

Caractérisation hydrochimique des eaux souterraines autour d'un barrage d'inféro-flux : cas du barrage de l'Oued Tamanrasset (Hoggar central – Algérie)

I. HANNI ⁽¹⁾, M I. HASSANI ⁽²⁾, S. HADJ-SAID ⁽¹⁾, and A. ZEDDOURI ⁽¹⁾

⁽¹⁾ *Laboratoire des réservoirs souterrains : pétroliers, gaziers et aquifères, Université Kasdi Merbah, BP 511, route de Ghardaia, Ouargla, 30000, Algérie.*

⁽²⁾ *Laboratoire Géoréssources, Environnement et Risques Naturels, Université Oran 2MB, BP 1015, 31000, Oran, Algérie.*

E-Mail: idrisshanni@gmail.com

Résumé — Le socle précambrien du massif du Hoggar (Ahaggar) est caractérisé par sa faible perméabilité. Les seuls niveaux perméables correspondent aux dépôts alluviaux quaternaires localisés dans les vallées d'oued. L'épaisseur de ces dépôts alluviaux ne dépasse pas la trentaine de mètres. Ils reposent sur un socle fissuré évoluant progressivement en profondeur en roche saine. Ces dépôts recèlent souvent des nappes d'inféro-flux alimentées par infiltration des eaux superficielles lors des crues d'oued.

En l'année 2000, un barrage souterrain a été construit dans le lit de l'Oued Tamanrasset. Il a été conçu de façon à barrer l'écoulement inféro-flux tout en laissant le lit de l'oued libre pour l'écoulement des crues.

Dans cette étude, la caractérisation hydrochimique des eaux souterraines autour du barrage d'inféro-flux de l'Oued Tamanrasset a ciblé les zones en amont et en aval, de l'ouvrage construit. L'étude s'est basée sur l'analyse et l'interprétation des données recueillies au cours d'une campagne de prélèvement d'eau réalisée le 14 et 15 mai 2016. Elle montre une nette différenciation spatiale des caractéristiques physico-chimiques entre les eaux échantillonnées en amont et en aval de l'ouvrage construit.

Mots-Clés— *Hoggar, socle cristallin, nappe d'inféro-flux, barrage souterrain, hydrochimie, Tamanrasset.*

I. INTRODUCTION

La ville de Tamanrasset est située à environ 2000 km au sud de la capitale Alger. Elle constitue

le chef-lieu d'une wilaya s'étendant en grande partie sur le socle cristallin du massif du Hoggar (Ahaggar) qui s'étale sur une superficie de près de 500 000 km².

Le socle précambrien du massif du Hoggar est caractérisé par sa faible perméabilité. Les seuls niveaux perméables correspondent aux dépôts alluviaux. Ils reposent sur un socle fissuré passant progressivement à la roche saine. Ces dépôts alluviaux recèlent souvent des nappes d'inféro-flux. L'alimentation de ces nappes est assurée essentiellement par drainance d'eau des oueds en crues.

Au cours de ces dernières décennies, la surexploitation des eaux souterraines, engendrée par l'accroissement progressif des besoins en eau de la ville de Tamanrasset, a entraîné une baisse des niveaux de la nappe alluviale. En vue d'augmenter les ressources en eau souterraine exploitables et diminuer les débits de perte à l'aval, un barrage souterrain a été projeté dans le lit de l'Oued Tamanrasset, en amont de la ville éponyme. Le barrage a été livré au cours de l'année 2000.

Le but de cette présente étude est de mettre un état du lieu sur l'évolution hydrochimique des eaux de la nappe alluviale de l'Oued Tamanrasset, en amont et en aval de ce barrage. Cette étude a été entreprise dans le cadre plus global portant sur l'impact de plusieurs barrages d'inféro-flux de la région du Hoggar central sur l'hydrodynamique et l'hydrochimie des eaux souterraines qui y sont liées [4].

La caractérisation hydrochimique des eaux des nappes alluviales passe au préalable par une bonne connaissance de leurs contextes hydrogéologiques.

II. SITUATION GEOGRAPHIQUE, CARACTERISTIQUES TECHNIQUES ET CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE DU BARRAGE DE L'OUED TAMANRASSET

Le barrage souterrain de l'Oued Tamanrasset est situé aux coordonnées : 22°48'13'' N et 5°34'17'' E. Il a été implanté, en conditions géologiques favorables, dans le tronçon amont de l'oued, appelé *Taremmout*. La zone objet de notre étude, en amont et en aval du barrage, se situe entre les parallèles 22° 47' et 22° 52' de latitude Nord, et les méridiens 5° 35' 40'' et 5° 33' 40'' de longitude Est (Fig. 1). Elle couvre une superficie d'environ 7 km².

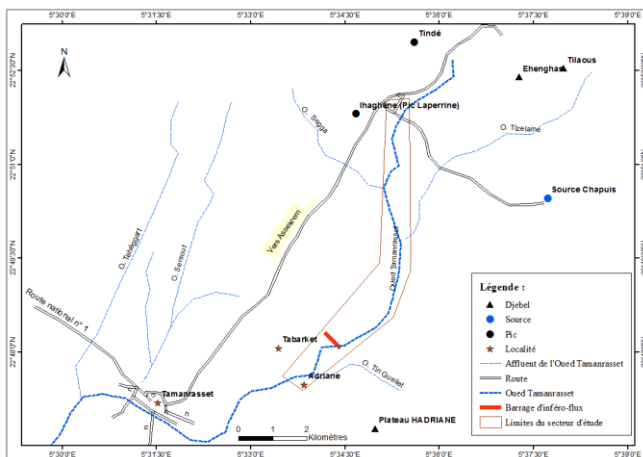


Figure 1. Situation géographique du secteur d'étude.

Du point de vue technique, le barrage consiste en un mur-barrage en béton ayant 350 m de long et 15 m de hauteur maximale correspondant à l'épaisseur des alluvions. Il se prolonge dans le substratum gneissique sur une profondeur de 6.8 m. Il a été construit pour retenir une capacité d'eau de 1.2 Hm³ [2].

La retenue du barrage étudié s'allonge sur près de 9 km avec des largeurs comprises entre 63 et 520

m. En aval, le lit de l'oued s'élargit. La largeur varie de 48 m et 492 m.

L'aquifère est formé par des dépôts alluvionnaires essentiellement constitués de fragments de roches arrachées au massif de l'Atakor. Ces alluvions présentent une large gamme granulométrique (galets et grains de quartz, basalte, feldspath, etc.)

Le faciès gneissique affleure en continuité morphologique le long de la vallée de l'oued. Il se prolonge sous les alluvions dans toute l'aire d'étude et forme le substratum. Il se caractérise par une remontée au niveau du site B (Fig. 2). Cela subdivise la cuvette en deux parties et par conséquent en deux réservoirs souterrains [4].

III. MATERIELS ET METHODES

Dans le cadre de la réalisation de ce travail, une campagne de mesures piézométriques s'est effectuée, en première étape, le 02 décembre 2015. Elle a concerné 43 relevés piézométriques. La campagne a été effectuée en une période où le volume puisé à partir de cette nappe est réduit. (Fig. 2).

Suite à la réalisation de la campagne piézométrique, en étape ultérieure, 14 points d'eau souterraine ont été échantillonnés entre le 14 et le 15 mai 2016 (Fig. 3). Cet échantillonnage s'est effectué avant la période saisonnière de crue des oueds qui survient périodiquement entre les mois de juin et septembre. Le but est d'obtenir des teneurs en éléments chimiques caractérisant au mieux les eaux s'écoulant en inféro-flux.

Pour chaque échantillon, le pH, la conductivité électrique (CE) et la température (T) ont été mesurés directement sur le terrain.

L'analyse des teneurs en ions majeurs des échantillons prélevés a été effectuée au laboratoire régional d'analyses chimiques dépendant de l'A.N.R.H. d'Adrar. Les ions analysés sont : Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻ et NO₃⁻.

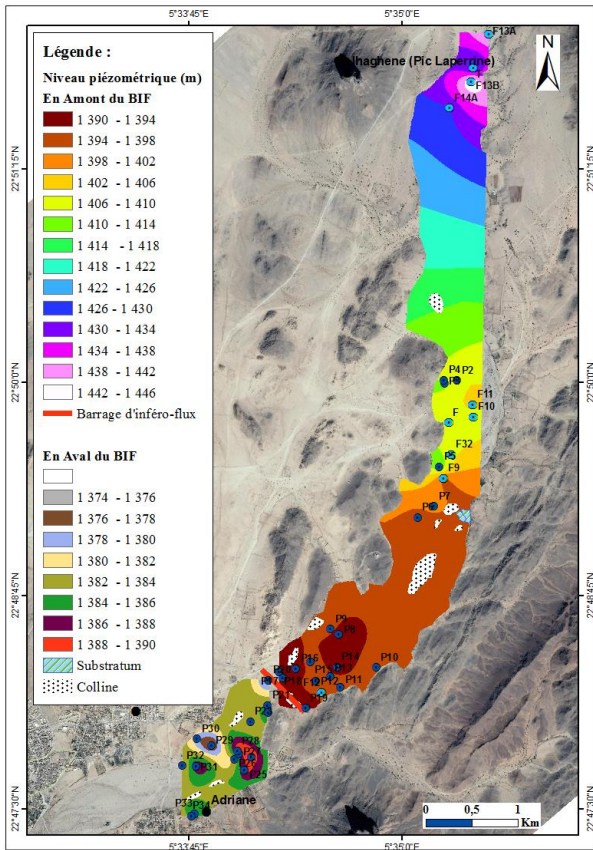


Figure 2. Carte de la de la surface piézométrique de la nappe infero-flux de l'Oued Tamanrasset (02 décembre 2015).

IV. RESULTATS ET DISCUSSION

La comparaison de la carte piézométrique entre l'amont et l'aval du barrage d'inféro-flux montre un dénivelé de 10 m de la nappe d'inféro flux au niveau de la zone étudiée. Ce dénivelé met en évidence l'effet notable du barrage sur ce système aquifère (Fig. 2).

L'analyse des paramètres physicochimique de la nappe étudiée (Tableau 1 et Fig. 3) permet de la caractériser par :

- des températures de l'eau variant entre 25°C et 27,6°C,
 - un pH compris entre 5,77 (F12) et 8,17 (P5).
- Ces deux valeurs extrêmes sont mesurées dans la partie amont de la nappe. Les eaux de la partie

aval reflètent d'un pH moyen autour de 6,8, - des valeurs de conductivité électrique montrant des contrastes significatifs entre l'amont et l'aval du barrage d'inféro-flux. Elles varient entre 275 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en (P5) et 936 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en (F12), à l'amont, et entre 543 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (P110) et 1576 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (P8), en aval (Fig. 3).

Tableau.1 : Résultats des analyses physico-chimiques

Point d'eau	pH	T (°C)	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3
F12	5,77	26,8	950	40	30	90	0,9	140	117	109,8	21,61
P1	7,23	26	1472	92	82,5	82,6	1,2	130	300	225,7	64,08
P2	7,49	26,6	1258	60	62,5	65	1,2	100	300	91,5	25,65
P3	6,91	26,9	608	40	27,5	27,1	0,8	40	20	213,5	27,77
P4	7,41	27,1	1657	56	40	220	1,1	300	270	118,95	27,90
P5	8,17	28,2	446	40	12,5	24	0,9	15	12	192,15	9,21
P6	6,58	25,5	796	28	32,5	80	1,4	50	20	311,1	30,93
P7	7,17	25,1	936	40	50	68	3,1	23	26,11	472,75	10,58
P8	6,77	27,6	275	32	5	19,6	0,8	25	0,54	112,85	20,36
P9	6,14	25,5	554	40	27,5	35	1,1	53	45	192,15	25,00
P10	6,86	25,8	317	36	2,5	22	0,7	18	4	128,1	20,26
P11	6,88	26,5	335	40	5	20,34	0,7	30	12,67	131,15	10,12
P12	6,85	26,9	435	20	27,5	25,2	0,8	35,98	12,15	173,85	20,37

La carte de la répartition spatiale des teneurs des éléments chimiques fait ressortir que ces dernières présentent des contrastes entre l'amont et l'aval du barrage d'inféro-flux (Fig. 3). En particulier que :

- la concentration en bicarbonates varie entre 91,5 mg/l (P9) et 472,75 mg/l (F12). Elle domine largement tous les anions des eaux situées à l'amont du barrage. Concernant les sulfates et les chlorures, les valeurs minimales et maximales sont respectivement de 0,54 mg/l et 300 mg/l pour les sulfates et de 15 mg/l et 300 mg/l pour les chlorures.

Les faibles concentrations de ces deux éléments (< 45mg/l) sont également rencontrées en amont ainsi que dans les puits P7 et P9, en aval. Les concentrations en nitrates varient entre 9,21 mg/l et 64,08 mg/l avec une moyenne de 24,14 mg/l. Ces nitrates montrent une variation non homogène (Cv) pour l'ensemble de la nappe dénotant une origine essentiellement anthropique,

- les concentrations en calcium sont comprises entre 20 mg/l (P1) et 92 mg/l (P11 mg/l) avec une moyenne de 43,4 mg/l. Elles atteignent les valeurs élevées de 92 (mg/l), 60 (mg/l), 56 (mg/l) dans respectivement les puits P11, P9 et P8, tous situés en aval du barrage. Par contre, les faibles concentrations en calcium ayant des valeurs sous

ou proches de la moyenne sont rencontrées dans les puits du reste de la nappe,

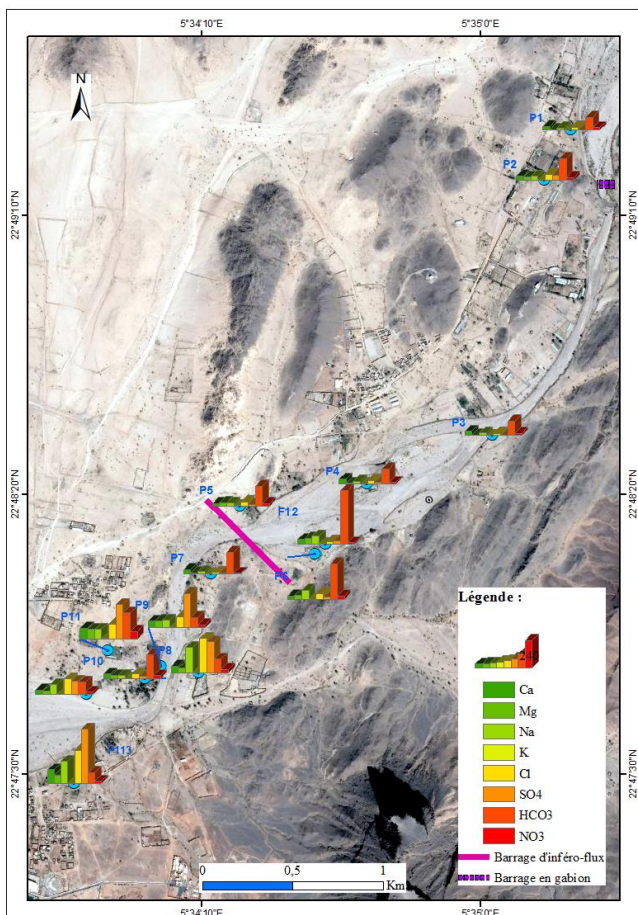


Figure 3. Répartition spatiale des teneurs des éléments chimiques.

- le magnésium présente des teneurs variantes entre 2,5 mg/l et 82,5 mg/l avec une moyenne de 31,15 mg/l. Le contraste amont/aval du barrage n'est pas significatif. Les teneurs élevées sont généralement observées dans les puits échantillonnés sur les deux rives de l'oued. Les puits localisés dans le lit actif de l'oued présentent les plus faibles teneurs,

- les concentrations en sodium sont comprises entre 19,6 mg/l et 220 mg/l. Les faibles concentrations sont rencontrées en amont du barrage et les fortes concentrations se retrouvent en aval avec une valeur maximale de 220 mg/l au puits P108,

Les formules caractéristiques des différents échantillons d'eau permettent de définir dans le secteur, les faciès et sous-faciès hydrochimiques représentés en Tableau 2 et Figure 4.

Les eaux analysées présentent une diversité notable des faciès hydrochimiques avec prédominance du faciès bicarbonaté calcique et du faciès bicarbonaté magnésien (huit échantillons). Le faciès bicarbonaté calcique correspond aux eaux les moins minéralisées (entre 175 et 305 mg/l), suivi du faciès bicarbonaté magnésien (<394 mg/l).

Tableau. 2 : Formules caractéristiques des faciès hydrochimique des eaux.

Faciès	Sous faciès	Echantillons
Bicarbonaté calcique	$\text{Ca}^{++} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$ $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{--} > \text{NO}_3^-$	P2 – P7
	$\text{Ca}^{++} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$ $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{--}$	P3 – P5
	$\text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$ $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{--} > \text{NO}_3^-$	P9 – P4
Bicarbonaté magnésien	$\text{Mg}^{++} > \text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$ $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{--} > \text{NO}_3^-$	F12
	$\text{Mg}^{++} > \text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$ $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{--}$	P1
	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$ $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{--}$	P6
Bicarbonaté sodique	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$ $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{--} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	P12 – P8
Chloruré sodique	$\text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$ $\text{SO}_4^{--} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	P11 – P10
Sulfaté magnésien	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$ $\text{SO}_4^{--} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	P13

Toutes les eaux situées en amont du barrage se présentent sous ces deux faciès, à l'exception des eaux du puits P6 qui présentent un faciès bicarbonaté sodique.

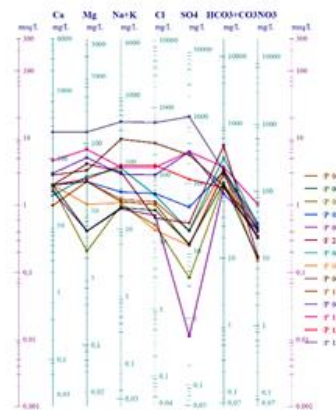


Figure 4. Représentation sur diagramme de Schoeller-Berkaloff des eaux échantillonnées.

En aval du barrage, les eaux présentent des faciès à forte dominance chlorurée ou sodique et correspondent aux eaux à plus forte minéralisation. Le faciès sulfaté sodique est représentatif de l'échantillon d'eau (P13) le plus minéralisé (2591 mg/l).

La représentation sous forme de diagramme ISD/ISC donne des informations sur l'âge relatif des eaux (temps de séjour), la perméabilité des aquifères et la vitesse de circulation de l'eau [5].

Le diagramme ISC versus ISD montre qu'à l'exception de l'échantillon P13 qui est sursaturé en deux minéraux : calcite et dolomite, les eaux de la nappe étudiée présentent une sous-saturation vis-à-vis de ces deux minéraux (Fig. 5).

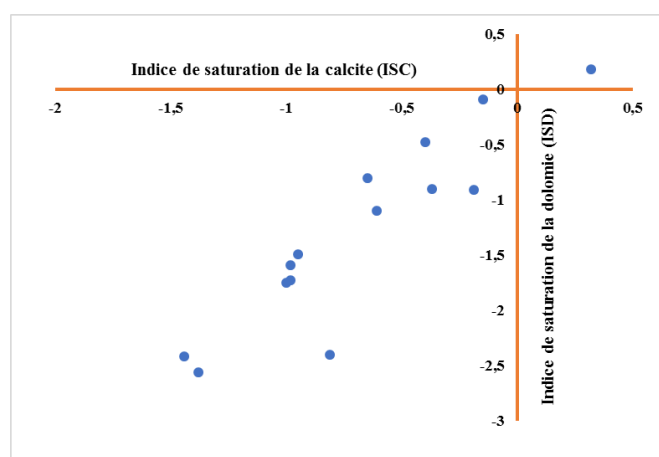


Figure 5. Indice de saturation (IS) des échantillons d'eau à la calcite et à la dolomite.

V. CONCLUSION

La caractérisation hydrochimique des eaux de la nappe d'inféro-flux de l'Oued Tamanrasset fait ressortir que les températures de l'eau de la nappe varient entre 25 à 27,6° C. Les valeurs du pH sont comprises entre 5,77 et 8,17. Les valeurs de la conductivité électrique présentent des contrastes variant entre 275 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 936 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en amont du barrage, et entre 543 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 1576 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en aval du barrage. L'échantillon P13 atteint une valeur exceptionnelle de 4100 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Concernant

les faciès hydrochimiques, les eaux de la nappe inféro-flux se caractérisent par la présence de six types de faciès, soient du pôle bicarbonaté calcique, caractérisant les eaux les moins minéralisées au pôle sulfaté sodique, représentant les eaux plus forte minéralisation situées en aval du barrage. Les résultats des indices de saturation vis-à-vis de la calcite, de la dolomite, montre qu'à l'exception de l'échantillon P13 qui est sursaturé, les eaux de la nappe étudiée présentent une sous-saturation vis-à-vis de ces deux minéraux. La sous-saturation des eaux par rapport aux minéraux, calcite et dolomite, renseigne sur le faible de temps de séjour des eaux souterraines (infiltration des eaux de crue) et du contexte géologique de cette région à substratum cristallin et cristallophyllien.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Abdou Babaye M. S., (2013). Evaluation des ressources en eau souterraine dans le bassin de Dargol (Liptako-Niger). Thèse de doctorat, Univ Abdou Moumouni, 229 p.
- [2] E.N.H.Y.D., (1990). Etude de faisabilité d'un barrage souterrain sur l'Oued Tamanrasset. Rapport hydrogéologique.
- [3] Hamit A., (2012). Étude du fonctionnement hydrogéochimique du système aquifère du Chari Baguirmi (République du Tchad). Thèse de doctorat, Univ. Poitiers, 238p.
- [4] Hanni I. (2018)., Effets des barrages d'inféro-flux d'oueds de la région de Tamanrasset sur l'hydrodynamique des nappes alluviales. Mémoire de Magister, Univ. Oran 2, 138 p.
- [5] Oga M-S., Lasm T., Yao K. T., Soro N., Saley M. B., Kouassi D., Gnamba F., (2009). Caractérisation chimique des eaux des aquifères de fracture : cas de la région de Tiassalé en Côte d'Ivoire. European Journal of Scientific Research, Vol. 31 N°1, pp. 72-87.