan 1-2 (ACP5)**

Le cercle de l'ACP5 « Fig.43 », présente selon l'axe 1 une variation de 41, 74%, cet axe présente une relation forte avec les paramètres suivants Cl, TH, Ca, TAC, T, DBO5. L'axe 2 présente 21,87% de la variation des données, il présente une corrélation forte et positive avec la DCO et le TDS et une forte corrélation négative avec la CE,

**5.1.6. Embouchure d'oued Mellah et oued Boularoug au sud ouest**

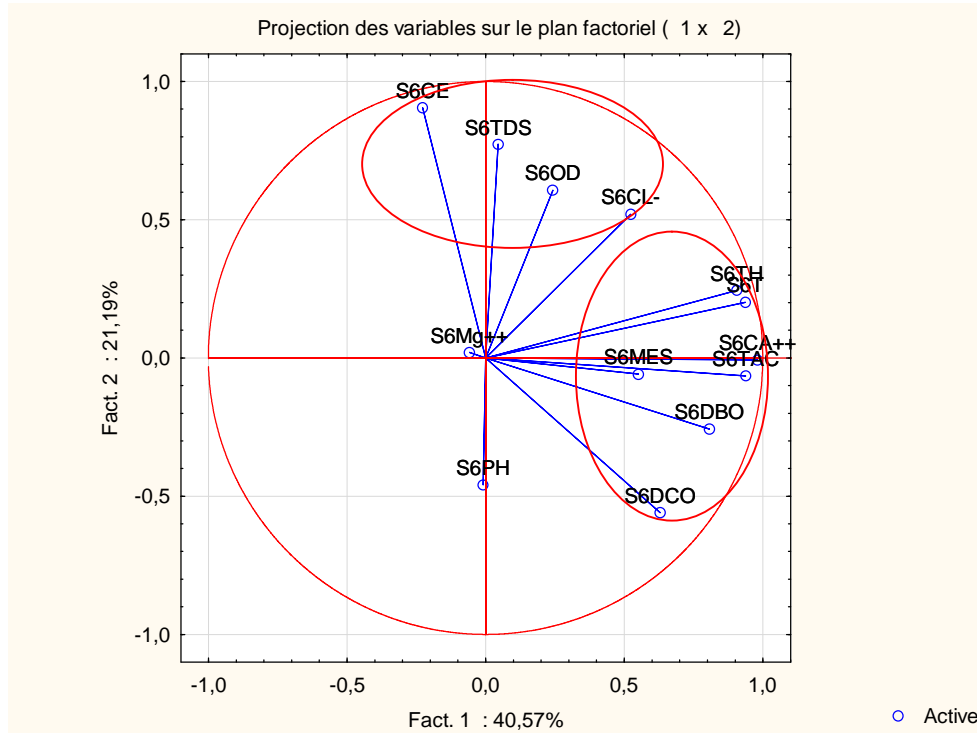
**5.1.6.1. Matrice de corrélation des 13 variables au niveau de la S6**

*Tableau 80 : Matrice de corrélation des 13 variables au niveau de la S6*

stations variables	S6 T	S6 PH	S6 OD	S6 MES	S6 CE	S6 DCO	S6 DBO	S6 TDS	S6 TH	S6 TAC	S6 CA <sup>++</sup>	S6 Mg <sup>++</sup>	S6 CL <sup>-</sup>
S6T	1												
S6PH	-0,07	1											
S6OD	0,32	-0,83	1										
S6MES	0,30	0,23	0,02	1									
S6CE	-0,01	-0,12	0,25	-0,10	1								
S6DCO	0,52	0,18	-0,13	0,17	-0,45	1							
S6DBO	0,74	-0,00	0,13	0,30	-0,42	0,67	1						
S6TDS	0,23	-0,04	0,28	0,04	<b>0,84</b>	-0,26	-0,05	1					
S6TH	0,92	-0,01	0,23	0,43	0,04	0,34	0,59	0,14	1				
S6TAC	0,83	-0,06	0,28	0,65	-0,31	0,57	0,74	-0,01	0,77	1,			
S6CA <sup>++</sup>	0,92	0,04	0,15	0,50	-0,21	0,59	0,76	0,02	0,93	0,88	1		
S6Mg <sup>++</sup>	0,17	-0,18	-0,01	-0,79	-0,02	0,10	0,08	-0,05	0,06	-0,24	0,04	1	
S6CL <sup>-</sup>	0,56	-0,02	0,17	0,24	0,40	0,04	0,07	0,28	0,70	0,34	0,56	-0,00	1

En effet, Il existe 19 coefficients de corrélation forte sur 91 coefficients de corrélation, donc 72 coefficients de corrélation faible caractérisent cette matrice « tableau 80 », ce qui explique la faible corrélation entre les différents paramètres analysés au niveau des eaux du lac Mellah. Cela peut traduire aussi les forts changements physicochimiques qui touchent la qualité des eaux du lac Mellah.

**5.1.6.2. Cercle de l'ACP6**



**Fig.44:** Projection des variables sur le plan 1-2 (ACP6)

Dans le cercle de corrélation de l'ACP 6 « fig.44 », l'axe F1 montre 40,57% de la variance des données avec une opposition entre ces deux groupes de variables (MES, DBO, DCO, TAC) et (Ca, TH, Cl, OD, TDS).

L'axe F2 montre 21,19% de la variance des données et montre aussi une forte corrélation avec l'OD, la CE et le TDS. Il est très faiblement corrélé avec le reste des paramètres.

## **6. Bilan générale de la qualité hydrochimique des eaux superficielles de la zone d'étude**

Les conclusions retenues au terme de la première partie du Chapitre III, nous ont permis d'établir un premier constat de la qualité des eaux superficielles des trois lac Tonga, Oubeira, El Mellah dans le temps et dans l'espace, à travers les résultats d'analyses physico-chimiques obtenues et traités précédemment.

### **6.1. Bilan des paramètres de qualité hydrochimique des eaux superficielles de la zone d'étude**

En effet, l'évolution spatiotemporelle des paramètres physico-chimiques varie d'une station à l'autre, ces variations reflètent bien l'état réel et la nature des eaux douces et saumâtres des zones humides de la région d'El-Kala. Ces variations sont confirmées par les résultats de l'analyse de la variance à un facteur de classification des paramètres physico-chimiques au niveau des six stations prospectées (voir tableaux d'analyse de la variance). Ces variations reviennent à la localisation des stations étudiées qui sont influencées par les apports et les pertes d'eau douces et salines : comme pour les stations d'Oubeira, au sud sont influencées par les apports d'oued Messida et même oued El Kebir lors des crues et par les apports de oued Démet El Rihana au nord. Les apports d'eau sont assurés aussi par les précipitations, par les eaux souterraines, par le flux des nappes ou celui des débits d'étiage. Par contre les pertes d'eau résultent de l'évapotranspiration réelle au dessus du plan d'eau, de l'écoulement vers la mer, des prélèvements pour l'irrigation effectués par les agriculteurs MPRH, ONDPA (2004).

Pour les stations du lac Mellah les apports des eaux sont de deux types : marines à travers l'embouchure et douces par les précipitations et les cours d'eau notamment oued Boularoug, oued Mellah et oued R'kibet au nord-ouest.

Pour les stations du lac Tonga les apports d'eau sont assurés par un régime d'écoulement pérenne pour : oued Messida (exutoire du bassin versant vers la mer), oued El Eurg (qui draine la partie nord-est) et par un régime d'écoulements temporaires pour d'autres cours d'eau, les apports d'eau sont assurées aussi par les précipitations, car l'apport annuel moyen en eau de précipitation directement sur le plan d'eau et de l'ordre de 584 mm /an (*année 2010*). Les pertes d'eau au niveau de lac Tonga résultent de : l'écoulement des eaux souterraines des nappes aquifères situées à sa périphérie : le volume de l'eau souterraine qui rejoint le lac sous forme de débit d'étiage continu moyen qui est de l'ordre de 0,072 Hm<sup>3</sup>/an, de l'évapotranspiration réelle au dessus du plan d'eau, de l'écoulement vers la mer, des prélèvements d'eau effectués par les agriculteurs pour l'irrigation. En plus, le caractère endoréique du lac Tonga l'expose à des variations sensibles de son volume et de sa surface en eau. L'intense évaporation estivale peut retirer un volume d'eau important, supérieur à 50% du volume maximal.

Suite aux résultats de l'analyse de la variance à un facteur de comparaison « stations », on constate que seulement la T°, le pH, l'OD, les MES et la DCO qui ne représente pas des différences significatives au niveau des trois lacs, c'est-à-dire les variations de ces paramètres sont similaires au niveau des six stations prospectées. Par contre les autres paramètres «CE,

DBO<sub>5</sub>, TDS, TH, TAC, Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, Cl<sup>-</sup> » présentent des différences significatives à très hautement significatives entre les six stations étudiées. Cela explique une forte différence dans l'évolution de ces paramètres au niveau des eaux des trois lacs. La plupart de ces paramètres sont responsables de la minéralisation des eaux, particulièrement la conductivité électrique et les sels minéraux dissous qui sont de bons conducteurs du courant électrique contrairement aux composés organiques qui sont de mauvais conducteurs. Généralement plus la teneur en sels minéraux est élevée plus la conductivité électrique est élevée. Selon les normes, la conductivité d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 1500 mS/cm. Cela reflète l'état des eaux superficielles du lac Tonga et Oubeira, par contre au niveau des eaux d'El-Mellah, la conductivité est bien supérieure à la norme à cause des fortes teneurs en chlorures qui résultent de la relation directe de ce site avec la mer et certainement aussi aux ions de sulfates dont l'origine géochimique est causée par le phénomène d'érosion qui est responsable de la dissolution du gypse et des sulfures, El-Mohrit (2005), présents dans le sédiment purement sablonneux du lac El-Mellah.

Généralement ces variations reviennent aux variations de la température de l'eau « période de crue et période d'étiage », « précipitations et évapotranspirations », Les fluctuations de ce paramètre « température », d'une part, sont en relation avec les conditions climatiques locales et plus particulièrement avec la température de l'air et les phénomènes d'évaporation d'eau qui en résultent quand cette dernière augmente, et d'autre part de la faible inertie thermique des eaux. Par exemple, les eaux du lac El Mellah sont très sensibles aux variations extérieures du degré thermique en raison de la faible profondeur de la colonne d'eau, comme l'avait déjà signalé Drardja (2007) qui a déjà étudié la lagune. Cette situation est propre à plusieurs milieux lagunaires méditerranéens, Boutière *et al.* (1981), Semroud (1983), Arfi (1991). Les variations de la température influencent aussi sur la biologie lagunaire et exercent une forme de sélection des espèces, certaines populations hivernales disparaissent souvent en été Nuccio *et al.* (2003) ; Bianchi *et al.* (1995) ; Bernardy Aubry et Acri (2004). Aussi des mortalités massives de bivalves d'élevage peuvent aussi survenir à la suite d'un réchauffement exagéré durant l'été (remarque personnelle été 2006).

La température de l'eau qui est sous l'effet de la température de l'air, ont un impact sur les variations spatiotemporelles des différents paramètres analysés notamment les matières en suspensions, les ions majeurs, la conductivité électrique, la demande chimique en oxygène, la demande biochimique en oxygène, l'oxygène dissous et le potentiel d'hydrogène et cela au niveau des six stations prospectées. Résultat confirmé par les matrices de corrélation et l'analyse en composante principale réalisés dans cette étude sur les différents paramètres physico-chimiques analysés.

Par exemple au niveau du lac El Mellah, dès le mois de septembre, les eaux commencent à se refroidir et reçoivent les apports continentaux, entraînant une oxygénation supplémentaire constatée par l'augmentation des teneurs en oxygène dissous jusqu'à 11 mg/l. D'autre part l'oxygénation des eaux du lac El Mellah serait liée à l'intensité hydrodynamique de la colonne d'eau soumise aux courants de flot et de jusant d'une part et à la proximité des

eaux marines contigües mouvantes et chargées en oxygène dissous d'autre part, surtout que la circulation des eaux de surface du lac s'effectue en une lente rotation périphérique dans le sens des aiguilles d'une montre (Guelorget *et al*, 1989).

Toujours au niveau du lac El Mellah, on remarque que durant la période des hautes eaux les eaux apparaissent plus chargées en matières en suspensions atteignant des teneurs maximales de 170 et 160 mg/l d'oxygène dissous, respectivement au niveau des stations S6 et S5. Par contre durant la période des basses eaux, des teneurs minimales sont enregistrées, atteignant 10 mg/l durant le mois de juillet au niveau de la station de oued R'guibet. Les teneurs les plus élevées sont relevées au niveau de la station S6 qui se trouve sous l'effet des déversements d'oued El Mellah et Oued Boularoug et aussi sous l'effet des apports d'eaux marines voire aussi le lessivage des sols par les eaux pluviales.

Les variations des matières en suspension au niveau des eaux du Tonga et d'Oubeira sont similaires, car les fortes teneurs au niveau de ces deux lacs sont relevées durant la période humide allant jusqu'à 100mg/l et les faibles teneurs sont relevées durant la période sèche atteignant 9,5mg /l d'oxygène dissous.

Il est à noter que la quantité de matières en suspension varie selon les saisons et le régime d'écoulement des eaux. Ces matières affectent la transparence de l'eau et diminuent la pénétration de la lumière et par suite la photosynthèse, elles peuvent également gêner la respiration des poissons.

Il est à noter que les matières en suspensions composées de matières organiques et matières minérales, accumulent tout ce qui est toxique dans le milieu particulièrement les métaux lourds et les pesticides. Donc les matières en suspension sont responsables en grande partie de la pollution des eaux et constitue un élément important dans la caractérisation de la qualité du milieu aquatique.

Les indices de pollution organique : demande chimique en oxygène et demande biochimique en oxygène donnent une idée sur la charge organique existante dans les lacs. Il s'agit donc de deux paramètres permettant de caractériser la pollution globale d'une eau par des composés organiques.

Dans notre étude, le profil spatial de la charge organique est inversement proportionnel à celui de l'oxygène dissous. Les valeurs importantes de la DCO et la DBO5 enregistrées dans les six stations prospectées traduisent une forte concentration en composés organiques dans le milieu. Par contre le profil temporel montre une charge organique importante durant l'été et cela au niveau des trois lacs. La remise en suspension des éléments décantables sous l'action du brassage, peut contribuer à l'accroissement des valeurs de la DCO.

Dans notre étude on note aussi, que, plus la quantité de la charge organique est élevée, plus la teneur en *oxygène dissous* est faible, généralement les teneurs moyennes en oxygène

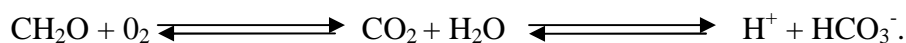
dissous au niveau des six stations prospectées, sont comprises entre 7.95mg/l et 10.57 mg/l (valeurs qui indique une eutrophisation du milieu c'est-à-dire photosynthèse intense) et celles de la demande chimique et biochimique de l'oxygène sont plus élevées et sont DCO et DBO élevées contre des teneurs en OD faibles ».

## 6.2. Structure et comportement hydrochimique des eaux superficielles de la zone d'étude

Afin de comprendre les mécanismes qui gouvernent le comportement hydrochimique des eaux superficielles de la zone d'étude, les différents résultats d'analyse des paramètres physico-chimiques ont été soumis à une *analyse en composante principale*. Cette analyse nous a permis d'arriver aux conclusions suivantes :

Selon les matrices de corrélation obtenues au niveau des six stations étudiées, on relève que la température de l'eau est fortement corrélée avec les autres paramètres physicochimiques analysés, surtout au niveau des eaux des lacs Tonga et Oubeira. Ils existent des coefficients de corrélation allant jusqu'à 0.94. Ce qui explique une forte relation de la température de l'eau avec le comportement physico- chimique des eaux ; Selon *Drardja (2007)*, dans les milieux aquatiques « étangs et lagunes », la température est un facteur écologique qui conditionne la répartition des organismes aquatiques. En effet, elle revêt une importance capitale directement dans l'activité métabolique des organismes ou indirectement en modifiant les facteurs écologiques du milieu et par conséquent leur répartition biogéographique. En Littérature, l'activité des organismes aquatique est accélérée lorsque la température de l'eau s'accroît. La température joue un rôle important en ce qui concerne la solubilité des sels et des gaz, particulièrement l'oxygène nécessaire à l'équilibre de la vie aquatique.

Un autre paramètre joue aussi un rôle important dans l'évolution des autres paramètres physico-chimique c'est le potentiel d'hydrogène « pH », cette remarque est basée sur les matrices de corrélation et les analyses en composantes principales. Dans notre étude, le pH des eaux varient entre 3.7 et 8.6. Le pH représente l'intensité de l'acidité ou de l'alcalinité et mesure la concentration en ions hydronium dans l'eau. L'intervalle de valeurs de pH recommandé par l'organisation mondiale de la santé est entre 6.5 à 8.5. Le pH des eaux analysées est parfois plus petit que la limite inférieure, cela est constaté dans les eaux lagunaires d'El Mellah ; Ce qui montre le caractère acide de ces eaux. Cette acidité proviendrait de la décomposition de la matière organique animale et végétale. La minéralisation de la matière organique présente dans le milieu lagunaire, sous l'action de l'oxygène dégage le dioxyde de carbone lequel se dissout dans l'eau pour former l'acide carbonique qui augmente l'acidité du milieu suivant la réaction ci-dessous, (Gotherman, 1995).



Les eaux lagunaires montrent un pH très variable cela est en relation avec les fluctuations de la salinité qui suivent généralement le cycle marégraphique (El-Mohrit, 2005). Le pH est

généralement de l'ordre de 8 au niveau des eaux lagunaires étudiées, cela est dû au système tampon développé par les carbonates et les bicarbonates chargés beaucoup plus par les eaux marines. Le même résultat a été constaté par El Mohrit *et al*, (2005), qui ont montré que le pH des eaux du bas Loukos au Maroc est alcalin, cette alcalinité est en rapport avec les fluctuations de la salinité qui suivent le cycle marégraphique. car généralement les eaux océaniques sont chargées par les carbonates et les bicarbonates, Jadal (2002), El Blidi & Fekhaoui (2003), Himmi *et al* (2003).

Contrairement, les éléments de minéralisation, la conductivité électrique et l'oxygène dissous n'influent pas aux mêmes degrés que la température et le pH sur la variabilité de la qualité des eaux superficielles du milieu. Donc la température et le pH de l'eau sont deux paramètres d'une importance majeure dans le comportement des eaux de surface.

L'analyse en composante principale révèle aussi, l'existence d'une relation inverse entre les éléments indicateurs de la pollution organique « DCO, DBO<sub>5</sub> » et les éléments indicateurs de la pollution minérale « conductivité électrique et oxygène dissous ». Cette relation caractérise les eaux douces du lac Tonga. Par contre au niveau des eaux du lac Oubeira, et les eaux du lac Mellah, ces paramètres, présentent une relation inversement proportionnelle.

Il est à noter, qu'au niveau des eaux d'El Mellah, Il existe 19 coefficients de corrélation forte sur 91 coefficients de corrélation, donc il existe, 72 coefficients de corrélation faible (tableau.73). Ce qui explique la faible corrélation entre les différents paramètres analysés au niveau des eaux d'El-Mellah. Cela peut traduire les fortes fluctuations physicochimiques qui touchent la qualité des eaux de ce plan d'eau. Cela revient aussi à la diversité des apports:

- Apports d'eaux douces par les principaux oueds communicants avec le lac et
- Apports des eaux marines par l'embouchure du lac avec la mer méditerranéenne.

En effet la complexité, des zones humides du complexe lacustre du PNEK, rend l'interprétation des résultats d'analyse des paramètres physico-chimiques plus difficiles. Néanmoins, nous avons essayé d'élaborer les principales *caractéristiques du fonctionnement de ce système lacustre* en fonction des paramètres physico-chimiques des eaux superficielles de la zone d'étude.

Sur le plan temporel, *les teneurs en matières en suspension* dépendent en générale des variations saisonnières « période de crue et période d'étiage ». Par ailleurs, sur le plan spatial, les eaux lagunaires sont plus riches en matières en suspension que les eaux douces.

La minéralisation des eaux superficielles estimée par la mesure de la conductivité électrique permet de dégager deux types d'influence. Une influence terrestre due à la nature des sols et des sédiments et, une influence marine due à l'augmentation des sels minéraux dissous ou ions majeurs surtout les chlorure et les sulfates et le calcium.

Toujours sur le plan spatial, les paramètres de la pollution organique DCO et DBO<sub>5</sub> reflètent la charge organique présente dans le milieu lacustre. La DCO et la DBO<sub>5</sub> enregistrées dans les

eaux des six stations prospectées traduit une forte concentration en composés organiques. Cette situation pourrait être expliquée par certains phénomènes comme, le piégeage, la décantation et le stockage des polluants au niveau des sédiments, sans négliger les phénomènes de bioaccumulation par la faune et la flore. Généralement, le profil spatial de la charge organique est inversement proportionnel à celui de l'oxygène dissous.

Les *valeurs moyennes du pH* enregistrées au niveau des six stations prospectées, présentent des pH proches de la neutralité voire même légèrement alcalins, cela est dû à l'équilibre établi entre les différentes formes de l'acide carbonique. Des valeurs minimales du pH en dessous de la norme, sont enregistrées au niveau des stations S5 et S6 du lac El-Mellah. Au niveau du Tonga et Oubeira, le pH est normal. Il est à noter qu'un pH faible augmente le risque de présence des métaux lourds sous une forme ionique plus toxique. Un milieu acide favorise l'adsorption des métaux lourds.

Les indices de la pollution organique, matière organique et oxygène dissous donnent une idée sur la charge organique rejetée. En effet, la quantité de la matière organique dans le milieu étudié est inversement proportionnelle à celui de l'oxygène dissous.

## **7. Conclusion**

Les conclusions relevées au terme de la première partie du troisième chapitre, permettent de dégager un premier constat sur la qualité des eaux superficielles des six stations prospectées par le suivi et l'analyse spatiotemporelle de plusieurs paramètres physicochimiques.

En effet, selon l'analyse de la variance, il existe une variation significative entre les paramètres analysés au niveau des six stations prospectées. Ces variations sont confirmées par les résultats de l'analyse de la variance à un facteur de classification. Ces variations sont relatives à la localisation des stations étudiées qui sont influencées par les apports et les pertes d'eau douces et salines et aux fluctuations saisonnières des paramètres physico-chimiques.

Les résultats de la température font apparaître l'existence de deux périodes : l'une froide et l'autre chaude. La différence entre le mois le plus chaud (Aout) et le mois le plus froid (Janvier) est de 20°C. Cet écart est le reflet du caractère méditerranéen de la région où les contrastes entre la saison froide et la saison chaude sont très marqués.

Le diagnostic des paramètres de la pollution organique DCO et DBO<sub>5</sub>, montre une charge importante de la matière organique surtout durant la saison des basses eaux et au niveau des stations sud où la charge est plus importante et selon les normes admises dans le cadre de cette étude, les eaux des trois lacs sont polluées par la matière organique.

La minéralisation des eaux caractérise les eaux salées du lac El Mellah, vu les fortes teneurs en magnésium, en calcium et en chlorures et par conséquent de fortes conductivités électriques des eaux. Cette forte minéralisation, revient aux apports des eaux marines riches en sels minéraux à travers l'embouchure.

Les résultats obtenus montrent que les teneurs en MES dépendent en générale des variations saisonnières « période de crue et période d'étiage», et sur le plan spatial, les eaux salées du lac Mellah, sont plus riches en matières en suspension que les eaux douces. Ces fortes teneurs sont associées aux apports des eaux marines chargées par divers particules en suspension, à travers l'embouchure du lac El-Mellah surtout en période de crues et particulièrement durant le mois de janvier et donc liées à l'hydrodynamisme.

Les paramètres physico-chimiques soumis à l'analyse en composante principale permettent de cerner une forte corrélation de la température de l'eau et du potentiel d'hydrogène avec le reste des paramètres analysés.

On relève aussi que les paramètres physico-chimiques sont faiblement corrélés entre eux dans les eaux salées et fortement corrélés au niveau des eaux douces. Probablement cela est lié à la double influence qui touche la lagune El Mellah.

A partir des résultats obtenus dans cette première partie, nous seront amenés à déterminer et évaluer la contamination des eaux superficielles par les métaux lourds de la zone d'étude, traitée et présentée dans la deuxième partie du chapitre III.

***Résultats & Discussion***  
***Deuxième Partie***

## CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

### Deuxième partie : La contamination métallique des eaux superficielles

#### 1. Introduction

La deuxième partie de notre étude est consacrées à l'analyse des éléments métalliques dans les eaux superficielles des trois lacs « Tonga, Oubeira, El Mellah » pendant une année durant 12 mois, et cela au niveau des principales entrées et sorties des oueds alimentant les lacs.

Ces éléments sont le fer, le manganèse, le zinc, le chrome, le nickel et le plomb. Le choix de ces éléments est en raison de leur toxicité potentielle dans l'environnement. Et Le choix des lacs est motivé par leur statut de fournisseurs d'eau et de matière à la population qui vit à proximité. Les pressions anthropiques « urbaines, agricoles et industrielles et domestiques » représentent des risques pour la qualité des ressources naturelles, pouvant ainsi mettre en péril la santé humaine, l'utilisation intense des engrais chimiques et des pesticides, induisent des modifications de ces systèmes telles que l'eutrophisation. De même, l'aménagement des versants (déforestations, changement des pratiques agricoles,...) occasionne l'augmentation des écoulements et des apports sédimentaires qui modifient les écosystèmes.

Toutes les caractéristiques géologiques, climatiques, morphologiques, géographiques, hydrologiques et anthropiques cités dans le chapitre II, font de cette région une zone particulièrement vulnérable aux pollutions.

#### 2. Evolution spatio-temporelle des métaux lourds des eaux superficielles des trois lacs durant l'année 2010.

Afin de déterminer le degré de pollution métallique relatif aux eaux des trois lacs, nous avons reporté dans le tableau 81, les concentrations des métaux lourds analysés au niveau des six stations prospectées. Les résultats obtenus ont permis une estimation des concentrations brutes en éléments métalliques et de donner une idée sur leur répartition dans les différents sites étudiés.

**Tableau 81:** Evolution spatio-temporelle des métaux lourds dans les eaux superficielles

Stations variables	S1	S2	S3	S4	S5	S6
	Moy ± E.type (Min-Max)	Moy ± E.type (Min-Max)	Moy ± E.type (Min-Max)	Moy ± E.type (Min-Max)	Moy ± E.type (Min-Max)	Moy ± E.type (Min-Max)
<b>Fe</b>	0.183 ± 0.196 (0.334-0.036)	0.128±0.101 (0.022-0.294)	0.206±0.096 (0.098-0.357)	0.190±0.089 (0.070-0.322)	0.181±0.083 (0.101-0.322)	0.243±0.235 (0.092-0.944)
<b>Pb</b>	0.878±0.358 (0.453-1.283)	0.667±0.214 (0.422-0.966)	0.536±0.142 (0.376-0.787)	0.404±0.036 (0.328-0.461)	0.706±0.202 (0.4002-0.942)	2.31± 5.69 (0.39-20.35)
<b>Cu</b>	0.069±0.055 (0.019-0.176)	0.053±0.040 (0.0162-0.1421)	0.033±0.026 (0.007- 0.083)	0.020±0.014 (0.006-0.047)	0.010±0.0074 (0.0035-0.0244)	0.0075±0.0059 (0.0012-0.0167)
<b>Zn</b>	0.147±0.071 (0.063-0.278)	0.078±0.030 (0.037-0.111)	0.162±0.040 (0.113-0.239)	0.148±0.028 (0.114-0.199)	0.698±0.503 (0.083-1.354)	0.541±0.437 (0.073-1.232)
<b>Ni</b>	0.156±0.114 (0.017-0.322)	0.166±0.129 (0.040-0.456)	0.266±0.162 (0.038-0.482)	0.487±0.198 (0.183-0.772)	0.648±0.135 (0.412-0.800)	0.617±0.128 (0.402-0.760)
<b>Cr</b>	0.092±0.037 (0.032-0.144)	0.491±0.226 (0.282-0.887)	0.605±0.594 (0.035-1.713)	0.416±0.363 (0.027-0.896)	0.372±0.36 (0.099-0.699)	0.317±0.192 (0.087-0.563)
<b>Mn</b>	0.117±0.030 (0.082-0.161)	1.364±0.248 (1.114-1.854)	0.582±0.554 (0.062-1.206)	0.453±0.484 (0.051-1.004)	0.418±0.446 (0.045-1.000)	0.328±0.400 (0.042-0.984)

2.1. Les eaux du Lac Tonga

2.1.1. Le fer

Les teneurs en fer contenu dans l’eau du lac Tonga sont comprises entre un minimum de 0.022 ppm relevée au niveau de la station 2 et un maximum de 0.334 ppm au niveau de la station 1. C’est en période estivale que les teneurs en fer atteignent les valeurs les plus élevées (tableau 82, figure 45), Cela revient à l’augmentation de la température durant l’été.

Tableau 82: Teneurs en fer relevées dans l’eau (ppm) du lac Tonga

Fe	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Cm
S1	0,333	0,036	0,04	0,060	0,077	0,191	0,243	0,299	0,333	0,233	0,201	0,154	0.183
S2	0,224	0,022	0,040	0,040	0,041	0,071	0,232	0,242	0,294	0,223	0,194	0,120	0.128

Cm : concentration moyenne

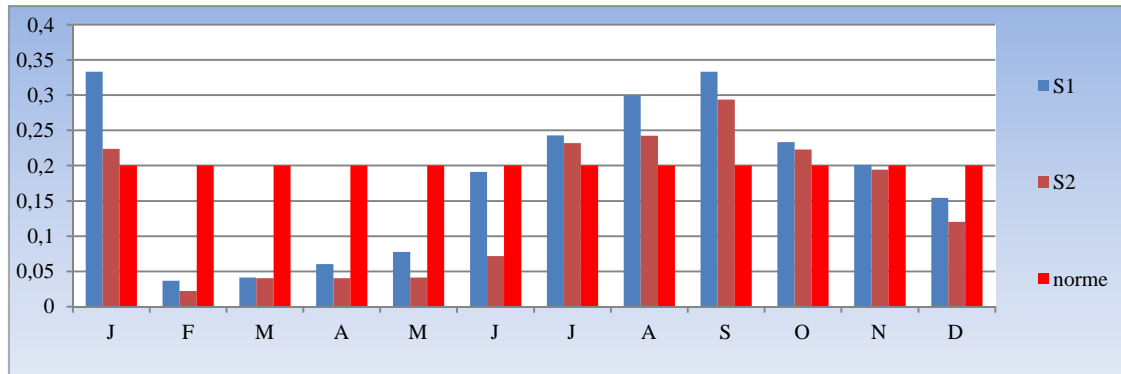


Fig.45: Variations spatiotemporelles des teneurs en fer en (ppm) relevées dans l’eau du lac Tonga

Tableau 83: Résultat de l’AVI appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en fer dans l’eau du lac Tonga

Source de	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre	5	0.0842	0.0168	0.99	0.432 NS
Variation	66	1.1250	0.0170		
Total	71	1.2091			

Selon la valeur de P résultante de l’analyse de la variance, on constate qu’ils n’existent pas des différences significatives entre les deux stations du lac Tonga concernant la distribution du fer.

➤ Niveau de contamination des eaux du lac Tonga par le fer

La détermination du niveau de la pollution des eaux du lac Tonga par les métaux lourds est basée sur les normes de la CE concernant les eaux de surface. Cependant, les résultats bruts des teneurs métalliques constituent un instrument d’évaluation du degré ou d’indice de pollution métallique et des tendances spatio-temporelles qui lui sont associées. C’est ainsi que Belamie *et al.* (1982), Boust *et al.* (1981), Rosso *et al.* (1993) et Bennasser *et al.* (2000) évaluent le degré ou l’indice de contamination (IC), défini par un métal donné comme étant le

rapport de la teneur mesurée à une station donnée sur la teneur naturelle de référence c'est à dire la norme.

**Remarque:**

Pour un indice de contamination IC proche de 1, on considère que le site n'est pas ou peu contaminé par les métaux. En général, c'est au-delà de 2 que les auteurs admettent que le site est soumis à un début de contamination.

✓ **La valeur guide retenue pour le fer dans les eaux de surface :**

**Tableau 84:** valeurs de l'indice de contamination par le fer dans l'eau du lac Tonga

Stations	Valeur de l'ICM
Station 1	0.19555
Station 2	0.643

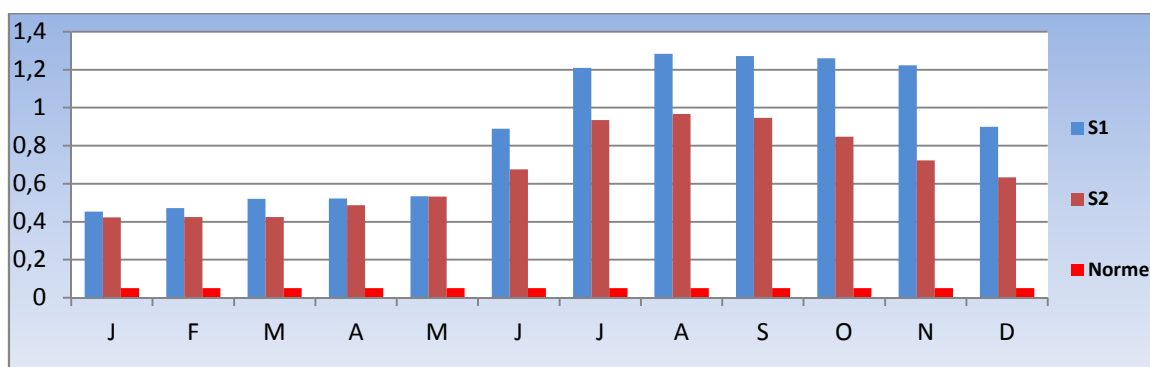
L'évaluation des IC par le fer des eaux du Tonga nous a permis de constater que les eaux du lac sont indemnes de toute contamination par le fer. Du fait que les valeurs des indices relevées par le fer soient inférieures à 2.

**2.1.2. Le Plomb**

Les teneurs en plomb contenu dans l'eau du lac Tonga sont comprises entre un minimum de 0.422 ppm relevée au niveau de la station 2 et un maximum de 1.283 ppm au niveau de la station 1 (tableau 85, figure 46), C'est en période estivale que les teneurs en plomb atteignent les valeurs les plus élevées. Les teneurs les plus importantes s'observent principalement au nord du lac, proche du trafic routier car les apports de plomb se font généralement par voie atmosphérique, la source principale c'est la combustion des carburants automobiles (Marchand et Kantin, 1997). Les faibles teneurs sont relevées généralement durant la saison hivernale et printanière. En plus toutes les teneurs en plomb relevées au niveau des eaux du lac Tonga dépassent la norme admise dans le cadre de notre étude qui est de l'ordre de 0.05 ppm.

**Tableau 85:** Teneurs en plomb relevées dans l'eau (ppm) du lac Tonga.

Pb	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Cm
S1	0,453	0,472	0,520	0,522	0,534	0,890	1,209	1,283	1,272	1,26	1,222	0,900	0.878
S2	0,422	0,4237	0,424	0,486	0,532	0,675	0,934	0,966	0,947	0,8465	0,722	0,633	0.667



**Fig.46 :** variations spatiotemporelles des teneurs en plomb en (ppm) relevées dans l'eau du lac Tonga

**Tableau 86:** Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en plomb dans l'eau du lac Tonga.

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	1	0.2658	0.2658	3.05	0.095NS
Variation résiduelle	22	1.9175	0.0872		
Total	23	2.1833			

Selon la valeur de P résultante de l'analyse de la variance, on constate qu'ils n'existent pas des différences significatives entre les deux stations du lac Tonga concernant la distribution du Plomb.

### ➤ Niveau de contamination des eaux du lac Tonga par le plomb

L'eau superficielle du lac Tonga contient des concentrations en plomb supérieures à la norme retenue pour notre étude qualifiant ainsi les eaux du lac Tonga en tant que polluées par le plomb.

**Tableau 87:** valeurs de l'indice de contamination par le Pb dans l'eau du lac Tonga

Stations	Valeur de l'ICM
Station 1	0.878/0.05= 17.56
Station 2	0.667/0.05=13.34

L'évaluation de l'ICM pour le plomb dans l'eau de chaque station du lac Tonga nous a permis de déterminer des niveaux de pollution très élevés montrant des variations spatiotemporelles. Ces indices de contamination varient de 13.34 à 17.56 respectivement dans les stations 1 et 2 (tableau 87). Du fait que les valeurs des ICM relevées dans les eaux du lac Tonga sont supérieures à 2 nous pouvons considérer le lac Tonga comme une zone polluée par le plomb.

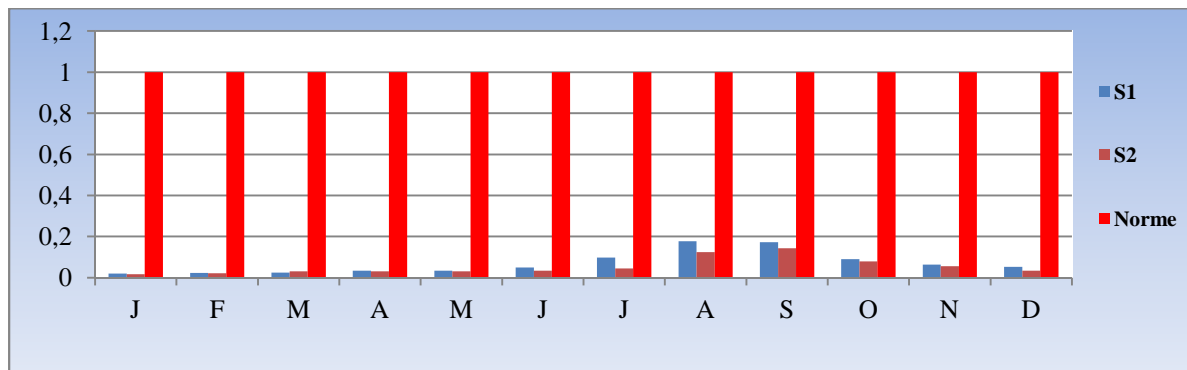
### 2.1.3. Le cuivre

Les teneurs en cuivre contenues dans l'eau du lac Tonga sont comprises entre un minimum de 0.016 ppm relevée au niveau de la station 2 au Nord-Est du lac et un maximum de 0.176 ppm au niveau de la station 1 au nord du lac (tableau 88, figure 47). C'est en période estivale et automnale que les teneurs en cuivre atteignent les valeurs les plus élevées. Les teneurs les

plus importantes s’observent principalement au nord du lac, et les faibles teneurs sont relevées généralement durant la saison hivernale et printanière. En plus toutes les teneurs en cuivre relevées au niveau des eaux du lac Tonga sont au-dessous de la norme admise par notre étude qui est de l’ordre de 1 ppm c’est-à-dire les eaux du lac Tonga sont indemne de toute contamination par le cuivre.

**Tableau 88:** Teneurs en cuivre relevées dans l’eau (ppm) du lac Tonga

Cu	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Cm
S1	0,019	0,022	0,022	0,033	0,034	0,04	0,09	0,17	0,17	0,08	0,06	0,052	0,069
S2	0,016	0,020	0,033	0,03	0,030	0,03	0,04	0,12	0,14	0,07	0,05	0,034	0,053



**Fig. 47 :** variations spatiotemporelles des teneurs en cuivre de l’eau en (ppm) relevées dans l’eau du lac Tonga

**Tableau 89:** Résultat de l’AVI appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en cuivre dans l’eau du lac Tonga.

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	1	0.00152	0.00152	0.65	0.429NS
Variation résiduelle	22	0.05154	0.00234		
Total	23	0.05306			

Selon la valeur de P résultante de l’analyse de la variance, on constate qu’ils n’existent pas des différences significatives entre les deux stations du lac Tonga concernant la distribution du cuivre.

➤ **Niveau de contamination des eaux du lac Tonga par le cuivre**

L’eau superficielle du lac Tonga contient des concentrations en plomb supérieures à la norme retenue dans le cadre de notre étude, qualifiant ainsi les eaux du lac Tonga en tant que polluées par le plomb.

**Tableau 90:** valeurs de l’indice de contamination par le cuivre dans l’eau du lac Tonga

Stations	Valeur de l’ICM
Station 1	0.069
Station 2	0.053

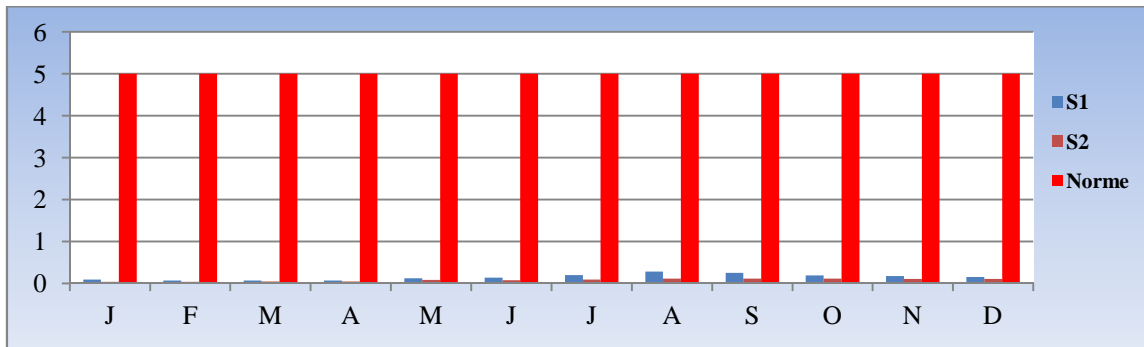
Du fait que les valeurs des ICM relevées dans les eaux du lac Tonga sont inférieures à 2 nous pouvons considérer le lac Tonga comme une zone non polluée par le cuivre.

**2.1.4. Le zinc**

Les teneurs en zinc contenue dans l'eau du lac Tonga sont comprises entre 0.037 ppm et 0.278 ppm. En ce qui concerne l'évolution spatiotemporelle du zinc, ce métal montre des teneurs élevées dans la station 1 variant entre 0.063 ppm et 0.278 ppm (tableau 91, figure 48), au niveau de cette station, la teneur en zinc est minimale en hiver et maximale en été et montre des valeurs intermédiaires au printemps et en automne.

**Tableau 91:** Teneurs en zinc relevées dans l'eau (ppm) du lac Tonga

Zn	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Cm
S1	0,092	0,063	0,063	0,064	0,122	0,133	0,192	0,278	0,248	0,184	0,176	0,152	0,147
S2	0,037	0,038	0,040	0,042	0,082	0,073	0,088	0,111	0,109	0,108	0,107	0,102	0,078



**Fig.48:** variations spatiotemporelles des teneurs en zinc de l'eau en ppm  
Relevées dans l'eau du lac Tonga

**Tableau 92:** Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en zinc dans l'eau du lac Tonga.

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	1	0.02868	0.02868	9.40	0.006**
Variation résiduelle	22	0.06713	0.00305		
Total	23	0.09581			

Selon la valeur de P résultant de l'analyse de la variance, on constate qu'ils existent des différences hautement significatives entre les deux stations du lac Tonga concernant la distribution du zinc.

➤ **Niveau de contamination des eaux du lac Tonga par le zinc**

Selon la norme admise dans le cadre de notre étude qui est égale à 5ppm et selon les teneurs du zinc dans l'eau dont les valeurs sont inférieures à la norme, on constate que les eaux du lac Tonga sont indemnes de toute contamination par le cuivre.

**Tableau 93:** valeurs de l'indice de contamination par le Zn dans l'eau du lac Tonga

Stations	Valeur de l'ICM
Station 1	0.0294
Station 2	0.0156

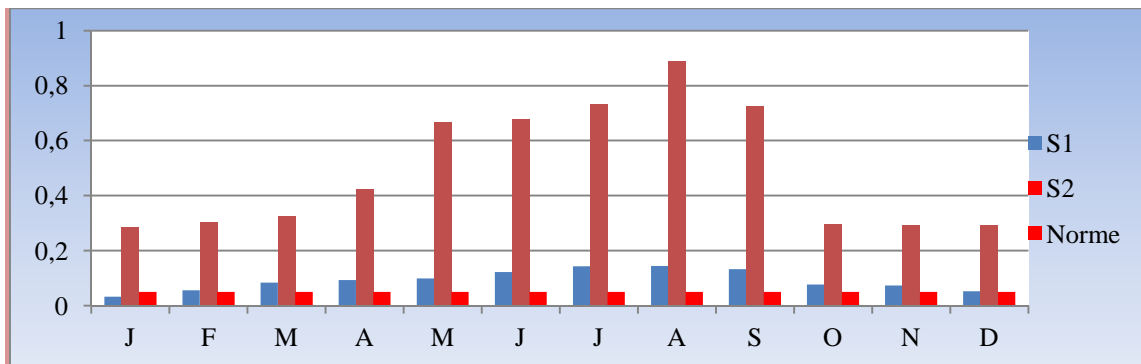
Du fait que les valeurs des ICM relevées dans les eaux du lac Tonga sont inférieures à 2 nous pouvons considérer les eaux du lac Tonga comme une zone non polluée par le zinc

### 2.1.5. Le Chrome

Dans l'eau du lac Tonga, le chrome est présent à des teneurs variant de 0.032 à 0.144 ppm, les valeurs les plus élevées sont relevées dans la station 2 où la teneur minimale observée en hiver est multipliée par 2 au printemps puis augmente progressivement en été pour atteindre une teneur maximale de 0.887 ppm au mois d'août puis une baisse est remarquée avec l'entrée de l'automne. Au niveau de la station 2 les teneurs sont comprises entre 0.282 ppm et 0.887 ppm.

**Tableau 94:** Teneurs en chrome relevées dans l'eau (ppm) du lac Tonga

Zn	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Cm
S1	0,032	0,055	0,083	0,092	0,098	0,122	0,143	0,144	0,132	0,077	0,073	0,052	0,072
S2	0,282	0,304	0,323	0,422	0,666	0,678	0,733	0,887	0,722	0,297	0,293	0,291	0,491



**Fig.49:** Variations spatiotemporelles des teneurs en chrome de l'eau en µg/l dans les différentes stations d'étude du lac Tonga

**Tableau 95:** Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en chrome dans l'eau du lac Tonga.

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	1	0.9577	0.9577	36.45	0.000***
Variation résiduelle	22	0.5780	0.0263		
Total	23	1.5357			

Selon la valeur de P résultante de l'analyse de la variance, on constate qu'ils existent des différences hautement significatives entre les deux stations du lac Tonga concernant la distribution du chrome.

#### ➤ Niveau de contamination des eaux du lac Tonga par le chrome

L'eau au lac Tonga présente des concentrations supérieures à la norme retenue dans le cadre de notre étude, qualifiant ainsi les eaux du lac Tonga comme polluées par le chrome.

**Tableau 96:** valeurs de l'indice de contamination par le chrome dans l'eau du lac Tonga

Stations	Valeur de l'ICM
Station 1	1.846
Station 2	9.836

Du fait que les valeurs des ICM relevées dans les eaux du lac Tonga sont inférieures à 2 au niveau de la station 1 nous pouvons la considérer comme une zone non polluée par le chrome. Par contre la station 2 au nord-ouest du lac elle est contaminée par le chrome.

**2.1.6. Le Nickel**

L'eau du lac Tonga, contient des teneurs en nickel comprise entre 0.0172 et 0.4565ppm(figure 50,tableau 97). L'évolution spatiotemporelle du nickel montre que dans la station 2 les teneurs sont plus élevées. Les teneurs minimales (0.0172 et 0.0400 ppm) et maximales (0.3223 et 0.4565ppm) sont relevées en hivers et en été respectivement. Selon la norme admise par notre étude, les teneurs en nickel dépassent la norme admises par notre étude qui est de 0.05ppm, particulièrement en printemps, en été et en automne. Durant le mois de janvier et février les teneurs sont normales.

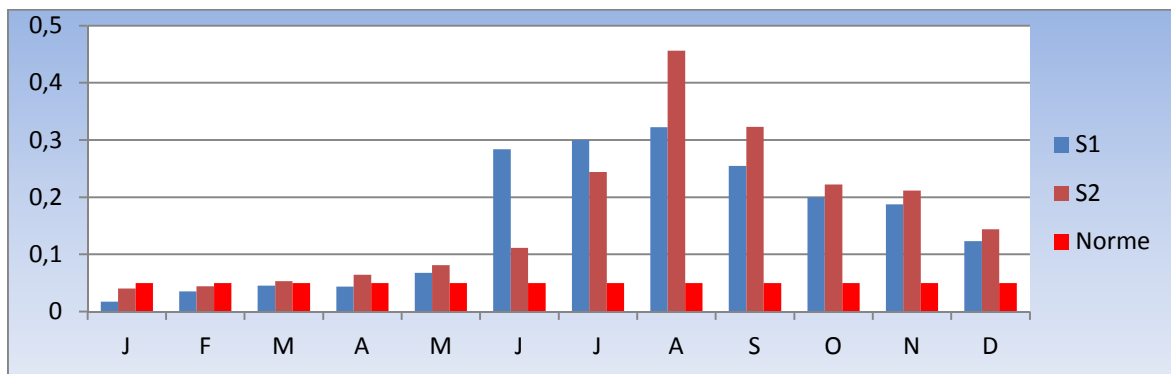


Fig.50: Variations spatiotemporelles des teneurs en nickel de l'eau en ppm dans l'eau du lac Tonga

**Tableau 97:** Teneurs en nickel relevées dans l'eau (ppm) du lac Tonga

Ni	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Cm
S1	0,017	0,035	0,045	0,043	0,067	0,284	0,299	0,322	0,254	0,199	0,187	0,123	0,092
S2	0,04	0,044	0,053	0,064	0,081	0,111	0,244	0,456	0,323	0,222	0,211	0,143	0,491

**Tableau 98:** Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en nickel dans l'eau du lac Tonga.

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	1	0.0006	0.0006	0.04	0.849NS
Variation résiduelle	22	0.3298	0.0150		
Total	23	0.3303			

Selon la valeur de P résultante de l'analyse de la variance, on constate qu'ils n'existent pas des différences significatives entre les deux stations du lac Tonga concernant la distribution du nickel.

➤ **Niveau de contamination des eaux du lac Tonga par le nickel**

L'eau du lac Tonga montre des concentrations supérieures à la norme admise allant jusqu'à 0.456 ppm durant l'été. Il est à noter que des concentrations normales sont relevées durant l'hiver et le printemps au niveau de la station 1.

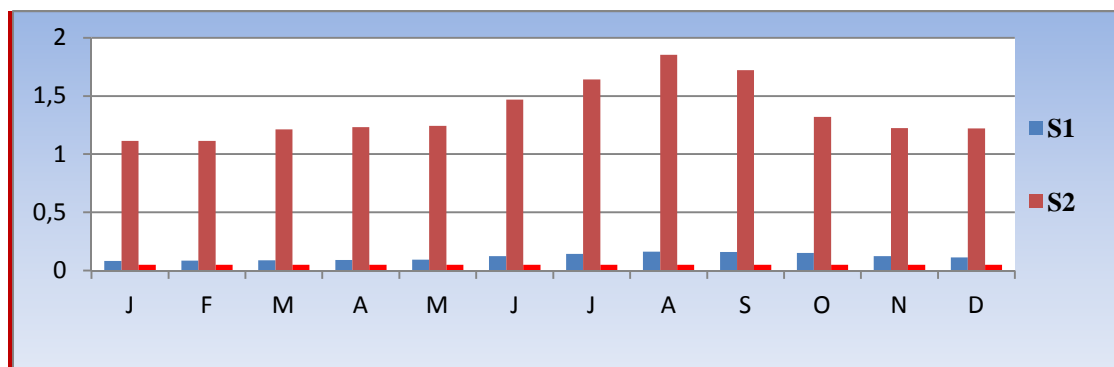
**Tableau 99 :** valeurs de l'indice de contamination par le nickel dans l'eau du lac Tonga

Stations	Valeur de l'ICM
Station 1	3.12
Station 2	3.20

Du fait que les valeurs des ICM relevées dans les eaux du lac Tonga sont inférieures à 2 au niveau des stations 1 et 2, nous pouvons considérer le lac comme une zone non polluée par le nickel

### 2.1.7. Le manganèse

Dans les eaux du lac Tonga, le manganèse montre des teneurs plus élevées dans l'eau de la station 2 (0.0822 à 0.1612 ppm) ; par rapport à la station 1 (1.1141-1.8540 ppm). L'évolution spatiotemporelle du manganèse montrent que dans les deux stations étudiées, les valeurs sont basses puis augmentent progressivement pour atteindre les pics en été et en automne.



**Fig.51 :** variations spatiotemporelles des teneurs en manganèse de l'eau en (ppm) dans l'eau du lac Tonga

**Tableau 100:** Teneurs en manganèse relevées dans l'eau (ppm) du lac Tonga

Mn	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Cm
S1	0,082	0,084	0,086	0,089	0,093	0,123	0,143	0,161	0,16	0,152	0,123	0,111	0,117
S2	1,114	1,114	1,213	1,232	1,243	1,468	1,643	1,854	1,723	1,320	1,223	1,22	1,364

**Tableau 101:** Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en manganèse dans l'eau du lac Tonga.

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	1	9.3231	9.3231	297.16	0.000***
Variation résiduelle	22	0.6902	0.0314		
Total	23	10.0133			

Selon la valeur de P résultant de l'analyse de la variance, on constate que des différences très hautement significatives existent entre les deux stations du lac Tonga concernant la distribution du manganèse.

### ➤ Niveau de contamination des eaux du lac Tonga par le manganèse

L'eau du lac Tonga montre des concentrations supérieures à la norme admise allant jusqu'à 0.456 ppm durant l'été. Il est à noter que des concentrations normales sont relevées durant l'hiver et le printemps au niveau de la station 1.

*Tableau 102: valeurs de l'indice de contamination par le manganèse dans l'eau du lac Tonga*

<b>Stations</b>	<b>Valeur de l'ICM</b>
Station 1	2.35
Station 2	27.2

Du fait que les valeurs des ICM relevées dans les eaux du lac Tonga sont supérieures à 2 au niveau des stations 1 et 2, nous pouvons considérer le lac comme une zone polluée par le manganèse. Nous constatons aussi que la zone d'oued El Hout est plus polluée par rapport à la station des pompes.

#### **2.1.8. Bilan de la qualité des eaux du lac Tonga**

Les eaux du lac Tonga sont polluées par **le plomb, le manganèse, le chrome et le nickel** du fait que les ICM sont supérieures à 2, en comparaison, les autres éléments **cuivre, zinc et fer** présentent des ICM inférieurs à la norme admise dans le cadre de notre étude qui est de l'ordre de 0.05ppm.

**Tableau 103** : les concentrations des métaux lourds durant 12 mois au niveau des eaux du lac Tonga

Elément/mo	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>FeS1</b>	0,333	0,036	0,041	0,0602	0,0776	0,191	0,243	0,299	0,333	0,233	0,201	0,154
<b>FeS2</b>	0,224	0,022	0,040	0,0402	0,0412	0,071	0,232	0,242	0,294	0,223	0,194	0,120
<b>PbS1</b>	0,453	0,472	0,52	0,5221	0,534	0,89	1,209	1,283	1,272	1,26	1,222	0,900
<b>PbS2</b>	0,422	0,423	0,424	0,4864	0,532	0,675	0,934	0,966	0,947	0,846	0,722	0,633
<b>CuS1</b>	0,019	0,022	0,024	0,0334	0,0343	0,049	0,097	0,176	0,172	0,089	0,063	0,052
<b>CuS2</b>	0,016	0,020	0,031	0,0312	0,0302	0,034	0,045	0,123	0,142	0,079	0,055	0,034
<b>ZnS1</b>	0,092	0,063	0,063	0,0643	0,122	0,133	0,192	0,278	0,248	0,184	0,176	0,152
<b>ZnS2</b>	0,037	0,038	0,040	0,0421	0,0823	0,073	0,088	0,111	0,109	0,108	0,107	0,102
<b>CrS1</b>	0,017	0,035	0,045	0,0433	0,0676	0,284	0,299	0,322	0,254	0,199	0,187	0,123
<b>CrS2</b>	0,04	0,044	0,053	0,0643	0,081	0,111	0,244	0,456	0,323	0,222	0,211	0,143
<b>NiS1</b>	0,032	0,055	0,083	0,0927	0,0989	0,122	0,143	0,144	0,132	0,077	0,073	0,052
<b>NiS1</b>	0,282	0,304	0,323	0,4224	0,6665	0,678	0,733	0,887	0,722	0,297	0,293	0,291
<b>MnS1</b>	0,082	0,084	0,086	0,0897	0,0932	0,123	0,143	0,161	0,16	0,152	0,123	0,111
<b>MnS2</b>	1,114	1,114	1,213	1,2325	1,243	1,468	1,643	1,854	1,723	1,320	1,223	1,22

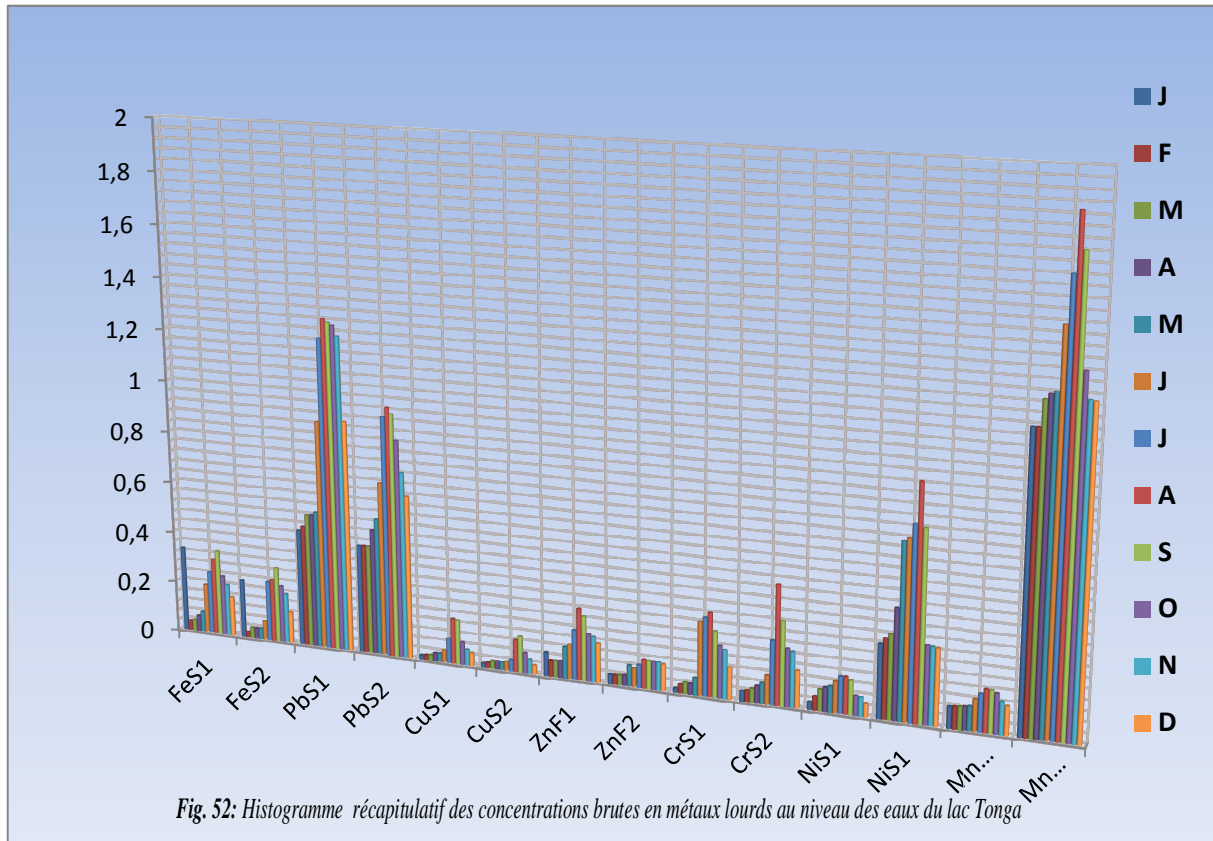


Fig. 52: Histogramme récapitulatif des concentrations brutes en métaux lourds au niveau des eaux du lac Tonga

2.2. Les eaux du lac Oubeira

2.2.1. Le fer

Les teneurs en fer contenu dans l'eau du lac Oubeira sont comprises entre un minimum de 0.070 ppm relevée au niveau de la station 2 et un maximum de 0.357 ppm au niveau de la station 1. C'est en période estivale que les teneurs en fer atteignent les valeurs les plus élevées (tableau 104, figure 53). Durant la saison estivale les teneurs en fer dépassent la norme qui est de l'ordre de 0.2 ppm. Par contre au cours des autres mois, les teneurs en fer sont en dessous de la norme.

Tableau 104: Teneurs en fer relevées dans l'eau (en ppm) du lac Oubeira

Fe	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Cm
S3	0,098	0,113	0,124	0,128	0,132	0,166	0,284	0,331	0,357	0,341	0,211	0,184	0.2062
S4	0,070	0,101	0,118	0,118	0,142	0,156	0,270	0,301	0,311	0,322	0,200	0,170	0.1900

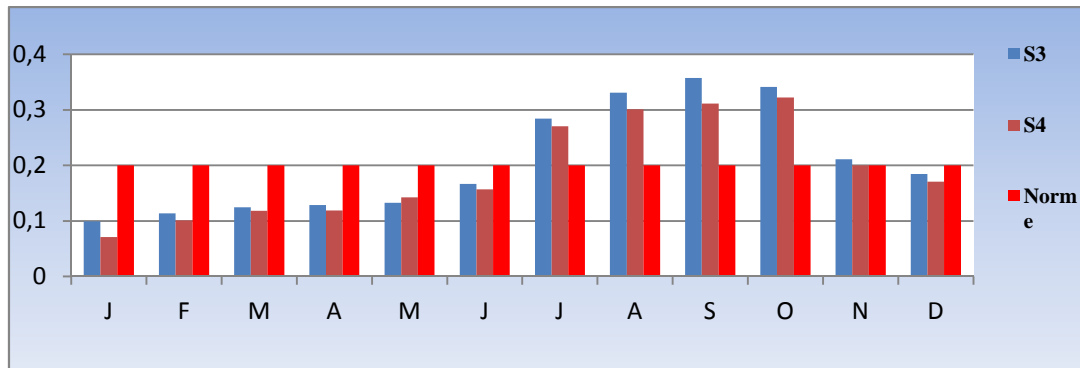


Fig.53: Variations spatiotemporelles des teneurs en fer en (ppm) dans l'eau du lac Oubeira

Tableau 105: Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en fer dans l'eau du lac Oubeira

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	1	0.0015	0.0015	0.18	0.677 NS
Variation résiduelle	22	0.1903	0.0086		
Total	23	0.1918			

Selon la valeur de P résultante de l'analyse de la variance, on constate qu'ils n'existent pas des différences significatives entre les deux stations du lac Oubeira concernant la distribution du fer.

➤ Niveau de contamination des eaux du lac Oubeira par le fer

En générale les concentrations en fer dans les eaux du lac Oubeira sont inférieures à la valeur guide sauf en période des basses eaux (de juin à septembre), ces concentrations dépassent la valeur 0.02ppm

Tableau106 : valeurs de l'indice de contamination par le fer dans l'eau du lac Oubeira

Stations	Valeur de l'ICM
Station 3	1.031
Station 4	0.951

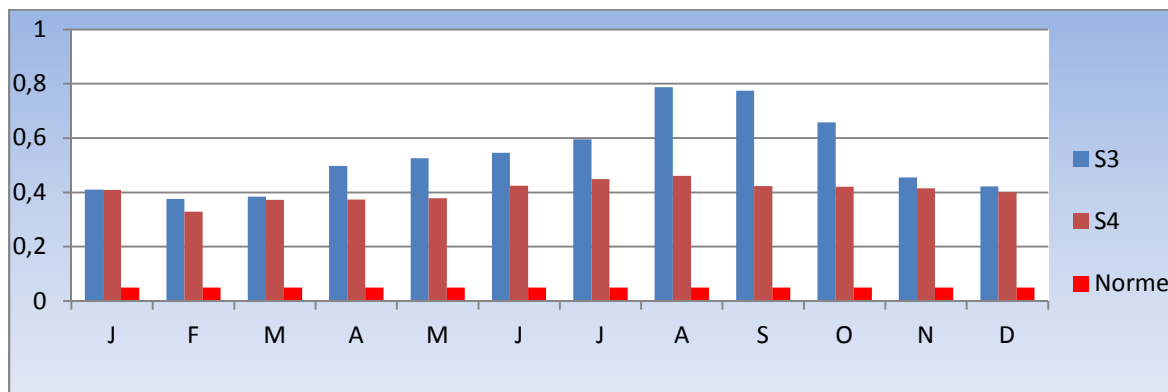
L'évaluation de l'IC par le fer au niveau du lac Oubeira, nous a permis de conclure que les eaux de ce lac sont indemnes de toute contamination par le fer.

### 2.2.2. Le Plomb

Les teneurs en plomb contenu dans l'eau du lac Oubeira sont comprises entre un minimum de 0.328 ppm relevée au niveau de la station 4 et un maximum de 0.787 ppm au niveau de la station 3 (tableau 107, figure 54), C'est en période estivale que les teneurs en plomb atteignent les valeurs les plus élevées. Comme au niveau du lac Tonga, Les teneurs les plus importantes s'observent principalement au nord du lac, proche du trafic routier car les apports de plomb se font généralement par voie atmosphérique et la source principale c'est la combustion des carburants automobiles (Marchand et Kantin, 1997). Les faibles teneurs sont relevées généralement durant la saison hivernale et printanière. En plus toutes les teneurs en plomb relevées au niveau des eaux du lac Oubeira dépassent nettement la norme admise qui est de l'ordre de 0.05 ppm.

**Tableau 107:** Teneurs en plomb relevées dans l'eau (ppm) du lac Oubeira.

Pb	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Cm
S3	0,41	0,376	0,384	0,497	0,526	0,546	0,595	0,787	0,775	0,658	0,455	0,422	0.536
S4	0,409	0,328	0,372	0,373	0,378	0,424	0,448	0,461	0,423	0,421	0,414	0,401	0.404



**Fig.54:** Variations spatiotemporelles des teneurs en plomb en (ppm) dans l'eau du lac Oubeira

**Tableau 108:** Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en plomb dans l'eau du lac Oubeira.

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	1	0.1037	0.1037	9.54	0.005**
Variation résiduelle	22	0.2392	0.0109		
Total	23	0.3429			

Selon la valeur de P résultant de l'analyse de la variance, on constate des différences hautement significatives qui existent entre les deux stations du lac Oubeira concernant la distribution du Plomb.

#### ➤ Niveau de contamination des eaux du lac Oubeira par le plomb

L'eau superficielle du lac Oubeira contient des concentrations en plomb nettement supérieures à la norme retenue par notre étude qualifiant ainsi les eaux du lac Oubeira en tant que polluées par le plomb.

**Tableau 109:** valeurs de l'indice de contamination par le plomb dans l'eau du lac Oubeira

Stations	Valeur de l'ICM
Station 3	10.72
Station 4	8.092

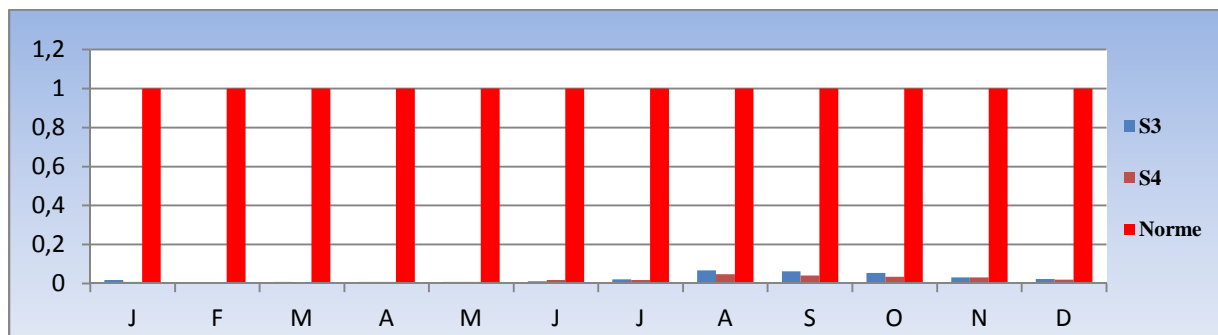
L'évaluation de l'indice de contamination par le plomb dans l'eau de chaque station du lac Oubeira nous a permis de déterminer des niveaux de pollution très élevés. Ces indices de contamination varient de 8.092 à 10.72 respectivement dans les stations 4 et 3 (tab n°). Du fait que les valeurs des ICM relevées dans les eaux du lac Oubeira sont supérieures à 2, on relève que la zone est polluée par le plomb.

### 2.2.3. Le cuivre

Les teneurs en cuivre contenu dans l'eau du lac Oubeira sont comprises entre un minimum de 0.0069 ppm relevée au niveau de la station 4 au sud du lac et un maximum de 0.083 ppm au niveau de la station 3 au nord du lac (tableau 110, figure 55), C'est en période estivale et automnale que les teneurs en cuivre atteignent les valeurs les plus élevées. Les teneurs les plus importantes s'observent principalement au nord du lac, et les faibles teneurs sont relevées généralement durant la saison hivernale et printanière. En plus toutes les teneurs en cuivre relevées au niveau des eaux du lac Oubeira sont au-dessous de la norme admise qui est de l'ordre de 1 ppm c'est-à-dire les eaux du lac Oubeira sont indemnes de toute contamination par le cuivre.

**Tableau 110:** Teneurs en cuivre relevées dans l'eau (ppm) du lac Oubeira

Cu	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Cm
S3	0,019	0,007	0,008	0,008	0,009	0,011	0,022	0,067	0,062	0,054	0,032	0,023	0,033
S4	0,007	0,006	0,007	0,007	0,008	0,018	0,019	0,047	0,042	0,034	0,031	0,019	0,020



**Fig.55:** Variations spatiotemporelles des teneurs en cuivre dans l'eau du lac Oubeira (en ppm)

**Tableau 111:** Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en cuivre dans l'eau du lac Oubeira

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	1	0.000916	0.000916	2.01	0.171NS
Variation résiduelle	22	0.100053	0.000457		
Total	23	0.010970			

Selon la valeur de P résultante de l'analyse de la variance, on constate qu'ils n'existent pas des différences significatives entre les deux stations du lac Oubeira concernant la distribution du cuivre.

➤ **Niveau de contamination des eaux du lac Oubeira par le cuivre**

L'eau superficielle du lac Oubeira contient des concentrations en cuivre nettement inférieures à la norme retenue pour notre étude qualifiant ainsi les eaux du lac comme indemne de toute pollution par le cuivre.

**Tableau 112 :** valeurs de l'indice de contamination par le cuivre dans l'eau du lac Tonga

Stations	Valeur de l'ICM
Station 3	0.033
Station 4	0.020

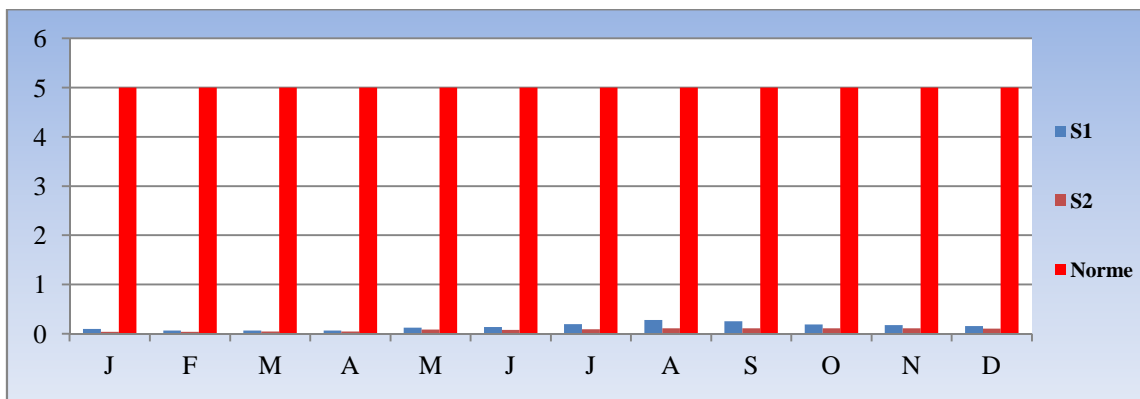
Du fait que les valeurs des ICM relevées dans les eaux du lac Oubeira sont nettement inférieures à 2 nous pouvons considérer le lac Oubeira comme une zone non polluée par le cuivre.

**2.2.4. Le zinc**

Les teneurs en zinc contenue dans l'eau du lac Oubeira sont comprises entre 0.113 ppm et 0.039 ppm. En ce qui concerne l'évolution spatiotemporelle du zinc, ce métal montre des teneurs élevées dans la station 3 (tableau 113, figure 56), au niveau de cette station, la teneur en zinc est minimale en hiver et maximale en été et montre des valeurs intermédiaires au printemps et en automne. Le zinc et le cuivre montrent des fluctuations similaires uniquement au sein du lac Tonga.

**Tableau 113:** Teneurs en zinc relevées dans l'eau (ppm) du lac Oubeira

Zn	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Cm
S3	0,113	0,122	0,122	0,146	0,147	0,166	0,187	0,239	0,232	0,173	0,162	0,143	0,162
S4	0,114	0,11	0,123	0,134	0,127	0,153	0,163	0,199	0,194	0,164	0,152	0,132	0,148



**Fig.56:** variations spatiotemporelles des teneurs en zinc en (ppm) dans l'eau du lac Tonga

**Tableau 114 :** Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en zinc dans l'eau du lac Oubeira.

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	1	0.00131	0.00131	1.07	0.311ns
Variation résiduelle	22	0.02680	0.00122		
Total	23	0.02811			

Selon la valeur de P résultante de l'analyse de la variance, on constate qu'ils n'existent pas des différences significatives entre les deux stations du lac Oubeira concernant la distribution du zinc

➤ **Niveau de contamination des eaux du lac Oubeira par le zinc**

Selon la norme admise qui est égale à 5ppm, on constate que les eaux du lac Oubeira sont indemnes de toute contamination par le cuivre.

**Tableau 115 :** valeurs de l'indice de contamination par le zinc dans l'eau du lac Oubeira

Stations	Valeur de l'ICM
Station 3	0.032
Station 4	0.0296

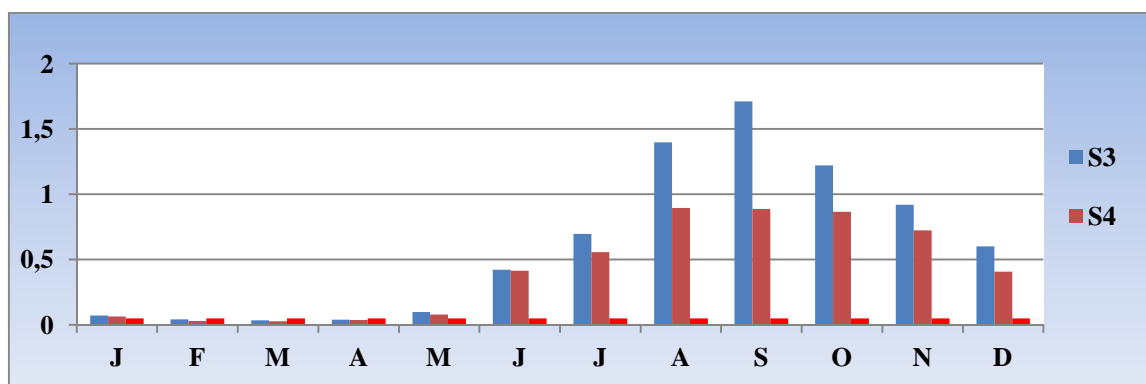
Du fait que les valeurs des ICM relevées dans les eaux du lac Oubeira sont inférieures à 2 nous pouvons considérer le lac Oubeira comme une zone non polluée par le zinc.

**2.2.5. Le Chrome**

Dans l'eau du lac Oubeira, le chrome est présent à des teneurs variant de 0.027 à 1.713 ppm, les valeurs les plus élevées sont relevées dans la station 3 au nord-est du lac Oubeira dont la teneur minimale observée en hiver est multipliée par 4 en été et atteint une teneur maximale de 0.1441 ppm au mois d'aout puis une baisse est remarquée avec l'entrée de l'automne. Au niveau de la station 4 les teneurs sont comprises entre 0.027 ppm et 0.896 ppm.

**Tableau 116:** Teneurs en chrome relevées dans l'eau (ppm) du lac Oubeira

Zn	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Cm
S3	0,063	0,031	0,027	0,037	0,078	0,415	0,558	0,896	0,888	0,867	0,723	0,408	0.605
S4	0,063	0,031	0,027	0,037	0,078	0,415	0,558	0,896	0,888	0,867	0,723	0,408	0.416



**Fig.57:** Variations spatiotemporelles des teneurs en chrome en (ppm) dans l'eau du lac Oubeira

**Tableau 117:** Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en chrome dans l'eau du lac Oubeira.

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	1	0.215	0.215	0.89	0.356 NS
Variation résiduelle	22	5.329	0.242		
Total	23	5.544			

Selon la valeur de P résultante de l'analyse de la variance, on constate qu'ils n'existent pas des différences significatives entre les deux stations du lac Oubeira concernant la distribution du chrome.

#### ➤ Niveau de contamination des eaux du lac Oubeira par le chrome

L'eau superficielle des stations considérées au lac Oubeira présente des concentrations supérieures à la norme retenue qualifiant ainsi les eaux du lac Oubeira comme polluées par le chrome.

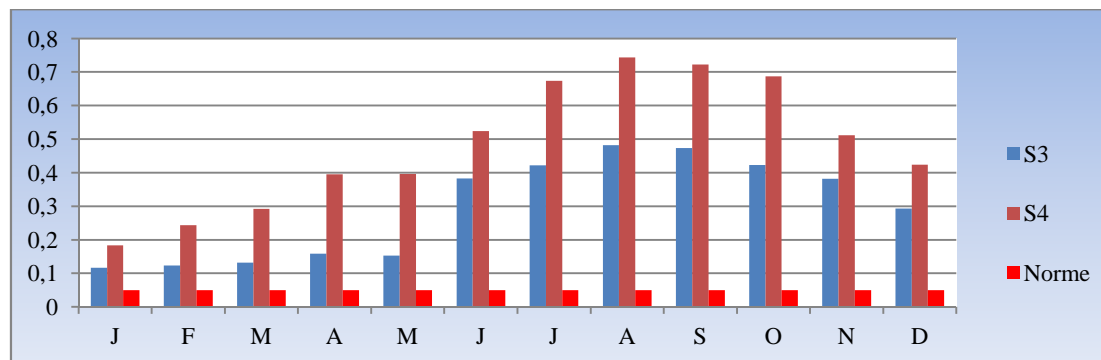
**Tableau 118:** valeurs de l'indice de contamination par le chrome dans l'eau du lac Oubeira

Stations	Valeur de l'ICM
Station 3	12.01
Station 4	8.32

Du fait que les valeurs des ICM relevées dans les eaux du lac Oubeira sont nettement supérieures à 2 au niveau des deux stations du lac Oubeira, on conclue que la zone est fortement contaminée par le chrome.

#### 2.2.6. Le Nickel

Les teneurs en nickel dans les eaux du lac Oubeira varient entre un minimum de 0.038 ppm et un maximum de 0.7721, L'évolution spatiotemporelle du nickel montre que dans la station 4 au sud du lac (figure 58, tableau 119), les teneurs sont plus élevées. Les teneurs du nickel dépassent nettement la norme admise par notre étude.

**Fig.58:** Variations spatiotemporelles des teneurs en nickel en (ppm) dans l'eau du lac Oubeira

**Tableau 119:** Teneurs en nickel relevées dans l'eau (ppm) du lac Oubeira

Ni	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Cm
S3	0,116	0,123	0,132	0,159	0,152	0,382	0,422	0,482	0,473	0,423	0,381	0,293	0,266
S4	0,183	0,243	0,292	0,395	0,395	0,524	0,674	0,743	0,722	0,687	0,511	0,424	0,487

**Tableau 120:** Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en nickel dans l'eau du lac Oubeira.

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	1	0.2923	0.2923	8.88	0.007**
Variation résiduelle	22	0.0329	0.0329		
Total	23				

Selon la valeur de P résultante de l'analyse de la variance, on constate des différences hautement significatives existent entre les deux stations du lac Oubeira concernant la distribution du nickel.

### ➤ Niveau de contamination des eaux du lac Oubeira par le nickel

L'eau du lac Tonga montre des concentrations supérieures à la norme admise allant jusqu'à 0.74ppm durant l'été. Comme pour les autres éléments c'est au niveau de la station S4 que les teneurs sont plus élevées.

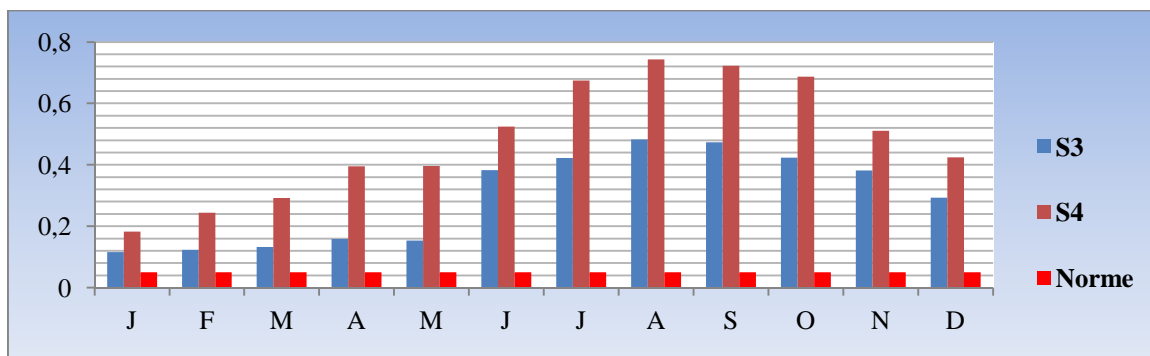
**Tableau 121:** valeurs de l'indice de contamination par le nickel dans l'eau du lac Oubeira

Stations	Valeur de l'ICM
Station 3	5.326
Station 4	9.740

Du fait que les valeurs des ICM relevées dans les eaux du lac Oubeira sont supérieures à 2 au niveau des stations 3 et 4, nous pouvons considérer le lac comme une zone contaminée par le nickel

### 2.2.7. Le manganèse

Dans les eaux du lac Oubeira, le manganèse montre des teneurs plus élevées dans l'eau de la station 4(0.0822 à 0.1612 ppm) (figure 59, tableau 122) par rapport à la station 3 (1.1141-1.8540 ppm). Généralement l'évolution spatiotemporelle du manganèse montrent que dans les deux stations étudiées, les valeurs sont basses puis augmentent progressivement pour atteindre les pics en été et en automne.

**Fig. 59 :** Variations spatiotemporelles des teneurs en manganèse en ppm dans l'eau du lac Oubeira

**Tableau 122: Teneurs en manganèse relevées dans l'eau (ppm) du lac Oubeira**

Mn	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	C m
S 3	0,612	0,0623	0,0642	0,0656	0,0689	0,0789	0,0983	1,206	1 , 2	1,187	1,174	1,162	0.581
S 4	0,050	0,0515	0,052	0,052	0,0593	0,0745	0,0841	1,004	1,003	1	1	0,999	0.452

**Tableau123 : Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en manganèse dans l'eau du lac Oubeira**

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	1	0.100	0.100	0.37	0.550NS
Variation résiduelle	22	5.962	0.271		
Total	23	6.062			

Selon la valeur de P résultante de l'analyse de la variance, on constate qu'ils n'existent pas des différences significatives entre les deux stations du lac Oubeira concernant la distribution du manganèse.

#### - Niveau de contamination des eaux du lac Oubeira par le manganèse

**Tableau 124 : valeurs de l'indice de contamination par le manganèse dans l'eau du lac Oubeira**

Stations	Valeur de l'ICM
Station 3	11.632
Station 4	9.05

L'eau du lac Oubeira montre des concentrations supérieures à la norme admise allant jusqu'à 1.206 ppm durant l'été. Il est à noter que des concentrations normales sont relevées durant l'hiver au niveau de la station 4. Du fait que les valeurs des ICM relevées dans les eaux du lac Oubeira sont inférieures à 2 au niveau des stations 3 et 4, nous pouvons considérer le lac comme une zone polluée par le manganèse.

#### 2.2.8. Bilan des eaux du lac Oubeira

Les eaux du lac Oubeira sont polluées par le **plomb, le chrome, le nickel et le manganèse** avec des ICM nettement supérieures à 2. Par contre les autres éléments fer, cuivre, zinc présentent des ICM en dessous de la norme retenue qui est de l'ordre de 2.

**Tableau 125 : Les concentrations des métaux lourds en ppm durant 12 mois au niveau des eaux du lac Oubeira**

stations/mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>FeS3</b>	0,0989	0,1133	0,1245	0,1288	0,1328	0,1669	0,2843	0,3312	0,3575	0,3412	0,211	0,1845
<b>FeS4</b>	0,0707	0,101	0,118	0,1185	0,1423	0,1566	0,2703	0,301	0,3112	0,3221	0,2001	0,1707
<b>PbS3</b>	0,41	0,376	0,384	0,4978	0,526	0,5463	0,5955	0,7873	0,775	0,658	0,4551	0,4222
<b>PbS4</b>	0,409	0,3287	0,3721	0,3733	0,378	0,4245	0,4486	0,461	0,4235	0,4212	0,4144	0,4012
<b>CuS3</b>	0,019	0,007	0,008	0,0083	0,0093	0,0112	0,0223	0,0678	0,062	0,0545	0,032	0,023
<b>CuS4</b>	0,0079	0,0069	0,0072	0,0079	0,0089	0,0187	0,0192	0,0473	0,042	0,034	0,031	0,0198
<b>ZnS3</b>	0,113	0,122	0,1222	0,1462	0,1475	0,1664	0,187	0,2394	0,232	0,173	0,162	0,143
<b>ZnS4</b>	0,114	0,119	0,123	0,1341	0,1275	0,153	0,1635	0,1992	0,194	0,164	0,1525	0,1327
<b>NiS3</b>	0,1162	0,123	0,132	0,159	0,1529	0,3824	0,4223	0,4824	0,473	0,423	0,3815	0,293
<b>NiS4</b>	0,183	0,2435	0,292	0,395	0,3958	0,524	0,674	0,743	0,7221	0,6873	0,5113	0,424
<b>CrS3</b>	0,0725	0,043	0,0347	0,0397	0,0998	0,423	0,6967	1,3972	1,713	1,2221	0,9201	0,602
<b>CrS4</b>	0,0635	0,031	0,027	0,0373	0,0782	0,415	0,558	0,896	0,8882	0,8672	0,723	0,4082
<b>MnS3</b>	0,612	0,0623	0,0642	0,0656	0,0689	0,0789	0,0983	1,206	1,2	1,187	1,174	1,162
<b>MnS4</b>	0,0509	0,0515	0,052	0,052	0,0593	0,0745	0,0841	1,0041	1,003	1	1	0,999

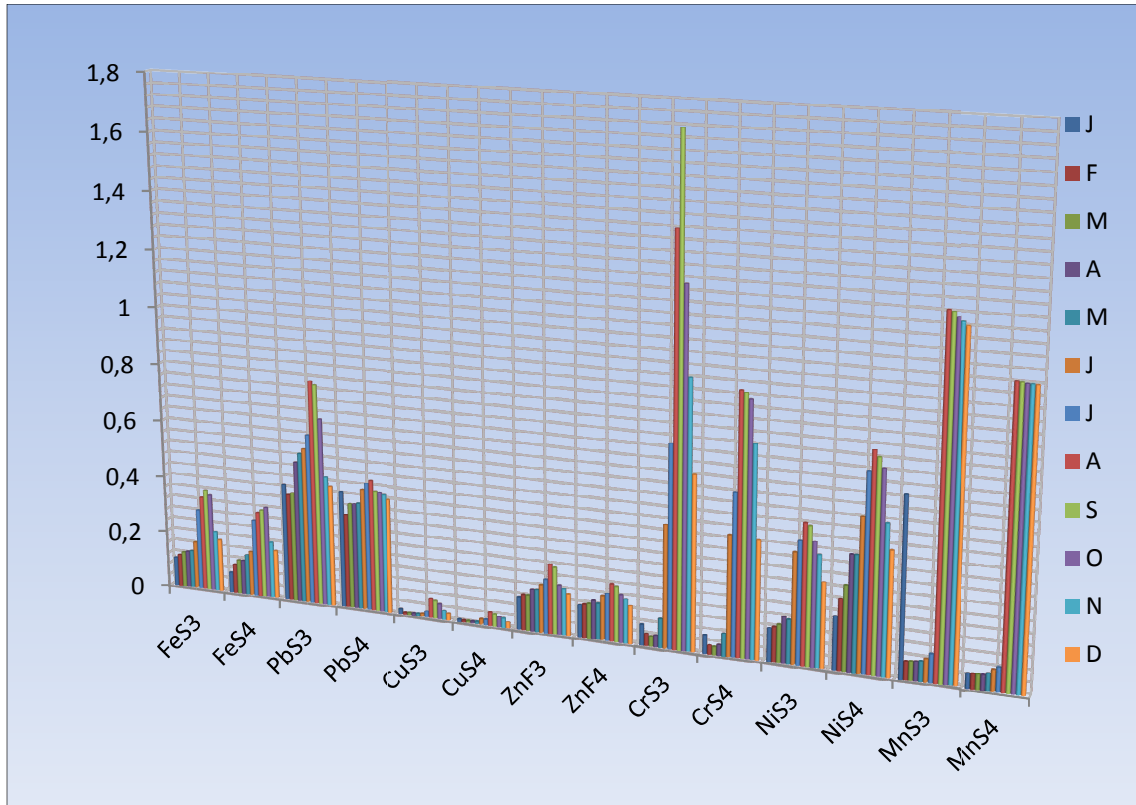


Fig.60 : Histogramme récapitulatif des concentrations brutes en ppm des métaux lourds des eaux du lac Oubeira

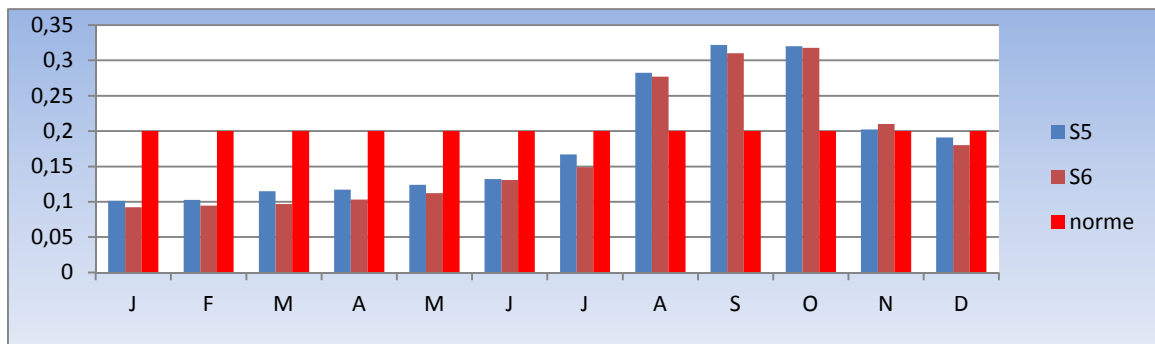
### 2.3 .Les eaux du lac El-Mellah

#### 2.3.1. Le fer

Les teneurs en fer contenues dans l'eau du lac El Mellah sont comprises entre un minimum de 0.092 ppm un maximum de 0.320 ppm relevée au niveau de la station 5. C'est en période estivale que les teneurs en fer atteignent les valeurs les plus élevées (tableau 126, figure 61). Durant l'été les teneurs en fer dépassent la norme admise par notre étude qui est de l'ordre de 0.2 ppm. Par contre au cours des autres saisons les teneurs en fer sont en dessous de la norme.

**Tableau 126 :** Teneurs en fer relevées dans l'eau (ppm) du lac El Mellah

Fe	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Cm
<b>S5</b>	0,101	0,102	0,115	0,117	0,124	0,132	0,167	0,282	0,322	0,320	0,202	0,190	0,181
<b>S6</b>	0,092	0,094	0,096	0,103	0,112	0,130	0,148	0,277	0,310	0,318	0,210	0,180	0,243



**Fig.61.** Variations spatiotemporelles des teneurs en fer en (ppm) dans l'eau du lac El Mellah

**Tableau 127:** Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en fer dans l'eau du lac El Mellah

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	1	0.0232	0.0232	0.74	0.398ns
Variation résiduelle	22	0.6868	0.0312		
Total	23	0.7100			

Selon la valeur de Pearson résultante de l'analyse de la variance, on constate qu'ils n'y a pas de différences significatives entre les deux stations 5 et 6, concernant la distribution du fer.

#### ➤ Niveau de contamination des eaux du lac El Mellah par le fer

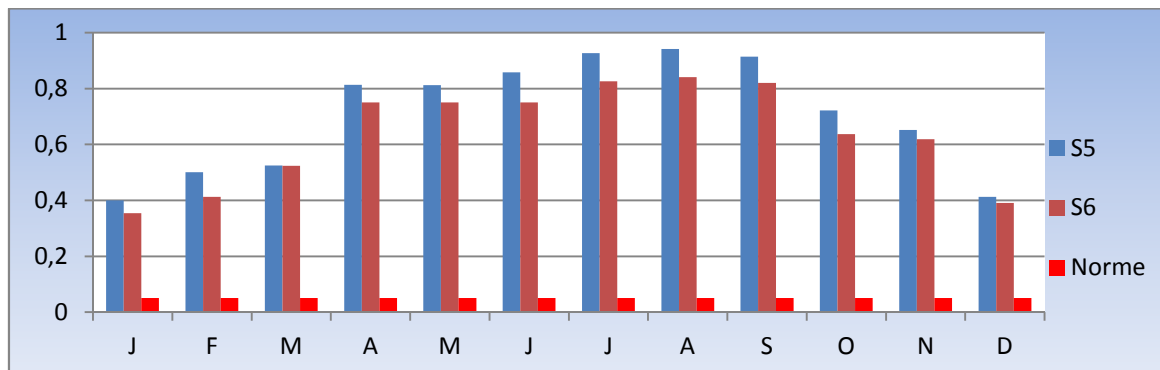
**Tableau 128:** valeurs de l'indice de contamination par le fer dans l'eau du lac El Mellah

Stations	Valeur de l'ICM
Station 5	0.906
Station 6	1.218

L'évaluation de l'IC pour le fer au niveau du lac *El Mellah* nous a permis de conclure que les eaux de ce lac sont indemnes de toute contamination par le fer du fait que les valeurs obtenues ne dépassent pas 2.

### 2.3.2. Le Plomb

Les teneurs en plomb contenues dans les eaux du lac El Mellah varient entre un minimum de 0.353 ppm au niveau de la station 6 et un maximum de 0.942 ppm au niveau de la station S5. Les teneurs les plus élevées sont enregistrées au niveau de la station 5 au nord du lac avec un pic de 0.9423 ppm enregistrées au mois d'Aout ;



**Fig.62:** Variations spatiotemporelles des teneurs en plomb (en ppm) dans l'eau du lac El Mellah

**Tableau 129:** Teneurs en plomb relevées dans l'eau (ppm) du lac El Mellah

Pb	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Cm
<b>S5</b>	0,400	0,501	0,524	0,813	0,812	0,857	0,926	0,942	0,914	0,722	0,652	0,412	0,706
<b>S6</b>	0,353	0,412	0,523	0,750	0,751	0,751	0,826	0,840	0,819	0,637	0,619	0,391	0,665

**Tableau 130:** Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en plomb dans l'eau du lac El Mellah

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	1	15.4	15.4	0.95	0.341ns
Variation résiduelle	22	356.0	16.2		
Total	23	371.4			

Selon la valeur de P résultante de l'analyse de la variance, on constate qu'ils n'existent pas des différences significatives entre les deux stations du lac El Mellah concernant la distribution du Plomb

#### ➤ Niveau de contamination des eaux du lac EL Mellah par le plomb

L'eau superficielle du lac El Mellah contient des concentrations en plomb nettement supérieures à la norme retenue qui est de l'ordre de 0.05 ppm, qualifiant ainsi les eaux du lac en tant que polluées par le plomb.

**Tableau 131:** valeurs de l'indice de contamination par le plomb dans l'eau du lac El Mellah

Stations	Valeur de l'ICM
Station 5	14.13
Station 6	13.31

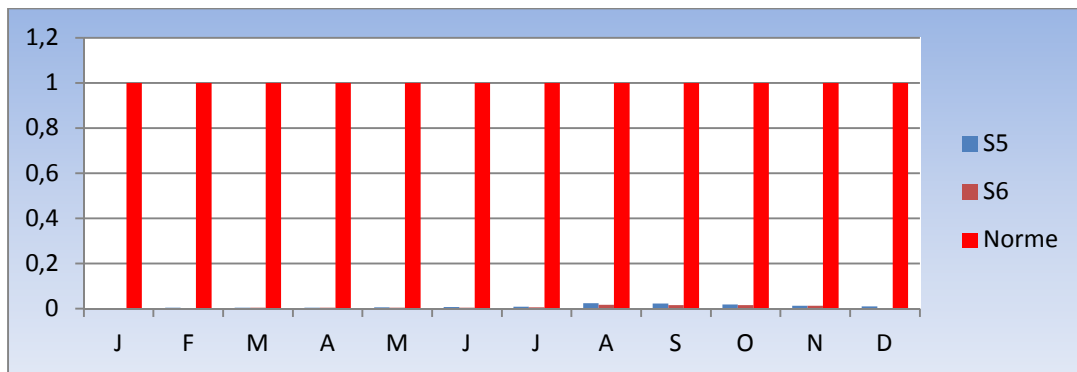
L'évaluation de l'indice de contamination par le plomb dans l'eau de chaque station du lac El Mellah nous a permis de déterminer des niveaux de pollution très élevés. Ces indices de contamination varient entre 13.31 et 14.13 respectivement dans les stations 5 et 6 (tableau 131). Du fait que les valeurs des ICM relevées dans les eaux du lac sont nettement supérieures à 2, on conclue que la zone est polluée par le plomb.

### 2.3.3. Le cuivre

Les variations spatiotemporelles du cuivre varient d'une manière similaire à celle du plomb, car les teneurs les plus élevées sont enregistrées au niveau de la station 5 ; et par rapport au temps, les pics sont enregistrés durant la saison chaude ;

**Tableau 132:** Teneurs en cuivre relevées dans l'eau (ppm) du lac El Mellah

Cu	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Cm
S5	0,003	0,004	0,004	0,004	0,005	0,006	0,008	0,024	0,022	0,018	0,013	0,009	0,010
S6	0,001	0,002	0,003	0,004	0,004	0,004	0,006	0,016	0,016	0,015	0,012	0,0012	0,005



**Fig.63:** Variations spatiotemporelles des teneurs en cuivre en (ppm) dans l'eau du lac El Mellah

**Tableau 133:** Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en cuivre dans l'eau du lac El Mellah

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	1	0,000916	0,000916	2,01	0,171NS
Variation résiduelle	22	0,010053	0,000457		
Total	23	0,010970			

Selon la valeur de P résultant de l'analyse de la variance, on constate que les teneurs en cuivre ne montrent pas des différences significatives entre les deux stations du lac.

#### ➤ Niveau de contamination des eaux du lac El Mellah par le cuivre

L'eau superficielle du lac Oubeira contient des concentrations en cuivre nettement inférieures à la norme retenue qui est de l'ordre de 0.05ppm, qualifiant ainsi les eaux du lac comme indemne de toute pollution par le cuivre.

**Tableau 134:** valeurs de l'indice de contamination par le cuivre dans l'eau du lac El Mellah

Stations	Valeur de l'ICM
Station 5	0.0103
Station 6	0.0075

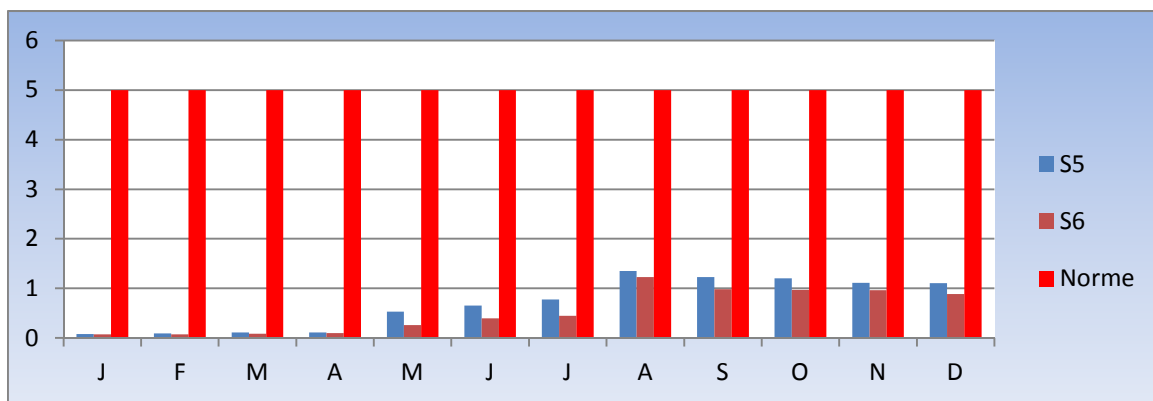
Du fait que les valeurs des ICM relevées dans les eaux du lac El Mellah sont nettement inférieures à 2 nous pouvons considérer le lac *El Mellah* comme une zone indemne de toute contamination par le cuivre.

### 2.3.4. Le zinc

Les teneurs en zinc contenue dans l'eau du lac El Mellah sont comprises entre 0.073 ppm et 1.354 ppm. En ce qui concerne l'évolution spatiotemporelle du zinc, ce métal montre des teneurs plus élevées dans la station 5 que la station six (tableau 135, figure 64), au niveau de cette station, la teneur la plus élevée est enregistrée au cours de l'été.

**Tableau 135:** Teneurs en zinc relevées dans l'eau (ppm) du lac El Mellah

Z	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Cm
S5	0,08	0,09	0,11	0,111	0,534	0,658	0,777	1,35	1,23	1,20	1,115	1,109	0,69
S6	0,07	0,07	0,088	0,099	0,264	0,398	0,447	1,23	0,98	0,97	0,967	0,884	0,54



**Fig.64:** Variations spatiotemporelles des teneurs en zinc en (ppm) dans l'eau du lac El Mellah

**Tableau 136:** Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en zinc dans l'eau du lac El Mellah

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	1	0,149	0,149	0,67	0,421 NS
Variation résiduelle	22	4,891	0,222		
Total	23	5,040			

Selon la valeur de P résultante de l'analyse de la variance, on constate que les teneurs en zinc montrent des différences significatives entre les deux stations du lac El Mellah concernant la distribution du zinc.

#### ➤ Niveau de contamination des eaux du lac El Mellah par le zinc

Selon la norme admise par notre étude qui est égale à 5ppm, on constate que les eaux du lac El Mellah sont indemnes de toute contamination par le cuivre.

**Tableau 137:** valeurs de l'indice de contamination par le zinc dans l'eau du lac El Mellah

Stations	Valeur de l'ICM
Station 5	0.1390
Station 6	0.1081

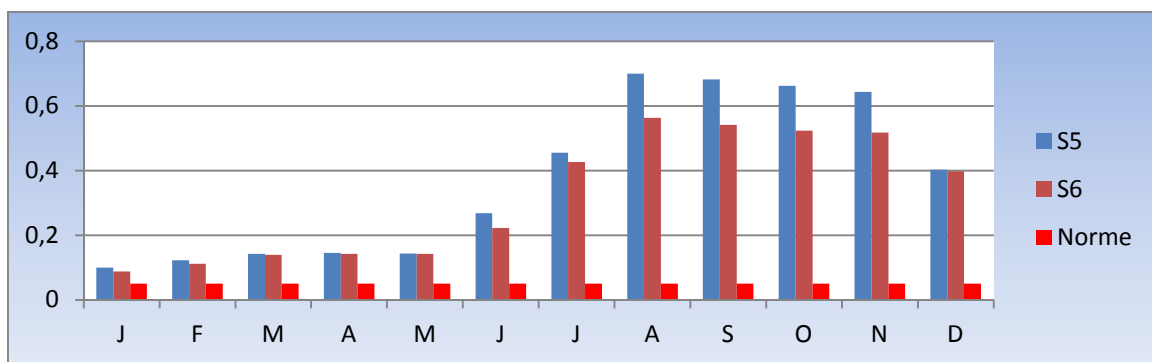
Du fait que les valeurs des ICM relevées dans les eaux du lac El Mellah sont inférieures à 2 nous pouvons considérer le lac Oubeira comme une zone non polluée par le zinc

### 2.3.5. Le Chrome

Dans l'eau du lac El Mellah, le chrome est présent à des teneurs variant de 0.0875 à 0.6991 ppm (figure 65, tableau 138), les valeurs les plus élevées sont relevées dans la station 5. Au niveau de la station 6 les teneurs sont comprises entre 0.087 ppm et 0.563 ppm. les teneurs relevées dans les eaux de la lagune El Mellah dépassent la valeur guide qui est de l'ordre de 0.05 ppm.

**Tableau 138:** Teneurs en chrome relevées dans l'eau (ppm) du lac El Mellah

Zn	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Cm
S5	0,099	0,122	0,142	0,145	0,143	0,268	0,454	0,699	0,681	0,662	0,643	0,403	0.372
S6	0,087	0,111	0,138	0,142	0,142	0,222	0,426	0,563	0,541	0,523	0,517	0,397	0.317



**Fig.65:** Variations spatiotemporelles des teneurs en chrome des eaux du lac El Mellah

**Tableau 139:** Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en chrome dans l'eau du lac El Mellah

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	1	0,0177	0,0177	0,36	0,555NS
Variation résiduelle	22	1,0805	0,0491		
Total	23	1,0982			

Selon la valeur de P résultante de l'analyse de la variance, on constate qu'ils n'existent pas des différences significatives entre les deux stations du lac El Mellah concernant la distribution du chrome.

#### ➤ Niveau de contamination des eaux du lac El Mellah par le chrome

L'eau superficielle des stations considérées au lac El Mellah présente des concentrations supérieures à la norme retenue qualifiant ainsi les eaux du lac El Mellah comme polluées par le chrome.

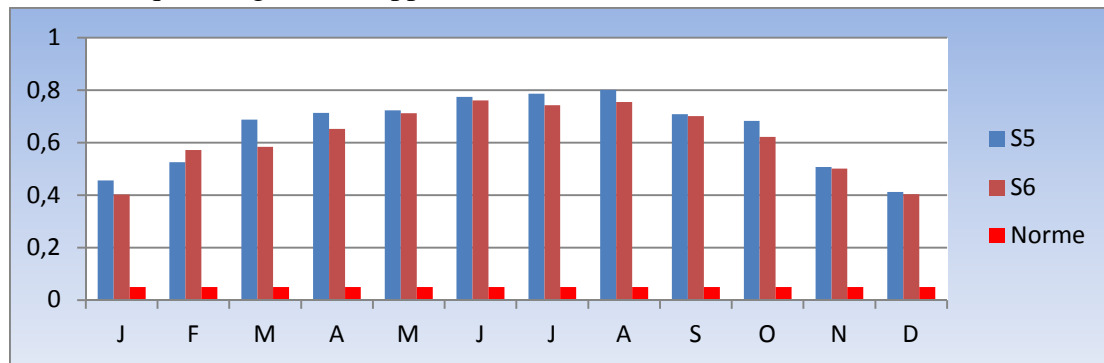
**Tableau 140 :** valeurs de l'indice de contamination par le chrome dans l'eau du lac El Mellah

Stations	Valeur de l'ICM
Station 5	7.44
Station 6	6.35

Du fait que les valeurs des ICM relevées dans les eaux du lac El Mellah sont nettement supérieures à 2 au niveau des deux stations, peut affirmer que la zone est fortement contaminée par le chrome.

### 2.3.6. Le Nickel

Les teneurs en nickel dans les eaux du lac El Mellah varient entre un minimum de 0.402 ppm et un maximum de 0.800, L'évolution spatiotemporelle du nickel montre que dans la station 6 au sud du lac, les teneurs sont plus élevées. Les teneurs du nickel dépassent nettement la norme admise qui est égale à 0.05ppm.



**Fig.66:** Variations spatiotemporelles des teneurs en nickel en (ppm) des eaux du lac El Mellah

**Tableau 141:** Teneurs en nickel relevées dans l'eau (ppm) du lac El Mellah

Ni	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Cm
S5	0,456	0,525	0,687	0,713	0,722	0,774	0,786	0,800	0,708	0,682	0,507	0,412	0,647
S6	0,4021	0,572	0,583	0,652	0,712	0,76	0,7423	0,754	0,700	0,622	0,500	0,404	0,617

**Tableau 142:** Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en nickel dans l'eau du lac El Mellah.

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	1	0,0057	0,0057	0,33	0,573NS
Variation résiduelle	22	0,3825	0,0174		
Total	23	0,3882			

Selon la valeur de P, résultant de l'analyse de la variance, on constate qu'il n'y a pas de différences significatives entre les deux stations du lac El Mellah concernant la distribution du nickel.

#### ➤ Niveau de contamination des eaux du lac El Mellah par le nickel

L'eau du lac El Mellah montre des concentrations supérieures à la norme admise allant jusqu'à 0.8 ppm durant l'été. Comme pour les autres éléments c'est au niveau de la station S5 que les teneurs sont plus élevées.

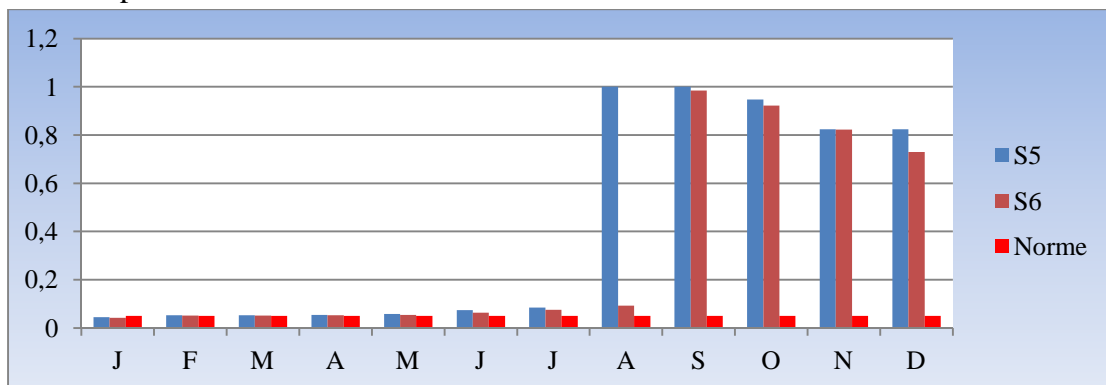
**Tableau 143:** valeurs de l'indice de contamination par le nickel dans l'eau du lac El Mellah

Stations	Valeur de l'ICM
Station 5	12.952
Station 6	12.342

Du fait que les valeurs des ICM relevées dans les eaux du lac El Mellah sont nettement supérieures à 2 au niveau des stations 5 et 6, nous pouvons considérer le lac comme une zone fortement contaminée par le nickel.

### 2.3.7. Le manganèse

Dans les eaux du lac El Mellah le manganèse (figure 67, tableau 144) montre des teneurs plus élevées dans l'eau de la station 5 (0.044 à 1 ppm) ; par rapport à la station 6 (0.0421-0.9841ppm). Généralement l'évolution spatiotemporelle du manganèse montrent que dans les deux stations étudiées, les valeurs sont basses puis augmentent progressivement pour atteindre les pics en été et en automne.



**Fig.67:** Variations spatiotemporelles des teneurs en manganèse en (ppm) des eaux du lac El Mellah

**Tableau 144:** Teneurs en manganèse relevées dans l'eau (ppm) du lac El Mellah

Mn	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Cm
S5	0,044	0,052	0,053	0,053	0,057	0,073	0,084	1	1	0,947	0,824	0,823	0,417
S6	0,042	0,050	0,051	0,052	0,054	0,063	0,074	0,092	0,984	0,922	0,822	0,729	0,328

**Tableau 145:** Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en manganèse dans l'eau du lac El Mellah

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les	1	0,048	0,048	0,27	0,610ns
Variation résiduelle	22	3,951	0,180		
Total	23	3,999			

Selon la valeur de P résultante de l'analyse de la variance, on constate qu'ils n'existent pas des différences significatives entre les deux stations du lac El Mellah concernant la distribution du manganèse.

➤ **Niveau de contamination des eaux du lac El Mellah par le manganèse**

L'eau du lac El Mellah montre des concentrations supérieures à la norme admise allant jusqu'à 1.206 ppm durant l'été. Il est à noter que des concentrations normales sont relevées durant l'hiver au niveau des deux stations.

**Tableau 146:** valeurs de l'indice de contamination de l'eau par le manganèse de la lagune Mellah

Stations	Valeurs de l'ICM
station 5	8.352
station 6	6.562

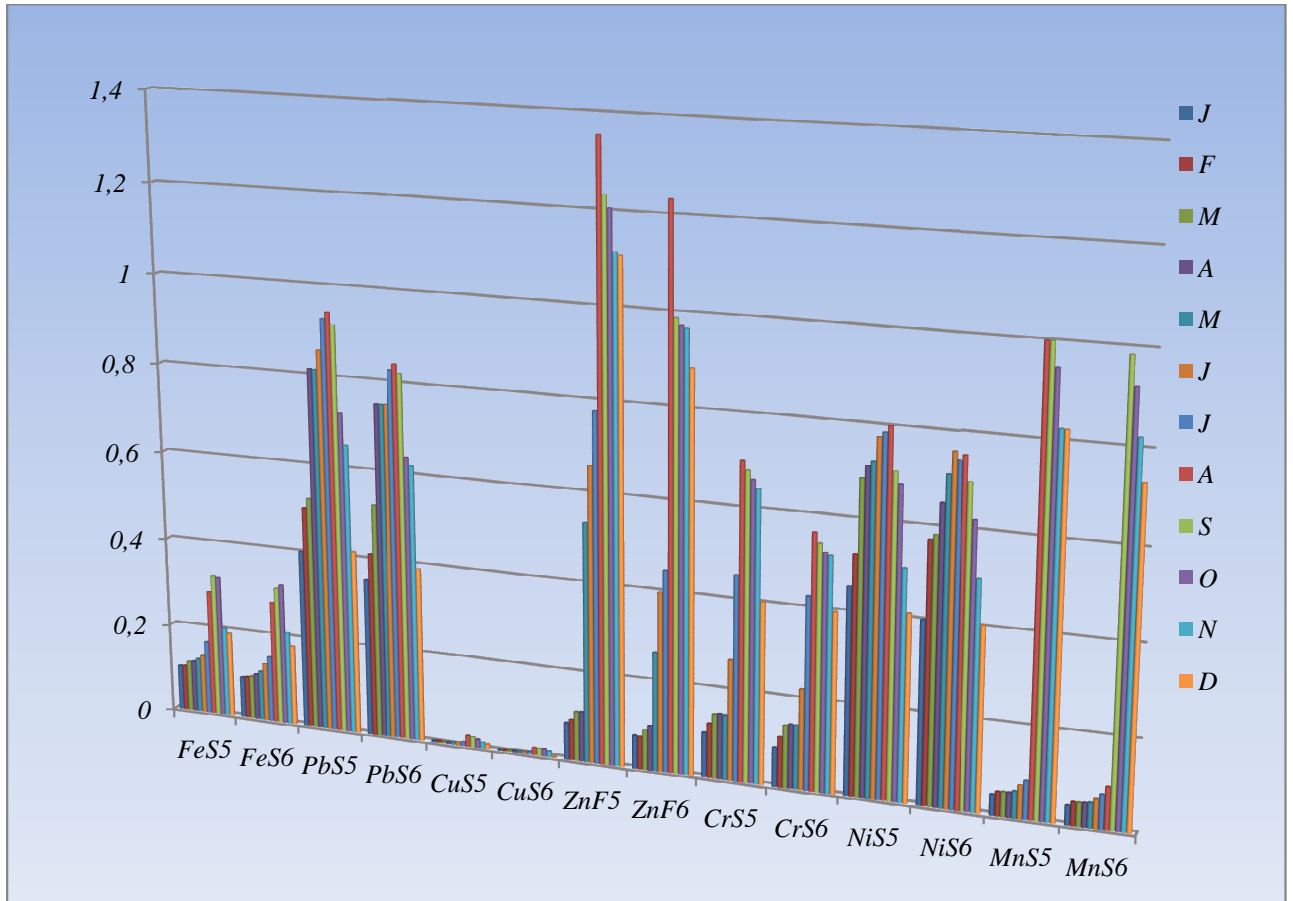
Du fait que les valeurs des ICM relevées dans les eaux du lac El Mellah sont supérieures à 2 au niveau des stations 5 et 6, nous pouvons considérer le lac comme une zone polluée par le manganèse.

**2.3.8. Bilan de la qualité des eaux du lac El- Mellah**

Les eaux du lac Mellah sont polluées par le plomb, le chrome, le nickel et ; le manganèse du fait que les ICM dépassent la valeur guide. Par contre les ICM des autres éléments (fer, le cuivre, le zinc) sont en dessous de la valeur 2 et de ce fait ils ne présentent aucun danger pour le milieu.

**Tableau 147:** Tableau récapitulatif des teneurs brutes en métaux lourds (en ppm) au niveau du lac Mellah

Elément/ Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>FeS5</b>	0,1015	0,1025	0,115	0,117	0,124	0,132	0,167	0,2824	0,322	0,3201	0,2022	0,1908
<b>FeS6</b>	0,0923	0,0944	0,0968	0,103	0,1122	0,1309	0,1488	0,2771	0,3101	0,318	0,21	0,18
<b>PbS5</b>	0,4002	0,5013	0,5245	0,8135	0,8125	0,8577	0,9265	0,9423	0,9145	0,7222	0,6521	0,412
<b>PbS6</b>	0,3539	0,412	0,5235	0,7503	0,75	0,751	0,8263	0,8406	0,8199	0,6372	0,619	0,391
<b>CuS5</b>	0,0035	0,0043	0,004	0,0042	0,0053	0,0065	0,0083	0,0244	0,0221	0,0182	0,013	0,0098
<b>CuS6</b>	0,0017	0,0026	0,0039	0,004	0,0045	0,0047	0,0063	0,0167	0,0162	0,0158	0,0125	0,0012
<b>ZnS5</b>	0,083	0,092	0,11	0,1111	0,5342	0,658	0,7777	1,354	1,232	1,205	1,115	1,109
<b>ZnS6</b>	0,0742	0,073	0,0883	0,0992	0,2643	0,3989	0,447	1,232	0,987	0,9729	0,9673	0,8842
<b>ZnS5</b>	0,456	0,5255	0,6873	0,713	0,7227	0,7745	0,7862	0,8007	0,7085	0,682	0,507	0,412
<b>ZnS6</b>	0,4021	0,572	0,5834	0,652	0,712	0,76	0,7423	0,754	0,7009	0,622	0,5008	0,404
<b>CrS5</b>	0,0995	0,1221	0,1421	0,1456	0,1435	0,268	0,4548	0,6991	0,6813	0,6621	0,6436	0,403
<b>CrS6</b>	0,0875	0,1119	0,1389	0,1426	0,1421	0,2224	0,426	0,5632	0,5412	0,523	0,5175	0,3975
<b>MnS1</b>	0,0822	0,0847	0,0865	0,0897	0,0932	0,1234	0,1435	0,1612	0,16	0,152	0,123	0,1111
<b>MnS2</b>	1,1141	1,1144	1,213	1,2325	1,243	1,468	1,6432	1,854	1,7232	1,3205	1,223	1,22



**Fig.68:** Histogramme récapitulatif des concentrations brutes en métaux Lourds dans les eaux du lac El Mellah

# *Résultats & Discussion*

## *Troisième Partie*

---

## CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

---

### *Troisième partie : La contamination métallique des sédiments superficiels de la zone d'étude*

---

#### **1. Introduction**

Lorsque les polluants sont libérés dans l'environnement, ils sont fréquemment mobilisés dans la rivière et dans l'atmosphère et durant leur transport, ils peuvent être incorporés dans les sédiments. Dans la plupart des systèmes aquatiques, les sédiments contiennent significativement plus de métaux lourds que de l'eau et ils jouent un rôle dans le cycle hydrologique. C'est pourquoi l'analyse des métaux lourds est un outil de reconnaissance, de localisation d'un minerai, de détermination de la qualité de l'eau, et d'identification des sources de pollution (Horowitz et Ilrick, 1988).

Les sédiments résultent du dépôt de matériel d'origine minéralogique ou biogénique de nature très variées (Ramade, 1996). Ils se divisent en deux parties : les matières en suspension MES et les sédiments déposés en surface, ce dernier est le compartiment choisis pour notre étude. Le choix de ce compartiment est motivé par son rôle clé dans le cycle des métaux dans l'environnement, car les particules fines en suspension servent de sites d'adsorption des ions métalliques et les sédiments sont un excellent milieu de fixation pour ces ions (Vernet, 1992). De plus, l'adsorption dépend de l'origine des substances et des conditions du milieu (pH, potentiel redox, granulométrie...) (Serpaud *et al.*, 1994).

L'influence de ces dernières est importante, car elles définissent les liens participant à la fixation des cations métalliques sur les sédiments, ainsi que les capacités d'adsorption, variables selon la nature du métal. Concernant la granulométrie, la plupart des auteurs préconisent des analyses sur une fraction granulométrique déterminée, ce qui permet d'améliorer les seuils de détection en métaux lourds (Robbe, 1981). Par exemple les sables constituent une phase pauvre en métaux, alors que les particules fines et notamment les argiles, en sont le support principal. Les grosses particules agissent comme diluant, d'où l'intérêt d'un tamisage à 63 milli-micron, « fraction de notre étude », séparant la fraction fine de la fraction grossière. Plus les sédiments sont fins, plus ils sont riches en métaux. Donc la granulométrie est un des principaux facteurs de variation des teneurs en contaminants dans les sédiments (Robbe, 1981).

Nous avons opté à analyser une fraction granulométrique bien définie ( $< 63 \mu\text{m}$ ) car elle offre une meilleure garantie de la validité de comparaison que nous serons amenés à nous faire entre les teneurs métalliques, des sédiments des différentes stations choisies. (Klamer *et al.*, 1990 ; Ferreira *et al.*, 1996 ; Balls *et al.*, 1997 ; Meador *et al.*, 1998 ; Harland *et al.*, 2000).

En effet la fraction fine ( $< 63 \mu\text{m}$ ) est généralement riche en polluant et contient une grande partie de niveau d'argile, Al-Fe/Mn d'oxyhydroxyde, de silice amorphe et de matière organique/humique qui absorbent activement et concentrent les polluants (Forstner *et*

Patchineelam, 1980 ; Thorne et Nickless, 1981 ; Salomons et Forstner, 1984 ; Reitner et Kralik, 1997).

## 2. Evolution spatiotemporelle des métaux lourds des sédiments superficiels des trois lacs

Sept éléments toxiques : le fer (Fe), le Plomb (Pb), le Zinc (Zn), le Cuivre (Cu), le Nickel (Ni), le Chrome (Cr) et le Manganèse (Mn) ont été recherché dans les sédiments superficiels des six stations prospectées. Les résultats d'analyses des éléments métalliques et leur description statistique sont présentés dans le tableau 157.

**Tableau 157: Evolution spatiale des métaux lourds des sédiments superficiel des trois lacs**

Stations ETM	S1	S2	S3	S4	S5	S6
	Moy ± E.type (Min-Max)	Moy ± E.type (Min-Max)	Moy ± E.type (Min-Max)	Moy ± E.type (Min-Max)	Moy ± E.type (Min-Max)	Moy ± E.type (Min-Max)
<b>Fe</b>	20702.66±1066.3 (19620-22866)	19910.58±347.7 (19366-20250)	17724.25±1082.9 (15708-18510)	16716.25 ±744.24 (15608-17546)	5421.25±1020.0 (4220-6450)	2350.83±134.07 (2124-2478)
<b>Pb</b>	105.5±35.36 (63-150)	48.25±18.89 (25-87)	26.33±9.04 (16-42)	21.41±4.7 (16-28)	9.41±1.35 (7.4-11.4)	7.42 ±1.80 (5.35-10.21)
<b>Cu</b>	48.25 ± 4.59 (40-56)	26.75 ± 6.44 (16-34)	52.75 ± 20.06 (16-75)	41.58 ± 15.24 (17-57)	11.71 ± 2.10 (8.2-17.85)	10.05 ± 2.13 (6.1 – 13.22)
<b>Zn</b>	113.33 ± 9.27 (98-126)	101.83 ± 9.62 (86-116)	202.26 ± 25.47 (165-235)	176.27 ± 9.80 (163-192)	73.83 ± 5.42 (66-82)	5.58 ± 65.83 (56-75)
<b>Ni</b>	5.88 ± 10.72 (37.55 – 70.33)	73.87 ± 9.51 (59.1 – 90.31)	193.79 ± 280.86 (98.5-1085.4)	91.11 ± 4.96 (82.08 96.85)	291.78 ± 92.73 (223.09-485.01)	231.28 ± 42.01 (198.1-310.2)
<b>Cr</b>	57.05 ± 13.43 (34.2-73.14)	77.34 ± 7.01 (66.09-87.21)	196.26 ± 24.45 (150.3 – 220.75)	161.66 ± 11.32 (139.21-172.99)	267.33 ± 47.99 (208.75-330.22)	558.96±133.96 (365.01-700.01)
<b>Mn</b>	79.99 ± 13.26 (62.25 – 102.34)	513.87 ± 96.09 (675.33 – 410.25)	492.83 ± 91.49 (368.03-610)	484.08 ± 93.70 (370.2-613.35)	73.80 ± 15.11 (46.21-95.21)	79.56 ± 19.83 (49-100.3)

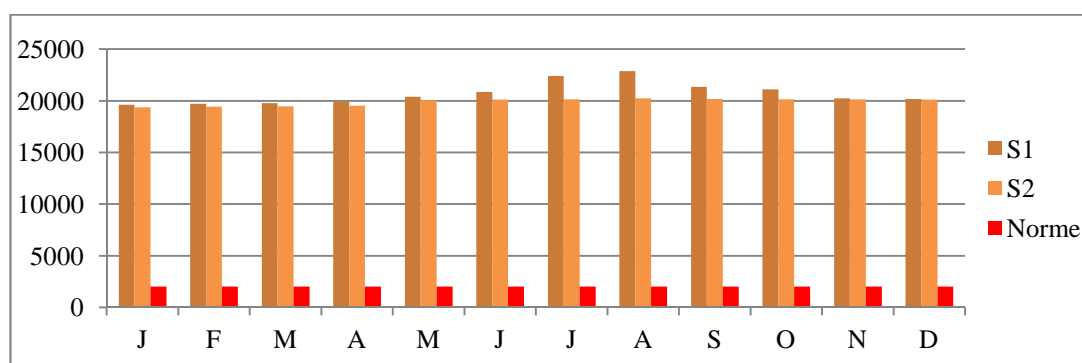
### 2.1. Les sédiments superficiels du lac Tonga

#### 2.1.1. Le fer

Le tableau 158, présente les teneurs en métaux lourds dans le sédiment superficiel des stations S1 et S2 du lac Tonga. Comme pour les eaux du lac Tonga, on note aussi de fortes teneurs pour cet élément dans les sédiments superficiels de ce lac. Les teneurs en fer varient entre un minimum 19620 mg/Kg de p.s et un maximum de 22866 mg/kg de p.s au niveau de la station S1. L'augmentation des teneurs en fer est toujours enregistrée en période chaude. Les teneurs en fer les plus élevées sont notées au niveau de la station S1. Les deux stations du lac Tonga présentent des teneurs en dessus de la norme admise par notre étude qui est de l'ordre de 2000 mg/kg. Les fortes teneurs en fer pourraient être attribuées à la nature argileuse du sédiment.

**Tableau 158: Teneurs en fer relevées dans le sédiment superficiel (en mg/Kg) du lac Tonga**

Fe	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>S1</b>	19620	19698	19780	19890	20408	20860	22422	22866	21348	21115	20235	20190
<b>S2</b>	19366	19430	19458	19530	20056	20120	20140	20250	20180	20140	20135	20122



**Fig.77:** variations spatiotemporelles des teneurs en fer relevées dans le sédiment du lac Tonga

**Tableau 159:** Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en plomb dans le sédiment du lac Tonga.

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	1	3764376	3764376	5,98	0.023*
Variation résiduelle	22	13839298	629059		
Total	23	17603674			

Selon la valeur de P, trouvée suite à l'analyse de la variance, on constate des différences significatives qui existent entre les deux stations du lac Tonga concernant la distribution du fer dans le sédiment superficiel.

**Tableau 160:** valeurs de l'indice de contamination par le fer dans le sédiment du lac Tonga

Stations	Valeur de l'ICM
Station 1	10.35
Station 2	9.95

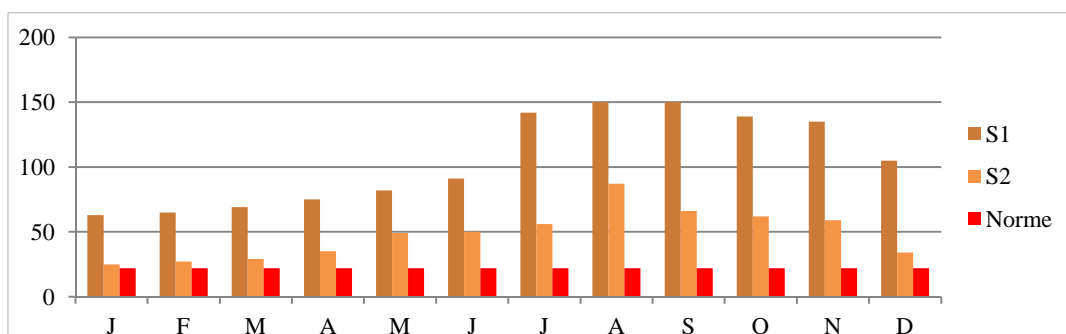
Selon les valeurs des indices de contamination, par le fer on relève des Ic importants au niveau des deux stations du lac Tonga. Les indices de contaminations présentent des valeurs supérieures à 2 dépassants ainsi la norme admise par notre étude. Cela explique une importante pollution par le fer.

### 2.1.2. Le Plomb

Les teneurs relevées par le plomb montrent une contamination parfois importante, qui s'accroît durant les basses eaux. En effet, ces teneurs varient au niveau des deux stations entre un minimum de 25 mg/kg de p.s enregistrée durant les hautes eaux et un maximum de 150 mg/kg de p.s enregistrée durant les basses eaux. Les teneurs en plomb des deux stations S1 et S2 se situent en dessus de la norme admise par notre étude (tableau 161, figure 78).

**Tableau 161:** Teneurs en plomb relevées dans le sédiment superficiel (en mg/Kg) du lac Tonga

Pb	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
S1	63	65	69	75	82	91	142	150	150	139	135	105
S2	25	27	29	35	49	50	56	87	66	62	59	34



**Fig.78:** variations spatiotemporelles des teneurs en plomb relevées dans le sédiment du lac Tonga

**Tableau 162:** Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en plomb dans le sédiment du lac Tonga.

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	1	19665	19665	24.47	0.000***
Variation résiduelle	22	17683	804		
Total	23	37349			

Selon la valeur de p, ils existent des différences très hautement significatives entre les deux stations du lac Tonga concernant la distribution du plomb dans le sédiment superficiel du lac Tonga.

**Tableau 163:** valeurs de l'indice de contamination par le plomb du sédiment superficiel du lac Tonga

Stations	Valeur de l'ICM
Station 1	4.79
Station 2	2.19

Les indices de contamination relevés par le plomb dans les sédiments du lac Tonga révèlent des valeurs supérieures à la norme qui est de l'ordre de 3, au niveau de la station 1, qualifiant le sédiment de la S1 comme pollué.

### 2.1.3. Le cuivre

On note pour cet élément une teneur minimale de l'ordre de 16 mg/kg de p.s relevée dans la station S2 durant les hautes eaux et une teneur maximale de l'ordre de 56 mg/kg de p.s durant les basses eaux relevées au niveau de la station 1 (tableau 164, figure 79). On remarque aussi que les teneurs se rapprochent au niveau de la même station. En effet, les teneurs les plus élevées sont enregistrées au niveau de la station 1.

**Tableau 164 :** Teneurs en cuivre relevées dans sédiment superficiel (en mg/Kg) du lac Tonga

Cu	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
S1	40	42	48	50	49	49	54	56	52	47	47	45
S2	16	19	19	22	25	26	32	34	33	33	31	31

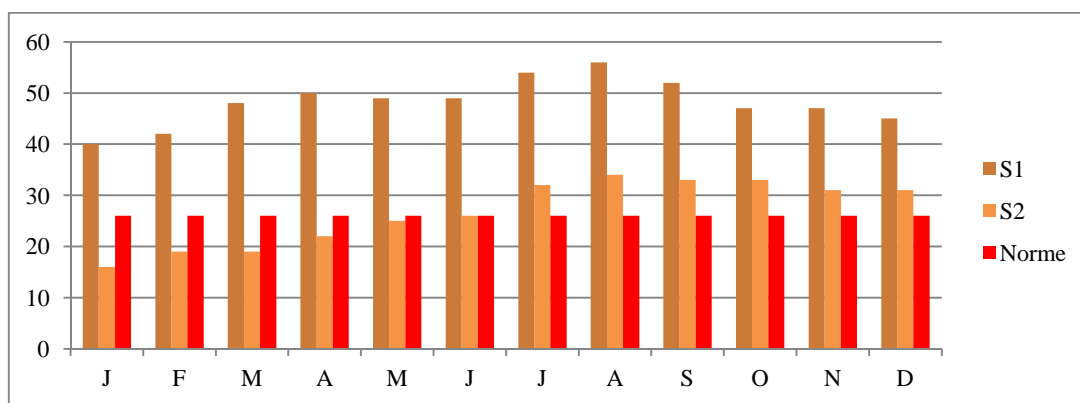


Fig.79: variations spatiotemporelles des teneurs en cuivre relevées dans le sédiment du lac Tonga

Tableau 165: Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en cuivre dans le sédiment du lac Tonga.

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	1	2773,5	2773,5	88,62	0.000***
Variation résiduelle	22	688,5	31,3		
Total	23	3462,0			

Selon la valeur **P** ils existent des différences très hautement significatives entre les deux stations du lac Tonga concernant la distribution du cuivre dans le sédiment superficiel du lac Tonga.

Tableau 166: valeurs d'indice de contamination par le cuivre du sédiment superficiel du lac Tonga

Stations	Valeur de l'ICM
Station 1	1.85
Station 2	1.02

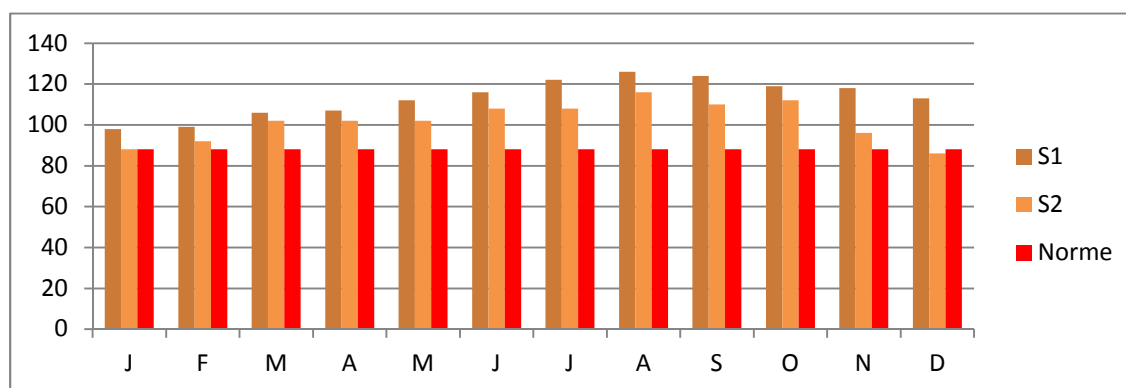
Selon les valeurs des indices de contamination relevées par le cuivre, on relève un sédiment superficiel indemne de toute contamination par le cuivre comme pour les eaux du même lac.

#### 2.1.4. Le zinc

Les teneurs en zinc se situent entre une valeur minimale de l'ordre de 86 mg/kg de p.s au niveau de la station S2 et une valeur maximale de l'ordre de 126 mg/kg de p.s au niveau de la station 1. Les variations spatiotemporelles montrent que les teneurs les plus élevées sont notées au niveau de la station S1 et par rapport au temps, les fortes teneurs sont enregistrées durant les basses eaux et les faibles teneurs sont enregistrées durant les hautes eaux. Généralement l'évolution des teneurs pour cet élément sont similaires dans les deux stations S1 et S2 (tableau 167, figure 80).

Tableau 167: Teneurs en zinc relevées dans sédiment superficiel en (mg/Kg) du lac Tonga

Zn	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
S1	98	99	106	107	112	116	122	126	124	119	118	113
S2	88	92	102	102	102	108	108	116	110	112	96	86



**Fig.80:** variations spatiotemporelles des teneurs en zinc relevées dans le sédiment du lac Tonga

**Tableau 168:** Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en zinc dans le sédiment du lac Tonga.

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	1	793,5	793.5	8.88	0.007**
Variation résiduelle	22	1966,3	89.4		
Total	23	2759,8			

Les valeurs de P, résultant de l'AVI, on constate qu'ils existent des différences hautement significatives concernant la distribution du zinc au niveau du sédiment superficiel des deux stations S1 et S2

**Tableau 169:** valeurs de l'indice de contamination par le zinc du sédiment superficiel du lac Tonga

Stations	Valeur de l'ICM
Station 1	1.28
Station 2	1.15

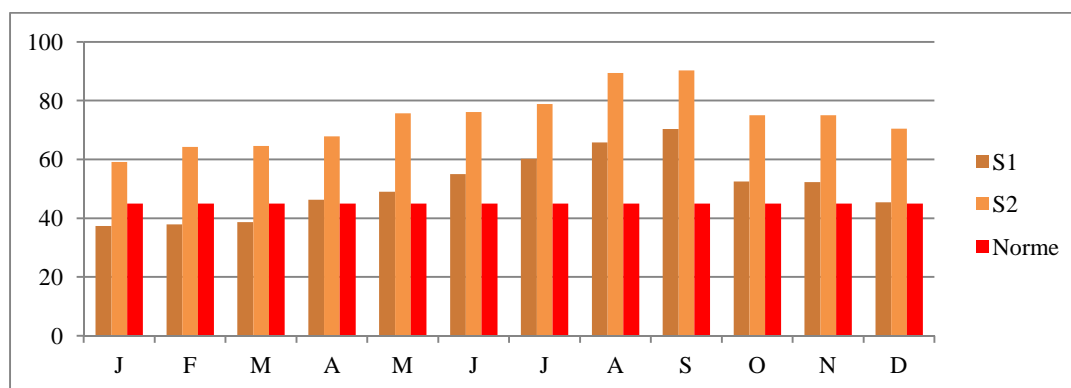
Les indices de contamination relevée par le zinc montrent une zone indemne de toute contamination par le zinc du fait que les valeurs sont inférieures à la norme admise qui est de l'ordre de 45mg/Kg.

### 2.1.5. Le nickel

Les teneurs en nickel varient entre une teneur minimale de l'ordre de 37.55 mg/kg de p.s au niveau de la station S1 et une teneur maximale de l'ordre de 90.31 mg/kg de p.-s. au niveau de la station S2. Les variations spatiotemporelles montrent des teneurs élevées au cours de l'été par contre les teneurs faible sont enregistrées durant l'hiver. Les teneurs du nickel varient de la même manière au niveau des deux stations du lac Tonga (tableau 170, figure 81).

**Tableau 170 :** Teneurs en nickel relevées dans le sédiment superficiel (en mg/Kg de p.s)du lac Tonga

Ni	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
S1	37,35	37,92	38,66	46,23	49	55,02	60,2	65,8	70,33	52,45	52,24	45,36
S2	59,1	64,21	64,54	67,8	75,66	76,1	78,89	89,42	90,31	75	75	70,42



**Fig.81:** variations spatiotemporelles des teneurs en nickel relevées dans le sédiment du lac Tonga

**Tableau 171:** Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en nickel dans le sédiment du lac Tonga.

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	1	3171	3171	30.87	0.000***
Variation résiduelle	22	2260	103		
Total	23	5432			

Selon la valeur de P, il existe des différences très hautement significatives concernant la distribution du nickel dans les deux stations S1 et S2.

**Tableau 172 :** valeurs de l'indice de contamination par le nickel du sédiment superficiel du lac Tonga

Stations	Valeur de l'ICM
Station 1	1.13
Station 2	1.64

Selon les valeurs des indices de contamination relevées par le nickel, le sédiment du lac Tonga est indemne de toute contamination par le nickel.

### 2.1.6. Le chrome

Les valeurs enregistrées varient en une valeur minimale de l'ordre de 34.2 mg/kg à la station S1 à une valeur maximale de l'ordre de 87.21 mg/kg au niveau de la station S2. L'évolution spatiotemporelle du chrome montre contrairement aux autres éléments des teneurs plus élevées au niveau de la station S2. et par rapport au temps toujours les teneurs les plus élevées sont relevées durant les basses eaux Mois d'août (tableau 173, figure 82).

**Tableau 173 :** Teneurs en chrome relevées dans le sédiment superficiel (en mg/Kg de p.s) du lac Tonga

Cr	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
S1	34,2	36,21	39,47	57,18	57,7	59,33	72,01	73,14	67,34	65,5	63,45	60,93
S2	68,33	66,09	67,12	77,4	79,13	82,41	85,5	87,21	82,25	80,4	76,36	75,94

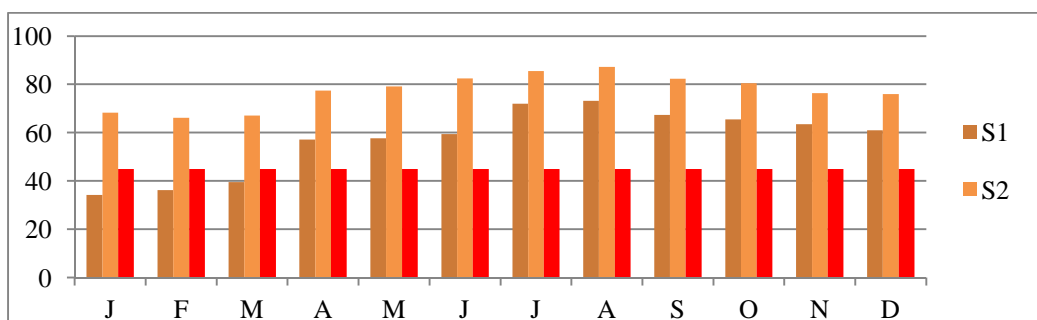


Fig.82: variations spatiotemporelles des teneurs en chrome relevées dans le sédiment du lac Tonga

Tableau 174: Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en chrome dans le sédiment du lac Tonga

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	1	2434	2434	21,18	0.000***
Variation résiduelle	22	2528	115		
Total	23	4962			

Selon la valeur de p, résultant de l'analyse de la variance on constate qu'ils existent des différences très hautement significatives concernant la distribution du chrome au lac Tonga.

Tableau 175: valeurs de l'indice de contamination par le chrome du sédiment superficiel du lac Tonga

Stations	Valeur de l'ICM
Station 1	1.13
Station 2	1.64

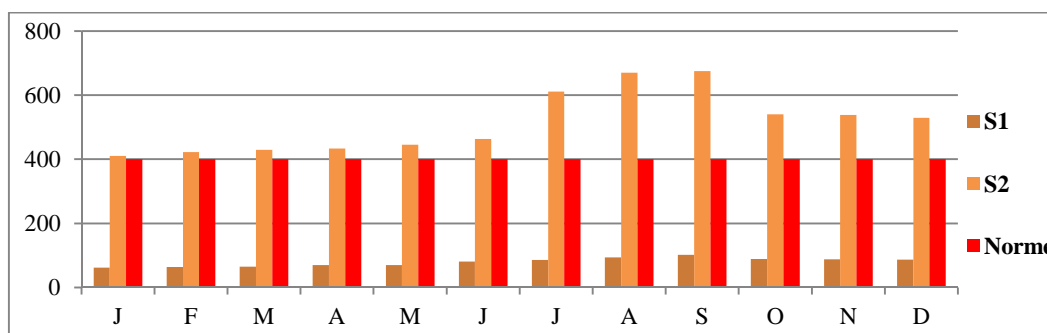
Le sédiment superficiel du lac Tonga est indemne de toute contamination par le chrome du faite que les ICM sont en dessous de la norme qui est de l'ordre de 3.

### 2.1.7. Le manganèse

Les teneurs enregistrées dans les stations du lac Tonga varient entre une teneur minimale de l'ordre de 62.25 mg/kg de p.s et une teneur maximale de l'ordre de 675mg/kg de p.s. Les teneurs les plus élevées sont relevées durant l'été et les plus faibles durant l'hiver comme pour les autres éléments (tableau 176, figure 83).

Tableau 176: Teneurs en manganèse relevées dans le sédiment superficiel (en mg/Kg de p.s) du lac Tonga

Mn	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
S1	62,25	63,75	65,33	70,02	70,1	81,35	85,99	94,22	102,34	89,3	88,25	87
S2	410,25	422	429	433,19	445,24	463	610,98	670	675,33	540	538,02	529,5



**Fig.83:** variations spatiotemporelles des teneurs en manganèse relevées dans le sédiment du lac Tonga**Tableau 177:** Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en manganèse dans le sédiment du lac Tonga

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	1	1129533	1129533	240,07	0.000***
Variation résiduelle	22	103508	4705		
Total	23	1233041			

Selon la valeur de P, résultant de l'analyse de la variance on constate qu'ils existent des différences très hautement significatives concernant la distribution du manganèse au niveau des deux stations S1 et S2.

**Tableau 178:** valeurs de l'indice de contamination par le manganèse du sédiment superficiel du lac Tonga

Stations	Valeur de l'ICM
Station 1	0.19
Station 2	1.28

Selon les valeurs d'indices de contamination relevées par le manganèse on constate que les sédiments superficiels du lac Tonga sont indemnes de toute contamination par le manganèse.

**Tableau 179 :** Les teneurs brutes en métaux lourds dans les sédiments superficiel (en mg/Kg de p.s) du lac Tonga

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
FeS1	19620	19698	19780	19890	20408	20860	22422	22866	21348	21115	20235	20190
FeS2	19366	19430	19458	19530	20056	20120	20140	20250	20180	20140	20135	20122
PbS1	63	65	69	75	82	91	142	150	150	139	135	105
PbS2	25	27	29	35	49	50	56	87	66	62	59	34
CuS1	40	42	48	50	49	49	54	56	52	47	47	45
CuS2	16	19	19	22	25	26	32	34	33	33	31	31
ZnS1	98	99	106	107	112	116	122	126	124	119	118	113
ZnS2	88	92	102	102	102	108	108	116	110	112	96	86
CrS1	34,2	36,21	39,47	57,18	57,7	59,33	72,01	73,14	67,34	65,5	63,45	60,93
CrS2	68,33	66,09	67,12	77,4	79,13	82,41	85,5	87,21	82,25	80,4	76,36	75,94
NiS1	37,35	37,92	38,66	46,23	49	55,02	60,2	65,8	70,33	52,45	52,24	45,36
NiS2	59,1	64,21	64,54	67,8	75,66	76,1	78,89	89,42	90,31	75	75	70,42
MnS1	62,25	63,75	65,33	70,02	70,1	81,35	85,99	94,22	102,34	89,3	88,25	87
MnS2	410,25	422	429	433,19	445,24	463	610,98	670	675,33	540	538,02	529,5

### **2.1.8. Bilan de qualité des sédiments superficiels du lac Tonga**

Le sédiment superficiel du lac Tonga est contaminé par **le fer et le plomb**. Par contre les autres éléments cuivre, zinc, nickel, chrome et manganèse montrent des ICM inférieurs à la norme admise par notre étude

**Remarque :** Les teneurs en fer sont présentées dans un graphe à part vu les valeurs très élevées par rapport aux autres éléments analysés.

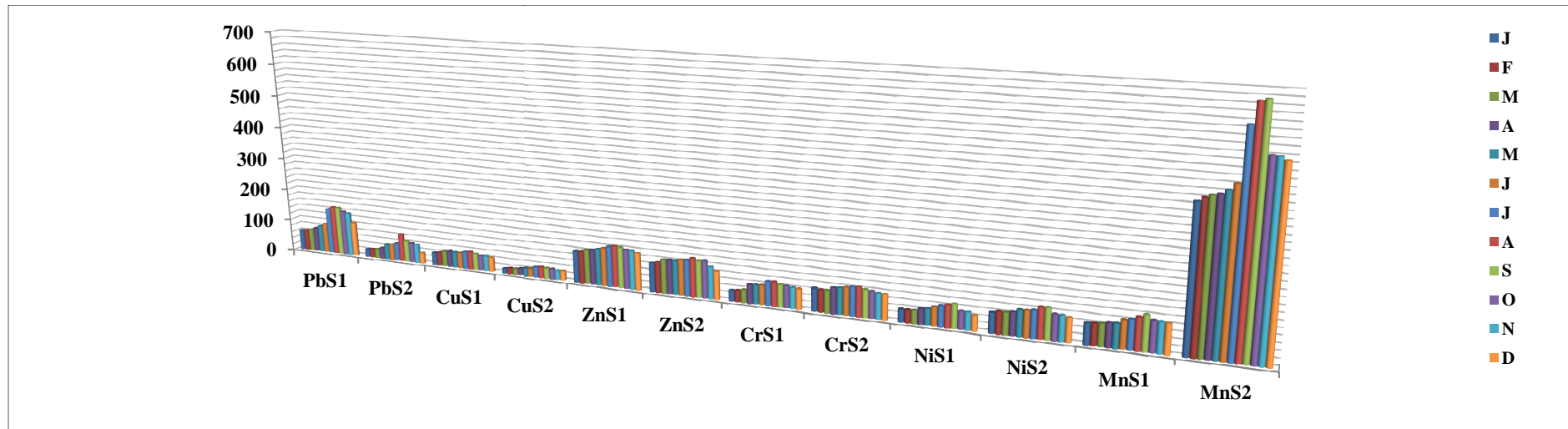
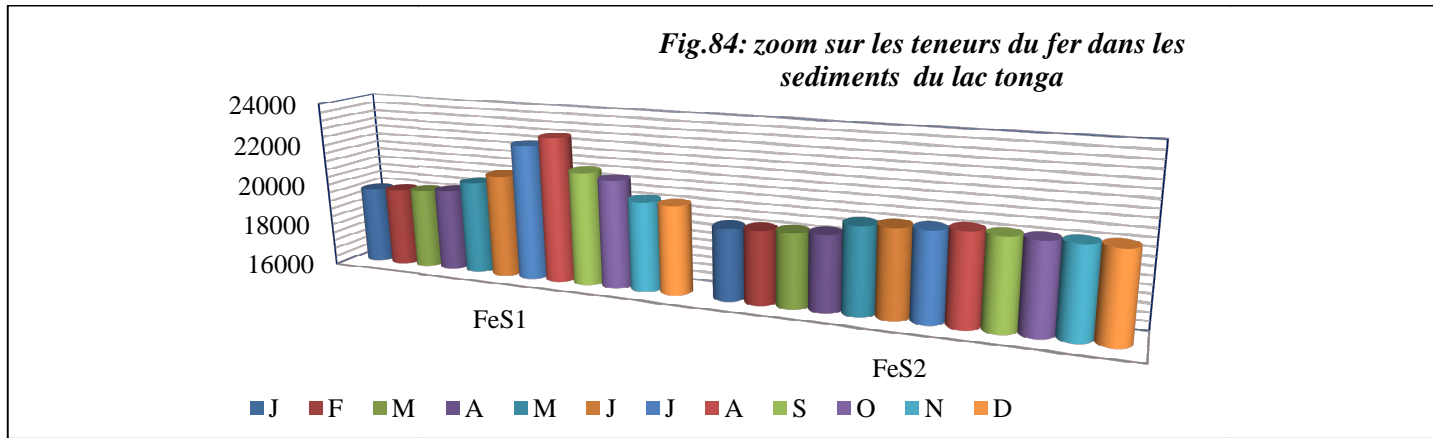


Fig. 85 : Histogramme récapitulatif de toutes les teneurs des métaux lourds en mg/kg de p.s au niveau du lac Tonga

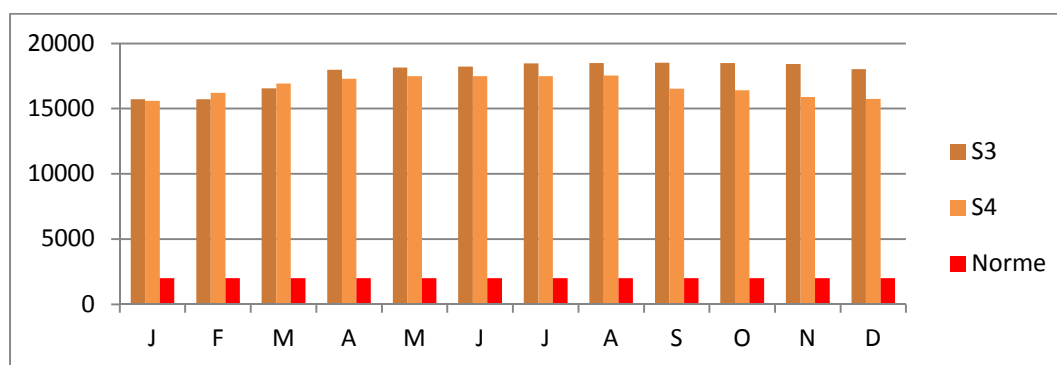
## 2.2. Les sédiments superficiels du lac Oubeira

### 2.2.1. Le fer

Le fer est parmi les éléments les plus abondants dans les sédiments du lac Oubeira, la teneur maximale atteint 18510 mg/kg de p.s au niveau de la station S3 enregistrée durant la période des basses eaux, et le teneur minimale atteint 15608 mg/kg au niveau de la station S4 enregistrée durant la période des hautes eaux. Généralement, la majeure partie du fer est contenue dans les fines particules de limon et d'argile sous forme d'hydroxyde de fer, d'autres auteurs Welken et weiller (1987), ont montré que la forte teneur en fer peut être liée à la structure des silicates qui font partie des constituants majeurs des sédiments.

**Tableau 180:** Teneurs en fer relevées dans le sédiment superficiel ((en mg/Kg de p.s) du lac Oubeira

Fe	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>S3</b>	15708	15708	16545	17980	18160	18210	18465	18480	18510	18485	18420	18020
<b>S4</b>	15608	16216	16920	17290	17480	17485	17490	17546	16530	16410	15885	15735



**Fig.86:** variations spatiotemporelles des teneurs en fer relevées dans le sédiment du lac Oubeira

**Tableau 181:** Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en fer dans le sédiment du lac Oubeira

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	1	6096384	6096384	7.06	0.014*
Variation résiduelle	22	18992888	863313		
Total	23	25089273			

Selon la valeur de P, résultant du test d'analyse de la variance on constate qu'ils existent des différences significatives entre les deux stations S3 et S4 concernant la distribution du fer.

**Tableau 182:** valeurs de l'indice de contamination par le fer du sédiment superficiel du lac Oubeira

Stations	Valeur de l'ICM
Station 3	8.86
Station 4	8.35

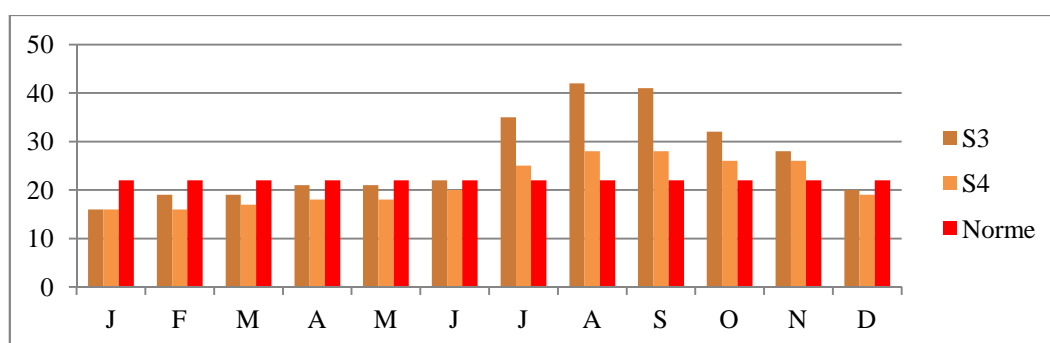
Les valeurs d'indices de contamination par le fer au niveau des deux stations S3 et S4 montrent que le sédiment du lac Oubeira est fortement contaminé par le fer, du fait que les valeurs dépassent la norme admise qui est de l'ordre de 3.

### 2.2.2. Le plomb

Les sédiments superficiels du lac Oubeira montrent une valeur maximale de l'ordre de 42 mg/kg au niveau de la station S3 et une valeur minimale de l'ordre de 16 mg/kg noté au niveau des deux stations. On comparant les différentes teneurs trouvées avec la norme on remarque que le sédiment du lac Oubeira présente généralement des teneurs normales durant la période des hautes eaux, et les teneurs augmentent généralement durant la période des basses eaux. Les variations spatiales montrent que les teneurs en plomb sont plus élevées dans la station S3.

**Tableau 183:** Teneurs en plomb relevées dans le sédiment superficiel (en mg/Kg de p.s) du lac Oubeira

Pb	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
S3	16	19	19	21	21	22	35	42	41	32	28	20
S4	16	16	17	18	18	20	25	28	28	26	26	19



**Fig.87:** variations spatiotemporelles des teneurs en plomb relevées dans le sédiment du lac Oubeira

**Tableau 184:** Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en plomb dans le sédiment du lac Oubeira

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	1	145,0	145	2.77	0.110 ns
Variation résiduelle	22	1151,6	52.3		
Total	23	1296,6			

Selon la valeur de p, résultant de l'analyse de la variance on constate qu'ils n'existent pas des différences significatives concernant la distribution du plomb au niveau des deux stations S3 et S4.

**Tableau 185 :** valeurs de l'indice de contamination par le plomb du sédiment superficiel du lac Oubeira

Stations	Valeur de l'ICM
Station 3	1.19
Station 4	0.97

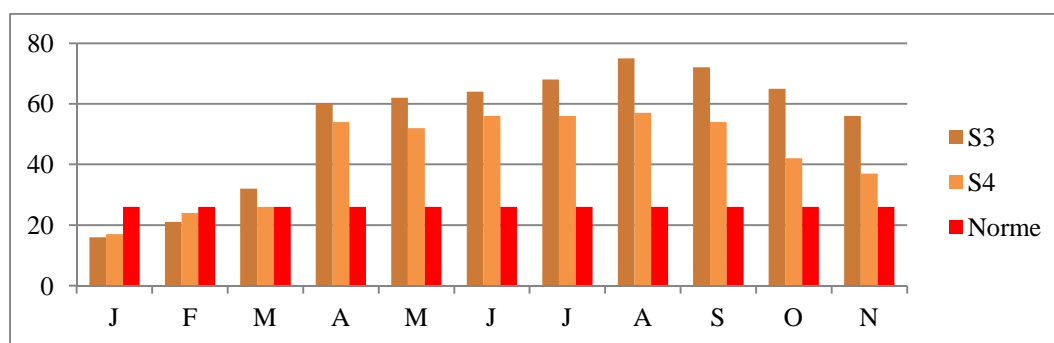
Les valeurs d'indices de contamination relevés par le plomb (1.19 et 0.97 respectivement dans la S3 et S4), indiquent un sédiment indemne de toute contamination par le plomb et cela au niveau des deux stations

### 2.2.3. Le cuivre

On note pour cet élément une teneur maximale de l'ordre de 75 mg/kg et une teneur minimale de l'ordre de 16 mg/kg relevées au niveau de la station S3. Les variations spatiotemporelles du cuivre montrent d'une part de forte concentrations durant la période des basses eaux allant jusqu'à 75mg/kg et d'autre part montrent de faibles concentrations durant la période des hautes eaux allant à 16 mg/kg. Comme pour les autres éléments les teneurs les plus élevées sont enregistrées au niveau de la station 1 au nord du lac. Les teneurs en cuivre au niveau de la station S1 reviennent à la présence au lessivage des sols par les eaux de pluies qui pourrait contribuer cependant à l'explication de la concentration enregistrée (tableau 186 figure 88).

**Tableau 186 :** Teneurs en cuivre relevées dans le sédiment superficiel (en mg/Kg de p.s) du lac Oubeira

Cu	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
S3	16	21	32	60	62	64	68	75	72	65	56	42
S4	17	24	26	54	52	56	56	57	54	42	37	24



**Fig.88:** variations spatiotemporelles des teneurs en cuivre relevées dans le sédiment du lac Oubeira

**Tableau 187:** Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en cuivre dans le sédiment du lac Oubeira

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	1	748	748	2.36	0.139ns
Variation résiduelle	22	6985	318		
Total	23	7733			

Selon la valeur de P, résultante de l'analyse de la variance, on constate qu'ils n'existent pas des différences significatives entre les stations concernant la distribution du cuivre.

**Tableau 188:** valeurs de l'indice de contamination par le cuivre du sédiment superficiel du lac Oubeira

Stations	Valeur de l'ICM
Station 3	2.02
Station 4	1.59

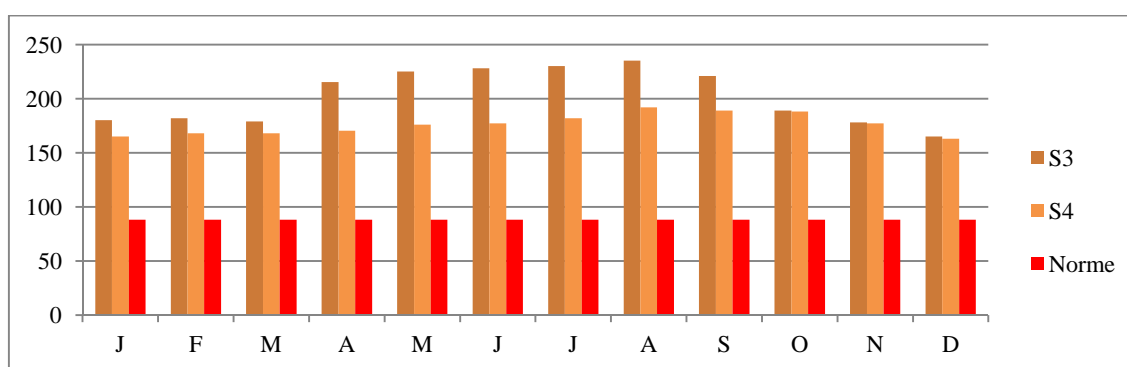
Les valeurs d'indices de contamination relevées par le cuivre, montrent qu'il existe une pollution du sédiment par le cuivre au niveau de la station 1 au nord est du lac, par contre la station S2 n'est pas contaminée par le cuivre.

#### 2.2.4. Le zinc

L'examen global des teneurs en zinc dans le sédiment du lac Oubeira indique une teneur maximale de l'ordre de 235 mg/kg au niveau de la station S3 et une teneur minimale de l'ordre de 163 mg/kg au niveau de la station S4. Ces teneurs élevées qui dépassent la norme admise qui est de l'ordre de 88mg/kg et qui est de l'ordre de 118 mg/kg qui représentent des teneurs considérées comme teneurs naturelles dans un sédiment lacustre « selon Forstner, 1977 » indique une pollution par le zinc (tableau 189, figure 89).

**Tableau 189:** Teneurs en zinc relevées dans le sédiment superficiel (en mg/Kg de p.s) du lac Oubeira

Zn	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
S3	180	182	179	215,2	225	228	230	235	221	189	178	165
S4	165	168	168	170,3	176	177	182	192	189	188	177	163



**Fig.89 :** variations spatiotemporelles des teneurs en zinc relevées dans le sédiment du lac Oubeira

**Tableau 190:** Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en zinc dans le sédiment du lac Oubeira

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	1	4053	4053	10.88	0.003**
Variation résiduelle	22	8196	373		
Total	23	12249			

Selon la valeur de P résultante de l'analyse de la variance on constate qu'ils existent des différences hautement significatives concernant la distribution du zinc au niveau des S3 et S4 l'Oubeira.

**Tableau 191:** valeurs de l'indice de contamination par le zinc du sédiment superficiel du lac Oubeira

Stations	Valeur de l'ICM
Station 3	2.29
Station 4	2.00

Le sédiment du lac Oubeira est indemne de toute contamination par le zinc du fait que les ICM sont inférieurs à la norme admise qui est de l'ordre 3.

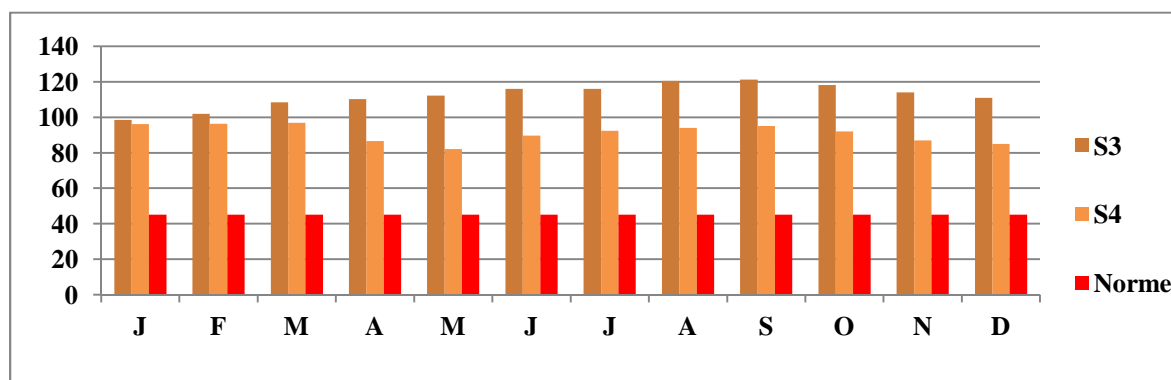
### 2.2.5. Le nickel

Les teneurs en nickel relevées dans le sédiment du lac Oubeira montrent une valeur maximale qu'est de l'ordre de 108.5 mg/kg dans la station S3. Dans la station S4 on enregistre la teneur minimale qu'est de l'ordre 82.08 mg/kg (tableau 192, figure 90).

On comparant les différentes teneurs du nickel avec la norme on constate que toutes les teneurs enregistrées dépassent nettement cette norme qui est de l'ordre de 45mg/Kg de p.s.

**Tableau 192:** Teneurs en nickel relevées dans le sédiment superficiel (en mg/Kg de p.s) du lac Oubeira

Ni	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
S3	98,5	102	108,54	110,2	112,31	116	116	120,55	121,35	118,21	114	111
S4	96,22	96,34	96,85	86,54	82,08	89,75	92,41	94,09	95,03	92,01	87,04	85,03



**Fig.90:** variations spatiotemporelles des teneurs en nickel relevées dans le sédiment du lac Oubeira

**Tableau 193:** Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en nickel dans le sédiment du lac Oubeira

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations 3	1	63256	63256	1.60	0.219ns
Variation résiduelle	22	868018	39455		
Total	23	931274			

Selon la valeur de P, résultant de l'analyse de la variance, on constate qu'ils n'existent pas des différences significatives entre les stations concernant la distribution du nickel.

**Tableau 194:** valeurs de l'indice de contamination par le nickel du sédiment superficiel du lac Oubeira

Stations	Valeur de l'ICM
Station 3	4.30
Station 4	2.02

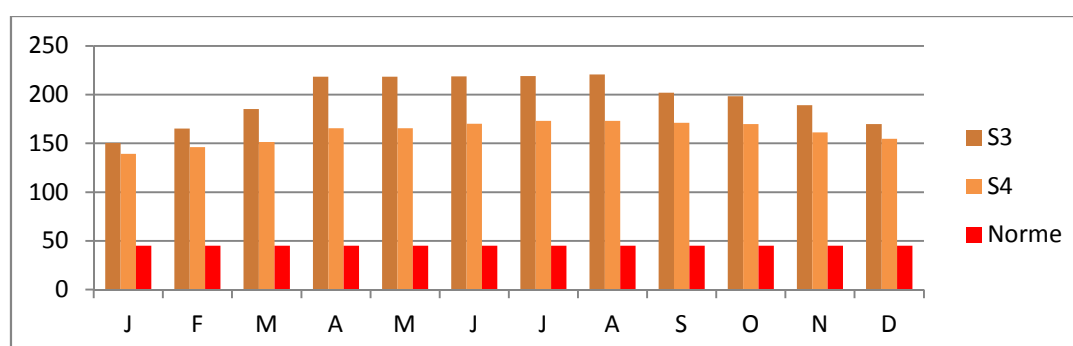
Le sédiment du lac Oubeira est contaminé par le nickel au niveau de la station du fait que l'ICM de la S3 est supérieur à la norme admise qui est de l'ordre 3.

### 2.2.6. Le chrome

Les teneurs en chrome varient entre une teneur minimale de l'ordre de 139.21mg/kg de p.s et une teneur maximale de l'ordre de 220.75mg/kg de p.s. les variations spatiotemporelles montrent et que les teneurs les plus élevées sont enregistrées durant l'été et les teneurs les plus faibles sont enregistrées durant l'hiver. (figure 91, tableau 195). Et la station S3 au nord du lac présente les teneurs les plus élevées.

**Tableau 195:** Teneurs en chrome relevées dans le sédiment superficiel (en mg/Kg de p.s) du lac Oubeira

Cr	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
S3	150,3	165,25	185,35	218,4	218,46	218,53	218,9	220,75	202,03	198,4	189,06	169,7
S4	139,21	146,05	151,34	165,35	165,4	170,09	172,94	172,99	171,02	169,8	161,11	154,65



**Fig.91:** variations spatiotemporelles des teneurs en chrome dans le sédiment du lac Oubeira

**Tableau 196:** Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en chrome dans le sédiment du lac Oubeira.

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	1	7182	7182	19.77	0.000***
Variation résiduelle	22	7991	363		
Total	23	15173			

**Tableau 197:** valeurs de l'indice de contamination par le chrome du sédiment superficiel du lac Oubeira

Stations	Valeur d'ICM du chrome
Ic <sub>Cr</sub> de la station 3	4.36
Ic <sub>Cr</sub> de la station 4	3.59

Selon les valeurs des ICM le sédiment du lac Oubeira est contaminé par le chrome, du fait que les ICM relevés par cet élément sont supérieures à la norme qui est de l'ordre 3.

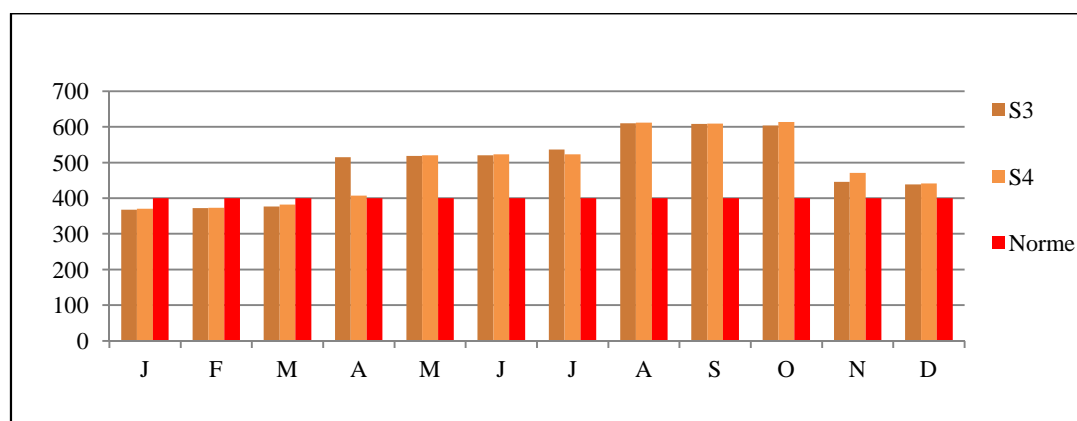
### 2.2.7. Le manganèse

Les teneurs du manganèse varient entre une teneur minimale de l'ordre de 368 mg/kg au niveau de la S3 au nord du lac et une teneur maximale de l'ordre de 613 mg/kg au niveau de la S4 (figure 92, tableau 198). Les variations spatiotemporelles montrent des teneurs élevées durant la période des basses eaux et les teneurs les plus faibles durant la période des

hautes eaux. Les teneurs les plus élevées sont relevées au niveau de la S4 au sud du lac, cette station est en communication avec l'oued Messida.

**Tableau 198:** Teneurs en manganèse relevées dans le sédiment superficiel (en mg/Kg de p.s) du lac Oubeira

Mn	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
S3	368,03	371,89	376,31	515,26	518,35	520,01	536,7	610	608,3	604	446,22	43
S4	370,2	373,09	382,03	407	520,32	523	523	612,02	609	613,35	471	44



**Fig.92:** variations spatiotemporelles des teneurs en manganèse relevées dans le sédiment du lac Oubeira

**Tableau 199:** Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en manganèse dans le sédiment du lac Oubeira

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	1	199	199	0.02	0.88NS
Variation résiduelle	22	188676	8576		
Total	23	188875			

**Tableau 200:** valeurs de l'indice de contamination par le manganèse du sédiment superficiel du la Oubeira

Stations	Valeur de l'ICM
Station 3	1.23
Station 4	1.22

Selon les ICM relevés par le manganèse on conclue que le sédiment de l'Oubeira est indemne de toute contamination par manganèse.

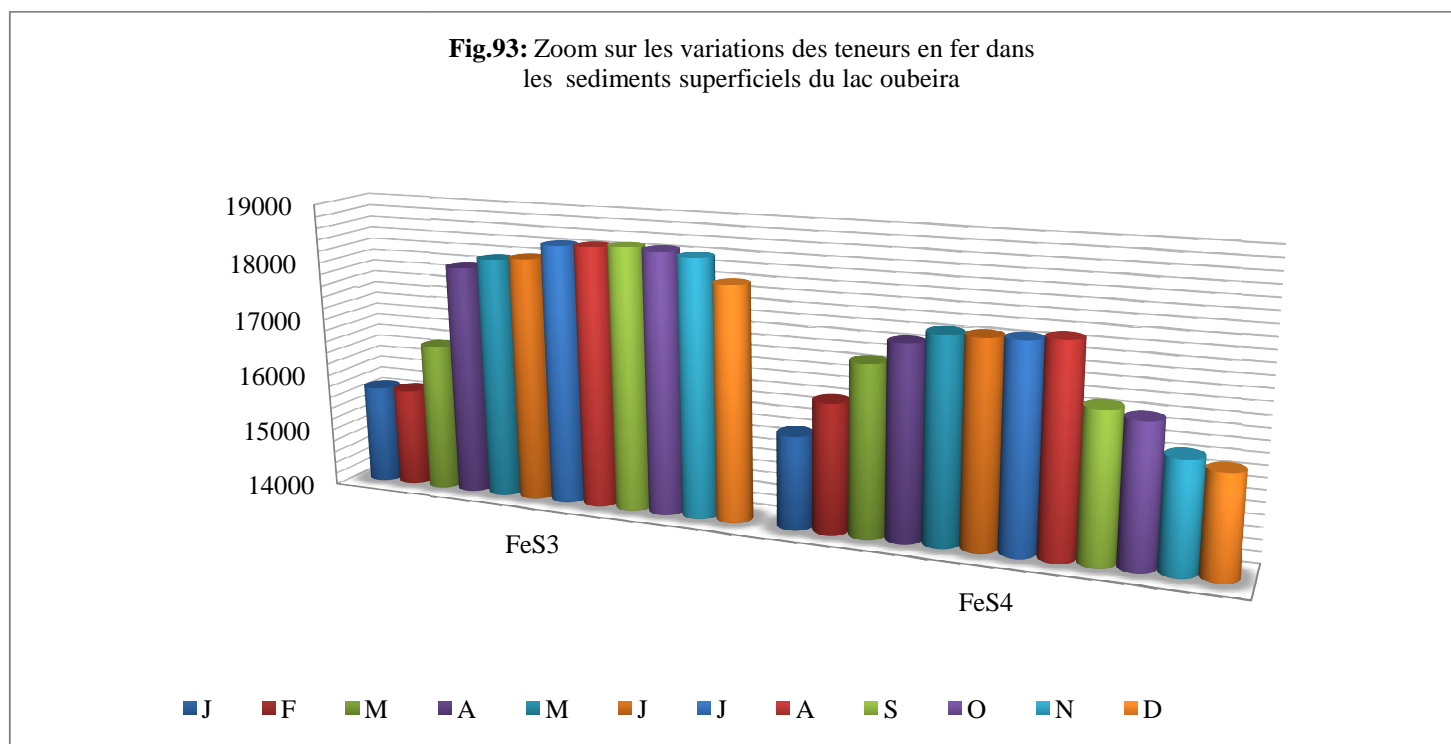
### 2.2.8. Bilan de la qualité du sédiment superficiel du lac Oubeira

Le sédiment superficiel du lac Oubeira est contaminé par le fer, le nickel et le chrome et indemne de toute contamination par les éléments plomb, cuivre, zinc et manganèse.

**Tableau 201** : les teneurs brutes en métaux lourds dans les sédiments superficiels (en mg/Kg de p.s) du lac Oubeira

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>FeS3</b>	15708	15708	16545	17980	18160	18210	18465	18480	18510	18485	18420	18020
<b>FeS4</b>	15608	16216	16920	17290	17480	17485	17490	17546	16530	16410	15885	15735
<b>PbS3</b>	16	19	19	21	21	22	35	42	41	32	28	20
<b>PbS4</b>	16	16	17	18	18	20	25	28	28	26	26	19
<b>CuS3</b>	16	21	32	60	62	64	68	75	72	65	56	42
<b>CuS4</b>	17	24	26	54	52	56	56	57	54	42	37	24
<b>ZnS3</b>	180	182	179	215,2	225	228	230	235	221	189	178	165
<b>ZnS4</b>	165	168	168	170,3	176	177	182	192	189	188	177	163
<b>CrS3</b>	150,3	165,25	185,35	218,4	218,46	218,53	218,9	220,75	202,03	198,4	189,06	169,7
<b>CrS4</b>	139,21	146,05	151,34	165,35	165,4	170,09	172,94	172,99	171,02	169,8	161,11	154,65
<b>NiS3</b>	98,5	102	108,54	110,2	112,31	116	116	120,55	121,35	118,21	114	111
<b>NiS4</b>	96,22	96,34	96,85	86,54	82,08	89,75	92,41	94,09	95,03	92,01	87,04	85,03
<b>MnS3</b>	368,03	371,89	376,31	515,26	518,35	520,01	536,7	610	608,3	604	446,22	439
<b>MnS4</b>	370,2	373,09	382,03	407	520,32	523	523	612,02	609	613,35	471	441

**Remarque** : Les teneurs en fer sont présentées dans un graphe à part vu les valeurs très élevées par rapport aux autres éléments analysés.



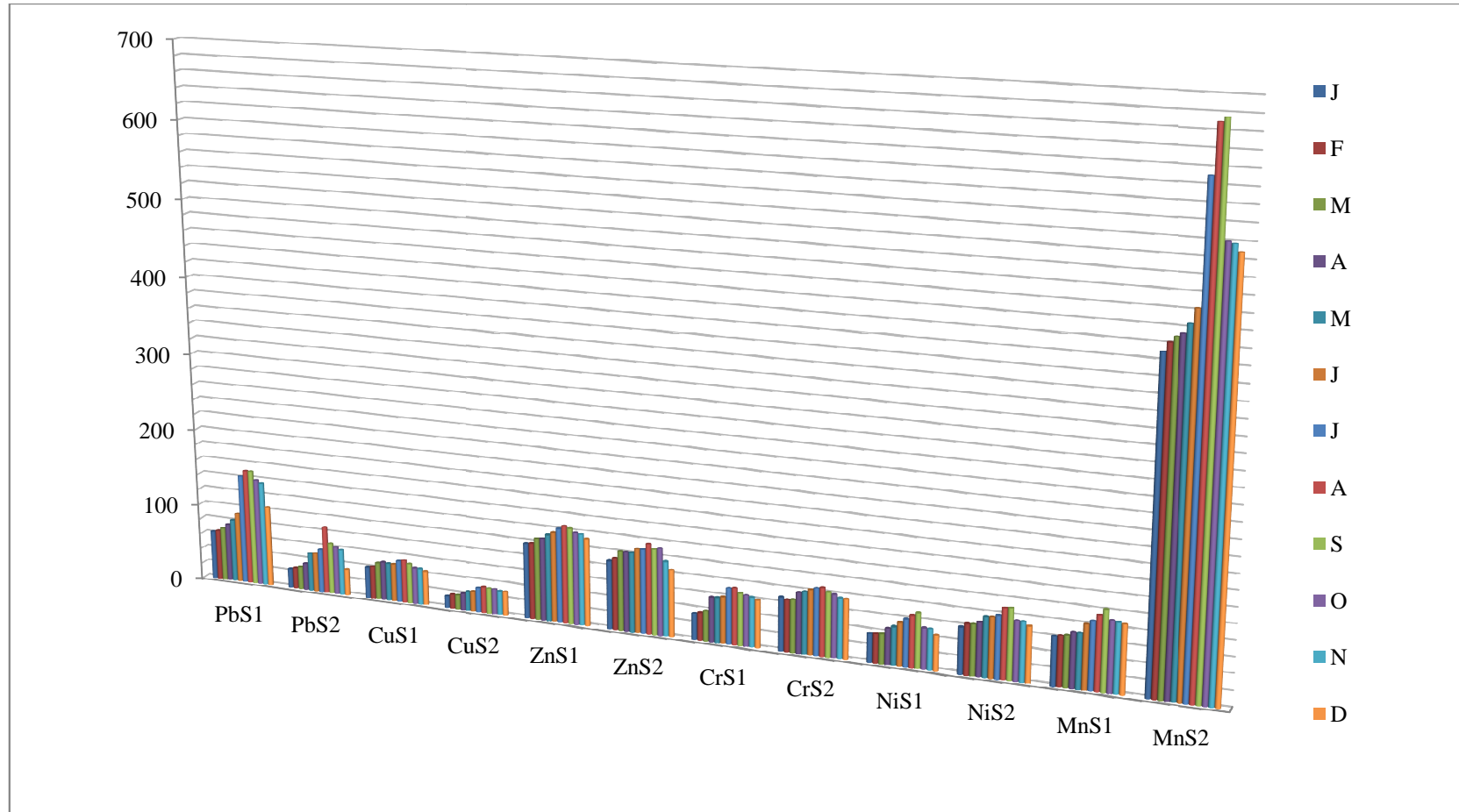


Fig.94: Histogramme récapitulatif de toutes les teneurs en métaux lourds en mg/kg de p.s au niveau du lac Oubeira

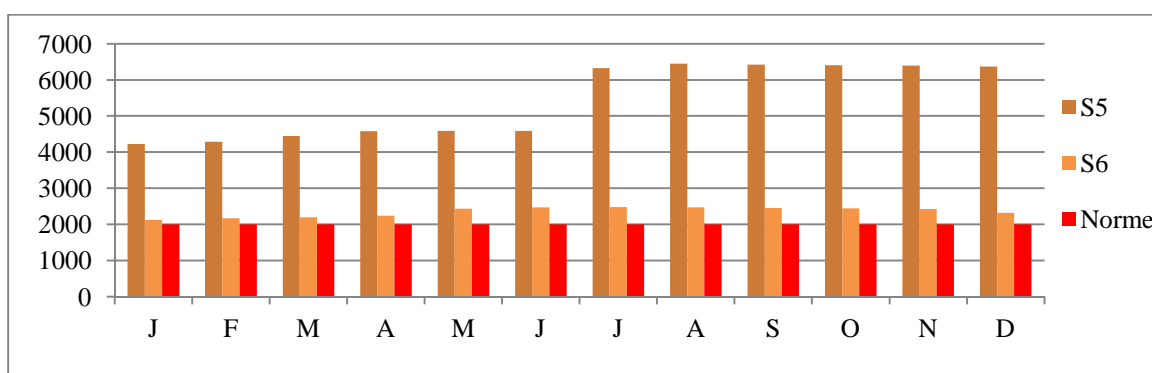
### 2.3. Les sédiments superficiels du lac Mellah

#### 2.3.1. Le fer

Les teneurs en fer dans les sédiments superficiels du lac Mellah varient entre un minimum de 2124 mg/kg de p.s au niveau de la S6 et un maximum de 6450 mg/kg de p.s au niveau de la S5. Les variations spatiotemporelles montrent des teneurs élevées durant la période chaude et des teneurs plus faibles durant l'hiver. La station S5 présente les teneurs les plus élevées comme pour la plupart des éléments (tableau 202, figure 95).

**Tableau 202 :** Teneurs en fer relevées dans le sédiment superficiel (en mg/Kg de p.s) du lac El Mellah

Fe	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>S5</b>	4220	4285	4445	4580	4585	4590	6320	6450	6420	640	639	6365
<b>S6</b>	2124	2165	2195	2240	2435	2465	2478	2470	2450	244	242	2320



**Fig.95:** variations spatiotemporelles des teneurs en fer relevées dans le sédiment du lac El Mellah

**Tableau 203:** Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en fer dans le sédiment du lac El Mellah

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	1	56564751	56564751	106.88	0.000***
Variation résiduelle	22	11643242	529238		
Total	23	68207993			

Selon la valeur de P, résultant de l'AVI ils existent des différences très hautement significatives concernant la distribution du fer dans les deux stations du lac Mellah.

**Tableau 204:** valeurs de l'indice de contamination par le fer du sédiment superficiel du lac El Mellah

Stations	Valeur de l'ICM
Station 5	2.71
Station 6	1.17

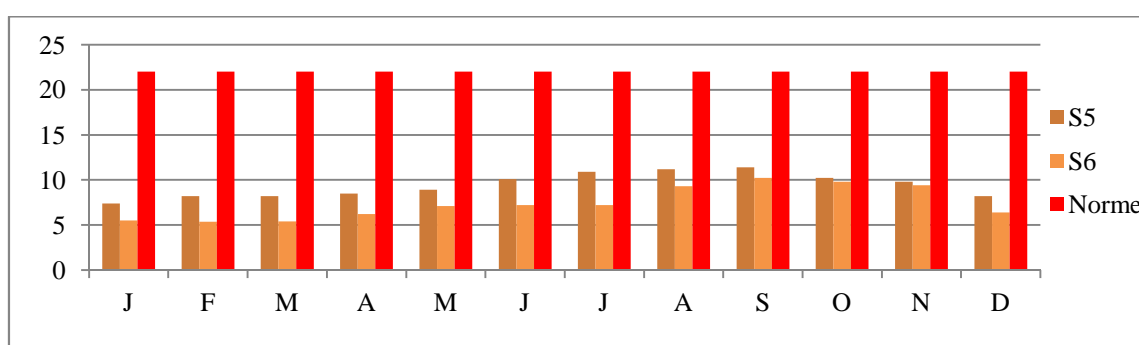
Selon les ICM relevés par le fer, le sédiment superficiel du lac Mellah est indemne de toute pollution par le fer, du fait que les ICM sont inférieures à la norme qui est de l'ordre de 3.

### 2.3.2. Le plomb

Les concentrations du plomb varient entre teneur minimale de l'ordre de 5.35mg/kg de p.s et une teneur maximale de l'ordre de 10.21mg/kg de p.s au niveau de la station S6. Les variations spatiotemporelles montrent que les teneurs les plus élevées sont enregistrées durant l'été et les plus faibles durant l'hiver.

**Tableau 205 :** Teneurs en plomb relevées dans le sédiment superficiel (en mg/Kg de p.s) du lac El Mellah

Pb	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
S5	7,4	8,2	8,2	8,5	8,9	10,1	10,9	11,2	11,4	10,22	9,8	8,2
S6	5,5	5,35	5,4	6,2	7,1	7,2	7,2	9,3	10,21	9,8	9,4	6,4



**Fig.96:** variations spatiotemporelles des teneurs en plomb relevées dans le sédiment du lac El Mellah

**Tableau 206:** Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en plomb dans le sédiment du lac El Mellah

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	1	23,92	23,92	9.42	0.006**
Variation résiduelle	22	55,87	2,54		
Total	23	79,79			

Selon la valeur de P, ils existent des différences hautement significatives concernant la distribution du plomb au niveau d'El mellah.

**Tableau 207:** valeurs de l'indice de contamination par le Plomb du sédiment superficiel du lac El Mellah

Stations	Valeur de l'ICM
Station 5	0.42
Station 6	0.33

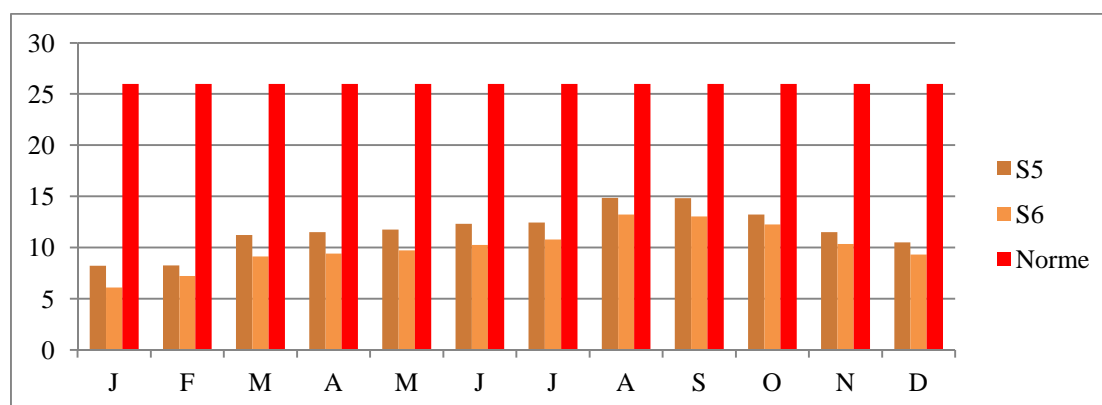
Le sédiment du lac El Mellah est indemne de toute contamination par le plomb et présente des ICM en dessous de la norme

### 2.3.3. Le cuivre

Les teneurs en cuivre varient entre une teneur minimale de l'ordre de 6.1 mg/kg de p.s au niveau de la S5 et une teneur maximale de l'ordre de 17.8 mg/kg de p.s au niveau de la S5.

**Tableau 208 :** Teneurs en cuivre relevées dans le sédiment superficiel (en mg/Kg de p.s) du lac El Mellah

Cu	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
S5	8,2	8,24	11,22	11,5	11,75	12,3	12,45	14,85	14,8	13,2	11,5	10,
S6	6,1	7,2	9,12	9,4	9,7	10,25	10,77	13,22	13,02	12,2	10,3	9,3


**Fig.97:** variations spatiotemporelles des teneurs en cuivre relevées dans le sédiment du lac El Mellah

**Tableau 209:** Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en cuivre dans le sédiment du lac El Mellah

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	1	16.43	16.43	3.66	0.069ns
Variation résiduelle	22	98.75	4.49		
Total	23	115.19			

Selon la valeur de P, ils n'existent pas des différences significatives entre les stations concernant la distribution du cuivre.

**Tableau 210:** valeurs de l'indice de contamination par le cuivre du sédiment superficiel du lac El Mellah

Stations	Valeur de l'ICM
Station 5	0.45
Station 6	0.38

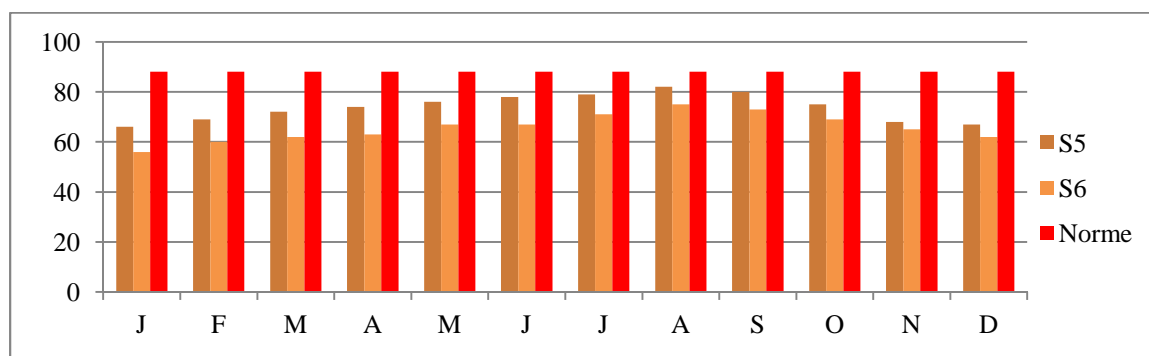
Le sédiment du lac Mellah est indemne de toute pollution par le cuivre, du fait que les valeurs d'ICm sont en dessous de la norme.

### 2.3.4. Le zinc

Les variations spatiotemporelles du zinc montrent des valeurs élevées au niveau de la S5 et au cours de la saison estivale, par contre les valeurs les plus faibles sont relevées durant l'hiver et au niveau de la S6.

**Tableau 211:** Teneurs en zinc relevées dans le sédiment superficiel (en mg/Kg de p.s) du lac El Mellah

Zn	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
S5	66	69	72	74	76	78	79	82	80	75	68	67
S6	56	60	62	63	67	67	71	75	73	69	65	62



**Fig.98:** variations spatiotemporelles des teneurs en zinc relevées dans le sédiment du lac El Mellah

**Tableau 212:** Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en zinc dans le sédiment du lac El Mellah

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	1	384	384	12.66	0.002**
Variation résiduelle	22	667.3	30.3		
Total	23	1051.3			

La valeur de P résultante de l'analyse de la variance, on constate qu'ils existent des différences hautement significatives concernant la distribution du zinc au niveau des deux stations d'El Mellah.

**Tableau 213:** valeurs de l'indice de contamination par le zinc du sédiment superficiel du lac El Mellah

Stations	Valeur de l'ICM
Station 5	0.83
Station 6	0.74

Le sédiment du lac Mellah est indemne de toute contamination par le zinc.

### 2.3.5. Le nickel

Les variations spatiotemporelles du zinc montrent des teneurs élevées durant l'été et au niveau de la S5 et des teneurs faible durant l'hiver et au niveau de la S6.

**Tableau 214:** Teneurs en nickel relevées dans le sédiment superficiel (en mg/Kg de p.s) du lac El Mellah

Ni	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
S5	485,01	472,3	223,09	225,09	228,05	234,85	239,75	248,75	251,25	263,05	322,04	308,23
S6	310,2	308	198,1	198,1	201,1	201,25	203,25	208,09	210,3	222,05	251,8	263,2

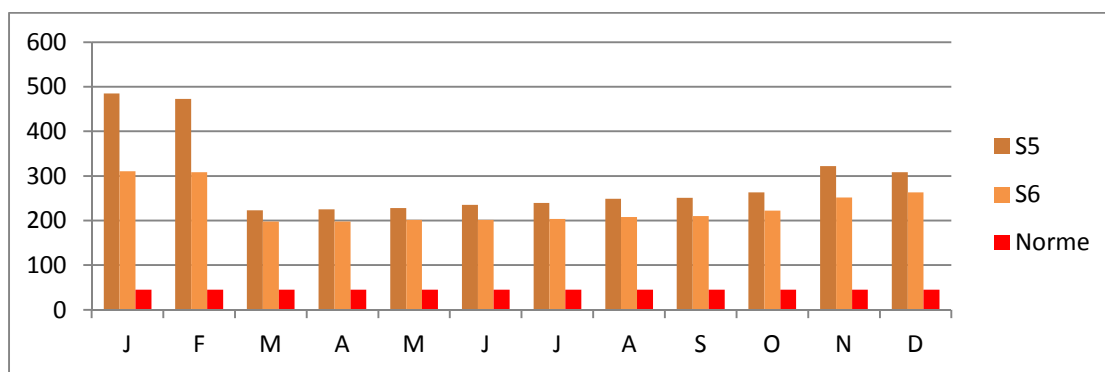


Fig.99: variations spatiotemporelles des teneurs en nickel relevées dans le sédiment du lac El Mellah

Tableau 215 : Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en nickel dans le sédiment du lac El Mellah

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	1	21963	21963	4.24	0.052ns
Variation résiduelle	22	114024	5183		
Total	23	135987			

Tableau 216: valeurs de l'indice de contamination par le nickel du sédiment superficiel du lac El Mellah

Stations	Valeur de l'ICM
Station 5	6.46
Station 6	5.13

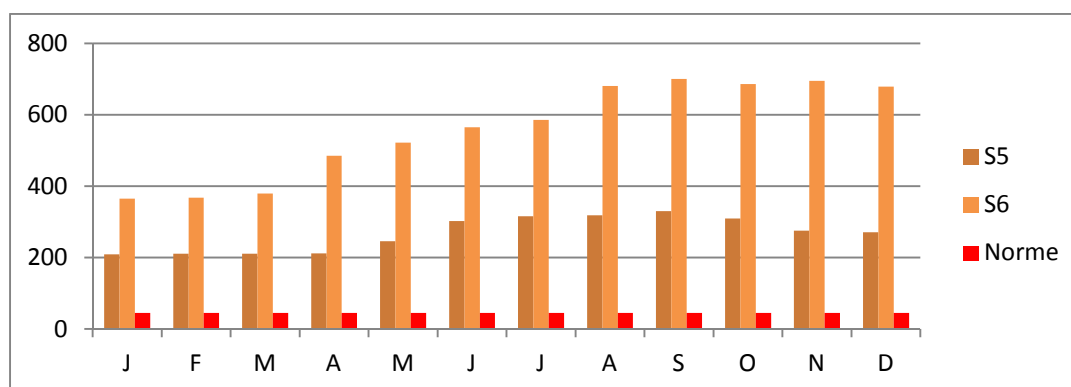
Le sédiment du lac El mellah est fortement pollué par le nickel, avec des ICM nettement supérieurs à la norme admise par notre étude.

### 2.3.6. Le chrome

Les variations spatiotemporelles du chrome montrent des teneurs élevées durant la période des basses eaux et des teneurs plus faibles durant la période des hautes eaux. Contrairement aux autres éléments au niveau d'El mellah c'est la station S6 qui présente les teneurs les plus élevées.

Tableau 217: Teneurs en chrome relevées dans le sédiment superficiel (en mg/Kg de p.s) du lac El Mellah

Cr	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
S5	208,75	210,52	211,01	211,2	245,6	302,03	315,2	318,33	330,22	309,2	275,6	270,4
S6	365,01	367,22	379,3	485,3	522	565	585,22	680	700,01	685,3	695	678,25



**Fig.100:** variations spatiotemporelles des teneurs en chrome relevées dans le sédiment du lac El Mellah**Tableau 218:** Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en chrome dans le sédiment du lac El Mellah

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	1	510285	510285	50.4	0.000***
Variation résiduelle	22	222757	10125		
Total	23	733043			

Selon la valeur de P, ils existent des différences très hautement significatives entre les stations concernant la distribution du chrome.

**Tableau 219:** valeurs de l'indice de contamination par le chrome du sédiment superficiel du lac El Mellah

Stations	Valeur de l'ICM
Station 5	<b>5.94</b>
Station 6	<b>12.42</b>

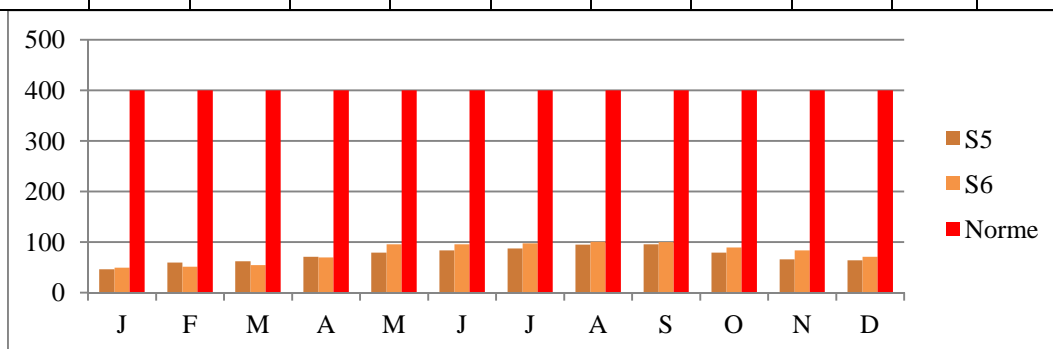
Le sédiment d'El mellah est fortement pollué par le chrome. Les ICM montrent des valeurs nettement supérieures à la norme au niveau des deux stations.

### 2.3.7. Le manganèse

Les variations spatiotemporelles du manganèse montrent des teneurs élevées au cours de la période des basses eaux et des teneurs plus faibles durant la période des hautes eaux. la station S6 présentent les teneurs les plus élevées.

**Tableau 220:** Teneurs en manganèse relevées dans le sédiment superficiel (en mg/Kg de p.s) du lac El Mellah

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>S5</b>	46,21	59,37	61,75	70,65	78,82	83,2	87,05	95	95,21	79	65,37	64,07
<b>S6</b>	49	51,07	54	69,41	95,09	95,25	97,09	100,3	100	89,36	83,23	71

**Fig. 101:** variations spatiotemporelles des teneurs en manganèse relevées dans le sédiment du lac El Mellah**Tableau 221:** Résultat de l'AVI appliquée dans la comparaison entre les stations concernant la distribution des teneurs en manganèse dans le sédiment du lac El Mellah

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les stations	1	199	199	0.64	0.432ns
Variation résiduelle	22	6842	311		
Total	23	7041			

Selon la valeur de p, ils n'existent pas des différences significatives entre les stations concernant la distribution du Mn.

**Tableau 222:** valeurs de l'indice de contamination par le manganèse du sédiment superficiel du lac Mellah

Stations	Valeur de l'ICM
Station 5	0.18
Station 6	0.19

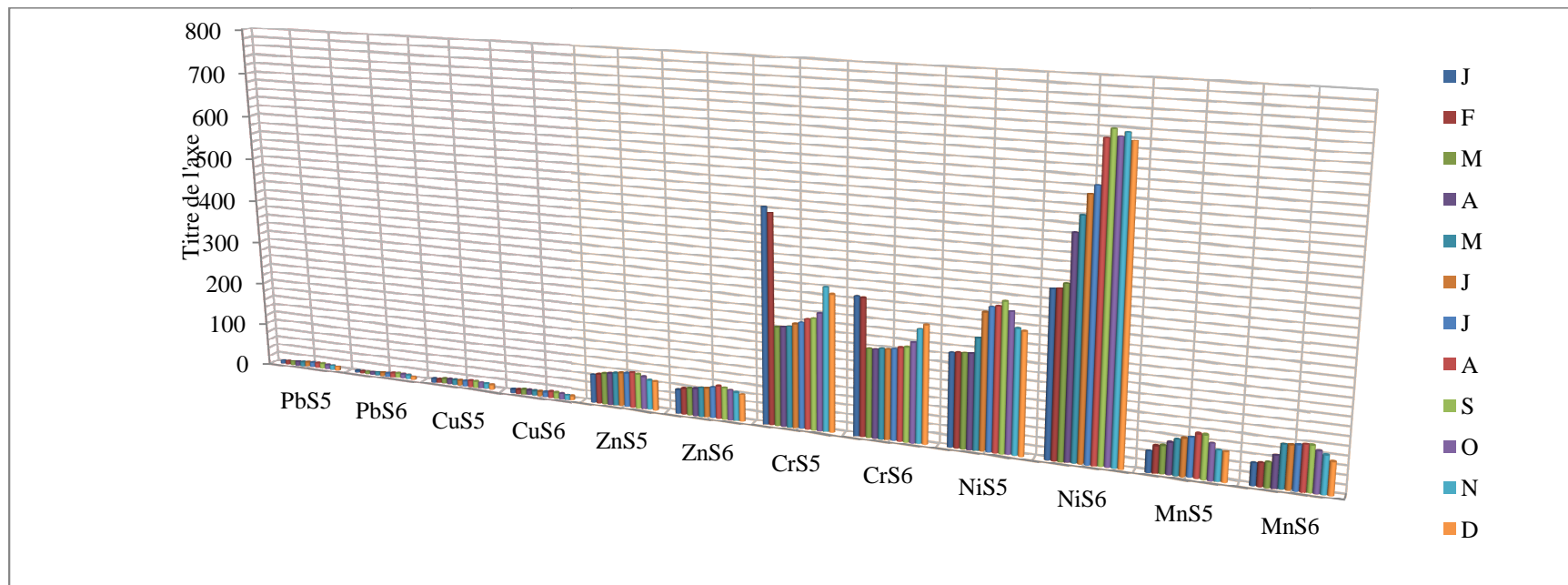
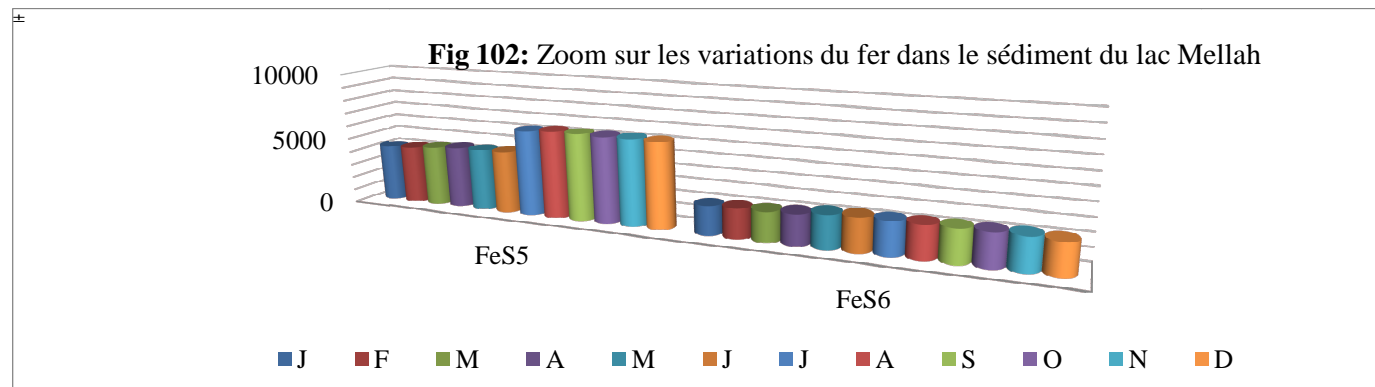
### 2.3.8. Bilan de la qualité du sédiment du lac Mellah

Le sédiment du lac Mellah est contaminé par *le nickel et le chrome* est indemne de toute pollution par le fer, le plomb, le cuivre, le zinc et le manganèse.

**Tableau 223 :** les teneurs brutes en métaux lourds (en mg/Kg de p.s) dans les sédiments de surface du lac Mellah

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>Fe<sub>S5</sub></b>	4220	4285	4445	4580	4585	4590	6320	6450	6420	6400	6395	6365
<b>Fe<sub>S6</sub></b>	2124	2165	2195	2240	2435	2465	2478	2470	2450	2440	2428	2320
<b>Pb<sub>S5</sub></b>	7,4	8,2	8,2	8,5	8,9	10,1	10,9	11,2	11,4	10,22	9,8	8,2
<b>Pb<sub>S6</sub></b>	5,5	5,35	5,4	6,2	7,1	7,2	7,2	9,3	10,21	9,8	9,4	6,4
<b>Cu<sub>S5</sub></b>	8,2	8,24	11,22	11,5	11,75	12,3	12,45	14,85	14,8	13,21	11,5	10,5
<b>Cu<sub>S6</sub></b>	6,1	7,2	9,12	9,4	9,7	10,25	10,77	13,22	13,02	12,25	10,33	9,3
<b>Zn<sub>S5</sub></b>	66	69	72	74	76	78	79	82	80	75	68	67
<b>Zn<sub>S6</sub></b>	56	60	62	63	67	67	71	75	73	69	65	62
<b>Cr<sub>S5</sub></b>	485,01	472,3	223,09	225,09	228,05	234,85	239,75	248,75	251,25	263,05	322,04	308,23
<b>Cr<sub>S6</sub></b>	310,2	308	198,1	198,1	201,1	201,25	203,25	208,09	210,3	222,05	251,8	263,2
<b>Ni<sub>S5</sub></b>	208,75	210,52	211,01	211,2	245,6	302,03	315,2	318,33	330,22	309,2	275,6	270,4
<b>Ni<sub>S6</sub></b>	365,01	367,22	379,3	485,3	522	565	585,22	680	700,01	685,3	695	678,25
<b>Mn<sub>S5</sub></b>	46,21	59,37	61,75	70,65	78,82	83,2	87,05	95	95,21	79	65,37	64,07
<b>Mn<sub>S6</sub></b>	49	51,07	54	69,41	95,09	95,25	97,09	100,3	100	89,36	83,23	71

**Remarque :** vue les fortes teneurs en fer par rapport aux autres éléments, on a fait sa présentation graphique à part. Car les valeurs des autres éléments sont négligeables par rapport aux valeurs du fer.



**Fig.103.** Histogramme récapitulatif des teneurs brutes en métaux lourds au niveau du lac Mellah

### 3. Résultats de L'analyse en composante principale et matrice de Corrélation (station/station) :

L'analyse en composante principale (ACP) est un outil statistique généralement utilisé dans les études géochimiques pour simplifier le nombre de variables et faciliter l'interprétation des données (Facchinelli et al., 2001). De plus cette analyse multivariable permet d'identifier les paramètres susceptibles d'influencer la distribution des concentrations des éléments métalliques dans des milieux tels que les sédiments (Tuncer et al., 1993 ; Hernandez et al., 1994), les sols (Einax et Soldt, 1999 ; Mico et al., 2006) et les eaux (Cave et Reeder, 1995).

L'ACP illustre particulièrement les corrélations entre les variables.

#### 3.1. Les pompes (S1)

##### 3.1.1. Matrice de Corrélation

Tableau 224: Matrice de corrélation des métaux lourds dans le sédiment du lac Tonga S1

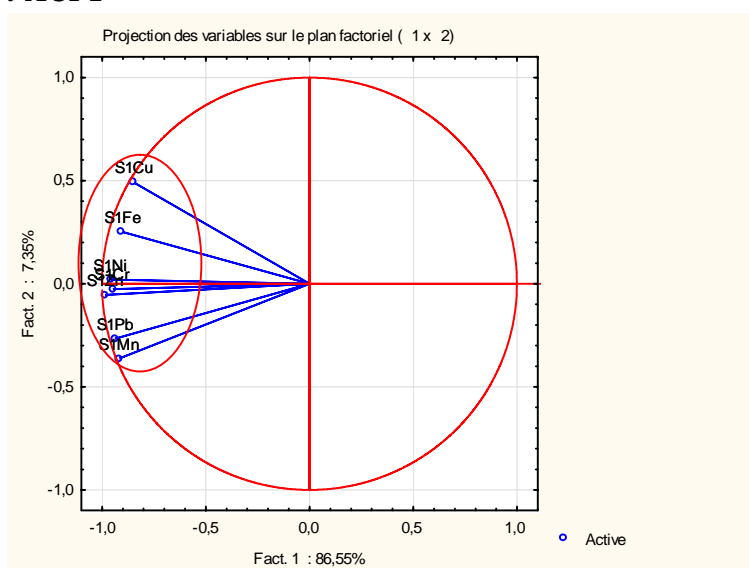
	S1Fe	S1Pb	S1Cu	S1Zn	S1Ni	S1Cr	S1Mn
S1Fe	1						
S1Pb	0,81	1					
S1Cu	0,82	0,65	1				
S1Zn	0,85	<b>0,93</b>	0,81	1			
S1Ni	0,85	0,87	0,82	0,93	1		
S1Cr	0,80	0,87	0,80	<b>0,94</b>	0,87	1	
S1Mn	0,72	<b>0,94</b>	0,61	0,92	0,88	0,86	1

On relève du tableau 224, une forte association voire proportionnelle, entre les métaux lourds au niveau du sédiment de surface de la S1 du lac Tonga du fait que les valeurs des coefficients de corrélation sont tous positifs et proche de 1.

Toutefois la corrélation la plus marquée existe :

- Entre (le plomb et le manganèse) avec un  $r = 0.94$ ,
- Entre (le zinc et le chrome) avec un  $r = 0.94$  et
- Entre (le plomb et le zinc) avec un  $r=0.93$ .

##### 3.1.2. Cercle de l'ACPI



**Fig.104** : Projection des variables sur le plan 1-2 (ACP1)

L'analyse du plan factoriel F1 et F2 (figure 104) montre que plus de 93.89% de la variance des données sont exprimés, donc l'analyse dans ce milieu est acceptable. Le premier axe F1 exprime 86.54% de la variance, alors que le deuxième axe F2 représente 7.34% de la variance. On relève de cette ACP une seule composante principale représenté par l'axe 1 qui exprime un grand pourcentage de la variance des éléments métallique allant jusqu'à 86.55%.

### 3.1. Embouchure d'Oued El Hout (S2)

#### 3.1.1. Matrice de Corrélation

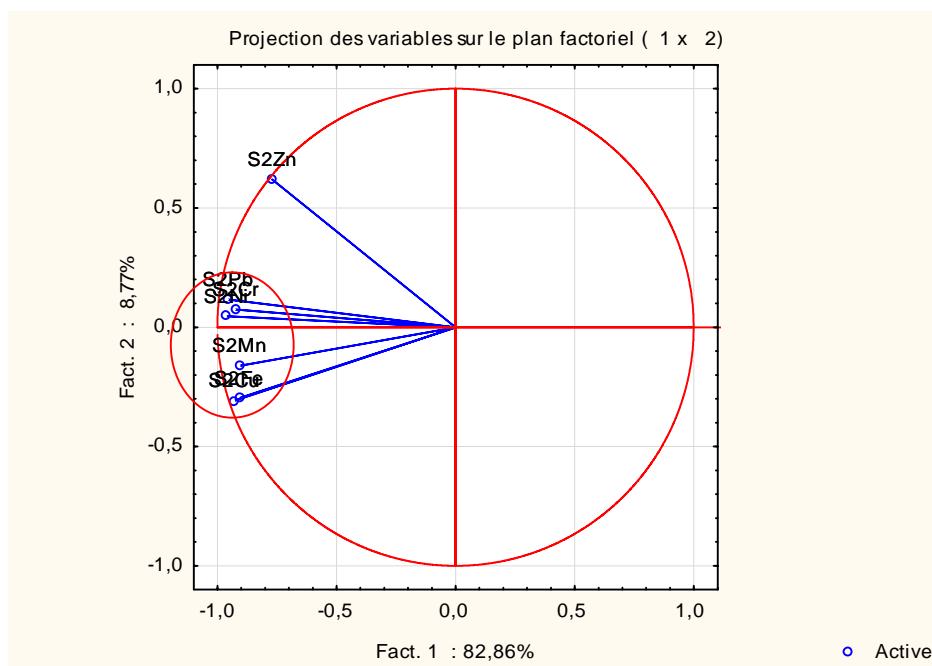
**Tableau 225**: Matrice de corrélation des métaux lourds dans le sédiment du lac Tonga S2

	S2Fe	S2Pb	S2Cu	S2Zn	S2Ni	S2Cr	S2Mn
S2Fe	1						
S2Pb	0,82	1					
S2Cu	<b>0,93</b>	0,84	1				
S2Zn	0,53	0,78	0,55	1			
S2Ni	0,84	<b>0,92</b>	0,84	0,75	1		
S2Cr	0,85	0,84	0,82	0,74	0,86	1	
S2Mn	0,76	0,85	0,88	0,58	0,89	0,75	1

L'examen de la matrice de corrélation « tableau 225 » révèle une association positive et proportionnelle entre les différent éléments métalliques au niveau de la station 1. La corrélation la plus marquée existe entre :

- Le fer et le cuivre avec un  $r = 0.93$ , et entre
- Le plomb et le nickel avec un  $r = 0.92$

#### 3.1.2. Cercle de l'ACP2

**Fig.105**: Projection des variables sur le plan 1-2 (ACP2)

L'analyse du plan factoriel F1 et F2 ( figure 105) montre que plus de 90% de la variance des données sont exprimés, donc l'analyse dans ce milieu est acceptable. Le premier axe F1 exprime 82.86% de la variance, alors que le deuxième axe F2 représente 8.77 % de la variance. On relève de cette ACP une seule composante principale dont la valeur propre est supérieure à 1, présenté par l'axe 1 qui exprime un grand pourcentage de la variance des éléments métallique allant jusqu'à 86.55%.

### 3.2. L'embouchure de Démet Rihanna (S3)

#### 3.2.1. Matrice de Corrélation

Tableau 226: Matrice de corrélation des métaux lourds dans le sédiment du lac Oubeira S3

	S3Fe	S3Pb	S3Cu	S3Zn	S3Ni	S3Cr	S3Mn
S3Fe	1						
S3Pb	0,88	1					
S3Cu	0,76	0,76	1				
S3Zn	0,69	0,55	0,74	1			
S3Ni	-0,25	-0,23	-0,30	-0,27	1		
S3Cr	0,63	0,52	0,89	0,86	-0,12	1	
S3Mn	0,78	0,81	<b>0,93</b>	0,71	-0,38	0,77	1

La matrice de corrélation présentée par le tableau 226, révèle une faible corrélation entre le nickel et le reste des éléments métalliques.

Une forte corrélation est marquée entre

- Le cuivre et le manganèse avec un  $r = 0.93$

Généralement au niveau de cette station, les éléments sont positivement corrélés entre eux sauf pour le nickel.

#### 3.2.2. Cercle de l'ACP3

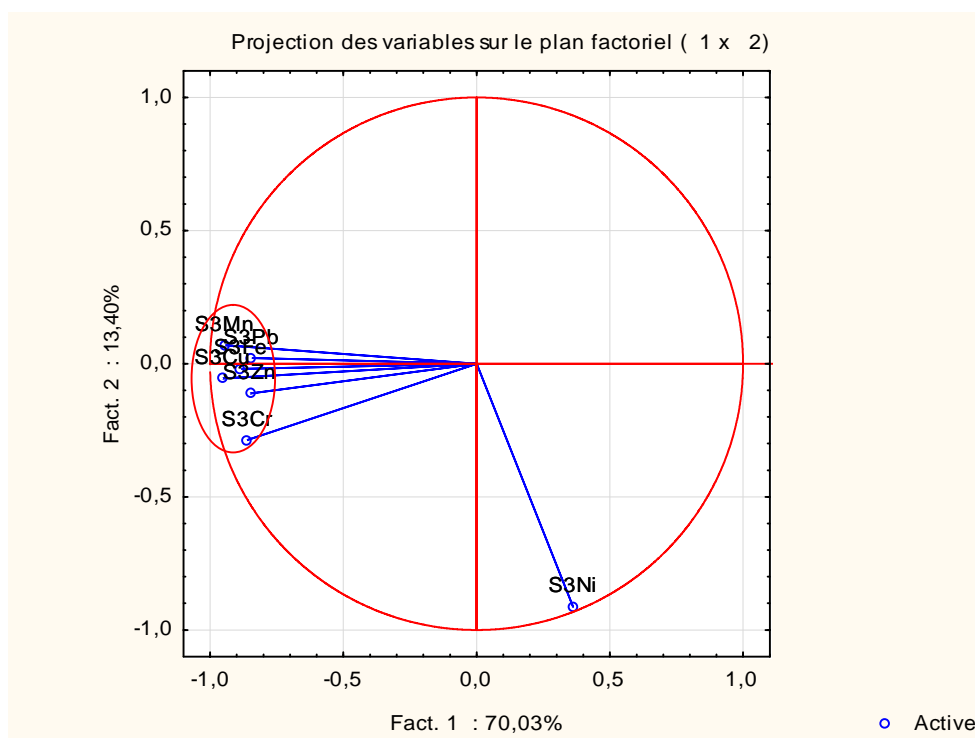


Fig.106 : Projection des variables sur le plan 1-2 (ACP3)

L'analyse du plan factoriel F1 et F2 ( figure 106) montre que plus de 83% de la variance des données sont exprimés, donc l'analyse dans ce milieu est acceptable. Le premier axe F1 exprime 70.03% de la variance, alors que le deuxième axe F2 représente 13.40 % de la variance. On relève de cette ACP une seule composante principale dont la valeur propre « 4.90 » est supérieure à 1, présenté par l'axe 1 qui exprime un grand pourcentage de la variance des éléments métallique allant jusqu'à 70.03%.

### 3.3.L'embouchure Oued Messida(S4)

#### 3.3.1. Matrice de Corrélation

Tableau 227: Matrice de corrélation des métaux lourds dans le sédiment du lac Oubeira S4

	S4Fe	S4Pb	S4Cu	S4Zn	S4Ni	S4Cr	S4Mn
S4Fe	1						
S4Pb	0,79	1					
S4Cu	0,61	0,57	1				
S4Zn	0,70	0,89	0,73	1			
S4Ni	-0,38	0,06	-0,28	0,13	1		
S4Cr	0,79	0,74	<b>0,93</b>	0,81	-0,29	1	
S4Mn	0,85	0,85	0,71	<b>0,93</b>	-0,08	0,85	1

Comme pour la station 3, la matrice de corrélation de la S4 révèle une faible corrélation entre le nickel et le reste des éléments métalliques, mais d'une manière générale les éléments métalliques sont fortement corrélés entre eux, car le coefficient de corrélation est généralement supérieur à 0.70.

Une forte corrélation existe entre

- Le chrome et le cuivre avec un  $r=0.93$  et entre
- Le zinc et le manganèse avec un  $r=0.93$

#### 3.3.2. Cercle de l'ACP4

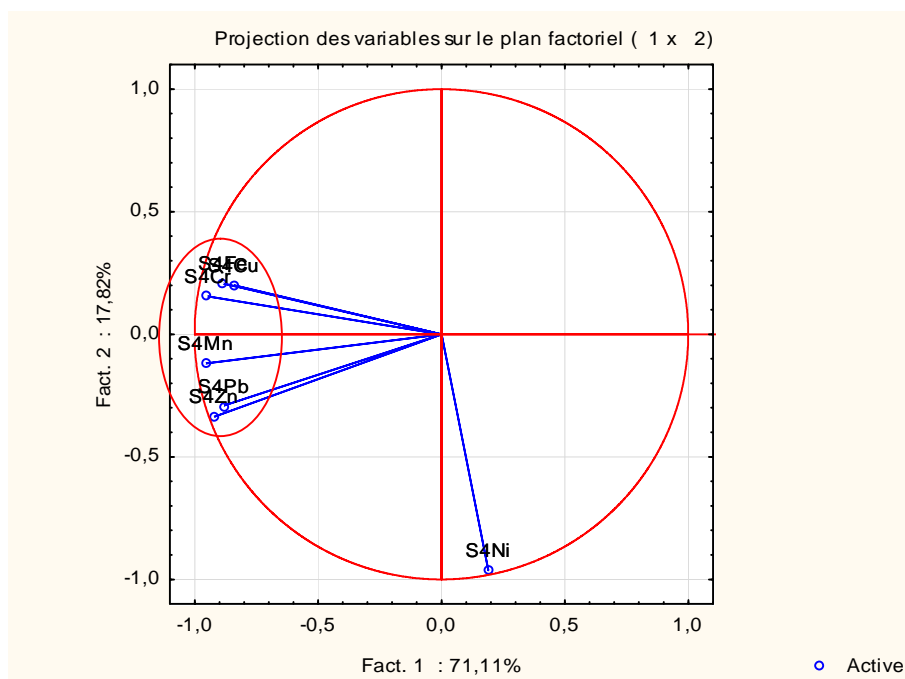


Fig.107 : Projection des variables sur le plan 1-2 (ACP4)

L'analyse du plan factoriel F1 et F2 (figure 107) montre que plus de 88.93% de la variance des données sont exprimés, donc l'analyse dans ce milieu est acceptable. Le premier axe F1 exprime 71.11% de la variance, alors que le deuxième axe F2 représente 17.82% de la variance. On relève de cette ACP deux composantes principales dont les valeurs propres sont supérieures à 1 représentées par l'axe 1 qui exprime un grand pourcentage de la variance des éléments métallique allant jusqu'à 71.10%. et par l'axe 2 qui exprime 17.82%.

### 3.4. Embouchure d'oued R'Guibet (S5)

#### 3.4.1. Matrice de Corrélation

Tableau 228: Matrice de corrélation des métaux lourds dans le sédiment du lac Mellah S5

	S5Fe	S5Pb	S5Cu	S5Zn	S5NI	S5Cr	S5Mn
S5Fe	1						
S5Pb	0,70	1					
S5Cu	0,65	0,88	1				
S5Zn	0,32	0,82	0,85	1			
S5NI	-0,31	-0,53	<b>-0,77</b>	<b>-0,69</b>	1		
S5Cr	0,81	<b>0,92</b>	0,81	0,68	-0,46	1	
S5Mn	0,55	<b>0,92</b>	<b>0,92</b>	<b>0,94</b>	<b>-0,69</b>	0,83	1

L'examen de la matrice de corrélation « tableau 228 » révèle une association positive et proportionnelle entre la majorité des éléments métalliques au niveau de la station 5. Quatorze coefficients de corrélation sur 21 coefficients sont positifs et supérieurs à 0.60

Comme pour les autres stations, le nickel est faiblement corrélé avec les éléments (fer, plomb, chrome). La forte corrélation la plus marquée existe entre les couples suivants

- (Pb/Cr, Cu/Mn, Pb/Mn) avec un  $r = 0.92$ , et entre
- (Zn et Mn avec un  $r = 0.94$ )

#### 3.4.2. Cercle de l'ACP5

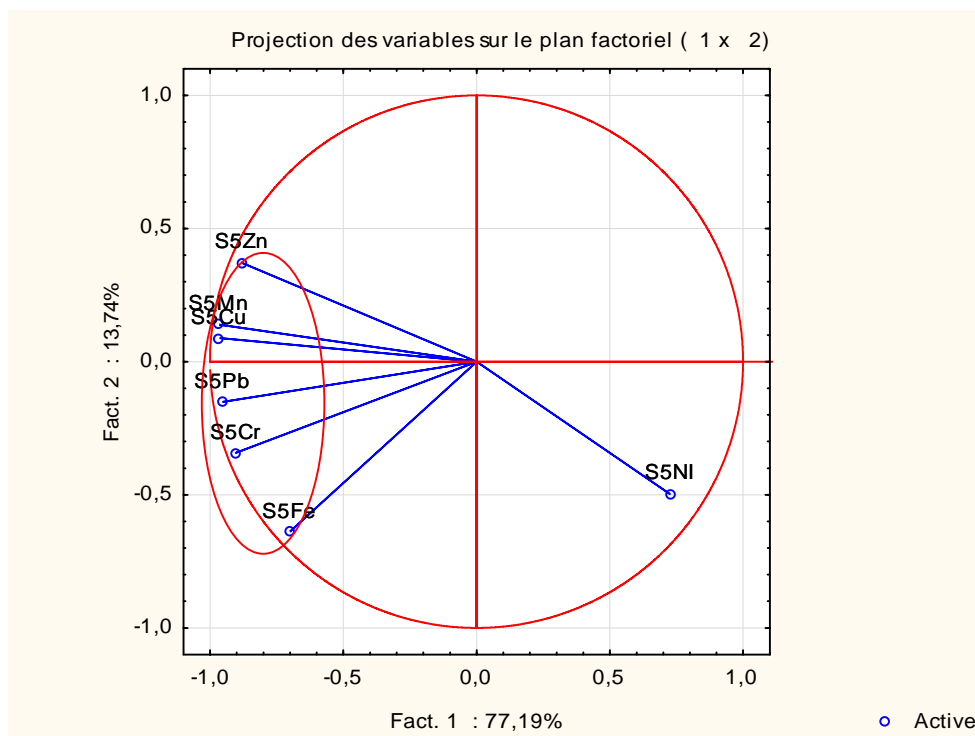


Fig. 108 : Projection des variables sur le plan 1-2 (ACP5)

L'analyse du plan factoriel F1 et F2 (figure 108) montre que plus de 90 % de la variance des données sont exprimés, donc l'analyse dans ce milieu est bien acceptable. Le premier axe F1 exprime 77.19% de la variance, alors que le deuxième axe F2 représente 13.74 % de la variance. On relève de cette ACP une seule composante principale dont la valeur propre « 5.40 » est supérieure à 1, présenté par l'axe 1 qui exprime un grand pourcentage de la variance des éléments métallique allant jusqu'à 77.19%

### 3.5. Embouchure d'Oued Boularoug (S6)

#### 3.5.1. Matrice de Corrélation

Tableau 229: Matrice de corrélation des métaux lourds dans le sédiment du lac Mellah S6

	S6Fe	S6Pb	S6Cu	S6Zn	S6Ni	S6Cr	S6Mn
S6Fe	1						
S6Pb	0,78	1					
S6Cu	0,83	0,87	1				
S6Zn	0,87	0,78	<b>0,94</b>	1			
S6Ni	<b>-0,61</b>	<b>-0,35</b>	<b>-0,67</b>	<b>-0,67</b>	1		
S6Cr	0,82	0,86	0,82	0,72	<b>-0,35</b>	1	
S6Mn	<b>0,97</b>	0,77	0,85	0,91	<b>-0,65</b>	0,78	1

L'examen de la matrice de corrélation « tableau 229 » révèle une association positive et proportionnelle entre la majorité des éléments métalliques au niveau de la station 6. Quinze coefficients de corrélation sur 21 coefficients sont positifs et supérieurs à 0.70

Comme pour les autres stations, le nickel est faiblement corrélé avec les éléments (Pb, Cr, Fe)  
La corrélation la plus marquée existe entre les couples suivants

- (Fe/Mn) avec un  $r = 0.97$ , et entre
- (Zn et Cu avec un  $r = 0.94$ )

#### 3.5.2. Cercle de l'ACP6

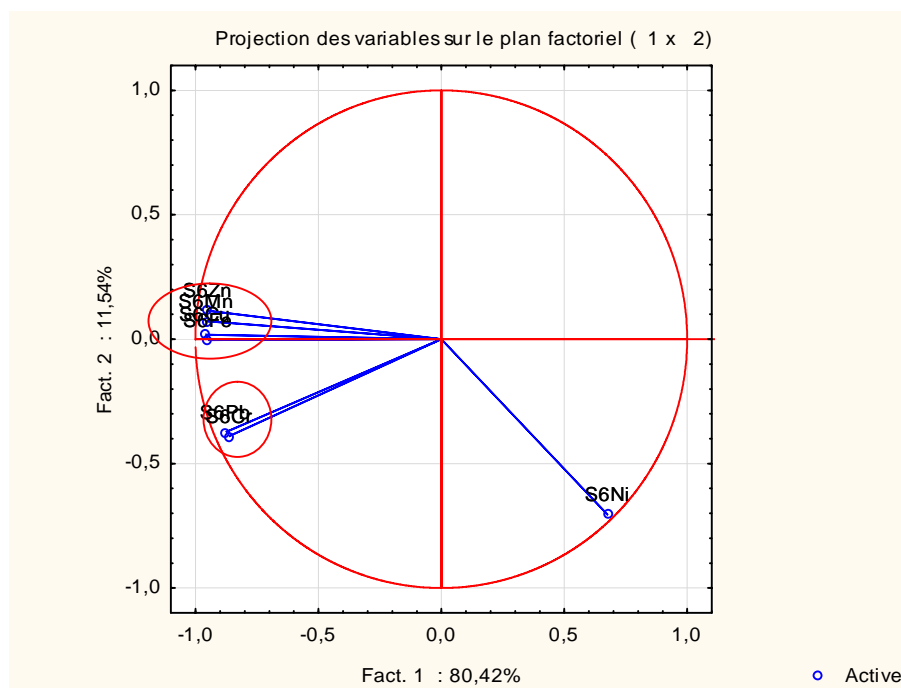


Fig.109 : Projection des variables sur le plan 1-2 (ACP6)

L'analyse du plan factoriel F1 et F2 (figure 109) montre que plus de 90 % de la variance des données sont exprimés, donc l'analyse dans ce milieu est bien acceptable. Le premier axe F1 exprime 80.42% de la variance, alors que le deuxième axe F2 représente 11.54 % de la variance. On relève de cette ACP une seule composante principale dont la valeur propre « 5.62 » est supérieure à 1, présenté par l'axe 1 qui exprime un grand pourcentage de la variance des éléments métallique allant jusqu'à 80%.

Généralement les ACP réalisées expriment bien le taux de variance des données et les corrélations issues représentent plusieurs couples dont la corrélation est fortement positive.

#### 4. Bilan générale de la contamination métallique des sédiments superficiels

Parallèlement aux analyses des eaux superficielles, nous avons recherché la présence des métaux lourds dans les sédiments de surface des zones humides étudiées, il est à noter que l'analyse de ces métaux est réalisée sur la fraction sédimentaire inférieure à 63µm. Celle-ci représente une coupure sédimentologique entre le sable d'une part et la vase (argile, boue) d'autre part. Ce choix est important de prime abord. La comparaison des résultats obtenus écarte l'effet des variations granulométriques, Claisse RNO, (1995-). Selon Forstener et Patchineelam, (1980), la fraction fine inférieure à 63 µm est généralement riche en polluants et contient une grande partie d'argile, de silice amorphe et de matières organiques/humique qui absorbent activement et concentrent les polluants métalliques. Et pour une bonne comparaison entre les sites, il est nécessaire que les échantillons soient de granulométrie équivalente.

Les teneurs des éléments métalliques varient généralement d'un site à l'autre, d'une station à l'autre et d'une saison à une autre ; Cette observation est appuyée par le test d'analyse de la variance ANOVA.

Par ailleurs, on constate que les teneurs de ces métaux lourds enregistrées durant notre année d'étude, sont nettement élevées durant la période des hautes eaux (crues) qu'en période des basses eaux (étiage).

L'analyse des éléments métalliques analysés dans les sédiments de surface du complexe lacustre de la région d'El-Kala, fait apparaître des indices de contamination supérieurs à la norme qui est de l'ordre de 3, relevés par le fer, le plomb, le nickel et le chrome et des indices de contamination inférieurs à la norme relevés par le cuivre, le zinc et le manganèse.

La classification des sédiments est faite selon le tableau suivant :

**Tableau 230 : Classement du sédiment en fonction de l'indice de contamination**

Indice de contamination	Classement	Interpretations
$I_c < 3$	Classe 1	Zone Normale
$3 \leq I_c < 10$	Classe 2	Zone Polluée
$10 \leq I_c$	Classe 3	Zone à risque

Selon ce tableau on constate que les sédiments superficiel du lac Tonga sont contaminés par le fer. Les sédiments du lac Oubeira sont contaminés par le fer, le nickel et le chrome. Les sédiments lac Mellah sont contaminés Par le nickel et le chrome.

Ainsi, on peut établir un ordre d'enrichissement des stations pour chaque métal (tableau 231).

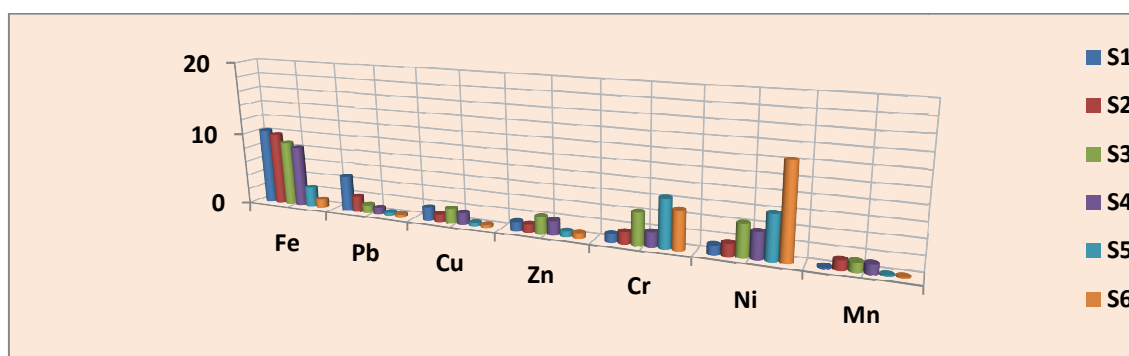
**Tableau 231:** ordre d'enrichissement des stations d'étude pour chaque élément selon les ICM

Métaux	Ordre d'enrichissement des stations
Fe	S1>S2>S3>S4>S5>S4
Pb	S1>S2>S3>S4>S5>S6
Cu	S3>S1>S4>S2>S5>S6
Zn	S3>S4>S1>S2>S5>S6
Cr	S5>S6>S3>S4>S2>S1
Ni	S6>S5>S3>S4>S2>S1
Mn	S2>S1>S4>S6=S3>S5

On peut établir aussi un tableau d'enrichissement pour les différents éléments métalliques dans les différentes stations prospectées (voir tableau 232).

**Tableau 232:** les indices de contamination moyens par métal et par station

Métaux	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Fe	10,35	9,95	8,86	8,35	2,71	1,17
Pb	4,79	2,19	1,19	0,97	0,42	0,33
Cu	1,85	1,02	2,02	1,59	0,45	0,38
Zn	1,28	1,15	2,29	2	0,83	0,74
Cr	1,13	1,64	4,3	2,02	6,46	5,13
Ni	1,26	1,71	4,36	3,59	5,94	12,42
Mn	0,19	1,28	1,23	1,22	0,18	0,19

**Fig. 110:** variation des indices de contamination des éléments métalliques des sédiments des six stations prospectées

On peut relever de ces tableaux (231, 232) et de la figure 110 que :

- Le lac Tonga est la zone la plus riche en fer et en plomb.
- Le lac Oubeira est la zone la plus riche en fer, en nickel et en chrome, tandis que
- Lac El Mellah c'est la zone la plus riche en chrome et en nickel.

Cette richesse est constatée dans l'étude qui a été réalisée en 2006 sur le même sédiment par (Bendjama *et al*, 2011), seulement les teneurs en métaux lourds dans le sédiment superficiel de notre zone d'étude, sont plus élevées durant l'année 2010. Ce qui explique l'augmentation du degré de la pollution.

- Les trois lacs sont indemnes de toute pollution par le cuivre, le zinc et le manganèse qualifiant ainsi le sédiment de surface des trois lacs comme non pollués par ces éléments.

**L'élément fer** est l'élément le plus abondant dans les sédiments des trois lacs, il représente des teneurs moyennes allant jusqu'à 20702 mg/kg de poids sec dans le sédiment du lac Tonga de nature argileux, ce qui est 10 fois la norme du fer qui est de l'ordre de 2000mg/kg de ps ; Par contre la teneur moyenne la plus faible en fer est relevée au niveau du sédiment du lac Mellah de nature sableuse est de l'ordre de 2350 mg/kg de p.s. et les valeurs intermédiaires du fer (16716mg/kg dep.s) sont relevées au niveau de sédiment du lac Oubeira. Selon Welken et Weiller, 1987 la majeure partie du fer est contenue dans les fines particules de limon et d'argile sous forme d'hydroxyde de fer communs et la forte teneur en Fe peut être liée à la structure des silicates qui font partie des constituants majeurs des sédiments. La présence d'un substratum d'origine acide caractérisant les sols du bassin versant du lac Tonga et Oubeira, favorisant davantage la fixation des éléments métallique.

La nature du substratum du bassin versant du lac Tonga, qui est d'un pH acide et riche en matières organiques favorisent d'avantage l'abondance du fer (Durand.J, 1954) et cela explique les faibles teneurs relevées dans les sédiments sableux du lac Mellah. Selon (Burton., 1976 ; Rodier et al, 1996), des teneurs élevées en fer peuvent être liées aux conditions hydrodynamiques et physico-chimiques et surtout à la précipitation des oxydes de fer.

**L'élément plomb**, présente des teneurs moyennes 4 fois la norme uniquement à la station S1 du lac Tonga. Les cinq autres stations présentent des teneurs moyennes normales variant entre 5.35 mg/kg de p.s et 87 mg/kg de p.s. généralement le plomb est relâché dans l'environnement à des quantités considérables suivant différents processus tels que la combustion des charbons, l'emploi des peintures et surtout l'utilisation de composés à base de plomb dans les carburants. S'il est absorbé en grande quantité chez l'homme, il devient toxique et provoque le saturnisme.

Dans notre étude, la contamination du sédiment de la station S1 « les pompes » à pour origine les rejets domestique entraînés par les eaux de oued El-Hout et à l'axe routier devenant important durant l'été .D'où notre première conclusion est que la contamination par le plomb est liée aux activités anthropiques. Cet élément est utilisé comme anti-détonateur dans l'essence (Li et *al.*, 2003);une deuxième origine probable, les nasses, les filets de pêche, la corrosion des pompes en ce qui concerne notre site. D'autre part ce métal est assimilé par le phytoplancton qui brouté par le zooplancton herbivore est transféré en grande partie dans le sédiment. Selon J.F. Chiffolleau ; 2001, les apports de plomb dans les eaux continentales se font majoritairement par voix atmosphérique, la source principale étant encore à l'heure actuelle la combustion des carburants automobiles.

**L'élément cuivre** présente des teneurs en dessous de la norme au niveau des sédiments des six stations prospectées. La teneur minimale est enregistrée au niveau de la station S6 du lac

Mellah avec une valeur de 6.1 mg/kg de p.s où la nature du sédiment est sablonneuse. Cette fraction du sédiment a une faible capacité d'adsorption métallique. Par ailleurs les teneurs élevées en cuivre sont relevées dans les sédiments de surface du lac Tonga et Oubeira où le sédiment est de nature argileuse. Les variations spatiales des teneurs en cuivre sont très marquées entre lac Oubeira et Tonga d'une part et lac Mellah d'une autre part. On constate que la taille des particules, contrôle les concentrations des éléments métalliques. Les plus fines (argiles), en raison de leur surface spécifique importante leur force d'attraction élevée, ont tendance à capter et à transporter davantage les éléments traces dans les milieux aquatiques (Salomons et Forstner .1980; Probst, 1999). Toujours sur le plan spatiale, les valeurs maximales du cuivre sont relevées dans le sédiment de surface de la station nord du lac Oubeira qui est sous influence des apports d'eau douce d'oued *Demet El Rihanna*, chargée en particules métalliques, elles sont de l'ordre de 75 mg/kg. Selon Baize (1997), les concentrations du cuivre sont élevées dans les roches sédimentaires telles que les schistes et les argiles. Par ailleurs, il a une affinité particulière pour les sulfures où il accompagne souvent le fer et est faiblement concentré dans les roches granitiques (Baize, 1997).

Aussi le devenir du cuivre dans les milieux aquatiques dépend des paramètres tels que le pH, l'oxydoréduction, la capacité d'échange cationique (CEC), la quantité de l'hydroxyde de fer et d'aluminosilicates. Il est peu mobile dans la nature sauf dans des conditions extrêmes d'acidité (Baize, 1997).

Le cuivre est un élément qui accompagne généralement le zinc, le plomb et le cadmium dans l'environnement. Il est reconnu comme élément essentiel de l'alimentation des oiseaux, des plantes et des mammifères et participe au métabolisme de la purine et au développement du système nerveux. Et sa toxicité est assez importante pour les êtres vivants à des doses relativement faibles.

Comme le cuivre, **le zinc** présente des teneurs faibles dans le sédiment de surface du lac El-Mellah. La teneur minimale est enregistrée au niveau de la station S6 du lac Mellah avec une valeur de 56 mg/kg de p.s où la nature du sédiment est sablonneuse et la teneur maximale est relevée enregistrée au niveau de la station S3 du lac Oubeira, avec une valeur de 235 mg/kg de p.s. en littérature, sa teneur moyenne, dans la croûte terrestre, varie entre 70 et 132 µg/g et est beaucoup plus élevée dans les sédiments argileux et les schistes (80 à 120 µg/g) (Baize, 1997). Cette remarque est relevée par notre étude. Le zinc peut être complexé par les acides humiques. Dans l'eau, la solubilité des chlorures et des sulfates de zinc est importante, leur hydrolyse conduit à une diminution du pH.

Le **zinc** essentiel pour la croissance et le développement normal des espèces animales et végétales et il devient nuisible quand il est en excès.

Dans cette étude, l'analyse de ces deux éléments métalliques **chrome et nickel**, a été lancée suite à la découverte en 2006 de concentrations élevées dans plusieurs échantillons de sédiments superficiels prélevés au niveau des mêmes stations prospectées.

Contrairement aux autres éléments le **nickel** présente une distribution particulière, il est anormalement abondant dans les sédiments sablonneux du lac Mellah, et moins abondant dans les sédiments du lac Tonga et Oubeira. Il atteint des teneurs presque 6 fois la norme, avec un

indice de contamination moyen égale à 5 au niveau du lac Mellah, dont les stations sont influencées d'une part par les rejets liquides domestiques véhiculées par les apports de oued R'Guibet et les apports de oued Mellah et oued Boularoug au sud du lac et d'une autre part par l'apport des eaux marines de la mer méditerranéenne à travers le chenal du lac El Mellah. En littérature, on trouve généralement que les teneurs en nickel sont déterminées par la nature du sédiment et restent liées aux conditions hydrodynamiques et physico-chimiques et sont sensibles aux variations du pH Cawet et Faguet (1982), Scholkovitz (1978).

Normalement ce sont les fond argileux qui montrent des teneurs élevées ; ce qui n'est pas le cas dans notre étude où les teneurs les plus élevées sont notées au niveau d'un substrat sablonneux caractérisant la station 1 située au nord ouest de la lagune à l'embouchure de Oued R'Guibet où la nature du sédiment est purement sablonneuse. Cette contamination reste toujours liée à la nature du sol, néanmoins elle exige une étude plus approfondie afin de déterminer d'une manière plus précise son origine. Surtout que cet élément (nickel), à des concentrations élevées, inhibe la reproduction des mollusques bivalves (Chifolleau, 2001 ; Casas, 2005). D'ailleurs cela peut expliquer la mortalité qui touche les bivalves peuplant la lac El-Mellah.

Les variations des teneurs **en chrome** sont similaires à celles du nickel, car les teneurs les plus élevées sont de l'ordre de 700 mg/kg de p.s , notées au niveau du sédiment du lac Mellah, ce qui est 12 fois la valeur norme du chrome qui est de l'ordre de 45 mg/kg de p.s et les teneurs les plus faibles sont enregistrées au niveau du lac Tonga de l'ordre de 87 mg/kg de p.s. Il est important de noter que lac El Mellah est un milieu lagunaire dont l'environnement dynamique est particulier où différentes énergie interfèrent pour apporter et répartir les sédiments terrigènes et marins. Cette lagune est une dépression côtière située au dessous du niveau moyen des océans et ayant une communication permanente avec la mer.

Le chrome montre des valeurs très variables d'un site à un autre et d'une saison à l'autre et les plus fortes teneurs sont relevées au niveau des embouchures des oueds avec les lacs, et pendant la saison estivale. Des études ont montré que cet élément semble être lié à l'agriculture. Rain et Fernex ; 1982, Anagnostou et al ; 1998 ; Boguer et al ; 1998, montrent que des teneurs élevées en chrome peuvent provenir de la sédimentation d'organismes morts et aussi de l'origine géologique des roches.

En effet, la pollution organique qui touche le milieu relevée par notre étude « Première partie », peut conduire dans le futur à une diminution du pH et du potentiel redox de la colonne d'eau et des sédiments. Ces conditions du milieu peuvent favoriser la dissolution du chrome trivalent naturellement majoritaire dans les sédiments en chrome hexavalent dissout dans la colonne d'eau. L'augmentation du chrome hexavalent dans cet écosystème aquatique devient avec le temps un problème de santé publique qu'il faut résoudre par des techniques de filtration très coûteuse et imposera une surveillance rigoureuse des zones humides de la région d'El Kala.

La nature de ces deux éléments traces métalliques **chrome et nickel** et l'homogénéité des concentrations trouvées dans le sédiment superficiel de la zone d'étude bien supérieures aux

normes admises par notre étude, laissent en premier abord penser à l'existence de source polluante naturelle du fait de l'absence d'industries polluantes autour de cette région. Comme sa peut être d'une source anthropogène, surtout que pour la majorité des villages avoisinant lac El Mellah, leur raccordement au réseau d'assainissement est pratiquement inexistant et les rejets essentiellement des eaux usées domestiques ont pour destination finale le réseau hydrographique et les eaux souterraines qui rejoignent le plan d'eau du lac. Il y existe depuis 1983, une station de traitement pour le village de Gantra El Hamra mais elle n'a jamais été mise en service « BNEDER 2004 ».

De même pour lac Oubeira, la quantité d'eau nécessaire à l'alimentation en eau potable des populations, est prélevée, en grande partie à partir des différentes ressources en eau existantes localement où elle sera rejetée à son tour, après usage, dans le milieu naturel du bassin versant du lac Oubeira. 80% de cette quantité d'eau consommée est restituée, à une eau de qualité réduite qui regagnera à la fin, superficiellement ou souterrainement lac Oubeira. Il est important de signaler aussi que, la principale ressource pour l'irrigation des cultures, assure l'arrosage de 95 % des surfaces irriguées. L'arrosage à partir des puits, bien qu'insignifiant par rapport à celui à partir du lac, prend cependant de l'ampleur. Les oueds pendant la saison sèche. Une fraction de l'eau d'irrigation rejoint les eaux souterraines des nappes chargées entraînant avec elle les résidus de la fertilisation.

Le dernier élément qui est le **manganèse**, il est présent dans le sédiment de surface de la zone d'étude mais à des teneurs en dessous de la norme. Les teneurs les plus élevées sont enregistrées au niveau du lac Oubeira et Tonga « sédiment de nature argileuse ».

Ces teneurs assez élevées en manganèse semblent être déterminées par la nature des sédiments. Cawet et Faguet (1982), ont montré que le fond argileux est considéré comme étant le substrat sur lequel le Mn et le fer s'adsorbent le plus ; cela confirme les valeurs élevées enregistrées au niveau du lac Tonga et Oubeira. D'autre part, les teneurs les plus faibles sont relevées dans le sédiment de nature sablonneuse (le cas de lac El Mellah).

A travers le suivi spatiotemporel des éléments métallique au niveau du sédiment de surface des six stations prospectées, nous constatons que les sédiments de la zone d'étude, s'avèrent sérieusement atteints par une contamination métallique par **le fer, le chrome, le nickel et le plomb**. Cette charge de contaminants pourrait avoir un impact très nocif sur la capacité de défense des milieux lacustres et de leurs pouvoirs auto-épurateur. C'est-à-dire ils perturbent le fonctionnement réel de ces écosystèmes aquatiques et par conséquent la dégradation du milieu.

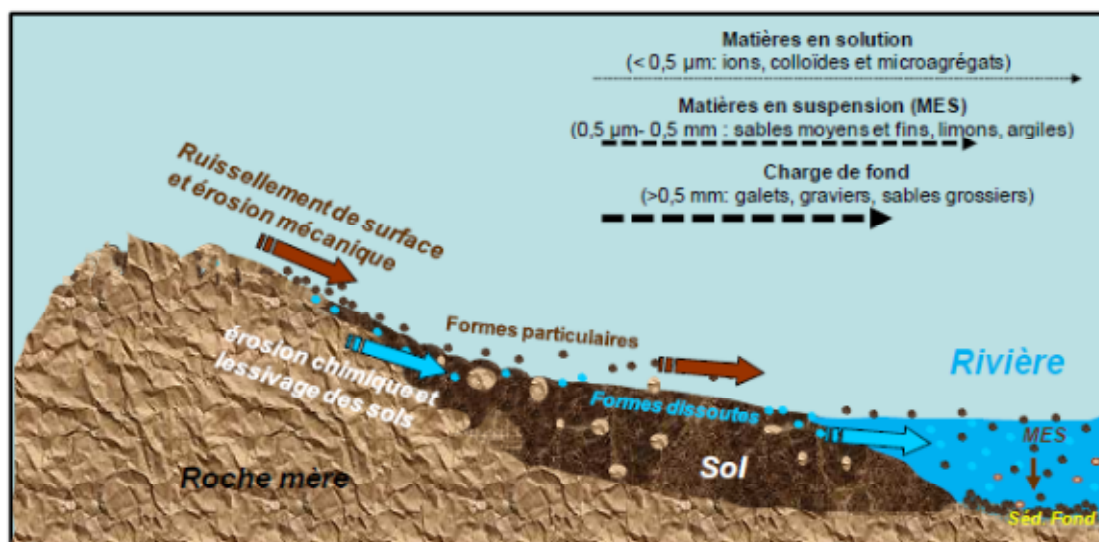
Contrairement aux polluants organiques, les éléments traces métalliques ne peuvent pas être dégradés biologiquement et chimiquement. L'une des conséquences les plus sérieuses de la persistance des métaux est leur accumulation dans les chaînes alimentaires. Au bout de ces chaînes, les éléments traces peuvent atteindre des concentrations 10 fois supérieures à celles trouvées dans le milieu aquatique. Ces éléments et leurs composées sont souvent transportés sur de grandes distances par l'eau avec ou sans modification chimique. Les réactions de

transformation conduisent généralement à des composés plus toxiques que l'élément d'origine (Bliefert et Perraud, 2001).

Etant donné que les conditions hydrologiques des eaux varient selon les saisons «période de crues, période d'étiage), ils peuvent influencer la concentration des éléments métallique dans les systèmes aquatiques.

Toutefois, nous relevons que les concentrations dans les sédiments prélevés en été sont plus élevées que celles relevées en hiver. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que durant l'été la pluviométrie étant moins importante et le débit des eaux est faible, ce qui favorise plus de dépôt de particules fines dans les fonds des cours d'eau, entraînant ainsi des concentrations plus élevées en élément métallique. Nous avons signalé, que les particules fines inférieures à 63 milli micron, adsorbent de façon privilégiée les éléments métalliques. Il est donc logique que pendant la saison sèche, les sédiments présentent des valeurs plus élevées que les saisons où la pluviométrie et le débit sont relativement élevés, et mobilisent les particules riches en éléments traces métalliques.

La figure 111, montre que dans les systèmes naturels, les cours d'eau, résultants de la concentration des eaux collectées par les bassins versants suite aux différentes précipitations, mobilisent les matériaux de l'érosion et les transportent et les redistribuent dans l'environnement de trois façons différentes selon le diamètre des particules (Allen, 1997). La plus grande proportion des ces éléments va être immobilisée, à plus ou moins long terme, dans le fond des cours d'eau, suivant différents processus physiques, chimiques et biologiques (Tessier et Campbell, 1987 ; Kelderman et Osman, 2007).



**Fig.111** : mode de transport et devenir des matériaux issus de l'érosion dans les milieux fluviaux, (Source : Mathieu, 2008)

Dans notre zone d'étude, les activités anthropiques restent donc la source principale de la contamination des sédiments de surface par le fer, le plomb, le chrome et le nickel. Les indices de contamination les plus élevés correspondant aux éléments toxiques restent liés aux

activités humaines. Par ailleurs, les eaux usées, celles issues des activités agricoles et domestiques, sont rejetées dans les lacs, sans aucun traitement préalable. Les rejets d'eaux usées brutes dans la nature entraînent une dégradation plus ou moins grave du réseau hydrographique, caractérisée par l'eutrophisation et l'asphyxie du milieu, provoquant la perturbation des écosystèmes puis la mortalité de la faune, accompagnée souvent de mort biologique de certains cours d'eau. A ces dangers, s'ajoutent l'absence d'assainissements, occasionnant en saison pluvieuse, des eaux stagnantes dans lesquelles toutes sortes de déchets sont déversés, s'accompagnant parfois d'odeurs souvent toxiques. En plus de ces apports, il y a l'action des eaux de ruissellement qui entraînent les ordures ménagères, déposées de façon anarchique et composées souvent d'éléments toxiques vers les cours d'eau et les puits pour atteindre à la fin les lacs.

**Tableau 233** : La comparaison de notre étude avec d'autres travaux réalisés dans certains lacs Africains, Asiatiques et Européens (Sédiments superficiels)

Sites/ métaux	Fe	Pb	Cu	Zn	Mn	Références
<b>Croûte continentale</b>	56000	16.25	55	70	950	<b>Taylor, 1964</b>
Lac Mariout Egypte	25600	7.3	38.00	94.00	958.00	Saad et al. ; 1985
Lac Nozha Egypte	57800	10.6	79.60	106	1.25	Saad et al. ; 1985
Estuaire du Nil Egypte	460	/	85.6	139	387	Saad et Fahmy; 1985
Fleuve du Rhône de France St Vallier-	22342	280	137.6	285	698	Greenpeace, 1986
Fleuve du Rhône de France - Isère -	27389	80	41.7	107.7	716	Greenpeace, 1986
Fleuve du Rhône de France- Valence -	31594	280	44	148	120	Greenpeace, 1986
Lac Victoria, Kenya	1180 52900	6.02 69.4	0.96 78.6	2.54 265	53.1 616	Onyari et Wandiga, 1989
Oued Sebou Maroc	19 2150	0.5 19	14 40	50 90	23 240	M.Fekhaoui et al.,1993
Lac Ghar El Mellh - Tunis	-	-	15	100	200	S.Azzaoui, 1993
Lac Ichkeul Tunisie	-	60	20	180	300	N.Ben M'barek, 1995
Lac Fouaret, Maroc	15200	64.6	45.5	219	407	H.Benbuih et al., 2005
Lac Tonga	13643	69.60	34.86	104.7	297.86	Bendjama ,2007
Lac Oubeira	13436	21.10	23.50	89.95	494.45	Bendjama, 2007
Lac El-Mellah	3968	06.48	06.57	74.03	49.05	Bendjama, 2007
Lac Tonga	20700	105.38	48.10	112.64	76	Bendjama et al 2011
Lac Oubeira	17720	26.18	52.52	201.52	492	Bendjama et al 2011
Lac El-Mellah	<b>5420</b>	<b>59.24</b>	<b>11.7</b>	<b>73.04</b>	<b>76</b>	Bendjama et al 2011

Les teneurs sont en mg/kg de poids secs

## 5. Conclusion

Cette troisième partie est destinée à établir une base de données des concentrations en éléments métallique dans le sédiment de surface des six stations prospectées dont la fraction est inférieure à 63 millimicron, afin de permettre la comparaison des échantillons sédimentaires ; D'estimer l'intensité de la contamination métallique des sédiments et de

déterminer l'origine de cette contamination. Pour répondre à ces objectifs, 72 prélèvements de sédiment ont été réalisés au niveau de six stations (S1-S6) à pas mensuel durant l'année 2010. Selon les résultats obtenus on a pu relever les conclusions suivantes :

Sur le plan spatial, on conclut que les teneurs en éléments métalliques analysées au niveau du sédiment de surface des six stations prospectées révèlent une contamination par le plomb, le fer, le chrome et le nickel et que ces stations sont indemnes de toute contamination par le cuivre, le zinc et le manganèse.

Toujours sur le plan spatial, une forte pollution des sédiments de surface du lac Mellah et lac Oubeira, est marquée par le nickel et le chrome et une forte pollution des sédiments du lac Tonga et Oubeira est marquée par le plomb.

Sur le plan temporel, généralement, les teneurs en éléments métalliques les plus élevées sont enregistrées dans le sédiment de surface, durant la période des basses eaux (période d'étiage), et les teneurs les plus faibles, sont enregistrées durant la période des hautes eaux (période de crue). Leur évolution suit généralement un cycle saisonnier qui montre un accroissement des concentrations se faisant dans le sens saison humide-saison sèche (de décembre à septembre), s'ensuit d'une décroissance se faisant dans le sens été-automne (de septembre à novembre). Ceci pourrait s'expliquer du fait que durant l'été la pluviométrie étant moins importante et le débit des eaux est faible, ce qui favorise plus de dépôt de particules fines à la surface des sédiments, entraînant ainsi des concentrations plus élevées en élément métallique

Un sédiment dont la fraction est fine sera naturellement plus riche en éléments traces et présentera une plus grande capacité à véhiculer des polluants, par rapport à un sédiment de granulométrie plus grossière. Pour toutes ces raisons, il est difficile de comparer deux échantillons de granulométrie différente. Pour permettre la comparaison des échantillons sédimentaires de caractéristiques différentes on a étudié uniquement la fraction inférieure à 63 micromètres.

Par ailleurs, le chrome et le nickel montrent un comportement singulier caractérisé par une abondance au niveau de la fraction grossière du sédiment du lac El Mellah.

# ***Conclusion générale***

---

## CONCLUSION GENERALE

---

L'étude réalisée sur la qualité physico-chimique des eaux superficielles et des sédiments de surface des différentes stations prospectées de la zone d'étude, permet de dégager les conclusions suivantes :

L'évolution spatiotemporelle des paramètres physico-chimiques varie d'une station à l'autre et ces fluctuations reflètent bien l'état réel et la nature des eaux douces et salines des zones humides de la région d'El Kala. Ces variations reviennent à la localisation des stations étudiées qui sont influencées par les apports et les pertes d'eau douces et salines.

La variation des paramètres physico-chimiques des eaux est sous influence des changements périodiques de la température « période de crue et période, d'étiage », « précipitations et évaporation ».

Par conséquent, l'analyse en composante principale et la matrice de corrélation des variables étudiées évoque une forte corrélation entre la température et les autres variables.

Ainsi, le diagnostic des paramètres de la pollution organique DCO et DBO<sub>5</sub>, montre une charge importante de la matière organique surtout durant la saison des basses eaux. La minéralisation des eaux caractérisent les eaux superficielles salines du lac El Mellah, vue les fortes teneurs en magnésium, en calcium et en chlorures et par conséquent de fortes conductivité électriques des eaux. Cette forte minéralisation, revient aux apports des eaux marines riches en sels minéraux à travers l'embouchure surtout en période des hautes eaux.

On relève aussi que les paramètres physico-chimiques sont faiblement corrélés dans les eaux salines et fortement corrélés au niveau des eaux douces. Cela pourrait être expliqué du fait que les stations du lac El-Mellah sont à double influence d'apport d'eau « marine et douce ».

Les résultats obtenus, concernant la répartition des 7 éléments métalliques fer, cuivre, zinc, plomb, chrome, nickel, manganèse présents dans les eaux des trois lacs montrent une distribution spatiotemporelle assez variable.

Les fluctuations des concentrations de ces derniers suivent une évolution saisonnière, ils se répartissent selon un cycle saisonnier, montrant un accroissement se faisant dans le sens saison humide, saison sèche, c'est-à-dire hiver-printemps, et été, s'ensuit d'une décroissance se faisant dans le sens été, automne. Les concentrations les plus élevées sont relevées durant l'été, pour la plupart des éléments métalliques, pour d'autre éléments c'est au cours de la saison automnale que les concentrations sont plus importantes.

En se basant sur les valeurs d'indices de contamination, l'ensemble des analyses métalliques effectuées sur les eaux de surface au niveau des six stations prospectées, révèle une contamination par le plomb, le chrome, le nickel et le manganèse. Les eaux sont indemnes de toute contamination par le cuivre, le zinc et le fer qualifiant ces eaux comme non polluées par ces éléments.

L'ordre d'enrichissement des stations par les éléments métalliques étudiés, montrent que la zone la plus riche en **fer, en manganèse et en plomb**, est le lac **Tonga**, juste après c'est le lac **Oubeira** puis le lac **Mellah**, et la zone la plus riche en **cuivre et en zinc** c'est le lac **Oubeira**, juste après le lac **Tonga** et enfin le lac **Mellah**. La zone la plus riche en **chrome et nickel**, c'est le lac **Mellah**, juste après le lac **Oubeira**, et enfin le lac **Tonga**. Donc le lac **Tonga**, constitue la zone la plus touchée par la contamination métallique.

Les teneurs en éléments métalliques varient généralement d'un site à l'autre, d'une station à l'autre et d'une saison à l'autre. Par ailleurs on constate que les teneurs de ces éléments métalliques sont élevées durant la période des basses eaux et baissent durant la période des hautes eaux.

Parallèlement aux analyses des eaux superficielles, nous avons recherché la présence des métaux lourds dans les sédiments de surface des zones humides étudiées, il est à noter que l'analyse de ces métaux est réalisée sur la fraction sédimentaire fine, inférieure à 63µm.

L'analyse des éléments métalliques analysés dans les sédiments superficiels du complexe lacustre de la région d'El Kala, fait apparaître des indices de contamination supérieurs à la norme « 3 », relevés par **le fer, le plomb, le nickel et le chrome** et des indices de contamination inférieurs à la norme « 3 » relevés, par **le cuivre, le zinc et le manganèse**.

L'ordre d'enrichissement des sédiments de surface, par les éléments métalliques étudiés est le même pour les eaux de surface, car la zone la plus riche en **fer, en manganèse et en plomb**, est le lac **Tonga**, juste après le lac **Oubeira** et enfin le lac **Mellah**. Et la zone la plus riche en **cuivre et en zinc** c'est le lac **Oubeira**, juste après le lac **Tonga** et enfin le lac **Mellah**. La zone la plus riche en **chrome et nickel**, se manifeste au lac **Mellah**, juste après le lac **Oubeira**, et enfin le lac **Tonga**. Compte tenu des éléments précités, le lac **Tonga** représente la zone la plus affectée par la contamination métallique.

Comme pour les eaux, dans la fraction fine des sédiments superficiels, les teneurs en éléments métalliques varient généralement d'un site à l'autre, d'une station à l'autre et d'une saison à l'autre. Par ailleurs sur le plan spatial, on constate généralement que les teneurs de ces éléments métalliques sont élevées durant la période des basses eaux et baissent durant la période des hautes eaux. Ceci pourrait être expliqué du fait que durant l'été la pluviométrie étant moins importante et le débit des eaux est faible, ce qui favorise plus de dépôt de particules fines à la surface des sédiments, entraînant ainsi des concentrations plus élevées en éléments métalliques.

Un sédiment dont la fraction est fine sera naturellement plus riche en éléments traces et présentera une plus grande capacité à véhiculer des polluants, par rapport à un sédiment de granulométrie plus grossière, ce résultat trouvée par d'autres travaux scientifiques, est constaté aussi dans notre étude. En effet les sédiments superficiels jouent un rôle primordial dans le stockage d'un grand nombre de métaux toxiques.

Par ailleurs, Le chrome et le nickel montrent un comportement singulier caractérisé par une abondance au niveau de la fraction grossière du sédiment du lac El Mellah, d'où on constate

que l'origine de cette contamination par ces deux éléments est soit naturelle ou domestique du fait de l'absence d'industrie autour de ce site.

D'après les bilans généraux des résultats, on constate que la zone d'étude est une zone à double influence naturelle (continentale et marine) et anthropique (domestique et agricole).

Il ressort de ces bilans que la présence des éléments métalliques dans les eaux et les sédiments de surface est influencée par quelques paramètres physico-chimiques notamment la température du milieu, le pH, l'oxygène dissous et la charge en matières organiques.

La qualité des eaux et des sédiments des zones humides de la région d'El Kala est à surveiller et à contrôler si on veut sauvegarder le rôle réel des ces écosystèmes aquatiques qui sont à vocation aquacole. De source fixe ou diffuse, anthropique ou naturelle, ces résultats ont pour vocation d'orienter les autorités locales à prendre des mesures pour préserver la qualité de cette ressource en eau essentielle pour l'environnement et la santé publique, en raison de l'augmentation des concentrations en éléments métalliques dans cet écosystème aquatique, par rapport à l'étude réalisée en 2006, (Bendjama, 2007).

# ***Références Bibliographiques***

## Références bibliographique

1. **Alloway, B.J. (1990).** The origins of heavy metal in soils, in: Alloway, B.J. (ed), Heavy metals in soils. Blackie, Glasgow, pp. 29-39.
2. **Alloway & Ayres. (1997).** Chemical principales of environmental pollution. Blackie Academic and professional, an imprint of Chapman and Hall, London, 394pp.
3. **Anagnostou C., Kaberi, H & Karageorgie, A. (1998).** Horizontal and vertical distribution of heavy metals in sediment from Thermaikos golf. Rapport du 35 Congrès (Dubromik); CIESM, 313 p.
4. **Arfi R. (1991).** Qualité des eaux, hydrologie, matériel particulaire et plancton : Etang de Berre. Suivi exceptionnel du milieu. Rapport de convention : 156p.
5. **A.T.S.D.R. (1990).** Toxicological profiles for copper. Agency for toxic substances and disease registry, Atlanta, GA: US department of Health and Human Services, Public Health Services.
6. **Azzaoui S. (1993).** Géochimie de certains Métaux lourds dans les sédiments de la lagune de Ghar El Mellh (N-E –Tunisie), mémoire de DEUA, Université de Tunis II, 100p.
7. **Baba Ahmed.F. (2005).** Evaluation de la contamination fécale de trois plans d'eau du complexe des zones humide d'El Kala( Oubeira, Tonga, El Mellah).
8. **Babut. M. et Perrodin.Y.(2001).** - Evaluation écotoxicologique de sédiments contaminés ou de matériaux de dragage présentation et justification de la démarche, Cemagref, ENTPE, Lyon, , 52p.
9. **Baize, D. (1997).** Teneurs en éléments traces métalliques dans les sols (France). Références et stratégies d'interprétation. INRA Editions, Paris, 408 p.
10. **Balls P.W., Hull S., Miller B.S., Pirie J.M. & W. Proctor. (1997).** Trace metal Scottish estuarine and coastal sediments. Mar. Pollut. Bull. , 34 (1): 42– 50.
11. **Barbe J. (1981).** Développement du phytoplancton dans la rivière Doubs, ses causes et ses relations avec la qualité physicochimique de l'eau. Cité par BENNACER I. Thèse d'Etat Es-Science. Univ. Ibn Tofail ; Kenitra, Maroc ; 178 p.
12. **Bélaïr G. (1990).** Structure, fonctionnement et perspective de gestion de quatre éco complexes lacustres et marécageux (El Kala, est algérien). Thèse de doctorat. Université Montpellier 2. 193p.
13. **Bendjama A (2007).** Niveau de contamination par les métaux lourds du complexe lacustre de la région d'El kala « thèse de magistère. UBMA-ANNABA.
14. **Bendjama A et al. (2011).** Caractérisation des matériaux biologiques issus d'un écosystème naturel « PNEK » situé au nord-est de l'Algérie. Article JSAC, 2011.
15. **Ben M'Barek N. (1995).** Impact des ouvrages sur l'équilibre de l'écosystème : Lac Ichkeul », Mémoire de DEA, Université de Tunis II ; 97p.
16. **BenBouih H, Nassali H, Leblans M et Shiri A. (2005).** Contamination en métaux traces des sédiments du lac Fouaret-Maroc. *Afrique Science* 01 1009-125.
17. **Benyagoub S, Louanchi M, Baba Ahmed R et al. (1998).** Plan directeur de gestion du parc national d'El Kala et du complexe des zones hmides. Projet GEF (Global Environment Facility)-Banque mondial. 220p+22. Disponible au parc national d'El Kala.
18. **Bliefert C., Perraud, R. (2001).** Chimie de l'environnement : air, eau, sols, déchets. De Boeck, Bruxelles, 477 p.
19. **B.n.e.d.e.r. (2004).** Bureau national des études et du développement rural Alger.

20. **Boguer D., Juracic M., Barie, A. (1998).** Cr and Vi contents in sediment from Kastela bay, A Adriatic sea, Croatia. Rapport du 35 congrès Croatia ( Dubrovnote), CIESM, 313 p.
21. **Bouras S, Maatoug M, Hellal B et Ayad N. (2010).** Quantification de la pollution des sols par le plomb et le Zinc émis par le trafic routier (cas de la ville de Sidi Bel Abbes, Algérie occidentale). Les Techniques de laboratoire –Volume 5, N°20,p11-17.
22. **Bontoux J. (1993).** Introduction à l'étude des eaux douces naturelles eaux usées, eaux de boissons. Cebedoc, Liège, 169p.
23. **Boutière H., De Bovée F., Delile D., Fiala M., Gros C., Jacques G., Knoepffler M., Labat J.P., Panous M., et soyer J.(1981).** Les effets d'une crise dystrophique dans l'étang de salses-leucate. Oceanol.A-cta, N°SP. Syposium international sur les eaux cotières, SCOR/ IABO/ UNESCO, Bordeaux, 8- 14 septembre 1981 : 231- 242.
24. **Bourache J.M & Saporta G. (1983).** L'analyse des données « que sais-je » n°1854. Presse universitaire, France.
25. **Boust D, Hebert D, Roset M, Ouddane B, Martin E, Skiker M, Fischer J.C, Boughriet A, Wartel M (1998).** Le fer et le manganese dans l'estuaire de la seine, étude des échanges particuliers dissous, identification et réactivité des phases porteuse. Rapport seine-aval- thème dynamique des contaminants.
26. **Branch H.C. (1973).** Corrosion resistant materials for U equipment "Materials Protection"
27. **Bremond R. & Perrodon C. (1979).** Paramètres de la qualité des eaux. Ministère de l'environnement et cadre de vie. 2ème éd : 259 p.
28. **B.R.G.M/S.G.A.L. (1982).** Inventaire de degré de pollution des sédiments des cours d'eau. Bureau de recherche géologique et minière, services géologique régional d'Alsace.
29. **Brown B.F. (1971).** Les matériaux et la corrosion en milieu marin » Matériaux et Techniques, janvier, p.22-27 .1971, février, p39-42.
30. **Bryan G.W. (1979).** Bioaccumulation of marine pollutants. Phil. Trans. *Re. Soc. Lond. B.*, 286 : 483–505.
31. **Burton G.A & Scott K.J. (1992).** Sediment, toxicity, evaluation, their niche in ecological assessments. Environ. Sci.Technol., 26, 2068-2075.Performance, , vol,12, n° 3.
32. **Cave M., Reeder S. (1995).** Reconstruction of in-situ pore-water compositions obtained by aqueousleaching of drill core- an evaluation using multivariate statistical deconvolution. Analyst 120,1341-1351.
33. **Cawet G & Faguet D. (1982).** The role of organisme matter in transport processer of metals in estuarine environnements. Thallassa ogoslavia, pp 379-392.
34. **Chaibi R. (2004).** Caractéristiques physico chimiques et évaluation di niveau trophique d'écosystème lagunaire (La lagune EL Mellah).Mémoire de magistère. Université badji Mokhtar Annaba.
35. **Chiffolleau J. F., Claisse D. Cossa, A, Ficht G. Gonzalez T, Guyot P. Michel P. Miramand, C, F. Petit. (2001).** La contamination métallique, Programme scientifique Seine Aval:
36. **Chichester S, John Wiley and Sons (2005),** 360 p. **IBGM**,
37. **Conseil national de la recherche scientifique. (2004).** Les maladies liées à l'eau. Dans : *Sagascience*. [en ligne]. Page consultée le 25 septembre 2005.
38. **Coppenet, M., Golven, J., Simon, J.C., Le Corre, L., Le Roy, M. (1993).** Chemical evolution of soilsin intensive animal-rearing farms- the example of Finistere. Agronomie 13, 77-83.

39. **Coriou H., Boide G., Grall L (1970)**. Essais de corrosion sur différents matériaux dans l'eau de mer jusqu'à 151°C 3<sup>rd</sup> International Symposium on Fresh Water from the sea,p.597-590.
40. **Dagnellie P. (2000)**. Théorie méthodes statistiques; Tome II. Bruxelles université de Boeck et Larcier, : p109, p242.
41. **Dameron C. & Howe P. D. (1998)**. Copper Environmental Health criteria n°200. Geneve, World Health Organization.
42. **Debièche H. (2002)**. Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Thèse obtenue à l'U. F. R. des Sciences et Techniques de l'Université de Franche-Comté Ecole Doctorale Homme, Environnement, Santé. Spécialité (Hydrogéologie et Environnement).235p.
43. **DGF : Direction générale des forêts , Algérie.:** Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar : Lac Oubeira, p3, Mai **2003**.
44. **DGF : Direction générale des forêts, Algérie. (octobre.2003)**. Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar : Lac Mellah, p3.
45. **DGF : Direction générale des forêts, Algérie. (juin.2003)**. Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar : Lac Tonga, p3.
46. **Didier G. (1999)**. pollution des milieux aquatiques, aide mémoire, 2<sup>ème</sup> édition, Ingénieur ISIM Lyonnaise des eaux. 220p.
47. **Draredja B (1992)**. Condition hydro sédimentaires et structure de la macrofaune benthique en période printanière d'un écosystème lagunaire méditerranéen : lac Mellah (Algérie) . *Thèse de Magister en Océanographie, ISMAL (Alger)* : 147 p.
48. **Drardja B (2007)**. Structure et fonctionnement d'un milieu lagunaire méditerranéen : lagune El Mellah( El Kala, Algérie Nord-Est). Thèse de Doctorat.Faculté des sciences- UBMA-.
49. **Durant J. (1954)**. les sols du bassin versant du lac Tonga, rapport, ecole supérieure d'agriculture africaine.
50. **Dussart G.B.J. (1966)**. *Limnologie* : l'étude des eaux courantes. Ed. Herman, Paris, 250p.
51. **Einax, J.W., Soldt U .(1999)**. Geostatistical and multivariate statistical methods for the assessment of polluted soils—merits and limitations. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 46, 79–9.
52. **El Blidi S & Fekhaoui M. (2003)**. Hydrologie et dynamique marégraphique de l'estuaire du Sebou (Gharb Maroc). *Bull.Ins.Sci.*,p25-65.
53. **El-Morhit M. (2005)**. Évaluation de la pollution métallique de la cote atlantique marocaine (port laâyoune, foug l'oued et laâsilia). Diplôme d'Etudes Supérieures Approfondies. Université Ibn Tofail. Faculté Sciences Kenitra, Maroc.
54. **El-Mohrit M. (2005)**. Hydrochimie, éléments traces métalliques, incidences écotoxicologiques sur les différentes composantes d'un écosystème estuarien(Bas Loukos). Thèse de Doctorat. Option sciences de l'environnement. Faculté des sciences, Université de Rabat-Maroc.
55. **Escouffier B. (1979)**. *Rev.Stat.App.*27(4) :37-46
56. **Emberger L. (1955)**. Une classification biogéographique des climats. *Rev. Trav. Lab.Bot.Géo.zool* ; (faculté des sciences, université de Montpellier), Fasc.7, p 1-4
57. **Environnement Canada (2008)**. Utilisation des critères du devenir et des effets pour déterminer un seuil de déclaration d'une substance chimique aux fins de l'inventaire national des rejets polluants.

58. **Fernex F., Miznon C., Fevrier G., Arnonx A. (1995).** Transport du plomb atmosphérique en méditerranée occidentale et stockage de ce métal dans les sédiments d'une zone profonde. Rapp. Comm. Int. Mer, Médit. Malte (valette). CIESM, vol 34, 263 p.
59. **Facchinelli A., Sacchi E., Mallen L. (2001).** Multivarial statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils. Environmental Pollution 114, 313-324
60. **Ferreira M.F., Chiu W.S., Cheok H.K., Cheang F. & W. SUN. (1996).** Accumulation of nutrients and heavy metals in surface sediments near Macao. Mar. Pollut. Bull., 32 (5): 420 – 425.
61. **Forstner U. (1977).** Metal concentration in recent lacustrine sediments. Arch. Hydrobiol., 80 : 172–191.
62. **Forstner U. & Patchineelam S.R. (1980).** Chemical associations of heavy metals in polluted sediments from the lower Rhine River. Am. Chem. Soc. Adv. Chem. Ser., 189 : 177–193.
63. **Freiberg et al, (1979).** Handbook on the toxicology of metals. Elsevier/ North Holland Biomedical press, Amsterdam, New York, Oxford.
64. **Friant S.L. (1979).** Trace metal concentration in selected biological, sediment and water column samples in northern New England river. Water Air Soil pollution, 11, 455-465.
65. **Friedrich A.R., F.P.Filice. (1976)** –Uptake and accumulation of the nickel ion by *Mytilus edulis* Bulletin of Environmental contamination and toxicology; vol 16, n° 6, p 750-755
66. **Gartet.A, Gartet J, C.C. Garcia. (2001)** Hydrochimie des eaux, dissolution spécifique et salinité des cours d'eau dans le bassins de l'oued Lebène (Préref Central, Maroc Septentrional), papeles de geografía, 34 (2001), 143-161.
67. **George I. et P. Servais. (2002).** *Sources et dynamique des coliformes dans le bassin de la Seine.* Centre National de la Recherche Scientifique, Paris, France, 46 p. article Hamid Bousbaa revue science de l'eau).
68. **Gouaidia L (2008).** Influence de la lithologie des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'une nappe en zone semi-aride, cas de la nappe de Meskiana nord-est algérien. Thèse de Doctorat, option Hydrogéologie-Université Badji Mokhtar Annaba.
69. **Goterman H.L. (1995).** Toxicocinétique de trois polluants métalliques majeurs chez la truite arc-en-ciel (*Salmo gairdneri*), le chrome, le cuivre et le zinc ». Thèse de 3ème cycle Univ. De Claude Bernard, Lyon : 125 p.
70. **Gomella, C., Guerrée, H. (1978).** Le traitement des eaux publiques industrielles et privées. Editions Eyrolles. Paris.
71. **Granier M. (1975).** Cobalt, Cadmium, Nickel, 62 pages.
72. **Guélorquet O., Frisoni G.F., Ximens M.C & Perthuisot J.P. (1989).** Expression biologique du confinement dans une lagune méditerranéenne : le lac Mellah (Algérie). Rev.Hydrobiol.Trop.22(2) : 87-99 p.
73. **Guenen T. Année eau (1974 -1975).** - Mémoire sur le Chrome. Institut de technique sanitaire – conservatoire des arts et métiers, 37 pages.
74. **Hadj-Said S. (2007).** Contribution à l'étude hydrogéologique d'un aquifère en zone côtière : Cas de la nappe de Guerbes. Thèse de Doctorat, option Hydrogéologie.Faculté des sciences de la terre. Université Badi Mokhtar Annaba

75. **Harland B.J. Taylor D. & Wither A. (2000).** The distribution of mercury and other trace metals in the sediments of the Mersey estuary over 25 years 1974– 1988. *Sci. Total Environ.*, 253 : 45– 62.
76. **Hebert S. & S. Legare (2000).** Suivi de la qualité de l'eau des rivières et petits cours d'eau. Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère de l'Environnement Gouvernement du Québec, 5 p.
77. **Hecker P., Schaezler D.J., Kramer G.R. (1972).** Effects of heavy metals on micro organisms application to process design. *Engineering Bulletin of Purdue university*, n° 141, part.1,p 350-368.
78. **Hernandez L. (2003).** Dynamique des éléments traces métalliques dans les sols de différents écosystèmes forestiers Français : origine, distribution physique et chimique et facteurs de contrôle. Thèse de doctorat, Toulouse III; p. 266.
- 79.
80. **Himmi N., Fekhaoui M., Foutlane A., Bouchich H., EL Maroufy M., -Benazzout. & M. Hasnaoui, (2003).** Relazione plankton-parametri fisici chimici in un bacino dimaturazione (laguna mista Beni Slimane – Morocco. *Rivista Di Idrobiologia. Universitadegli studi di perugia, Dipartimento di Biologia Animale ed Ecologia laboratorio DiIdrobiologia "G.B. Grassi".* Estrato ISSN 0048 8399. 110–111p.
81. **Horowitz A.J., K.A. Elrick. (1988).** Interprétation of bed sediment metal data. American society for testing and materials ASTM 976 in "chemical and biological characterisation of sludges, sediments, dredge spoils and drilling muds", J.J. Lichtenberg(ed), Philadelphia: 114-128.
82. **Hutchinson T.C. & K.M. Meema. (1987).** Lead, mercury and arsenic in the environment.
83. **IBGE (2005).** qualité physico- chimique et chimiques des eaux de surface: cadre général "l'eau à Bruxelles novembre
84. **Jadal M. (2002).** Pollution chimique et microbiologique de l'estuaire de l'oued Oum-Er-Rbia : suivi de la macro pollution et ses incidences sur les différentes composantes de cet écosystème. Thèse de Doctorat. Univ. Ibn Tofail, Fac. Sci. Kenitra. 7, 8-9, 172 p.
85. **Joanny M., Chaussepied M., Corre F. (1980).** Présentation des résultats des océans. centre océanologique de Bretagne (CNEXO/COB),49
86. **Juste C. (1994).** Matières organiques et comportement des éléments traces dans le sol. Actes 4è journées de l'analyse de la terre (GEMAS) : matières organiques et agricultures. 115-123.
87. **Joleaud L. (1936).** Etude géologique de la région de Bone-la Calle. *B.S.G.A. (2)*, n° 12, 199 p., 25 fig., 2 tabl., 4 pl.
88. **Kaimoussi A. 2002.** Etude de la pollution au niveau du littoral de la région d'El Jadida. Thèse de Doctorat d'Etat Es Science physiques. Univ. Chouaib Doukkali, Fac. Sc. El Jadida page 72–73.
89. **Kelderman P., Osman, A A. (2007).** Effect of redox potential on heavy metal binding forms in polluted canal sediments in Delft (The Netherlands). *Water Research* 41, 4251-4261.
90. **Kirchner W.B ET S.Brabowski., Décembre. (1972)** . Manganèse in lacustrine ecosystem: A review. *Water resources bulletin* — p.1259-1264.
91. **Klamer J.C., Hegeman W.J.M. & Smedes F. (1990).** Comparison of grain size correction procedures from organic micro-pollutants and heavy metals in marine sediments. *Hydrobiol.*, 208: 213 – 220.
92. **Lane T.W & Morel F. M. (2000).** A biological function *Proceedings of the National Academy of Sciences* 97(9): 4627-4631.

93. **Lascombe.C & Cardot D. (1984).** Connaissance et cartographie de la pollution des eaux courantes. Bull.Ecol.,t, 15(1), 39-45
94. **Levesque L. (1979).** Les micropolluants minéraux dans les eaux superficielles continentales Fer, Aluminium, Manganèse, Molybdène, Vanadium, Titane ; p 78-101 Rapport n°2. AFEE.Paris
95. **Levesque L. (1979).** Les micropolluants minéraux dans les eaux superficielles continentales Chrome, Cuivre, Nickel p 17,,26,27,28,112,128,131 ;137 ;Rapport n°6.AFEE.Paris
96. **Li, X. D, Wang D. C, Wai, O.M.H, LI, Y. S, Liu, W. X, Shen, Z. G. (2003).** Multivariate statistical study of heavy metal enrichment in sediments of the earl river estuary. Environmental pollution 121. pp. 377-388.
97. **Marcet P, Andral M.L, Montero M.J. (1997).** Efficacité d'une méthode de digestion par micro-ondes pour la détermination de Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Cr, Al et Cd dans les sédiment in « Contaminated soils, Third international conférence on the biogeochemistry of trace éléments.R.POSTED, Cd –Rom .INRA, Paris 1997.
98. **Marre A. (1987).** Etude géomorphologique du tell oriental algérien de collo à la frontière tunisienne. Thèse de doctorat université d'Aix-Marseille, 559p+cartes.
99. **Marchand, M. & R. Kantin. (1997).** Les métaux traces en milieu aquatique." Océanis 23(4): p 595-629.
100. **Mathis B.J & Cummings T.F (1973).** Selected metals in sediment, water and biota in the illinois River. J.W.P.C.F., 1573-1583.
101. **Meador J.P., Robisch P.A., Clark JR R.C. & Ernest D.W. (1998).** Elements in fish and sediment from the pacific coast of the United States: results from the national benthic surveillance Projet; Mar. Pollut. Bull., 37 (1-2) : 56 – 66.
102. **Messerrer Y. (1999).** Etude morphométrique et hydrologique du complexe lacustre d'El Kala ( cas du lac Mellah et Oubeira). Thèse de magistère en écologie et environnement, université Annaba : 123p.
103. **Mico, S., Delaune, R.D., Jugsujinda, A., 2006.** Influence of sediment redox conditions on release/solubility of metals and nutriments in a Louisiana Mississippi River deltaic plain freshwater lake. Science of the Total Environment 371, 334-343.
104. **Miquel. M. (2001).** Les effets des Métaux lourds sur l'environnement et la santé . Rapport office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologique (Dir). Rapport Sénat n° 261 :360.
105. **Mitsch W.J. & Gosselink J.G. (1993).** Wetlands. Second edition. Van Nostrand Reinhold Compagny, New York 539 p.
106. **Moudallal S. (1997).** *Les ressources hydrauliques au Liban.* Ire éd., Dar el Fekr el Arabi (Éditeur), Beyrouth, Liban, 62 p. ( article Hamid Bousbaa revue science de l'eau).
107. **NAS/NRC (1989).** Recommended dietary allowances, National Academy of Science/National Research Council, Washington.
108. **Nisbet M. & Verneau J. (1970).** Composantes chimiques des eaux courantes. *Ann. Limnol. T 6Fasc., 2* : 161–190.
109. **OMS-IPCS. (1998).** Environmental Health Criteria n°200: copper, World Health Organization, International Progamme on chemical safety.
110. **Ochieng E.N. (1987).** Limnological aspects and trace elements analysis Kenyan natural inland waters. MSc. Thesis, University of Nairobi, Kenya, 294 p.

111. **Okoye B.C.O. (1991)**. Heavy metals in the Lagos Lagoon sediments. *Int.J. Environ.Stud.*, 37:35–41.
112. **Onyari J.M. & Wandiga S.O. (1989)**. Distribution of Cr, Pb, Cd, Zn, Fe and Mn in Lake Victoria sediments, East Africa. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 42:807–13
113. **Organisation mondiale de la santé (1979)**. Sodium, chlorures et conductivité dans l'eau potable. Rapport d'un groupe de travail de l'OMS. EURO rapports et études 2, bureau régional pour l'Europe, Copenhague.
114. **Oulmouhoub S. (2005)**. Gestion multi-usage et conservation patrimoine forestier : cas des subéraies du Parc national d'El Kala, Série Master en science n°78, Institut agronomique méditerranéen montpellier.p52,
115. **Ounissi M., Haridi A., Retima A. (2002)**. variabilité du zooplancton de la lagune Mellah5Algérie) selon l'advection tidale en hiver et au printemps 1996-1997.*J.Rech. Océanographique*, 27(1) : 1-13p.
116. **Pasternak K. (1969)**. Bottom sediment of the polluted dam reservoir at otmuschow.*Acta hydrobio.*, 84, 87-108
117. **Rain F& Fernex F. (1982)**. Teneurs en métaux lourds dans les sédiments des baies de Nice et de Ville Franche-sur-mer (méditerranée, France) . Origine de contamination. *Rev. INT. Oceanogr. Medit* Tomes L. XIII- L.XIV. pp. 85-96
118. **Ramade F. (1996)**. Dictionnaire encyclopédique des éléments de l'écologie des sciences de l'environnement. Ed. Science internationale. 822 pages
119. **Reitner J.P & Kralik M. (1997)**. Aktuogeologic eines natunahe n gerinnes: sedimentgeologic and Umweltgeologie and beispied des marchfeldkanals. *Mih. Sterr. Geol. Ges.*, 88 : 79– 96.
120. **Renholdt R et al. (1976)**. Distribution of selected metals in tissue samples of carp, cyprinus carpio” *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, vol.15, n° 3, p.374-377.
121. **Robbe D. (1981)**. Pollution métalliques du milieu naturel. Guide méthodologique de leur étude à partir des sédiments, rapport bibliographique. Rapport de recherche LPC 104. Ministère de l'urbanisme et du logement, Ministère des transport, nantes. 88 pages.
122. **Rodier J., Bazin C., Broutin J.P., Chambou P., Champsaur H. & Rodier L. (1996)**. L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer . 8<sup>ème</sup> édition. Paris. Collection DUNOD, 383 pages.
123. **Saad M.A.H. & Fahmy M.A (1985)**. Occurrence of some heavy metals in surficial sediments from the Damietta estuary of the Nile. *Journ. Etud. Pollut. CIESM*, 7:405–7.
124. **Saad M.A.H, COMAS MC & Eisenreich SR (1985)**. Metals and chlorinated hydrocarbons in surficial sediments of three Nile delta lakes, Egypt. *Water Air Soil Pollut.*, 24:27–39
125. **Salomons W. & Förstner U. (1984)**. Metals in the hydrocycle. Berlin, Springer, 349
126. **SedNet. (2006)**. Sediment Management – an essential element of River Basin Management Plans. Report on the SedNet Round Table Discussion. Venice, 22-23 Nov
127. **Seltzer . (1968)**. Le barrage vert original, quelques données climatologiques, 1968-1973
128. **Semadi A. (1989)**. Effet de la pollution atmosphérique, pollution globale, fluorée, plombique sur la végétation dans la région d'Annaba (Algérie). Thèse de doctorat d'État en Science Naturelle.
129. **Semroud R. (1983)**. Contribution à l'étude écologique des milieux saumâtres méditerranéens: le lac Mellah (El-KALA, Algérie) Thèse 3<sup>ème</sup> cycle, USTHB (Alger) : 137p. Université Pierre et Marie Curie, Paris (France).

130. **Serguini A. et al. (2001)**. Evaluation de la contamination métallique des sédiments du complexe zone humides de la ville de Mohammedia (Maroc). Bulletin de l'institut scientifique, Rabat, section sciences de la vie, 2001, n°23, 77-81.
131. **Serpaud et al. (1994)**. Adsorption des métaux lourds ( Cu, Zn, Cd, Pb) par les sédiments superficiels d'un cours d'eau : role du pH, de la température et de la composition du sédiment. Rev.sci.Eau7 : 343-365.
132. **Sholkovitz E.R. (1978)**. The flocculation of dissolved Fe, Mn, Al, Cu, Ni, Co and Cd during estuarine mixing . Earth and planetary sciences letters, 41: 77-86.  
Sigg, L., Behra, P., Stumm, W., 2006. Chimie des milieux aquatiques. Chimie des eaux naturelles et des interfaces dans l'environnement. 4e édition, Dunod, Paris, 564 p.
133. **Sittig M. (1976)**. Toxic metals: pollution control and worker protection »Noyes Data corporation, 350 pages.
134. **Stumm W & Morgan J. J. (1996)**. Aquatic Chemistry, 3rd edition. , Wiley- Interscience dsfl\*kPublication, New York.
135. **Stellio C.(2005)**. Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces (Hg, Cd, Pb, Cu, et Zn) chez la moule *Mytilus galloprovincialis*, en milieu méditerranéen. Thèse de Doctorat 356p.
136. **Taouil H et al. (2010)**. Contribution to the evaluation of metal pollution of sediments of the river tislittalsint, watershed Guir (eastern morocco).
137. **Tessier, A., Campbell, P.G.C., 1987**. Partitioning of trace metals in sediments: Relationships with bioavailability. Hydrobiologia 149, 43-52.
138. **Tlailia S. (1990)**. Biogéologie de la flaune de différents milieux de la zone du lac Tonga (parc national d'El-Kala).117p.
139. **Taylor S.R. (1964)**. Abundance of chemical elements in the continental crust - a new table. Geochim.Cosmochim.Acta, (28):1273-85
140. **Thomas R & Dulski (1996)**. *A manual for the chemical analysis of metals*, vol. 25, ASTM International, 1996, 251 p.
141. **Thomas J.P , Bougazelli N. & Attender M.** Projet de parc national marin, lacustre et terrestre d'El Kalla, Annaba, Algérie: 64p.
142. **Thorne L.T. & G. Nickless. (1981)**. The relation between heavy metals and particle size fractions within the Severn estuary (U.K.) intertidal sediments. The Science of the Total Environment, Amsterdam, 19 : 207 – 213.
143. **Tuncer, G.T., Tuncel S.G., Tuncel G., Balkas T.I. (1993)**. Metal pollution in the Golden Horn, Turkey-contribution of natural and anthropogenic components since 1913. Water Sci. Technol. 28,59-64.
144. **Vernet J.P. (1992)**. Impact of heavy mtals on the environment, vol.2 : trace métal in the environnement. Elsevier Sciences publishers B.V., amsterdam. 439 pages.
145. **Traversy W.J.et al. (1979)**. Methods for chemical analysis of waters and wastewaters; 117p.
146. **Water Quality Criteria (1963)**. The ressources agency of california- state water quality contrôle board, 550p.
147. **Welken & Weiller. (1987)**. Behaviour of iron and manganese in comparison to rther in ELBS estuary. Heavy metal environnement. Inter. Conf., 227-229.
148. **Wheal C. (1991)**. *Freshwater pollution. Nairobi*. United Nations Environment Programme. UNEP/GEMS Environment Library No 6, Montréal, Canada, 36 p. ( article hamid bousbaa revue science de l'eau)

149. **Whittaker R.H. & Likens G.E. (1973).** Carbon in the biota, In: Woodwell, G.M. & E.R. Pecan (eds), Carbon and the Biosphere USAEC Symp. Series n° 30, Washington, DC pp. 281-300.
150. **Wilson AL. (1972).** A method for determination of manganese in water” the water research association –53p.
151. **Zecher D.C. (1970).** Problems in replacing chromate as a corrosion inhibitor for open recirculating cooling waters. Extrait de “Industrial Process design for Water Pollution Control” American Institut of Chemical Engineers , p.89-92 .

# *Annexes*

## ANNEXE PARTIE MATERIELS ET METHODES

### 1. Matériels préconisés pour cette étude

*Tableau 1: Matériels préconisés pour notre étude*

<b>Matériels</b>
-Un carottier boîte ou un seau en polyéthylène ou une benne à main
-Bouteilles de prélèvement en polyéthylène.
-Etuve pour séchage et stérilisation du matériel de labo
-plaques chauffantes
<b>Verrerie</b>
-Fioles jaugées.
-Entonnoirs.
-Bechers (250ml,500ml)
-Pipettes
-Eprouvettes graduées
-Flacons d'échantillonnage en verre ou en polyéthylène.
-Sachets en plastique transparent de 1 litre.
-Verres de montre.
<b>Réactifs</b>
-HCl pur
-HNO <sub>3</sub> pur
-H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> pur
-Eau Distillée.

### 2. Précautions de prélèvement des différents échantillons

#### 2.1. Précautions à prendre durant le prélèvement de l'eau

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté; car il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée.

Les prélèvements doivent être effectués dans les conditions telles que l'échantillon d'eau ne subisse aucune contamination par les bouteilles de prélèvement en poly éthylène. En général l'échantillon d'eau doit être homogène, représentatif et ne doit pas subir de modifications des caractères physico-chimiques.

Il est recommandé d'analyser les échantillons le plus rapidement possible. Aussi les échantillons non filtrés ne doivent pas être conservés, toutefois, si la filtration ne peut être effectuée immédiatement à bord, les échantillons doivent être réfrigérés, ou mieux congelés pour être traités au laboratoire où ils seront filtrés dès que possible.

**2.2. Conservation des échantillons d'eau** Selon l'élément à analyser dans l'eau, voici la méthode de conservation qui convient :

*Tableau 2: Conservation des échantillons d'eaux (Selon Rodier, 1996)*

Elément analysé	Nature du Récipient	Conservateur à utiliser	Volume Min de prélèvement	Température de conservation	Effectuer la mesure avant
Manganèse	P ou V.	Acide nitrique	800 ml	4 °C	2 mois
Plomb	P ou V	Acide nitrique	800 ml	4 °C	2 mois
Zinc	P ou V	Acide nitrique	800 ml	4 °C	2 mois
Cuivre	P ou V	Acide nitrique	800 ml	4 °C	2 mois
Nickel	P ou V	Acide nitrique	800 ml	4 °C	2 mois
Chrome	P ou V	Acide nitrique	800 ml	4 °C	2 mois
Fer	P	Voir texte	100 ml	4 °C	1 mois

P : Polyéthylène ; V : Verre ; VP : Verre borosilicaté

#### 2.3. Précaution à prendre avant d'entamer la digestion humide du sédiment

##### 2.3.1. Décontamination de la verrerie

La verrerie doit être soigneusement décontaminée, A cette effet, les récipients recevant les échantillons doivent être remplis avec de l'acide chlorhydrique ou nitrique à 6mol/l pendant une semaine, puis abondamment lavés à l'eau distillée (ou déminéralisée) et séchés à l'étuve à 60°C (A.Aminot; 1982).

### 2.3.2. Précaution à prendre durant la Phase analytique

Elle correspond à la digestion du sédiment. Des précautions préliminaires sont prises lors du rinçage des récipients de digestions à l'eau bi distillée et l'acide nitrique (HNO<sub>3</sub>)3 mol/l.

Tableau 3: Paramètres climatique de la région d'El Kala durant l'année 2010

Mois /Paramètre	Températures moyennes mensuelles en °C
Janvier	11,5
Février	12,5
Mars	12,9
Avril	15,6
Mai	17,7
Juin	21,3
Juillet	25,2
Aout	25,3
Septembre	22,7
Octobre	19,1
Novembre	15,4
Décembre	12,5
Moyenne	17,64
Ecart type	5,03
Mois /Paramètre	précipitations moyennes mensuelles en mm
janvier	89,9
février	53,5
mars	60
avril	32,4
mai	40,6
juin	19,3
juillet	0
aout	1,1
septembre	27
octobre	99
novembre	120,7
décembre	40,7
Moyenne	48,7
Ecart type	38,05
Mois /Paramètre	Humidité relative mensuelles en %
Janvier	78
Février	62
Mars	79
Avril	82
Mai	78
Juin	75
Juillet	74
Aout	73
Septembre	74
Octobre	80
Novembre	77
Décembre	71
Moyenne	75,25
Ecart Type	5,24
Mois /Paramètre	Vitesse du vent
Janvier	4,2
Février	3,2
Mars	3,1

Avril	3
Mai	3,2
Juin	3,3
Juillet	3,3
Aout	3,3
Septembre	3,2
Octobre	3
Novembre	3
Décembre	3,2
Moyenne	3,3
Ecart type	0,32
<b>Mois /Paramètre</b>	<b>Evaporation en mm</b>
Janvier	51
Février	76
Mars	52
Avril	41
Mai	70
Juin	80
Juillet	112
Aout	101
Septembre	90
Octobre	119
Novembre	64
Décembre	69
Moyenne	77,08333333
Ecart Type	24,53

## Partie annexe : Résultats et discussion Deuxième partie

*Tableau : valeurs brutes mensuelles des teneurs en métaux lourds des eaux de surface dans chaque station*

<b>Fe(ppm)</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>
<b>J</b>	0,3333	0,0224	0,0989	0,0707	0,1015	0,0923
<b>F</b>	0,0365	0,0222	0,1133	0,101	0,1025	0,944
<b>M</b>	0,041	0,0402	0,1245	0,118	0,115	0,0968
<b>A</b>	0,0602	0,0402	0,1288	0,1185	0,117	0,103
<b>M</b>	0,0776	0,0412	0,1328	0,1423	0,124	0,1122
<b>J</b>	0,1911	0,0714	0,1669	0,1566	0,132	0,1309
<b>J</b>	0,243	0,232	0,2843	0,2703	0,167	0,1488
<b>A</b>	0,2998	0,2423	0,3312	0,301	0,2824	0,2771
<b>S</b>	0,3349	0,294	0,3575	0,3112	0,322	0,3101
<b>O</b>	0,2334	0,223	0,3412	0,3221	0,3201	0,318
<b>N</b>	0,201	0,1941	0,211	0,2001	0,2022	0,21
<b>D</b>	0,1545	0,1202	0,1845	0,1707	0,1908	0,18
<b>X</b>	0,183858333	0,1286	0,206241667	0,190208333	0,181375	0,2436
<b>σ<sub>n</sub></b>	0,11055824	0,101528187	0,096801864	0,089047234	0,08357689	0,235483742
<b>Max</b>	0,3349	0,294	0,3575	0,3221	0,322	0,944
<b>Min</b>	0,0365	0,0222	0,0989	0,0707	0,1015	0,0923
<b>Pb(ppm)</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>
<b>J</b>	0,453	0,4222	0,41	0,409	0,4002	20,3539
<b>F</b>	0,4723	0,4237	0,376	0,3287	0,5013	0,412
<b>M</b>	0,52	0,424	0,384	0,3721	0,5245	0,5235
<b>A</b>	0,5221	0,4864	0,4978	0,3733	0,8135	0,7503
<b>M</b>	0,534	0,532	0,526	0,378	0,8125	0,75
<b>J</b>	0,89	0,675	0,5463	0,4245	0,8577	0,751
<b>J</b>	1,2096	0,934	0,5955	0,4486	0,9265	0,8263
<b>A</b>	1,283	0,9663	0,7873	0,461	0,9423	0,8406
<b>S</b>	1,272	0,9472	0,775	0,4235	0,9145	0,8199
<b>O</b>	1,26	0,8465	0,658	0,4212	0,7222	0,6372
<b>N</b>	1,2222	0,722	0,4551	0,4144	0,6521	0,619
<b>D</b>	0,9001	0,6332	0,4222	0,4012	0,412	0,391
<b>X</b>	0,87819167	0,66770833	0,5361	0,404625	0,70660833	2,306225
<b>σ<sub>n</sub></b>	0,35835882	0,21423001	0,14284047	0,03665193	0,2026638	5,68566051
<b>Max</b>	1,283	0,9663	0,7873	0,461	0,9423	20,3539
<b>Min</b>	0,453	0,4222	0,376	0,3287	0,4002	0,391
<b>Cu(ppm)</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>
<b>J</b>	0,0193	0,0162	0,019	0,0079	0,0035	0,0017
<b>F</b>	0,0223	0,0209	0,007	0,0069	0,0043	0,0026
<b>M</b>	0,0241	0,031	0,008	0,0072	0,004	0,0039
<b>A</b>	0,0334	0,0312	0,083	0,0079	0,0042	0,004
<b>M</b>	0,03433	0,0302	0,0093	0,0089	0,0053	0,0045
<b>J</b>	0,0496	0,0342	0,0112	0,0187	0,0065	0,0047
<b>J</b>	0,0974	0,0452	0,0223	0,0192	0,0083	0,0063
<b>A</b>	0,1765	0,1234	0,0678	0,0473	0,0244	0,0167
<b>S</b>	0,1725	0,1421	0,062	0,042	0,0221	0,0162
<b>O</b>	0,0892	0,0793	0,0545	0,034	0,0182	0,0158
<b>N</b>	0,0634	0,0554	0,032	0,031	0,013	0,0125
<b>D</b>	0,052	0,034	0,023	0,0198	0,0098	0,0012
<b>X</b>	0,0695025	0,05359167	0,03325833	0,0209	0,0103	0,00750833
<b>σ<sub>n</sub></b>	0,05503152	0,04070652	0,02656537	0,01442983	0,00745032	0,00599279
<b>Max</b>	0,1765	0,1421	0,083	0,0473	0,0244	0,0167
<b>Min</b>	0,0193	0,0162	0,007	0,0069	0,0035	0,0012

*Partie annexes :deuxième partie*

<b>Zn(ppm)</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>
J	0,092	0,0374	0,113	0,114	0,083	0,0742
F	0,063	0,0384	0,122	0,119	0,092	0,073
M	0,0635	0,0401	0,1222	0,123	0,11	0,0883
A	0,0643	0,0421	0,1462	0,1341	0,1111	0,0992
M	0,122	0,0823	0,1475	0,1275	0,5342	0,2643
J	0,1334	0,073	0,1664	0,153	0,658	0,3989
J	0,1921	0,0883	0,187	0,1635	0,7777	0,447
A	0,2787	0,1112	0,2394	0,1992	1,354	1,232
S	0,2482	0,109	0,232	0,194	1,232	0,987
O	0,1845	0,1082	0,173	0,164	1,205	0,9729
N	0,176	0,1075	0,162	0,1525	1,115	0,9673
D	0,152	0,1025	0,143	0,1327	1,109	0,8842
X	0,147475	0,07833333	0,16280833	0,14804167	0,69841667	0,54069167
$\sigma_n$	0,071727	0,0309483	0,04051286	0,02820134	0,50324294	0,43746101
Max	0,2787	0,1112	0,2394	0,1992	1,354	1,232
Min	0,063	0,0374	0,113	0,114	0,083	0,073
<b>Ni(ppm)</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>
J	0,0172	0,04	0,1162	0,183	0,456	0,4021
F	0,0353	0,0443	0,123	0,2435	0,5255	0,572
M	0,0453	0,0533	0,132	0,292	0,6873	0,5834
A	0,0437	0,0643	0,159	0,395	0,713	0,652
M	0,0676	0,081	0,1529	0,3958	0,7227	0,712
J	0,284	0,1112	0,03824	0,524	0,7745	0,76
J	0,2999	0,2443	0,4223	0,674	0,7862	0,7423
A	0,3223	0,4565	0,4824	0,743	0,8007	0,754
S	0,2545	0,323	0,473	0,7721	0,7085	0,7009
O	0,1998	0,222	0,423	0,6873	0,682	0,622
N	0,1875	0,2115	0,3815	0,5113	0,507	0,5008
D	0,123	0,1439	0,293	0,424	0,412	0,404
X	0,156675	0,166275	0,26637833	0,48708333	0,64795	0,617125
$\sigma_n$	0,11479533	0,12962288	0,16230847	0,19871181	0,13552317	0,12807651
Max	0,3223	0,4565	0,4824	0,7721	0,8007	0,76
Min	0,0172	0,04	0,03824	0,183	0,412	0,4021
<b>Cr(ppm)</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>
J	0,0325	0,2825	0,0725	0,0635	0,0995	0,0875
F	0,0554	0,3042	0,043	0,031	0,1221	0,1119
M	0,0838	0,323	0,0347	0,027	0,1421	0,1389
A	0,0927	0,4224	0,0397	0,0373	0,1456	0,1426
M	0,0989	0,6665	0,0998	0,0782	0,1435	0,1421
J	0,1224	0,6789	0,423	0,415	0,268	0,2224
J	0,1432	0,7332	0,6967	0,558	0,4548	0,426
A	0,1441	0,887	1,3972	0,896	0,6991	0,5632
S	0,1325	0,7227	1,713	0,8882	0,6813	0,5412
O	0,0773	0,297	1,2221	0,8672	0,6621	0,523
N	0,0733	0,2936	0,9201	0,723	0,6436	0,5175
D	0,0522	0,2915	0,602	0,4082	0,403	0,3975
X	0,09235833	0,491875	0,60531667	0,41605	0,37205833	0,31781667
$\sigma_n$	0,03698119	0,22622568	0,59362671	0,36341235	0,24721131	0,19265607
Max	0,1441	0,887	1,713	0,896	0,6991	0,5632
Min	0,0325	0,2825	0,0347	0,027	0,0995	0,0875
<b>Mn(ppm)</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>
J	0,0822	1,1141	0,612	0,0509	0,0448	0,0422
F	0,0847	1,1144	0,0623	0,0515	0,052	0,0509
M	0,0865	1,213	0,0642	0,052	0,053	0,0512
A	0,0897	1,2325	0,0656	0,052	0,0532	0,0522
M	0,0932	1,243	0,0689	0,0593	0,0575	0,0542
J	0,1234	1,468	0,0789	0,0745	0,0732	0,063
J	0,1435	1,6432	0,0983	0,0841	0,084	0,0749
A	0,1612	1,854	1,206	1,0041	1	0,0921
S	0,16	1,7232	1,2	1,003	1	0,9841

*Partie annexes :deuxième partie*

O	0,152	1,3205	1,187	1	0,947	0,922
N	0,123	1,223	1,174	1	0,824	0,8222
D	0,1111	1,22	1,162	0,999	0,8232	0,729
X	0,11754167	1,364075	0,5816	0,45253333	0,41765833	0,32816667
$\sigma_n$	0,03065119	0,24861194	0,55434711	0,48444724	0,44581409	0,40049825
Max	0,1612	1,854	1,206	1,0041	1	0,9841
Min	0,0822	1,1141	0,0623	0,0509	0,0448	0,0422

## Partie annexe : Résultats et discussion Troisième partie

Tableau : valeurs brutes mensuelles des teneurs en métaux lourds des sédiments de surface dans chaque station

<b>Fe(ppm)</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>
J	19620	19366	15708	15608	4220	2124
F	19698	19430	15708	16216	4285	2165
M	19780	19458	16545	16920	4445	2195
A	19890	19530	17980	17290	4580	2240
M	20408	20056	18160	17480	4585	2435
J	20860	20120	18210	17485	4590	2465
J	22422	20140	18465	17490	6320	2478
A	22866	20250	18480	17546	6450	2470
S	21348	20180	18510	16530	6420	2450
O	21115	20140	18485	16410	6400	2440
N	20235	20135	18420	15885	6395	2428
D	20190	20122	18020	15735	6365	2320
X	20702,6667	19910,5833	17724,25	16716,25	5421,25	2350,83333
$\sigma_n$	1066,38628	347,761794	1082,92307	744,247164	1020,0493	134,074493
Max	22866	20250	18510	17546	6450	2478
Min	19620	19366	15708	15608	4220	2124
<b>Pb(ppm)</b>	<b>S1(TN)</b>	<b>S2(TS)</b>	<b>S3(ON)</b>	<b>S4(OS)</b>	<b>S5(MN)</b>	<b>S6(MS)</b>
J	63	25	16	16	7,4	5,5
F	65	27	19	16	8,2	5,35
M	69	29	19	17	8,2	5,4
A	75	35	21	18	8,5	6,2
M	82	49	21	18	8,9	7,1
J	91	50	22	20	10,1	7,2
J	142	56	35	25	10,9	7,2
A	150	87	42	28	11,2	9,3
S	150	66	41	28	11,4	10,21
O	139	62	32	26	10,22	9,8
N	135	59	28	26	9,8	9,4
D	105	34	20	19	8,2	6,4
X	105,5	48,25	26,3333333	21,4166667	9,41833333	7,42166667
$\sigma_n$	35,3643375	18,8926393	9,04868984	4,77604502	1,35473468	1,80108469
Max	150	87	42	28	11,4	10,21
Min	63	25	16	16	7,4	5,35
<b>Cu(ppm)</b>	<b>S1(TN)</b>	<b>S2(TS)</b>	<b>S3(ON)</b>	<b>S4(OS)</b>	<b>S5(MN)</b>	<b>S6(MS)</b>
J	40	16	16	17	8,2	6,1
F	42	19	21	24	8,24	7,2
M	48	19	32	26	11,22	9,12
A	50	22	60	54	11,5	9,4
M	49	25	62	52	11,75	9,7
J	49	26	64	56	12,3	10,25
J	54	32	68	56	12,45	10,77
A	56	34	75	57	14,85	13,22
S	52	33	72	54	14,8	13,02
O	47	33	65	42	13,21	12,25
N	47	31	56	37	11,5	10,33
D	45	31	42	24	10,5	9,3
X	14,66	17,288	20,868	32,18	32,29	33,71
$\sigma_n$	7,91946968	8,92136312	10,0957377	23,6370895	23,6798015	24,9125069
Max	26	26	32	60	62	64
Min	6,1	7,2	9,12	9,4	9,7	10,25

<b>Zn(ppm)</b>	S1(TN)	S2(TS)	S3(ON)	S4(OS)	S5(MN)	S6(MS)
J	98	88	180	165	66	56
F	99	92	182	168	69	60
M	106	102	179	168	72	62
A	107	102	215,2	170,3	74	63
M	112	102	225	176	76	67
J	116	108	228	177	78	67
J	122	108	230	182	79	71
A	126	116	235	192	82	75
S	124	110	221	189	80	73
O	119	112	189	188	75	69
N	118	96	178	177	68	65
D	113	86	165	163	67	62
X	113,333333	101,833333	202,266667	176,275	73,8333333	65,8333333
$\sigma_n$	9,27688558	9,62792655	25,4761683	9,80066092	5,42441171	5,58949231
Max	126	116	235	192	82	75
Min	98	86	165	163	66	56
<b>Ni(ppm)</b>	S1(TN)	S2(TS)	S3(ON)	S4(OS)	S5(MN)	S6(MS)
J	37,35	59,1	98,5	96,22	485,01	310,2
F	37,92	64,21	102	96,34	472,3	308
M	38,66	64,54	1085,4	96,85	223,09	198,1
A	46,23	67,8	110,2	86,54	225,09	198,1
M	49	75,66	112,31	82,08	228,05	201,1
J	55,02	76,1	116	89,75	234,85	201,25
J	60,2	78,89	116	92,41	239,75	203,25
A	65,8	89,42	120,55	94,09	248,75	208,09
S	70,33	90,31	121,35	95,03	251,25	210,3
O	52,45	75	118,21	92,01	263,05	222,05
N	52,24	75	114	87,04	322,04	251,8
D	45,36	70,42	111	85,03	308,23	263,2
X	50,88	73,8708333	193,793333	91,1158333	291,788333	231,286667
$\sigma_n$	10,7246683	9,51205977	280,86675	4,96318896	92,7395072	42,0146614
Max	70,33	90,31	1085,4	96,85	485,01	310,2
Min	37,35	59,1	98,5	82,08	223,09	198,1
<b>Cr(ppm)</b>	S1(TN)	S2(TS)	S3(ON)	S4(OS)	S5(MN)	S6(MS)
J	34,2	68,33	150,3	139,21	208,75	365,01
F	36,21	66,09	165,25	146,05	210,52	367,22
M	39,47	67,12	185,35	151,34	211,01	379,3
A	57,18	77,4	218,4	165,35	211,2	485,3
M	57,7	79,13	218,46	165,4	245,6	522
J	59,33	82,41	218,53	170,09	302,03	565
J	72,01	85,5	218,9	172,94	315,2	585,22
A	73,14	87,21	220,75	172,99	318,33	680
S	67,34	82,25	202,03	171,02	330,22	700,01
O	65,5	80,4	198,4	169,8	309,2	685,3
N	63,45	76,36	189,06	161,11	275,6	695
D	60,93	75,94	169,7	154,65	270,4	678,25
X	57,205	77,345	196,260833	161,6625	267,338333	558,9675
$\sigma_n$	13,4395099	7,01620138	24,4566743	11,3288234	47,9928002	133,967777
Max	73,14	87,21	220,75	172,99	330,22	700,01
Min	34,2	66,09	150,3	139,21	208,75	365,01
<b>Mn(ppm)</b>	S1(TN)	S2(TS)	S3(ON)	S4(OS)	S5(MN)	S6(MS)
J	62,25	410,25	368,03	370,2	46,21	49
F	63,75	422	371,89	373,09	59,37	51,07
M	65,33	429	376,31	382,03	61,75	54
A	70,02	433,19	515,26	407	70,65	69,41
M	70,1	445,24	518,35	520,32	78,82	95,09
J	81,35	463	520,01	523	83,2	95,25
J	85,99	610,98	536,7	523	87,05	97,09
A	94,22	670	610	612,02	95	100,3

*Partie annexes : troisième partie*

S	102,34	675,33	608,3	609	95,21	100
O	89,3	540	604	613,35	79	89,36
N	88,25	538,02	446,22	471	65,37	83,23
D	87	529,5	439	441	64,07	71
X	79,991667	513,87583	492,83917	487,08417	73,808333	79,566667
$\sigma_n$	13,261299	96,093596	91,496248	93,705966	15,11858	19,834109
Max	102,34	675,33	610	613,35	95,21	100,3
Min	62,25	410,25	368,03	370,2	46,21	49

**Titre de la thèse :** Variations de la qualité des eaux et son impact sur le sol des zones humides du PNEK, **Option :** Sciences de la mer

**Auteur :** Bendjama Amel,

**Fonction :** Attachée de recherche

**Année :** 2014

---

## **RESUME**

L'étude réalisée a pour objectif de caractériser les eaux superficielles et les sédiments de surface des zones humides du PNEK de la région d'El Kala, à travers le suivi spatio-temporel de plusieurs paramètres physico-chimiques et métalliques. Afin de réaliser notre étude, 144 prélèvements d'eau et de sédiment de surface ont été effectués au cours de l'année 2010. Cette étude permet de dégager les grandes lignes suivantes :

L'étude des paramètres physico-chimiques a révélé des variations qui reflètent bien l'état réel et la nature des eaux superficielles douces et salines des zones humides de la région d'El-Kala. Ces variations reviennent à la localisation des stations étudiées qui sont influencées par les apports et les pertes des eaux douces et salines.

La matrice de corrélation des paramètres physico-chimiques montrent qu'il existe une forte corrélation entre la température et les autres paramètres.

Les résultats obtenus montrent que la distribution des métaux lourds analysés dans les deux matrices sont assez variables aussi bien entre les saisons, qu'entre les stations, cette observation est appuyée par le test d'analyse de la variance à un critère de classification.

Les paramètres physico-chimiques soumis à l'analyse en composante principale permettent de cerner une forte corrélation de la température de l'eau et du potentiel d'hydrogène avec le reste des paramètres analysés, et sur le plan spatial, on relève aussi que les paramètres physico-chimiques sont faiblement corrélés dans les eaux salines et fortement corrélés au niveau des eaux douces.

Cette étude relève aussi, que les eaux superficielles de la zone concernée sont indemnes de toute contamination par le fer, le cuivre et le zinc du fait que les valeurs d'indices de contamination relevés par ces éléments sont inférieures à la norme admise par notre étude, par contre ces eaux présentent des indices de contamination par le plomb, le chrome, le nickel et le manganèse nettement supérieurs à la norme.

Au niveau des eaux superficielles, il a été constaté une forte corrélation entre, le fer et le manganèse avec un «  $r=0.95$  » au niveau des trois lacs, le chrome et le nickel avec un «  $r=0.97$  » au niveau du lac Oubeira, le fer et le plomb avec un  $r=0.95$  au niveau du Tonga et El Mellah.

Les sédiments de surface de la zone d'étude sont contaminés par le fer, le plomb, le nickel et le chrome et indemnes de toute contamination par le cuivre, le zinc et le manganèse. Cette conclusion est appuyée par le calcul des indices de contamination relevés par ces éléments.

Les résultats des analyses relatives aux métaux lourds des trois plans d'eau ont permis de tracer pour les stations étudiées des histogrammes, l'observation de ces derniers montre une fluctuation des concentrations, selon une évolution saisonnière, présentant, une augmentation dans le sens saison humide, saison sèche, c'est-à-dire hiver, printemps et été, et une décroissance dans le sens été, automne.

La qualité des eaux et des sédiments dépend en grande partie de la qualité physico-chimique du milieu aquatique, surtout de la température de l'eau, et du potentiel d'hydrogène du milieu.

Cette étude confirme que les zones humides de la région d'El Kala souffrent d'un problème de pollution des eaux et des sédiments de surface, cette pollution est d'origine naturelle « nature géologique des sédiments et nature des eaux et d'origine anthropique (domestique : eaux usées et activités agricoles).

---

**Mots clés :** eaux, sédiments, métaux lourds, zone humide, qualité, hydrochimie, contamination