# Caractérisation des eaux de la nappe du Complexe Terminal (CT) de Hassi Messaoud a l'aide d'analyse statistique multivariée – Sud algérien.

KECHICHED Rabah<sup>(1)</sup>, DJEGHOUBBI Rabah<sup>(1)</sup>, FOUFOU Atif<sup>(2)</sup>, BELKSIER Med Saleh<sup>(1)</sup> & AMEURZAIMECHE Ouafi<sup>(1)</sup>

(1) Université Kasdi Merbah Ouargla, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers, Ouargla 30 000 Algérie.

(2) Université ZIANE Achour Djelfa, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Djelfa. kechiched.ra@univ-ouargla.dz

Résumé — Les eaux de nappe du Complexe Terminal (CT) de Hassi Messaoud, ont fait l'objet de cette étude hydrochimique et statistique. La classification à l'aide du diagramme de piper a montré que les eaux de cette nappe sont en majorité, chloruré sodique. Les statistiques élémentaires ont été effectuées sur les analyses physicochimiques des eaux de 16 forages. L'ACP issue de la diagonalisation de la matrice des corrélations entre ces paramètres, a permis de mettre en évidence les associations suivantes: La première est constitué de Ca++, Cl-, TH, Na+ et CE : Elle indique les eaux influencées par le lessivage des roches carbonatées, essentiellement les calcaires et les roches évaporitiques. en particulier, l'halite. La deuxième association est constituée de Mg++, SO4- et K+: Elle indique les eaux fortement influencées par le lessivage des roches gypsoargileuses; ces deux associations représentent l'axe de la minéralisation. Une projection des individus sur le plan factoriel (F1F2) a montré deux (2) regroupements : Le premier représente les forages dont la nappe est de lithologie Sénonien-éocène, tandis que le deuxième représente les forages où la lithologie de la nappe est de nature Mio-pliocène.

Mots clés — Statistique; ACP; hydrochimie; Complexe Terminal; individus.

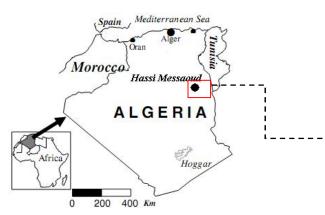
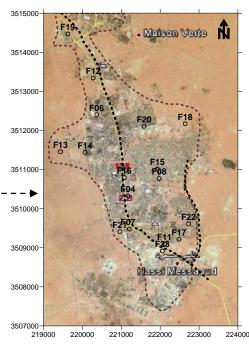


Fig. 1 : Situation géographique de la zone d'étude et implantation des forages d'eau utilisées sur une photo satellitaire de googleearth, 2012.

#### I. INTRODUCTION

es besoins en eau de la région de Hassi Messaoud ne cesse pas à augmenter d'une année à l'autre. En effet, cette région qui représente le pôle de l'économie nationale, avec l'immense activité pétrolière l'agglomération importante de la population. Cette ville s'alimente de la nappe du Complexe Terminal (CT) pour cela, plusieurs forages visant ce réservoir hydrique ont été Cette région a connu plusieurs travaux implantés. géologique qui ont été axés essentiellement sur la prospection et le développement des ressources en hydrocarbures, cependant, les études hydrogéologiques sont très peu ou incomplètes. Ce papier propose caractérisation des eaux de la nappe du Complexe Terminal au niveau de la ville de Hassi Messaoud. Cette ville est localisée à environ 850 km Sud-est d'Alger, à 86 km au sudest d'Ouargla, à 172 km au sud de Touggourt et à 350 km de la frontière tunisienne (Fig. 1).



O Forage d'eau échantillonné

Limite fictive de la ville de Hassi Messaoud

### II. APERÇU GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

La géologie de la région de Hassi Messaoud est bien connue grâce à l'effort de l'exploration pétrolière mené par la compagnie nationale des hydrocarbures Sonatrach et ses partenaires. Elle se présente sous forme de dôme, qui est le résultat d'une histoire paléo-tectonique assez compliquée. Elle est caractérisée par un prolongement du dorsale d'Amguid El Biod qui a plus de 800 km de long. Sa structure fait partie d'un ensemble de structures formant la province triasique Nord orientale.

La série stratigraphique du champ de Hassi Messaoud repose sur le socle à environ 4393 m d'épaisseur (Fig. 2). Cette série est incomplète, elle est marquée par l'absence du Silurien, Dévonien, Carbonifère et Permien. La discordance hercynienne se manifeste plus accentuer au centre de la structure, où les dépôts argilo-gréseux et salifères du Trias reposent directement sur le Cambrien. En allant vers la périphérie, cette discordance tronque des termes ordoviciens de plus en plus récents [1].

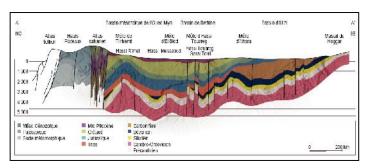


Fig. 2 : Coupe géo-structurale transversal régionale [2].

La région de Hassi Messaoud est, comme le Sahara algérien septentrional, caractérisée par la présence de deux principaux aquifères à savoir :

- La nappe du complexe terminal (CT) : Elle regroupe les aquifères du Mio- Pliocène, de l'Éocène et du Sénonien carbonaté :
- La nappe du continental intercalaire (CI) : Elle se présente comme un aquifère multicouche de l'Albien, Barrémien et Néocomien.

La carte piézométrique établie dans la ville de Hassi Messaoud, montre que les courbes iso-pièzes sont légèrement sériée témoigne d'un gradient hydraulique élevé. Ceci est dû à un cône de dépression liée à un excès de pompage. Un sens d'écoulement régional des eaux souterraines NE-SO. Il est a noté que cette nappe est captive dans cette région.

# III. MATERIEL ET METHODES

# A- Échantillonnage

L'étude statistique a été menée sur les données des échantillons de l'eau prélevés à des forages d'eau implantés dans la nappe du Complexe terminale (CT) au niveau de la ville de Hassi Messaoud, datant du mois de Mais 2013 (Cf. Fig. 1). Au totale 16 échantillons d'eau ont été analysés sur les paramètres physicochimiques aux laboratoires de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) et l'Algérienne des eaux (ADE) d'Ouargla, selon les techniques standards [3].

#### B. Méthodes utilisées

L'analyse des données qui repose sur les méthodes statistiques a été utilisée pour l'élaboration de cette étude. Ceci a pour but de contribuer à la caractérisation hydrochimique des eaux de la nappe du Complexe Terminal (CT) de Hassi Messaoud. L'analyse statistique monovariée à été faite à l'aide du calcul des paramètres de position centrale et de dispersion. L'analyse bivariée a permis de calculer le coefficient de corrélation simple et l'établissement de la matrice de corrélation entre les paramètres physicochimiques. En effet, le coefficient de corrélation simple  $R_{x/y}$  est estimé par la relation suivante :

$$R_{x/y} = \frac{\overline{XY} - \overline{X}\overline{Y}}{S_x.S_y}$$
 Avec: (1)

 $\overline{X}$  et  $\overline{Y}$  sont des valeurs moyennes des variables X et Y

S<sub>x</sub> et S<sub>y</sub>: Ecarts types de l'échantillon statistique des variables X et Y

La signification est calculée à l'aide de la formule :

$$R_{signif} = \frac{2}{\sqrt{n-1}}$$
 Avec  $n$ : est le nombre des données utilisées. (2)

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) est l'une des méthodes d'analyse multivariées - factorielle qui sert à la projection des données dans un espace à n dimensions (Nuage de points). L'ACP est utilisé pour l'analyse des données, qui sont représentées sous formes de tableaux de n individus et p variables. En ACP, ce qu'est important, c'est la forme du nuage des points par rapport aux axes (droites) qui passent par le centre de gravité du nuage, ce sont les facteurs de charges (Fig. 3). La projection des coordonnées des variables sur les principaux facteurs, ayant le maximum d'inertie (variance de dispersion), va permettre le tracer des cercles de corrélations [4].

## IV. RESULTATS ET DISCUSSIONS

# A. Statistiques élémentaires

- Tableau statistique : Un traitement statistique élémentaire a été effectué pour déterminer les paramètres de position de dispersion et la des paramètres physicochimiques. Les résultats obtenus sont récapitulés au (Tableau. 1). Il montre que le potentiel d'Hydrogène pH a des valeurs dans les limites des normes algériennes, il varie légèrement de 7.8 à 6.6, la moyenne est de 7,1. La conductivité (CE) enregistre une moyenne de 2440,44 µs/cm avec un écart-type de 992,24 mg/l (Fig. 3). Les concentrations de calcium (Ca++) sont caractérisées par des valeurs varient de 198,23 à 264.52 mg/l. Les valeurs du magnésium (Mg<sup>++</sup>) varient de 48 à 181,8 mg/l. Les chlorures (Cl<sup>-</sup>) varient de 140 à 1067,55 mg/l. Les concentrations sulfates (SO<sub>4</sub><sup>--</sup>) de la nappe varient entre 300 à 1688 mg/l.

Tableau. 1 : Statistiques élémentaires des paramètres physicochimiques des échantillons.

	N. Act.	Moy.	Min.	Max.	Var.	Ecart-type
$T.H(F^{\circ})$	9,0	95,5	72,7	146,3	812,1	28,5
CE(µS/cm)	16,0	2440,4	1200,0	4890,0	984548,4	992,2
pН	16,0	7,1	6,6	7,8	0,1	0,4
Rés sec	16,0	2347,0	1000,0	4800,0	1004075,2	1002,0
$SO_4$	16,0	665,9	300,0	1688,0	113335,7	336,7
$Cl^{-}$	16,0	522,6	140,0	1067,6	67153,8	259,1
$HCO_3^{}$	16,0	164.75	122.00	207,4	631.61	25.132
NO3-	3,0	8,2	2,0	16,0	50,8	7,1
Na <sup>+</sup>	16,0	308,3	100,0	780,0	42476,1	206,1
$K^{\scriptscriptstyle +}$	16,0	21,6	10,0	54,0	166,9	12,9
$Mg^{++}$	16,0	90,9	48,0	181,8	1051,8	32,4
$Ca^{\scriptscriptstyle +\scriptscriptstyle +}$	16,0	198,2	132,3	264,5	1929,8	43,9
$NO_2$	13,0	0,4	0,0	5,0	1,9	1,4
$PO_4$	9,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,1
F	16,0	2,1	1,6	2,9	0,2	0,4
$Fe^{++}(tot)$	9,0	0,1	0,0	0,3	0,0	0,1

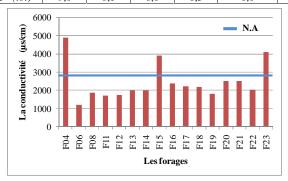


Fig. 3 : Variation de la conductivité dans les forages (Mai, 2013)

Faciès chimique: Les faciès chimique illustrés dans le diagramme de Piper a montré que les eaux du Complexe Terminal (CT) de Hassi Messaoud sont Chloruré sodique dans la plus part des forages d'eau (Fig. 4).

Tableau. 2 : Matrice de corrélation des paramètres physicochimiques

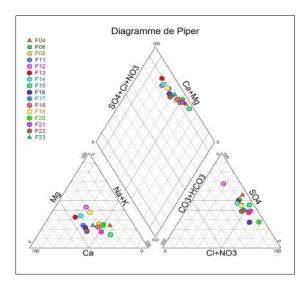


Fig. 4 : Projection sur le diagramme de Piper.

## B. Statistique bivariée

Les coefficients de corrélation simples ont été calculés entre les paramètres physicochimiques. La matrice de corrélation regroupe les résultats de calcul (Tableau. 2). Elle montre que la conductivité (CE) est corrélée positivement à  $SO_4^-$ ,  $Cl^-$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$  et  $Ca^{++}$ 

## C. Analyse multivariée -ACP

La diagonalisation de la matrice de corrélation (Tableau. 2), a permis de calculer les facteurs de charges, sur l'ensemble des de paramètres physicochimiques (Tableau. 3). Les cercles de corrélations ont été tracés sur le plan du facteur F1 et F2 qui représente une variance cumulée de 77,6 % (Tableau. 3); (Fig. 5). La projection des individus sur les deux facteurs à été faite (Fig. 6).

	T.H	CE	pH	RS	$SO_4$	Cl <sup>-</sup>	HCO3"	Na <sup>+</sup>	<i>K</i> <sup>+</sup>	$Mg^{++}$	$Ca^{++}$	F
$T.H(F^{\circ})$	1,00											
CE (µS/cm)	0,94*	1,00										
pН	-0,11	-0,11	1,00									
RS (mg /l)	0,30	0,52	-0,44	1,00								
$SO_4^-(mg/l)$	0,75*	0,87*	0,17	0,51	1,00							
Cl <sup>-</sup> (mg /l)	0,89*	0,85*	-0,11	0,34	0,72*	1,00						
HCO <sub>3</sub> (mg/l)	-0,28	-0,17	0,46	-0,20	0,02	-0,40	1,00					
$Na^+(mg /l)$	0,89*	0,88*	0,10	0,33	0,86*	0,95*	-0,31	1,00				
K <sup>+</sup> (mg /l)	0,94*	0,97*	0,04	0,43	0,88*	0,88*	-0,08	0,92*	1,00			
$Mg^{++}(mg/)$	0,52	0,72*	0,35	0,44	0,90*	0,46	0.20	0,66	0,70*	1,00		
Ca <sup>++</sup> (mg /)	0,72*	0,76*	-0,46	0,56	0,58*	0,80*	-0,17	0,68*	0,75*	0,34	1,00	
F(mg /l)	-0,36	-0,40	0,02	-0,02	-0,12	-0,10	0,06	-0,11	-0,27	-0,30	0,02	1,00

0,72\* : Corrélation significative

Tableau. 3 : Facteurs de charges de l'ACP

	T.H (F°)	CE	pН	SO4	Cl-	HCO3-	Na <sup>+</sup>	$K^+$	$Mg^{++}$	Ca <sup>++</sup>	F	Valeur propre	Var (%)	Var. cum (%)
F. 1	-0,94	-0,98	0,04	-0,89	-0,92	0,21	-0,95	-0,98	-0,72	-0,78	0,27	6,6	60	60
F. 2	0,13	0	-0,86	-0,32	0,24	-0,74	-0,01	-0,09	-0,57	0,37	0,11	1,94	17,62	77,6

## D. Discussion et interprétation

- Cercles de corrélation sur le plan des facteurs F1F2 (Fig. 5)

Elles montrent l'existence de trois associations : la première constitué de Ca++, Cl-, T.H, Na+, CE: cette association est corrélée négativement avec le facteur F1 et positivement avec le facteur F2; Elle montre les eaux influencées par une lithologie constituée des roches carbonatées en particulier le calcaire et des roches évaporitiques (halite). La deuxième est constituée de Mg++, SO<sub>4</sub> et K<sup>+</sup> : cette association est corrélée négativement avec le facteur F1 et F2. Elle représente les eaux fortement influencée par une lithologie de nature évapo-argileuse (essentiellement gypseuses) et silicatée (argileuse). deux associations représentent l'axe de minéralisation. La troisième Une est constitué de pH et HCO3: cette association est corrélée négativement avec le facteur F1 et F2. Elle représente les eaux fortement influencée par la dissolution des carbonates dans milieu tend à l'acidité.

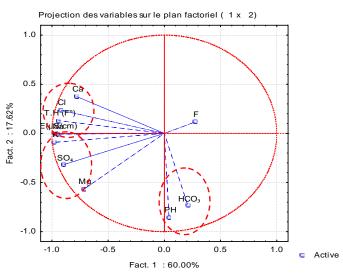
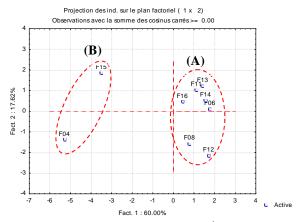


Fig. 5 : Cercles des corrélations des variables sur le plan factoriel F1F2

- Projection des individus (forages) sur le plan des facteurs F1F2 (Fig. 6)

Cette projection montre deux (2) regroupements d'individus :

- Le premier regroupement (A) est constitué des individus (F06, F11, F13, F16, F08 et F12). Il est corrélé positivement avec le facteur F1. Ce sont les forages dans les quels, la formation lithologique est rattachée à l'étage du Sénonien-Éocène.
- La deuxième regroupement (B) est constitué des individus (F04 et F15). Il est corrélé négativement avec le facteur F1. Il représente les forages dont la formation lithologique est rattachée à l'étage Mio-pliocène.



- A : Forages dont la lithologique Sénonien-Éocène
- **B**: Forages dont la lithologique Mio-Pliocene

Fig. 6: Projection des individus sur le plan factoriel F1F2

#### V. CONCLUSION

La région de Hassi Messaoud renferme d'énormes quantités des eaux souterraines qui jouent un rôle important dans le développement de cette ville industrielle. En effet, cette dernière s'approvisionne de la nappe du Complexe Terminal (CT). L'étude statistique a été effectuée sur les analyses des paramètres physicochimiques. Ceci a permis de distinguer que la minéralisation des eaux est élevée. Le faciès chimique des eaux dans la plus part des forages est Chloruré sodique. La statistique élémentaire et bivariée a été effectuée pour caractériser la qualité des eaux. Il ressort que la concentration des éléments chimiques dans la plus part des puits dépasse les normes algériennes. La diagonalisation de la matrice de corrélation issue du traitement bivariée, a permis de calculer les facteurs des charges et de tracer les cercles de corrélation sur le plan F1F2 qui représente une variance cumulé de 77,6%. Ces cercles nous a permis de mettre en évidence une axe de minéralisation répartie en deux association chacune est rattachée à la lithologie encaissante.

La projection des individus sur le plan factoriel F1F2 a permis de distinguer 2 deux regroupement, l'un est constitué des forages d'eau dont la lithologie de la nappe est sénonien-éocène tandis que le deuxième est Miopliocène. Cette analyse de données statistique multivariée représente une contribution à l'étude hydrochimique des eaux.

## REFERENCES

- BEICIP. FRANLAB, "Zone périphérique du champ de Hassi Messaoud, réservoir cambro-ordovicien", Rapport Interne CRD Sonatrach, 1979, p 21.
- [2] WEC, "La géologie pétrolière de l'Algérie. In Sonatrach Schlumberger Well Evaluation Conference - Algérie 2007", Édité par Schlumberger 2007, pp. 1.6 – 1.8.
- 3] J. Rodier, "L'analyse de l'eau, 7ème éd", 1984, p.1353.
- D. Marcotte, "Géostatistique minière". Ecole polytechnique, Montréal, 1997, 230 p.