
HYDROGEOLOGIE

I- CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES DU SYSTEME AQUIFERE D'ANNABA-BOUTELDJA

Introduction

Le remplissage mio-plio-quaternaire décrit précédemment renferme des ressources hydriques assez importantes. Cependant l'accroissement des besoins en eau pour l'alimentation des populations et pour satisfaire les activités industrielles et agricoles a conduit les services de l'hydraulique à intensifier les prélèvements au niveau des principaux champs captant (de Bouteldja, des Salines et d'El-Hadjar). Cette situation a eu pour conséquence une chute des niveaux des nappes, une diminution des débits des sources et une méconnaissance du fonctionnement hydrodynamique des aquifères sur de vastes zones (Nafaa, 1985 ; Hani, 2003). Dans cette étude, l'utilisation des méthodes statistique et géostatistique est apparue comme un puissant moyen pour l'identification des zones les plus favorables à l'implantation des ouvrages de captage et pour mettre en évidence l'influence de la structure profonde sur la répartition des caractéristiques physiques des principaux aquifères.

II-Interprétation des données de pompage d'essai

II.1- La nappe superficielle

Grâce aux observations de terrain ou des résultats acquis lors de différentes études (Khérici, 1993 ; Djabri, 1996 et Debièche, 2002), il est démontré que l'aquifère phréatique des plaines de Annaba et de Bouteldja présente des caractéristiques hydrodynamiques médiocres et ne peut être exploitée que pour l'alimentation de quelques hameaux ou pour l'irrigation de petites parcelles de terrain. Pour donner un ordre de grandeur des principales caractéristiques hydrodynamiques de cet aquifère, nous reprenons ici les résultats des pompages d'essai réalisés dans la région située au Sud-Est des Salines, l'un dans la zone à dominante argileuse, l'autre dans une zone à dominante sableuse. Les résultats sont consignés dans le tableau 12.

Tableau 12 : Résultats de deux pompages d'essai effectués dans la nappe phréatique.

Coordonnées		Transmissivité ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)	Coefficient d'emmagasinement	Epaisseur de la nappe (m)	Perméabilité ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
X	Y				
957.150	401.550	$2 \cdot 10^{-6}$	?	5	$4 \cdot 10^{-7}$
957.250	399.800	$8 \cdot 10^{-5}$	2 %	5	$1.6 \cdot 10^{-5}$

Ailleurs, des estimations ont permis d'obtenir des ordres de grandeur de la transmissivité. Ces

valeurs sont présentées dans le tableau 13.

Tableau 13 : Estimation des Transmissivités de la nappe phréatique (m².s-

Zone	Epaisseur nappe (m)	Dominante de la formation		sablo-argileuse à passées sableuses
		Argileuse	sablo-argileuse	
A	4	$9.2 \cdot 10^{-7} < T < 14 \cdot 10^{-5}$	$1.1 \cdot 10^{-5} < T < 9.2 \cdot 10^{-5}$	-
B	4	$2.3 \cdot 10^{-6} < T < 1.2 \cdot 10^{-5}$	$1.1 \cdot 10^{-5} < T < 2.3 \cdot 10^{-5}$	$4.4 \cdot 10^{-5}$
C	2	$2.2 \cdot 10^{-6}$	-	-
D	1	$5.8 \cdot 10^{-7} < T < 3 \cdot 10^{-6}$	$3.5 \cdot 10^{-6} < T < 4.6 \cdot 10^{-6}$	$1.1 \cdot 10^{-5} < T < 2.2 \cdot 10^{-5}$

II.2- Les nappes des graviers et des sables dunaires

Le dépouillement de 105 pompages d'essai effectués dans les forages a permis de déterminer les paramètres hydrodynamiques des principaux horizons aquifères. Les données proviennent des services de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) ainsi que des directions d'Hydraulique des Wilaya d'Annaba et d'El-Tarf. Les points de mesure sont particulièrement nombreux le long de l'oued Seybouse ainsi que dans la partie orientale du massif dunaire de Bouteldja (fig. 13). L'interprétation des données de pompages d'essai a été effectuée en tenant compte des particularités hydrogéologiques induites par l'hétérogénéité du milieu (alimentation à partir d'un plan d'eau, barrière étanche, drainance à partir d'aquifère secondaire selon le schéma de Hantush, égouttement selon le modèle de Boulton, etc....)

(Hantush and Jacob, 1955; Hantush, 1956; 1964; Boulton, 1963). Les valeurs douteuses déduites de l'interprétation de pompages d'essais défectueux (débits variables, air-lift, mesures erronées...) ont été éliminées. Dans la nappe des graviers les valeurs de Transmissivité les plus élevées sont situées le long de la Seybouse et les plus faibles à l'Ouest dans la région d'El-Kerma et à l'Est vers les marécages de Mekrada. Dans le massif dunaire, les transmissivités varient de $3 \cdot 10^{-5}$ à $1 \cdot 10^{-2}$ m²/s.

Les valeurs du coefficient d'emmagasinement sont en moyenne de 11.5 % pour les sables dunaires et correspondent à une nappe libre. Pour la nappe captive des graviers, elles varient de 10^{-4} à 10^{-3} dans le secteur de Dréan-Chihani où elle devient libre.

Le dépouillement des données a également permis de définir la perméabilité de l'horizon semi-perméable qui varie de 10^{-8} à 10^{-7} m/s.

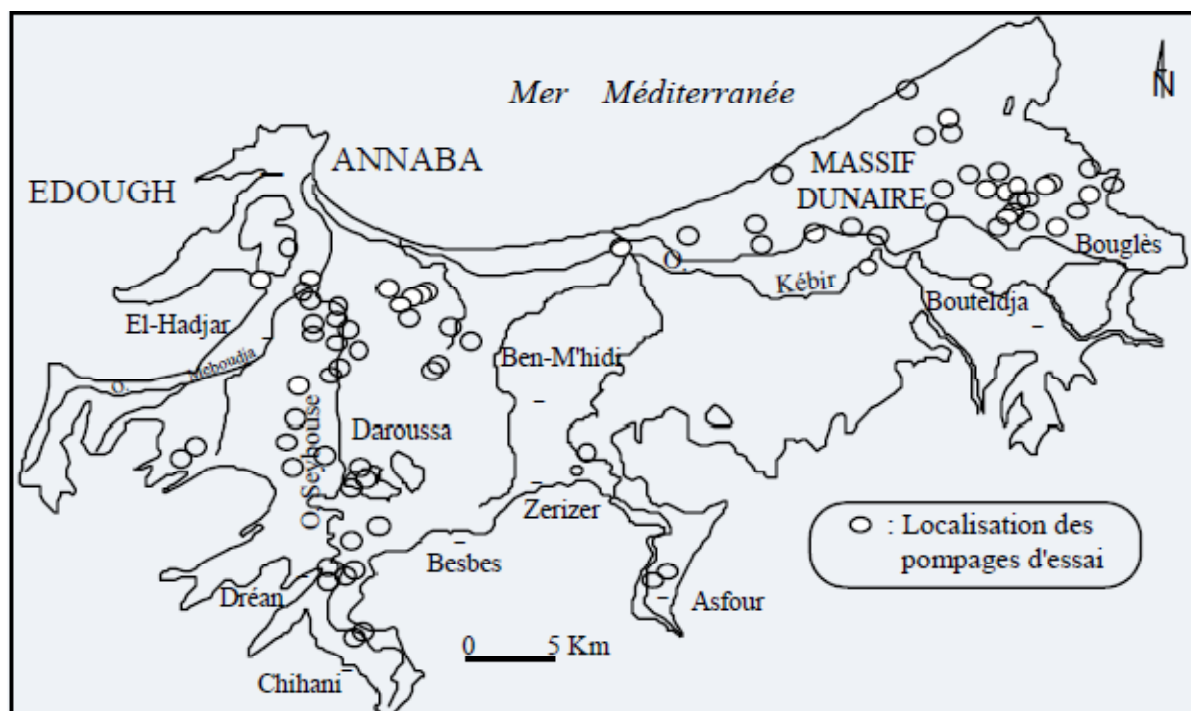


Fig. 13- Localisation des dispositifs des pompages d’essai dans la région d’Annaba – Bouteldja.

1 : Alluvions récentes et actuelles ; 2 : Dunes; 3 : Alluvions anciennes; 4 : Marécage ou lac ; 5 : Grés et argile numidiens ; 6 : Formations métamorphiques ; 7 : Faille ; 8 : Pompages d’essai ; 9 : Axe des fosses ; 2 : Tracé de coupe.

III.1 . Analyse et identification des modalités de transferts hydrauliques

Le dépouillement et l’analyse des données de pompages d’essai effectués dans les forages captant les nappes des graviers et des sables dunaires de Bouteldja ont permis de constituer une base de données assez importante. Elle a permis également de définir les principales modalités de transfert de débit dans le système aquifère (Djabri 2000). Les différents schémas hydrodynamiques dans ce système peuvent être de plusieurs types :

- Dans la région de Dréan, où les niveaux de graviers sont peu profonds (14 m), l’apparition d’un début de palier sur les courbes de descente dans le forage (fig. 14A) et dans le piézomètre (fig. 14B) indique un phénomène d’alimentation de la nappe des graviers par égouttement des alluvions de la Seybouse. Le niveau de la nappe au repos se trouve en effet à 9.72 m du sol, soit approximativement à une côte proche du niveau piézométrique des alluvions de la Seybouse.
- Ce type de schéma est aussi observé dans le massif de Bouteldja où l’hétérogénéité granulométrique des sables, plus fins dans la partie supérieure, entraîne l’apparition d’un palier suivi par un léger accroissement des rabattements typique du schéma de Boulton (fig.14C). En effet, il n’existe pas entre les sables fins à moyens superficiels et les sables grossiers de couche

semi-perméable. La faible durée de l'essai (24 heures) n'a point permis d'accéder à la période de la troisième phase où un accroissement des rabattements se manifeste à nouveau comme dans le cas théorique de l'égouttement répondant au schéma de Boulton.

- Dans le secteur central de la plaine de Annaba, l'horizon des graviers est captif sous une couche d'argile épaisse de 26 m. L'interprétation des données de pompage, observées sur le piézomètre de la figure 24, montre un ajustement parfait à la courbe standard de Theis et permet d'obtenir des valeurs de transmissivité et de coefficient d'emmagasinement identiques à celles calculées à partir de la droite de Jacob et à l'aide d'un programme automatique basée sur une procédure itérative (Mania, 1978) (tableau 14).

Tableau 14 : Résultats du pompage effectué dans le secteur central de la plaine d'Annaba.

Paramètres	Méthode			Méthode automatique (6 ^{ème} itération)
	Descente (Jacob)	Remontée (Jacob)	Descente (Theis)	
Transmissivité ($m^2.s^{-1}$)	3.5×10^{-3}	4.0×10^{-3}	3.5×10^{-3}	3.5×10^{-3}
Coefficient d'emmagasinement	3.6×10^{-4}	-	4.3×10^{-4}	4.0×10^{-4}

- Enfin, à l'Ouest d'El Hadjar, l'aquifère des graviers est alimenté à travers les argiles sableuses par une épaisse couche de sables alluvionnaires qui joue le rôle du niveau d'eau constant du schéma de Hantush. La nappe superficielle serait dans ce cas alimentée de manière constante par l'oued Meboudja. Les courbes bilogarithmiques des figures 14 E et 14F montrent une superposition parfaite des points expérimentaux à l'une des courbes de Hantush.

D'une manière générale, l'interprétation d'un nombre considérable de données de pompage d'essai, selon des schémas analytiques très variés, a permis de constituer un stock d'information très dense. Elle a permis également de mettre en évidence l'existence d'hétérogénéités assez importantes dues en général aux transferts de débit issus des oueds, de la drainance d'aquifères annexes et de l'égouttement des niveaux aquifères superficiels.

Néanmoins, la concentration des pompages d'essai au niveau de certains secteurs réputés favorables (champs de captage de Bouteldja, des Salines, d'Allélick et de Pont Boucher) a eu des conséquences négatives sur l'équilibre des aquifères (apparition de zones de dépression en particulier) et une méconnaissance relative des caractéristiques hydrodynamiques sur de vastes zones (Nafaa, 1985).

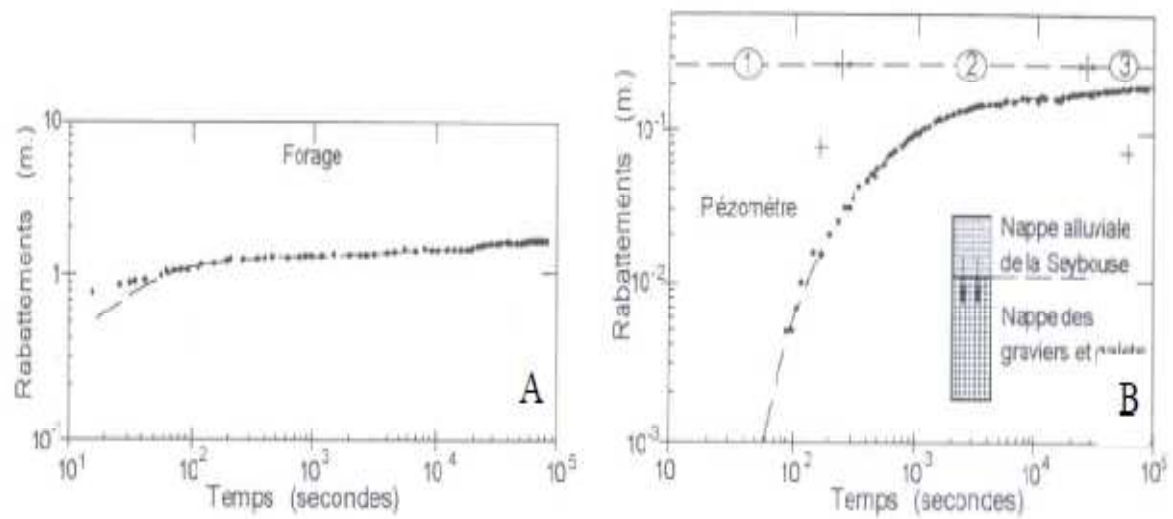


Fig. 14 A - B – Pompage d’essai dans la nappe des graviers dans la région de Dréan-
Graphique de descente :A) Dans le forage ;B) dans le piézomètre.

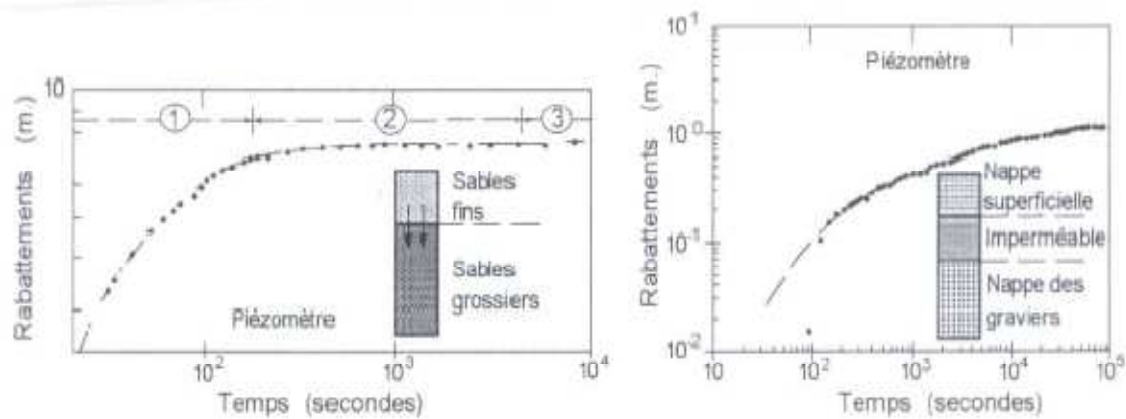


Fig. 14C – Pompage d’essai dans l’aquifère
Sableux de Bouteldja.

Fig. 14D – Pompage d’essai dans l’aquifère
des graviers dans le secteur central de la plaine
d’Annaba.

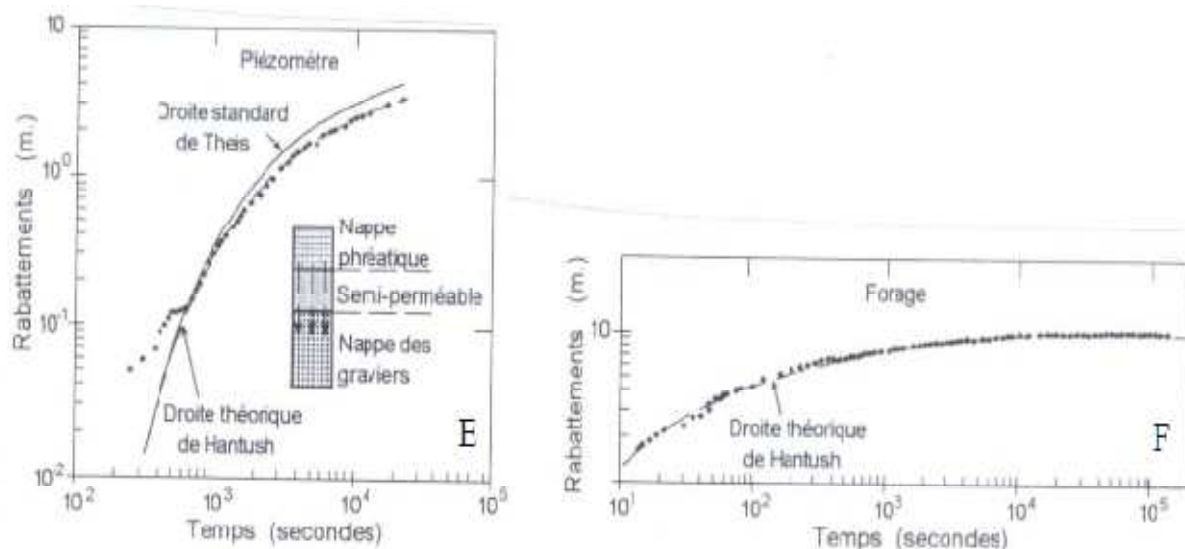


Fig. 14 E-F – Pompage d’essai dans la nappe des graviers dans le secteur ouest d’El- Hadjar. E) bilogarithmique dans le piézomètre ; F) bilogarithmique dans le forage.

III.2- Cartographie des transmissivités

Le krigeage ordinaire des transmissivités a été effectué aux nœuds des mailles carrées de 1km de côté. La carte des transmissivités krigées (Hani, 2003) (fig. 15) montre:

- un secteur de fortes valeurs correspondant à deux zones bien distinctes. La première se situe le long de la vallée de la Seybouse et coïncide avec l’axe de la fosse de Ben-Ahmed. Les coupes géologiques des forages permettent de reconnaître dans ce secteur, deux niveaux de graviers uniformes et dépourvus de matériaux fins. Le premier, reconnu par les forages à une profondeur de 35 m, présente une épaisseur de près de 8 m tandis que le second, plus profond, peut atteindre 40 m d’épaisseur au milieu de la fosse. Il convient également de remarquer que le remplissage de la fosse par des sédiments plio-quaternaires grossiers a permis la formation d’une importante zone d’accumulation à écoulement préférentiel (voir carte piézométrique).

La seconde zone se localise dans la partie orientale du massif dunaire. Dans ce secteur, les sables éoliens qui surmontent les alluvions de la fosse d’effondrement de Ben-Mhidi, présentent des caractéristiques hydrodynamiques exceptionnelles.

- Les plus faibles transmissivités sont situées à l’Est de Ben-M'hidi et s’étendent sur toute la partie littorale du massif dunaire.

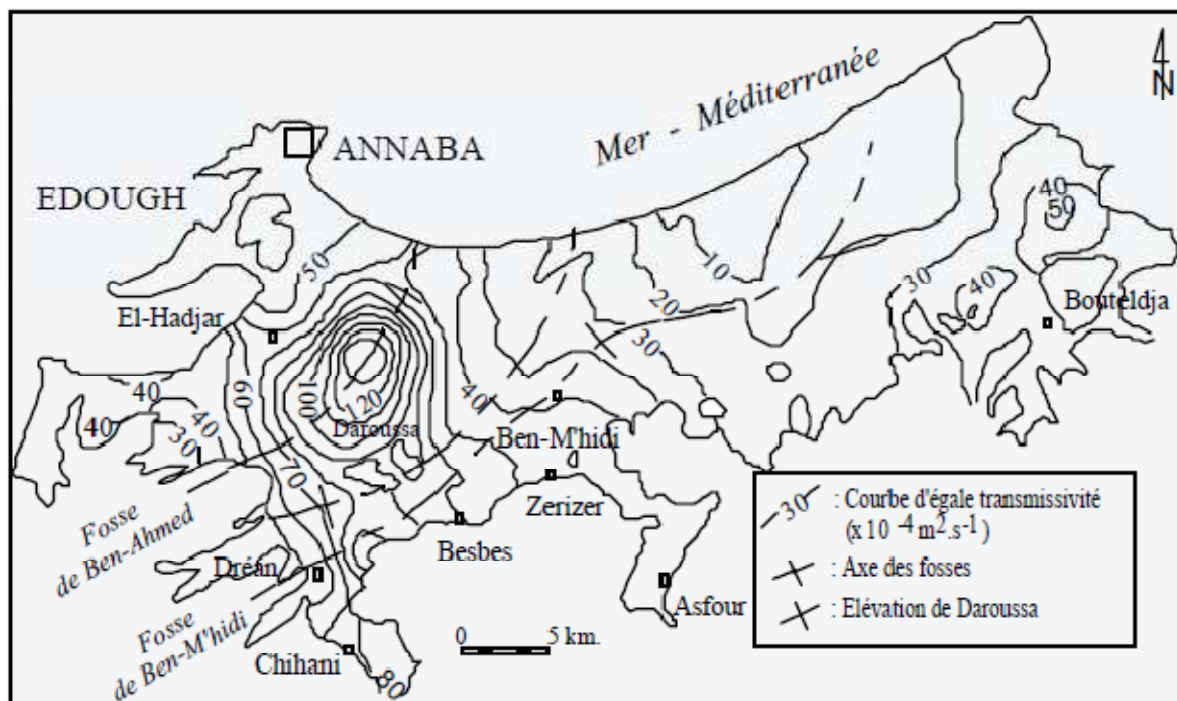


Fig. 15 - Carte des transmissivités krigées

III.3- Conclusions

L'analyse des paramètres hydrodynamiques dans le système aquifère de Annaba-Bouteldja, a permis d'identifier trois classes ;

- la première, correspondant aux plus faibles valeurs de Transmissivités, de débit spécifique et de perméabilité, est formée par les forages captant les sables à passées graveleuses de la bordure Ouest de la plaine de Annaba et surtout les formations dunaires ;

- la deuxième, formée par les forages caractérisés par des valeurs intermédiaires, est localisée dans les secteurs de contact nappe dunaire-nappe des graviers à l'Est et sur les flancs de la fosse de Ben-Ahmed à l'Ouest ;

- enfin, la troisième caractérisée par les plus fortes valeurs, se localise le long de la vallée de la Seybouse et à l'Est dans la partie orientale du massif dunaire où les sables éoliens surmontent les dépôts alluviaux de la fosse d'effondrement de Ben-Mhidi. Si l'on pose le tracé des structures tectoniques sur la carte des transmissivités déduites du krigeage, on s'aperçoit que la distribution spatiale des deux objets l'un par rapport à l'autre, n'est pas aléatoire. En effet, les zones les plus transmissives ($7 \cdot 10^{-3}$ à $1.3 \cdot 10^{-2}$) coïncide avec l'axe de la fosse de Ben-Ahmed. Les coupes géologiques des forages permettent de reconnaître dans ce secteur, deux niveaux de graviers uniformes et dépourvus de matériaux fins. Le premier, reconnu par les forages à une profondeur de 35m, présente une épaisseur de près de 8 m tandis que le second, plus profond, peut atteindre 40m d'épaisseur au milieu de la fosse. Il convient également de remarquer que le remplissage de la fosse par des sédiments plio-quaternaires grossiers a permis la formation d'une importante zone d'accumulation à écoulement préférentiel. La seconde zone de bonne Transmissivités se localise dans la partie orientale du massif dunaire. Dans ce secteur, l'épaisseur des dépôts alluviaux de la fosse d'effondrement de Ben-Mhidi peut atteindre près de 70m. Entre ces deux zones d'accumulation, le secteur situé sur le prolongement de la butte de Daroussa s'est vraisemblablement trouvé à l'abri des apports alluviaux d'où l'absence de niveaux grossiers de remplissage. Cette situation se traduit par des valeurs de transmissivité relativement plus faibles. Les cartes obtenues peuvent être utilisées aussi bien pour localiser les zones favorables à l'implantation de captage des eaux souterraines, que pour aider au calage des modèles de simulation des écoulements souterrains et de transferts de polluants.

.

HYDROCHIMIE

I- Introduction

Le développement économique de la région de d'Annaba et EL TARF, et particulièrement la croissance des activités agricoles et la forte expansion démographique, ont fait que les eaux souterraines sont de plus en plus sollicitées par les utilisateurs, avec une surexploitation de la nappe, malgré la baisse des niveaux piézométriques constatée depuis près d'une vingtaine d'année.

L'alimentation directe par les eaux de pluie n'arrive plus à rétablir l'équilibre de la nappe, par suite des conditions climatiques difficiles et des sécheresses à répétition.

Ozler et Younsi définissent l'intrusion marine comme la migration des eaux salées dans les eaux douces de l'aquifère, sous l'influence de l'évolution des ressources en eaux de la nappe.

Le mouvement se fait naturellement, soit à l'intérieur des terres, on parle ainsi de mouvement descendant des sources de surface et des eaux d'irrigation vers l'aquifère et de mouvement ascendant des formations inférieures vers l'aquifère, soit dans les zones côtières, où les eaux de l'aquifère sont connectées hydrauliquement avec l'eau de mer. Dans ce dernier cas, les deux systèmes ne se mélangent pas, puisque les eaux salées se déplacent au-dessous des eaux douces, par suite de la différence de densité entre les deux types d'eau.

Plusieurs auteurs (El Achheb *et al.* 2001 ; Trabelsi *et al.* 2005 et Younsi *et al.*, 1997) ont essayé, par des méthodes analytiques et numériques de modélisation, de décrire le phénomène, de prévoir la position de l'interface entre eau douce et eau marine et de prévoir les changements des niveaux piézométriques et de la salinité. La caractérisation du phénomène d'intrusion nécessite une approche multidisciplinaire. La démarche consiste à établir la structure géologique et à déterminer les propriétés hydrologiques et géochimiques, à travers un nombre suffisant de mesures et d'analyses pour caractériser les sources et les origines de la salinisation, la localisation de l'interface et les fonctions qui engendrent son évolution spatio-temporelle. Plusieurs auteurs (El Achheb *et al.*, 2001 ; Trabelsi *et al.*, 2005) ont essayé de définir les processus et les réactions chimiques qui caractérisent la minéralisation et seraient ainsi responsables de l'enrichissement ou de l'appauvrissement des eaux souterraines en éléments chimiques. Ainsi, dans les différentes études réalisées (Khérici, 1993 ; Djabri, 1996 ; Debieche, 2002 ; Hani, 2003) sur la nappe des graviers de la plaine d'Annaba, la forte salinité des eaux est expliquée par l'infiltration des eaux à partir de la nappe superficielle dans la partie sud. Par contre dans la partie nord, on observe une pollution représentée par une augmentation de la salinité des eaux, ainsi que des teneurs en Na⁺, Cl⁻ et K⁺, indiquant l'effet d'une salinité d'origine marine.

L'objectif spécifique de la présente étude englobe la caractérisation géochimique de système aquifère étalons dans la région d'ANNABA et El-TARF et l'identification des processus et des réactions chimiques qui gouvernent sa salinisation et la détermination et les zone vulnérable.

1-Cas de Région d'Annaba

1.1. Les eaux souterraines la région du lac Fedzara

La qualité des eaux reste un atout important pour déterminer l'utilisation de ces eaux. Cette qualité diffère d'un horizon à un autre ce qui oblige le chercheur à donner les indications concernant chaque horizon étudié. Dans ce travail nous nous intéressons aux eaux prélevées à différentes profondeurs. Notons que les éléments majeurs et les éléments traces ont été dosés.

1.1. 1 .Eléments majeurs

a. Statistiques élémentaires

L'étude statistique réalisée porte sur 45 échantillons prélevés au cours des mois de Janvier, Mars et Mai 2007 sur les eaux souterraines.zahi2008. Le tableau suivant (tableau 33), montre que la conductivité des eaux varie de manière significative, elle passe de 385 à 10740 μcm , ce qui implique que les eaux peuvent atteindre une salinité conséquente. Au niveau des éléments majeurs on retrouve la même évolution pour les éléments suivants : Na^+ , HCO_3^- et Cl^- . Cette évolution semble dictée par la pluviométrie. En effet les précipitations enregistrées au cours des mois considérées n'est pas identique et par conséquent influence les eaux différemment. Pour visualiser les liens existant entre les éléments chimiques nous allons réaliser une analyse en composantes principales.

Libellé de la variable	Effectif	Poids	Moyenne	Ecart-type	Min	Max
CE	45	45.00	1582.33	1645.12	385.00	10740.0
Ca^{+2}	45	45.00	59.20	34.12	18.40	167.00
Mg^{+2}	45	45.00	64.04	31.61	10.56	156.48
Na^+	45	45.00	300.63	144.47	104.05	663.24
K^+	45	45.00	5.28	4.94	0.00	24.91
HCO_3^-	45	45.00	362.45	108.22	169.58	611.22
Cl^-	45	45.00	414.95	316.37	78.10	1368.00
SO_4^{-2}	45	45.00	162.28	95.48	42.85	418.08

Tableau 15: Variations des concentrations des éléments majeurs des eaux souterraines.Zahi2008

b. Analyse en composantes principales

L'ACP, a pour but la détermination des liens existants entre les éléments et leurs origines. Dans le cas présent on a utilisé 45 analyses chimiques et huit variables. Le nombre de variable huit a été pris après plusieurs essais, en effet quelques variables tel que le pH ont diminué l'inertie totale et de ce fait ont été éliminé. L'inertie ou l'information totale donnée dans le cas présent est de 57 %, alors qu'avec les autres éléments elle ne dépasse pas 35 %.

b.1. Observation du cercle ACP

Le cercle formé par les deux axes F1F2, montre selon l'axe horizontal F1 (37%), une opposition entre les eaux fortement minéralisées (riches en chlorures, bicarbonates, magnésium et sodium) et occupant la partie négative de l'axe F1, s'opposent aux eaux faiblement minéralisées caractérisant la partie positive de l'axe F1 (figure 16).

Concernant l'axe vertical F2 (20%), on note une opposition entre le potassium et les sulfates. Cette évolution confirme bien l'effet des précipitations sur la composition chimique des eaux. Lors des pluies les apports en eau vers le lac en provenance du massif de l'Edough et par le biais des interactions eau roche, enrichissent les eaux en potassium contenu dans les formations métamorphiques (in Majour, 1996). Notons par ailleurs que les faibles concentrations en

Concentrations en sulfates sont surtout dues au fait que les formations évaporitiques sont absentes dans cette zone (in Djabri 2007).

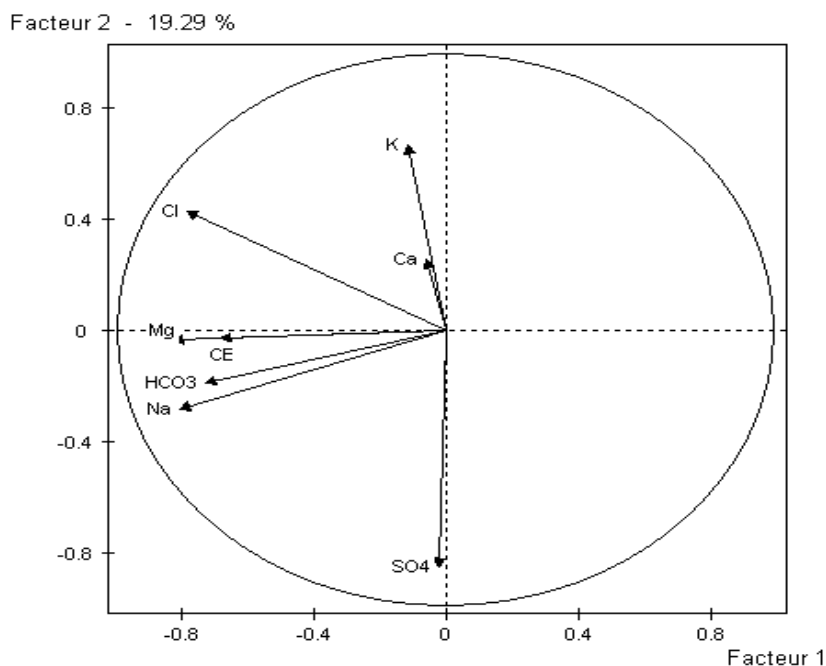


Figure 16: Cercle ACP des eaux souterraines (Eléments majeurs).

Pour confirmer l'hypothèse avancée nous avons comparé (tableau 15), la variation des concentrations du potassium et des sulfates entre deux périodes de prélèvement suivantes : mois de Janvier et mois de Mars 2007.

Puits	Sulfates (SO_4^{2-} en mg/l)		Potassium (K^+ en mg/l)	
	Janvier 2010	Mars 2010	Janvier 2010	Mars 2010
P1	117,60	53,76	11,70	24,91
P5	204,00	184,80	6,08	9,42
P7	82,56	107,52	12,30	0,02
P9	73,44	60,00	11,98	1,12
P12	76,32	306,24	2,10	0,57
P15	201,60	84,96	9,70	11,63
P18	92,64	143,04	7,60	6,65
P22	254,40	42,85	2,30	0,00
P24	171,84	70,56	2,58	2,34
P26	84,00	66,24	1,78	0,66
P30	245,76	293,76	3,25	1,68
P32	239,04	156,00	6,70	7,21
P34	90,72	117,60	1,12	0,57
P36	197,76	238,56	1,48	1,12
P38	87,84	293,76	2,31	0,02
P41	99,84	85,44	5,66	4,44

Tableau 16 : Variations du Potassium et des Sulfates entre les mois de Janvier et Mars 2007. Zahi2008, in Boulakoud

On remarque surtout une baisse très sensible au niveau des sulfates. Ces concentrations peuvent baisser de moitié cas du P24 et P32. Le potassium n'étant pas lui-même important et le temps de séjour des eaux de pluie dans les réservoirs des sources est trop court de ce fait la variation n'est pas encore généralisée.

b.2. Matrice de corrélation

Cette matrice (tableau 35), nous permet de dégager les associations qui peuvent exister entre les éléments chimiques. Dans le cas présent $n = 45$, de ce fait le coefficient de corrélation adopté sera $r = 0.54$. Nous pouvons ainsi dégager les associations suivantes :

$CE--Na^+$, $r= 0.49$ $Mg^{+2}--Na^+$, $r= 0.52$ $Na^+--HCO_3^-$, $r= 0.51$
 $CE--Cl^-$, $r= 0.46$ $Mg^{+2}--HCO_3^-$, $r= 0.62$ Na^+--Cl^- , $r= 0.59$
 $Mg^{+2}--Cl^-$, $r= 0.59$

	CE	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²
CE	1.00							
Ca ⁺²	0.04	1.00						
Mg ⁺²	0.39	0.19	1.00					
Na ⁺	0.49	-0.18	0.52	1.00				
K ⁺	0.01	0.04	0.10	-0.03	1.00			
HCO ₃ ⁻	0.36	0.01	0.62	0.51	-0.01	1.00		
Cl ⁻	0.46	0.09	0.59	0.59	0.22	0.33	1.00	
SO ₄ ⁻²	0.01	-0.04	0.13	0.25	-0.30	0.08	-0.38	1.00

Tableau 17: Matrice de corrélation des eaux souterraines. zahi2008

Nous remarquons que la salinité des eaux est particulièrement due aux chlorures et au sodium. Les eaux sont caractérisées par la présence de trois faciès : chloruré sodique, chloruré calcique et bicarbonaté sodique (figure 40).

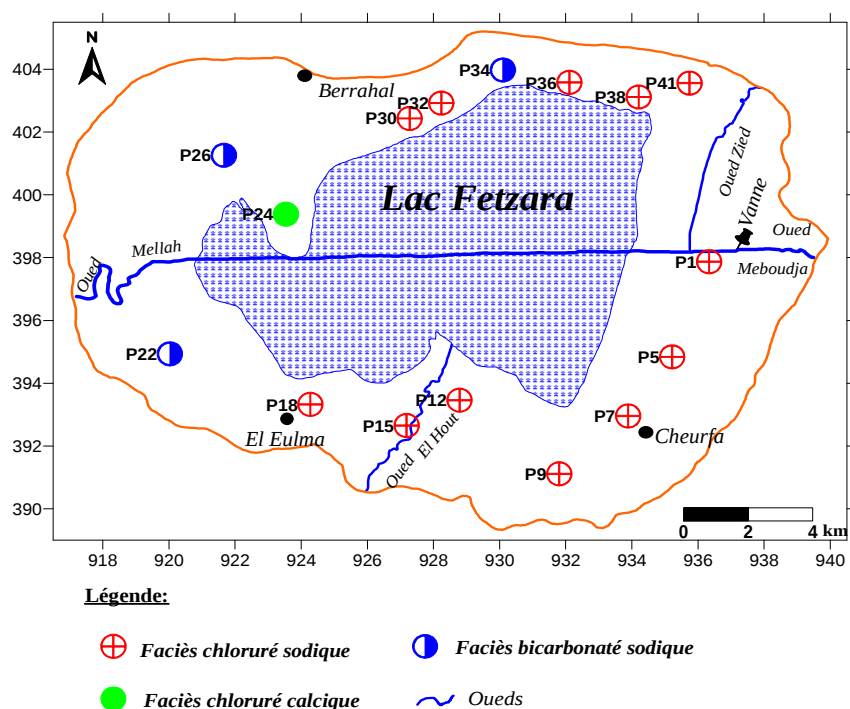


Figure 17 : Faciès chimiques des eaux souterraines (Mars 2007).zahi2008 ;in bolakoud

I.2. Les eaux de surface

Les analyses chimiques des eaux de surface (oued Mellah, Zied, El Hout et Meboudja) ont été effectuées sur 50 observations se rapportant à trois campagnes d'échantillonnages (Janvier, Mars et Mai 2007).

I.2.1. Eléments majeurs

1.2.1.1. Statistiques élémentaires

Les concentrations observées au niveau des eaux de surface (oued Meboudja, Zied, El Hout et Mellah) sont reportées dans le tableau ci-après (tableau 18).

Libellé de la variable	Effectif	Poids	Moy	Ecart-type	Min	Max
Q	35	35.00	0.28	0.37	0.002	1.232
CE	50	50.00	1474.40	775.83	258.00	3080.00
Ca ⁺²	50	50.00	82.22	26.96	22.40	131.20
Mg ⁺²	50	50.00	57.22	33.96	8.88	119.28
Na ⁺	50	50.00	294.83	132.64	20.70	494.50
HCO ₃ ⁻	50	50.00	238.54	32.70	123.22	291.58
Cl ⁻	50	50.00	454.83	243.08	71.00	880.40
SO ₄ ⁻²	50	50.00	121.23	66.31	24.00	299.04

Tableau 18 : Variations des concentrations des éléments majeurs des eaux de surface.Zahi2008

On remarque qu'au niveau des cations le sodium domine tandis que pour les anions il y a une compétition entre les chlorures et les bicarbonates, cette compétition serait liée à la période de prélèvement (Janvier, Mars et Mai 2007) caractérisant une période pluvieuse.

2.1.1.2. Matrice de corrélation

La matrice de corrélation (tableau 37) présente les différentes corrélations entre les variables prises deux à deux, elle nous permet de dégager les associations suivantes :

$$\begin{array}{ll} \text{CE} \text{---} \text{Ca}^{+2}, & r= 0.64 \\ \text{CE} \text{---} \text{Mg}^{+2}, & r= 0.64 \\ \text{Na}^{+} \text{---} \text{Cl}^{-}, & r= 0.89 \end{array} \quad \begin{array}{ll} \text{CE} \text{---} \text{Cl}^{-}, & r= 0.94 \\ \text{Ca}^{+2} \text{---} \text{SO}_4^{-2}, & r= 0.61 \end{array}$$

	CE	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²
CE	1.00						
Ca ⁺²	0.64	1.00					
Mg ⁺²	0.64	0.41	1.00				
Na ⁺	0.85	0.46	0.31	1.00			
K ⁺	0.22	0.07	-0.27	0.39	1.00		
Cl ⁻	0.94	0.51	0.57	0.89	0.28	1.00	
SO ₄ ⁻²	0.25	0.61	0.14	0.34	-0.18	0.15	1.00

Tableau 19: Matrice de corrélation des eaux de surface.

1.2.1.3. Observation du cercle ACP

Le cercle réalisé par les deux F1F2, montre selon l'axe horizontal F1 (52.32 % de la variance), une opposition entre les eaux fortement minéralisées (riches en chlorures, magnésium et sodium) et occupant la partie positive de l'axe F1 et s'opposent aux eaux faiblement minéralisées caractérisant la partie négative de l'axe F1 (figure 18).

Selon l'axe F2 (20.94 % de la variance) on observe une opposition entre le calcium (Ca⁺²) et les bicarbonatés (HCO₃⁻) (figure 18).

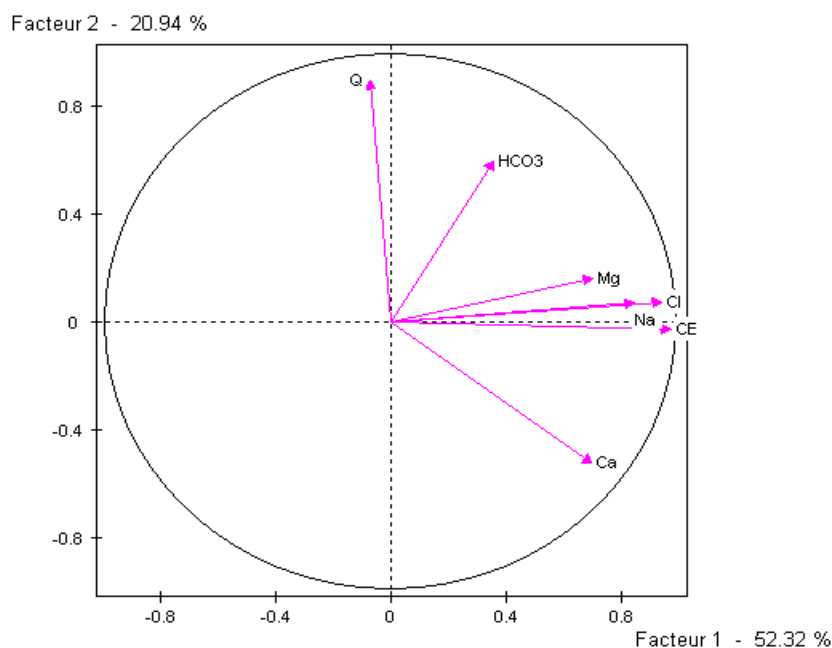


Figure 18 : Cercle ACP des eaux de surface (Eléments majeurs).

La carte ci-dessous (figure 18) montre que les eaux superficielles de la région du lac Fetzara sont caractérisées par la présence de deux faciès chimiques dominants, l'un chloruré sodique caractérise les eaux de oued Meboudja, oued Zied, oued El Hout et l'aval de oued Mellah (Mel4). L'autre bicarbonaté sodique caractérise les eaux d'oued Mellah. Ce faciès serait lié aux échanges de bases.

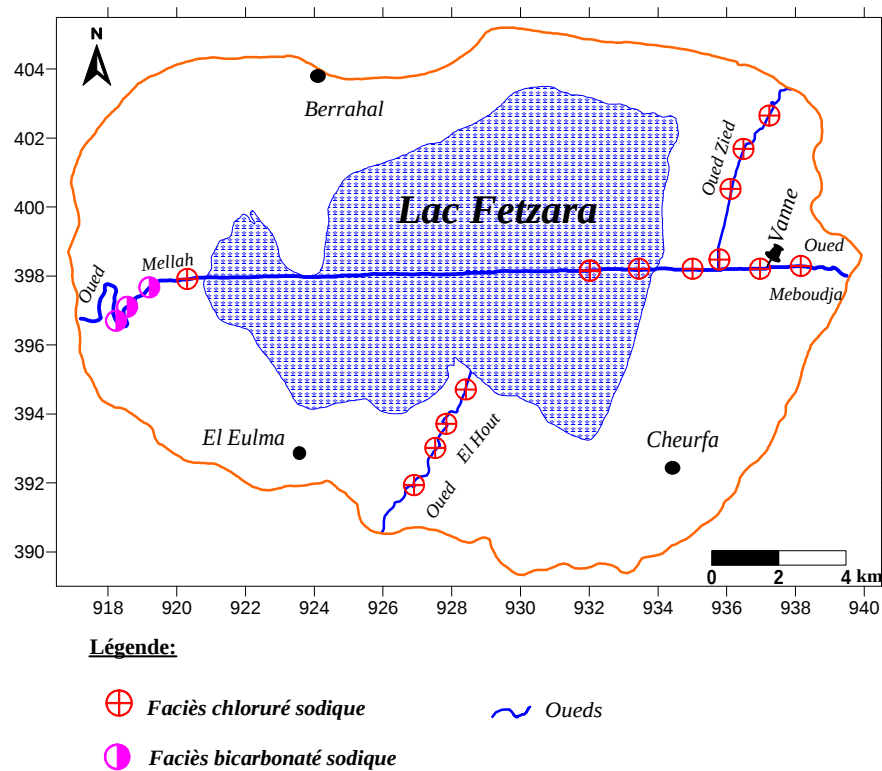


Figure 19 : Faciès chimiques des eaux de surface (Mars 2007 ;Zahi