المجلة الجزائرية للمناطق الجافة
Journal Algérien des Régions Arides (JARA)
Algerian Journal of Arid Regions
CRSTRA
Scientific and Technical Research Centre for Arid Areas

*Research Paper*

# Contribution à l'étude d'hydrogéochimie d'eaux de surface et eaux souterraines dans la région d'Oued Righ (Sud-Est, Algérie)

Contribution to the study of the hydrochemistry of surface water and groundwater in the region of Oued Righ (South-East, Algeria)

**M.L. BENHADDYA**

Centre de la Recherche Scientifique et Technique Sur les Régions Arides (CRSTRA) RN N°3 BP 360, Ain Sahara, Nezla, Touggourt, Algeria

*Received: 12 February 2020 ; Accepted: 18 February 2020 ; Published: February 2020*

**Résumé**

Une évaluation hydrogéochimique des eaux de surface et souterrains de la région d'Oued Righ (Algérie) a été réalisée à l'aide de 36 d'échantillons d'eau. L'analyse des échantillons s'est focalisée sur la détermination du calcium, du magnésium, du sodium, du potassium, du chlorure, du sulfate, du bicarbonate et des éléments traces (Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb et Zn), tandis que la conductivité électrique, la température et le pH ont été mesurés sur le site. L'objectif de ce travail est de montré l'état actuel des eaux souterraines et eaux de surface de la région d'Oued Righ, vis-à-vis des différents éléments chimiques surtout les éléments en traces existants et l'origine de chaque éléments en traces.

L'étude hydrochimique montre que les eaux des nappes profondes possèdent une salinité élevée, due à l'effet de la dissolution des formations géologiques. Les éléments traces sont observés avec des concentrations très faibles (origine naturel). Cependant les eaux de surface possèdent une forte salinité et plus chargé en éléments traces, leur origine est due aux anthropisation.

**Mots clés:** Eaux souterraines, Eaux de surface, Salinité, Eléments traces, Oued Righ.

**Abstract**

A hydrogeochemical assessment of surface and groundwater in the Oued Righ region (Algeria) was carried out using 36 water samples. The analysis of the samples focused on the determination of calcium, magnesium, sodium, potassium, chloride, sulfate, bicarbonate and trace elements (Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb and Zn ), while electrical conductivity, temperature and pH were measured on site. The objective of this work is to show the hydrogeochemical of groundwater and surface water in the Oued Righ region, quantification of the various chemical especially the existing of trace elements and the origin of each element.

The hydrochemical study shows that the waters of deep aquifers have a high salinity, due to the effect of the dissolution of geological formations. Trace elements are observed with very low concentrations (natural origin). However surface waters have a high salinity and more loaded with trace elements, their origin is due to anthropization.

**Keywords:** Groundwater, Surface water, Salinity, Trace elements, Oued Righ.

* *Corresponding author :* ***BENHADDYA Mohammed Lamine***
*E-mail address: amine_bhd@yahoo.fr, benhaddya.mohamed.lamine@crstra.dz*

## 1. Introduction

De nos jours, dans le monde entier, l'urbanisation augmente la densité de la population et l'intensification des activités agricoles dans certaines zones est parmi les principales causes de pollution de l'eau. À mesure que le processus d'urbanisation se poursuit, les problèmes de pollution de l'eau sont devenus de plus en plus évidents et ont entraîné de graves problèmes écologiques et environnementaux. La production industrielle sans prise en compte adéquate des impacts environnementaux a augmenté la pollution de l'eau et de l'air, et a conduit à la dégradation des sols et à des impacts mondiaux à grande échelle tels que les pluies acides, le réchauffement climatique et l'appauvrissement de la couche d'ozone (Seth, 2003). Le rejet d'effluents et de composés toxiques associés dans les systèmes aquatiques représente un problème environnemental permanent en raison de leur impact possible sur les communautés dans les eaux aquatiques réceptrices et d'un effet potentiel sur la santé humaine (Abbas Alkarkhi *et al.,* 2008). En outre, le développement et la gestion des ressources en eau ont été désorganisés, et il y a un manque de sensibilisation du public au besoin de protection de l'environnement et un manque correspondant de structures juridiques pour promouvoir cette protection. Les influences anthropiques ainsi que les processus naturels dégradent les eaux de surface et souterraines et nuisent à leur utilisation à des fins de consommation, industrielles, agricoles, récréatives ou autres (Fergusson, 1990; Carpenter *et al.,* 1998). Les déchets solides et liquides émanant des activités industrielles sont les sous-produits inévitables du processus de fabrication. Ces déchets contiennent des produits chimiques toxiques tels que des sels de chrome, des sulfures et d'autres substances, y compris des éléments traces toxiques lourds (Tariq *et al.,* 2006). Un certain nombre de sources naturelles et anthropiques produisent des éléments traces. Les éléments traces peuvent contaminer les eaux de surface et les eaux souterraines, entraînant une détérioration de la qualité de l'eau potable et d'irrigation (Krishna *et al.*, 2009). Les éléments traces sont considérés comme des polluants graves en raison de leur toxicité, de leur persistance et de leur nature bioaccumulable dans l'environnement (Pekey *et al.*, 2004). L'enquête sur la contamination de l'eau par des éléments traces est devenue la priorité ces dernières années. Les éléments traces contenus dans l'eau peuvent provenir de sources naturelles et anthropiques (Ahmet *et al.*, 2006; Chanpiwat *et al.*, 2010; Muhammad *et al.*, 2010). Certains éléments traces comme le cuivre (Cu), le cobalt (Co) et le zinc (Zn) sont essentiellement nécessaires à la croissance normale du corps et aux fonctions des organismes vivants, tandis que les concentrations élevées d'autres éléments comme le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le manganèse (Mn) et le plomb (Pb) sont considérés comme hautement toxiques pour la vie aquatique et humaine (Ouyang *et al.*, 2002). La région dite "Oued Righ" dans le Sahara Algérien septentrional (SE Algérien), encore appelée bas-Sahara, se présente comme une vaste fosse synclinale dissymétrique, caractérisée par l'existence d'un sol sableux en majorité siliceux et formés de quartz pur donc insoluble. Dans les régions sédimentaires on trouve des sables calcaires ($CaCO_3$) et gypseux ($CaSO_{4.2}H_2O$) et l'existence aussi de deux grande systèmes aquifères, séparés par d'épaisses séries argileuses et évaporitiques, de la base du Crétacé supérieur: le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT). Dans la vallée de l'Oued Righ, la nature lithologique des formations aquifères (sables, argiles et évaporites), en contact avec l'eau de la nappe, constituent, les principaux facteurs générateurs d'une salinité excessive des eaux, une dureté permanente, et une fluoration au delà des normes préconisées non seulement à la consommation humaine mais aussi à l'irrigation. Qualitativement ces eaux souterraines présentent un risque naturel sur la santé publique, et mettent en péril la durabilité de l'agriculture et les structures urbaines, et perturbent très sérieusement l'environnement. Les rejets des agglomérations ainsi que celles des usines et des agricultures sont souvent rejetés directement au niveau du canal et puis ver un écosystème vivant (Chott Marouane), ces différents effluents sont souvent chargés en particules polluantes en concentration plus ou moins importantes, en particulier les éléments traces métalliques toxique qui éventuellement peuvent s'accumulés dans les eaux et les sols. Avec le temps, ceci peut être à l'origine d'une perturbation et même d'une dégradation des écosystèmes existants.

L'étude vise à évaluer l'effet des concentrations de éléments traces sur la qualité des eaux de surface et souterraine (le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT)) dans la région d'Oued Righ.

## 2. Matériels et méthodes

### 2.1. La zone d'étude

La vallée de l'Oued Righ est située dans la partie Sud-Est de l'Algérie, elle fait partie de l'un des déserts les plus grands et les plus arides du monde, qui se situe entre les latitudes 32° 53' 50" N et 34° 10' 00" N et longitudes 5° 47' 50" E et 6° 10' 00" E, couvrant une superficie totale de plus de 6000 km² ayant une population de 0,5 million d'habitants (Fig. 1). Le climat de cette zone d'étude est aride à hyperaride, caractérisé par de faibles précipitations et des taux élevés d'évapotranspiration. Sur la base du cadre géologique et tectonique, la vallée a été séparée en trois zones, à savoir Touggourt, Djamaa et M'ghier. Cette vallée contient deux systèmes aquifères importants: l'intercalaire continental (CI) recouvert par le complexe terminal (CT). Le CI et le CT sont utilisés pour la consommation domestique, l'agriculture et l'industrielle. Dans la région d'Oued Righ, il existe de nombreux types de zones humides. Ils se composent de lacs salés, de chotts, de sebkhas et du canal d'Oued Righ (qui draine les déchets des villes locales). Les chotts et les sebkhas sont généralement des zones humides saisonnières qui se dessèchent en été et ré-inondent en hiver. Le canal de l'Oued Righ draine la vallée de l'Oued Righ longue de 160 km dans le Chott de Merouane (Fig. 1). Cette vallée abrite environ 500 000 personnes; le canal recueille les eaux de ruissellement des municipalités locales.

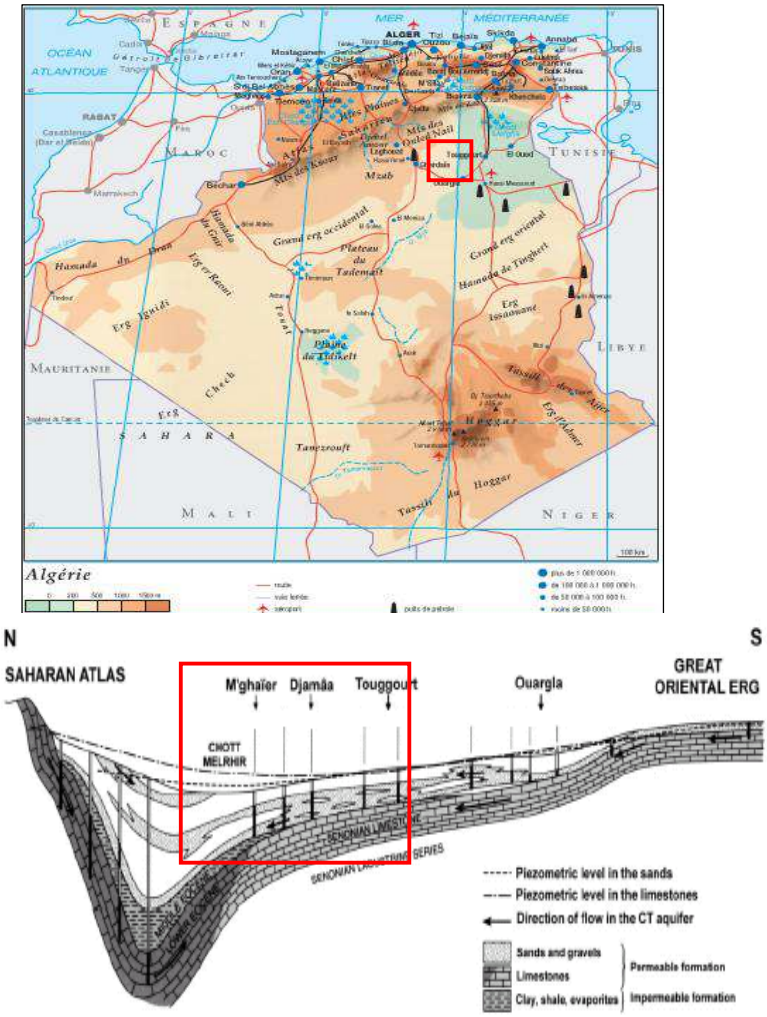


**Figure 1:** Carte géologique simplifiée de la région d'Oued Righ et localisation des sites d'étude.

### 2.2. Cadre géologique et hydrogéologique

Cette étude a concerné les deux principaux aquifères du sud Algérie:

• L'aquifère Continental Intercalaire est l'un des plus grands aquifères confinés au monde. Cet immense aquifère multicouche est hébergé dans les formations continentales du Crétacé inférieur (Néocomien, Barrémien, Aptien et Albien).

Cet aquifère est situé dans une succession complexe de sédiments clastiques du Mésozoïque. Les formations géologiques formant l'aquifère CI montrent des variations latérales importantes du faciès et de l'épaisseur à partir de la plate-forme saharienne jusqu'à la région de Chott. L'aquifère CI est partagé entre l'Algérie, la Tunisie et la Libye et couvre une superficie de plus d'un million de km dont 700 000 km2 en Algérie, 80 000 km2 en Tunisie et 250 000 km2 en Libye (SASS, 2002). Le lit aquifère de l'aquifère CI est délimité par le néocomien à la base et l'albien au sommet (Mamou, 1990). Ces formations ont entre 1550 et 2300 m de profondeur. La profondeur de l'aquifère augmente du sud au nord. Les eaux sont artésiennes avec une pression élevée à la tête des puits. La température des eaux atteint 60° C en surface. Leurs débits varient de 100 à 200 L s-1 et sont principalement utilisés pour la consommation domestique, l'agriculture et l'industrie.

• Le réservoir complexe terminal est contenu dans les formations du Crétacé supérieur et du Tertiaire. Les formations CT sont relativement hétérogènes, qui forment la base des calcaires sénoniens perméables ainsi que les sables argileux et les grès du Mio-Pliocène (Nesson, 1987; Guendouz *et al.*, 1992). La profondeur jusqu'au sommet de cet aquifère est comprise entre 100 et 600 m, et l'épaisseur moyenne de l'aquifère est de 300 m. L'aquifère du Mio-Pliocène est la source d'eau de nombreux palmiers, comme Oued Righ, Souf et Ouargla. Le niveau piézométrique de l'aquifère, tel qu'établi à l'échelle de l'ensemble du Grand Erg oriental [34], indique que le flux principal se déroule du sud (la zone de recharge est la marge sud du plateau Erg et Tinrhert) vers le nord (la décharge zone est le Chott Melrhir et Chott Merouane). La chimie de l'eau montre une salinité très variable (supérieure à 2 g/L), mais les eaux sont généralement plus minéralisées que celles de l'aquifère Continental Intercalaire (Nesson, 1987; Guendouz *et al.*, 1992). L'aquifère CT est principalement composé de deux aquifères: l'aquifère Senono-Éocène et l'aquifère Mio-Pliocène. L'aquifère Senono-Éocène est plus profond que l'aquifère Mio-Pliocène.

### 2.3. Collecte d'échantillons

Trente-six échantillons d'eau (de surface et souterraine) ont été collectés, couvrant toute la vallée de l'Oued Righ. Les échantillons d'eau représentatifs (1 L) ont été prélevés dans les eaux de surface (12 échantillons) et les eaux souterraines (24 échantillons). Les échantillons d'eau de surface comprennent: 07 échantillons de Chotts et sebkhas et 05 échantillons du canal d'Oued Righ. Les échantillons des eaux souterraines comprennent: 06 échantillons de l'intercalaire continental (CI) 18 échantillons du complexe terminal (CT) (Fig. 2). À partir de chaque point d'échantillonnage, les échantillons d'eau ont été recueillis dans des bouteilles en plastique nettoyées prélavées avec de l'acide nitrique à 20% ($HNO_3$) et de l'eau distillée deux fois. Pour l'analyse des éléments traces, tous les échantillons d'eau ont été filtrées et quelques gouttes de $HNO_3$ ont été ajoutées et conservés au réfrigérateur à 4 °C.

### 2.4. Analyses physico-chimiques et élémentaires

Les paramètres physicochimiques (pH, conductivité électrique et la température) ont été effectuées in situ avec un appareil de mesure portable équipé d'un capteur de température et d'une électrode à membrane (HANNA Instruments, modèle: HI 9143). Les éléments majeurs (Ca, Mg, Na, K, Cl, $SO_4$, $HCO_3$ et $NO_3$) ont été analysés en laboratoire en utilisant procédures standard (Rodier 1996). Pour l'analyse des éléments traces (Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb et Zn) en utilisant un spectromètre d'absorption atomique (Perkin Elmer, AAS-PEA-700) dans des conditions de fonctionnement standard.

### 2.5. Analyses statistiques

Les données obtenues à partir des méthodes analytiques ont été traitées statistiquement à l'aide du logiciel SPSS (version 17.0 pour Windows). L'analyse en composantes principales a été utilisée pour réduire les sources hypothétiques de éléments traces. Dans l'ACP, les principales composantes ont été calculées sur la base de la matrice de corrélation, les valeurs propres supérieures à 1 ont été extraites et la rotation normalisée VARIMAX a également été appliquée [40], ce qui a minimisé le nombre de variables, facilitant ainsi l'interprétation des résultats de l'ACP.

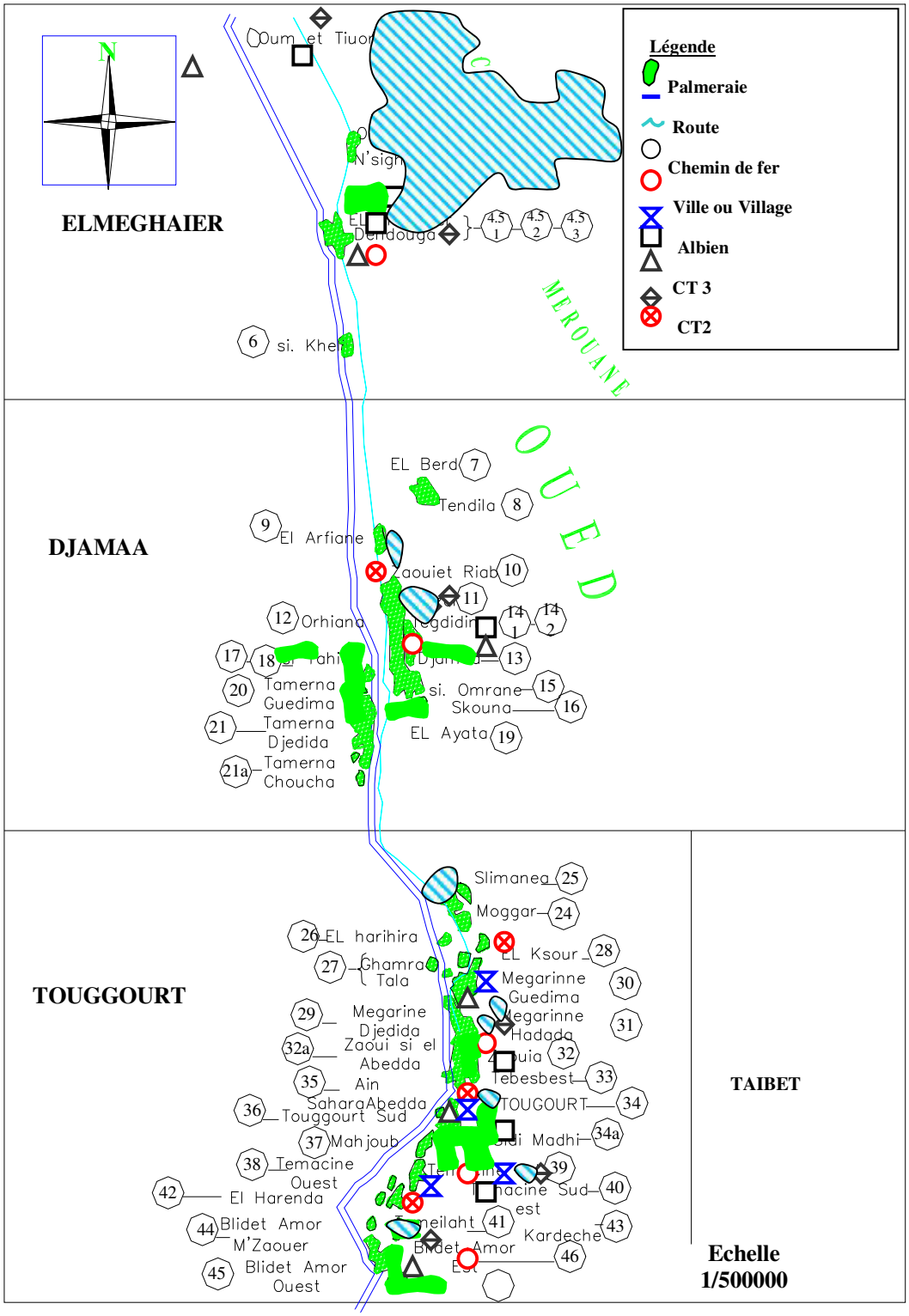


**Figure 2:** Localisation des différents prélèvements d'échantillons d'eau

## 3. Résultats et Discussion

### 3.1 Caractérisation chimique de l'eau

L'échantillonnage ce fait à partir des forages dans le cas des nappes profonds tel que la nappe de continentale intercalaire et les trois nappes de complexe terminales exploitable (La 1$^{er}$ et 2$^{ème}$ nappe du Mio-pliocène, et la nappe du Sénonien éocène) et les autres eaux de surface son prélevé directement à partir de chaque site.

### 3.1.1 Les paramètres physicochimiques

Le pH correspond à la concentration d'ion hydrogène, il mesure l'acidité ou la basicité d'une eau. Les valeurs de pH sont très homogènes et proches de la neutralité. Toutes les mesures varient entre 6.75 et 7.92 dans tous les différents types d'eaux (Tableau 1, figure 3). A l'opposé du pH, la conductivité électrique (CE) qui reflet de la minéralisation totale ou bien la concentration des sels dissous dans l'eau est très hétérogène. Les valeurs de la CE dans le Continental Intercalaire (albien) varient entre 2.45 et 3.23 dS/m avec une moyenne de 2.72 dS/m et écart type de 0,30. Les valeurs de CE sont généralement élevées, elles augmentent du sud vers le nord suivant le sens d'écoulement de la nappe (Tableau 1, figure 3). Les valeurs les plus élevées dans la nappe Mio-pliocène sont enregistrées à Témacine et Blid Omar. Dans ces dernières, la nappe est située entre une couverture calcairo-gypseux et un substratum gypseu-anhydritique, (généralement, sous forme des lentilles), qui mettent l'eau en contacte avec des formations dissolubles (Tableau 1, figure 3). Pour la troisième nappe du Sénonien éocène (aquifères carbonaté) les valeurs de la CE (10,61 dS/m) les plus élevées sont observées au Touggourt, plus précisément sous la palmeraie de Ranou. Cela est dû probablement à l'intensité d'exploitation et l'âge de ces forages (dates de réalisation 1950 et 1955).

**Tableau 1.** Résultats de l'ensemble des analyses chimiques dans les différents types eaux.

| EAUX | Paramètres | Température C° | pH | Conductivité électrique dS/m | Na méq/l | K méq/l | Ca méq/l | So4 méq/l | HCO3 méq/l | Cl méq/l | Mg méq/l |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Albien | Moyenne | 51.58 | 7.27 | 2.79 | 32.40 | 0.27 | 4.18 | 20.54 | 0.7 | 24 | 148.68 |
| | Ecart type | 5.14 | 0.32 | 0.30 | 7.84 | 0.07 | 1.50 | 0.80 | 0.05 | 2.23 | 7.54 |
| | Maximum | 55 | 7.7 | 3.23 | 42.68 | 0.33 | 5.86 | 21.82 | 0.75 | 28 | 158.72 |
| | Minimum | 42.6 | 6.89 | 2.45 | 20.90 | 0.153 | 2.75 | 19.68 | 0.65 | 23 | 142.27 |
| Complexe Terminal 3 | Moyenne | 25.5 | 7.16 | 7.50 | 54.44 | 0.49 | 8.34 | 46.11 | 0.52 | 51.75 | 373.16 |
| | Ecart type | 0.70 | 0.09 | 2.35 | 23.87 | 0.29 | 3.31 | 8.44 | 0.02 | 8.53 | 107.73 |
| | Maximum | 26 | 7.22 | 10.61 | 71.42 | 0.75 | 11.72 | 57.35 | 0.55 | 63 | 378.71 |
| | Minimum | 24.5 | 7.03 | 5.17 | 20.03 | 0.12 | 5.38 | 38.09 | 0.5 | 43 | 351.57 |
| Complexe Terminal 2 | Moyenne | 25.05 | 7.10 | 6.76 | 72.15 | 0.21 | 5.96 | 35.30 | 0.61 | 53 | 250.76 |
| | Ecart type | 1.01 | 0.22 | 1.96 | 21.31 | 0.14 | 2.73 | 8.18 | 0.09 | 15.16 | 50.38 |
| | Maximum | 26.3 | 7.36 | 10.1 | 96.68 | 0.46 | 11.36 | 44.08 | 0.75 | 78 | 324.43 |
| | Minimum | 23.5 | 6.75 | 4.55 | 36.58 | 0.10 | 3.82 | 23.11 | 0.5 | 38 | 185.04 |
| Complexe Terminal 1 | Moyenne | 22.16 | 7.37 | 6.51 | 75.63 | 0.23 | 8.29 | 40.80 | 0.60 | 56.33 | 273.44 |
| | Ecart type | 3.37 | 0.29 | 1.61 | 21.85 | 0.09 | 2.40 | 9.87 | 0.05 | 24.01 | 95.51 |
| | Maximum | 23.8 | 7.67 | 8.71 | 100.17 | 0.38 | 11.12 | 55.63 | 0.7 | 88 | 426.82 |
| | Minimum | 15.5 | 7.07 | 4.97 | 53.13 | 0.12 | 4.78 | 29.10 | 0.55 | 33 | 185.86 |
| Chotts | Moyenne | 15.13 | 7.75 | 14.35 | 109.31 | 0.12 | 8.07 | 73.90 | 1.24 | 115.5 | 471.50 |
| | Ecart type | 0.75 | 0.19 | 4.09 | 20.14 | 0.05 | 1.72 | 6.19 | 0.31 | 50.47 | 159.00 |
| | Maximum | 16.2 | 7.92 | 20.2 | 143.72 | 0.20 | 11.36 | 80.89 | 1.75 | 178 | 692.87 |
| | Minimum | 14 | 7.38 | 8.95 | 81.00 | 0.07 | 6.34 | 67.62 | 0.9 | 53 | 291.95 |
| Canal | Moyenne | 16.75 | 7.67 | 24.57 | 185.09 | 0.60 | 11.42 | 85.91 | 1.32 | 225.5 | 706.23 |
| | Ecart type | 1.89 | 0.25 | 3.58 | 27.86 | 0.31 | 2.97 | 12.59 | 0.15 | 34.27 | 127.67 |
| | Maximum | 18.5 | 7.87 | 28.3 | 222.11 | 1.07 | 13.63 | 96.29 | 1.5 | 258 | 877.91 |
| | Minimum | 14.2 | 7.3 | 20 | 155.04 | 0.38 | 7.05 | 68.05 | 1.25 | 183 | 575.68 |

Les valeurs de la CE dans les eaux de surface sont très élevées. Les valeurs les plus élevées sont mesurées au sud d'Oued Righ (Tableau 1, figure 3). Les eaux de surface sont principalement alimentées par les eaux de drainage (agricole et

urbain). L'augmentation de la CE dans les eaux de surface due a l'accumulation des eaux de drainage agricole qui entraîne naturellement la dissolution d'un certain nombre des sels (bicarbonates, chlorures, sulfatés, calcium, sodium,…etc.), ainsi des eaux usées qui sont rejetées dans le canal.

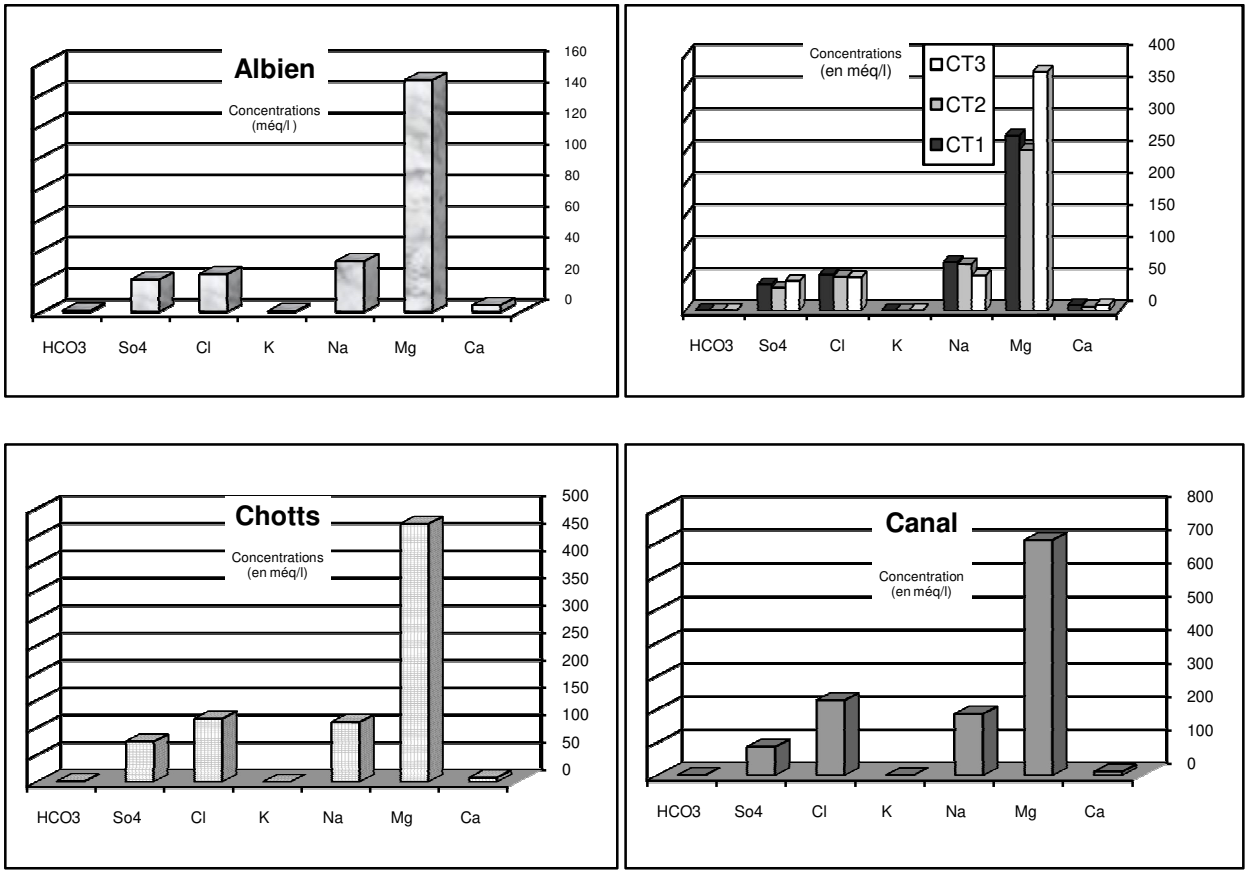


**Figure 3 :** Concentrations moyennes des éléments chimiques majeurs dans les différents types eaux.

### 3.2. Les éléments majeurs

#### 3.2.1. Détermination des faciès chimiques

L'examen des teneurs hydrochimiques en éléments majeurs dans les différents types eaux, fait apparaître l'existence d'une certaine homogénéité des cations et des anions dominants: le magnésium et le sodium pour les cations, le chlorure et le sulfate pour les anions, mais les concentrations du reste des éléments majeurs est différent d'un eau à l'autre, les chotts et le canal présentent des teneurs très élevées, les nappes de complexe terminal présence des teneurs semblable et supérieur de celle de continental intercalaire. Nous allons étudier le chimisme de l'eau sur la base de la classification de Piper, nous allons essayer de déterminer les faciès chimiques existant dans chaque types eau de la région de l'Oued Righ. Le rôle de la géologie est primordial dans l'interprétation des résultats hydrochimiques, car l'eau est constamment en contact avec les formations géologiques. L'existence des couches solubles telles que les évaporites et parfois les carbonatés donne à l'eau de la première et deuxième nappe, une richesse en magnésium, chlorures et sodium. Dans les différentes nappes le diagramme de Piper montre presque la dominance de faciès chlorurée magnésien a sulfaté magnésien (Figure 4).

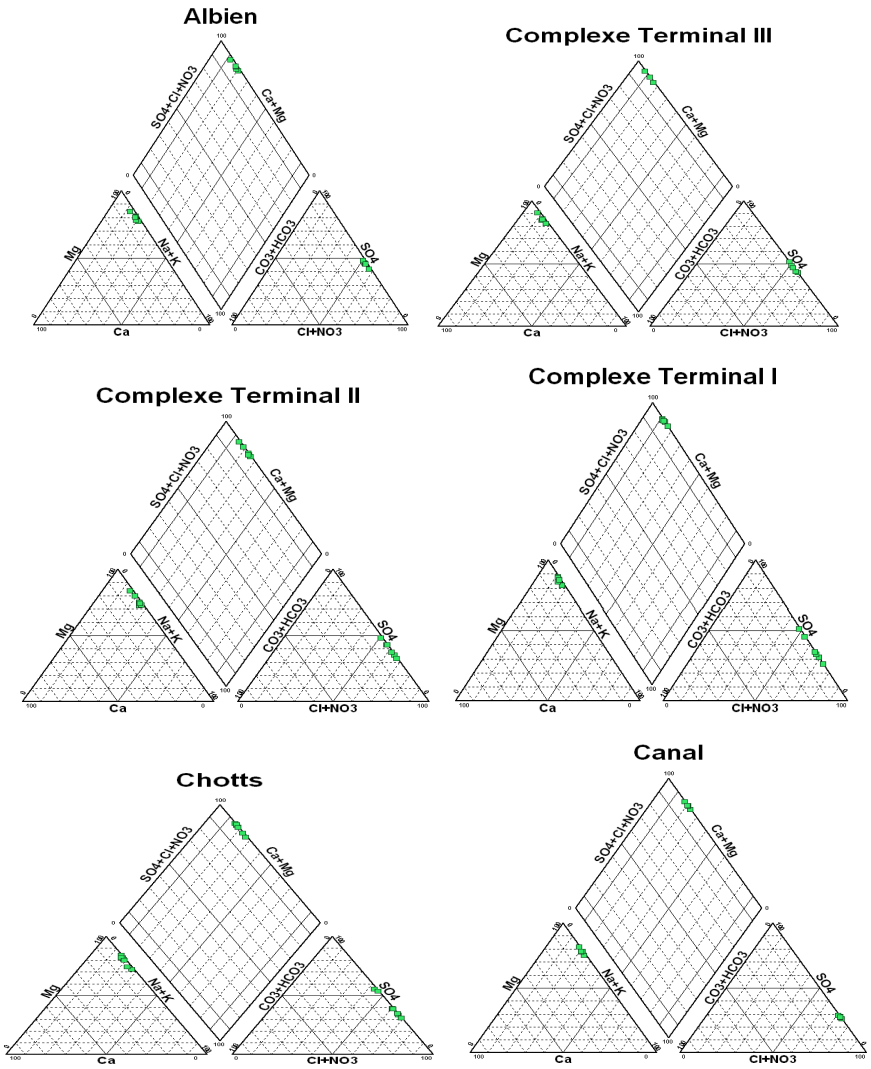


**Figure 4:** Le faciès chimique de différentes eaux de la région de l'Oued Righ

### 3.3. Les éléments traces

Nous avons testé, successivement pour chaque élément l'effet de type d'eau sur la variation des teneuses moyennes en ces éléments. Les résultats sont donnés dans le tableau 2 et représentés graphiquement (figure 5). Les concentrations en éléments traces métalliques sont plus élevés dans l'eau de canal et des chotts que dans les autres nappes, mais ne dépassent pas la valeur limite fixée par les normes Algériennes concernant les eaux superficielles polluées cité par (NA (Norme algérienne) 2006). Pour l'ensemble des nappes de complexe terminal et la nappe de continental intercalaire tous les teneurs en éléments traces métalliques sont en générale inférieurs à la limite des normes internationales des eaux destinées à la consommation humaine fixées par l'organisation mondiale de la santé ainsi que les directives du conseil des communautés européennes (Rodier, 1996), à l'exception du nickel dans les trois nappes du complexe terminal qui présent des valeurs en moyenne supérieurs à la valeur limite fixée par OMS et inférieurs à la valeur limitée par DCCE et RF.

**Tableau 2.** Résultats de l'ensemble des analyses des éléments traces dans les différents types eaux.

| EAUX | Paramètres | Température C° | pH | Conductivité électrique dS/m | Mn (µg/l) | Cr (µg/l) | Cd (µg/l) | Cu (µg/l) | Ni (µg/l) | Zn (µg/l) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Albien** | Moyenne | 51.58 | 7.278 | 2.79 | 21.33 | 34.72 | 0.02 | 5.7 | 24.25 | 28.86 |
| | Ecart type | 5.14 | 0.32 | 0.30 | 6.78 | 7.28 | 0.01 | 4.09 | 7.84 | 24.24 |
| | Maximum | 55 | 7.7 | 3.23 | 26.45 | 46.24 | 0.05 | 10.7 | 33.22 | 56.37 |
| | Minimum | 42.6 | 6.89 | 2.45 | 13.62 | 27.62 | 0.01 | 0.36 | 16.26 | 1.3 |
| **Complexe Terminal 3** | Moyenne | 25.5 | 7.16 | 7.50 | 5.41 | 34.49 | 0.25 | 4.96 | 27.14 | 30.18 |
| | Ecart type | 0.70 | 0.09 | 2.35 | 1.55 | 5.58 | 0.12 | 5.16 | 12.07 | 28.83 |
| | Maximum | 26 | 7.22 | 10.61 | 6.97 | 41.31 | 0.43 | 11.22 | 38 | 72.75 |
| | Minimum | 24.5 | 7.03 | 5.17 | 3.69 | 28.41 | 0.15 | 0.39 | 11.72 | 10.08 |
| **Complexe Terminal 2** | Moyenne | 25.05 | 7.10 | 6.76 | 6.93 | 36.74 | 0.21 | 6.72 | 27.57 | 50.14 |
| | Ecart type | 1.01 | 0.22 | 1.96 | 2.68 | 1.43 | 0.07 | 3.03 | 6.9 | 49.71 |
| | Maximum | 26.3 | 7.36 | 10.1 | 11.19 | 38.16 | 0.33 | 10.7 | 37.9 | 146.87 |
| | Minimum | 23.5 | 6.75 | 4.55 | 4.32 | 34.46 | 0.12 | 2.04 | 19.74 | 21.69 |
| **Complexe Terminal 1** | Moyenne | 22.16 | 7.37 | 6.51 | 6.79 | 40.12 | 0.2 | 5.44 | 26.72 | 43.95 |
| | Ecart type | 3.37 | 0.29 | 1.61 | 4.39 | 5.99 | 0.1 | 2.48 | 2.93 | 40.67 |
| | Maximum | 23.8 | 7.67 | 8.71 | 14.8 | 45.83 | 0.37 | 7.53 | 29.43 | 111.26 |
| | Minimum | 15.5 | 7.07 | 4.97 | 2.57 | 31.39 | 0.1 | 0.76 | 21.63 | 10.83 |
| **Chotts** | Moyenne | 15.13 | 7.755 | 14.35 | 14.55 | 45.51 | 2.5 | 26.84 | 68.52 | 52.8 |
| | Ecart type | 0.75 | 0.19 | 4.09 | 5.88 | 26.02 | 0.09 | 24.18 | 24.37 | 49.14 |
| | Maximum | 16.2 | 7.92 | 20.2 | 25.93 | 98.24 | 2.68 | 73.24 | 96.1 | 126.5 |
| | Minimum | 14 | 7.38 | 8.95 | 9.54 | 30.63 | 2.41 | 10.9 | 40.08 | 8.62 |
| **Canal** | Moyenne | 16.75 | 7.675 | 24.57 | 50.88 | 56.18 | 6.05 | 20.57 | 74.05 | 135.02 |
| | Ecart type | 1.89 | 0.25 | 3.58 | 34.41 | 28.72 | 0.76 | 10.4 | 18.44 | 40.27 |
| | Maximum | 18.5 | 7.87 | 28.3 | 96.51 | 86.41 | 6.56 | 36.18 | 92.14 | 177.4 |
| | Minimum | 14.2 | 7.3 | 20 | 22.08 | 30.42 | 4.91 | 15.15 | 49.14 | 99.65 |

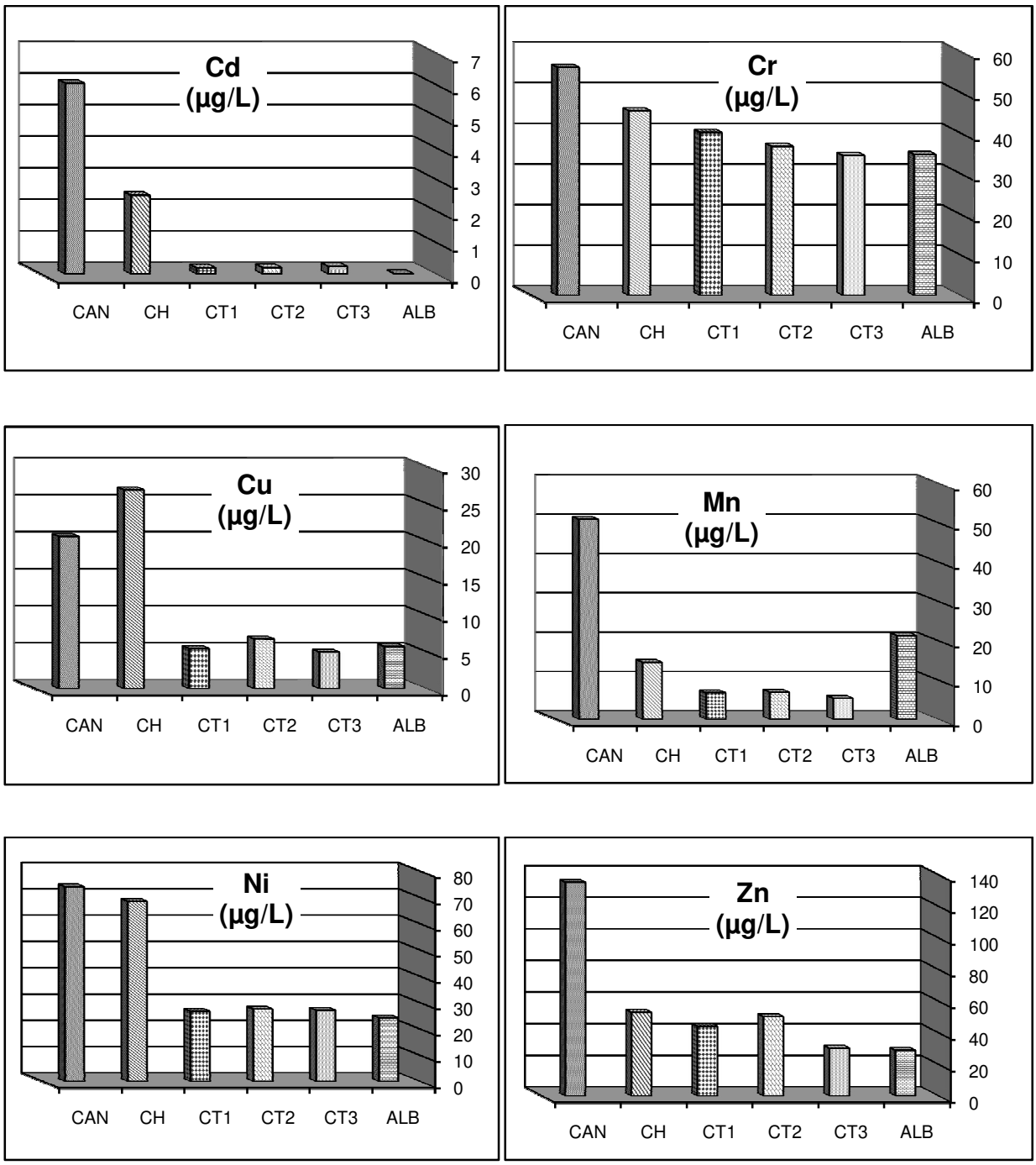


**Figure 5 :** Teneurs moyennes en éléments traces dans les eaux de la région d'Oued Righ

### 3.3.1 Classification des échantillons d'eau

La méthode de Ficklin *et al.*, 1992, modifié par Caboi *et al.*, 1999, a été utilisé pour la classification de l'eau, qui est basée sur la teneur en métaux et le pH. Le pH de l'eau est considéré comme l'un des paramètres importants de la qualité de l'eau dans les systèmes aquatiques (Jonnalagadda and Mhere, 2001). Bien que le pH n'ait aucun effet direct sur la santé humaine, il a cependant des effets indirects, en entraînant des changements dans les paramètres de qualité de l'eau tels que la solubilité des ions métalliques et la survie des agents pathogènes. La figure 3 montre la relation entre le contenu total en métal (mg/l) et le pH. La charge métallique a été calculée comme Cd + Cr + Cu + Mn + Ni + Pb + Zn (mg / l). Tous les échantillons de la zone d'étude sont caractérisés comme des métaux à faible teneur presque neutre (figure. 6).

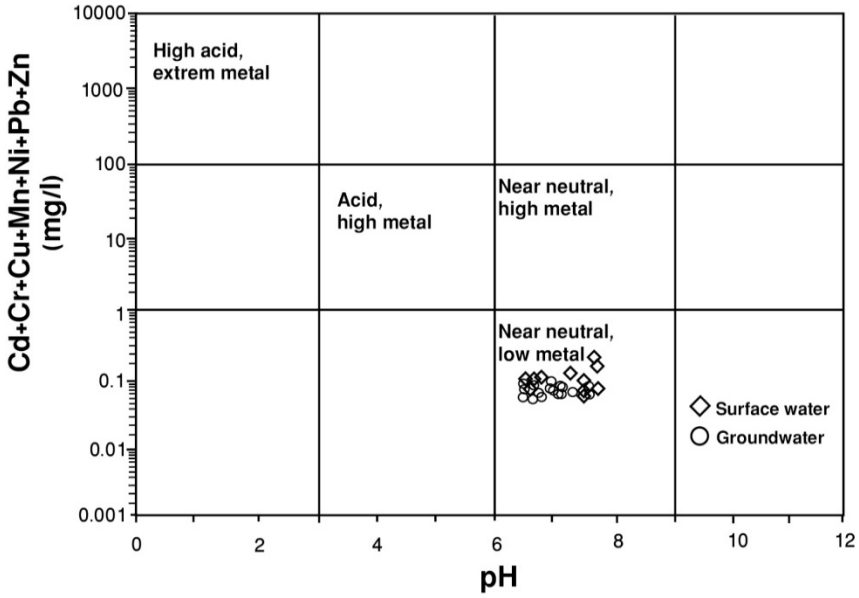


**Figure 6 :** Diagramme de dispersion des concentrations des métaux et du pH.

### 3.4. Analyse en composantes principales

Afin de rechercher les relations éventuelles entre les différents éléments présents dans les différents types eaux de la région d'Oued Righ, nous avons effectué une analyse en composantes principales des données recueillies de l'ensemble des variables étudiés. L'analyse en composantes principales (ACP) est une technique de reconnaissance de formes puissante qui tente d'expliquer la variance d'un ensemble de données de variables inter corrélées avec un ensemble plus petit de variables indépendantes (composante principale) (Hussain *et al.*, 2008; Simeonov *et al.*, 2003).

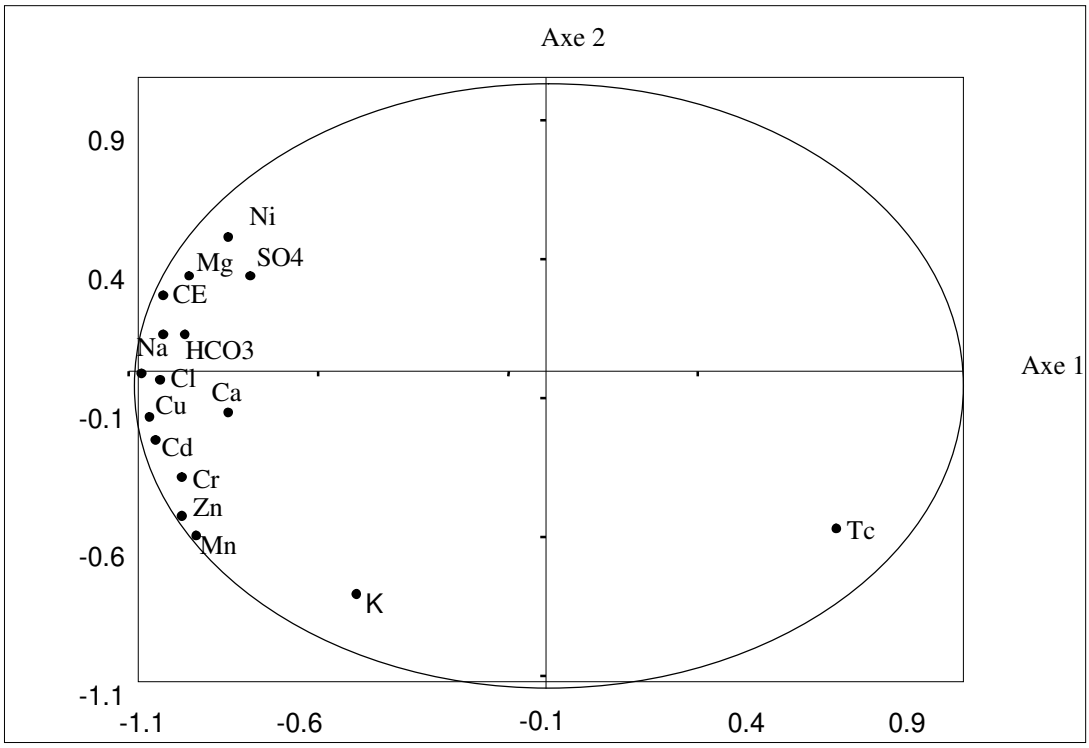


**Figure 7 :** Projections de l'analyse en composantes principales (ACP) suivant les axes 1 et 2 des variables actives associées des teneurs métalliques des différents types d'eaux de la région d'Oued Righ.

### 3.4.1. Analyse les cercles de corrélation

L'analyse en composantes principales des éléments chimiques (16 variables) sur 6 types eaux, montre l'existence de deux axes principaux, présentant une variance totale de 68.87 % (Figure 7, 8). L'axe I explique 59,35 % de la variance, il est lié à la variation des paramètres physicochimiques, éléments majeurs et éléments traces, indiquant le pôle de la minéralisation naturelle et/ou minéralisation anthropique. Le deuxième axe 9,52 % de la variance, il montre la faible teneur en potassium, l'explication de cet axe apparaît au niveau des chotts.

**Le premier grand groupe (A):**

Subdivisé en deux sous groupe l'un est regroupe l'eau de canal où la forte concentration en éléments majeurs et éléments traces due l'action anthropique (action industrielle, action ménagère, action agricole) et l'autre groupe représente l'eau des chotts soumis une forte salinité due l'action agricole (anthropisation) (Figure 7).

**Le deuxième grand groupe (B):**

Présenté par les nappes profondes, caractérisé par des teneurs en éléments majeurs et éléments traces plus faible que le premier groupe est due à l'absence de l'action anthropique dans ces nappes. Ce groupe lui-même est divisé en deux groupes : la nappe de Continental Intercalaire (Albien) et le Complexe Terminal (CT1, CT2, CT3) à ce moment on peu apprécier l'action géochimique (Origine naturelles) entre l'albien et le complexe terminal devient appréciable.

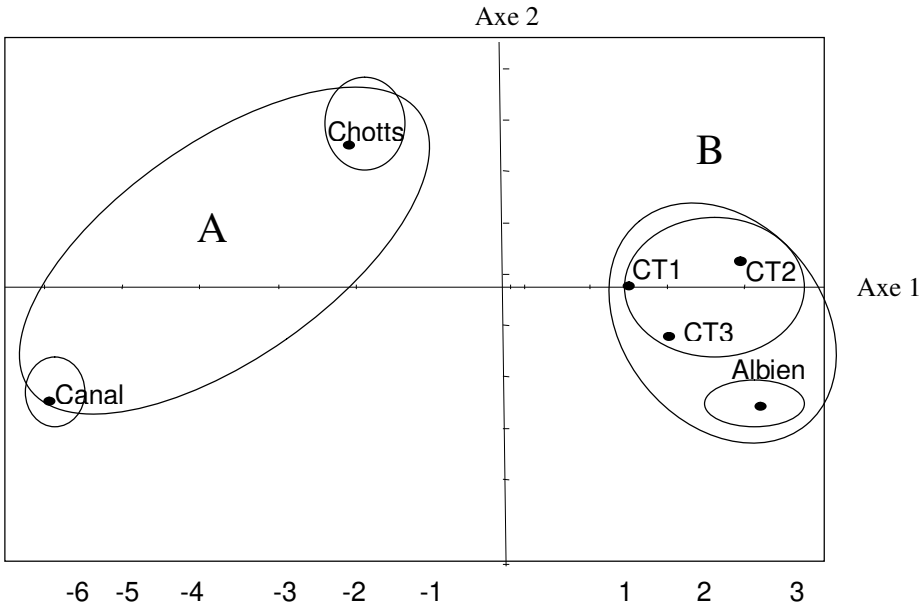


**Figure 8 :** Projections de l'analyse en composantes principales (ACP) suivant les axes 1 et 2 des observations des différents types d'eaux de la région d'Oued Righ.

## 4. Conclusion

La région d'Oued Righ (SE Algérien), caractérisé par la présence d'un sol sableux en majorité siliceux et formés de quartz pur donc insoluble. Dans les régions sédimentaires (Oued Righ et Oued Souf) on trouve aussi des sables calcaires (CaCO3) et gypseux (CaSO4.2H2O) et l'existence aussi de deux grands systèmes aquifères, séparés par d'épaisses séries argileuses et évaporitiques, de la base du Crétacé supérieur. Ces deux nappes de Continental Intercalaire et de Complexe Terminal, peu profonde au sud et profonde au nord, présente une potentialité en eau importante. Ces nappes sont fortement utilisées pour l'irrigation, l'industrie et l'alimentation en eau potable.

L'étude hydrochimiques montre que les eaux des nappes profondes possèdent une salinité élevée (2,72 dS/m (CI) et 10,61 dS/m (CT3)), due à l'effet de la dissolution des formations géologiques (évaporitiques et carbonatées). D'autres éléments chimiques sont observés avec des concentrations très faibles, mais ils possèdent un caractère toxique Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb et Zn ne dépassent pas les normes d'OMS, DCCE et RF leurs présences est due la géochimique (naturellement).

D'une manière générale il ressort de cette étude que les teneurs en éléments traces métalliques toxiques des différentes eaux de la région de Oued Righ ne sont pas assez élevés pour avoir un sérieux impact sur l'environnement surtout les risques naturels sur la santé publique à court terme. A l'inverse les facteurs anthropique tel que la détérioration de la qualité des eaux de surface en raison du développement urbain et industriel. Les rejets des agglomérations ainsi que celles des usines sont souvent rejetés directement au niveau du canal et puis ver un écosystème vivant (Chott Marouane) et des fois ver des lacs et des Sebkhas probablement trouvent dans des zones de percolation, donc la possibilité de contaminé les nappes peu profonde à ce moment il doit être apparition des phénomènes non désirables.

**References bibliographiques**


- Abbas Alkarkhi F.M., Ismail N., Mat Easa A., (2008). Assessment of arsenic and heavy metal contents in cockles (Anadara granosa) using multivariate statistical techniques, Journal of Hazard Mater 150: 783–789.
- Ahmet D., Fevzi Y., Tuna A.L., Nedim O., (2006). Heavy metals in water, sediment and tissues of Leuciscus cephalus from a stream in southwestern Turkey, Chemosphere 63: 1451–1458.

- Caboi R., Cidu R., Fanfani L., Lattanzi P., Zuddas P., (1999). Environmental mineralogy and geochemistry of the abandoned Pb–Zn Montevecchio-Ingurtosu mining district, Sardinia, Italy, Chron. Rech. Miniere. 534: 21–28.
- Carpenter S.R., Caraco N.F., Correll D.L., Howarth R.W., Sharpely A.N., Smith V.H., (1998). Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen, Ecological Applications 8: 559–568.
- Chanpiwat P., Sthiannopkao S., Kim K.W., (2010). Metal content variation in wastewater and biosludge from Bangkok's central wastewater treatment plants, Microchem. J. 95: 326– 332.
- Fergusson J.E., (1990). The heavy element chemistry, in: J.E. Fergusson (Ed.), Environmental Impact and Health Effects, Pergamon, New York, p. 720.
- Ficklin D.J.W.H., Plumee G.S., Smith K.S., McHugh J.B., (1992). Geochemical classification of mine drainages and natural drainages in mineralized areas, in: Y.K. Kharaka, A.S. Maest (Eds.), Water–rock Interaction, vol. 7, Balkema, Rotterdam, pp. 381–384.
- Guendouz A., Reghis Z., Moulla AS., (1992). Hydrochemical and isotopic study of groundwater in the basin of Ouargla. Report N°1, p 66
- Hussain M., Ahmed S.M., Abderrahman W., (2008). Cluster analysis and quality assessment of logged water at an irrigation project, eastern Saudi Arabia, J. Environ. Manag. 86: 297.
- Jonnalagadda S.B., Mhere G., (2001). Water quality of the Odzi river in eastern highlands of Zimbabwe, Water Res. 35: 2371–2376.
- Krishna A.K., Satyanarayanan M., Govil P.K., (2009). Assessment of heavy metal pollution in water using multivariate statistical techniques in an industrial area: a case study from Patancheru, Medak District, Andhra Pradesh India, J. Hazard. Mater. 167: 366–373.
- Mamou A., (1990). Characteristics and evaluation of water resources in southern Tunisia. PhD thesisUniv Paris-Sud, Orsay, p 320
- Mohammad Bhuiyan A.H., Islam M.A., Samuel B. Dampare, Lutfar Parvez, Shigeyuki Suzuki, (2010). Evaluation of hazardous metal pollution in irrigation and drinking water systems in the vicinity of a coal mine area of northwestern Bangladesh J. Hazard. Mater. 179: 1065–1077.
- NA (Norme algérienne) (2006) Journal officiel de la République algérienne n° 26, 2006. Décret exécutif n° 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels, Algérie, p 4–5
- Nesson C., (1978). The development of water resources in the oases of Lower Algerian Sahara. In:Search on Algeria. (Edition CNRS), Paris, pp 7–100.
- Ouyang Y., Higman J., Thompson J., Toole O.T., Campbell D., (2002). Characterization and spatial distribution of heavy metals in sediment from Cedar and Ortega Rivers sub-basin, J. Contam. Hydrol. 54: 19–35.
- Pekey H., Karaka D., Bakoglu M., 2004. Source apportionment of heavy metals in surface waters of a polluted stream using multivariate statistical analyses, Mar. Pollut. Bull. 49: 809–818.
- Rodier, J. (1996). L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8ème édition Dunod, Paris, France.
- SASS, (2002). The aquifer system in the northern Sahara: a basin awareness. OSS, Vol and annex. OSS/SASS, Tunisia
- Seth, S.M, (2003). Human impacts and management issues in arid and semi-arid regions. In: Simmers, I. (Ed.), Understanding Water in a Dry Environment –Hydrological Processes in Arid and Semi-arid Zones. IAH-ICH 23, Balkema, Rotterdam, pp. 289–341.
- Simeonov V., Stratis J.A., Samara C., Zachariadis G., Voustsa D., Anthemidis A., Sofoniou M., Kouimtzis TH., 2003. Assessment of the surface water quality in Northern Greece, Water Res. 37: 4119.
- Tariq S.R., Shah M.H., Shaheen N., Khalique A., Manzoor S., Jaffar M., (2006). Multivariate analysis of trace metal levels in tannery effluents in relation to soil and water: a case study from Peshawar, Pakistan, J. Environ Manag 79: 20–29.