

Géochimie des eaux du barrage Bezirk dans le Cap Bon, Tunisie

[Geochemistry of waters of the Bezirk reservoir in the Cap Bon, Tunisia]

Samira Melki and Moncef Gueddari

UR. Géochimie et Géologie de l'Environnement, Département de Géologie, F.S.T,
Université Tunis El Manar, Campus Universitaire, 2092, Tunis El Manar, Tunisie

Copyright © 2015 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: In Tunisia, irrigation in the arid and semi-arid areas is often accompanied by sodicity and alkalization of soils, leading to soil degradation and decreased crop yields. In this context, this study aims to analyze the spatio-temporal variation, and depending on depth of the water quality of the dam of Bezirk. Monitoring of physico-chemical parameters, concentrations of nutrients and major elements was performed to identify the factors and phenomena that govern their variations. Compilation and interpretation of all results show the main origin of the major elements is the chemical weathering of rocks exposed in the watershed and nutrients originate soil leaching and degradation of organic matter. The variation of the contents of dissolved inorganic nitrogen and phosphorus is linked to the level of dissolved oxygen, to the photosynthesis-respiration balance and to the degree of degradation of organic matter. The concentrations of the major elements are mainly controlled by dilution - evaporation balance, ion complexation and biologic activity. The values of conductivity, alkalinity and SAR show that waters of Bezirk dam are of good quality for irrigation and can be used without risk, particularly for moderately salt tolerant plants.

KEYWORDS: Bezirk dam, Tunisia, irrigation water, nutrients, major elements, SAR, alkalinity.

RESUME: En Tunisie, l'irrigation dans les régions arides ou semi-arides s'accompagne souvent de processus de salinisation, de sodicité et d'alcalinisation des sols, ce qui conduit à la diminution du rendement des cultures. C'est dans ce contexte que s'inscrit ce travail qui a pour principal objectif d'étudier la variation spatio-temporelle et en fonction de la profondeur de la qualité des eaux du barrage Bezirk. Un suivi des paramètres physico-chimiques, des éléments nutritifs et des éléments majeurs a été effectué afin d'identifier les facteurs et les phénomènes qui régissent leurs variations. La compilation et l'interprétation de l'ensemble des résultats obtenus ont permis de déterminer l'origine des solutés et d'analyser leurs comportements géochimiques. On montre, en particulier, que les éléments majeurs proviennent de l'altération chimique des roches qui affleurent dans le bassin versant et que les éléments nutritifs ont pour origine le lessivage des sols et la dégradation, in situ, de la matière organique. La variation des teneurs des composés de l'azote et du phosphore est liée au taux d'oxygène dissous, au bilan photosynthèse-respiration et au degré de dégradation de la matière organique. Les concentrations des éléments majeurs sont contrôlées principalement par le bilan dilution – évaporation, par le phénomène de complexation ionique et par l'activité biologique. Les valeurs de la conductivité, du SAR et de l'alcalinité montrent que les eaux du barrage Bézirk, qui sont destinées à l'irrigation, sont de bonne qualité et peuvent être utilisées sans risque, en particulier pour les plantes moyennement tolérantes aux sels.

MOTS-CLEFS: Barrage Bezirk, Tunisie, eau d'irrigation, éléments nutritifs, éléments majeurs, SAR, alcalinité.

1 INTRODUCTION

En Tunisie, les contraintes climatiques, avec un apport pluviométrique modeste, inégalement reparté dans l'espace et très irrégulier dans le temps, et un pouvoir évaporant très fort, font que les ressources en eau sont limitées.

Pour faire face à ces facteurs physiques de rareté de l'eau en Tunisie, une stratégie nationale a été mise en place pour une gestion raisonnée de la ressource, surtout pour l'irrigation qui consomme plus de 80% des ressources totales mobilisées. Par ailleurs, la pollution hydrique liée à l'intensification de l'exploitation des ressources en eau, à l'accroissement des zones urbaines et industrielles et à l'intensification agricole prend de l'ampleur et menace de plus en plus la qualité et la quantité de la ressource. L'évaluation et le contrôle périodique de la qualité de l'eau d'irrigation sont donc nécessaires.

2 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Le bassin versant d'oued Bezirk est situé sur le flanc nord-ouest du Cap Bon, au Nord-Est de la Tunisie.

L'oued Bézirk résulte de la confluence de trois affluents (oued Houaz, oued Lella Mlouka, et oued Defla) et débouche dans le Golf de Tunis, près de la ville de Soliman (Fig.1).

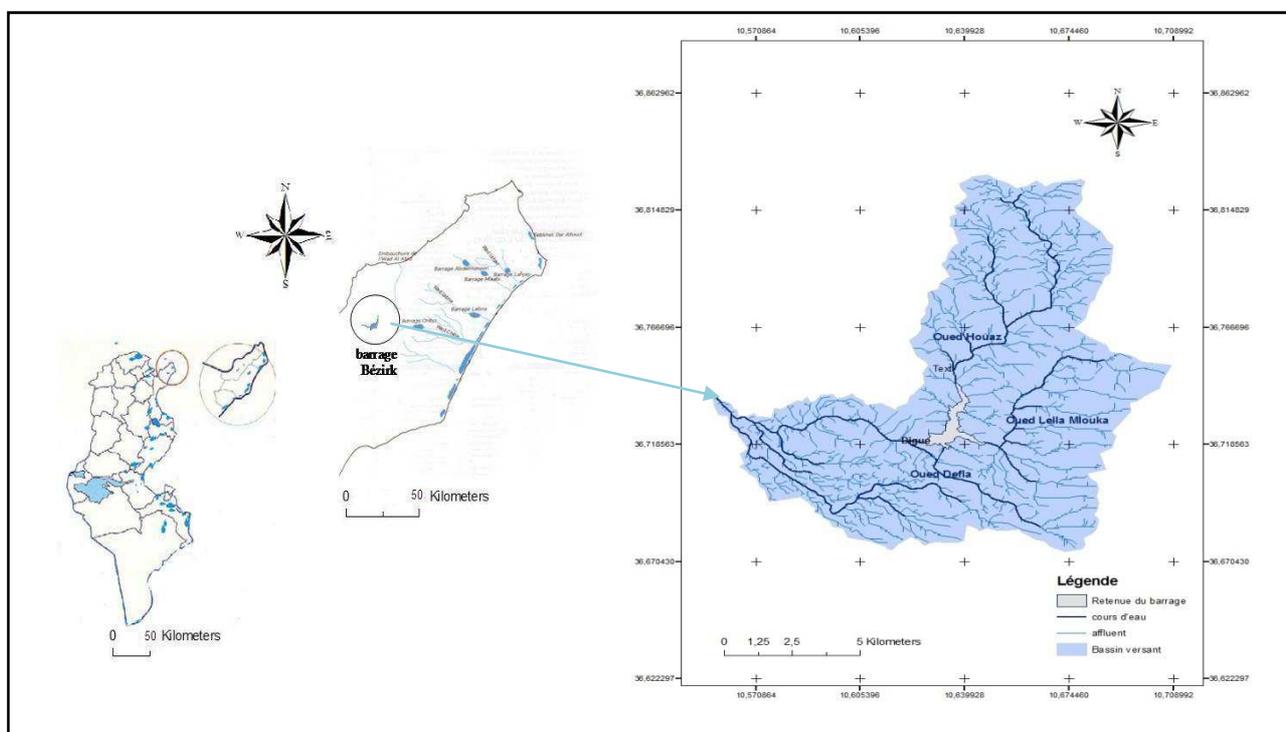


Fig.1. Localisation du bassin versant de l'oued Bezirk

Le bassin versant de la retenue du barrage Bézirk appartient à l'étage bioclimatique semi-aride supérieur. Le bilan précipitation-évaporation est déficitaire pendant les mois d'avril, mai, juin, juillet, août et septembre, alors qu'il est légèrement excédentaire durant le reste de l'année.

Les formations géologiques qui affleurent dans le bassin versant de l'oued Bézirk les principales sont les suivantes :

- Le Quaternaire récent: il est représenté par des sables à débris de gastéropodes terrestres, et couvre la plaine de Menzel Bouzelfa.
- Le Quaternaire ancien: il est formé par des sables lacustres à Helicidés, et affleure dans le bassin versant de l'oued Defla.-Le Vindobonien: il est constitué par des alternances de grès et de marnes, affleurant dans la majeure partie du bassin versant. C'est sur cette série que repose la digue du barrage [2].

3 MATÉRIELS ET MÉTHODES

L'étude géochimique des eaux du barrage Bézirk a été entreprise en effectuant deux campagnes d'échantillonnage, en avril et en juillet 2012, qui ont concerné la colonne d'eau au niveau de la tour de prise (un échantillon tous les deux mètres) et une campagne en juillet 2012, pour le prélèvement des eaux de surface dans l'ensemble de la retenue (Fig.2). Au total Vingt six échantillons ont été prélevés.

Les échantillons prélevés ont fait l'objet de mesures in-situ des paramètres physicochimiques (pH, T, O₂ dissous, Conductivité) et d'analyses au laboratoire des éléments nutritifs (nitrates, nitrites, azote ammoniacal, orthophosphates) et des éléments majeurs (Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Cl⁻, SO₄²⁻ et HCO₃⁻).

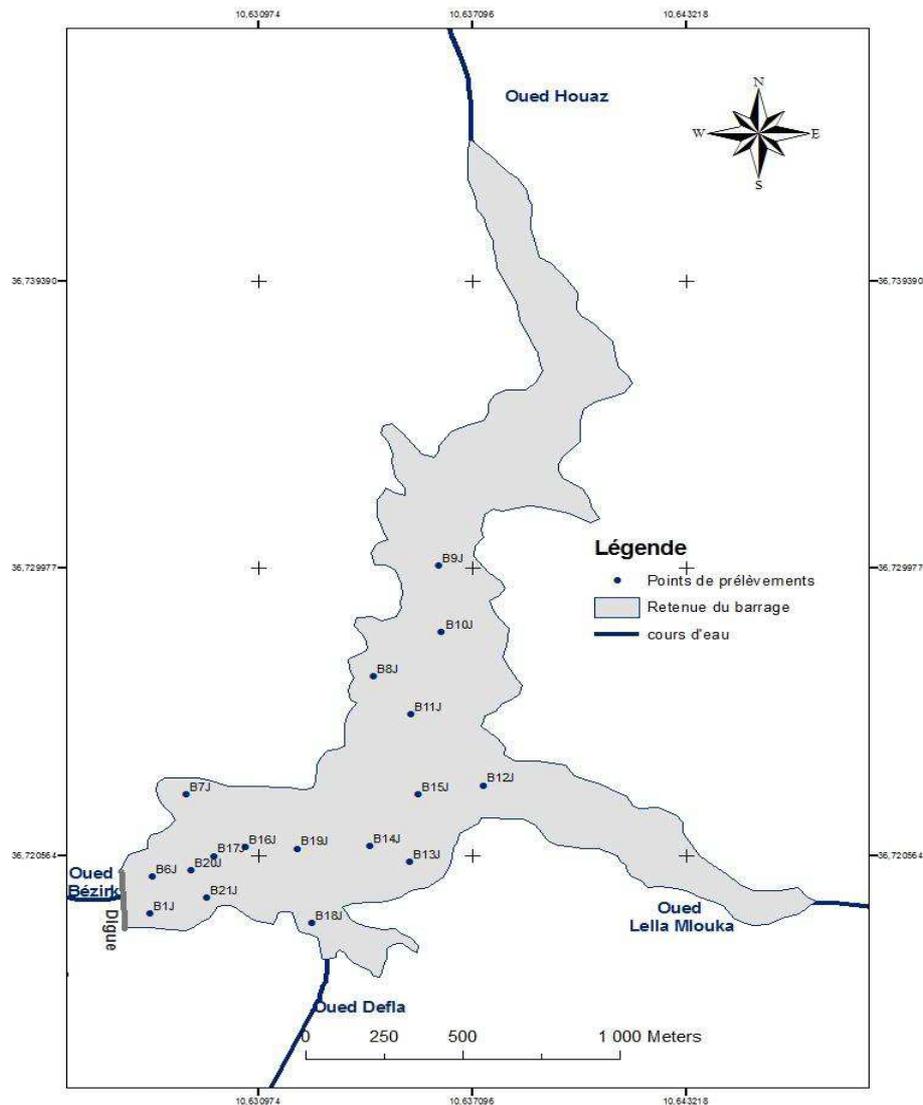


Fig.2. Carte de localisation des stations de prélèvements des eaux du barrage Bézirk

4 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

4.1 LES PARAMÈTRES PHYCICO-CHIMIQUES

Les profils thermiques des eaux prélevées en profondeur au niveau de la tour de prise du barrage ne montrent pas une variation notable le long de la colonne d'eau, pour les deux campagnes d'échantillonnages, avec des valeurs variant de 16 à

16,5°C en Avril et de 15,7 à 16,5°C pendant le mois de Juillet (Fig.3.a). Cette faible variation verticale de la température qui caractérise les eaux de la retenue est liée au brassage des masses d'eau et à la faible profondeur de la tranche d'eau. La température des eaux de surface varient de 14,5 à 16,5 °C (Fig.4.a).

Le pH des eaux prélevées à différents profondeurs, varie de 7,53 à 7,68 en avril et de 7,33 à 7,99, en juillet. Ces valeurs indiquent que les eaux du barrage Bézirk sont légèrement neutres à alcalines. Le suivi dans le temps de ce paramètre montre une variation assez significative en profondeur (Fig.3.b). En effet, le long de la colonne d'eau, on observe une diminution du pH quand la profondeur augmente, en particulier pendant le mois de Juillet. Cette diminution, serait en rapport essentiellement avec le bilan photosynthèse(P)-respiration(R) et avec l'augmentation de la pression partielle du CO₂. La variation du pH dans les eaux de surface est faible (Fig.4.b). En effet, les valeurs de ce paramètre sont comprises entre 7,52 et 8,26. Cette faible variation est en rapport essentiellement avec la faible variation de la température des eaux de surface, et du taux de CO₂ dissous.

La conductivité des eaux de la retenue Bezirk est relativement faible. Elle varie, en fonction de la profondeur, de 431 à 438 µs/cm pendant le mois d'avril et de 466 à 487 µs/cm, en juillet (Fig.3.c). La variation de la conductivité le long de la colonne d'eau montre, en général, une diminution lorsque la profondeur augmente. La comparaison des deux profils de la conductivité, pour les deux campagnes d'échantillonnage, montre que les eaux les plus chargées en sels dissous sont celles prélevées pendant le mois de Juillet. Cette variation est sous l'effet de l'évaporation ou de la dilution et de l'homogénéisation des eaux.

La teneur en oxygène dissous des eaux du barrage Bézirk varie, en fonction de la profondeur de 7 à 9,1 mg/l, en avril et de 2,7 à 7,5 en juillet (Fig.3.d). Pour les deux campagnes de prélèvement, la concentration en oxygène dissous diminue avec la profondeur. Cette diminution au fond de la retenue serait liée à la consommation de ce gaz dissous par les bactéries aérobiques qui décomposent la matière organique et à la diminution de l'activité photosynthétique. L'écart des valeurs entre avril et juillet serait lié à la variation de la température. Dans les eaux de surface de l'ensemble de la retenue, la teneur en O₂ dissous varie entre 6,9 et 8 mg/l. La carte de répartition de ces teneurs montre que les eaux les plus chargées en oxygène sont celles prélevées dans les zones où la tranche d'eau est faible, où l'eau stagnante, avec une tapis algaire. Ces zones sont localisées près des bordures de la retenue et dans les parties aval des oueds (Fig.4.c). Les taux élevés d'O₂ dissous sont liées à la diffusion de l'oxygène de l'air et au brassage des masses d'eau.

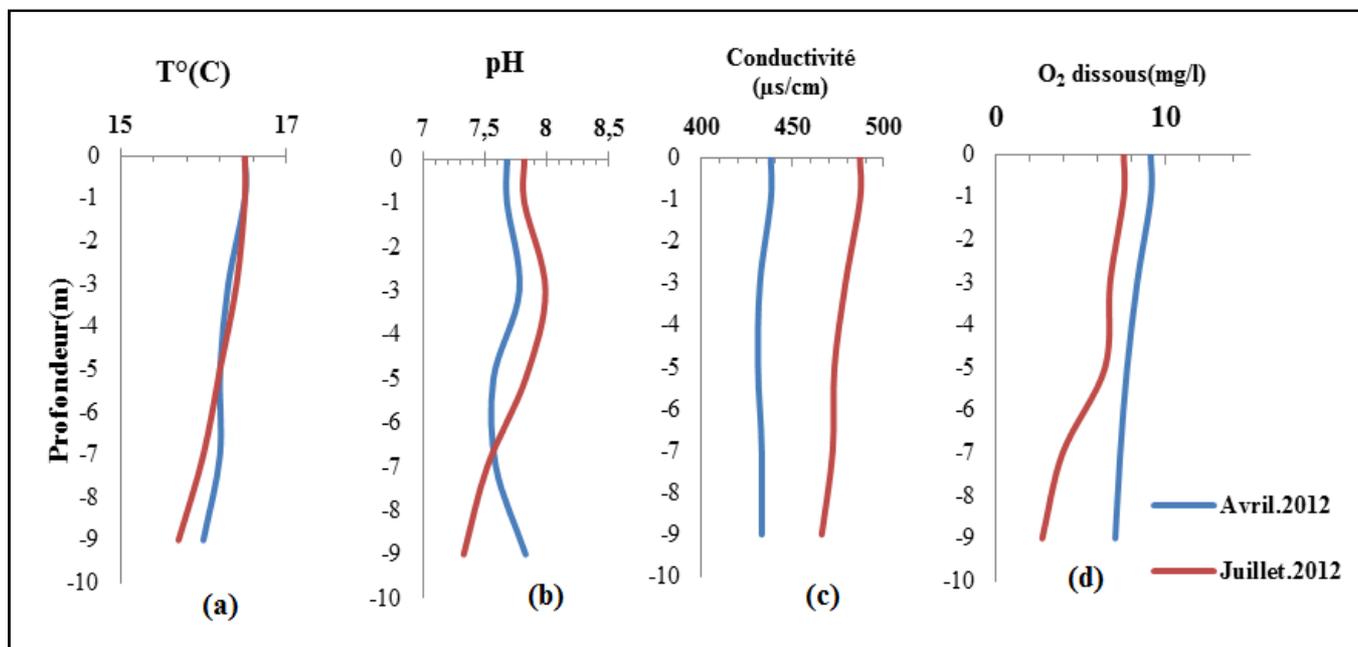


Fig.3. Variation en fonction de la profondeur de température (a), du pH (b), de la conductivité (c) et de la teneur en O₂ dissous dans les eaux du barrage Bezirk

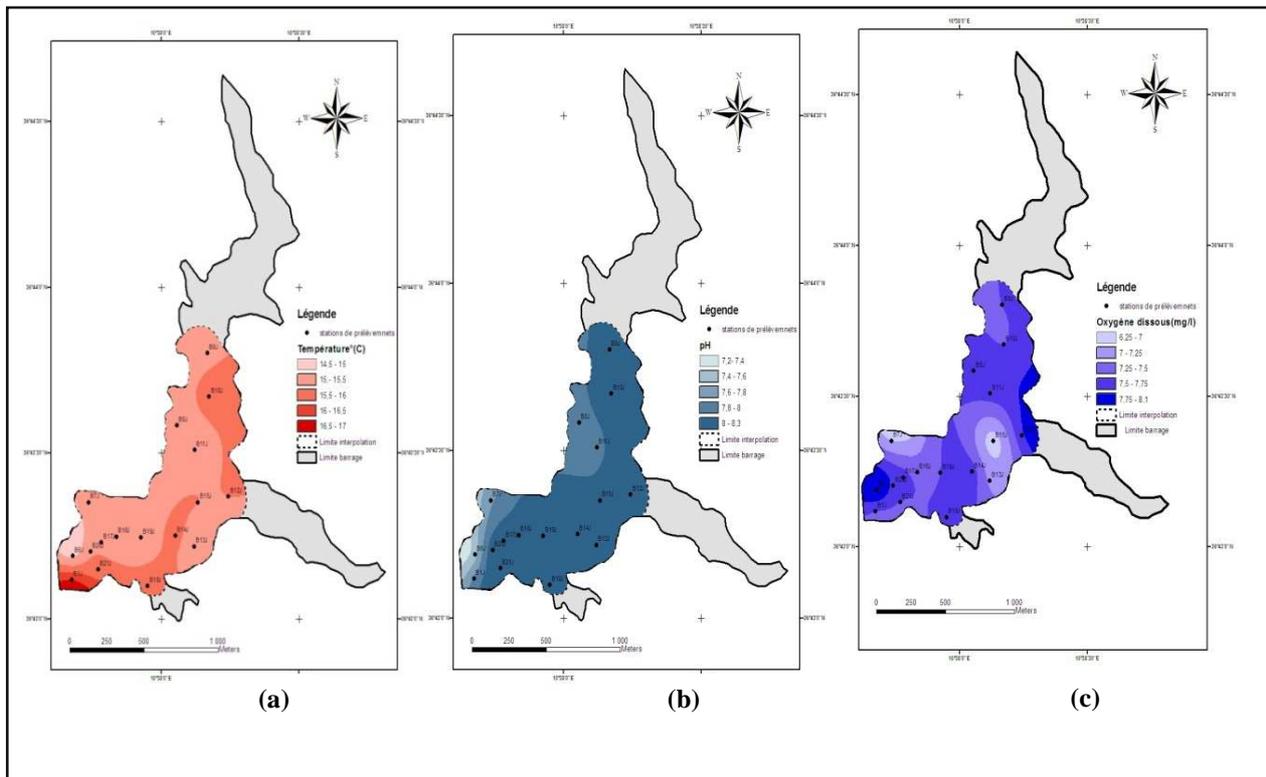


Fig.4. Cartes de répartition de la température (a), du pH (b) et des teneurs en oxygène dissous(c) des eaux de surface du barrage Bézirk,

4.2 LES ÉLÉMENTS NUTRITIFS

Les teneurs en ion ammonium (NH_4^+), enregistrées à différentes profondeurs, sont comprises entre 0,015 et 0,081 mg/l, en avril et entre 0,08 et 0,33 mg/l, en juillet (Fig.5.a). Cette variation, pour les deux campagnes d'échantillonnage, montre une augmentation près du fond, qui serait due aux réactions d'ammonification et de relargage à partir des sédiments du fond de la retenue [3]. L'augmentation des teneurs en juillet par rapport à celles mesurées en avril serait liée à celle de la température et à la diminution de la concentration en oxygène dissous. L'ion ammonium est présent dans la retenue avec des faibles teneurs (Fig.6.a), ce qui confirme le caractère transitoire de cette forme d'azote qui n'est stable que dans les eaux des écosystèmes aquatiques mésotrophes à eutrophes[4].

Les teneurs des nitrites mesurées en profondeur, sont comprises entre 0,11 et 0,14 mg/l, en avril, et entre 0,27 et 0,38 mg/l, en juillet (Fig.5.b), avec une augmentation près du fond de la retenue, où les eaux sont moins oxygénées. La carte de répartition spatiale des teneurs en nitrites des eaux de surfaces est similaire à celle des concentrations en NH_4^+ (Fig.6.b). Ceci explique que les teneurs de ces deux formes de l'azote inorganique dissous sont contrôlées par les mêmes facteurs et phénomènes.

Les nitrates sont les formes dominantes de l'azote inorganique dissous dans les eaux de la retenue de barrage Bézirk, aussi bien en surface qu'en profondeur. Les teneurs enregistrées varient, en fonction de la profondeur, de 1,2 à 1,8 mg/l, en Avril et de 3,62 à 9,13 mg/l en Juillet (Fig.5.c). Les profils verticaux des concentrations en NO_3^- , pour les deux campagnes de prélèvement, montrent une augmentation avec la profondeur, en particulier en Juillet. Dans les eaux de surface, les concentrations en NO_3^- s'échelonnent entre 1,98 et 6,45 mg/l (Fig.6.c).

L'augmentation des teneurs en NO_3^- de la surface vers le fond de la retenue serait liée à la diminution de l'intensité de l'activité photosynthétique et à l'oxydation, en profondeur, de la matière organique provoquant une diminution de la teneur en oxygène dissous. Les eaux prélevées en surface pendant le mois de juillet sont dans l'ensemble bien oxygénées, ce qui est en faveur de la stabilité de l'azote sous forme de nitrates. Une assez bonne corrélation positive est observée entre la teneur de NO_3^- et le taux de O_2 dissous (Fig.7). Par ailleurs, on note que la concentration de NO_3^- a tendance à augmenter quand celle de NO_2^- diminue (Fig.8). Ceci explique qu'une proportion non négligeable des nitrates provient de la transformation des nitrites.

Les orthophosphates sont présents essentiellement sous forme d'ion HPO_4^{2-} , qui est la plus stable dans un intervalle de pH compris entre 7,2 et 10,3. Leurs concentrations dans les eaux de la retenue du barrage Bézirk, mesurées à différentes profondeurs, sont comprises entre 0,011 et 0,09 mg/l, en avril, et entre 1,86 et 1,94 mg/l, en juillet (Fig.5.d). La distribution spatiale de ces teneurs montre que les plus fortes valeurs caractérisent les eaux prélevées dans la partie Sud-Ouest de la retenue et sur la rive Nord-Est (entre oued Houaz et oued Lella Mlouka) (Fig.9). Les concentrations les plus faibles sont enregistrées dans les eaux prélevées au niveau de la partie aval d'oued Defla et celle d'oued Houaz.

La variation de teneurs en orthophosphates en fonction de celles de l'azote inorganique total dissous (NID) ne montre pas une corrélation évidente, ce qui explique que les orthophosphates auraient, en plus de l'origine in situ, en relation avec la dégradation de la matière organique, une source anthropique, en particulier les eaux de lessivage des terres agricoles (Fig.10).

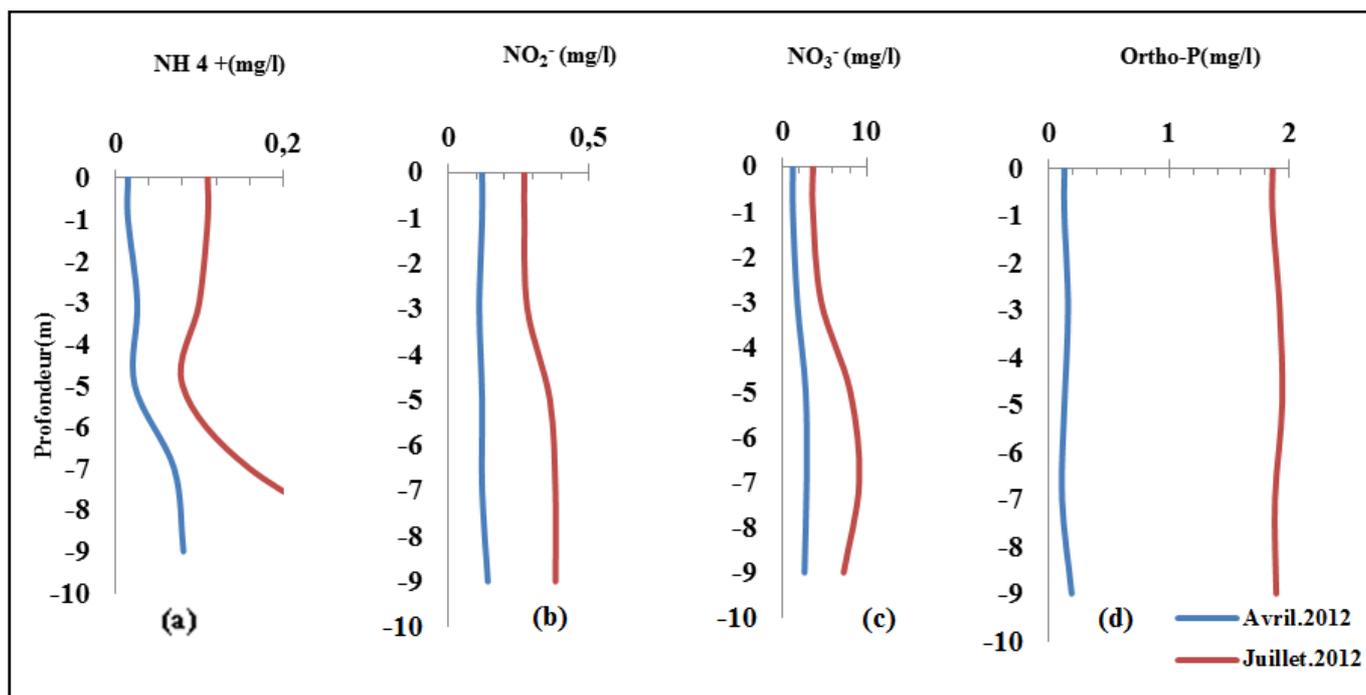


Fig.5. Variation en fonction de la profondeur des teneurs en NH_4^+ (a), en NO_2^- (b), en NO_3^- (c) et en Ortho-P (d) dans les eaux du barrage Bezirk

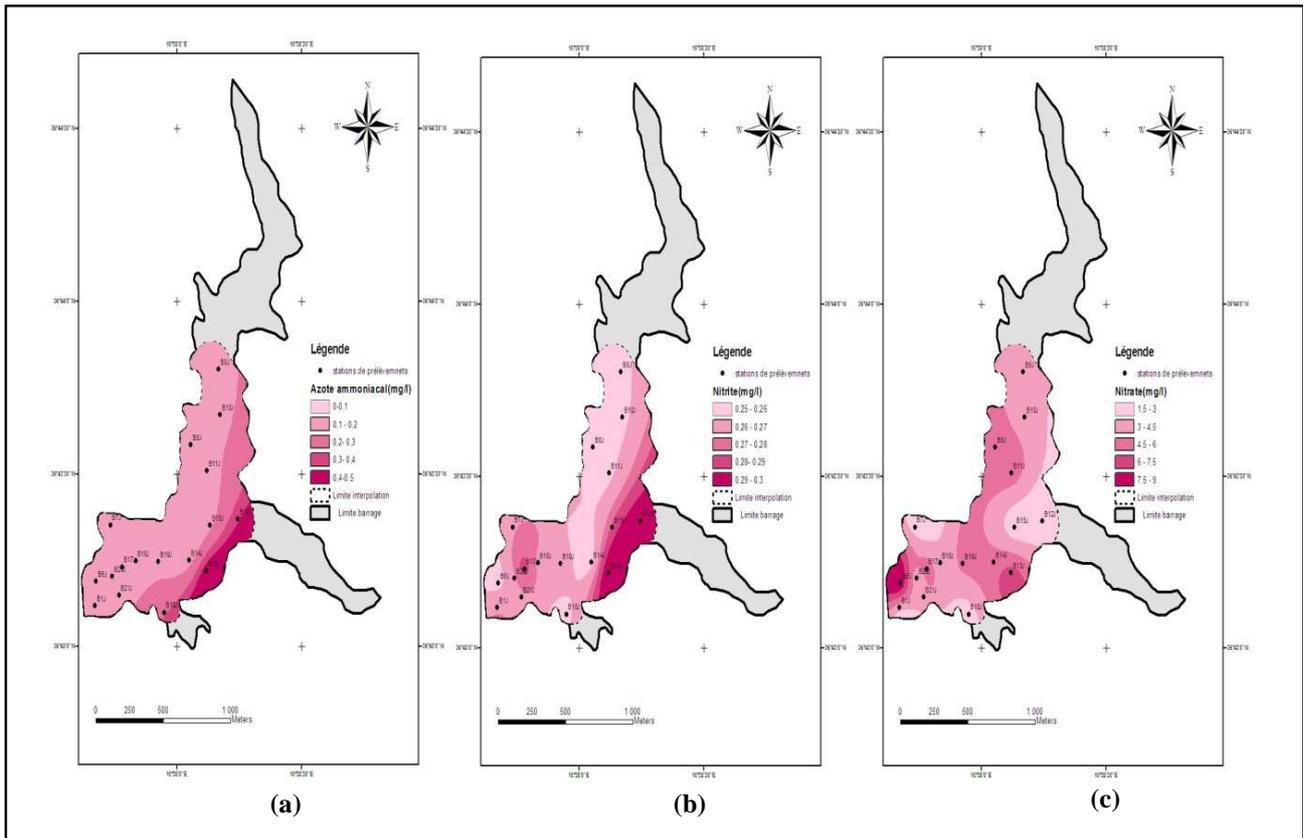


Fig.6. Cartes de répartition des teneurs en NH_4^+ (a), en NO_2^- (b) et en NO_3^- (c) des eaux de surface du barrage Bezirk, prélevées en Juillet 2012.

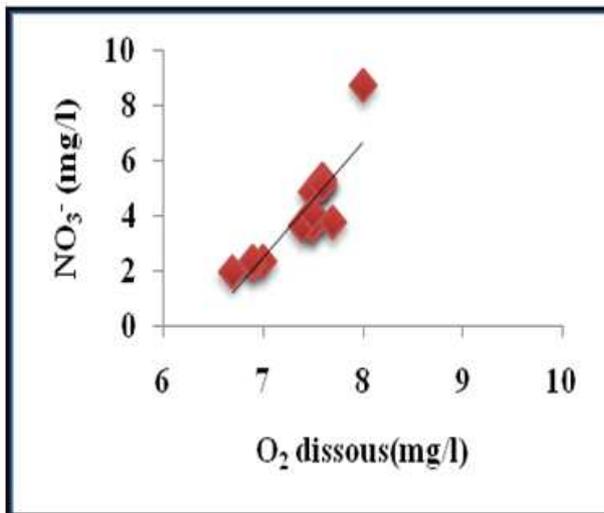


Fig.7. Corrélation entre les concentrations des ions nitrates et de celles de l'oxygène dissous des eaux de surface du barrage Bezirk

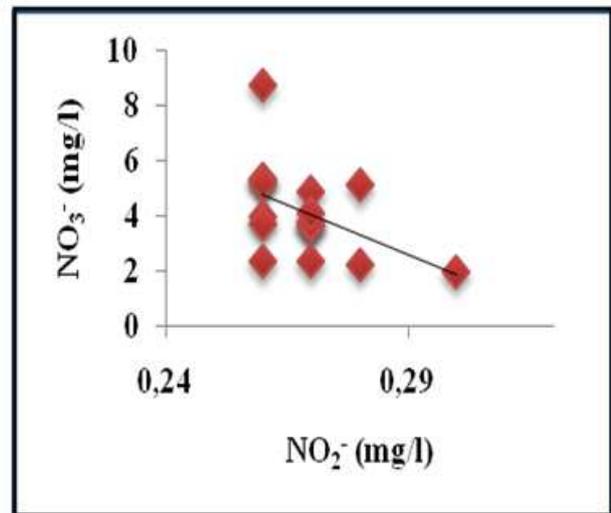


Fig.8. Corrélation entre les concentrations des ions NO_3^- et NO_2^- des eaux de surface du barrage Bezirk

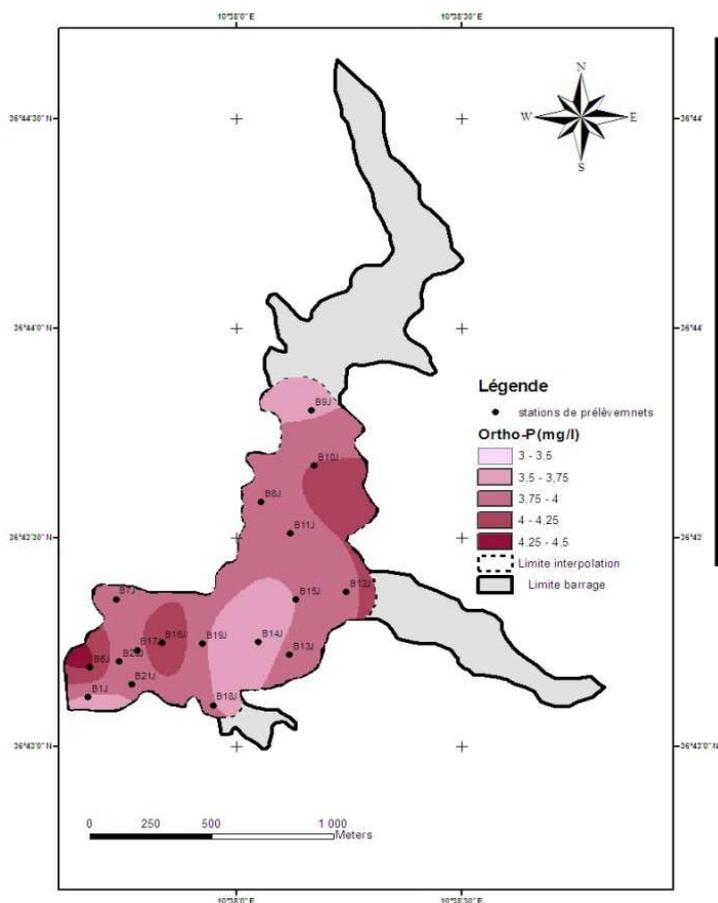


Fig.9. Carte de répartition des teneurs en orthophosphates des eaux de surface du barrage Bezirk

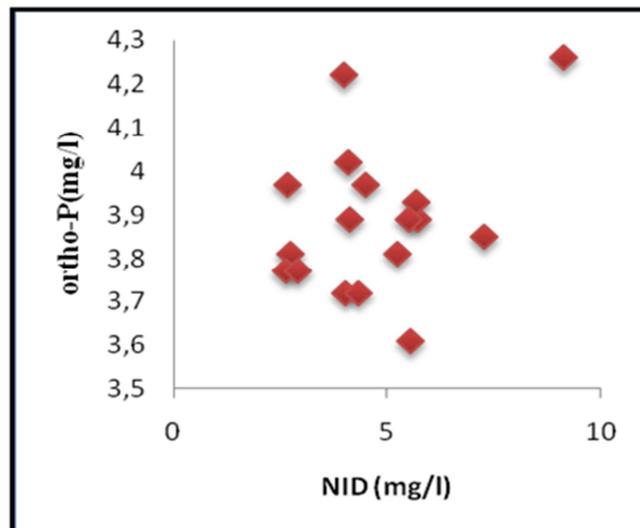
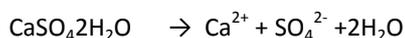


Fig.10. Corrélation entre les teneurs en azote inorganique dissous total ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2 + \text{NH}_4$) et celles des orthophosphates des eaux du barrage Bezirk

4.3 LES ÉLÉMENTS MAJEURS

Les concentrations de Na^+ et de Cl^- sont très bien corrélées positivement, avec un coefficient de détermination de l'ordre de 0,89 (Fig.11). Ceci montre que ces deux ions, qui sont très solubles, ont un comportement géochimique similaire. Leurs concentrations augmentent ou diminuent sous l'effet de l'évaporation ou la dilution. Le rapport molaire $\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Cl}^-) = 0,5$ pour tous les échantillons analysés, est en faveur d'une origine commune de Na^+ et de Cl^- , qui est la dissolution de la halite.

La relation entre les concentrations de Ca^{2+} et de SO_4^{2-} , exprimées en mmol/l, est caractérisée par une bonne corrélation positive, avec un coefficient de détermination de l'ordre de 0,98 (Fig.12). Les points représentatifs des eaux, prélevées en surface et à différentes profondeurs, dans le diagramme Ca-SO_4 , se trouvent au dessus de la droite de pente 1, relative à la dissolution du gypse selon la réaction :



L'excès de Ca^{++} par rapport à SO_4^{2-} , indique que le calcium n'a pas pour seule origine la dissolution du gypse, et provient, en plus, de l'altération chimique des calcaires qui affleurent dans le bassin versant du barrage.

Les teneurs en magnésium sont faibles par rapport à celles du calcium. Ces faibles concentrations seraient liées à la rareté des minéraux magnésiens dans les formations affleurant dans le bassin versant drainé par les eaux d'apport à la retenue. La variation des teneurs en magnésium en fonction de celles en calcium montre une bonne corrélation positive (Fig.13). Ceci indique une origine commune de ces deux éléments qui est l'altération chimique des roches calcaires et le lessivage des sols calci-magnésiques.

Les teneurs en ion K^+ des eaux de la retenue du barrage Bézirk varient, en fonction de la profondeur, de 14,73 à 15,74 mg/l en avril et de 16,74 à 17,36 mg/l en juillet. Dans les eaux de surface de l'ensemble de la retenue, les concentrations de K^+ sont comprises entre 17,01 et 17,33 mg/l. Ces faibles teneurs en ion K^+ dans les eaux de la retenue du barrage seraient liées à la pauvreté des formations géologiques et des sols du bassin versant en minéraux potassiques.

L'alcalinité des eaux du barrage Bézirk est représentée principalement par HCO_3^- , qui est la forme dominante du carbone inorganique dissous dans l'intervalle du pH compris entre 6,4 et 10,3.

La variation de la concentration de calcium en fonction de celle des bicarbonates, montre une très bonne corrélation positive, avec un coefficient de détermination de l'ordre de 0,95 (figure.14). Ces résultats montrent que le calcium et les bicarbonates proviennent, en grande partie, de la dissolution de la calcite.

La représentation de la composition chimique des toutes les eaux prélevées dans le barrage Bezirk dans le diagramme de piper (Fig.15), montre un faciès chloruré sulfaté calci-sodique, avec l'ordre de prédominance décroissant suivant :

- pour les cations : $Ca^{++} > Na^+ > Mg^{++} > K^+$;
- pour les anions : $SO_4^{2-} > Cl^- > HCO_3^-$.

Ce type de faciès est sous l'influence de la composition des eaux de ruissellement du bassin versant de la retenue du barrage.

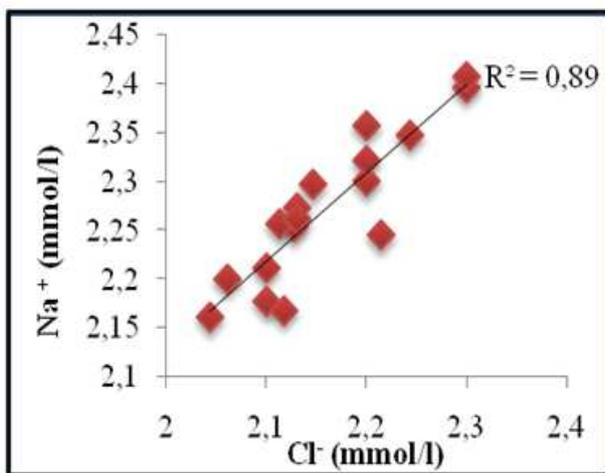


Fig.11. Variation des concentrations de Na^+ en fonction de celles de Cl^- dans les eaux de surface du barrage Bezirk.

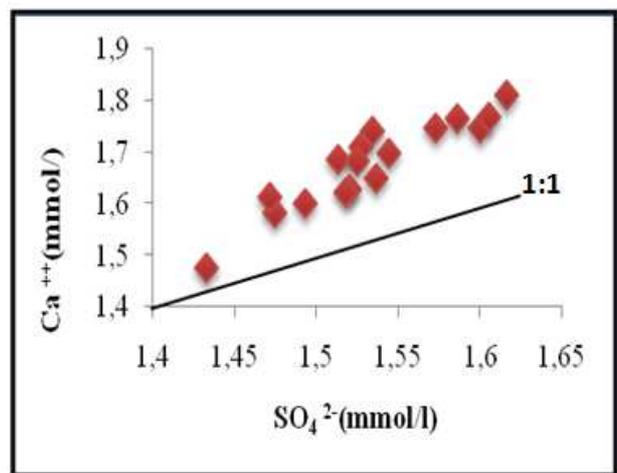


Fig.12. Variation des concentrations de Ca^{++} en fonction de celles de SO_4^{2-} dans les eaux de surface du barrage Bezirk

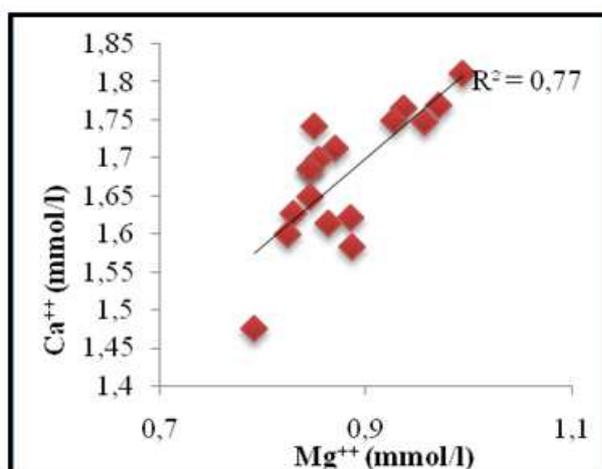


Fig.13. Variation de la teneur en Ca^{2+} en fonction de celle en Mg^{2+} dans les eaux de surface du barrage Bezirk

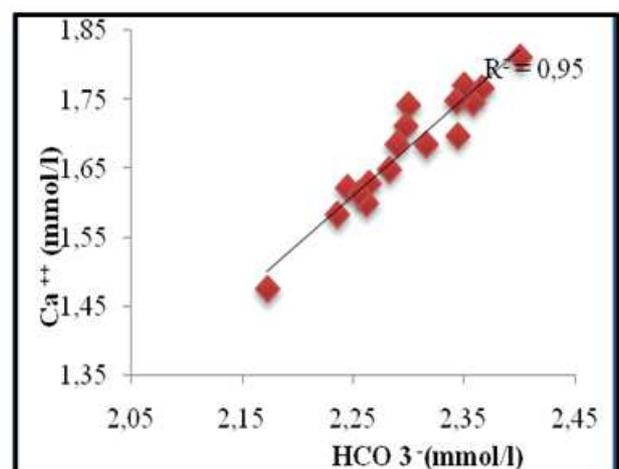


Fig.14. Variation des teneurs en Ca^{2+} en fonction de celle en HCO_3^- dans les eaux de profondeur de la retenue du barrage Bezirk

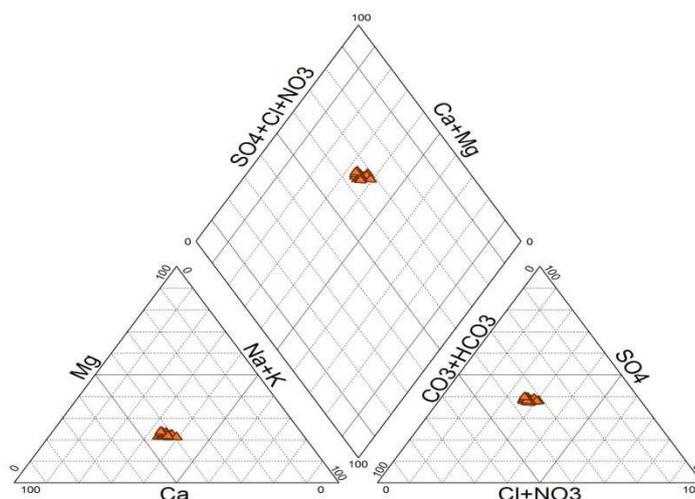


Fig.15. Représentation des compositions chimiques des eaux du barrage Bézirk dans le diagramme de Piper

4.4 L'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DES EAUX DU BARRAGE BEZIRK POUR L'IRRIGATION

Les principaux paramètres qui servent à évaluer la qualité des eaux qui sont destinées à l'irrigation sont: la conductivité, le SAR et l'alcalinité [5].

4.4.1 LA CONDUCTIVITÉ

Un surplus de sels dissous, dont le taux peut être apprécié par la conductivité, augmente la pression osmotique de l'eau du sol, ce qui provoque des conditions qui empêchent les racines d'absorber l'eau [6]. Des conductivités élevées au niveau du substrat du sol rendent l'assimilation des substances nutritives, par les plantes, très difficile et augmentent le risque d'imperméabilisation des sols, qui est estimé par comparaison avec des normes.

Dans l'ensemble, la conductivité des eaux de la retenue du barrage Bézirk ne dépasse pas 500µs/cm. Ces eaux répondent donc aux normes de qualité des eaux d'irrigation vis-à-vis de la conductivité (Tab. 1).

Tableau .1. Normes de qualité pour l'eau d'irrigation [7]

Problème potentiels en irrigation	Sévérité		
	aucune	légère	élevée
Conductivité	<750	750- 3000	≥ 3000
SAR	<3	3-9	≥ 9

4.4.2 TAUX D'ABSORPTION DU SODIUM (SAR)

Une forte concentration en sodium entraîne l'augmentation de la mobilité des argiles sodiques et le sol devient dur et cohérent, ce qui provoque la diminution de la perméabilité du sol et la mobilité de l'eau et sa disponibilité pour les racines.

L'effet du sodium de l'eau d'irrigation sur le sol est estimé par la capacité d'absorption du sodium(SAR) [8].

Le SAR détermine la quantité de sodium en excès par rapport aux ions Ca²⁺ et Mg²⁺ et indique le risque de sodicité du sol.

Il est déterminé par la relation suivante:

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{(Ca + Mg)/2}}$$

Na^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} sont exprimées en méq/l.

Le risque de sodicité du sol est apprécié par les valeurs du SAR (Tab.1)

- SAR < 3 : pas de restriction pour l'utilisation
- 3 < SAR < 9: une attention particulière doit être portée sur les récoltes sensibles
- SAR > 9: Dommage sévère

Les valeurs du SAR pour les eaux du barrage Bézirk sont inférieures à 3, ce qui indique que ces eaux peuvent être utilisées pour l'irrigation sans aucun risque de sodicité du sol.

4.4.3 L'ALCALINITÉ

L'alcalinité mesure la capacité de l'eau à neutraliser les acides. Le pouvoir neutralisant de l'eau est liée principalement à la présence des ions HCO_3^- et CO_3^{2-} .

De ce fait, l'alcalinité a pour expression :

$$\begin{aligned} \text{Alc}(\text{méq/l}) &= 2(\text{CO}_3^{2-}) + (\text{HCO}_3^-) - (\text{H}^+) + (\text{OH}^-) \\ &= 2(\text{Ca}^{++}) + 2(\text{Mg}^{++}) + (\text{K}^+) + (\text{Na}^+) - 2(\text{SO}_4^{2-}) - (\text{Cl}^-) \end{aligned}$$

Après la précipitation des carbonates alcalino-terreux, l'alcalinité résiduelle a l'expression suivante [9]. :

$$\text{Alc}_{\text{RES}} = 2(\text{CO}_3^{2-}) + (\text{HCO}_3^-) - 2(\text{Ca}^{++}) - 2(\text{Mg}^{++})$$

Si la valeur de l'alcalinité résiduelle est positive, il y a enrichissement des carbonates et appauvrissement en éléments alcalino-terreux (Ca^{2+} et Mg^{2+}) et donc les sols irrigués deviennent menacés du risque d'alcalinisation. Si elle est négative, l'eau du sol suit la voie saline neutre.

L'alcalinité résiduelle des eaux de la retenue de Bézirk est négative, ce qui indique que l'utilisation de ces eaux pour l'irrigation ne pose aucun problème d'alcalinisation des sols.

4.4.4 DIAGRAMME CONDUCTIVITE-SAR

La classification des eaux destinées à l'irrigation est établie par une combinaison entre la conductivité de l'eau et la capacité d'absorption du sodium (SAR), en utilisant le diagramme de Wilcox [10] (Fig.16).

L'utilisation de ce diagramme montre que les eaux du barrage appartiennent à la classe C_2S_1 , indiquant que ces eaux sont de bonne qualité et peuvent être utilisées sans risque, pour l'irrigation des plantes moyennement tolérantes aux sels, mais avec précaution dans les sols lourds mal drainés et pour les plantes sensibles (arbres fruitiers).

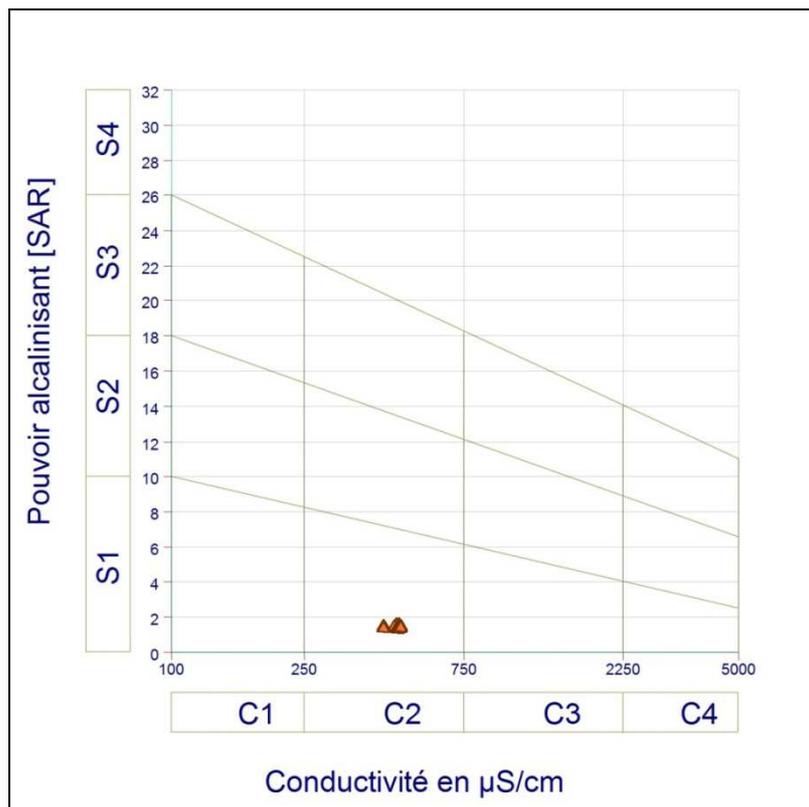


Fig.16. Le diagramme de Wilcox pour les eaux du barrage Bézirk

Tableau.2 Conductivité, alcalinité résiduelle et SAR des eaux du barrage Bézirk

Stations	Conductivité($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Alcalinité résiduelle	SAR(méq/l)
B1A	438	-2,699785334	1,37
B2A	432	-2,330666431	1,37
B3A	431	-2,147191156	1,37
B4A	433	-2,090818019	1,48
B5A	433	-2,283652938	1,39
B1J	487	-2,309265432	1,43
B2J	479	-2,144269547	1,45
B3J	473	-2,236091412	1,54
B4J	472	-2,466951427	1,59
B5J	466	-1,987927815	1,47
B6J	477	-2,258526783	1,51
B7J	480	-2,107080078	1,60
B8J	481	-2,234686939	1,39
B9J	480	-2,413040646	1,44
B10J	481	-2,817331276	1,37
B11J	482	-2,54537543	1,37
B12J	483	-2,131257539	1,37
B13J	485	-2,268645787	1,40
B14J	487	-2,285889327	1,48
B15J	486	-2,435552284	1,38
B16J	483	-2,190469406	1,48
B17J	478	-2,476365344	1,32
B18J	483	-2,295275383	1,42
B19J	481	-2,253567766	1,43
B20J	480	-2,091274236	1,45
B21J	476	-2,675276901	1,33

5 CONCLUSION

Ce travail avait pour principaux objectifs d'identifier les principales origines des solutés présents dans les eaux du barrage Bezirk, et d'expliquer la variation spatiale, et en fonction de la profondeur, des paramètres physico-chimiques et des teneurs en éléments majeurs et en éléments nutritifs, eu égard aux facteurs et aux phénomènes qui contrôlent ces concentrations.

Les teneurs en éléments majeurs sont contrôlées par le bilan évaporation-dilution, par la complexation ionique et par l'activité biologique. La charge saline des eaux est contrôlée essentiellement par les teneurs des ions Na^+ et Cl^- .

Les teneurs des formes inorganiques dissoutes de l'azote varient en fonction de la teneur en oxygène dissous et du bilan photosynthèse-respiration.

L'absence de corrélation entre les teneurs de l'azote minéral dissous et celles des ortho-phosphates indique que l'azote et le phosphore, ne proviennent pas seulement de l'oxydation de la matière organique et auraient aussi une origine externe liée aux apports par les cours d'eau, après lessivages des terres agricoles.

Le faciès hydrochimique des eaux du barrage Bezirk est de type $\text{Ca-Na-SO}_4\text{-Cl}$, ce qui indique que la minéralisation est liée à l'altération des roches de surface et au lessivage des sols du bassin versant.

Les valeurs de la conductivité, du SAR et de l'alcalinité montrent que les eaux du barrage Bézirk sont de bonne qualité et peuvent être utilisées sans risque, pour l'irrigation des plantes moyennement tolérantes aux sels, mais avec précaution dans les sols lourds mal drainés et pour les plantes sensibles.

REFERENCES

- [1] N.Ben Ayed, Evolution tectonique de l'avant pays de la chaîne alpine de Tunisie du début du Mésozoïque à l'Actuel. Thèse doc. Etat, Uni. ParisXI, 327p, 1986.
- [2] L.Hellali, Contribution à l'étude du problème des ressources en eau du Cap Bon. Mém .DEA. Fac. Sci. Tunis. 85p, 1988.
- [3] B.Alfaidy, E.Fahol et J. Devaux, " Contribution à l'étude du phénomène d'eutrophisation d'une retenue située sous climat semi-aride ", Cahiers Sécheresse, Vol. 10, N°3, pp 213-220,1999.
- [4] G.Copin-Montegut, Chimie de l'eau de mer. Ed ; de l'institut océanographique, Paris, 319p, 1995.
- [5] I.Couture "Principaux critères pour évaluer la qualité de l'eau en micro-irrigation, l'eau" Colloque sur l'irrigation, l'eau, source de qualité et de rendement, Hôtel Mortagne, Boucherville, CRAAQ, 15p, 2006.
- [6] A.Laraque, Comportements hydrochimiques des aqudes des Nordeste brésilien semi-aride. Evolution et prévision pour un usage en irrigarion. Thèse.Uni.Montpellier II, 315p, 1991.
- [7] D.N.Maunard et G.J.Hochmuth, Knott's handbook for vegetable growers, 582p, 1997.
- [8] J .Person, Irrigation et drainage en Tunisie problème posé par la salinité des sols et des eaux. Bull. BRGM (2ème série) section III, n°2, pp 143- 151, 1978.
- [9] A. Droubi, Géochimie des sels et des solutions concentrées par évaporation. Modèle thermodynamique de simulation. Application aux sols salés du Tchad. Thèse Doc. Ing. Strasbourg et Mém. Sci. Géol., 46, 177 p, 1976.
- [10] L. V. Wilcox, Classification and use of irrigation waters: U.S. Dept. Agriculture, Circ. 969, 19 p, 1955.