



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE



وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université des Frères Mentouri Constantine
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة الاخوة منتوري قسنطينة
كلية عاوم الطبيعة و الحياة

Département : Biologie et Ecologie Végétale

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Gestion durable des écosystèmes et protection de l'Environnement

Option : Pollution des écosystèmes et écotoxicologie

Intitulé :

Contribution à l'évaluation de la qualité physico-chimique et la contamination métallique des eaux du bassin versant Kebir Rhumel.

Présenté et soutenu par : Soumaoro I drissa

Le : 28 /06/2015

Jury d'évaluation :

Président du jury : Mme. Nadra Khelfellah

Professeur - UFM Constantine

Rapporteur : Mme. Sahli Leila

MCA- UFM Constantine

Examineurs : Mr. Bazri Kamel Eddine

MCB- UFM Constantine.

Année universitaire
2014 – 2015

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A tous ceux qui me sont chers,

A tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

Remerciements

Au terme de ce travail, je tiens à adresser l'expression de mes vifs remerciements à toute les personnes qui m'a aidé et collaboré de près ou de loin à la réalisation de ce travail, très particulièrement à :

- M^{me} SAHLI Leila, Professeur à l'université Mentouri de Constantine, pour avoir bien voulu accepter, de me diriger et suivre l'intégralité de ce travail, pour ses orientations scientifiques.
- Mme Nadra Khelfellah présidente du jury Professeur à l'université Mentouri de Constantine d'avoir présidée le jury.
- Mr. Bazri Kamel Eddine examinateur professeur à l'université Mentouri de Constantine d'avoir examiné mon travail.

- M^{me} BENLAHARECHE Mounira., Chef service du laboratoire (ANRH), pour sa collaboration et pour m'avoir facilité la partie pratique et sans oublier tout les personnels du laboratoire (ANRH).

Enfin, je tiens à exprimer mes vifs remerciements à tout mes collègues et ami(e)s pour leur aider et soutien durant tout mon parcours.

Résumé

La présente étude s'inscrit dans le contexte d'une recherche pluridisciplinaire sur les écosystèmes aquatiques. Afin d'apprécier la qualité des eaux du bassin versant Kebir Rhumel vis-à-vis de la contamination métallique, on a effectué un ensemble d'approches physico-chimiques : paramètres physico-chimiques, éléments minéraux majeurs, paramètre de pollution et dosage de quatre métaux lourds (Fe, Cu, Mn et Zn). L'ensemble des paramètres déterminés a relevé une pollution chimique (inorganique) caractérisée par une qualité très bonne à très mauvaise des eaux. La contamination métallique évaluée par les ETM dissous est presque négligeable, suite à l'adsorption sur les particules et à la sédimentation des quatre métaux (Fe, Cu, Mn et Zn) dosés. Les eaux du bassin versant Kebir Rhumel sont exposées à des pollutions de diverses origines (urbaines, industrielles et agricoles) malgré les traitements des eaux usées dans les STEP. D'où un degré de pollution importante de l'oued Rhumel et ses affluents.

Pour remédier à ce problème, il serait important de mieux exploiter les stations d'épuration, par une collecte des usées plus globale. Les eaux épurées alimentent l'oued Rhumel et par conséquent les barrages. Elles contribuent à la diminution des risques de pollution organique et d'éventuelle contamination métallique des eaux et à la préservation des ressources en eaux (une bonne gestion des ressources hydriques).

Mots clés :

Bassin versant Kebir Rhumel, Contamination métaux lourds, Qualité physico-chimique, Qualité écologique.

Summary

The study is presented in the context of multidisciplinary research on aquatic ecosystems. To assess the quality of water catchment Kebir Rhumel vis-à-vis the metal contamination, conducted a set of physico-chemical approaches: physicochemical parameters, major minerals, pollution parameter and dosing four heavy metals (Fe, Cu, Mn and Zn). All the determined parameters identified chemical pollution (inorganic) characterized by a very good quality with very bad water. Metal contamination assessed by dissolved ETM is almost negligible, following the adsorption on the particles and sedimentation of the four metals (Fe, Cu, Mn and Zn) assayed. The waters of Kebir Rhumel watershed are exposed to pollution from various origins (urban, industrial and agricultural) despite treatment of wastewater in the STEP. Hence a significant degree of pollution of the river and its tributaries Rhumel. To remedy this problem, it would be important to better exploit the wastewater treatment plants, a more comprehensive collection of waste. The clean waters feed the river Rhumel and therefore dams. They contribute to reducing the risks of organic pollution and possible metal contamination of water and preservation of water resources (good management of water resources).

ملخص :

الدراسة المقدمة تندرج في سياق البحوث متعددة التخصصات على النظم الايكولوجية المائية. من اجل تقييم نوعية المياه في مستجمعات الكير الرمال تجاه التلوث المعدني, اجرينا مجموعة من الطرق الفيزيائية - الكيميائية: المعلمات الفيزيائية – الكيميائية عناصر المعادن الرئيسية، معلمات التلوث وجرعات أربعة معادن ثقيلة (لحديد، النحاس، المنغنيز والزنك)

مجموع المعلمات حددت تلوث كيميائي (غير عضوي) يتميز بنوعية جيدة جدا الى سيئة جدا للمياه التلوث بالمعادن المقيم من طرف ETM لا يكاد يذكر نظرا لامتناس الجسيمات, وترسب المعادن الاربعة (الحديد، النحاس، المنغنيز والزنك).
. تتعرض مستجمعات مياه الكبير الرمال للتلوث من مصادر مختلفة (حضرية وصناعية وزراعية) على الرغم من معالجة مياه الصرف الصحي في STEP. وبالتالي درجة كبيرة من تلوث النهر وروافده.

لمعالجة هذه المشكلة، سيكون من المهم استغلال أفضل لمحطات معالجة مياه الصرف الصحي، وجمع أكثر شمولاً للنفايات. مياه نظيفة تغذي نهر الرمال وبالتالي السودان. لأنها تسهم في الحد من مخاطر التلوث العضوي والتلوث بالمعادن والحفاظ على الموارد المائية (إدارة جيدة للموارد المائية).

A : Avril

A : Aout

Bm : Boumerzoug

Ca : Calcium

$\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$: Dureté

CE : Conductivité électrique

Cl : Chlorure

Cu : Cuivre

D : Décembre

Enj : Endja

F : février

Fe : Fer

J : janvier

J : juillet

Kb : Kebir

M : Mars

M : Mai

Mg : Magnésium

Mn : Manganèse

N : novembre

Na : Sodium

NO_3 : Nitrates

Rh : Rhumel

S : septembre

SO_4 : Sulfates

T : Température

Zn : Zinc

Figure 1 : Localisation des stations de prélèvements

Figure 2 : Variation de la température de l'eau dans l'espace et dans le temps en (°C)

Figure 3 : Variation du pH de l'eau dans l'espace et dans le temps en (unité pH)

Figure 4 : Variation de la CF de l'eau dans l'espace et dans le temps en ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

Figure 5 : Variation du calcium de l'eau dans l'espace et dans le temps en (mg/l)

Figure 6 : Variation du magnésium de l'eau dans l'espace et dans le temps en (mg/l)

Figure 7 : Variation de la dureté de l'eau dans l'espace et dans le temps en (mg/l)

Figure 8 : Variation du sodium de l'eau dans l'espace et dans le temps en (mg/l)

Figure 9 : Variation du chlorure de l'eau dans l'espace et dans le temps en (mg/l)

Figure 10 : Variation du sulfate de l'eau dans l'espace et dans le temps en (mg/l)

Figure 11 : Variation du nitrate de l'eau dans l'espace et dans le temps en (mg/l)

Figure 12 : Variation du cuivre de l'eau dans l'espace et dans le temps en (mg/l)

Figure 13 : Variation du fer de l'eau dans l'espace et dans le temps en (mg/l)

Figure 14 : Variation du manganèse de l'eau dans l'espace et dans le temps en (mg/l)

Figure 15 : Variation du zinc de l'eau dans l'espace et dans le temps en (mg/l)

| | |
|---|-----------|
| Introduction | 1 |
| Chapitre I : Synthèse bibliographique | |
| 1. Pollution des milieux aquatiques | 3 |
| 1.1. Définition | 3 |
| 1.2. Les différents types de pollution en milieu aquatique | 3 |
| 1.2.1. La pollution organique | 3 |
| 1.2.2. La pollution inorganique (chimique) | 3 |
| 1.2.3. Pollution par les métaux lourds | 4 |
| 1.2.3.1. Généralités | 5 |
| 1.2.3.2. Les propriétés physico-chimiques des métaux lourds | 6 |
| 1.2.3.2.1. Le fer (Fe) | 6 |
| 1.2.3.2.2. Le manganèse (Mn) | 6 |
| 1.2.3.2.3. Le zinc (Zn) | 7 |
| 1.2.3.2.4. Le cuivre (Cu) | 7 |
| 1.2.3.3. Influences des paramètres physico-chimiques sur le comportement des métaux lourds en milieu aquatique | 7 |
| 1.2.3.4. La toxicité des métaux lourds vis-à-vis de la faune et de la flore | 8 |
| 1.2.3.4.1. La toxicité du fer | 8 |
| 1.2.3.4.2. La toxicité du cuivre | 9 |
| 1.2.3.4.3. La toxicité du zinc | 9 |
| 1.2.3.4.4. La toxicité du manganèse | 9 |
| 1.2. 4. Conséquence de la pollution des eaux | 9 |
| Chapitre II : Matériels et méthodes | |
| 2. Présentation du bassin versant Kebir Rhumel | 11 |
| 2.1. La situation géographique | 11 |
| 2.1.1. Le réseau hydrographique | 11 |
| 2.1.2. La lithologie | 11 |
| 2.1.3. Le climat | 11 |
| 2.1.4. L'aspect socio-économique | 12 |
| 2.1.5. La population | 12 |
| 2.1.6. L'alimentation en eau potable des agglomérations | 13 |
| 2.1.7. L'agriculture | 13 |
| 2.1.8. Les unités industrielles | 14 |

| | |
|--|-----------|
| 2.2. Choix et localisation des sites de prélèvement | 16 |
| 2.3. Le mode prélèvement | 16 |
| 2.4. Mesures physico-chimiques | 16 |
| 2.4.1. La température | 16 |
| 2.4.2. Le pH | 17 |
| 2.4.3. La conductivité électrique | 17 |
| 2.4.4. Les éléments minéraux majeurs | 17 |
| 2.4.4.1. Les cations | 17 |
| a. Le calcium et le magnésium | 17 |
| c. La dureté (Ca ⁺⁺ et Mg ⁺⁺) | 17 |
| 2.4.4.2. Les anions | 17 |
| a. Les chlorures (Cl ⁻) | 17 |
| b. Les sulfates (SO ₄ ²⁻) | 18 |
| c. Les nitrates (NO ₃ ⁻) | 18 |
| 2.5. Les métaux lourds | 18 |
| Chapitre III : Résultats et discussions | |
| 3. Les paramètres physico-chimiques | 19 |
| 3.1. La température | 20 |
| 3.2. Le pH | 21 |
| 3.3. La conductivité électrique (CE) | 23 |
| 3.4. Les éléments minéraux majeurs | 24 |
| 3.4.1. Les cation | 24 |
| a. Le calcium (Ca ²⁺) | 24 |
| b. Le magnésium (Mg ²⁺) | 25 |
| c. La dureté (Ca ²⁺ + Mg ²⁺) | 26 |
| 3.4.2. Les anions | 28 |
| a. Les chlorures (Cl ⁻) | 28 |
| b. Les sulfates (SO ₄ ²⁻) | 29 |
| 3.5. Les nitrate (NO₃⁻) | 30 |
| 3.6. Les métaux lourds | 31 |
| 3.6.1. Le cuivre (Cu) | 31 |
| 3.6.2. Le Fer (Fe) | 32 |
| 3.6.3. Le manganèse (Mn) | 33 |

| | |
|-----------------------------------|-----------|
| 3.6.4. Le zinc (Zn) | 34 |
| Conclusion | 36 |
| Perspectives | 38 |
| Reference bibliographiques | 39 |

Liste des tableaux

Tableau 1 : Teneurs naturelles en métaux lourds dans l'eau (synthèse d'après : (1) (Dobbs and Zabel, 1997¹, Allaway et Ayres, 1997²).

Tableau 2 : Pluviométrie en mm de la ville de Constantine (2009-2013)

Tableau 3 : statistiques de la population du sous bassin du Kebir Rhumel

Tableau 4 : conservation des prélèvements (Rodier et al. 2005)

Tableau 5 : gamme d'étalonnage des métaux lourds étudiés (ANRH, 2015)

Tableau 6 : Résultats des paramètres physico-chimiques et des éléments métalliques des eaux du bassin versant Kebir Rhumel

Tableau 7 : Répartition des stations en fonction des classes de qualité pour la température (SEQ-Eau, 1999)

Tableau 8: Répartition des stations en fonction des classes de qualité pour le pH (SEQ-Eau, 1999)

Tableau 9: Répartition des stations en fonction des classes de qualité pour la conductivité électrique (SEQ-Eau, 1999)

Tableau 10 : Répartition des stations en fonction des classes de qualité pour la dureté (SEQ-Eau, 1999)

Tableau 11: Répartition des stations en fonction des classes de qualité pour les chlorures (SEQ-Eau, 1999)

Tableau 12: Répartition des stations en fonction des classes de qualité pour les sulfates (SEQ-Eau, 1999)

Tableau 13: Répartition des stations en fonction des classes de qualité pour les nitrates (SEQ-Eau, 1999)

Tableau 14: Répartition des stations en fonction des classes de qualité pour le cuivre (SEQ-Eau, 1999)

Tableau 15: Répartition des stations en fonction des classes de qualité pour le fer (SEQ-Eau, 1999)

Tableau 16: Répartition des stations en fonction des classes de qualité pour le manganèse (SEQ-Eau, 1999)

Tableau 17: Répartition des stations en fonction des classes de qualité pour le zinc (SEQ-Eau, 1999)

Tableau 18 : Résultats des mesures des températures (°C) (annexe)

Introduction

Abondante ou rare, l'eau disait Léonardo de Vinci, est la force conductrice de la nature, la santé et le bien-être de l'humanité, tout comme la survie des écosystèmes de la planète reposent sur l'eau.

La pollution de l'eau est devenue de nos jours l'un des problèmes les plus préoccupants. En effet elle atteint aujourd'hui une bonne partie de notre réseau hydrographique ainsi que de nombreux lacs. Cela résulte avant tout de la multiplication et de la croissance des établissements industriels installés le long des fleuves et des rivières, ainsi que de l'extension extrêmement rapide des zones urbaines qui déversent nécessairement leurs eaux usées épures ou non dans les eaux de surfaces.

La wilaya de Constantine, tel est le cas de la plupart des wilayas de l'Algérie, a enregistré, dès les années 80, un accroissement de ses agglomérations, de l'activité industrielle ainsi qu'un trafic routier intense. Cette amplification est à l'origine d'une perturbation plus ou moins importante des écosystèmes aquatiques environnants (Sahli et al. 2014 ; Sahli et al. 2012, Sahli et al. 2011, Afri-Mehennaoui et al. 2004).

La réalisation des stations d'épuration est-elle suffisante pour atteindre les objectifs visés soit une meilleure protection de l'environnement d'une manière générale et les ressources hydriques en particulier ? En effet, à Constantine la quantité des eaux usées réellement épurées n'est pas totalement déversée dans les barrages. La STEP d'oued Athmania ne reçoit que les eaux collectées de Chelleghoum Laid et Djemaa Lakhdar, celles de la ville d'Oued El Athmania ne sont pas épurées et sont déversées directement en aval du barrage dans l'oued Rhumel (ABH, 2005).

Les oueds du bassin versant Kebir Rhumel ont fait l'objet d'études relatives à la pollution organique et son impact sur les diatomées, à la qualité physico-chimique et biologique, au niveau de contamination de la matrice sédimentaire, de la faune et de la flore par les éléments traces métalliques (Afri-Mehennaoui et Pauwels, 1983 ; Afri-Mehennaoui, 1998 ; Kaldhi et Melghit, 2007 ; Sahli, 2002 ; Sahli, 2012).

La présente étude porte sur l'évaluation de la qualité physico-chimique et du niveau de contamination métallique des eaux du bassin versant Kebir Rhumel. Les objectifs de ce travail sont de contribuer à une meilleure connaissance de :

- la qualité physico-chimique des eaux par mesure de la température, du pH, de la conductivité électrique et des éléments minéraux majeurs (Ca, Mg, Cl⁻, SO₄⁻),
- du niveau de la pollution organique via un paramètre azoté, il s'agit des nitrates (NO₃⁻),
- du niveau de contamination métallique des eaux par quantification des teneurs en cuivre (Cu), fer (Fe), manganèse (Mn), et zinc (Zn),

Ce manuscrit s'articule en trois parties :

Le chapitre I repose sur une "**synthèse bibliographique**" qui vise à donner un aperçu sur les éléments essentiels à retenir pour l'étude de la qualité physico-chimique et la contamination métallique des eaux.

Le chapitre II, "**Matériel et Méthodes**", décrit la zone d'étude à savoir le bassin versant Kebir Rhumel, sa situation géographique, sa géologie, son réseau hydrographique, sa climatologie, les industries, les agglomérations implantées sur ce bassin, la localisation des points de prélèvement ainsi que les méthodes et techniques utilisées au cours de ce travail.

Le chapitre III, "**Résultats et discussion**" s'attache aux résultats obtenus lors de cette étude. Seront présentés dans un premier temps, les résultats relatifs à la caractérisation physico-chimique des eaux. Seront exposés ensuite, les résultats des teneurs en métaux.

Une synthèse sous forme de **Conclusions** des aspects les plus marquants de cette étude ainsi des **Perspectives** clôtureront le document.

1. Pollution des milieux aquatiques :

1.1. Définition :

Le terme pollution désigne toute modification défavorable du milieu naturel, qui paraît en totalité ou en partie comme un sous-produit de l'action humaine, au travers des effets directs ou indirects altérant les critères de répartitions des flux de l'énergie, des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes. Ces modifications peuvent affecter l'homme directement ou à travers des ressources agricoles, en eau et en produits biologiques. Elles peuvent aussi l'affecter en altérant les objets physiques qu'il possède ou les possibilités récréatives du milieu (1^{er} Rapport du Conseil sur la qualité de l'environnement de la Maison Blanche, 1965, in Ramade, 2002).

Actuellement, la pollution des eaux est devenue un problème universel qui menace gravement l'environnement et qui nécessite une lutte soutenue, car de nombreux produits agricoles et industriels sont de plus en plus responsables de l'apparition de cette forme de pollution.

Via cette synthèse bibliographique nous rappelons très succinctement les origines de cette pollution en fonction de sa nature (matière organique ou minérale) et ses impacts sur l'écosystème aquatique et ses différentes composantes.

1.2. Les différents types de pollution en milieu aquatique :

1.2.1. La pollution organique :

Cette forme de pollution constitue la fraction la plus importante. En effet, elle résulte de l'introduction dans le milieu de substances organiques provenant de diverses activités : industrielles (hydrocarbures), agricoles (engrais azotés et phosphatés) et/ou domestiques (phosphates, matières fermentescibles, etc.) (Khaled, 1995).

L'introduction des matières organiques biodégradables dans un cours d'eau va provoquer à l'aval du point de rejet une modification du milieu naturel. Cette dernière se traduira notamment par une baisse de l'oxygène dissous liée à la dégradation de la matière organique, peut entraîner par conséquent la perturbation de la vie aquatique (Gaujous, 1995 ; Chow-Toun, in Veyret, 1997).

1.2.2. La pollution inorganique (chimique) :

Ce type de pollution des eaux superficielles résulte le plus souvent de l'introduction dans le milieu de substances toxiques diverses, de caractéristiques différentes et d'origines

diverses (pesticides, métaux lourds, détergents, etc.). La pollution chimique des eaux peut être ponctuelle ou diffuse. Elle résulte le plus souvent de :

- l'insuffisance de stations d'épuration.
- l'absence de réseaux d'assainissement dans certaines zones.
- le lessivage des sols, mais aussi des chaussées et des toits par les pluies.
- le rejet d'effluents par les industries.

Cette forme de pollution issue de substances chimiques telles que les insecticides ou les désherbants provoque la dégradation de la qualité des eaux de surface (cours d'eau, lacs...) et celle des eaux souterraines.

1.2.3. Pollution par les métaux lourds :

1.2.3.1. Généralités :

Un métal est une matière, issue le plus souvent d'un minerai ou d'un autre métal, dotée d'un éclat particulier, bon conducteur de chaleur et d'électricité, ayant des caractéristiques de dureté et de malléabilité, se combinant ainsi aisément avec d'autres éléments pour former des alliages utilisables dans l'industrie, l'orfèvrerie, etc.

On appelle en général métaux lourds les éléments métalliques naturels, métaux ou dans certains cas métalloïdes caractérisés par une masse volumique élevée, supérieure à 5 grammes par cm^3 (Senat, 2009).

Les éléments traces sont les 80 éléments chimiques, constituant la croûte terrestre, dont la concentration est pour chacun d'entre eux inférieure à 0.1% (Baize, 1997). Certains des éléments traces sont des métaux (ETM) (Cd, Cr, Zn, Cu, Pb...), présents en très faibles quantités dans le sol, l'eau, l'air et les êtres vivants. C'est pour cela qu'on les qualifie parfois de métaux à l'état de traces. Certains de ces éléments métalliques sont essentiels à l'homme en quantité infime, notamment le fer, le cuivre, le manganèse, le zinc, le cobalt, l'iode, le molybdène, le sélénium, le chrome et l'étain. Cependant, tous sont toxiques et quelques-uns sont même cancérigènes à hautes concentrations.

Ces éléments sont naturellement présents dans tous les compartiments de notre environnement, mais en général en quantités très faibles. Ils ont la particularité de s'accumuler dans les organismes vivants ainsi que dans la chaîne trophique.

L'impact de ces substances sur l'environnement est complexe, tant leurs actions toxiques peuvent être directes ou indirectes sur les individus, les populations ou les écosystèmes, tant aussi les phénomènes de synergie sont possibles, ainsi que le déclenchement des effets complexes (Devauchelles, 2002).

A la différence des substances organiques dont l'état chimique est bien défini, les métaux comme tous les éléments présentent un polymorphisme chimique dépendant à la fois de leur forme et du composé minéral ou organique dans lequel ils sont incorporés (Ramade, 2002). Certains des éléments en trace font partie des éléments toxiques qui passent des champs vers les eaux des écosystèmes. On les retrouve principalement dans les eaux usées industrielles et municipales (ex. Cd, Cu, Pb, Zn), les précipitations atmosphériques, et les eaux provenant de l'activité agricole (ex. Hg, Cu, Pb). Contrairement à d'autres polluants, comme les hydrocarbures dérivés du pétrole, et aux déchets qui envahissent l'environnement, les métaux lourds ou les éléments traces métalliques s'accumulent subrepticement, pour finir par atteindre des seuils toxiques. Les problèmes associés à la contamination par les métaux lourds ont été tout d'abord mis en évidence dans les pays industriellement avancés en raison de leurs déversements industriels plus importants (Kurland et al. 1960 ; Nitta, 1972 ; Goldberg, 1979 in FAO, 2009).

Les ETM suivent dans la nature des cycles depuis la réserve géochimique, en passant par la végétation et les animaux (Alloways et Ayres, 1986). Les activités anthropiques constituent un facteur fondamental qui interfère dans ces cycles, les accélère et augmente par voie de conséquence leurs teneurs dans l'écosystème en question.

Tableau 1 : Teneurs naturelles en métaux lourds dans l'eau (synthèse d'après : (1) (Dobbs and Zabel, 1997¹, Alloway et Ayres, 1997²).

| Métal | Eau de surface |
|----------------|------------------|
| Cuivre (Cu) | 1-28 ppb (1) |
| Zinc (Zn) | 8-125 ppb (1) |
| Manganèse (Mn) | 0,02-130 ppb (2) |
| Fer (Fe) | - |

Actuellement, la pollution des eaux par les métaux lourds est devenue inquiétante. Elle engendre un effet se traduisant par des risques d'affection et de mutations génétique, essentiellement chez l'homme utilisateur des eaux de surface, suite au phénomène de bioaccumulation de ces métaux. La transmission de ces micropolluants à travers un simple contact entre le milieu physique et les organismes, ainsi que leur passage de maillon en maillon ou se concentre le long des chaînes trophiques, représentent les facteurs les plus importants favorisant le phénomène de bioaccumulation. Dans les écosystèmes aquatiques, les

différents maillons d'une chaîne alimentaire peuvent être affectés par les métaux lourds doués d'une action toxique. A titre d'exemple, dans un lac ou une rivière, les rejets industriels renferment des quantités de métaux lourds, qui peuvent causer des intoxications excessives chez le poisson, lequel est consommé par des carnivores dont le foie peut concentrer $600\mu\text{g/l}$ de chrome.

Les effets et la biodisponibilité des métaux lourds dans un écosystème aquatique sont intimement liés à leurs formes chimiques qui déterminent leur toxicité et leur mobilité (Meybeck, 1998).

1.2.3.2. Les propriétés physico-chimiques des métaux lourds :

Les éléments retenus lors de cette étude sont : le fer, le manganèse, le zinc et le cuivre. Les propriétés physico-chimiques de ces éléments sont décrites ci-dessous.

1.2.3.2.1. Le fer (Fe)

Le fer est l'un des métaux les plus abondants dans l'eau. Il provient principalement des rejets industriels, du lessivage des sols, de la corrosion des canalisations métalliques et de l'utilisation des sels ferriques comme coagulant. Il est présent dans l'eau sous trois formes : le fer ferreux, dont le degré d'oxydation est 2, le fer ferrique qui est trivalent (Fe^{+3}) et le fer complexé à des matières organiques (acides humiques, fulviques, tanniques, ...) et minérales (silicates, phosphates, ...). Dans des conditions aérobies, et à $\text{pH} > 4$ le fer ferreux (Fe^{+2}) peut s'oxyder en fer ferrique (Fe^{+3}), lequel se précipite sous forme d'hydroxyde ($\text{Fe}(\text{OH})_3$). Ainsi, sa solubilité décroît lorsque le pH augmente (Kemmer, 1984).

1.2.3.2.2. Le manganèse (Mn) :

Le manganèse est présent naturellement dans l'environnement. Son origine dans l'eau provient essentiellement de la dissolution des roches, et d'éventuels rejets industriels. Le manganèse provenant des sources anthropiques, pénètre facilement dans les eaux de surfaces, les eaux souterraines et les eaux d'égouts. Son degré d'oxydation est 2, il est présent dans l'eau à l'état d'oxydes et de carbonates. Sous la forme oxydée, le manganèse est très peu soluble. Dans une eau sans oxygène, il est rapidement dissous sous forme de sels manganoux (Mn^{+2}) et tend à former des chélates avec des substances organiques (Kemmer, 1996).

1.2.3.2.3. Le zinc (Zn) :

Le zinc pénètre dans les milieux aquatiques à la suite de déversements de déchets provenant de mines, de l'industrie métallurgique ou d'opérations de traitement des métaux. Ainsi selon Rodier (1996), la présence du zinc dans les eaux de surface doit être rattachée à des activités industrielles. Le zinc retrouvé dans les eaux de distribution à des teneurs dépassant 1mg/l, provient généralement des canalisations de laiton ou de fer galvanisé, attaquées par les eaux chargées en chlorures ou sulfates. De plus, il peut également apparaître à la suite de la corrosion de canalisation en acier galvanisé. Le degré d'oxydation du zinc est 2, et il peut être monovalent dans des conditions anaérobies. Le Zn^{2+} domine à un pH acide et il commence à s'hydrolyser à pH 7-7.5 en formant l'hydroxyde de zinc ($Zn(OH)_2$). Le zinc divalent peut s'absorber sur les suspensions minérales et se complexer ainsi avec de la matière organique.

1.2.3.2.4. Le cuivre (Cu) :

Le cuivre est présent dans la nature dans un large éventail de gisements de minerai. Il entre dans la fabrication des tissus, des peintures, des conducteurs et fils électriques, des appareils et tuyaux de plomberie, des pièces de monnaie et des ustensiles de cuisine (Ontario, 2004). Il peut être présent dans l'eau à partir du contact avec des minéraux porteurs de cuivre ou de déchets minéraux provenant de la production de cuivre (Kemmer, 1984). Il peut se concentrer dans les eaux naturelles généralement à des teneurs inférieures à 1mg/l et ses principales sources anthropiques sont les industries, les traitements agricoles et la corrosion des tuyauteries (Rodier et al. 2005). Son numéro atomique est 29, sa masse atomique est de 63,54 g/mole et son point de fusion est de 1083°C (Nriagu, 1990). C'est un métal malléable et ductile. Il est un excellent conducteur d'électricité et de chaleur (Recommandations canadiennes pour la qualité des sols (cuivre), 1997). Dans les eaux de surface, le cuivre peut parcourir de longue distance, que ce soit suspendue sur des particules de boue ou comme ion libre.

1.2.3.3. Influences des paramètres physico-chimiques sur le comportement des métaux lourds en milieu aquatique :

En milieu aquatique, ce sont les paramètres physico-chimiques de l'eau (pH, dureté, concentration de matière en suspension, salinité, etc.) qui déterminent la mobilité et la biodisponibilité des métaux lourds, en affectant leur spéciation et par conséquent leur comportement (LCPE (a, b, c.), 1994 ; Thevenot et al, 1998 ; USEPA, 2001 in Sahli, 2002).

Ainsi, la mobilité du métal dans l'eau est déterminée par la proportion de cet élément dans sa phase soluble. Une grande partie de ces contaminants est associée à la phase particulaire, qui est souvent le vecteur principal de ces métaux dans les milieux fluviaux (Meybeck, 1998).

En raison de leurs propriétés physico-chimiques, les métaux lourds ou composés métalliques peuvent se trouver sous différentes formes dans l'eau, qui explique leur spéciation. Dans les milieux aquatiques, les ions des métaux lourds sont généralement réactifs et peuvent former des complexes avec un certain nombre de ligands inorganiques ou organiques, contenant un groupement carboxyle ou phosphate.

Ainsi, dans l'eau, en ne considérant que les composantes inorganiques du milieu, les espèces ioniques dissoutes libres hydroxylées et chlorées prédominent (le pH et la salinité influent sur les proportions).

1.2.3.4. La toxicité des métaux lourds vis-à-vis de la faune et de la flore :

En milieu aquatique, les métaux lourds pénètrent dans les organismes vivants généralement par deux voies : la pénétration à partir des solutions et la concentration via la chaîne trophique (Peres, 1976). Ainsi, la réaction des organismes aquatiques vis-à-vis d'une substance dépend du contact qui implique une absorption du métal par l'organisme. Cette absorption requiert que le métal soit libre dans le milieu autour de l'organisme et puisse traverser les membranes pour y pénétrer. Les deux processus dépendent essentiellement de la forme chimique du métal (LCPE, 1993).

La toxicité de certains métaux non essentiels est reconnue, même à très faible concentrations (Pb, Cd, Hg,...), alors que les métaux essentiels peuvent également devenir dangereux à de fortes concentrations (Zn, Cu, Fe, Mn,...). La combinaison qui se manifeste entre les éléments non essentiels et ceux qui sont essentiels s'introduit par des interactions possédant une forte incidence sur la toxicité des métaux (INFO-TOX, 1999).

1.2.3.4.1. La toxicité du fer :

La toxicité du fer sur la vie aquatique est difficile à préciser, car elle est fonction de l'état chimique de cet élément ; le fer ferreux étant plus toxique que le fer ferrique, et de la présence de précipité d'hydroxyde de fer qui tend à se déposer sur les branchies des poissons et à entraîner leur colmatage (INFO-TOX, 1999).

1.2.3.4.2. La toxicité du cuivre :

La toxicité du cuivre varie selon les espèces et la composition de l'eau et dépend en particulier de la température, de la dureté, de la concentration en oxygène dissous, et de la présence d'autres sels. Les sels de cuivre sont fatals aux algues à des concentrations de l'ordre de 1ppm, et par conséquent, la vie aquatique est perturbée à des doses très faibles. La limite de toxicité du cuivre pour les salmonidés se situe aux environs de 0,1mg/l, cependant les carpes admettraient jusqu'à 0,4mg/l et les poissons moins délicats supportent des concentrations supérieures à 1mg/l (Bremond et Vuichard, 1973).

1.2.3.4.3. La toxicité du zinc :

Le zinc présente une toxicité qui est fonction à la fois de la minéralisation de l'eau et de la tolérance de l'espèce considérée. Pour le poisson, cette toxicité s'exerce à partir de quelque mg/l (au-dessus de 5 à 10 mg/l) (Rodier et al. 2005). Ainsi, l'effet toxique du zinc n'est généralement pas immédiat, un poisson soumis à une pollution accidentelle par le zinc peut ne pas mourir que quelques jours après. Il est également toxique pour les huîtres qui ont la faculté de le concentrer (Bremond et Vuichard, 1973).

1.2.3.4.4. La toxicité du manganèse :

Le manganèse présente une action toxique faible et en général, il en faut des quantités déjà importantes pour créer des difficultés écologiques graves. Chez les poissons, les sels de manganèse agissent probablement comme toxiques sur le système neurologique (Bremond et Vuichard, 1973).

En résumé, la toxicité des métaux lourds reste toujours inquantifiable, suite aux effets nocifs qu'elle cause pour les organismes aquatiques, car ces contaminants possèdent la caractéristique d'être non biodégradables au fil du temps, malgré le fait que certains parmi eux sont indispensables mais ils peuvent perdre ces critères lorsque leurs concentrations dépassent certaines limites.

1.2. 4. Conséquence de la pollution des eaux :

La pollution de l'eau, quel que soit sa nature (organique, chimique ou microbiologique,...) peut avoir des conséquences désastreuses, en se traduisant par des effets très spécifiques dus aux particularités écologiques propres aux milieux aquatiques (Ramade, 2002). En effet, les microorganismes aérobies engendrent une autoépuration des eaux qui se

traduit par un épuisement de l'oxygène présent dans l'eau, lequel est indispensable pour la faune aquatique. Cette régression du taux d'oxygène conduit à une asphyxie chez les espèces animales aquatiques, ainsi qu'à la disparition de la faune des eaux propres en aval d'un émissaire d'égout (Nollet, 1996).

Ainsi, l'accumulation des agents polluants dans un cours d'eau, affecte progressivement son équilibre dynamique naturel et conduit à sa pollution, essentiellement si l'agent polluant n'est pas ou peu biodégradable ; le processus d'autoépuration est alors inopérant, les substances s'accumulent dans l'écosystème, intoxiquant les espèces vivantes qui les intègrent (Chow-Toun, in Veyret, 2007).

Enfin, la pollution des rivières et des cours d'eaux entraînent des effets nuisibles bien pour les petits organismes que les grands, et induire le développement de nouvelles espèces tolérantes par cette pollution. Ces espèces sont des bio-indicateurs, car leur présence révèle une pollution de l'eau (Rodolph, 1990).

2. Présentation du bassin versant Kebir Rhumel :

2.1. La situation géographique :

Un bassin est défini comme une entité topographique et hydrographique dans laquelle se produisent des entrées d'eau (sous forme de précipitations essentiellement, sans oublier les apports souterrains issus d'autres bassins) et où l'écoulement (et le transport de matériaux mobilisés par l'érosion) s'effectue suivant un système de pentes et de drains naturels en direction de l'exutoire ou embouchure du cours d'eau collecteur (Mebarki, 2005).

Avec une superficie de 8815 km² environ, le bassin versant Kebir Rhumel déborde largement les limites géographiques du Constantinois : il s'étend entre la mer Méditerranée au Nord et les marges septentrionales des hautes plaines des sebkhas (lacs salés) au Sud présentant ainsi des caractères physiques nettement contrastés, d'où son originalité. Il est juxtaposé à d'autres unités hydrologiques recouvrant également Tell et hautes plaines, il s'agit du bassin de la Seybouse à l'Est et le bassin de la Soumam à l'Ouest (Mebarki, 1984).

2.1.1. Le réseau hydrographique :

Ainsi, le bassin du Kebir-Rhumel présente un chevelu hydrographique très dense totalisant un réseau de 4200 Km. Il est drainé par deux cours d'eau très importants Rhumel dans la partie Sud et oued Endja dans la partie Ouest. La confluence de ces deux oueds à l'aval de Grarem donne naissance à l'oued El Kébir, lequel rejoint plus au Nord la méditerranée (Cahiers de l'ABH, C.S.M, n°02, 1999).

2.1.2. La lithologie :

Les formations quaternaires et les calcaires marneux représentent les terrains à perméabilité moyenne ou faible qui prédominent dans l'ensemble du bassin. Les oueds du bassin versant Kebir Rhumel représentent un siège important de transport des éléments de diverses natures. Ils verront leurs paramètres physico-chimiques influencé par la nature lithologiques des terrains drainés. L'oued Rhumel, un des principaux cours d'eau dudit bassin, prend sa source dans la nappe Tellienne calcaire et marneuse des monts de Ferdjoua (Fedj-Mzala), ensuite il gagne la roche récente du quaternaire indifférencié composée tantôt d'argile à gypse ou de marne et tantôt de couches de calcaires (Mebarki, 1982)

2.1.3. Le climat :

Les conditions climatiques du bassin versant jouent un rôle important dans le comportement hydrologique des cours d'eaux. Ce sont surtout les précipitations qui constituent

le facteur essentiel pour l'écoulement des cours d'eaux. La pluviométrie à un effet direct sur le débit, les matières en suspension organiques et minérales charriées et les phénomènes de dilution. Ces derniers ont un effet direct sur la concentration des ions des eaux d'oueds. Ainsi, les facteurs climatiques sont dans l'ensemble des variables aléatoires dans l'espace et le temps, permettant d'expliquer quantitativement les variations du régime hydrologiques.

Tableau 2 : Pluviométrie en mm de la ville de Constantine (2009-2013)

(source) (fr.tutempo.net).

| | Années | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | Annuel |
|---------------|--------|------|-------|------|-------|------|------|-----|------|-------|------|------|------|--------|
| P (mm) | 2009 | 76,4 | 48,6 | 81,1 | 113,3 | 43,4 | 0,0 | 2,0 | 37,5 | 103,9 | 49,4 | 24,9 | 47,1 | 627,6 |
| | 2010 | 74,0 | 30,5 | 46,9 | 67,2 | 50,0 | 16,5 | 2,0 | 8,0 | 37,3 | 48,1 | 76,4 | 33,7 | 490,6 |
| | 2011 | 8,0 | 174,5 | 65,4 | 66,4 | 40,6 | 24,2 | 7,0 | 5,2 | 13,4 | 87,0 | 26,8 | 53,3 | 571,8 |
| | 2012 | 34,6 | 104,6 | 52,0 | 68,4 | 19,5 | 6,2 | 1,8 | 10,5 | 36,2 | 33,4 | 29,4 | 19,0 | 415,6 |
| | 2013 | 64,0 | 111,9 | 47,4 | 31,0 | 10,0 | 17,0 | 2,6 | 36,0 | 23,0 | 26,8 | 86,2 | 29,6 | 485,5 |

2.1.4. L'aspect socio-économique :

L'aspect socio-économique de la région d'étude est un facteur très important à cerner vu son impact sur la compréhension du phénomène de pollution et ses diverses origines ainsi que les conséquences qui en résultent.

2.1.5. La population :

Plus de 2.500.000 habitants selon estimation de 2002, repartis en 90 communes et 6 wilayas, 57 communes sont entièrement incluses dans le bassin et 33 partiellement. L'agglomération de Constantine avec 462 187 habitants regroupe 22,5% de la population totale du bassin (cahiers de l'agence A.B.H-CSM, 2004)

**Tableau 3 : statistiques de la population du sous bassin du Kebir Rhumel
(Cahiers de l'agence A.B.H-CSM, 2004)**

| Agglomération principales | wilaya | population | |
|------------------------------|--------|------------------|------------------|
| | | Recensement 1998 | Recensement 2002 |
| Constantine | 25 | 462 187 | 496 179 |
| El kroub | 25 | 65 344 | 70 160 |
| Mila | 43 | 54 557 | 60 197 |
| Ain M'lila | 04 | 50 744 | 55 467 |
| Chelghoum Laid | 43 | 41 417 | 45 699 |
| Ain Fakroun | 04 | 40 701 | 44 490 |
| Hamma Bouziane | 25 | 36 480 | 39 163 |
| Tadjenanet | 43 | 30 278 | 33 408 |

2.1.6. L'alimentation en eau potable des agglomérations :

Le bassin du Kebir Rhumel renferme un barrage en exploitation : Beni Haroun ainsi que 25 retenues collinaires qui sont actuellement en service mobilisant un potentiel annuel de 269 Hm³ (cahiers de l'agence A.B.H-CSM, 2004).

Le bassin comprend 130 forages dont 97 forages d'alimentation en eau potable (74,61 %), 15 forages d'alimentation en eau industrielle (11,5 %), 12 forages d'irrigation (9,23 %) et 5 forages de piézomètre (3,87%).

Le bassin est doté de deux stations d'épuration : la station de Constantine d'une capacité de 400000 équivalent-habitants, extensible à 800000 équivalent-habitants, fonctionne selon le principe de la boue activée, dimensionnée pour un débit moyen de 800 l/s et traite actuellement 150 l/s, et la station d'Oued El Athmania d'une capacité de 45 000 équivalent-habitants, extensible à 67 500 équivalent-habitants, dimensionné pour traiter les eaux usées de la commune de Chelghoum Laid, fonctionne selon le principe de la boue activée à faible charge, dimensionnée pour un débit de 130 l/s et traite actuellement 46 l/s .

2.1.7. L'agriculture :

Le bassin versant Kebir Rhumel est caractérisé par une agriculture mixte, traditionnelle (irrigation gravitaire) et moderne (irrigation par canaux d'aspersion), tout dépend du type de culture. La superficie actuellement irriguée dans le bassin est de 2679 hectares consommant un volume annuel de 27,65 hm³ (cahiers de l'agence A.B.H-CSM, 2004).

Les principales activités des périmètres irrigués sont essentiellement les cultures maraichères et l'arboriculture. Afin d'atteindre la production nécessaire, il était important de développer des techniques et des stratégies de culture et d'autoriser l'usage de certains produits

chimiques et organiques tel que les engrais et les pesticides pour améliorer les rendements et lutter contre les parasites et les maladies.

L'influence de l'agriculture sur les oueds du bassin versant Kebir Rhumel se manifeste surtout par l'utilisation des engrais chimiques dont les principaux sont : les nitrates d'ammonium (33%) et les super phosphates (45%). Sans aucun doute, les engrais augmentent le rendement agricole en améliorant la croissance mais après enquête, il a été constaté pour la plupart des cas que ce soit au niveau de la DAS ou chez les agriculteurs privés, qu'une application répétée et à de très fortes doses conduit automatiquement à une pollution excessive des sols et par conséquent des eaux ou les concentrations en nitrates, phosphates et leurs dérivés sont élevées.

Par ailleurs, le développement de l'industrie des pesticides a connu une croissance considérable au cours de la dernière décennie. Un nombre sans cesse accru de familles a été découvert et l'on peut estimer qu'au total plus de 3000 substances actives ont fait l'objet d'un usage en agriculture (Cahiers de l'agence A.B.H-CSM, 2004). Les pesticides organiques et minéraux sont utiles pour éviter toute infestation parasitaire des cultures situées aux alentours des cours d'eau étudiés.

2.1.8. Les unités industrielles :

Les unités industrielles du bassin sont réparties en plusieurs zones, concentrées autour des grandes agglomérations (Constantine, Chelghoum Laid, El Kroub, Hamma Bouziane et Mila). Les zones les plus représentatives sont récapitulées dans (tab 37) l'annexe . Parmi les industries caractéristiques du bassin, plusieurs d'entre elles sont alimentées par leurs propres forages ou leurs propres puits, lesquels pour la plupart ne subissent aucun contrôle concernant la chimie de l'eau.

2.2. Choix et localisation des sites de prélèvement :

Les campagnes d'échantillonnage au niveau des oueds du bassin versant Kebir Rhumel se sont déroulées d'octobre 2014 à avril. Les stations ont été choisies de façon à intégrer le mieux possible l'influence de certaines zones à forte pression anthropique et/ou industrielle (agglomération, industries, mines, agriculture...) en se plaçant en amont et aval de celle-ci. Six points de prélèvement ont été retenus (fig. 1).

Station 1 (Rh1)

Sur l'oued Rhumel, cette station est située en aval de la décharge publique fermée en mai 1998 et de la commune d'Ain Smara, on y accède par la nationale (RN 5) en direction de

Constantine (ou 13e km). Elle rend compte des effets des rejets d'Ain Smara, du lixiviat de la décharge et des rejets de l'entreprise Nationale du Matériel des Travaux Publics (ENMTP) formé de 4 unités (CPG, CCA, CCE et GERMAIN) dont les effluents sont en partie traités.

Station 2 (Rh2)

Sur l'oued Rhumel, cette station est située en aval de Constantine et de Sidi M'cid près du pont d'El Menia. Elle permettrait d'évaluer la pollution urbaine (domestique et industrielle) sur l'oued Rhumel à l'exutoire de la ville.

Station 3 (Bm1)

Sur l'oued Boumerzoug, cette station est située en aval de la zone industrielle Boumerzoug et en amont de la confluence Boumerzoug-Rhumel. Le point de prélèvement se localise au niveau du stade Chahid Hamlaoui (Ex. 17 juin). Cette station rend compte de l'impact de la zone industrielle sur la qualité des eaux de l'oued Boumerzoug avant que ce dernier ne se jette dans l'oued Rhumel.

Station 4 (Rh3)

Sur l'oued Rhumel, cette station est située en aval de la confluence Rhumel-Ktone et en amont du barrage de Beni Haroun. Cette station rend compte de la situation après le mélange des eaux des deux oueds avant que l'oued n'alimente le barrage de Beni Haroun.

Station 5 (Kb1)

Sur oued El Kebir, cette station est située en aval du barrage de Beni Haroun et amont d'El Milia sur la route en allant vers Sidi Maarouf. Compte tenu de sa localisation (aval du barrage).

Station 6 (Enj1)

Sur oued Endja, cette station est située en aval de la confluence Bou Selah-El Kebir et en amont d'El Rouached. Elle traduit la qualité des eaux d'oued Endja après le mélange des eaux des deux oueds.

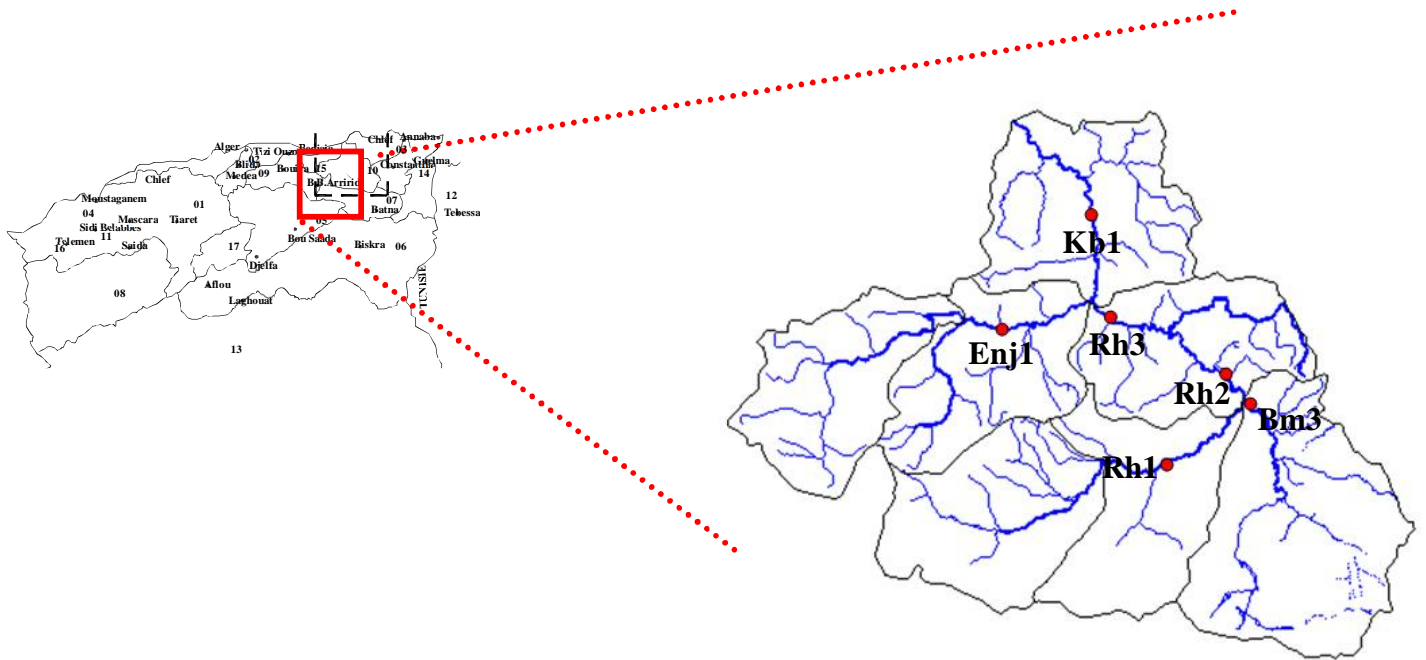


Figure 1 : Localisation des stations de prélèvements.

2.3. Le mode prélèvement :

L'échantillon prélevé doit être représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (gaz dissous, matières en suspension, etc.). Le prélèvement a été effectué dans l'oued au milieu du lit en plein courant à une profondeur d'environ 50 cm. Selon (Rodier et al. 2005).

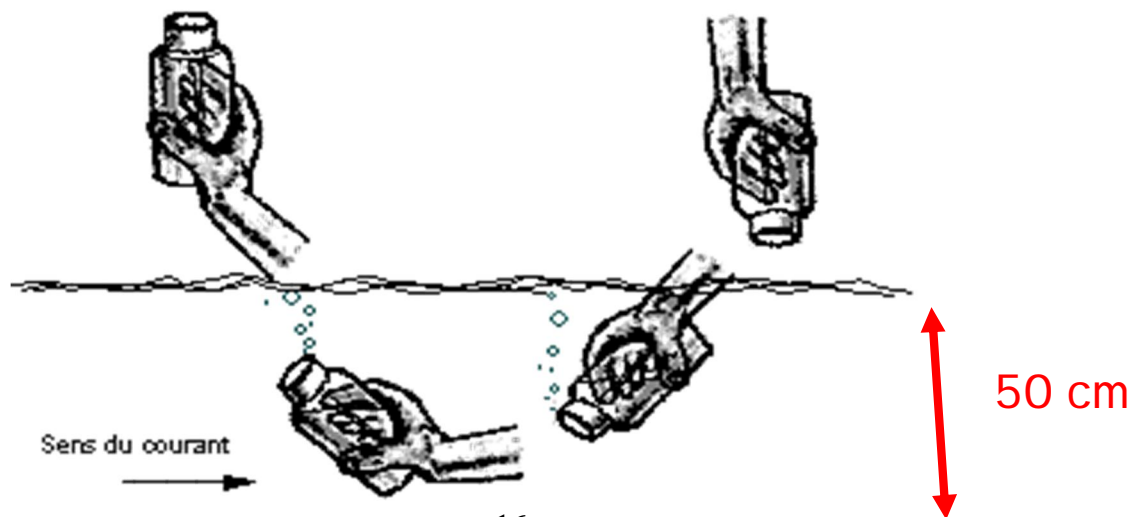


Tableau 4 : conservation des prélèvements (Rodier et al. 2005)

| Elément analysé | Conservateur | Température de conservation (°C) |
|--|----------------|----------------------------------|
| Fer, Cuivre, Manganèse, Zinc, Dureté | Acide nitrique | 4 |
| Calcium, Chlorures, Magnésium, Nitrates Sulfates, Température, pH, CE | - | 4 |

2.4. Mesures physico-chimiques :

2.4.1. La température :

La mesure de la température a été effectuée sur terrain en utilisant un thermomètre gradué au 1/10 et en respectant les consignes de Rodier (2005). Les résultats sont exprimés en °C.

2.4.2. Le pH :

Le pH est pris avec un pH mètre électronique modèle (HI9024 micro computer pH meter), en plongeant l'électrode dans l'eau à environ 6 à 8 cm de la surface. Les résultats sont exprimés en unités pH.

2.4.3. La conductivité électrique :

La conductivité électrique a été mesurée à l'aide d'un conductimètre de laboratoire de type (HI0933 multi range conductimètre). Les résultats sont donnés en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

2.4.4. Les éléments minéraux majeurs :

2.4.4.1. Les cations :

a. Le calcium et le magnésium :

Le dosage de ces 2 éléments a été effectué par colorimétrie (auto-analyseur skalar). La teneur en magnésium (Mg^{++}) est déterminée par la différence entre la dureté et la teneur en calcium. Les teneurs en Ca^{++} , Mg^{++} sont exprimées en mg/l. Les gammes d'étalonnages sont présentées dans le tableau (Annexe).

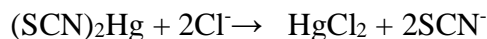
b. La dureté (Ca^{++} et Mg^{++}) :

Elle est déterminée par colorimétrie (auto-analyseur Skalar). Les résultats sont exprimés en mg/l.

2.4.4.2. Les anions :

a. Les chlorures (Cl⁻) :

Le dosage des chlorures a été effectué selon la méthode colorimétrique. Le Thio cyanate mercurique réagit en présence d'ions chlorures par double décomposition :



Il se forme du chlorure mercurique insoluble et il y a libération d'ions sulfocyanure, qui en présence d'ions ferriques donnent une coloration rouge intense proportionnelle aux ions SCN⁻ et donc aux ions Cl⁻ (Rodier et al. 2005). Les résultats sont exprimés en mg/l de chlorures. Les gammes d'étalonnage des chlorures sont données dans l'annexe.

b. Les sulfates (SO₄²⁻) :

Le dosage des sulfates a été effectué par la méthode colorimétrique. Les résultats sont exprimés en mg/l de sulfates. Les gammes d'étalonnage des sulfates sont données dans l'annexe.

c. Les nitrates (NO₃⁻) :

Le dosage a été effectué par la méthode colorimétrique. Les résultats sont exprimés en mg/l.

2.5. Les métaux lourds :

Les échantillons d'eau destinés au dosage des métaux, après acidification par HNO₃ (d=1,4) jusqu'à un pH inférieur à 2, sont filtrés sur une membrane filtrante avec une porosité de 0,45 µm (membrane SARTORIUS) en utilisant une pompe à vide.

Le dosage des métaux lourds (Cu, Fe, Mn, et Zn) dans l'eau a été effectué par spectrophotométrie d'absorption atomique à flamme de type PERKIN-ELMER, Analyst 100. Avant de procéder au dosage des éléments métalliques dans les échantillons d'eau et pour établir les courbes d'étalonnages, des gammes d'étalonnage sont préparées pour chaque élément (tab. 5).

Tableau 5 : gamme d'étalonnage des métaux lourds étudiés (ANRH, 2015)

| Eléments | Solutions étalons (ppm) | | | | |
|------------------|-------------------------|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Cu, Fe, Mn et Zn | 0,2 | 0,5 | 1,0 | 2,0 | 4,0 |

3. Les paramètres physico-chimiques :

Les données statistiques (minimum, maximum, moyenne, écartype) des paramètres définissant la physico-chimie des eaux du bassin versant Kebir Rhumel sont récapitulées dans le tableau 6.

Tableau 6 : Résultats des paramètres physico-chimiques et des éléments métalliques des eaux du bassin versant Kebir Rhumel

| | Rh1 | Rh2 | Bm1 | Rh3 | Kb1 | En1 |
|--|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| T (°C) | [10-27] 17,36±6,07 | [11-24,5] 17,36±4,96 | [10-22] 16,23±4,25 | [10,5-27] 18,25±6,82 | [7-28,5] 16,80±6,93 | [9-29] 18,77±7,48 |
| pH | [7,01-7,5] 7,29±0,16 | [7,04-7,99] 7,59±0,31 | [7,02-7,75] 7,28±0,20 | [7,04-7,86] 7,33±0,29 | [6,86-7,86] 7,49±0,30 | [7,03-7,96] 7,58±0,27 |
| CE (µS/cm) | [1073-1800] 1570,30±234,8 | [1010-1360] 1177,27±129,6 | [1360-1820] 1620,91±138,9 | [1360-1780] 1677,00±133,1 | [570-2130] 1657,27±431,7 | [330-2000] 1264,55±477,5 |
| Ca (mg/l) | [102,4-174,8] 149,21±19,91 | [29,8-132] 97,22±25,05 | [109,2-166,8] 137,9±19,48 | [40,5-180,4] 142,79±42,06 | [0,838-194] 135,82±58,78 | [0,797-131,4] 91,52-37,95 |
| Mg (mg/l) | [24,07-48] 38,71±7,62 | [7-39] 29,91±8,43 | [30 -46] 40,27±5,46 | [11-75] 41,80±15,89 | [21-62] 47,18±11,74 | [0-47] 33,73±12,78 |
| Cl⁻ (mg/l) | [125-240] 172,5±34,1 | [120-260] 162,24±43,9 | [135-225] 174,55±26,9 | [35-230] 173,00±54,3 | [50-275] 180,45±57,3 | [35-305] 148,18±86,1 |
| SO₄⁻ (mg/l) | [230-364] 305,55±41,3 | [208-292] 236,55±32,7 | [228-336] 279,09±32,7 | [68-512] 309,40±106,2 | [80-470] 361,09±108,9 | [48-346] 258,27±83,5 |
| NO₃⁻ (mg/l) | [0-33] 7,41±10,5 | [0-9] 5,00±2,9 | [0-25] 7,73±9,1 | [4-61] 22,50±17,5 | [5-31] 23,64±8,6 | [0,09-27] 8,28±7,3 |
| Fe (mg/l) | [0,1660-0,9070] 0,4506±0,25 | [0,2270-4,0760] 1,0270±1,35 | [0,0150-3,2510] 0,8524±1,13 | [0,1060-1,1230] 0,5324±0,33 | [0,0110-1,7950] 0,6656±0,63 | [0,0690-0,6200] 0,2920±0,21 |
| Mn (mg/l) | [0,0150-0,1260] 0,0659±0,05 | [0,0150-0,0950] 0,0329±0,03 | [0,0330-0,1520] 0,0950±0,16 | [0,0060-0,1020] 0,0589±0,03 | [0,0020-0,4590] 0,0950±0,16 | [0,0020-0,0350] 0,0154±0,01 |
| Cu (mg/l) | [0,0007-0,0007] 0,0007±0,00 | [0,0007-0,0020] 0,0004±0,00 | [0,0030-0,0050] 0,0017±0,00 | [0,0007-0,0040] 0,0017±0,00 | [0,0020-0,0060] 0,0023±0,00 | [0,0000-0,0000] 0,0000±0,00 |
| Zn (mg/l) | [0,230-0,290] 0,0132±0,02 | [0,0090-0,1280] 0,0553±0,06 | [0,0030-0,2810] 0,0738±0,14 | [0,0030-0,0220] 0,098±0,01 | [0,0010-0,310] 0,0085±0,01 | [0,0007-0,0220] 0,0089±0,01 |

3.1. La température :

La température est un facteur écologique de première importance qui a une grande influence sur les propriétés physico-chimiques des écosystèmes aquatiques (Ramade, 1993 ; Angelier, 2003). C'est une mesure momentanée, en fonction du temps, de l'heure et du lieu de prélèvement. Pour les eaux des oueds du bassin versant Kebir Rhumel, la température minimale est de 7°C relevée au mois de février à la station Rh1 et le maximum est de 29°C relevé au mois de septembre à la station Enj1 (tab. 6, fig. 2). La moyenne pour l'ensemble des stations est de 16,5°C.

La température de l'eau dépend essentiellement de la température du milieu ambiant. Globalement, pour l'ensemble des stations, la température varie peu d'un point de prélèvement à l'autre mais beaucoup d'un mois à l'autre. Elle a tendance à augmenter avec l'évolution des saisons de l'hiver au printemps.

Le réchauffement ou le refroidissement de l'eau peut perturber fortement le milieu. Il peut provoquer une absorption des métaux lourds par les plantes en affectant leurs spéciations (Tadesse et al. 1991) mais peut aussi être un facteur d'accroissement de la productivité biologique (Gaujous, 1995). L'élévation de la température s'accompagne toujours d'une modification de la densité, d'une réduction de la viscosité, d'une augmentation de la tension de vapeur saturante à la surface (évaporation) et d'une augmentation de la solubilité de l'oxygène dont la carence peut conduire à une situation critique se traduisant par une accumulation de déchets tels que : SH_2 , SO_2 , CH_4 , matières organiques. Ainsi, les phénomènes de fermentation sont facilités par l'élévation de température d'où l'apparition d'odeurs nauséabondes dans les cours d'eau (Bremond et Vuichard, 1973). Par ailleurs, les basses températures affectent l'autoépuration des rivières et des cours d'eau car les réactions d'oxydation sont freinées. Les modifications du régime thermique des eaux entraînent d'importantes répercussions écologiques. En outre, la décomposition des matières organiques présentes dans l'eau est accélérée par une élévation de température ; un rejet d'eau chaude dans une rivière pollué par des matières organiques aggrave le déficit en oxygène résultant de cette pollution. Cependant, la longueur du parcours nécessaire à la réalisation du processus d'autoépuration sera réduite (Leynaud, 1976).

Les températures des eaux du bassin versant Kebir Rhumel sont aux alentours de 20°C, donc considérées comme "très bonne" en termes de qualité pour la biologie aquatique (tab.7). En revanche, certaines températures dépassent les 20°C notamment en été.

Ces résultats concordent avec ceux de Sahli (2012), Khaldi et Melghit (2007) et Afri-Mehennaoui et al. (2004). Ces auteurs ont enregistré des températures semblables dans des études réalisées sur le sous bassin de l'oued Rhumel et l'oued Boumerzoug en zone urbaine.

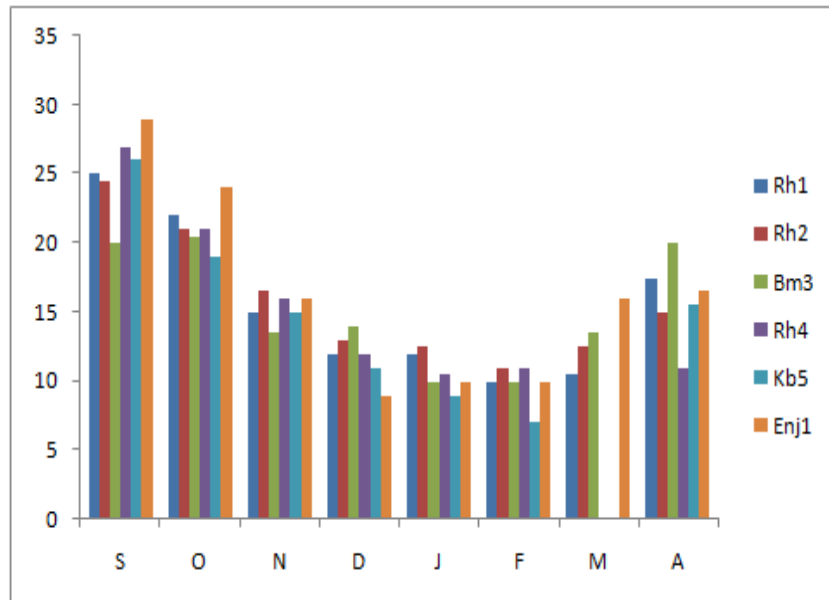


Figure 2 : Variation de la température dans l'espace et dans le temps en (°C)

Tableau 7 : Répartition des stations en fonction des classes de qualité pour la température (SEQ-Eau, 1999).

| Qualité | Très bonne | Bonne | Passable | Mauvaise | Très mauvaise |
|----------|-------------------------------|-------|----------|----------|---------------|
| T (°C) | <20 | 20-25 | 25-30 | 30-35 | >35 |
| Stations | Rh1, Rh2, Bm1, Rh3, Kb1, Enj1 | - | - | - | - |

3.2. Le pH :

Le pH de l'eau mesure la concentration des protons H^+ contenus dans l'eau. Il résume la stabilité de l'équilibre établi entre les différentes formes de l'acide carbonique et il est lié au système tampon développé par les carbonates et les bicarbonates (El Blidi et al. 2003).

Le pH des eaux du bassin versant Kebir Rhumel est faiblement alcalin. Il oscille entre 6,86 et 7,99 (tab. 6, fig. 3). La valeur la plus faible est observée au mois d'octobre à la station Rh1, la plus élevée au mois d'avril à la station Kb1. Le pH moyen pour l'ensemble des stations est aux alentours de 7,42.

Le pH représente le degré d'acidité ou alcalinité du milieu aquatique. D'après Jefries et al. (1998) in Benlatreche et Benslimen (2002), le pH des écosystèmes aquatiques est utilisé comme paramètre substitut pour représenter les relations complexes entre la chimie de l'eau et les effets biologiques. Un pH compris entre 6 et 9 permet un développement à peu près correct de la faune et de la flore aquatique.

D'une manière générale, les eaux des oueds du bassin versant Kebir Rhumel se situent dans la zone d'alcalinité faible (pH= 7,5 à 8) à moyenne (pH=8 à 9) selon la classification de Nisbet et Verneaux (1970). Ceci est sûrement dû à la nature géologique calcaire du lit du dit bassin.

Le pH peut être aussi influencé par d'autres facteurs tel que la température élevée qui conduit au déplacement de l'équilibre calco-carbonique vers la formation de carbonates sous l'effet de la photosynthèse qui provoque une élévation du pH, ce qui expliquerait les valeurs obtenues au mois d'avril à la station Kb1.

Les effets toxiques du pH sur la faune aquatique apparaissent à partir d'une valeur inférieure à 4 et supérieur à 9,5. Le pH conditionne un grand nombre d'équilibre physico-chimique à savoir les équilibres ioniques des métaux lourds en augmentant ou en diminuant leur toxicité. La toxicité de certains métaux décroît avec l'augmentation du pH, simultanément à d'autres paramètres telle que la matière organique (Lock et al. 2000).

Comparativement aux données de la grille du Système d'évaluation de la qualité des cours d'eau (SEQ-Eau, 1999), l'eau du bassin versant Kebir Rhumel est de très bonne qualité pour la vie aquatique (tab. 8). Toutes les valeurs sont aux alentours de 8.

Ces résultats sont comparables à ceux enregistrés par Sahli (2002) et Afri-Mehennaoui et al. (2004) pour l'oued Rhumel et l'oued Boumerzoug en zone urbaine. Sahli (2002) a enregistré un pH allant de 6,81 à 9,3 et Afri-Mehennaoui et al. (2004) ont enregistré le pH de l'ordre de $(8,03 \pm 0,68)$.

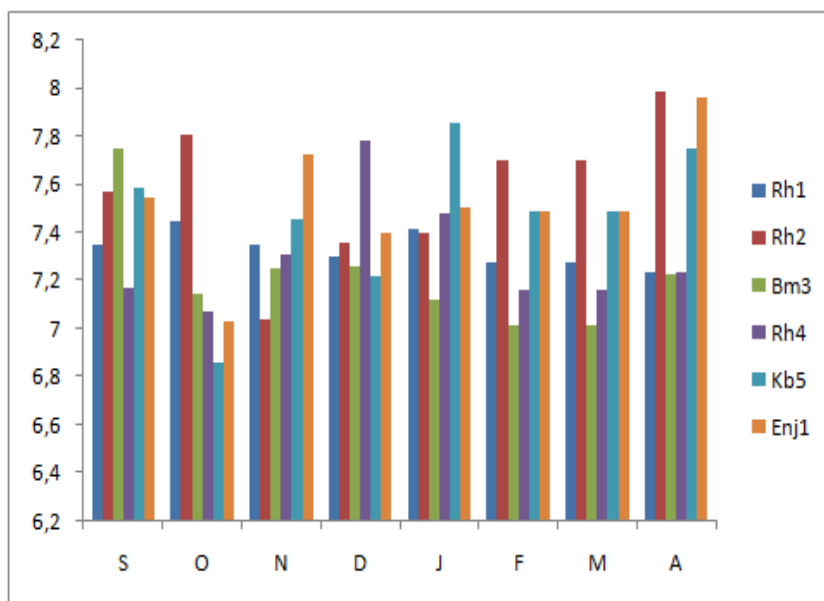


Figure 3 : Variation du pH dans l’espace et dans le temps

Tableau 8 : Répartition des stations en fonction des classes de qualité pour le pH (SEQ-Eau, 1999).

| Qualité | Très bonne | Bonne | Passable | Mauvaise | Très mauvaise |
|----------|-------------------------------|---------|----------|--------------|---------------|
| pH | 6.5-8 | 6.5-8.5 | 6.5-9.2 | <6.5 ou >9,2 | <6.5 ou >9,2 |
| Stations | Rh1, Rh2, Bm1, Rh3, Kb1, Enj1 | - | - | - | - |

3.3. La conductivité électrique (CE) :

La conductivité électrique présente des fluctuations importantes observées essentiellement durant le mois de janvier avec une valeur minimale 330 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans la station Enj1 et une valeur maximale de 2130 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au mois d’août dans la station Rh1, la moyenne pour l’ensemble des stations est de 1170 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (tab. 6, fig. 4).

La mesure de la conductivité électrique permet d’évaluer rapidement mais approximativement la minéralisation globale de l’eau (Rodier, 2005). Elle dépend de la qualité des sels ionisables. Elle constitue une bonne appréciation des concentrations globales de matières en solution dans l’eau. Les eaux des oueds du bassin versant Kebir Rhumel, avec une conductivité électrique moyenne égale à 11170 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sont considérées comme fortement minéralisées selon la classification de Nisbet et Verneaux (1970) ($\text{CE} > 1000 \mu\text{S}/\text{cm}$).

Comparativement aux résultats des travaux précédents (Djeddi Et Laouar, 2001 ; Khaldi et Melghit, 2007, Sahli et al. 2011), nos résultats sont assez semblables. Bien que la CE des eaux du bassin versant Kebir Rhumel soit supérieur à la norme (SEQ-Eau, 1999) qui est de 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (tab. 9) définissant une eau de très bonne qualité à usage agricole, les eaux continuent à être utilisées à des fins domestiques notamment l'irrigation des rivages.

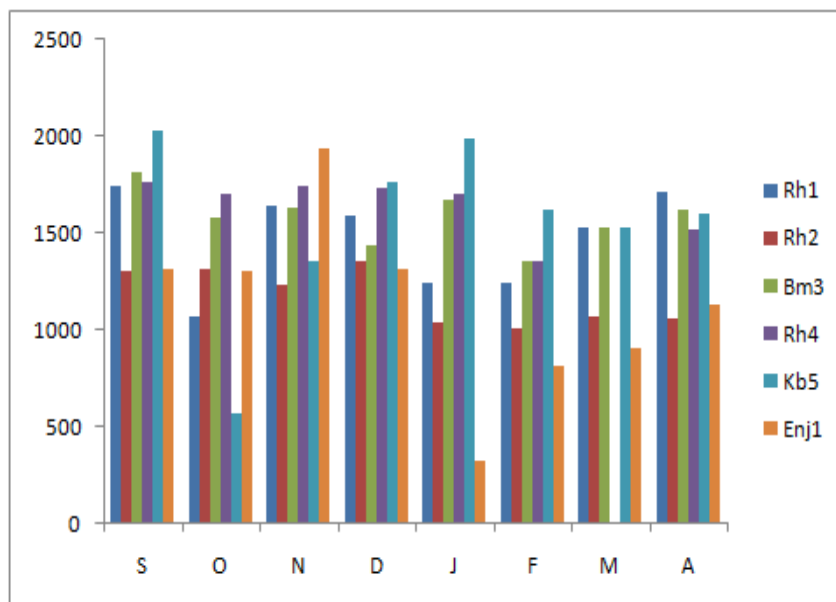


Figure 4 : Variation de la conductivité électrique dans l'espace et dans le temps ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

Tableau 9 : Répartition des stations en fonction des classes de qualité pour la conductivité électrique (SEQ-Eau, 1999).

| Qualité | Très bonne | Bonne | Passable | Mauvaise | Très mauvaise |
|--------------------------------|------------|-----------|--------------------|-----------|---------------|
| CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | <750 | 750-1300 | 1300-2700 | 2700-3000 | >3000 |
| Stations | - | Kb1, Enj1 | Rh1, Rh2, Rh3, Bm1 | - | - |

3.4. Les éléments minéraux majeurs :

3.4.1. Les cations :

a. Le calcium (Ca^{2+}) :

Le calcium existe surtout à l'état de bicarbonates et en quantités moindres sous forme de sulfates, chlorures, etc. (Rodier et al. 2005). La teneur en calcium des biotopes terrestres ou limniques présente une importance écologique majeure (Ramade, 2002).

Les teneurs en calcium sont peu variables d'une station à une autre. La teneur la plus élevée (194 mg/l) est enregistrée au mois de janvier à la station Rh1 et la plus faible (29.8

mg/l) dans la station Kb1 au mois d'aout (tab. 6, fig. 5). La moyenne de 108,045 mg/l pour l'ensemble des stations.

La teneur en ion calcium est liée directement à la nature géologique des terrains traversés par les cours d'eaux (Bremond et Vuichard, 1973).

En comparant nos résultats avec ceux obtenus par (Khaldi et Melghit, 2007), nous remarquons que les eaux du bassin versant Kebir Rhumel gardent presque les mêmes teneurs en calcium.

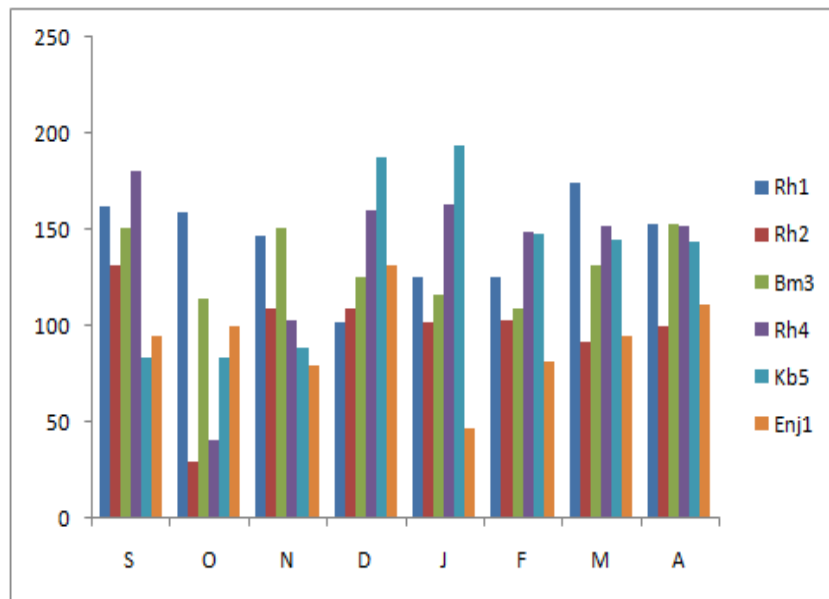


Figure 5 : Variation du taux de calcium dans l'espace et dans le temps (mg/l)

b. Le magnésium (Mg^{2+}) :

Les teneurs en magnésium des eaux du bassin versant Kebir Rhumel sont peu variables (fig. 2). La valeur la plus élevée (75 mg/l) est enregistrée à la station Rh3 au mois de septembre et la valeur la plus faible (7 mg/l) à la station Kb1 au mois d'octobre (tab. 6, fig. 6). La moyenne est de 41 mg/l pour l'ensemble des stations.

Le magnésium est un constituant de nombreux minéraux et roches, en particulier la dolomie (carbonate double de calcium et de magnésium). Il provient également de la dissolution d'autres roches dans les eaux continentales (basalte, magnésites, argiles, etc.). Les eaux magnésiques se forment lorsqu'elles circulent sur des substrats dont les roches sont riches en cet élément (Ramade, 2002). Il contribue à la dureté de l'eau sans être l'élément essentiel. En effet, le rapport Mg/Ca est en général très inférieur à 1 (Bremond et Vuichard, 1973).

En comparant nos résultats avec ceux obtenus par (Khaldi et Melghit, 2007), nous remarquons que les eaux du bassin versant Kebir Rhumel gardent presque les mêmes teneurs en magnésium.

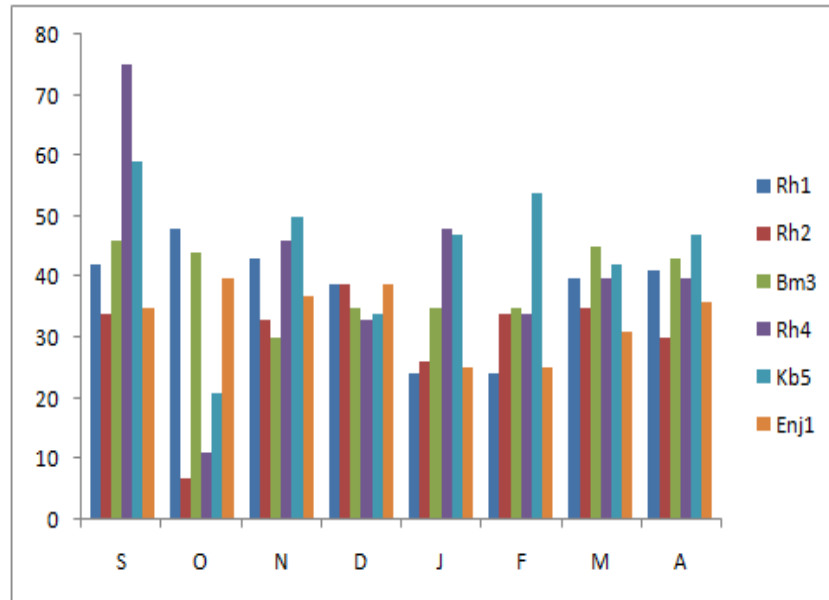


Figure 6 : Variation du taux de magnésium dans l'espace et dans le temps (mg/l)

c. La dureté ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) :

La dureté de l'eau est due aux ions métalliques polyvalents dissous. Dans l'eau douce, les principaux ions responsables de la dureté sont les ions calcium et magnésium. Elle peut influencer directement la mobilité des éléments métalliques en solution. Les phénomènes impliqués sont des réactions de co-précipitation des ions métalliques avec les ions calcium (Ca^{2+}) et/ou magnésium (Mg^{2+}) (Bremond et Vuichard, 1973).

La dureté des eaux du bassin versant Kebir Rhumel présente une variation importante d'une station à l'autre et d'un mois à l'autre (tab. 6, fig. 7). La concentration maximale (255,4 mg/l) est observée au mois de septembre dans la station Rh4 et la concentration minimale (48,5 mg/l) dans la station Rh1 au mois d'avril. La dureté moyenne est de (151,95) mg/l pour l'ensemble des stations.

Les valeurs élevées de la dureté (cas de la station Rh3), peuvent être attribuées soit aux teneurs élevées en calcium (constituant dominant de la dureté) et du magnésium, soit aux divers rejets de la ville de Constantine qui font augmenter la dureté de l'eau. Ainsi, un tel résultat peut nous amener à conclure que les eaux du bassin versant Kebir Rhumel deviennent

dures suite à leur enrichissement en ion calcium et de ce fait, il s'ensuit que ces eaux peuvent diluer toute substance considérée comme étant toxique et diminuer ainsi sa toxicité.

Par ailleurs, Gaujous (1995) souligne que les apports en carbonates de calcium permettent de neutraliser certains milieux acides, et amoindrir la toxicité de nombreux composés tels que les métaux lourds. De ce fait, plus une eau est riche en calcium, plus sa dureté totale est importante et plus l'élimination des substances toxiques seraient facile.

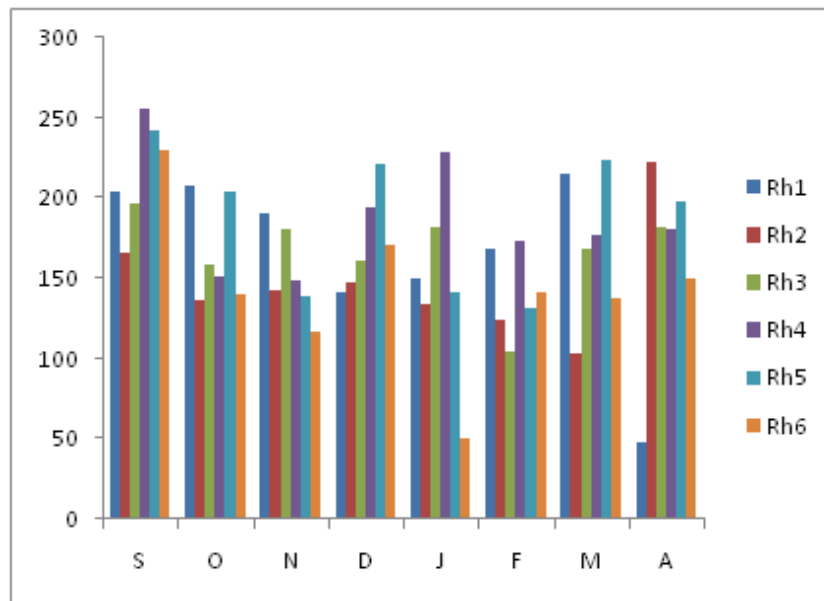


Figure 7 : Variation de la dureté dans l'espace et dans le temps (mg/l)

Tableau 10 : Répartition des stations en fonction des classes de qualité pour la dureté (SEQ-Eau, 1999).

| Qualité | Très bonne | Bonne | Passable | Mauvaise | Très mauvaise |
|--------------------------------|------------|-------|----------|----------------|---------------|
| CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | 50 | 70 | 90 | 125 | - |
| Stations | Rh1 | - | Rh2, Rh3 | Bm1, Kb1, Enj1 | - |

3.4.2. Les anions :

a. Les chlorures (Cl⁻) :

Les chlorures sont 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 (Santé Canada, 2008). Ils sont présents à l'état naturel dans les eaux de surface en raison de l'altération météorique et la lixiviation des roches sédimentaires et des sols, ainsi que de la dissolution des dépôts de sel. Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution. Les concentrations relevées pour les eaux du bassin versant Kebir Rhumel s'échelonnent entre (305 mg/l) au mois d'aout à la station Enj1 et (35 mg/l) enregistré à la même station au mois de janvier (tab. 6, fig. 8). La teneur moyenne des chlorures est de 172,5 mg/l pour l'ensemble des stations.

Pour toute la période d'étude, les chlorures enregistrent des teneurs moyennes inférieurs à 200 mg/l (tab. 11). Ainsi, les eaux du bassin versant Kebir Rhumel sont d'une très bonne qualité.

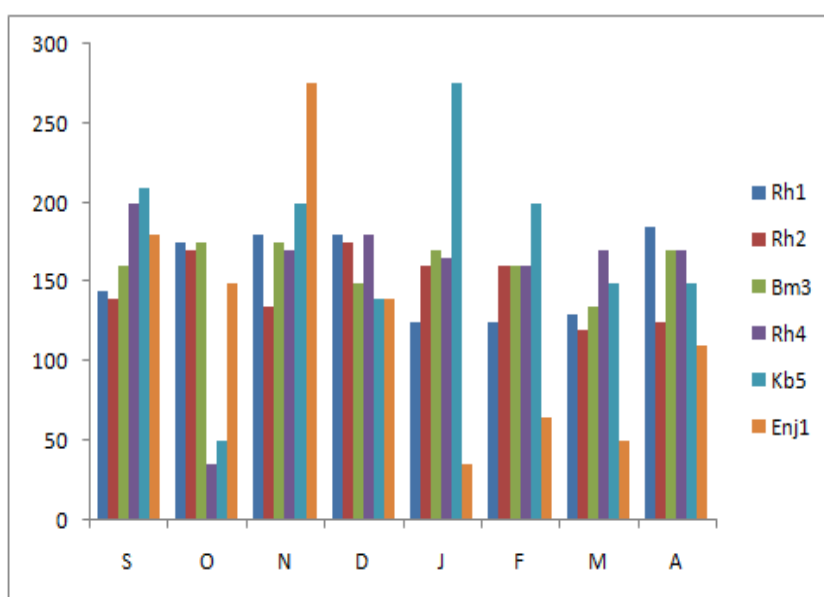


Figure 8 : Variation du taux des chlorures dans l'espace et dans le temps (mg/l)

Tableau 11 : Répartition des stations en fonction des classes de qualité pour les chlorures (SEQ-Eau, 1999).

| Qualité | Très bonne | Bonne | Passable | Mauvaise | Très mauvaise |
|-----------------|-------------------------------|---------|----------|----------|---------------|
| Cl ⁻ | <200 | 200-300 | 300-750 | 750-1000 | >1000 |
| Stations | Rh1, Rh2, Bm1, Rh3, Kb1, Enj1 | - | - | - | - |

b. Les sulfates (SO_4^{2-}) :

Les sulfates, composés naturels des eaux, sont liés aux cations majeurs : calcium, potassium et sodium (Bremond et Vuichard, 1973).

Les sulfates dans les eaux du bassin versant Kebir Rhumel, présentent des teneurs très variables d'une période à l'autre (tab. 6, fig. 9). La teneur minimale en sulfates (48 mg/l) a été enregistrée au mois de janvier à la station Enj1, la teneur maximale (512 mg/l) a été enregistrée au mois de janvier à la station Enj1, la teneur maximale (512 mg/l) a été enregistrée au mois de septembre à la station Rh3 et la teneur moyenne est de 280 mg/l.

Les eaux du bassin versant Kebir Rhumel présentent une teneur largement élevée enregistré au mois de septembre dans la station Rh3. Cette teneur peut être due à la fois aux divers rejets de la ville de Constantine et au lessivage des terrains traversés. Cet état des lieux peut être attribué à un phénomène de dissolution des roches évaporitiques du Trias et du Miocène qui renferment des sulfates de calcium, de magnésium ou de strontium (Farah, 1991).

Comparativement aux données de la grille du Système d'évaluation de la qualité des cours d'eau (SEQ-Eau, 1999), les eaux du bassin versant Kebir Rhumel sont d'une qualité passable (Kb1) à mauvaise (Rh1, Rh2, Rh3, Bm1, Enj1), (tab. 12)

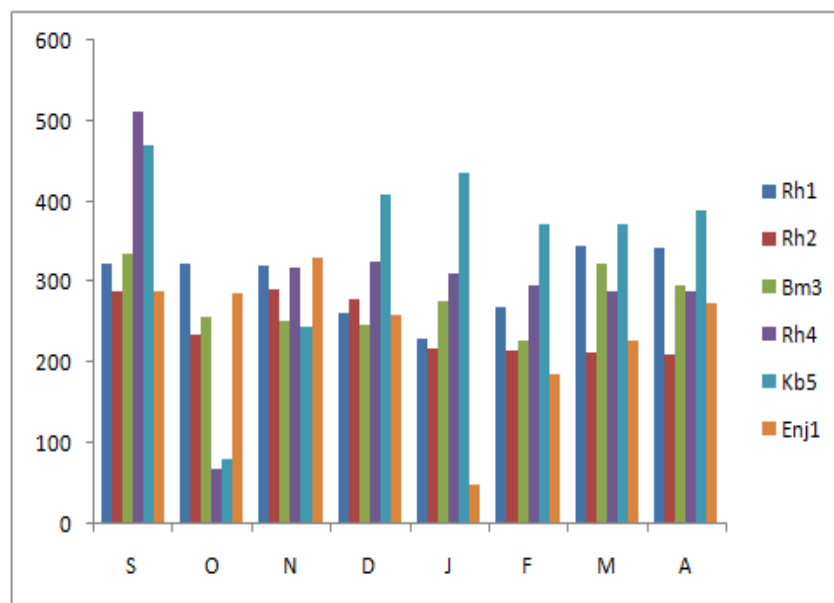


Figure 9 : Variation du taux des sulfates dans l'espace et dans le temps (mg/l)

Tableau 12 : Répartition des stations en fonction des classes de qualité pour les sulfates (SEQ-Eau, 1999).

| Qualité | Très bonne | Bonne | Passable | Mauvaise | Très mauvaise |
|-------------------------------|------------|---------|----------|--------------------------------|---------------|
| SO ₄ ²⁻ | <100 | 100-200 | 200-250 | 250-400 | >400 |
| Stations | - | - | Kb1 | Rh1, Rh2, Rh3, Bm1, Enj1 | - |

3.5. Les nitrate (NO₃⁻) :

Les nitrates existent à l'état naturel, dans les sols, les eaux tant de surface que souterraines. Ils proviennent de la décomposition naturelle, par des microorganismes, des matières organiques azotées telles que les protéines des végétaux, des animaux et les excréta d'animaux. Ils parviennent ainsi aux rivières par les nappes d'eau souterraines et par le ruissellement des engrais agricoles en hiver.

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote organique. Leur présence dans une eau polluée atteste que le processus d'autoépuration a déjà joué. En général, les eaux de surface ne sont pas chargées en nitrates à plus de 10 mg/l NO₃ (O.M.S, 1980). Bontoux et al. (1979) admettent des teneurs naturelles en nitrates dans les rivières de l'ordre de 3 mg/l NO₃. Les teneurs enregistrées dans les eaux du bassin versant Kebir Rhumel sont largement supérieures à ces limites. La valeur maximale en nitrates (61 mg/l) est relevée à la station Rh3 au mois de septembre, et la valeur la plus faible (1 mg/l) à la station Enj1 au mois d'octobre (tab. 6, fig. 10). Un tel état des lieux peut être dû au lessivage des sols. En effet, les eaux de pluies peuvent contenir des nitrates en provenance des oxydes d'azote et d'ammoniac présents dans l'atmosphère (RODIER et al. 2005). Aussi, les nitrates peuvent avoir comme origine des engrais azotés utilisés en agriculture.

Comparativement aux données de la grille du Système d'évaluation de la qualité des cours d'eau (SEQ-Eau, 1999), les eaux du bassin versant Kebir Rhumel sont d'une qualité bonne à très bonne (tab13).

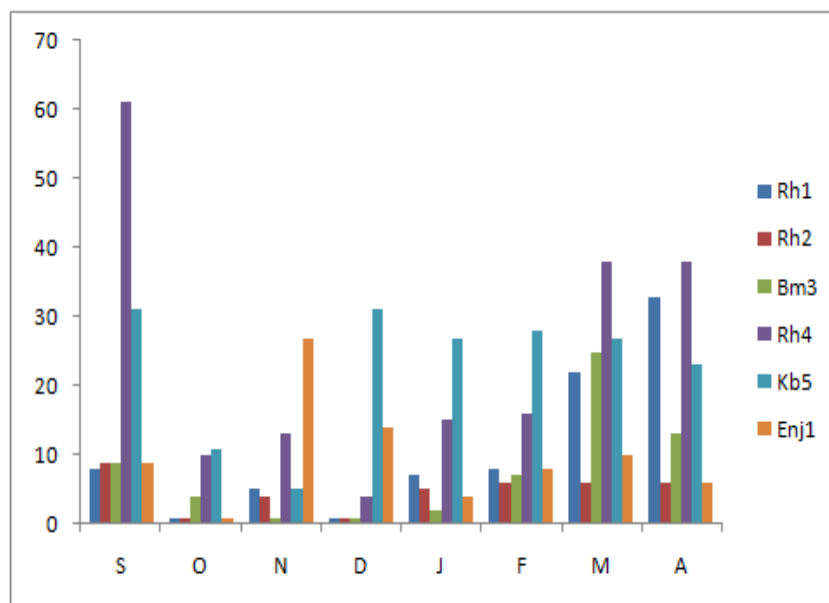


Figure 10 : Variation des teneurs en nitrates dans l'espace et dans le temps (mg/l)

Tableau 13 : Répartition des stations en fonction des classes de qualité pour les nitrates (SEQ-Eau, 1999).

| Qualité | Très bonne | Bonne | Passable | Mauvaise | Très mauvaise |
|------------------------------|---------------------|----------|----------|----------|---------------|
| NO ₃ ⁻ | <10 | 10-25 | 25-50 | >50 | - |
| Stations | Rh2, Bm1, Kb1, Enj1 | Rh1, Rh3 | - | - | - |

3.6. Les métaux lourds :

3.6.1. Le cuivre (Cu) :

Les teneurs en cuivre des eaux du bassin versant Kebir Rhumel sont variables d'une station à une autre (tab. 6, fig. 11). La valeur maximale (0,0060 mg/l) est enregistrée à la station Kb1 au mois de novembre, la valeur minimale (0,0007 mg/l) est enregistrée à la station Rh1 au mois de décembre, et la moyenne est de 0.0016 mg/l.

Le cuivre se trouve naturellement dans les eaux de surface à de très faibles concentrations (<0,05 mg/l).

Les résultats obtenus pour le cuivre montrent que la teneur relevée au mois de novembre à la station (Kb1) est la plus élevée. Ceci peut être dû aux divers rejets diffus de la ville de Constantine. Un tel résultat peut aussi être attribué au lessivage des terrains traversés. Les eaux du bassin versant Kebir Rhumel sont caractérisées par un degré de dureté assez important. Bremond et Vuichard (1973) soulignent qu'en présence d'eau dure, une grande

partie du cuivre sera précipité sous forme de composés insolubles et en particulier de carbonates.

Selon la grille SEQ-Eau (1999) d'évaluation de la qualité de l'eau, les eaux du bassin versant Kebir Rhumel sont d'une très bonne qualité vis-à-vis de la teneur en cuivre ($<0.02 \mu\text{g/l}$), (tab. 14).

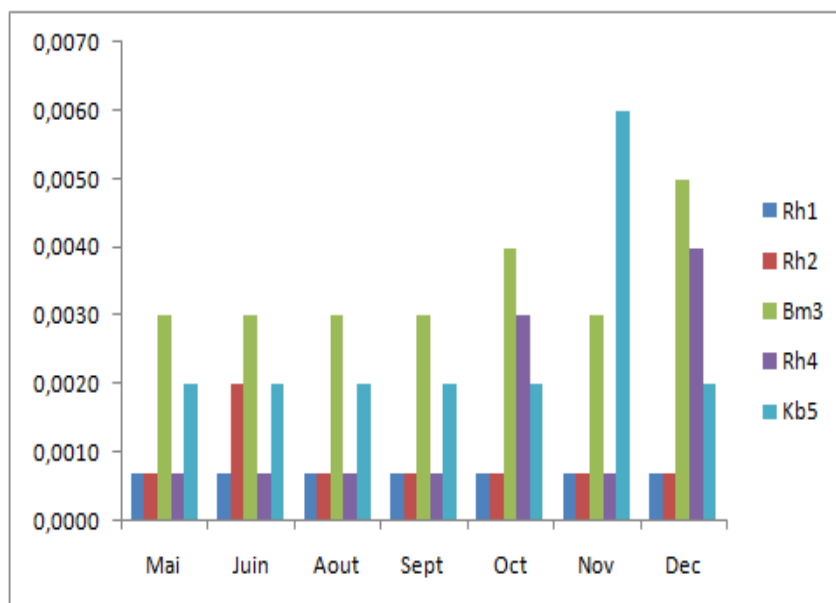


Figure 11 : Variation des teneurs en cuivre dans l'espace et dans le temps (mg/l)

Tableau 14 : Répartition des stations en fonction des classes de qualité pour le cuivre (SEQ-Eau, 1999).

| Qualité | Très bonne | Bonne | Passable | Mauvaise | Très mauvaise |
|-----------|-------------------------------|---------|----------|----------|---------------|
| Cu (mg/L) | <0.02 | 0.2-0.5 | 0.5-1 | >1 | - |
| Stations | Rh1, Rh2, Bm1, Rh3, Kb1, Enj1 | - | - | - | - |

3.6.2. Le Fer (Fe) :

Le fer dans les eaux superficielles peut avoir une origine tellurique, le plus souvent il provient du lessivage des terrains et de pollutions minières ou métallurgiques (Bremond et Vuichard, 1973).

Les teneurs en fer des eaux du bassin versant Kebir Rhumel sont très variables d'une station à une autre (tab. 6, fig. 12). La valeur maximale (4,076 mg/l) est enregistrée à la station Rh2 au mois de juin, la valeur minimale (0,0110 mg/l) est enregistrée à la station Kb1 au mois d'aout, et la moyenne est de 0.6366 mg/l.

Selon la grille SEQ-Eau (1999) d'évaluation de la qualité de l'eau, les eaux du bassin versant Kebir Rhumel sont d'une qualité passable (Rh2), bonne (Bm1, Rh3, Kb1) à très bonne (Rh1, Enj1) vis-à-vis de la teneur en fer (tab. 15).

Les teneurs relevées pourraient sans aucun doute révéler un cas de pollution temporaire par le fer des eaux, dû à des rejets industriels et/ou urbains.

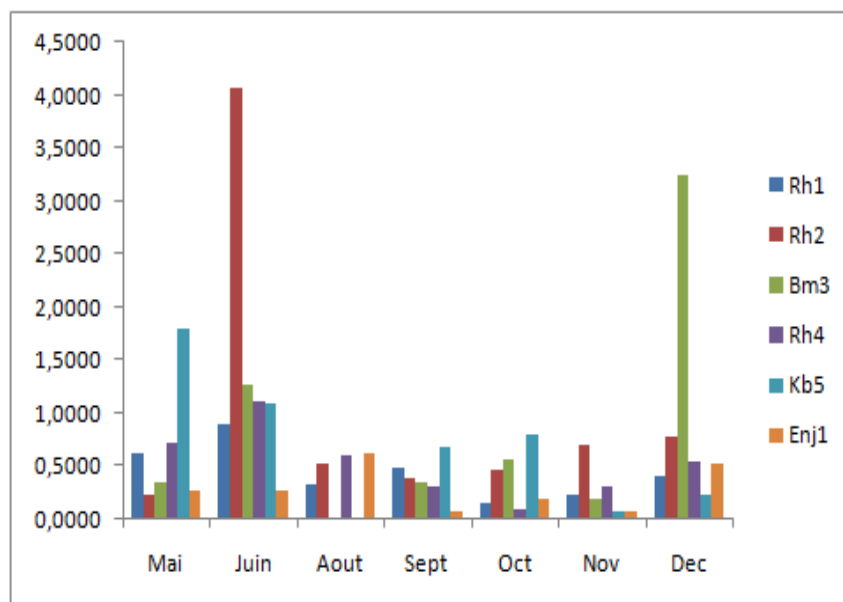


Figure 12 : Variation des teneurs en fer dans l'espace et dans le temps (mg/l)

Tableau 15 : Répartition des stations en fonction des classes de qualité pour le fer (SEQ-Eau, 1999).

| Qualité | Très bonne | Bonne | Passable | Mauvaise | Très mauvaise |
|-----------|------------|---------------|----------|----------|---------------|
| Fe (mg/L) | ≤0.5 | 0.5-1 | 1-2 | 2-5 | >5 |
| Stations | Rh1, Enj1 | Bm1, Rh3, Kb1 | Rh2 | - | - |

3.6.3. Le manganèse (Mn) :

Le manganèse est l'élément le plus abondant dans la nature après le fer (Mathis and Cummings, 1973). Dans les eaux superficielles, le manganèse se rencontre généralement sous sa forme trivalente (Bremond et Vuichard, 1973). Sa présence est souvent liée à la nature lithologique du bassin.

Les teneurs en manganèse du bassin versant Kebir Rhumel varient d'une station à une autre et d'un mois à l'autre. Le maximum (0,45 mg/l) est enregistré au mois d'octobre à la station Kb1, le minimum (0,002 mg/l) au mois de septembre à la même station, et la moyenne est de 0.060 mg/l pour l'ensemble des stations et campagnes de prélèvements (tab. 6, fig. 13).

Selon la grille d'appréciation de la qualité générale de l'eau (tab. 16), les eaux des six stations sont en général, de très bonne qualité par rapport à la teneur en manganèse ($[Mn] < 0,1$ ppm).

Globalement, les teneurs en manganèse ne révèlent aucun cas de pollution. En effet, en milieu aquatique, cet se lie généralement à des particules en suspension et finit par se déposer dans les sédiments.

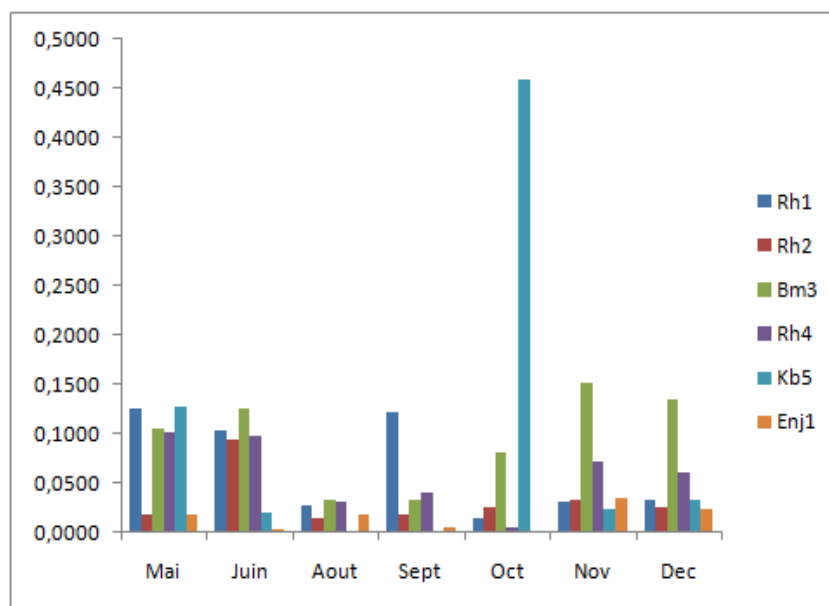


Figure 13 : Variation des teneurs en manganèse dans l'espace et dans le temps (mg/l)

Tableau 16 : Répartition des stations en fonction des classes de qualité pour le manganèse (SEQ-Eau, 1999).

| Qualité | Très bonne | Bonne | Passable | Mauvaise | Très mauvaise |
|-----------|-------------------------------|---------|----------|----------|---------------|
| Mn (mg/L) | $\leq 0,1$ | 0,1-0,5 | 0,5-1 | > 1 | - |
| Stations | Rh1, Rh2, Bm1, Rh3, Kb1, Enj1 | - | - | - | - |

3.6.4. Le zinc (Zn) :

La teneur en zinc est très variable d'une station à une autre et d'un mois à l'autre. La teneur maximale (0,28 mg/l) est enregistrée au mois de décembre au niveau de la station Bm1 et la valeur minimale (0,0007 mg/l) est enregistrée au mois d'aout à la station Enj1 (tab. 6, fig. 14).

Globalement, les teneurs en zinc n'indiquent aucun cas de pollution. Cela, pourrait être attribué au fait que les ions du zinc se déposent généralement sur des particules en suspension pour se trouver au niveau des sédiments.

Selon la grille d'appréciation de la qualité générale de l'eau (tab. 17), les eaux des six stations sont d'une très bonne qualité par rapport à la teneur en zinc ($[Zn] < 0,5$ ppm).

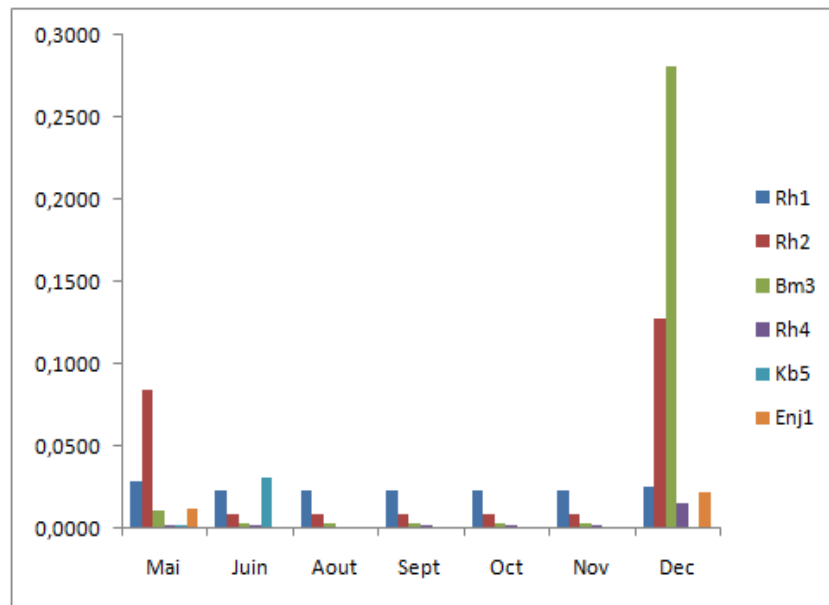


Figure 14 : Variation des teneurs en zinc dans l'espace et dans le temps (mg/l)

Tableau 17 : Répartition des stations en fonction des classes de qualité pour le zinc (SEQ-Eau, 1999).

| Qualité | Très bonne | Bonne | Passable | Mauvaise | Très mauvaise |
|-----------|-------------------------------|-------|----------|----------|---------------|
| Zn (mg/L) | ≤0.5 | 0.5-1 | 1-5 | >5 | - |
| Stations | Rh1, Rh2, Bm1, Rh3, Kb1, Enj1 | - | - | - | - |

Conclusion

Le bassin versant Kebir Rhumel, une des sources en eau les plus importantes dans le Constantinois, est soumis à des pressions démographiques et industrielles très importantes. La mise en service du barrage de Beni Haroun a permis de constituer une réserve d'eau qu'il faut absolument préserver pour l'avenir.

L'étude réalisée sur le bassin versant Kebir Rhumel a mis en évidence les dangers des rejets diffus d'origine domestique et industrielle sur la qualité physico-chimique.

La réalisation des stations d'épuration d'Ibn Ziad et de oued Athmania n'a pas été suffisante pour résoudre certains problèmes de la pollution des eaux. Il s'ensuit que la qualité de l'eau est devenue de plus en plus médiocre voire mauvaise. Les eaux usées sont collectées et traitées au niveau des STEP et malgré cela, les rejets diffus sont encore responsable de toute sorte de pollution des milieux aquatiques.

En effet, l'ensemble des paramètres analysés, a relevé des cas de perturbations et d'altérations qui ont été traduites par une nette évolution des paramètres physico-chimiques ; la température de l'eau qui est saisonnière, le pH à tendance alcaline, une CE qui est généralement élevée, traduisant par conséquent une minéralisation excessive, des éléments minéraux majeurs ; dont les teneurs en cations (Ca, Mg et Na) et en anions (Cl, SO₄) traduisant une salinité importante, la dureté souvent élevée vu la nature lithologique du bassin versant Rhumel. Calcite magnésienne et dolomite, silicates et alumino-silicates, sulfates et chlorures magnésiens, et une augmentation de teneurs en composés azotés (nitrates) suite au lessivage des sols fertilisés par des engrais dont les teneurs en ammonium profitent une qualité médiocre aux eaux analysées. L'ensemble de ces paramètres révèlent une pollution organique excessive des eaux du bassin versant Kebir Rhumel.

Le dosage des quatre métaux lourds dissous (Fe, Cu, Mn et Zn) n'a pas rendu compte de la pollution métallique, du fait que les métaux se lient aux particules en suspension et finissent par se déposer dans les sédiments.

Par ailleurs, la couverture analytique d'un cycle de moins d'un an à raison d'un prélèvement par mois, nous permet de conclure que :

-la pollution organique des eaux du bassin versant Kebir Rhumel devient de plus en plus alarmante avec un degré de pollution importante.

-La contamination métallique reste invisible, suite à la sédimentation des métaux lourds dosés.

Perspectives

Les résultats obtenus dans cette étude ont abouti à plusieurs conclusions qui ouvrent de multiples pistes et perspectives pour les études futures notamment celles en relations avec le rôle des stations d'épuration et leurs capacités de traitement. En effet, le traitement des eaux usées de la ville de Constantine, important agglomération, ainsi que celui des eaux des agglomérations voisines est essentiel pour mettre en valeur l'effet des STEP.

Ainsi certaines questions pourraient faire l'objet de thème de recherche pour des travaux ultérieurs :

- Quel serait l'impact des STEP, si leur capacité de traitement des eaux usées augmente par une maîtrise des collectes ?
- Aussi il serait intéressant d'intensifier les analyses physico-chimiques en incluant de nouveaux paramètres tels que la détermination des teneurs en hydrocarbures et les produits pharmaceutiques qui pourraient causer des sérieux problèmes dans le réseau fluvial.
- Enfin, il est impératif de poursuivre les investigations dans ce domaine pour pouvoir prendre les mesures adéquates vis-à-vis de la pollution des écosystèmes aquatiques.

Références bibliographiques

- A.B.H., 2004 – Le bassin du Kebir rhumel, Agence de Bassin hydrographique Constantinois-Seybousse-Mellegue. Les cahiers de l'agence, n°8, 44 p.
- A.B.H., 2005-Qualité des eaux superficielles dans les bassins hydrographiques Constantinois-Seybousse-Mellegue. 1998-2003.octobre 2005, 48 p.
- Abdellaoui A., 1990. Contribution à l'étude de la pollution des cours d'eau marocains par les métaux lourds : cas de l'oued Boufekrane », Thèse de 3^{ème} cycle, Université Moulay Ismaïl, Meknès. 258p.
- Afri-Mehennaoui F.Z., 1980 – Contribution à la caractérisation physico-chimique et biologique de l'oued Rhumel et oued Kebir.Mém en Ecologie. Univ. De Constantine, 83p.
- Afri-Mehennaoui F.Z et Pauwels J.M, 1983 – Teneurs physico-chimique et présence de diatomées dans l'oued Rhumel. Mém. De la Sc. D'Hist, Nat de l'Afrique du Nord ; 13 : 131-144, page 3,4.
- AFNOR, 1953. Essais des eaux. Mesure électrochimique du pH avec l'électrode de verre. NF-T90-008 (Avril, 1953).
- AFNOR, 1972. Essais des eaux. Détermination des matières en suspension. NF T 90 – 105p.
- AFNOR, 1975. Essais des eaux. Table de solubilité de l'oxygène dans l'eau. NF T 90-032, 6p.
- Agence du bassin hydrographique Constantinois- Seybousse- Mellegue, 2002. Cahiers de l'A.B.H.- C.S.M. n°5.
- Agence du bassin hydrographique Constantinois- Seybousse- Mellegue, 1999. Cahiers de l'A.B.H.- C.S.M. n°02.
- Allaway B et Ayres D.C., 1997 – Chemical principals of environmental pollution. Chapman et Hall Eds, 395 p.
- Angeli N., 1980 – Interactions entre la qualité des eaux et les éléments de son plancton, 97-146. In : PESSON P. ; Pollution des eaux continentales : incidence sur les biocénoses aquatiques. Ed. GAUTHIER – VILLARS, Paris, 345 p.
- Angelier E., 2003 - Ecologie des eaux courantes. Ed. Technique et documentation. Lavoisier, Paris. 199 p.
- Belaidi et Mecheri H., 2010. Evaluation du niveau de contamination par les éléments traces métalliques (Cr, Cd et Pb) du compartiment sédimentaire de l'Oued Rhumel (de l'amont de Bellaa jusqu'à l'amont du barrage Beni Haroun). Mémoire d'ingénieur en Ecologie et environnement. Université Mentouri, Constantine. 77p.
- Benlatreche M .C. et Benslimen S., 2002 – Evaluation du niveau de pollution organique et métallique (Zn, Cu et Ni) dans l'oued Rhumel et son affluent oued Boumerzoug en zone

urbaine (Constantine). Mém. D'ingénieur d'état en Ecologie et Environnement. Univ.de Constantine, 101 p.

Blanchard J M., Popescu M., Carre J., 1998 – Analyse et traitement physico-chimique des rejets atmosphériques industries. Emissions, fumées, odeurs et poussières. Ed. Technique et documentation. Lavoisier, INSA. Paris. 854 p.

Bontoux J., Reboul A., Lesouef M., 1979 – Cycle et bilan de l'azote en rivière. Comptes-rendus des troisièmes journées scientifiques et techniques : L'eau, La recherche et l'environnement, Limoges, (10-12 oct), 185-203.

Bouhouhou H. et Meghraoui S., 1997 – Contribution à l'évaluation de la pollution des eaux du Rhumel et du Bumerzoug en zone urbaine (physico-chimique et macro invertébrés). Mém. D'ing. D'état en Ecologie et Environnement. Univ de Constantine. 86 p.

Bremond R. et Vuichard R., 1973 – Les paramètres de la qualité des eaux. Ed. La documentation française, Paris, 173 p.

Bremond R., Perrodon C. (1979). Paramètres de la qualité des eaux.

Ministère de l'environnement et cadre de vie. Prévention des pollutions. 2ème éd: 259 p.

Cabridenc R., 1980 – La pollution des eaux par les détergents, 43 – 59, In : PESSON P., La pollution des eaux continentales : incidence sur les biocénoses aquatiques. Ed. GAUTHIER – VILLARS, Paris, 345 p.

Cosson R. P., 1987. Influence des pratiques agricoles sur la contamination des écosystèmes aquatiques par les métaux lourds : approche écotoxicologique. Thèse de doctorat en Sciences naturelles. Université de Paris Sud. Centre d'Orsay. 275p.

Desbordes A., 2000. Pollutions des eaux souterraines en Picardie. Mém. Maitrise BG. Fac. Sciences. Amiens. 50 p + annexes.

Devauchelles N., 2002. Bilan de santé des organismes et des écosystèmes marins. Quels signaux biologiques mesurer. Ifermer. <http://archimer.ifermer.fr/doc/00000/4195>.

Djeddi H. et Laaouar H., 2001 – Pollution métallique et qualité biologique par les macros invertébrées de l'oued Rhumel dans la zone de Constantine. Mém. D'ingénieur d'état en Ecologie et Environnement. Univ de Constantine, 100 p.

Dobbs A J. and Zabel T F., 1994 – Water quality control. In rivers Handbook. hydrological and ecological principals. Edit. By P. Calaw and Geoffrey E. Petts, Vol II, 321 – 336.

Eckenfelder W., 1982 – Gestion des eaux usées urbaines et industrielles. Technique et documentation. Ed. Lavoisier, Paris, 503 p.

Farah A S., 1991 – Etude du comportement hydrochimique d'un oued en zone méditerranéenne semi-aride d'Afrique du Nord et de ses causes naturelles et anthropiques :

- l'oued Rhumel, Constantine, Algérie. Thèse de Doctorat en Géologie Appliqué (Hydrogéologie). Université d'Orléans, 217 p.
- Gaid A., 1984 - Epuration biologique des eaux usées urbaines, Tome I O.P.U, Alger, 261 p.
- Gaujous D., 1995 – La pollution des milieux aquatiques : aide mémoire. Technique et documentation. Ed. Lavoisier, Paris, 220 p.
- INFO – TOX, 1999 – La disponibilité des métaux dangereux : un défi pour la toxicologie, Dispersion des métaux dans les écosystèmes. 3 p.
- JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE, 1993 – n° 46, Juillet 1993.
- Kaldi, F Z. et Melghit T, M. 2007 – Qualité physico-chimique, pollution organique et contamination métallique (Fe, Cu, Mn et Zn) des eaux des barrages Hammam Grouz, Beni Haroun et l'oued Rhumel. Mémoire d'ingénieur d'état en Ecologie et Environnement, univ de Constantine, 112 p.
- Kemmer F N., 1984- Manuel de l'eau. Technique et documentation. Lavoisier. Paris, 930 p.
- Lemoine j. et Blanc A. Traité de physique générale et expérimentale, Eyrolles L, Editeur Paris 1933 Tome I, p 338
- Leynaud G., et Verrel J. L, 1980- Modification du milieu aquatique sous l'influence des pollutions, 1-28. In : Pesson P., La pollution des eaux continentales ; incidence sur les biocénoses aquatiques. GAUTHIER-VILLARS Ed. , Paris, 345 p.
- Leynaud G., 1976 – Effets des toxiques des pollutions sur la faune piscicole, 135 – 148. In Pesson., La pollution des eaux continentales ; incidence sur les biocénoses aquatiques. GAUTHIER – VILLARS. Ed. , Paris, 345 p.
- Loi Canadienne sur la Protection de l'Environnement (LCPE). , 1999 – Rejets des fonderies de cuivre et affineries de zinc. Liste des substances d'intérêts prioritaires. Rapport d'évaluation. Environnement Canada, santé Canada, 190 p.
- Loup J P., 1974 – Les eaux terrestres. Collection dirigée par Jean Pelletier. MASSON et Cie. Paris Ive 1974. 8 -14 p.
- Masson J P., 1988 – Suivi de la qualité des eaux superficielle : l'expérience française. In : La qualité delle acqua superficial : Criteria per una metodologia omogenea di valutazione, atti del convegno interazione. Palazzo del Congressi. , (28-29 Aprile), 99 – 110.
- Mathis B J. and Cummings T T., 1973 – Selected metals in sediments, water and biota of Illinois River. JWPCF, 45, 1573-1583.
- Mebarki A., 1982 – Le bassin du Kebir – Rhumel (Algérie). Hydrologie de surface et aménagement des ressources en eau. Thèse de doctorat de 3^{ème} cycle. Nancy II, 304 p.

- Mehennaoui-Afri F. Z., 1998 – Contribution à l'étude physico-chimique et biologique de l'oued Kébir-Rhumel et de ses principaux affluents. Thèse de magister en Ecologie. Université de Constantine. 238 p.
- Meinck F., Stooff H., Kohlschütter H., 1977 – Les eaux résiduaires industrielles. Ed. MASSON, Paris- New York- Barcelone-Milan, 863 p.
- Meybeck M., 1998 – Surface water quality : Global assessment and perspectives. In : International conference on world water resources at the beginning of the 21st century (UNESCO, Paris, 3-6 June 1996). Ed. Zebidi-UNESCO. Paris, 173 – 185.
- Nisbet M et Verneaux J., 1970 – Composantes chimiques des eaux courantes ; discussion et proposition de classes en tant que base d'interprétation des analyses chimiques. Ann de Limnologie. Tome 6, n°2 ; 161-190.
- Nollet P., 1996 – Problèmes d'environnement. Dires d'experts. Ed. Technique et documentation. Lavoisier, Paris, 288 p.
- Nriagu J. O., 1990. Global metal pollution: Poisoning the biosphere, Environment. 32, 7-11, 28-33
- Peres J M., 1976 – Pollution des eaux marines. Ed. GAUTHIER – VILLARS.
- Perrono P., 1999. Les micropolluants métalliques et les sols amendés par des boues résiduaires urbaines. <http://www.u-picardie.fr/beauchamp/perrono.htm>.
- Ramade F., 1993- Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. Ed. Science international, Paris, 822 p.
- Ramade F., 2002. Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. 2^{ème} Ed. DUNOD. Paris. 1075 pp.
- Rodier J., 1996 – Analyse de l'eau ; Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer. Ed. DUNOD BORDAS, Paris, 7^{ème} édition, 1365 p.
- Rodier J., Bazin C., Broutin J P., Champsaur H. et Rodi L., 2005- L'analyse de l'eau, Eaux résiduaires, Eaux de mer. 8^{ème} édition. DUNOD. Paris, 1383 p.
- Rodolph P., 1990 – Le grand livre de l'eau, la manufacture, cité des sciences. Paris, 160-370.
- Sahli L., 2002 – Evaluation du niveau de contamination par le cadmium, le chrome, le plomb et le manganèse dans les sédiments, les macro-invertébrés et une plante aquatique (*Roripa nasturium aquaticum*) dans l'oued Rhumel et son affluent l'oued Boumerzoug en zone urbaine. Thèse de magister en écologie. Université de Constantine, 126 p.
- Sahli L., Afri-Mehennaoui F. Z., El-Haddef El-Okki M., Féraud J. F. et Mehennaoui S., 2011. Assessment of sediment quality and pore water ecotoxicity in KebirRhumel basin (NE-Algeria) a combined approach. Water Science and Technology. 64-8, 1759-1766.

SENAT, 2009. La pollution de la Méditerranée : état et perspectives à l'horizon 2030. Rapport n°652 par Roland Courteau. Sur WWW.Senat.fr/rap/r10-652/html.

Tadesse W., SHUFORD J W., Taulor R W., Adriano D G and Sajwan K S., 1991- Comparative availability to wheat of metals from sewage and organic salts. 55, 397 – 408.

Verneaux J., 1973 – Cours d'eau de Franche-comté (massif du Jura). Recherches écologiques sur le réseau hydrographique du Doubs Essais de biotypologie. Thèse de Doctorat en Science Naturelles, Université de Besançon. 257 p.

Wetzel R G., 1983 – Limnology.Ed. Saunders College Publishing. 2nd Ed. , USA. 767 p.

Zeriref N., 2008.Evaluation du niveau de contamination par les ETM (en particulier le Cr), des effluents détoxiqués du CPG, des eaux traitées de la STEP, du sol de l'aire de stockage, des boues d'épuration et d'hydroxydes, ainsi que des sédiments des oueds SakietRoum et Rhumel, en amont et aval de l'ENMTP d'Ain Smara, Constantine. Mémoire d'Ingéniorat en Ecologie et Environnement. Univ. Mentouri, Constantine, 137p.

Résultats

Tableau 19 : Résultats des mesures des températures (°C)

| mois \ station | S | o | N | D | J | F | M | A |
|----------------|------|------|------|----|------|-----|-----|------|
| Rh1 | 25 | 22 | 15 | 12 | 10 | 13 | 13 | 20 |
| Rh2 | 24,5 | 21 | 16,5 | 13 | 11,5 | 10 | 6,5 | 12 |
| Bm1 | 20 | 20,5 | 13,5 | 14 | 7 | 11 | 10 | 15 |
| Rh3 | 27 | 21 | 16 | 12 | 5,5 | 7,5 | 8 | 15,5 |
| Kb1 | 26 | 19 | 15 | 11 | 8,5 | 8 | 12 | 10 |
| Enj | 28 | 24 | 16 | 9 | 12 | 13 | 13 | 21 |

Tableau 20 : résultats des analyses du pH

| mois \ station | S | o | N | D | J | F | M | A |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Rh1 | 7,35 | 7,45 | 7,35 | 7,3 | 7,56 | 7,4 | 7,83 | 7,71 |
| Rh2 | 7,57 | 7,81 | 7,04 | 7,36 | 7,6 | 7,69 | 7,77 | 7,83 |
| Bm1 | 7,75 | 7,15 | 7,25 | 7,26 | 7,65 | 7,8 | 7,66 | 7,39 |
| Rh3 | 7,17 | 7,07 | 7,31 | 7,78 | 7,21 | 7,69 | 7,62 | 7,8 |
| Kb1 | 7,59 | 6,86 | 7,46 | 7,22 | 7,26 | 7,25 | 7,38 | 7,68 |
| Enj | 7,55 | 7,03 | 7,73 | 7,4 | 7,26 | 7,4 | 7,79 | 7,6 |

Tableau 21 : résultats des analyses de la CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

| mois \ station | S | o | N | D | J | F | M | A |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Rh1 | 1740 | 1073 | 1640 | 1590 | 1560 | 1460 | 1640 | 1710 |
| Rh2 | 1310 | 1320 | 1230 | 1360 | 1060 | 1040 | 1200 | 1040 |
| Bm1 | 1820 | 1580 | 1630 | 1440 | 1630 | 1020 | 1360 | 1570 |
| Rh3 | 1770 | 1700 | 1740 | 1730 | 1560 | 970 | 1260 | 1630 |
| Kb1 | 2030 | 570 | 1360 | 1770 | 1220 | 930 | 1720 | 1750 |
| Enj | 1320 | 1310 | 1940 | 1320 | 310 | 1000 | 1100 | 1130 |

Tableau 22 : résultats des analyses du calcium (mg/l)

| mois \ station | S | o | N | D | J | F | M | A |
|----------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Rh1 | 162,4 | 159,2 | 147,3 | 102,4 | 116,73 | 151,08 | 188,9 | 17,92 |
| Rh2 | 132 | 129,8 | 109,1 | 108,9 | 102,61 | 100,99 | 70,6 | 111,41 |
| Bm1 | 150,6 | 114 | 150,8 | 125,7 | 138 | 74,4 | 155,68 | 155,52 |
| Rh3 | 180,4 | 140,5 | 102,8 | 160,7 | 185,57 | 144,05 | 160 | 133,4 |
| Kb1 | 183,8 | 183,3 | 88,4 | 187,4 | 111,13 | 109,35 | 198,17 | 183,16 |
| Enj | 195,4 | 99,9 | 79,7 | 131,4 | 42,82 | 118,36 | 135,59 | 116,89 |

Tableau 23 : résultats des analyses du magnésium (mg/l)

| mois \ station | S | o | N | D | J | F | M | A |
|----------------|----|----|----|----|-------|-------|-------|--------|
| Rh1 | 42 | 48 | 43 | 39 | 33,34 | 17,4 | 26,4 | 30,12 |
| Rh2 | 34 | 7 | 33 | 39 | 31,83 | 23,4 | 32,1 | 111,41 |
| Bm1 | 46 | 44 | 30 | 35 | 44,5 | 29,7 | 12,24 | 26,64 |
| Rh3 | 75 | 11 | 46 | 33 | 42,71 | 29,7 | 16,77 | 47,18 |
| Kb1 | 59 | 21 | 50 | 34 | 30,28 | 21,72 | 25,08 | 14,88 |
| Enj | 35 | 40 | 37 | 39 | 7,48 | 22,56 | 1,82 | 33,24 |

Tableau 24 : résultats des analyses du sulfate (mg/l)

| mois \ station | S | o | N | D | J | F | M | A |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Rh1 | 324 | 324 | 320 | 262 | 306 | 310 | 286 | 380 |
| Rh2 | 288 | 234 | 292 | 278 | 218 | 208 | 236 | 236 |
| Bm1 | 336 | 256 | 252 | 248 | 300 | 204 | 360 | 310 |
| Rh3 | 512 | 68 | 318 | 326 | 430 | 220 | 256 | 370 |
| Kb1 | 470 | 80 | 244 | 410 | 266 | 218 | 420 | 408 |
| Enj | 290 | 286 | 330 | 260 | 48 | 258 | 260 | 306 |

Tableau 25 : résultats des analyses du nitrate (mg/l)

| mois \ station | S | o | N | D | J | F | M | A |
|----------------|----|------|----|----|----|----|----|----|
| Rh1 | 8 | 0 | 5 | 0 | 11 | 11 | 42 | 24 |
| Rh2 | 9 | 1 | 4 | 0 | 16 | 6 | 15 | 21 |
| Bm1 | 9 | 4 | 0 | 0 | 21 | 13 | 26 | 37 |
| Rh3 | 61 | 10 | 13 | 4 | 40 | 43 | 41 | 47 |
| Kb1 | 31 | 11 | 5 | 31 | 1 | 12 | 33 | 40 |
| Enj | 9 | 0,09 | 27 | 14 | 14 | 3 | 21 | 15 |

Tableau 26 : résultats des analyses du sodium (mg/l)

| mois \ station | S | o | N | D | J | F | M | A |
|----------------|--------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|
| Rh1 | 158,3 | 142 | 140 | 140 | 110 | 131 | 144 | 154 |
| Rh2 | 93 | 14 | 102 | 124 | 82 | 96 | 98 | 89 |
| Bm1 | 168,11 | 142 | 150 | 118 | 104 | 82 | 121 | 143 |
| Rh3 | 113,4 | 34 | 200 | 158 | 104 | 35,4 | 89 | 138 |
| Kb1 | 118 | 15 | 112 | 146 | 97 | 75 | 155 | 185 |
| Enj | 130.9 | 120 | 200 | 96 | 11 | 64 | 55 | 80 |

Tableau 27 : résultats des analyses du chlorure (mg/l)

| mois \ station | S | o | N | D | J | F | M | A |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Rh1 | 145 | 175 | 180 | 180 | 165 | 140 | 185 | 170 |
| Rh2 | 140 | 170 | 135 | 175 | 115 | 208 | 105 | 90 |
| Bm1 | 160 | 175 | 175 | 150 | 180 | 110 | 125 | 175 |
| Rh3 | 200 | 35 | 170 | 180 | 135 | 70 | 100 | 160 |
| Kb1 | 210 | 50 | 200 | 140 | 125 | 75 | 160 | 155 |
| Enj | 180 | 150 | 275 | 140 | 30 | 70 | 70 | 95 |

Tableau 28 : résultats des analyses de la dureté (mg/l)

| mois station | S | o | N | D | J | F | M | A |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Rh1 | 204,4 | 207,2 | 190,3 | 141,4 | 150,07 | 168,48 | 215,3 | 48,04 |
| Rh2 | 166 | 136,8 | 142,1 | 147,9 | 134,41 | 124,39 | 102,7 | 222,82 |
| Bm1 | 196,6 | 158 | 180,8 | 160,7 | 182,5 | 104,1 | 167,92 | 182,16 |
| Rh3 | 255,4 | 151,5 | 148,8 | 193,7 | 228,28 | 173,75 | 176,77 | 180,58 |
| Kb1 | 242,8 | 204,3 | 138,4 | 221,4 | 141,41 | 131,07 | 223,25 | 198,04 |
| Enj | 230,4 | 139,9 | 116,7 | 170,4 | 50,3 | 140,92 | 137,41 | 150,13 |

Tableaux : des résultats de la détermination des métaux lourds

Tableau 29 : résultats de la détermination du fer ($\mu\text{g/l}$)

| mois station | M | J | A | S | O | N | D |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Rh1 | 0,627 | 0,907 | 0,332 | 0,489 | 0,166 | 0,227 | 0,406 |
| Rh2 | 0,227 | 4,076 | 0,527 | 0,394 | 0,479 | 0,706 | 0,78 |
| Bm1 | 0,344 | 1,266 | 0,015 | 0,343 | 0,566 | 0,182 | 3,251 |
| Rh3 | 0,732 | 1,123 | 0,605 | 0,306 | 0,106 | 0,307 | 0,548 |
| Kb1 | 1,795 | 1,096 | 0,011 | 0,673 | 0,789 | 0,073 | 0,222 |
| Enj | 0,267 | 0,281 | 0,62 | 0,069 | 0,191 | 0,082 | 0,534 |

Tableau 30 : résultats de la détermination du manganèse ($\mu\text{g/l}$)

| mois station | M | J | A | S | O | N | D |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Rh1 | 0,126 | 0,104 | 0,027 | 0,123 | 0,015 | 0,032 | 0,034 |
| Rh2 | 0,019 | 0,095 | 0,015 | 0,018 | 0,025 | 0,033 | 0,025 |
| Bm1 | 0,105 | 0,125 | 0,033 | 0,033 | 0,081 | 0,152 | 0,136 |
| Rh3 | 0,102 | 0,099 | 0,031 | 0,041 | 0,006 | 0,072 | 0,061 |
| Kb1 | 0,127 | 0,02 | 0 | 0,002 | 0,459 | 0,024 | 0,033 |
| Enj | 0,019 | 0,003 | 0,019 | 0,006 | 0,002 | 0,035 | 0,024 |

Tableau 31 : résultats de la détermination du zinc ($\mu\text{g/l}$)

| mois \ station | M | J | A | S | O | N | D |
|----------------|-------|-------|----------------------|---|---|---|-------|
| Rh1 | 0,029 | 0,023 | 0 | | | | 0,026 |
| Rh2 | 0,084 | 0,009 | 0 | | | | 0,128 |
| Bm1 | 0,011 | 0,003 | 0 | | | | 0,281 |
| Rh3 | 0,002 | 0,022 | 0 | | | | 0,015 |
| Kb1 | 0,002 | 0,031 | 0 | | | | 0,001 |
| Enj | 0,012 | 0,001 | $7,00^{\text{E-}}04$ | | | | 0,022 |

Tableau 32 : résultats de la détermination du cuivre ($\mu\text{g/l}$)

| mois \ station | M | J | A | S | O | N | D |
|----------------|---|----------------------|---|---|----------------------|----------------------|-------|
| Rh1 | 0 | $7,00^{\text{E-}}04$ | 0 | 0 | $7,00^{\text{E-}}04$ | $7,00^{\text{E-}}04$ | 0 |
| Rh2 | 0 | 0,002 | 0 | 0 | $7,00^{\text{E-}}04$ | 0 | 0 |
| Bm1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,004 | 0,003 | 0,005 |
| Rh3 | 0 | $7,00^{\text{E-}}04$ | 0 | 0 | 0,003 | 0 | 0,004 |
| Kb1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,006 | 0,002 |
| Enj | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Les gammes

Tableau 33 : Gammes d'étalonnages du calcium et du sodium (ANRH)

| Eléments dosés | Solutions étalons (mg/l) | | | | | | |
|-----------------------------|--------------------------|----|----|----|----|----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Calcium (Ca ⁺⁺) | 5 | 10 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 |
| Sodium (Na ⁺) | 5 | 10 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 |

Tableau 34 : gamme d'étalonnage des chlorures (ANRH)

| Eléments dosés | Solutions étalons (mg/l) | | | | | | |
|------------------------------|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Chlorures (Cl ⁻) | 50 | 100 | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 |

Tableau 35 : gamme d'étalonnage des sulfates (ANRH)

| Elément dosé | Solutions étalons (mg/l) | | | | | | |
|---|--------------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Sulfates (SO ₄ ⁻⁻) | 20 | 50 | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 |

Tableau 36 : gamme d'étalonnage des métaux lourds étudiés (ANRH)

| Elément | Solutions étalons (µg/l) | | | | |
|------------------|--------------------------|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Cu, Fe, Mn et Zn | 0,2 | 0,5 | 1,0 | 2,0 | 4,0 |

Tableau 37 : Récapitulatif des principales industries au niveau du bassin versant Kebir Rhumel (ABH, 2004).

| S/B | Implantation | Commune | Will | Caractéristiques | |
|-------|----------------|--------------|------|------------------|------------------------------------|
| | | | | Nom | Nature/type |
| 10-03 | Chelghoum | Chelghoum | 43 | ENAD-SODER | Détergents et produits d'entretien |
| 10-03 | Laid | Laid | 43 | EMAC | Matériaux de construction |
| | Chelghoum | Chelghoum | | | |
| | Laid | Laid | | | |
| 10-04 | Ain Smara | Ain Smara | 25 | CPG | Pelles, Grues |
| 10-04 | Ain Smara | Ain Smara | 25 | CCA | Compacteurs, Compresseurs |
| 10-04 | Ain Smara | Ain Smara | 25 | CCE | Chariots, Elévateurs |
| 10-04 | O.Athmenia | O.Athmenia | 43 | CSOA | Céramique sanitaire (dalle de sol) |
| 10-04 | O.Athmenia | O.Athmenia | 43 | Placage de bois | Bois |
| 10-05 | ChaabEressas | Constantine | 25 | COTITEX | Textile filature |
| 10-05 | ChaabEressas | Constantine | 25 | ORELAIT | Lait et dérivés |
| 10-05 | Ben Badis | Ben Badis | 25 | SNTA | Produits tabagiques |
| 10-05 | El Khroub | El Khroub | 25 | ERIAD | Minoterie |
| 10-05 | Bounouara | OuledRahmoun | 25 | NAFTAL | Gaz butane |
| 10-05 | O.Hamimime | El Khroub | 25 | ENPMA | Moteurs, tracteurs |
| 10-05 | O.Hamimime | El Khroub | 25 | PMO | Machines-outils |
| 10-05 | Ain M'Lila | Ain M'Lila | 04 | CCS | Cabines sahariennes |
| 10-05 | Ain M'Lila | Ain M'Lila | 04 | Sté Khentouche | Transformation de pierre de marbre |
| 10-05 | Z.industrielle | Constantine | 25 | ENGI | Production de gaz industriel |
| 10-05 | Z.industrielle | Constantine | 25 | SNVI | Entretien des camions et bus |
| 10-05 | Constantine | Constantine | 25 | Limonaderie | Boissons gazeuses et sirop |
| 10-05 | ZI.Boumerzoug | Constantine | 25 | Limonaderie | Boissons gazeuses et sirop |
| 10-05 | Constantine | Constantine | 25 | Tann Hadj Arab | Traitement de peau brute (cuir) |
| 10-05 | Constantine | Constantine | 25 | ETC | Parc |
| 10-06 | Mila | Mila | 43 | SOMIC | Dalle de sol, faïence, plinthe |
| 10-06 | Mila | Mila | 43 | SBNC | Briques |
| 10-06 | Mila | Mila | 43 | SOFEM | Céramiques (vaisselle) |
| 10-06 | Grarem Gouga | Grarem Gouga | 43 | ERIAD | Minoterie |
| 10-06 | H.Bouziane | H.Bouziane | 25 | Cimenterie | Production de ciment |
| 10-06 | H.Bouziane | H.Bouziane | 25 | ENATUB | Poteaux, Tubes et supports |
| 10-06 | H.Bouziane | H.Bouziane | 25 | ERIAD | Semoule, farine |
| 10-06 | D.Mourad | D.Mourad | 25 | Briqueterie | Fabrication de briques |
| 10-06 | D.Mourad | D.Mourad | 25 | EPRE | Limonaderie |
| 10-06 | Ibn.Ziad | Ibn.Ziad | 25 | EMIB | Céramique sanitaire (faïence) |
| 10-06 | Ibn.Ziad | Ibn.Ziad | 25 | SCC | Fabrication de margarine |
| | | | | SOALCO | |
| 10-07 | El Milia | El Milia | 18 | UCS | Céramique sanitaire |
| 10-07 | El Milia | El Milia | 18 | TannKhenifer | Traitement de peau brute (cuir) |

Tann : tannerie

Sté : société

| | | |
|--|--------------------------|---|
| Nom : SOUMAORO | Prénom : Idrissa | Date de la soutenance 28 juin 2015 |
| Mémoire pour obtention du diplôme de : Master | | |
| Domaine : Science de la nature et de la vie | | |
| Spécialité : Gestion durable des écosystèmes et protection de l'Environnement | | |
| Option : Pollution des écosystèmes et écotoxicologie | | |
| Thème : Contribution à l'évaluation de la qualité physico-chimique et la contamination métallique des eaux du bassin versant Kebir Rhumel | | |
| Résumé : | | |
| <p>La présente étude s'inscrit dans le contexte d'une recherche pluridisciplinaire sur les oueds du bassin versant Kebir Rhumel. Afin d'apprécier la qualité des eaux du bassin versant Kebir Rhumel vis-à-vis de la contamination métallique, nous avons effectué un ensemble d'approches physico-chimiques : paramètres physico-chimiques, éléments minéraux majeurs, paramètre de pollution et dosage de quatre métaux lourds (Fe, Cu, Mn et Zn). L'ensemble des paramètres déterminés a relevé une pollution chimique (inorganique) caractérisée par une qualité très bonne à très mauvaise des eaux. La contamination métallique évaluée par les ETM dissous est presque négligeable, suite à l'adsorption sur les particules et à la sédimentation des quatre métaux (Fe, Cu, Mn et Zn) dosés. Les eaux du bassin versant Kebir Rhumel sont exposées à des pollutions de diverses origines (urbaines, industrielles et agricoles) malgré les traitements des eaux usées dans les STEP. D'où un degré de pollution importante des oueds du bassin versant Kebir Rhumel.</p> <p>Pour remédier à ce problème, il serait important de mieux exploiter les stations d'épuration, par une collecte des eaux usées plus globale. Les eaux épurées alimentent les oueds du dit bassin versant et par conséquent les barrages. Elles contribuent à la diminution des risques de pollution organique et d'éventuelle contamination métallique des eaux et à la préservation des ressources en eaux (une bonne gestion des ressources hydriques).</p> | | |
| Mots clés : Bassin versant Kebir Rhumel, Contamination métaux lourds, Pollution, Qualité physico-chimique, Qualité écologique | | |
| Laboratoire : | Laboratoire de l'A.N.R.H | |
| Membres du jury : | | |
| Président du jury : | Mme.Nadra Khelfellah | Professeur – UFM Constantine |
| Rapporteur : | Mme. Sahli Leila | MCA - UFM Constantine |
| Examineurs : | Mr. Bazri Kamel Eddine | MCB - UFM Constantine. |
| Année universitaire : 2014/2015 | | |