

## Évaluation de la qualité des eaux souterraines utilisées pour l'irrigation, en utilisant l'Indice de Qualité de l'Eau d'Irrigation (IQWI) et des méthodes statistiques dans la plaine de Hennaya (nord-ouest de l'Algérie)

Abdessalam Laoufi<sup>1</sup>, Abderrezak Boudjema and Sabine Guettaia,

<sup>1</sup> Laboratoire n°25 : "Promotion de l'eau, pédologie et ressources minières, législation environnementale et choix technologiques", Département des Sciences de la Terre et de l'Univers, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, Algérie

### Résumé

Les eaux souterraines sont la principale source d'approvisionnement en eau pour les activités d'irrigation agricole dans la plaine de Hennaya. Cependant, elles font actuellement face à une grave détérioration en raison de la pollution, notamment par des polluants organiques. Cette étude a été réalisée dans le but d'estimer le niveau de contamination des eaux souterraines destinées à l'irrigation. Les résultats préliminaires de l'analyse physico-chimique de 19 échantillons montrent des concentrations élevées de nitrates (de 97,99 à 217,26 mg.L<sup>-1</sup> ; moyenne : 144,39 mg.L<sup>-1</sup>), ce qui s'explique par l'utilisation excessive d'agrochimiques (engrais azotés, NPK, etc.). Les valeurs de l'indice de qualité de l'eau d'irrigation (IQWI) varient entre 56.85 et 69.04, ce qui indique que tous ces échantillons d'eaux souterraines ont une qualité moyenne pour l'irrigation et qu'ils conviennent uniquement à l'irrigation de certaines plantes ayant une grande tolérance au sel et nécessitant des pratiques spéciales de contrôle de la salinité. Les résultats du diagramme de Gibbs montrent une prédominance des eaux souterraines entre le domaine des roches et des eaux salines, ce qui peut s'expliquer par les valeurs élevées de conductivité électrique (CE) (de 1366 à 1630 µS.cm<sup>-1</sup>) et indique qu'elles nécessitent un prétraitement avant leur utilisation agricole. Le Système d'Information Géographique (SIG), à l'aide du logiciel QGIS, offre une cartographie des distributions spatiales des différents paramètres et indices, ce qui permettra aux gestionnaires de prendre les meilleures décisions pour la réhabilitation des ressources en eaux souterraines dans cette région.

**Mots clés :** Plaine d'Hennaya, Irrigation, Pollution, IQWI, SIG.

## Groundwater quality assessment used for irrigation, using IWQI, and statistical methods in the Hennaya plain (NW Algeria)

### Abstract:

Groundwater is the main source of water supply for agricultural irrigation activities in the Hennaya plain. However, it is currently suffering from severe deterioration because of pollution, in particular with organic pollutants. This study was conducted with the aim of estimating the level of contamination of the groundwater destined for irrigation. The preliminary results of the physico-chemical analysis of 19 samples shows high concentrations of nitrates (97.99 to 217.26 mg.L<sup>-1</sup> ; average : 144.39 mg.L<sup>-1</sup>), which is explained by the excessive use of agrochemicals (Nitrogen fertilizers, NPK ...). The values of the irrigation quality water index (IQWI) ranged between 56.85 and 69.04, which indicates that all of these groundwater samples are of medium quality for irrigation and that they are only suitable for irrigation of certain plants with high salt tolerance with special salinity control practices. The results of the Gibbs plot show the groundwater dominance between rocks and salt water, which can be explained by the high values of CE (1366 to 1630 µS.cm<sup>-1</sup>) and that they need pre-treatment before agricultural use. The Geographic Information System (GIS), we have offered through the QGIS software, a mapping of spatial distributions of various parameters and indices, which will allow managers to make the best decisions for the rehabilitation of groundwater resources in this region.

**Key Words:** Hennaya plain, Irrigation, Pollution, IQWI, GIS

<sup>1</sup> Corresponding author: [abdessalamlaoufi42@gmail.com](mailto:abdessalamlaoufi42@gmail.com)

## 1. INTRODUCTION

Les eaux souterraines sont une ressource naturelle précieuse qui est cruciale à de nombreuses utilisations humaines, mais ces activités peuvent l'affecter en termes de quantité et de qualité [1-2].

Actuellement, la contamination des eaux souterraines destinées à l'irrigation est devenue une préoccupation majeure à l'échelle mondiale [2], car l'irrigation avec l'eau polluée est considérée comme une menace pour les cultures agricoles ainsi que pour les propriétés des sols, ce qui réduit sa fertilité. Souvent, la pertinence de l'eau souterraine pour l'irrigation est déterminée par les éléments minéraux qui y sont présents et leur effet sur le sol et les cultures [3].

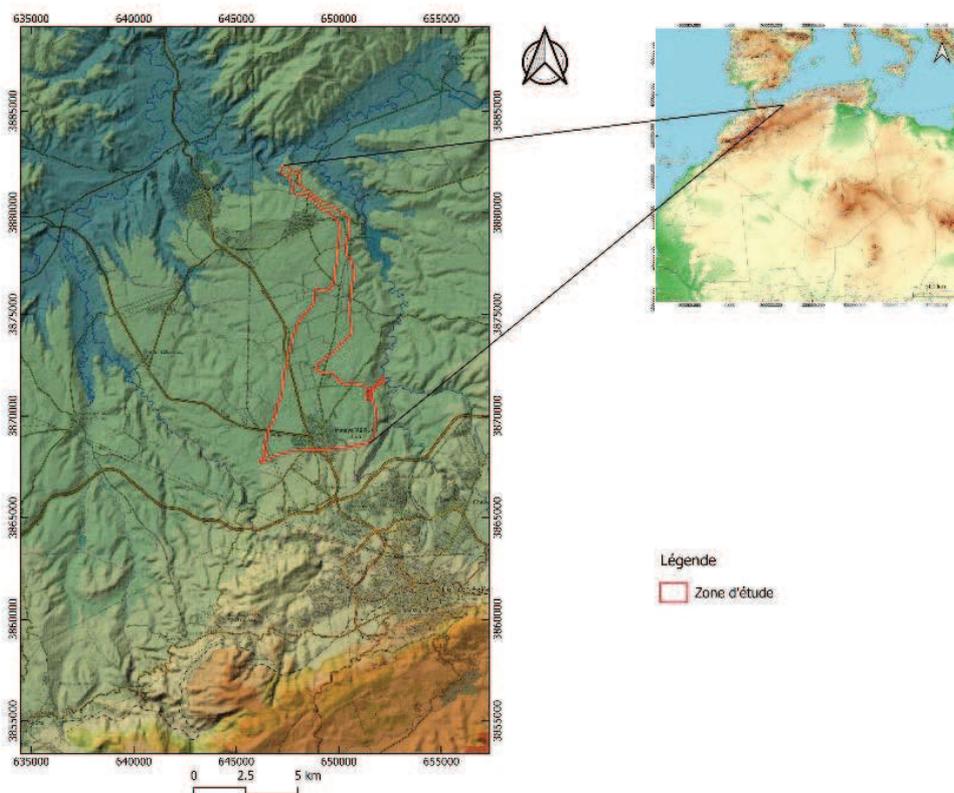
Dans la plaine d'Hennaya, les eaux souterraines sont la principale source d'approvisionnement en eau à des fins d'irrigation [4-5]. Cependant, ces ressources souffrent d'une dégradation de qualité ces dernières années en raison de l'utilisation excessive d'engrais et de pesticides dans l'agriculture.

Au cours de cette étude, nous avons évalué la qualité des eaux souterraines utilisées pour l'irrigation dans la zone d'étude d'abord en comparant les concentrations de divers éléments physico-chimiques avec le guide des normes de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), puis en calculant l'indice de qualité de l'eau d'irrigation (IWQI). Tous les paramètres liés à la qualité de l'eau d'irrigation sont intégrés tels que le Rapport d'Adsorption de Sodium (SAR), la Conductivité Electrique (CE), les concentrations des ions de sodium ( $\text{Na}^+$ ), chlorure ( $\text{Cl}^-$ ) et bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ).

## 2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

### 2.1. Zone d'étude

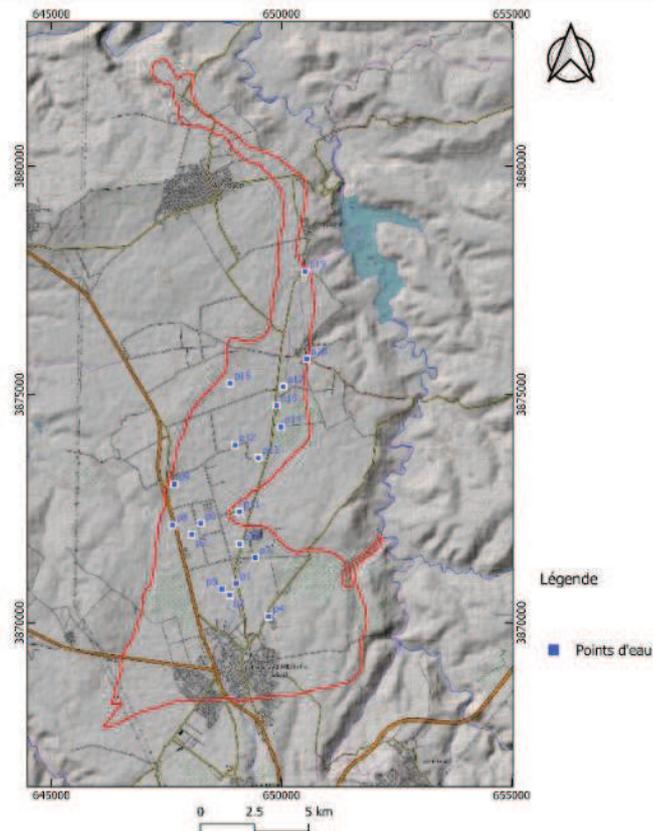
La plaine d'Hennaya est située au nord de la ville de Tlemcen (nord-ouest de l'Algérie), s'étendant sur une superficie de 28 km<sup>2</sup>, délimitée au nord par l'Oued Isser, au sud par la ville de Tlemcen, à l'est par l'Oued Sikkak et à l'ouest par l'Oued Khallouf (**Fig. 1**). Cette plaine est caractérisée par un climat méditerranéen semi-aride, sec et chaud en été et pluvieux en hiver, avec des précipitations moyennes annuelles de 464.4 mm par an et des températures de 17.12 à 18.86° C (moy : 18.11 °C). Les activités agricoles sont très importantes dans la zone d'étude, où la culture des agrumes est répartie sur de grandes surfaces en plus des activités d'élevage.



**Fig.1** – Situation géographique de la zone d'étude.

## 2.2. Echantillonnage et analyses

Dix-neuf points d'eau ont été prélevés et analysés durant le mois de mars 2018, principalement destinés à l'irrigation des terres agricoles dans la zone d'étude (**Fig. 2**). Les mesures analytiques ont été portées sur 10 paramètres physico-chimiques qui sont le pH, la conductivité électrique (CE), solides totaux dissous (TDS), le sodium ( $\text{Na}^+$ ), le calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), le magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), chlorure ( $\text{Cl}^-$ ), les sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), le bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ) et les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ).



**Fig. 2** – Répartition des points d'eau prélevés.

A travers les résultats de l'analyse, une caractérisation préliminaire a été faite en comparant les valeurs et les concentrations de différents paramètres avec les normes de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) (**Tab. 1**), afin d'estimer dans un premier temps le degré de pollution des eaux souterraines à l'échelle spatiale.

**Table 1** – Guide de la FAO pour l'interprétation de la qualité de l'eau d'irrigation [6].

Problèmes d'Irrigation potentiels		Unité	Aucun	Léger à modéré	Sévère
Salinité	EC	$\mu\text{S cm}^{-1}$	<70	700-3000	>3000
	TDS	mg l <sup>-1</sup>	<45	450-2000	>2000
Infiltration	SAR 0-3	EC=	>70	700-2000	<200
	SAR 3-6	EC=	>120	1200-3000	<300
	SAR 6-12	EC=	>190	1900-5000	<500
	SAR 12-20	EC=	>290	2900-13000	<1300
	SAR 20-40	EC=	>500	5000-29000	<2900
Toxicité ionique spécifique	Sodium	SAF	<3	3-9	>9
	Chlorure	mg l <sup>-1</sup>	<14	140-350	>350
Effets divers	Nitrate	mg l <sup>-1</sup>	<5	5-30	>30
	Bicarbona	mg l <sup>-1</sup>	<91	91.5-518	>518.5
	pH	Plage normale		6.5-8.5	

Le taux d'adsorption du sodium (SAR) est un indicateur utile pour évaluer les problèmes causés par le sodium dans l'eau d'irrigation, il est calculé par la relation suivante :

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

### 2.3. Indice de Qualité de l'Eau d'Irrigation (IWQI)

Les exigences en matière de qualité des eaux souterraines peuvent varier d'un champ à l'autre en fonction du caractère agricole ainsi que des conditions pédoclimatiques régionales. Cependant, l'Indice de Qualité de l'Eau d'Irrigation (IWQI) est largement utilisé pour déterminer la pertinence des eaux souterraines pour l'irrigation [7]. Cet indice est calculé à l'aide de l'équation (1) [2-8] sur la base d'un ensemble de facteurs physico-chimiques qui influent de manière significative la qualité des eaux souterraines pour l'irrigation.

$$IWQI = \sum_{i=1}^n qiwi \quad (1)$$

Le facteur ( $qi$ ) représente l'effet de chaque paramètre, il est calculé sur la base des limites des paramètres indiquées dans le tableau 2 par l'équation (2) [2-8].

$$qi = (qi)max - \left[ (xij - xinf) \times \frac{(qi)amp}{x amp} \right] \quad (2)$$

Où : ( $qi$ ) max est la valeur maximale de ( $qi$ ) pour la classe, ( $xij$ ) est la valeur observée pour le paramètre, ( $xinf$ ) est la valeur correspondant à la limite inférieure de la classe à laquelle appartient le paramètre, ( $qi$  amp) est l'amplitude de la classe, ( $x amp$ ) est l'amplitude de la classe à laquelle appartient le paramètre.

**Table 2 – Valeurs limites des paramètres pour le calcul de la mesure de la qualité ( $qi$ ) [2-8-9].**

qi	EC ( $\mu S cm^{-1}$ )	SAR ( $meq L^{-1}$ ) <sup>c</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup> ( $meq L^{-1}$ )	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
85-100	200 ≤ EC < 750	SAR < 3	2 ≤ Na < 3	Cl < 4	1 ≤ HCO <sub>3</sub> < 1.5
60-85	750 ≤ EC < 1500	3 ≤ SAR < 6	3 ≤ Na < 6	4 ≤ Cl < 7	1.5 ≤ HCO <sub>3</sub> < 4.5
35-60	1500 ≤ EC < 3000	6 ≤ SAR < 12	6 ≤ Na < 9	7 ≤ Cl < 10	4.5 ≤ HCO <sub>3</sub> < 8.5
0-35	EC < 200 ou EC ≥ 3000	SAR ≥ 12	Na < 2 ou Na ≥ 9	Cl ≥ 10	HCO <sub>3</sub> < 1 ou HCO <sub>3</sub> ≥ 8.5

Le coefficient ( $wi$ ) est défini comme la pondération du paramètre dans l'effet, le tableau 3 représente la pondération de chaque paramètre de l'IWQI.

**Table 3 – Pondération des paramètres de l'IWQI [9].**

Paramètres	Coefficient $wi$
EC	0.211
SAR	0.204
Na <sup>+</sup>	0.202
Cl <sup>-</sup>	0.194
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.189
<b>Total</b>	<b>1</b>

L'IWQI est un paramètre sans dimension allant de 0 à 100  $qi$ , divisé en 5 classes de qualité de l'eau. La classification est basée sur le risque de salinité pour les sols, ainsi que sur la toxicité pour les plantes.

Le tableau 4 montre la classification des restrictions sur les catégories d'utilisation de l'eau pour l'irrigation.

**Table 4** – Caractéristiques de l'IWQI [9].

IWC	Restrictions relatives à l'utilisation de l'eau	Recommandations	
		Plante	Sol
85-10	Aucune restriction	Pas de risque de toxicité pour la plupart des plantes	Peut être utilisé pour la majorité des sols présentant une faible probabilité de problèmes de salinité et de sodicité, recommandant le lessivage dans le cadre des pratiques d'irrigation, à l'exception des sols suivants pour les sols à faible perméabilité.
70-8	Faible restriction	Éviter les plantes sensibles au sel	Recommandé pour les sols irrigués à texture légère à perméabilité modérée, le lessivage des sels étant recommandé. La sodicité du sol peut se produire dans les sols à texture lourde. Il est recommandé d'éviter son utilisation dans les sols à forte teneur en argile.
55-7	Modérée restriction	Les plantes présentant une tolérance modérée au sel peuvent être cultivées	Peut être utilisé dans des sols avec des valeurs de perméabilité modérées à élevées, étant donné que cela suggère un lessivage modéré des sels.
40-5	Haute restriction	Doit être utilisé avec l'irrigation de plantes présentant une tolérance moyenne à élevée aux sels avec des pratiques spéciales de contrôle de la salinité, à l'exception de l'eau contenant de faibles valeurs de $\text{Na}^+$ , $\text{Cl}^-$ et $\text{HCO}_3^-$	Peut être utilisé dans les sols à haute perméabilité sans couches compactes. Il convient d'adopter un calendrier d'irrigation à haute fréquence pour les eaux dont la conductivité est supérieure à <u>2000</u> $\mu\text{S cm}^{-1}$ et le SAR supérieur à <u>7</u> .
0-4	Restriction sévère	Seules les plantes à faible tolérance au sel, à l'exception des eaux présentant des valeurs extrêmement faibles de $\text{Cl}^-$ et $\text{HCO}_3^-$	Il faut éviter de l'utiliser pour l'irrigation dans des conditions normales. Dans des cas particuliers, il peut être utilisé occasionnellement. Les eaux à faible teneur en sel et à teneur élevée nécessitent l'application de gypse. Dans les eaux à teneur en sel, les sols doivent être très perméables et l'eau doit être appliquée à la terre pour éviter l'accumulation de sel.

#### 2.4. Apport des Systèmes d'Information Géographique (SIG)

Le SIG fournit, dans ce type d'application, une cartographie de la répartition spatiale des éléments physico-chimiques et l'indice de la qualité des eaux pour l'irrigation. Dans cette étude, une carte d'IWQI a été produite à l'aide du logiciel QGIS (version 3.30.2) en superposant des cartes thématiques de différents facteurs ( $\text{EC}$ ,  $\text{SAR}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) d'influence. Ces derniers sont créés sur la base d'une analyse géostatistique, qui consiste à effectuer la méthode d'interpolation par pondération de la distance inverse (IDW).

### 3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

#### 3.1. Caractéristiques hydrochimiques générales

Table 5, présentant les valeurs de l'analyse statistique des paramètres physico-chimiques des eaux échantillonnées de la plaine d'Hennaya, telles que les valeurs maximales, les valeurs minimales, les moyennes, les écart-types et les coefficients de variation.

**Table 5** – Analyse statistique des paramètres hydrochimiques des échantillons.

Paramètre:	max	min	Moyenne	Ecart-tyt	Coefficient de variat
pH	7.62	7.17	7.27	0.11	2%
TDS	1271.4	1060.02	1146.11	45.30	4%
CE	1630	1359	1469.37	58.08	4%
Na <sup>+</sup>	150.2	120.15	138.37	8.01	6%
Ca <sup>2+</sup>	247.25	120.23	147.97	24.85	17%
Mg <sup>2+</sup>	98.45	52.6	74.95	12.70	17%
Cl <sup>-</sup>	545.6	185.47	301.44	86.37	29%
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	178.77	84.57	125.45	27.22	22%
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	512.2	360.5	424.17	45.00	11%
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	217.26	97.99	144.39	33.81	23%
SAR	3.62	2.78	3.28	0.24	7%

**Remarque :** les unités de tous les paramètres sont en mg L<sup>-1</sup>, sauf la CE est en (μS cm<sup>-1</sup>), le SAR est en (meq L<sup>-1</sup>)<sup>0.5</sup> et le pH (sans unité).

Généralement, la région d'étude connaît des valeurs moyennes de facteurs de salinité par rapport aux recommandations de la FAO, mais elle souffre de problèmes liés à la toxicité ionique spécifique, car les échantillons connaissent des concentrations moyennes à élevées de chlorure, alors que les concentrations de nitrates à tous les points de prélèvement dépassent largement les normes de qualité d'irrigation. Les valeurs de SAR comprises entre 2.78 et 3.62 indiquent une teneur de sodium faible à moyenne.

De ce fait, on peut dire que la zone est affectée principalement par un excès de nitrates ions, ce que peut indiquer que la pollution est probablement due aux activités anthropogéniques, y compris les pratiques agricoles à travers l'utilisation excessive des produits agrochimiques ainsi que les rejets de eaux usées.

En outre, il est évident que les éléments des chlorures et des nitrates présentent un coefficient de variation supérieur à 20%, indiquant une variabilité spatiale et une hétérogénéité significative dans leur répartition. Cette distribution confirme l'hypothèse que la contamination est d'origine humaine.

#### 3.2. Evaluation de la qualité de l'eau sur la base de l'Indice de Qualité de l'Eau d'Irrigation (IWQI)

Grâce aux résultats de l'indice de qualité de l'eau d'irrigation pour la plaine d'Hennaya présentés dans le tableau 6 et la figure 3, et sur la base des recommandations du tableau 4, il est démontré que ces ressources en eaux souterraines soient de qualité moyenne à des fins d'irrigation et ne conviennent qu'à l'irrigation des cultures présentant une tolérance modérée aux sels, et aux sols de perméabilité moyenne.

**Table 6** – Valeurs IWQI calculés dans les points d'eau analysés.

Points d'eau	IWQI	Point d'ea	IWQI	Point d'ea	IWQI
P1	69.04	P8	63.92	P14	64.30
P2	68.68	P9	67.48	P15	64.36
P3	67.47	P10	67.04	P16	56.85
P4	64.65	P11	59.38	P17	60.76
P5	65.17	P12	61.56	P18	65.14
P6	64.69	P13	67.72	P19	61.90
P7	66.08				

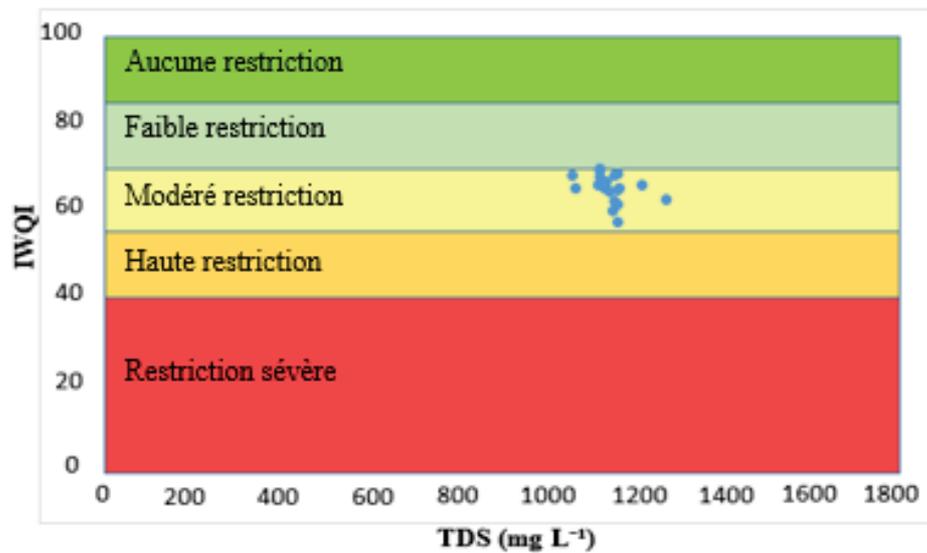


Fig. 3 – Diagramme de dispersion de l'indice de qualité de l'eau d'irrigation (IWQI) en fonction de TDS.

### 3.3. Analyse des sources d'ions

Le diagramme de Gibbs est un outil utile pour déterminer la corrélation entre la lithologie de l'aquifère et les compositions minéralogiques de l'eau souterraine [2]. Dans la zone d'étude, ce diagramme (Fig. 4) suggère que l'interaction qui contribue à la formation de la chimie des eaux souterraines médiate la dominance des roches et la dominance de l'eau salée, ce qui peut expliquer par les fortes valeurs de la conductivité électrique (CE).

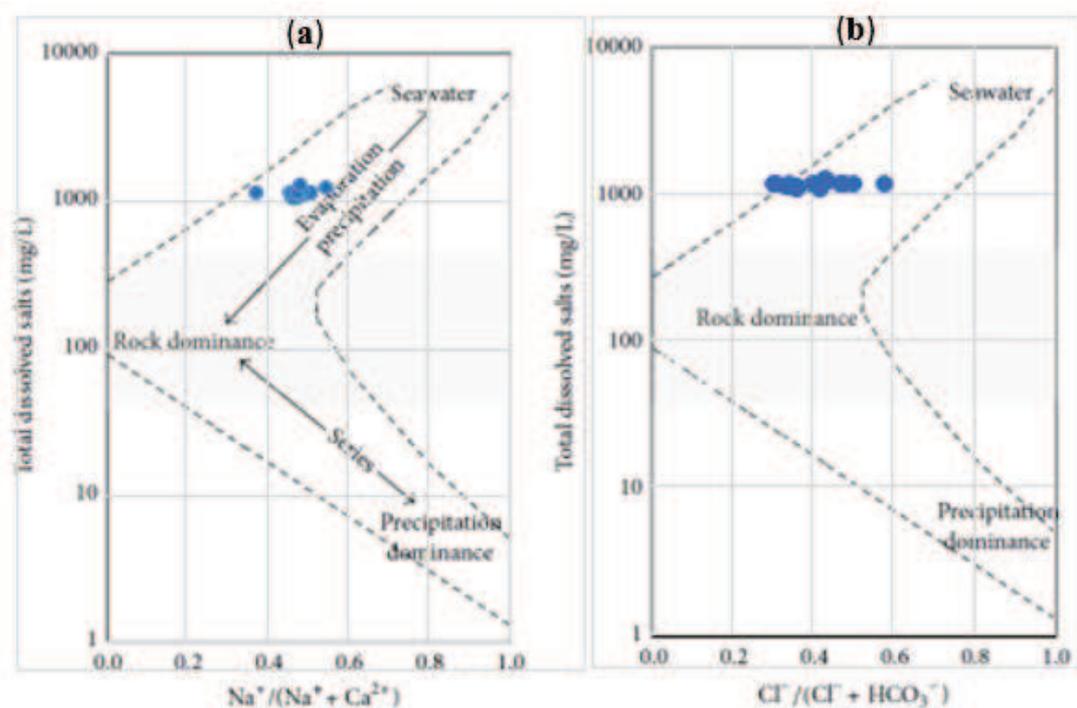


Fig. 4 – Processus hydrogéochimique basée sur le diagramme de Gibbs pour (a) les cations et (b) les anions.

### 3.4. Cartographie de la qualité des eaux souterraines

Les figures ci-dessous (fig 5, 6, 7 et 8) montrent la répartition spatiale des différents facteurs physico-chimiques, ainsi que l'indice de pollution (IWQI), il est évident que les valeurs maximales sont concentrées au milieu de la plaine, qui est la zone agricole plus intensive. Ces cartes contribuent à savoir que la source des polluants des eaux souterraines est les activités agricoles de la région, où les décideurs doivent sensibiliser et éduquer les agriculteurs sur les dangers de l'utilisation aveugle des engrais et des pesticides pour limiter l'aggravation de la pollution à l'avenir.

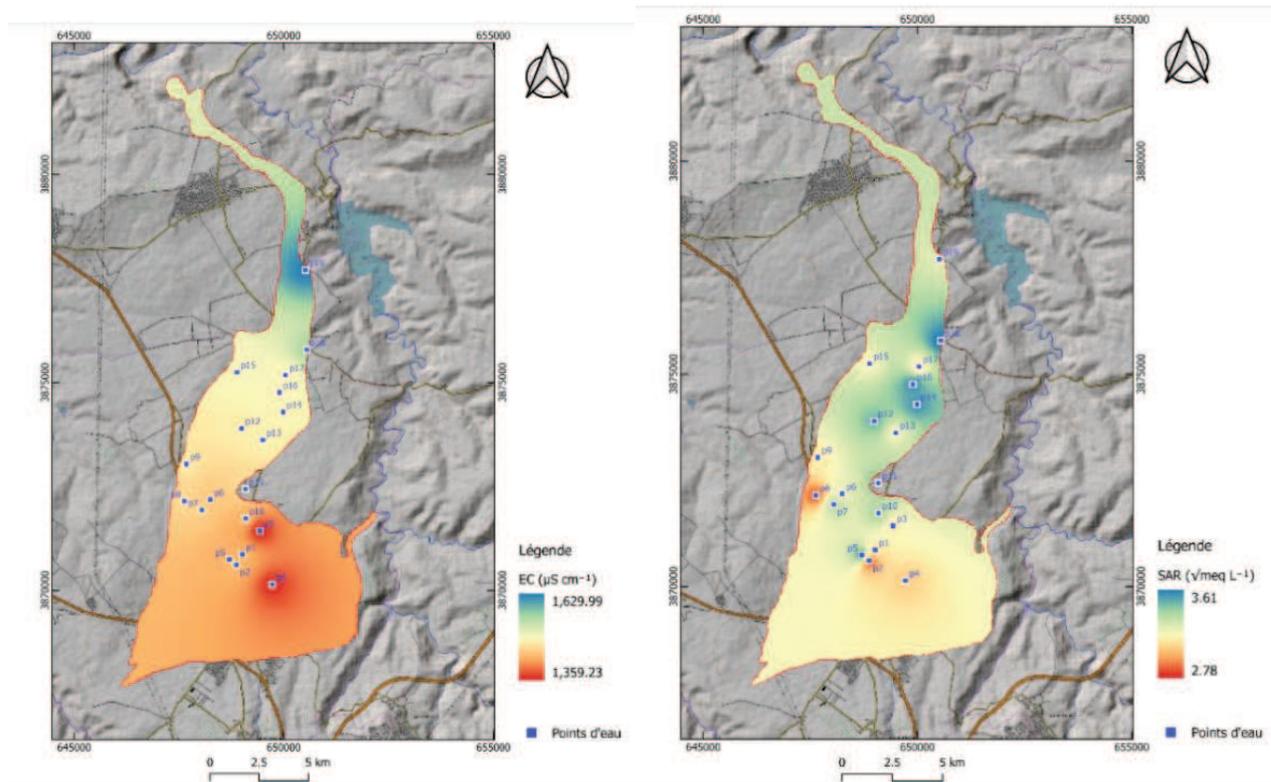


Fig. 5 – Répartition spatiale de EC et SAR.

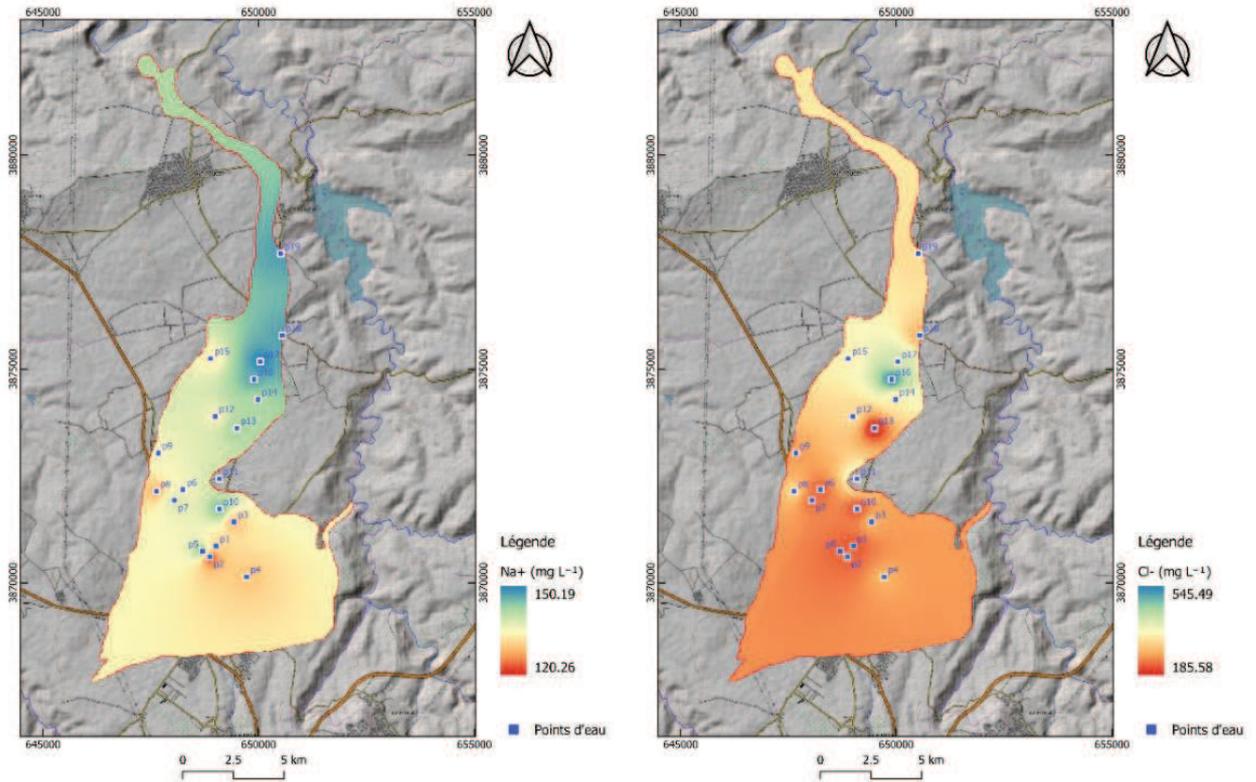


Fig. 6 – Répartition spatiale de Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup>.

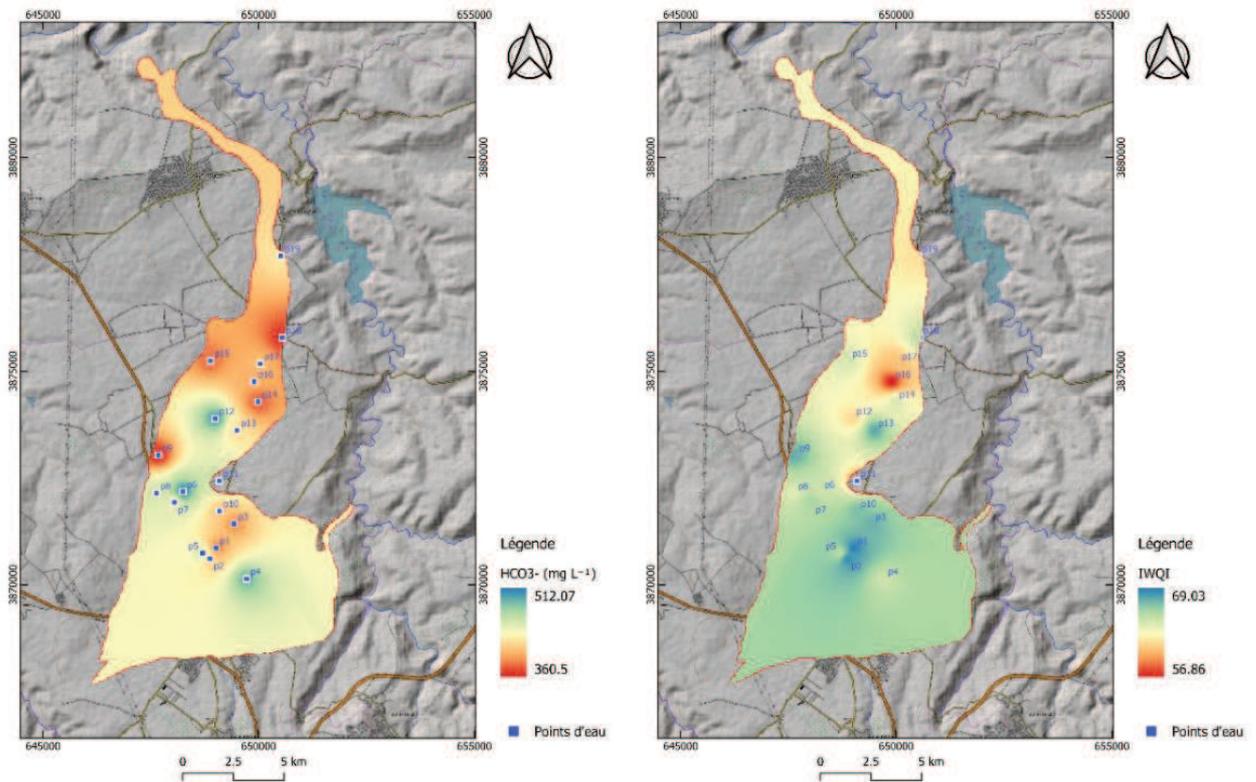


Fig. 7 – Répartition spatiale de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> et IWQI.

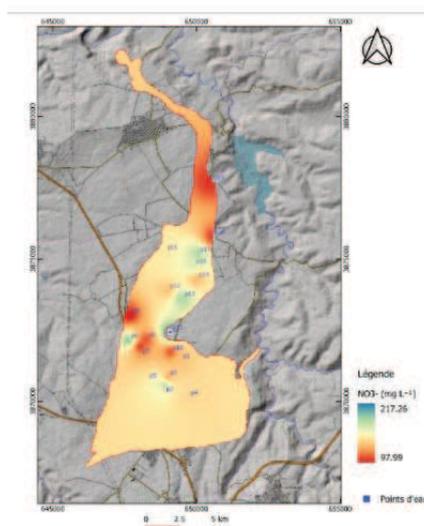


Fig. 8 – Répartition spatiale de  $\text{NO}_3^-$ .

#### 4. CONCLUSION

Dans la présente étude nous avons été amenés à réaliser une évaluation de la qualité des eaux souterraines à des fins d'irrigation dans la plaine d'Hennaya par l'utilisation de l'indice de qualité de l'eau d'irrigation (IWQI), le diagramme de Gibbs et le système d'information géographique (SIG).

L'indice de qualité de l'eau d'irrigation (IWQI) a été développé afin d'évaluer les ressources en eaux souterraines pour leur adéquation à l'irrigation. Par ailleurs, une analyse hydrogéochimique a été effectuée à l'aide de diagramme de Gibbs pour déterminer la source des ions dans les eaux souterraines.

Les cartes obtenues par le SIG ont permis de déterminer la répartition spatiale des zones les plus exposées à la pollution.

Cette étude, nous a permis de mettre en évidence les faits suivants :

- l'IWQI montre une qualité moyenne des eaux souterraines est moyenne, adaptée à l'irrigation des plantes à moyenne tolérance au sel et des sols de perméabilité moyenne ;
- la source des ions des eaux souterraines dans la région est l'échange d'ions avec les roches et l'interaction d'évaporation ;
- les plus grandes valeurs de pollution de l'eau souterraine sont concentrées au milieu de la plaine où s'exerce une intense activité agricole, ce qui confirme que la principale source de pollution est l'utilisation irrationnelle des agrochimiques.

Enfin, en guise de recommandations, les décideurs devraient agir rapidement avant que la situation ne s'aggrave, en mettant en place des stations de traitement de l'eau et en sensibilisant les agriculteurs aux dangers de l'utilisation excessive des agrochimiques.

#### Références

- [1] Abbasnia, N. Yousefi, A. H. Mahvi, R. Nabizadeh, M. Radfard, M. Yousefi, M. Alimohammadi, Evaluation of Groundwater Quality Using Water Quality Index and Its Suitability for Assessing Water for Drinking and Irrigation Purposes: Case Study of Sistan and Baluchistan Province (Iran), *Hum. Ecol. Risk Assess. Int. J.*, 25 (2018), 988-1005.
- [2] Y. Wang, R. Li, X. Wu, Y. Yan, C. Wei, M. Luo, Y. Xiao, Y. Zhang, Evaluation of Groundwater Quality for Drinking and Irrigation Purposes Using GIS-Based IWQI, EWQI and HHR Model, *Water*, 15 (2023), 2233. <https://doi.org/10.3390/w15122233>
- [3] M. k. Rasul, H. H. Waqed, Evaluation of Irrigation water quality index (IWQI) For Al-Dammam confined aquifer in the west and southwest of Karbala city, Iraq, *International Journal of Civil Engineering (IJCE)*, 2 (2013), 21-34.
- [4] A. bemmaoussat, M. adjim, F. Bensaoula, Impact de l'activité agricole sur la qualité des eaux souterraines dans la plaine d'Hennaya (Nord-ouest Algérie) : Séminaire International sur l'Hydrogéologie et l'Environnement SIHE Ouargla, (2013) 367-370.
- [5] N. Bentekhici, S. A. Bella, Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines par l'application de la méthode DRASTIC et les SIG, cas de la plaine alluviale d'Hennaya (wilaya de Tlemcen, Nord-ouest Algérie). *Environmental and Water Sciences, Public Health and Territorial Intelligence Journal*, 2 (2018), 38-45.
- [6] R. S. Ayers, D. W. Westcot Water quality for agriculture, FAO irrigation and drainage. Food and Agriculture Organization, Rome 1985.
- [7] I. S. Babiker, M. M. A. Mohamed, T. Hiyama, Assessing groundwater quality using GIS, *Water Resources Management*, 21 (2007) 699-715.
- [8] M. E. Osta, M. Masoud, A. Alqarawy, S. Elsayed, M. Gad, Groundwater Suitability for Drinking and Irrigation Using Water Quality Indices and Multivariate Modeling in Makkah Al-Mukarramah Province, Saudi Arabia, *Water*, 14 (2022), 483. <https://doi.org/10.3390/w14030483>
- [9] Meireles, E. M. Andrade, L. Chaves, H. Frischkorn, L. A. Crisostomo, A new proposal of the classification of irrigation water, *Revista Ciência Agronômica*, 41 (2010), 349-357.