



République algérienne démocratique et populaire

Ministre de l'enseignement supérieur et de la
recherche scientifique



UNIVERSITE ABBES LAGHROUR-KHENCHELA

Faculté des Science de la nature et de la vie

Département : Science de la nature et de la vie

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

Master

Filière : Master en professionnel

Option : PDESP

Thème

**Etat de la qualité des eaux souterraines de
L'aquifère alluvionnaire de Hammamet Tébessa**

Présenté par :

-Boudjidj Salwa
- Benamara Hanane

Encadre par :

-Chelih Fatha

Soutenu le : 14-06-2015

Jury de soutenance :

Président : Dali.Naouel

Encadreur : Chelih.Fatha

Examineurs : Ounnes.Meyada

Promotion : 2014-2015



Remerciement

Nous remercions Allah le tout puissant, qui nous a donné la foi, la force et la patience pour aller jusqu'au bout de ce travail.

Nous tenons à remercier “ Chelih Fatha “ pour avoir accepté de diriger notre travaux, pour son aide précieux, ses encouragements et pour ses conseils tout le long de ce travail.

Sans oublier tout nos autres professeurs pour leur entière disponibilité, leur aide inestimable et leurs conseils sans lesquels ce travail n'aurait pu aboutir. Nous espérons être dignes de la confiance qu'ils ont placée en nous.

Nous remercions également les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer et de juger ce modeste travail.

Nous tenons énormément à remercier notre amies et notre collègues pour leurs encouragements.

Pour terminer, nous tenons à remercier tous les membres de notre famille pour leurs soutiens et leurs encouragements.

Boudjidj.S ; Benamara.H.

Dédicace

Au nom du DIEU clément et miséricordieux et que le salut de DIEU soit Sur son prophète.

De ma part , et avec des grands sentiments et d'une joie immense que je dédie ce travail .

a' mes chers parents, qui sont a' l'origine de mon existence, que DIEU les protège , ils m'ont soutenu le long de l'élaboration de ce travail.

Ama très chère père mon modèle suivre qui m'a entouré d'amour et de tendresse et m'a appris la patience et le défit.

Amon très chère mère qui m'a encouragé et conseillé pendant mes plus Pénibles moments et qui m'a guidé vers le chemin droit.

A ma délicieuse petite sœur ROUMAÏSSA que je remercie pour ses prières.

Qui m'ont encoragé et conseillé pendant mes plus pénibles

Moments et a'

Tous les gens de

A mes sœurs : NASSIMA , ROUMAÏSSA sans oublier mon cousin, Abed Elghani qui ma beaucoup aidé Et toute ma famille.

Ames amies ZAHIA, SAMIA, KANZA ZOULIKHA, NAWEL, HANANE, AMINA, MALEK, Nadia, Yassmaina, Karima.

ET enfin, a tous mes collègues de la promotion PDESP.

ET surtout mes enseignants CHALIH. Fatha.

Boudjidj Salwa

Dédicace

Aux deux êtres qui sont les plus Cher, ceux qui ont fait que je sois ici aujourd'hui et grâceMa maman DJEMAA et mon papa LAICHE, vous qui m'avez élevé et éduqué...vous qui avez toujours été là pour moi et n'avez jamé cessé de croire en moi, aucun mot ni aucun langage ne pourrait exprimer ma profonde gratitude à votre égard

A mon très chères frères DJEMAL, ALHADI, ANAS, ABD ARAHMEN.

A mes sœur ZAHIA, DALEL Pour les moments de bonheur de joie et d'ont j'espère leur montrer le chemin.

Atout ma famille : mes tantes, oncles et cousins pour leur affection a la mémoire de mes grand -mère.

A tous mes amies et surtout mes intimes :SALWA,AKANZA ,YASSMINA ,NEWAL,NADIA qui ont beaucoup subi avec moi et qui m'ont tant support.

A mon professeur « » qui ma encadre tout au long de mon cycle d'étude et pour le quel je garde une grande admiration.

A tous mes camarades de la promotion 2015-2016 pour les quels je porte un grand respect.

Et surtout mon amie LINDA, qui m'a soutenu moralement.

Ben Amara Hanan .

Liste des figures

Fig.01	Situation géographique de la région d'étude.....	03
Fig.02	Hypsométrie de la région d'étude vue en 3D.....	04
Fig. 03	Colonne stratigraphique de a région de Hammamet.....	08
Fig.04	Esquisse tectonique des environs de Tébessa et Hammamet avec l'emplacement des directions des contraintes maximales.....	11
Fig. 05	Diagramme des précipitations moyennes mensuelles de la période(2000-2014)....	15
Fig.06	Diagramme des températures moyennes mensuelles de la période (2000-2014).....	16
Fig. 07	Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls de la région de « Tébessa » (2000-2014).....	17
Fig. 08	: Climagramme d'EMBERGER pour la région d'étude "Tébessa" (2000- 2014)....	18
Fig. 09	Principales caractéristiques d'une sonde de niveau d'eau.....	27
Fig. 10	Carte d'inventaire des points d'eau.....	28
Fig. 11	Carte piézométrique de Hautes eaux avril 2014.....	30
Fig. 12	Carte piézométrique de Basses eaux. Juillet 2014.....	31
Fig. 13	Carte piézométrique de fluctuation des eaux.....	33
Fig. 14	Carte piézométrique de fluctuation des eaux.....	38
Fig. 15	Diagramme de Schoëller- Berkaloff,Hammamet,Tebessa.....	40
Fig.16	Carte de PH.....	41
Fig.17	Carte de Température.....	42
Fig.18	Carte de Salinité	43
Fig.19	Carte de concentration de Calcium. En Mg /l.....	44
Fig.20	Carte des concentrations de Magnésium.....	45

Fig.21 Carte des concentrations de Sodium.....	46
Fig.22 Carte des concentrations Potassium.....	47
Fig.23 Carte des concentrations de Bicarbonates.....	48
Fig.24 Carte des concentrations de Chlorures.....	49
Fig.25 Carte des concentrations de Sulfates.....	50

Liste des Tableaux

Tableau.01	Les limites selon les coordonnées Lambert de la région d'étude.....	2
Tableau.02	Les limites selon les coordonnées Lambert de la région d'étude.....	13
Tableau .03	précipitations moyennes mensuelles durant la période 2000-2014 (O.N.M., 2015).	15
Tableau .04	Variation des températures moyennes mensuelles (2000-2014).....	16
Tableau .05	Variation des températures moyennes mensuelles (2000-2014).....	22

SOMMAIRE

Introduction générale.....	01
----------------------------	----

CHAPITRE I : Etude Géologique

1.Situatio géographique	02
2.Stratigraphie	05
2.1 Secondaire	05
2.1.1 Trias.....	05
2.1.2 Crétacé inférieur et moyen.....	05
2.1.2.1 Aptien.....	05
2.1.2.2 Albien.....	05
2.1.2.3 Vraconien.....	05
2.1.3 Crétacé supérieur.....	06
2.1.3.1 Cénomaniens.....	06
2.1.3.2 Turonien.....	06
2.1.3.3 Emscherien.....	06
2.1.3.4 Campanien.....	06
2.1.3.5 Maestrichtien.....	06
2.2 Tertiaire.....	06
2.2.1 Pleaènoge.....	06
2.2.2 Paléogène supérieur.....	07
2.2.2.1 Eocène.....	07
2.2.3 Néogène.....	07
2.2.3.1 Miocène.....	07
2.2.3.2 Pliocène.....	07
2.3 Quaternaire.....	07
3 Tectonique régionale.....	09

3.1 Les plissements.....	09
4. Conclusion.....	12

Chapitre II : Etude climatologique

1. Introduction	13
2. Les stations climatiques.....	13
3. Caractéristiques climatiques de la région.....	14
3.1. Les précipitations	14
3.2. La température	15
4. Diagramme pluviothermique station de Hammamet depuis 1989-2014.....	16
5. Indice d'Aridité de Martonne (1923)	17
6. Détermination des paramètres du bilan	18
6.1. Etude de l'évapotranspiration.....	19
6.2. Estimation des réserves facilement utilisables (RFU).....	20
6.3. Calcul du Ruissellement (R)	21
6.4 6.4. Calcul de L'infiltration « I ».....	21
7-BILAN HYDRIQUE DE 15ANS (1989 - 2014).....	22
8. Conclusion.....	23

Chapitre III: Etude Hydrogéologique

1 .Introduction	25
2 Piézométrie et hydrodynamique.....	26
2.1 Généralités.....	26
2.2 Inventaire des points d'eaux	27
2.3 la piézométrie.....	28

3 L'évolution spatiale de la piézométrie.....	28
3.1 La nappe en période de hautes eaux.....	28
3.2 La nappe en période de Basses eaux	31
3.3 Battement de la nappe.....	31
4 .Conclusion.....	33

Chapitre IV : Etude Hydrochimique

1. Introduction.....	34
2 Méthodologie de travail	34
2.1 Prélèvements	34
2.2 Mesures <i>in situ</i>	34
2.3 Analyses aux laboratoires	35
3 DESCRIPTION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES	35
3.1 Paramètres physiques	35
3.1.1 La température de l'eau	35
3.1.2 Potentiel d'Hydrogène (pH).....	35
3.1.3 La conductivité électrique (CE).....	35
3.1.4 Salinité.....	35
3.2 Les éléments majeurs.....	36
3.2.1 Le calcium (Ca ²⁺).....	36
3.2.2 Le magnésium (Mg ²⁺)	36
3.2.3 Le sodium (Na ⁺)	36
3.2.4Le potassium (K ⁺)	36

3.2.5 Les chlorures (Cl ⁻)	36
3.2.6 Les sulfates (SO ₄ ²⁻)	37
3 2.7 Bicarbonates HCO ₃	37
4 Représentation graphique des faciès hydrochimique.....	37
4.1 Diagramme de PIPER.....	37
4.2 Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF	39
5 Cartographie des principaux éléments chimiques.....	41
5.1 Paramètres physico-chimiques.....	41
5.1.1 Carte de PH.....	41
5.1.2 Carte de La température	41
5.1.3 Carte de salinité	42
5.2 Éléments majeurs (cations et anions).....	43
5.2.1 Calcium	43
5.2.2 Magnésium.....	44
5.2.3 Sodium.....	45
5.2.4 Potassium.....	46
5.2.5 Bicarbonate.....	47
5.2.6 Chlorures	48
5.2.7 Sulfates	49
6 .Conclusion.....	51
Conclusions générales.....	53
Annexe	
Référence bibliographique	

Introduction Générale

Les eaux souterraines représentent généralement une excellente source d'approvisionnement en eau potable. Le filtre naturel constitué par les matériaux géologiques produit le plus souvent une eau de grande qualité. Le maintien de cet avantage relatif requiert cependant que des mesures soient prises pour préserver de façon durable la qualité du réservoir naturel d'approvisionnement. Cette étude, nous allons présenter nos observations et interprétations des mesures de terrain, pour essayer de répondre à plusieurs questions, dont les principales sont les suivantes :

- Quelle est la nature du réservoir souterrain de la plaine de Hammamet ?
- Quel est le mode d'alimentation de ce réservoir et comment se fait-il ?
- Quel est l'état actuel de la qualité chimique des eaux souterraines de la plaine ?

L'étude se base sur l'identification et la caractérisation de la zone d'étude par des

Descriptions et analyses :

- Géologiques, litho-stratigraphique et structurale.
- Hydro climatologique (précipitations, enneigement et écoulement)
- Hydrogéologique : étude piézométrique de la nappe souterraine.
- Hydrochimique (qualité physico-chimique pour la détermination des corrélations Existantes entre les eaux et celle du champ captan).

Afin de cerner ces axes de recherches on a procédé comme suit :

- ✓ Le premier chapitre : représente la géologie de la zone d'étude décrivant la stratigraphie et la structure tectonique qu'a affectée la région d'étude.
- ✓ Le second, traite l'étude des différents paramètres hydroclimatiques.
- ✓ Le chapitre d'hydrogéologie : met en relief la piézométrie, les conditions aux limites et l'hydrodynamique des eaux souterraines de la nappe
- ✓ quatrième chapitre, a mis en évidence la qualité des eaux souterraines qui dépend d'une part la nature lithologique de l'aquifère et d'autre part des conditions climatiques qui règnent dans la région.
- ❖ A la fin de cette étude une conclusion générale renfermant les synthèses et les résultats aboutis lors de l'élaboration des différents chapitres.

1. Situation géographique

La région d'étude se situe à l'extrémité Nord-ouest de la W. de Tébessa, et elle appartient au domaine de l'Atlas Saharien Oriental, aux confins Algéro-Tunisiens, précisément, aux monts de Tébessa, qui constitue la partie orientale des monts de Nemmencha (Figure 1).

Notre étude couvre la zone de Tébessa - Hammamet (Youks les Bains), d'une superficie d'environ 420 km², dont les limites administratives peuvent être définies comme suit La région concernée par la présente étude est allongée sensiblement NO – SE, sur une longueur d'environ 11 Kilomètres et une largeur de 04.64 Kilomètre, étendue sur une surface d'environ 51.248 Kilomètre carré. Cette zone est limitée :

- Au Nord par Bir D'heb,
- À l'EST par Tebessa,
- Au SUD par Cheria,
- A l'Ouest par Bir Mokadem

Les limites géomorphologiques, on peut citer :

- Au Nord-Ouest : Dj.belkfif.
- Au Sud : Dj. Gaaga, DjBouzian, Dj. Mestiri, et Dj.Tazbent,
- À l'Est : Dj. Guenifida, Dj ezitouna,
- À l'Ouest : Dj. Troubia, Dj Essen.

Les limites selon les coordonnées Lambert kilométriques (d'après la carte topographique Youks-les-Bains, feuille N° 205) sont les suivantes (Tab.01) :

Tableau 01 : Les limites selon les coordonnées Lambert de la région d'étude.

Les coordonnées Lambert	X	Y
1	967.000	248.250
2	967.000	258.000
3	977.000	258.000
4	977.000	248.000

Aussi, la zone d'étude est comprise entre les coordonnées géographiques suivantes :

- ❖ Longitude E 007° 33 ' .
- ❖ Latitude N 35° 26' .

Du point de vue administratif, la commune de Hammamet appartient à la Daïra de Bir Mokkaïem, wilaya de Tébessa,

Le système karstique caractérisant cette région est drainé par un certain nombre de sources dont les plus importantes sont celles de Youkous et Gaagaa.

La source de Youkous ayant comme coordonnées Lambert :

$$X = 977.900 \text{ Km} \quad Y = 428.300 \text{ Km} \quad Z = 950.00 \text{ Km}$$

Et Gaaga :

$$X=970 \text{ Km} \quad Y=246 \text{ Km} \quad Z=1200 \text{ Km}$$

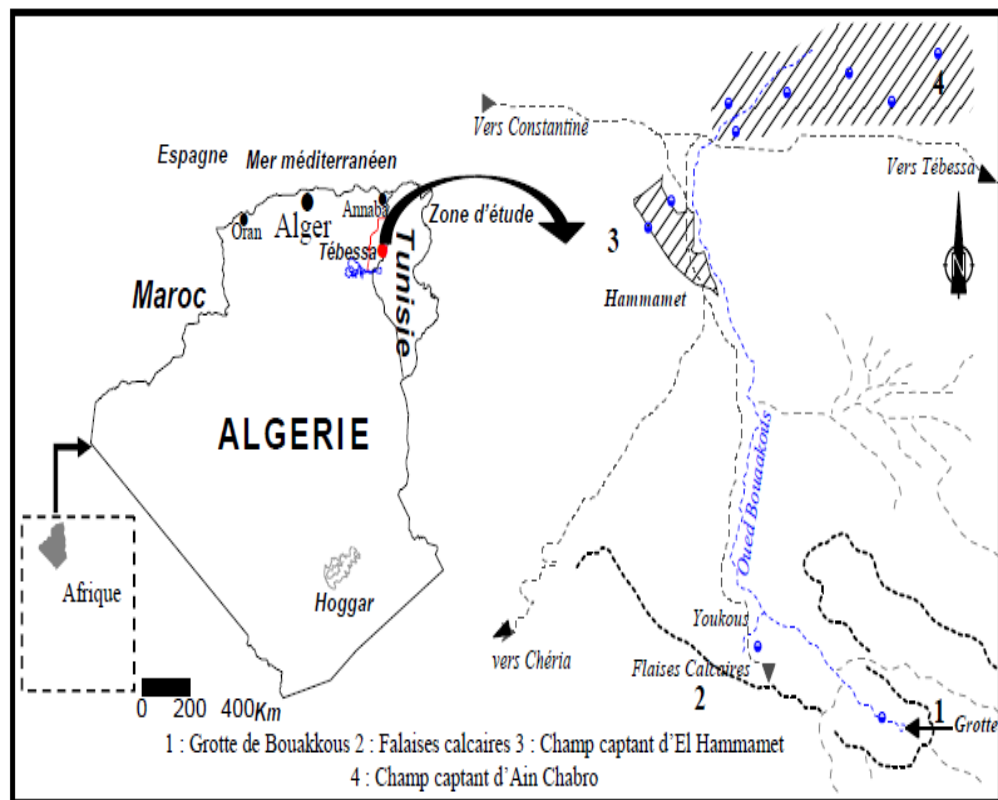


Fig 01 : Situation Géographique de la zone d'étude (DUROZOY ; 1956).

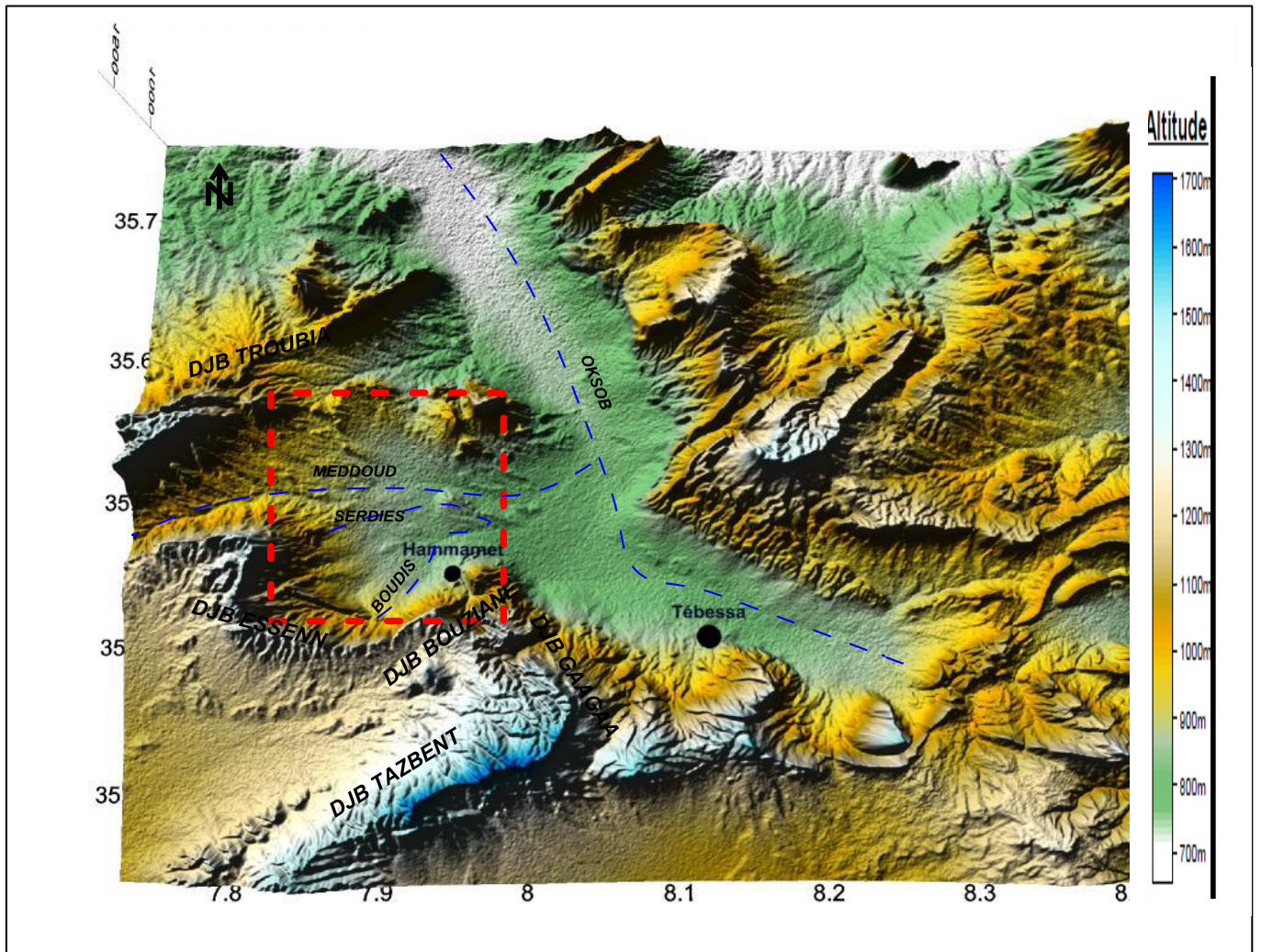


Fig. 02 : Hypsométrie de la région d'étude vue en 3D

2. Stratigraphie

L'enchaînement chronologique des formations de la région d'étude débute de bas en haut par :

Les affleurements sont essentiellement d'âge Crétacé à Plio-Quaternaire, par contre le Jurassique est quasi absent. (**DUROZOY ;1956**)

2.1 Secondaire

2.1.1 Trias

Les formations de cet étage n'affleurent pas dans la zone d'étude mais existent probablement dans la partie profonde de la région, cela est prouvé par l'inclinaison remarquable des calcaires du Turonien de Dj.Es.Senn ; qui sont probablement poussés du côté oriental par un diapir triasique.

Les roches gypseuses du Trias sont observables à la proximité Sud de Dj.Belkif et Bouhalala. Ce Trias est caractérisé par la présence d'argiles rouges, de gypse fragmenté en gros cristaux avec des lentilles de calcaires et dolomies.

2.1.2 Crétacé inférieur et moyen

2.1.2.1 Aptien

Il est formé par des bancs de calcaires à *Orbitolines*, souvent bréchiques à ciment dolomitique ou calcitique.

Dans la partie méridionale du Dj.Belkif, ces calcaires sont englobés dans le Trias diapirique, avec une épaisseur qui dépasse 100m.

2.1.2.2 Albien

Il affleure près du Dj.Bouroumane, où il est formé par des calcaires bruns en bancs épais. L'épaisseur est de 90m. Ces assises forment une grande partie des pentes moyennes du versant Ouest de Bouroumane.

Cet étage n'a pas été trouvé dans la zone d'étude, peut-être à cause du diapirisme accentué lors de cette période. Pourtant, selon un article récent de (**J.M.Vila ;2001**), il existe près de Dj.Belkif.

2.1.2.3 Vraconien

Il est bien développé dans la zone de Bouroumane, Hameimat, et existe probablement en profondeur dans le fossé de Hammamet

Cet étage est caractérisé par un ensemble de calcaires et marno-calcaires grisâtres en plaquettes, renfermant des empreintes d'*Ammonites*.

2.1.3 Crétacé supérieur

2.1.3.1 Cénomaniens

Il affleure dans la partie Nord-Ouest du fossé de Hammamet, à l'Est de Dj.Es.Senn. Ce sont des marnes bleu violacées à intercalations de lumachelles.

Elles sont connues aussi au Sud de Dj.Belkif dans l'anticlinal de Hameimat et dans la zone orientale du Dj.Ozmor (Tella).

2.1.3.2 Turonien

Il se subdivise en deux parties, Turonien inférieur et Turonien supérieur.

- La base du Turonien inférieur se présente par des marno-calcaires grisâtre dont l'épaisseur est de l'ordre de 60m.
- Le sommet du Turonien inférieur est représenté par des calcaires beiges qui font les falaises du Dj.Es.Senn, Belkif, Kef Daheche, Dj.Tella (chaîne d'Ozmor).
- Le Turonien supérieur se présente en marnes grises, d'une épaisseur d'environ 150m.

2.1.3.3 Emscherien : (Santonien et Coniacien)

C'est une série épaisse et monotone de marnes grises ou vertes, admettant à la partie supérieure des niveaux de calcaires lumachelliques avec une épaisseur de 250m.

2.1.3.4 Campanien

Le Campanien inférieur et supérieur est caractérisé par une série de marnes grises ayant une épaisseur de 200m. Par contre, le Campanien moyen présente dans le relief une nouvelle corniche entre celle du Turonien et du Maestrichtien. Il passe sensiblement aux formations marneuses qui font le passage entre Campanien supérieur et le Maestrichtien inférieur.

2.1.3.5 Maestrichtien

Le Maestrichtien inférieur est représenté par 30m de marnes grises qui sont souvent masquées par des éboulis au pied des reliefs.

Le Maestrichtien supérieur est une formation puissante de calcaires massifs blancs bien lités renfermant

de nombreuses empreintes d'*Inocerames*. Leur épaisseur est de l'ordre de 80 à 100m, mais atteint 200m au Sud-Ouest de Youkous (Hammamet).

2.2 Tertiaire

2.2.1 Pleaènege (Dano-Montien et Thanetien)

Il se caractérise par une formation marneuse couverte au sommet par des marno-calcaires renfermant plusieurs couches phosphatées avec une épaisseur de 10 à 15m .

2.2.2 Paléogène supérieur

2.2.2.1 Eocène

Il est caractérisé par des formations calcaires très épaisses à rognons de silex et boules de lumachelles. Il affleure dans la partie Nord-Ouest (Gourigueur) et au Sud-est de Hammamet (Tazbent). De l'autre côté du fossé de Tébessa, s'apparaît au Dj.Dyr-Gastel.

2.2.3 Néogène

2.2.3.1 Miocène

Il n'affleure pas dans la région d'étude de Hammamet et ses environs les plus proches.

2.2.3.2 Pliocène

Il est composé par des argiles et conglomérats, il affleure près de Dj.Belkif, et dans la partie orientale du fossé de Morsott, ainsi que dans la partie orientale du fossé de Hammamet au Sud de l'embranchement de la route vers Bir D'Heb.

2.3 Quaternaire

Dans notre secteur d'étude il est représenté par le remplissage du fossé de Hammamet, il occupe une surface très importante principalement sur les plaines et aux pieds des montagnes. Il s'agit :

1. Villafranchien supérieur : (Pléistocène inférieur)

Se caractérise par des galets.

2. Pléistocène moyen :

Représenté par des argiles sableuses.

3. Pléistocène supérieur :

Formé par des galets et des graviers.

4. Holocène :

Composé essentiellement par des matériaux alluviaux visibles dans la vallée de Youakous.

5. Eboulis actuels :

Ils existent aux piémonts des reliefs calcaires avec un épandage important. Ces dépôts sont en majeure partie déposés sur les séries marneuses du Crétacé supérieur.

(voir la Figure 3).

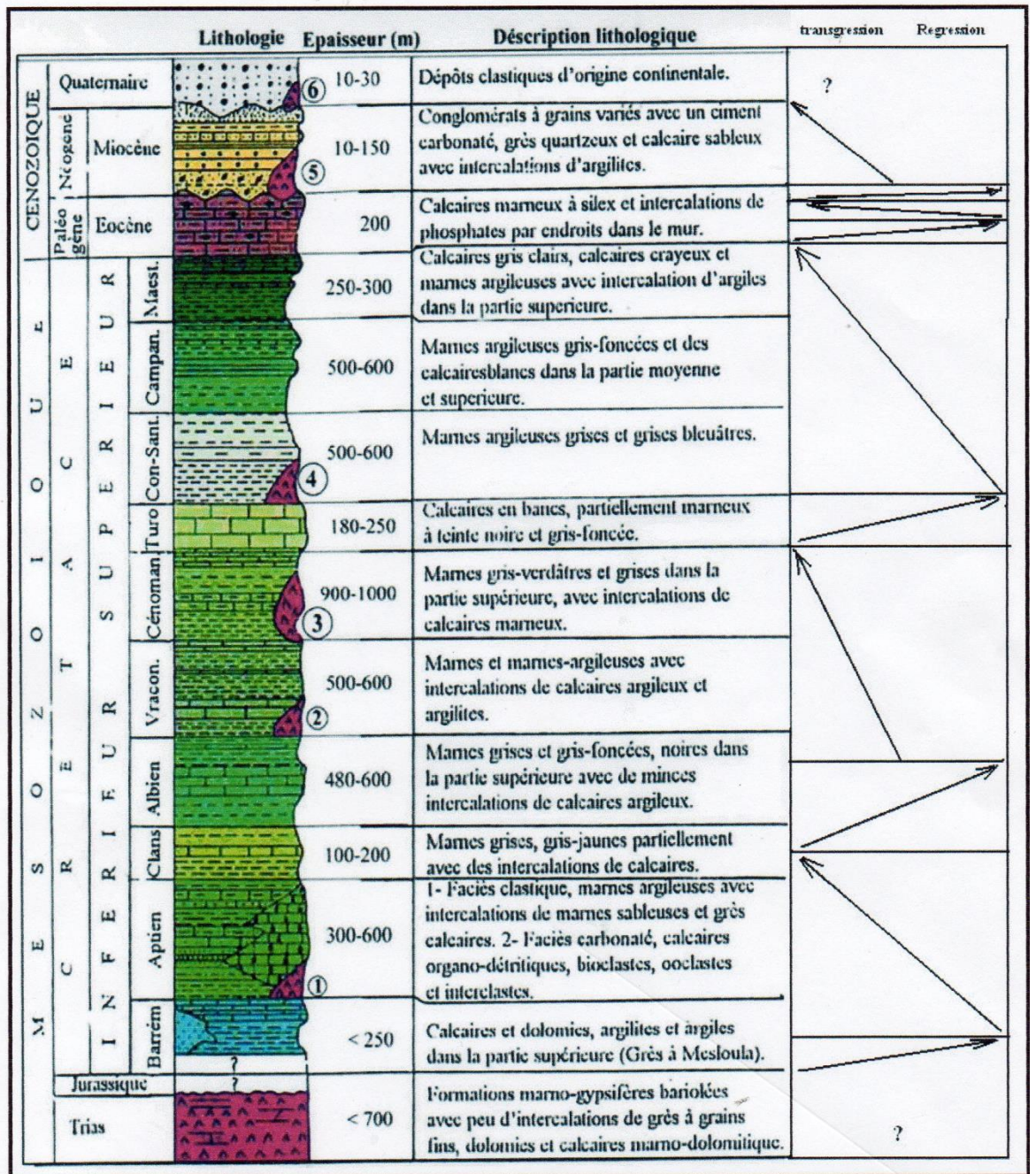


Fig . 03 : Colonne stratigraphique de a région de (Hammamet.Benmansour 2010).

3. Tectonique régionale

Les différents types de déformations qui affectent la région de l'Atlas Saharien sont très nombreuses et de diverses orientations, l'étude tectonique des déformations sédimentaires de Youkous consiste à donner un aperçu sur les différentes phases tectoniques et pour chacune de ces phases déterminer les conditions de déformations. (DUROZOY ; 1956).

3.1 Les plissements

Dans le cadre régional, l'Atlas Saharien appartient à l'avant pays autochtone des confins Algéro-Tunisiens, définie par (J.M.Vila ;1980). Il a subi des plissements importants qui ont affecté les assises crétacées, donnant une série d'anticlinaux et de synclinaux.

Il comporte d'Est en Ouest les monts des Aurès et de Nemmemcha, les monts de Tébessa (confins Algéro-Tunisiens) composés par les monts de Morsott et de Mellégue. La structure de l'Atlas Saharien a été fortement influencée par trois phases tectoniques importantes :

- La première phase est la phase fini-lutétienne « Atlasique » qui a donné des plissements de direction NE-SW et est responsable de la formation des anticlinaux de Gaâga Es-Senn, et du synclinal de Tazbent qui se prolonge vers le Nord-Est derrière le fossé de Tébessa par le synclinal de Dj.Dyr-Gastel.

Au cours du Miocène, on n'observe pas de plissements, mais il existe deux phases de plissements post-miocènes, affectant la région de Tébessa et Hammamet :

- La phase du Pliocène inférieur avec une contrainte maximale N 0°-20°E, responsable de la formation de l'anticlinal de Bled Tebega, du synclinal de Draâ Snouber et de l'anticlinal de Bir Salem.
- La composante senestre de cette contrainte provoqua l'effondrement du fossé de Morsott (orienté NNW-SSE).
- La phase du Plio-Quaternaire est responsable de la formation des structures plissées plus récentes que le fossé de Morsott. Il s'agit de l'anticlinal du Dj.Belkif (orienté NNW-SSE). La continuité décrochée de l'anticlinal de Dj.Belkif vers SSE et l'anticlinal de Dj.Annba-Stah accompagnée vers l'Ouest par le synclinal de Mestiri.

Ces prolongements de Dj.Belkif sont décrochés vers le SW d'environ 2-3Km par le couloir de décrochement de Hammamet qui est à l'origine de fossé de Hammamet. Donc, la zone d'Annba-Stah-Mestiri constitue la partie Sud de fossé de Morsott, décroché au contact avec fossé de Tébessa, d'une autre direction tectonique.

Le couloir de décrochements **dextre** lié avec le déplacement des blocs selon la direction WSW-ENE, a donné comme effet des plissements bien localisés à la limite occidentale du fossé de Morsott décroché ; précisément sur Dj.Belkif et Dj.Annba-Mestiri-Stah.

- ❖ La composante dextre de la contrainte maximale N80°E, est responsable de l'effondrement du fossé de Tébessa (orienté ESE-WNW).

D'autre part, la composante sénestre de la contrainte maximale est responsable de la formation du fossé de Hammamet, ce fossé s'abaisse dans la partie centrale de l'anticlinal fini-lutétien d'Es-Senn Hammamet, Hameimet. (Voir Fig 4)

Il a déjà été mentionné que la composante sénestre de la contrainte maximale du Plio-Quaternaire est responsable de la formation du fossé de Hammamet qui est allongé NE-SW et limité de part et d'autre par des failles à jeu normal dominant, correspondant à une famille d'accidents de direction NE-SW.

Le substratum de ce fossé est constitué par un système de horsts et grabens orientés SW-NE.

Les fracturations affectant les couches Maestrichtiennes sont des diaclases, qui se répartissent clairement selon deux directions, la première N 110° recoupée par la deuxième direction N 20°.

A proximité de ces fractures, se manifeste une zone de broyage « *Mylonitique* » remplie par des cristaux de calcite recristallisée et des fragments de calcaire ; cette zone, liée aux plis orientés NE-SW, est provoquée par la phase Atlasique.

A la base du Maestrichtien supérieur, se manifestent des stries subhorizontales portées sur des plans de décrochements sénestres ; l'orientation de ce décrochement indique la contrainte maximale N-S.

Il ressort que la vallée de Bouakous est le résultat d'un grand couloir de décrochement sénestre développé à l'extrémité Nord du plateau de Chéria, suivant une direction NW-SE à l'origine d'une faille de direction N 135° d'âge Pliocène inférieur.

Le pendage des couches s'effectue vers le Sud, du fait du plongement périclinal d'anticlinal vers le Sud-Ouest.

Deux directions de stylolithes ont été trouvées ; la première à N 118° (NW-SE), ce qui correspond à la contrainte maximale de la phase du Pliocène inférieur, observée par Kowalski et Boufaâ en 1996 dans la zone Bled Tébaga.

L'autre direction, entre 25-40°E, correspond plutôt à la contrainte maximale de la phase fini-lutétienne, liée à la phase atlasique de plissement régional.

Concernant les décrochements, on observe deux directions principales (NW-SE) :

- Décrochement de direction N160°, N150°.
- Décrochement de direction N130°, N120°.

Ils correspondent à la contrainte maximale 140° de la plaine de la phase fini-lutétienne.

Trois failles affectent la région de Gaâga, sans changement de direction des couches. Ces failles ont des directions qui peuvent être liées à la phase atlasique. **VILA J.M (1980)**:

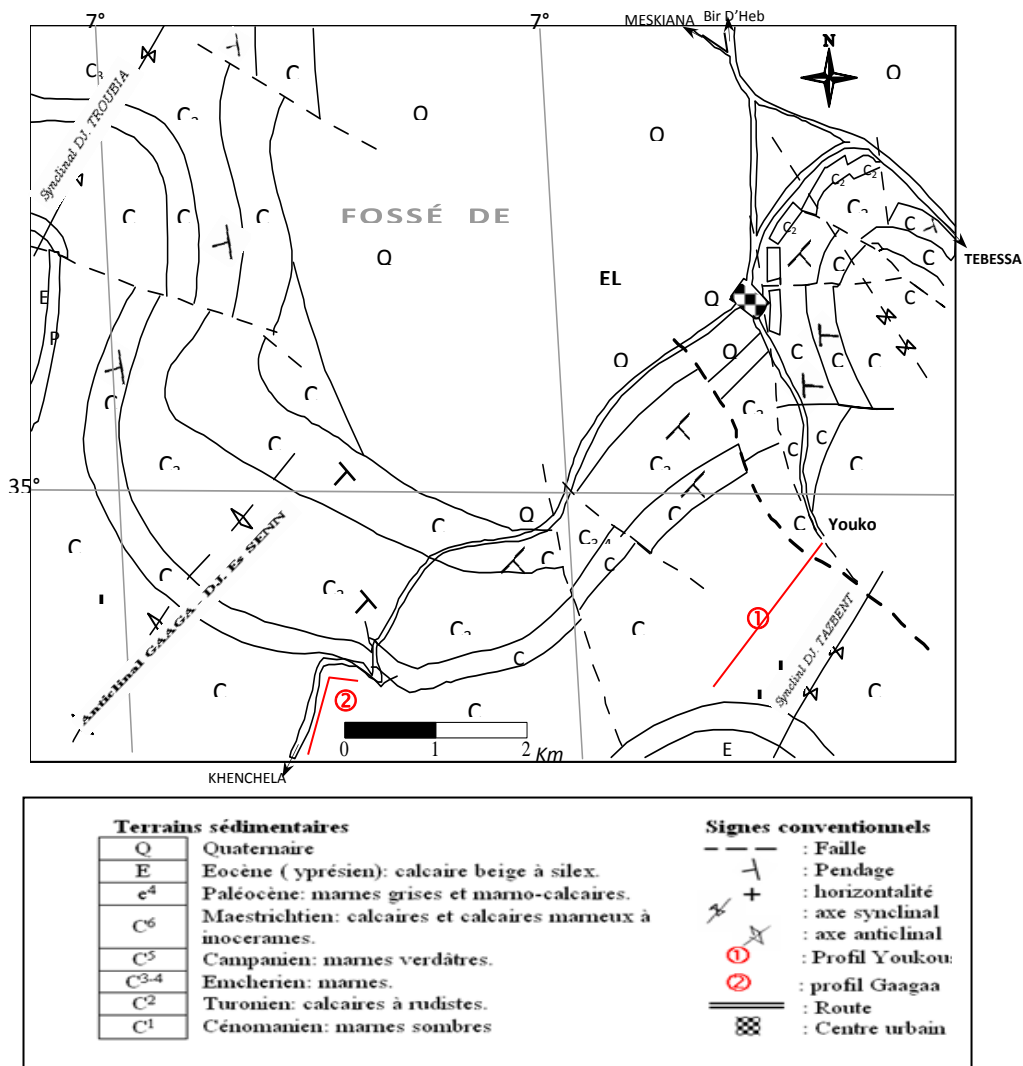


Fig .04 : Esquisse tectonique des environs de Tébessa et Hammamet avec l'emplacement des directions des contraintes maximales (d’après Mer W M Kowalski.Hammamet 2000

4 Conclusion

La nature géologique des affleurements et la structure tectonique qui a affecté la zone d'étude ont certainement favorisé la constitution des nappes aquifères. Les formations susceptibles d'être aquifères sont :

- Le remplissage alluvionnaire a facies caillouteux, graveleux et argileux.
- Les calcaires d'âge Turonien.
- Les calcaires d'âge Maestrichtien.

1. Introduction

Il est évident que le chimisme des eaux souterraines dépend, principalement, de la composition lithologique des couches traversées et du temps de séjour des eaux. Cette interaction influe sur la teneur des éléments majeurs (Ca_2^+ , Mg_2^+ , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- ). Les concentrations de ces éléments naturels sont conditionnées par divers facteurs tels que les paramètres climatiques, l'activité anthropique, les échanges entre aquifères et les eaux de surface. Les activités anthropiques ont une influence non négligeable sur la qualité physicochimique des eaux souterraines. On observe principalement deux types d'influence:

- En agriculture : apports de (K^+ , Ca_2^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} , NH_4^+ et HCO_3^-).
- Rejets des eaux usées : apports de (Na^+ , K^+ , NO_3^- , Cl^-) et quelques métaux lourds. Le présent chapitre traite du chimisme des eaux souterraines, et nous permettra d'essayer tentons d'expliquer le comportement, l'origine et l'évolution des éléments chimiques décrits pour expliquer le fonctionnement hydraulique du système aquifère. L'étude se base principalement sur les informations d'une campagne de prélèvement de 14 points d'eau, répartis sur le terrain. Comme la plaine de Hammamet est à vocation agricole, un intérêt particulier sera accordé à cet effet.

2. Méthodologie de travail

2.1 Prélèvements

Une campagne de mesure hydrochimique a été réalisée le 20 février 2015, durant cette campagne les prélèvements sont effectués par pompage à partir des points d'eaux échantillonnés, dans un premier temps, la pompe extrait l'eau préexistante dans le puits ou forage, puis pompe véritablement l'eau de l'aquifère, à l'aide d'une sonde multiparamètres, on mesure les caractéristiques physique de chaque échantillon prélevé (température, PH, conductivité), par la suite on procède au flaconnage destiné aux fins de compléter l'analyse hydrochimique au laboratoire,

2.2 Mesures in situ

Trois paramètres physico-chimiques (température, pH, conductivité, salinité) sont mesurés in situ, immédiatement après le prélèvement de l'échantillon à l'aide d'un appareil multi paramètres.

2.3 Analyses aux laboratoires

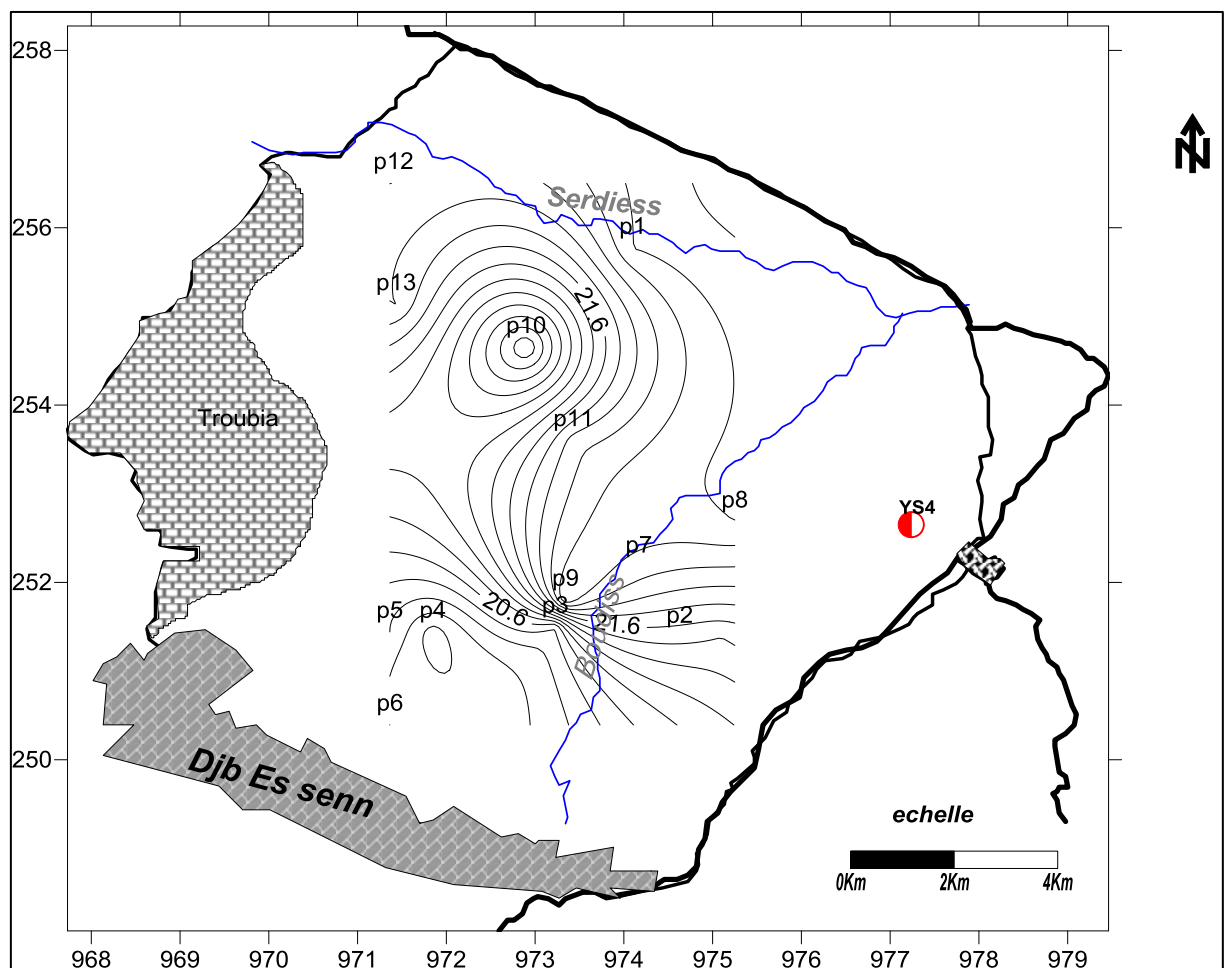
On a procédé à une analyse complète de tous les éléments majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} et HCO_3^-). Tous les éléments ont été mesurés par un spectrophotomètre au laboratoire de institue de science de la terre de Constantine.

3. Description des paramètres physico-chimiques

3.1 Paramètres physiques

3.1.1 La température de l'eau

C'est un paramètre important pour l'étude des eaux souterraines, car elle permet de distinguer les eaux qui circulent près de la surface et les eaux profondes. Elle joue un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique, bactérienne, et de l'évaporation des eaux. Notons qu'elle est influencée par la période de prélèvement (matin et soir) et la profondeur de l'aquifère. (Seghir ;2008).



Les cartes établies (Fig. 17) montrent que la température des eaux souterraines (puits), Les températures des eaux souterraines sont inférieures à la norme de potabilité 25 °C, la source en eau présentent des températures presque similaires, les eaux souterraines sont moins influencées par les conditions extérieures : la température de la nappe superficielle dans les (P1,P8,P9) 20,6°C. et dans les (P4) 19,7 °C.

3.1.2 Potentiel d'Hydrogène (pH)

C'est un paramètre physique qui détermine l'acidité ou l'alcalinité. Les mesures du pH montrent que tous les puits se trouvent dans l'intervalle de norme de potabilité. (GOUAIDIA ;2008).

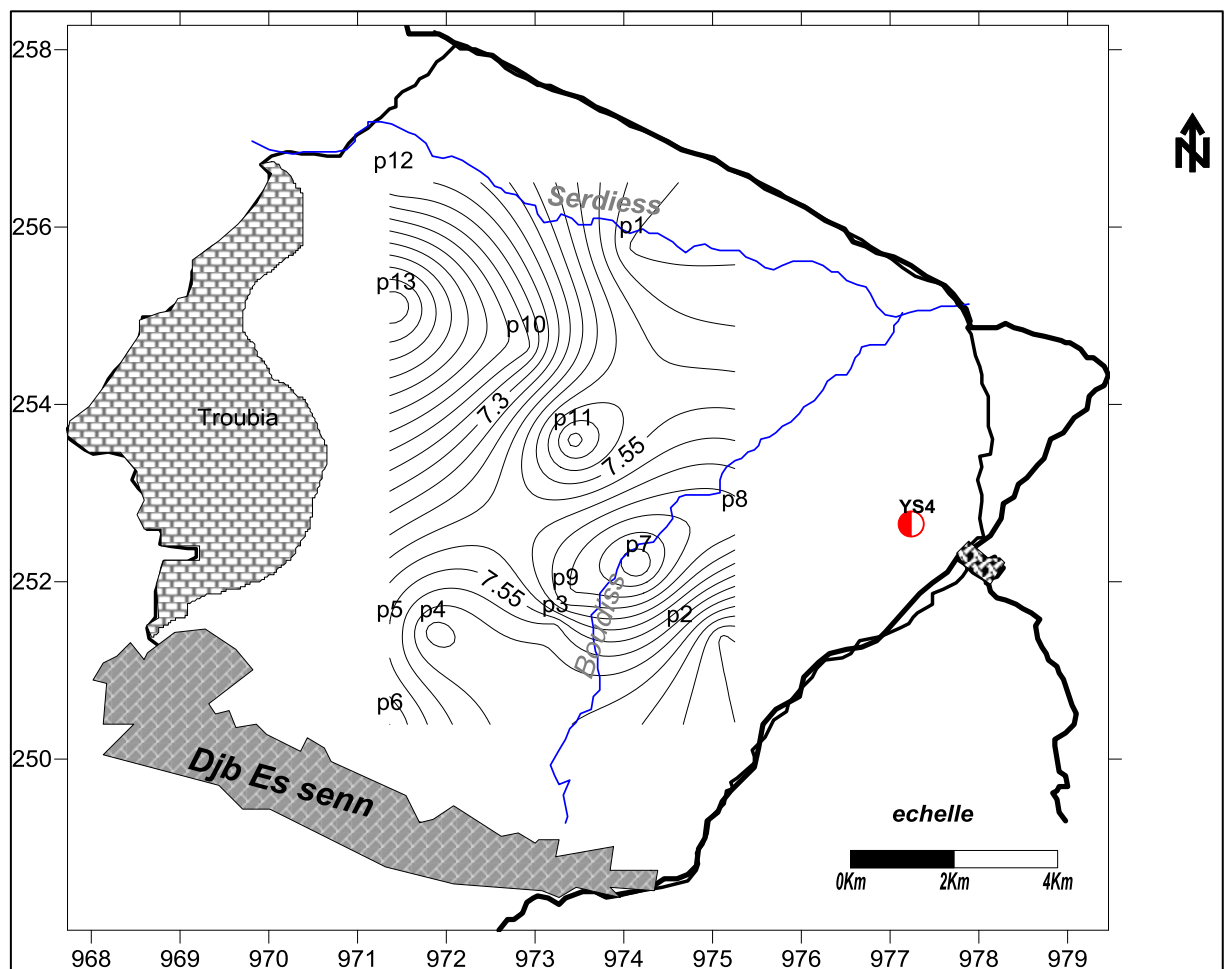


Fig.16 : Carte de PH.

Les cartes établies (Fig. 16) montrent que le pH des eaux souterraines (puits,) P11 et P4 fort de l'ordre de 7, 73 et P14 faible de l'ordre de 6,3, ce qui peut s'expliquer par l'effet des infiltrations d'eau à partir de l'oued, puisque les eaux d'infiltration, bien oxygénées, font changer le pH des

eaux au niveau de la nappe ; cette oxygénation est due au contact direct avec l'air ou à une eau bien aérée.

3.1.4 Salinité

un paramètre directement lié à la minéralisation des eaux. Pour la salinité, (FEHDI ;2006).

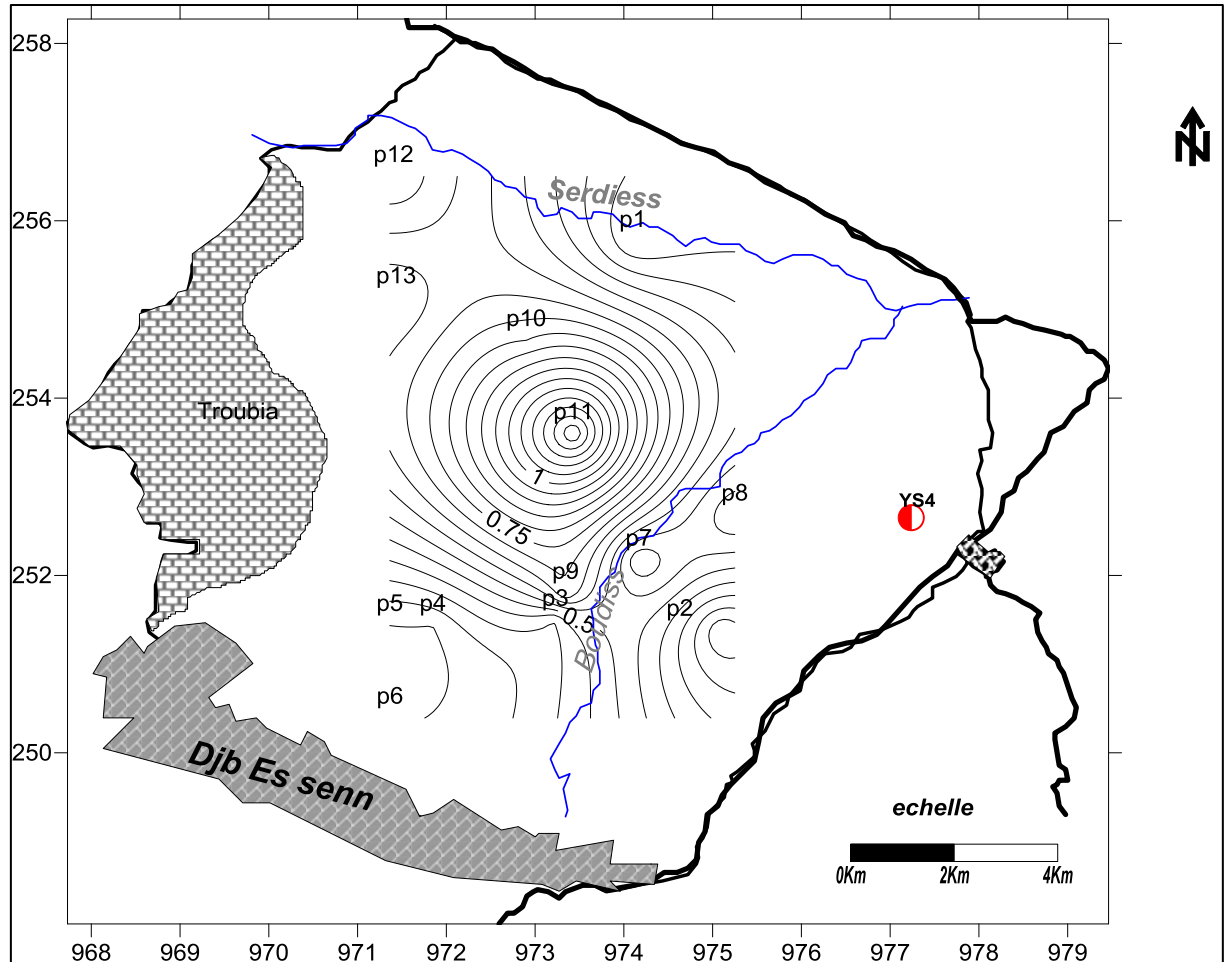


Fig.18 : Carte de Salinité.

. La région de Hammamet présente des valeurs de salinité faibles dans les puis (P14,P4,P5,P6) Cela peut s'expliquer par l'effet des eaux douces provenant des bordures sud ouest de la région. La salinité exprime le contenu en sels d'une eau. Il est bien corrélé à la, salinité, et à la minéralisation. L'analyse des cartes établies enregistre en revanche des valeurs faibles dans la partie ouest de la région (Hammamet), ce qui peut s'expliquer par l'effet de la dilution des eaux de la nappe par les eaux d'alimentation provenant des bordures sud ouest. et les fortes valeurs enregistrés au centre de la zone d'étude au niveau du (P11), les Marnes du Plio-Quaternaire sont à l'origine de ces fortes teneurs.

3.2.2 Le magnésium (Mg_2^+)

Les ions (Mg_2^+) proviennent, comme les ions calcium, de la dissolution des formations carbonatées riches en magnésium (dolomite). (MARSILY ;2004).

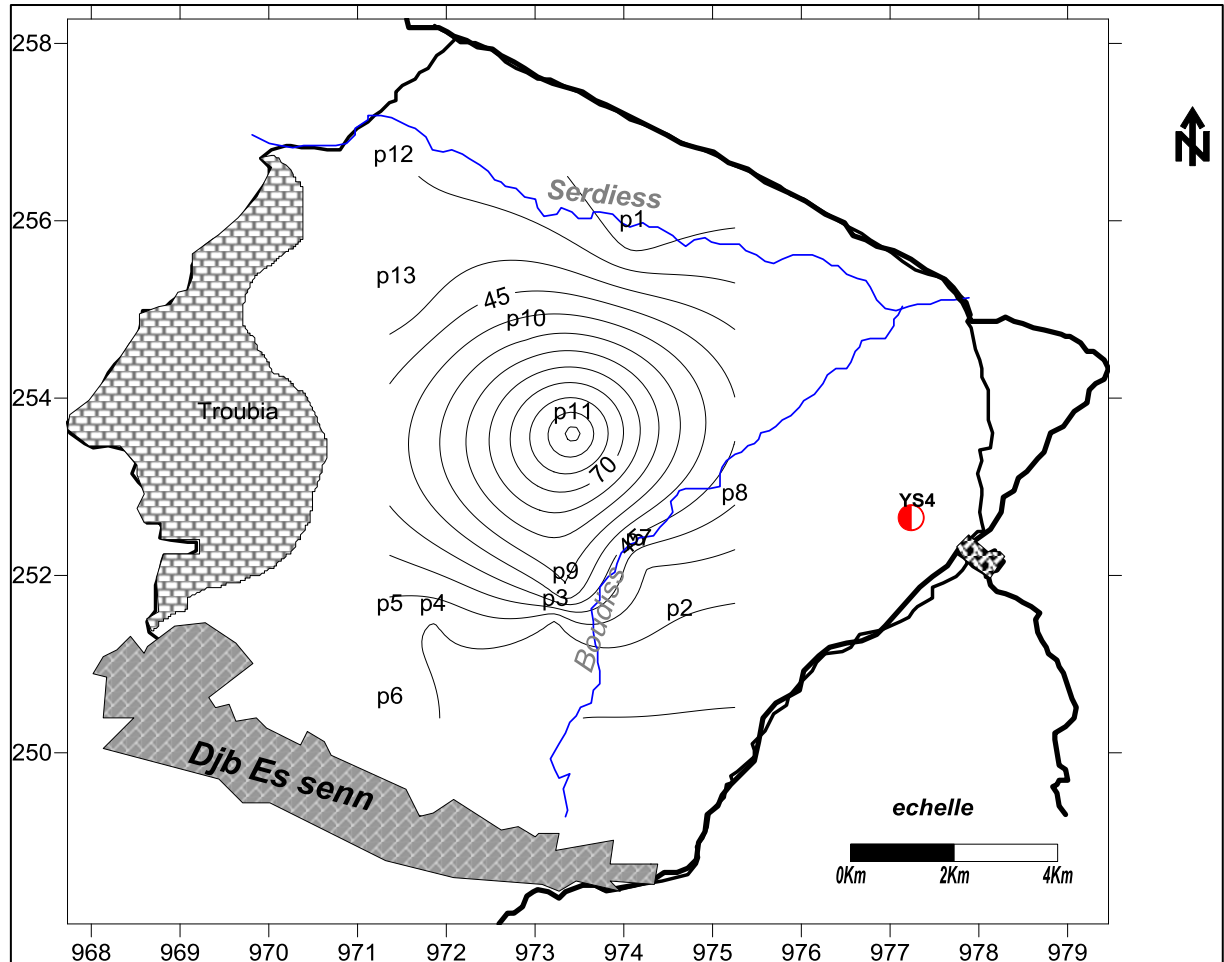


Fig.20: Carte des concentrations de Magnésium.

La carte établie (Fig.20) montre dans la zone de Hammamet, les concentrations de magnésium sont très fortes au niveau des puits (P11, P14), Cela démontre aussi que l'alimentation de la nappe se fait par les bordures calcaireuses et dolomitiques Par contre près de la commune de Hammamet, les concentrations de magnésium sont très faibles dans les puits (P1, P2).

3.2.3 Le sodium (Na^+)

Le cation sodium (Na^+) est très abondant sur la terre. On le retrouve dans les roches cristallines et les roches sédimentaires (sables, argiles, évaporites). La roche Halite (évaporite $NaCl$) est le sel de cuisine. Il est très soluble dans l'eau. Le sodium est par contre généralement peu présent dans les roches carbonatées.. (FEHDI ; 2006).

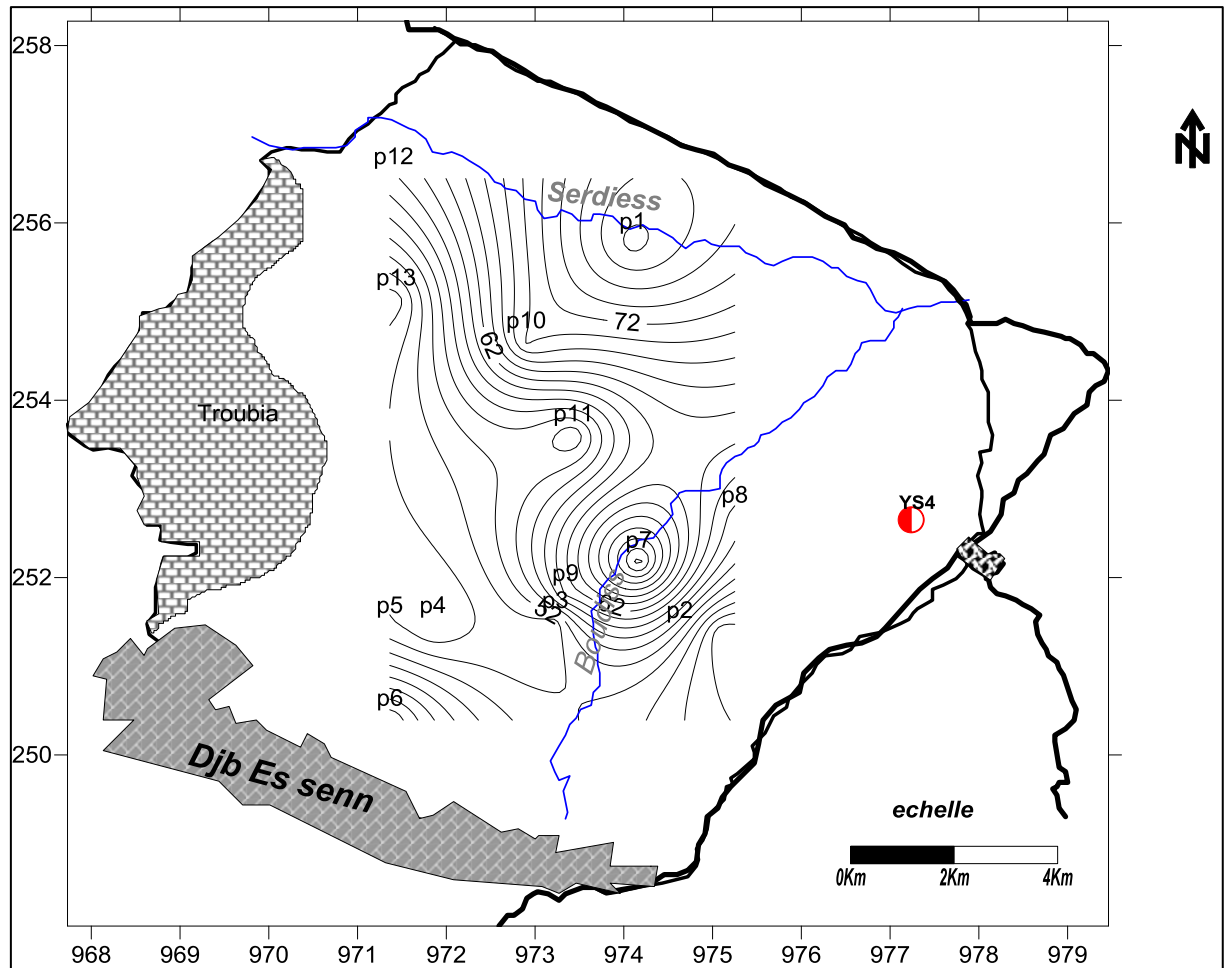


Fig.21 : Carte des concentrations de Sodium.

La variation spatiale de cet élément est représentée dans la (Fig.21), l'examen de cette carte montre que les plus grandes concentrations se localisent dans le secteur Est et au centre de la région d'étude surtout au niveau des points d'eau (P2, P11, P9, P12, P7). ce dernier qui marque la plus forte concentration 110 mg/l ,Au sud et à l'est de la zone d'étude les teneurs de Na^+ diminuent pour atteindre un minimum de 42.3mg/l au niveau du point d'eau(P2).ces fortes valeurs sont en rapport direct avec la présence des terrains argileux dans la plaine de Hammamet d'âge plio -quaternaire. .

3.2.4 Le potassium (K^+)

Le potassium résulte de l'altération des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK) qui sont utilisés massivement par les agriculteurs. La présence de cet élément peut être également liée au déversement des eaux usées domestiques dans la plaine. (MARSILY ;2004).

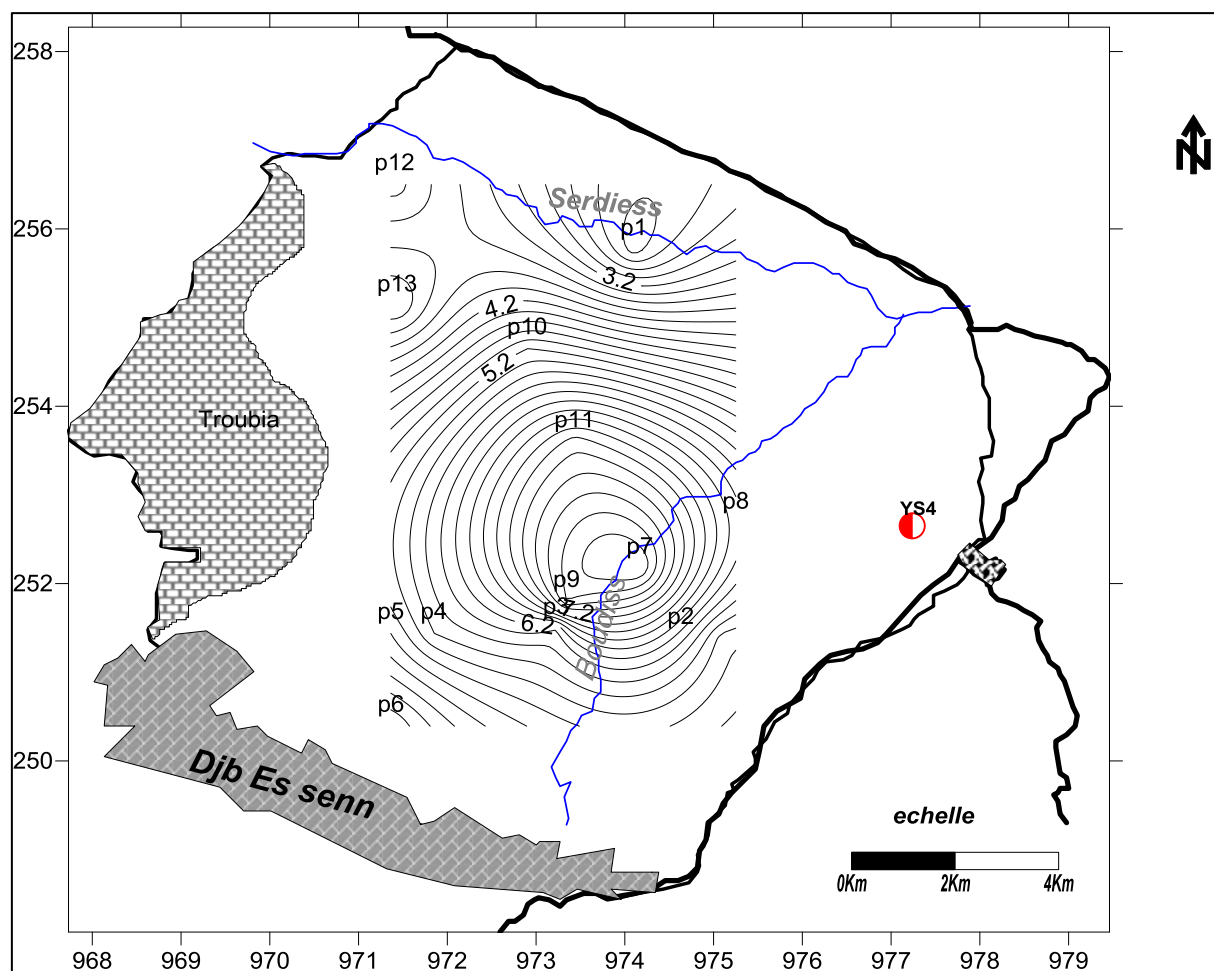


Fig.22 : Carte des concentrations Potassium.

On remarque que les plus grandes valeurs sont enregistrées au niveau des points d'eau situés au centre et au nord de la région d'étude (P7, P9, P16, P13), avec une teneur maximale égale à 10,2 mg/l. à cause des formations du plio- quaternaire.

3.2.5 Les chlorures (Cl⁻)

L'ion Cl⁻ est présent en petite quantité sur la terre. La source principale de chlorure dans les eaux est due à la dissolution des roches sédimentaires qui se sont déposées en milieu marin et qui n'ont pas été complètement lessivées, et à la présence d'évaporites. L'invasion d'eau de mer (où le Cl⁻ est très présent), ainsi que les phénomènes d'évaporation dans les bassins endoréiques sont également des sources de chlorures possibles.

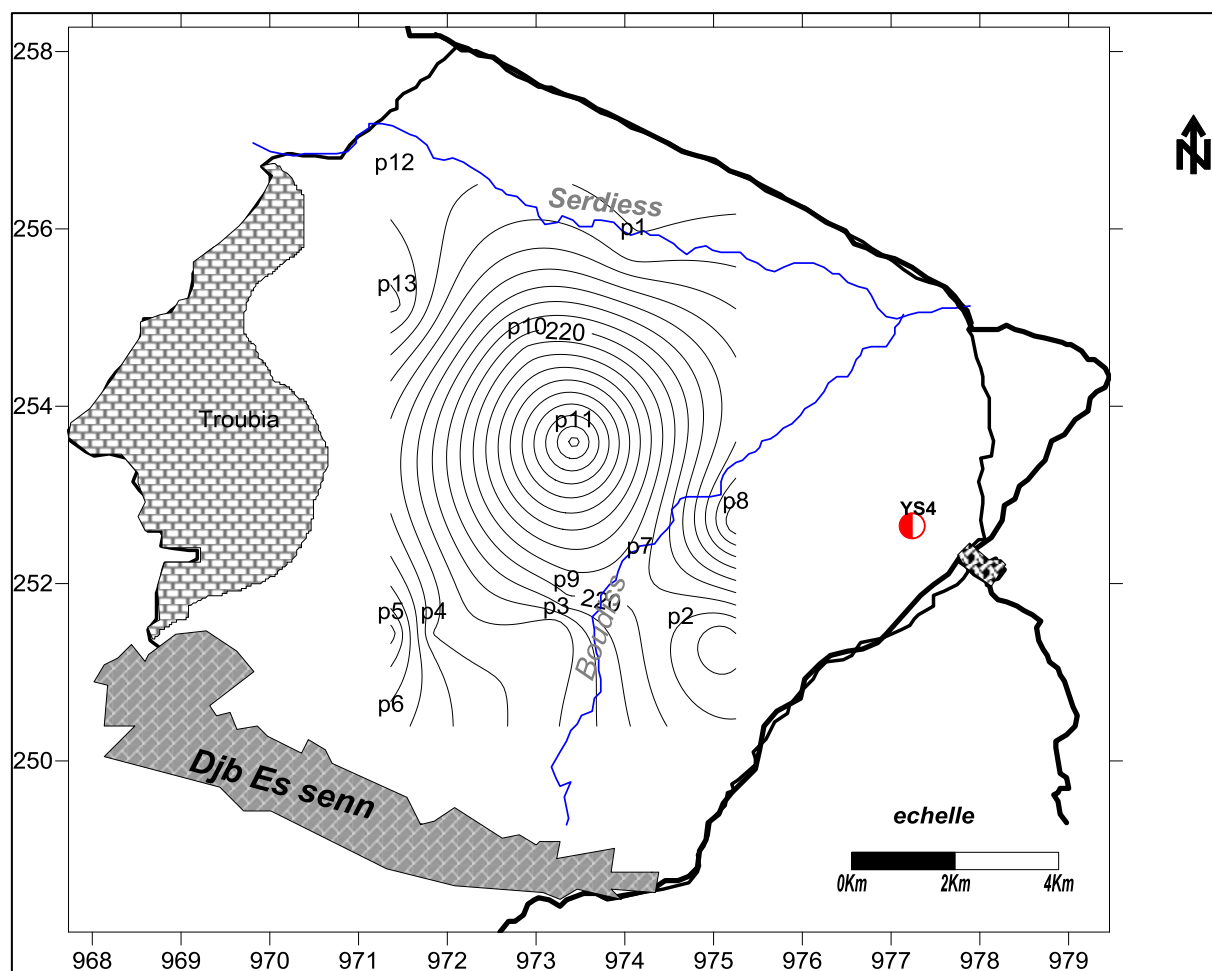


Fig.24 ; Carte des concentrations de Chlorures.

La carte établie (Fig.24) montre aussi la dominance des chlorures dans zone de Hammamet les concentrations atteignent 409,9 mg/l au maximum, les argiles du quaternaire sont à l'origine de ces teneurs. La disposition de ces formations à la surface du sol favorise leur lessivage.

3.2.6 Les sulfates (SO_4^{2-})

Les origines des sulfates dans les eaux sont variées. Les origines naturelles sont l'eau de pluie (évaporation d'eau de mer: $1 < c < 20$ mg/l), et la mise en solution de roches sédimentaires évaporitiques, notamment le gypse (CaSO_4), mais également de la pyrite (FeS) et plus rarement de roches magmatiques (galène, blende, pyrite). Les origines anthropiques sont la combustion de charbon et de pétrole qui entraîne une production importante de sulfures (qu'on retrouve dans les pluies), et l'utilisation d'engrais chimique et de lessive. (Seghir ; 2008).

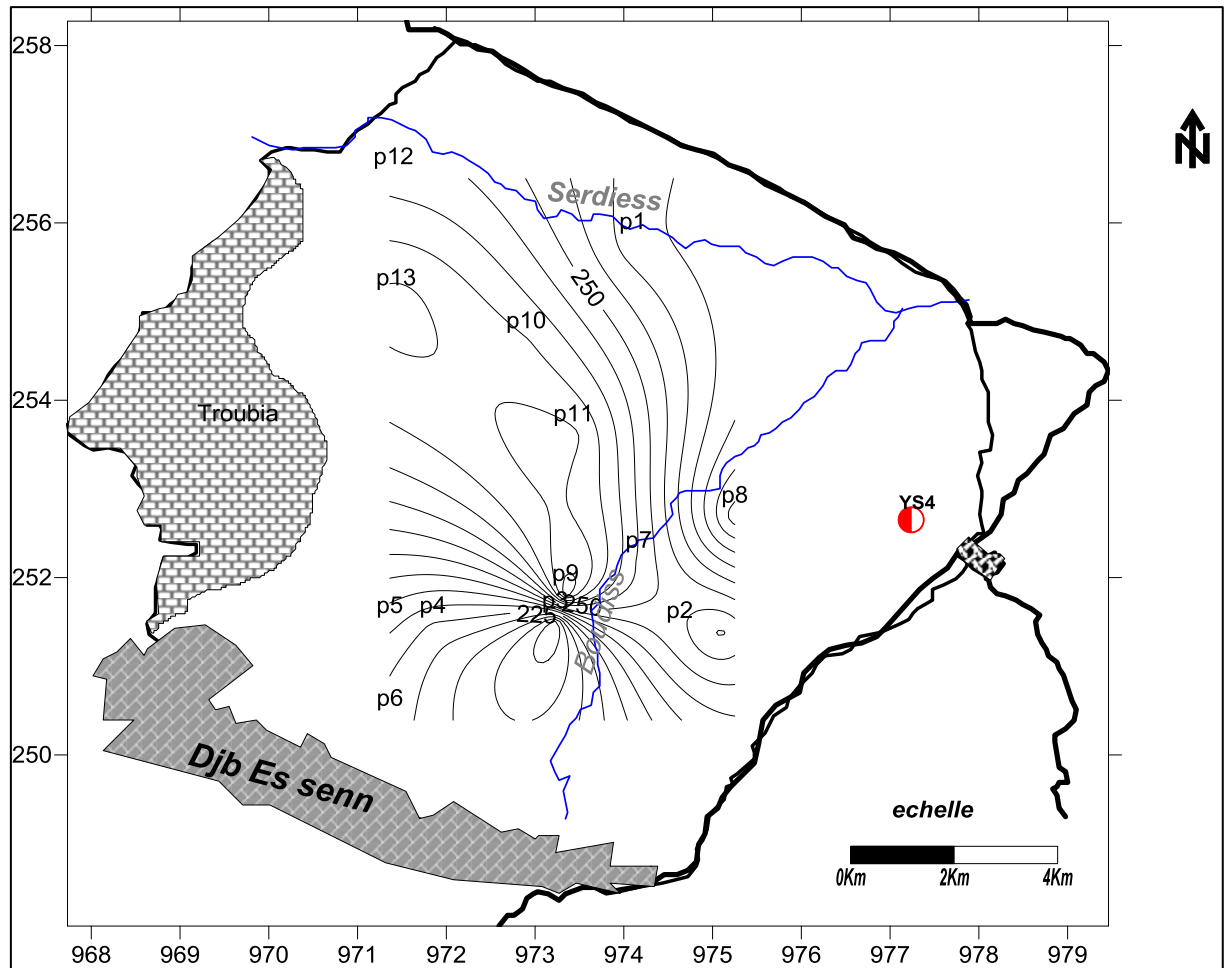


Fig.25 : Carte des concentrations de Sulfates.

La carte des sulfates: (Fig.25) le lessivage des formations marneuses et argileuses. On note la présence des teneurs importantes à Hammamet et qui avoisinent de 78,2 mg/l. Celles-ci sont dues au lessivage des formations marneuses à Hammamet.

2.7 Bicarbonates HCO_3^-

L'alcalinité correspond à l'ensemble des anions d'acides faibles susceptibles d'agir avec H^+ . Dans la pratique et pour des systèmes dominés par les relations des carbonates dont le pH varie de 7 à 9, l'alcalinité peut être assimilée aux bicarbonates HCO_3^- . Leur origine principale est la dissolution des roches carbonatées (Chelih ;2012).

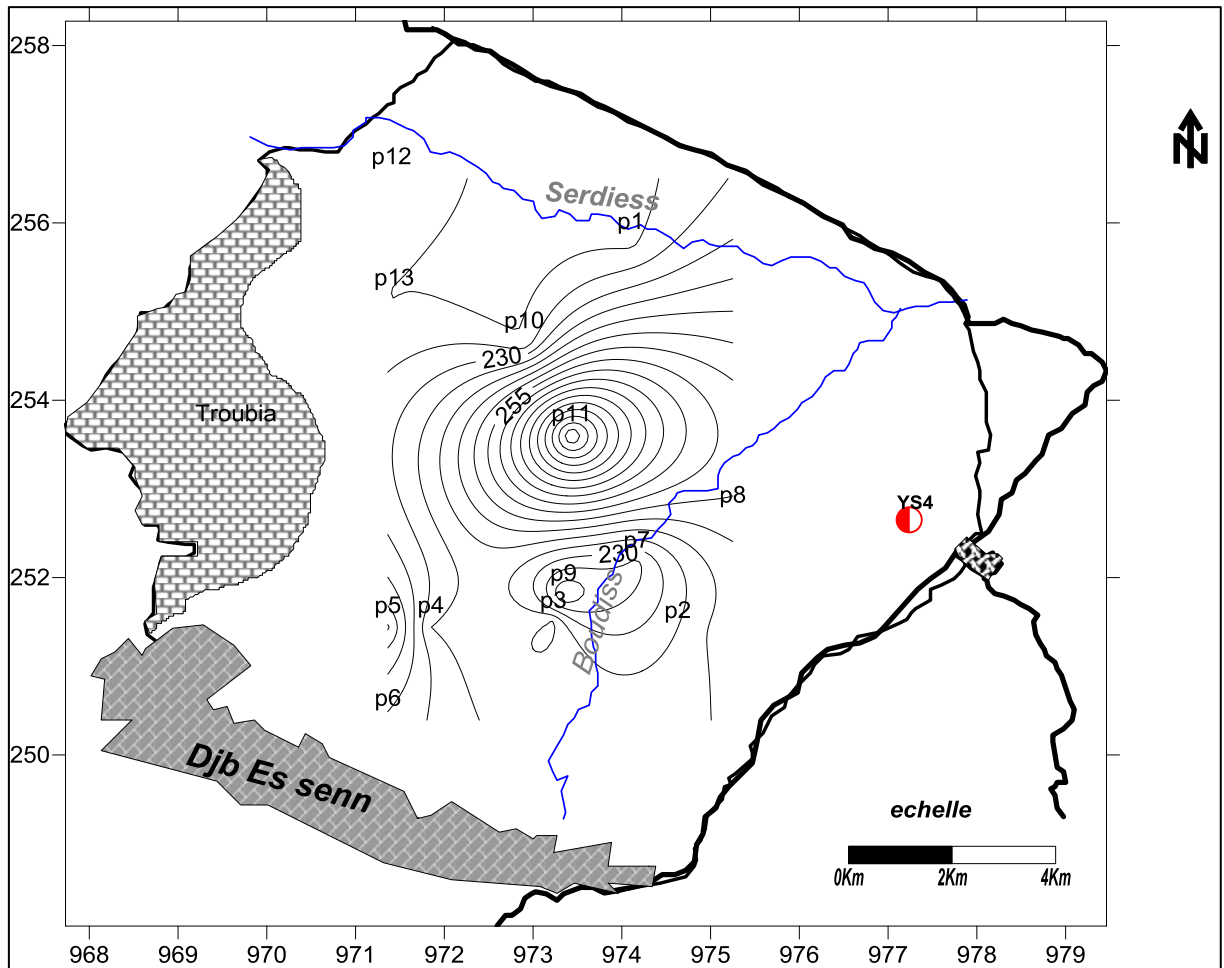


Fig.23: Carte des concentrations de Bicarbonates.

La carte de bicarbonates (Fig.23): montre que des valeurs importantes apparaissent à la bordure méridionale. Celles-ci sont dues à l'alimentation qui se fait par les bordures. Les concentrations sont relativement fortes. Quelques valeurs importantes apparaissent sur la bordure Ouest de Djib Troubia . Les teneurs décroissent dans le sens des écoulements des eaux souterraines.

4. Représentation graphique des faciès hydrochimique

Dans le but de bien identifier les faciès hydrochimiques et d'avoir une indication sur l'aspect qualitatif des eaux souterraines, la représentation graphique des résultats d'analyses s'avère un outil inévitable. Pour atteindre cet objectif, on a eu recours au diagramme de Piper et à celui de Schoeller-Berkaloff. La réalisation de ces diagrammes a été faite en utilisant le logiciel **Diagrammes**, (GOUAIDIA ;2006).

4.1 Diagramme de PIPER

Ce type de diagramme permet de représenter plusieurs échantillons d'eau simultanément. Il est composé de deux triangles, permettant de représenter le faciès cationique et le faciès anionique, et d'un losange synthétisant le faciès global. Les nuages de points concentrés dans un pôle représentent pour les différents échantillons la combinaison des éléments cationiques et anioniques. Le diagramme de Piper est particulièrement adapté à l'étude de l'évolution des faciès des eaux lorsque la minéralisation augmente, ou bien pour comparer des groupes d'échantillons entre eux et indiquer les types de cations et anions dominants. (Eric ;1995). L'interprétation des résultats d'analyses hydrochimique d'observation a permis d'avoir une idée sur les faciès chimiques des eaux souterraines de la nappe alluviale de Hammamet Tébessa et leur évolution dans le temps, ainsi que sur les conditions naturelles à l'origine de ces faciès.

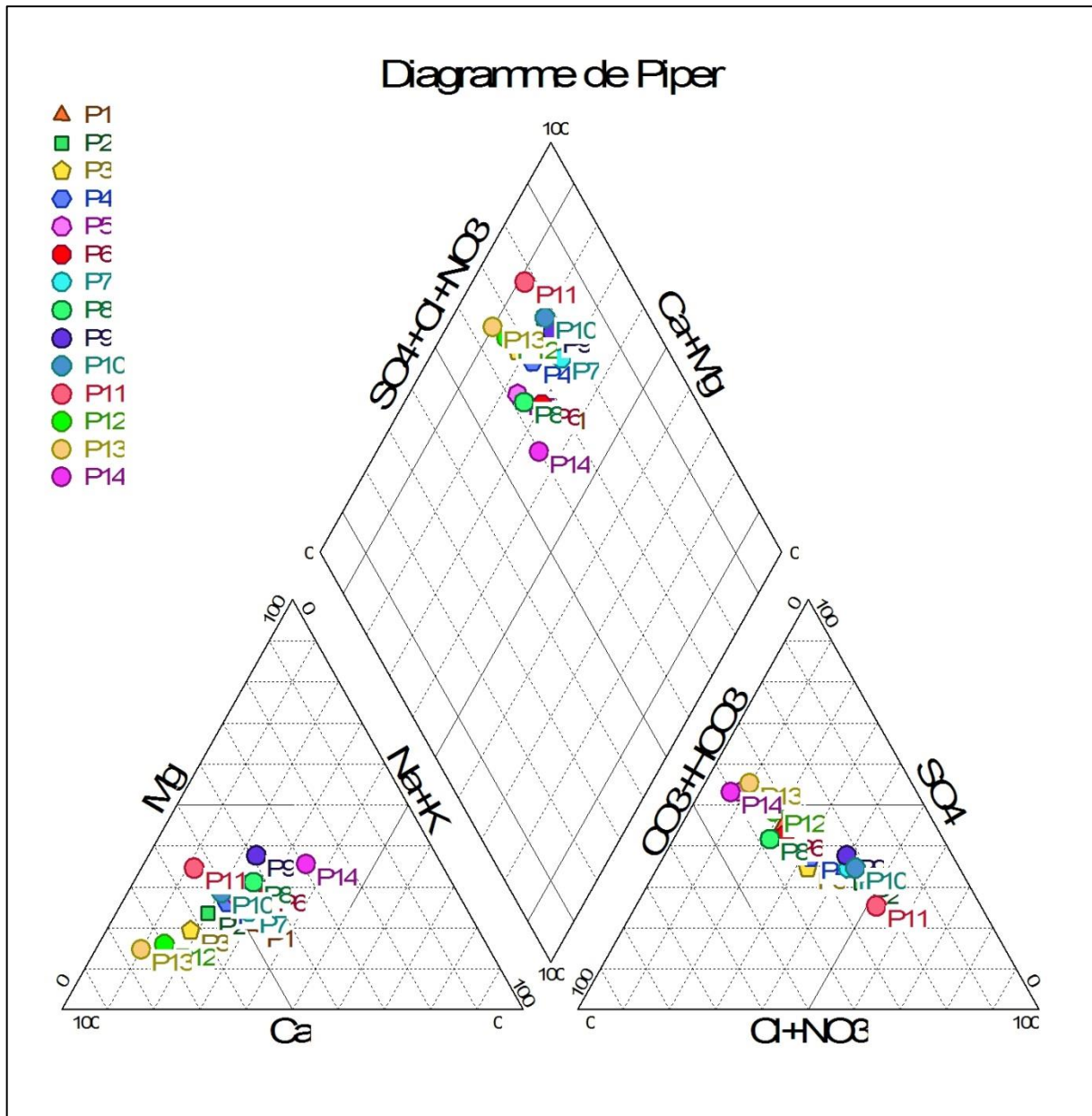


Fig. 14: Diagramme de Piper Hammett .Tébessa

L'interprétation des résultats d'analyses hydrochimiques pour la période d'observation permis d'avoir une idée sur les faciès chimiques des eaux souterraines de l'aquifère de Hammamet W.Tebessa.

Dans le diagramme des anions, on distingue que les points d'eau forment pratiquement un grande groupe,

pas d'anion dominants, seul (P5, P13, P14) sont proche du pole Sulfatée Dans le deuxième triangle de diagramme des cations, on distingue tous les points d'eau prélevés proche du pole à dominance de Calcium, au niveau des points d'eau (P3,P12,P13).

La répartition spatiale de ces faciès chimiques dépend à la nature lithologique de l'aquifère et des conditions de recharge. En effet, l'abondance des formations.

Mais en générale on peut classer nos eaux dans la famille des eaux Chloruré et sulfaté calcique et magnésienne. . (**FEHDI ;2006**).

4.2 Diagramme de Schoeller-Berkaloff

Le diagramme de Schoëller- Berkaloff permet de représenter le faciès chimique de plusieurs échantillons d'eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée. La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique. La ligne brisée est formée en reliant tous les points qui représentent les différents éléments chimiques.

Un groupe d'eau de minéralisation variable mais dont les proportions sont les mêmes pour les éléments dissous, donnera une famille de lignes brisées parallèles entre elles. Lorsque les lignes se croisent, un changement de faciès chimique est mis en évidence. (**GOUAIDIA ;2006**).

Le diagramme trace les éléments de chaque prélèvement, confirme la dominance du faciès Chloruré Calcique et magnésienne, permettant de dire que la minéralisation des eaux est liée aux ions Ca^{2+} , Cl, SO_4 et Mg. Secondairement, on observe aussi de Chloruré et sulfaté calcique et magnésienne. Un certain parallélisme entre les lignes représentant la majorité des éléments majeurs a été observés, ce qui s'explique par une même évolution du chimisme.

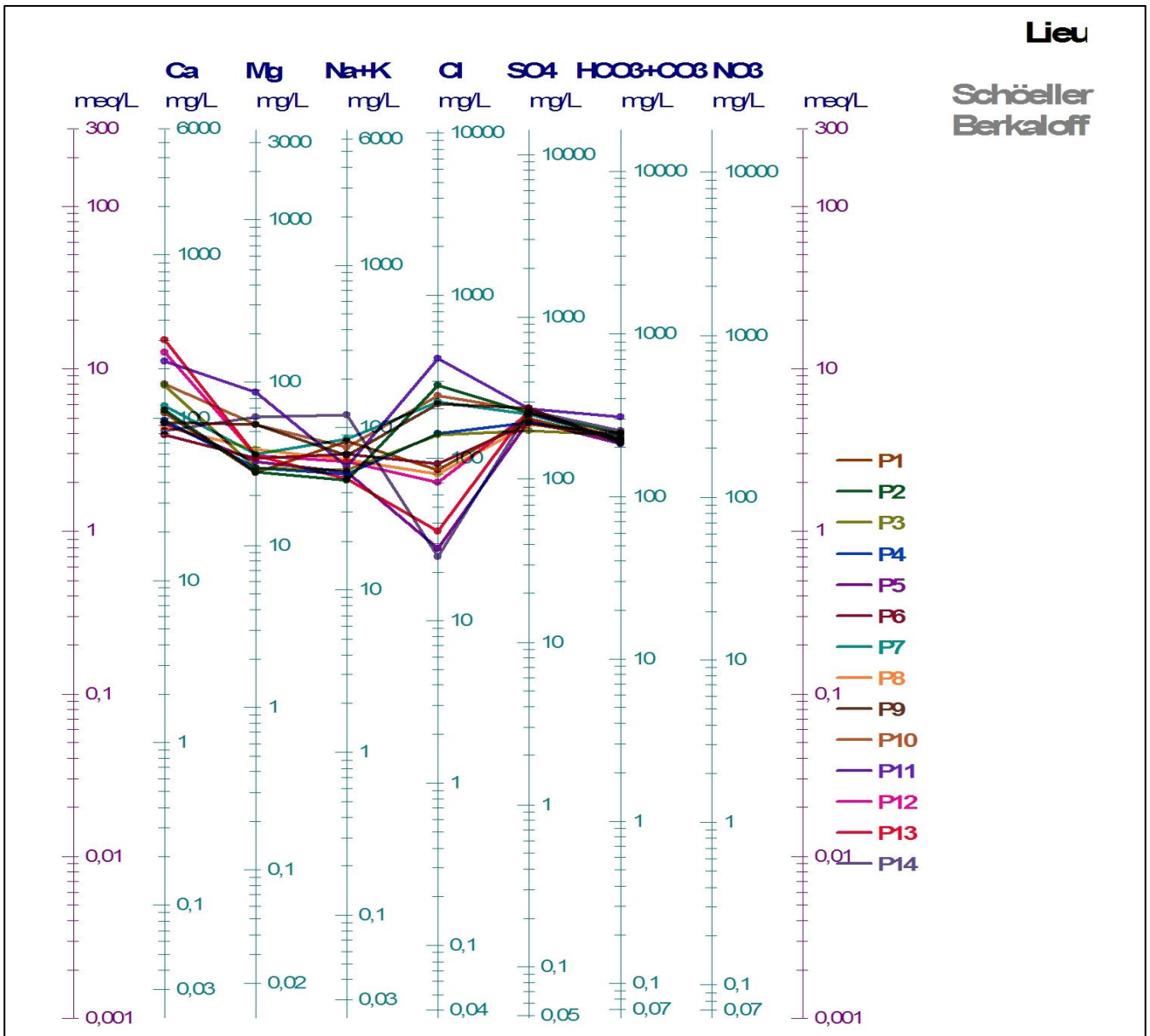


Fig. 15 : Diagramme de Schoeller- Berkaloff, Hammamet, Tebessa

6. Conclusion

En examinant les résultats des données hydrochimiques, représentées sous forme de cartes, on constate que pour les éléments chimiques majeurs :

- ✓ On note une augmentation des teneurs du Sud vers le Nord. une telle situation épouse vraisemblablement la situation des axes d'écoulements ayant même direction. Ceci nous amène à prendre en considération le rôle des secteurs 1(Djebel Troubia) et 2(Djebel Es Senn), précédemment cités (chapitre 03), lesquels par leurs individualisations en tant que zone potentielle à l'alimentation en tant que zone potentielle à l'alimentation souterraine de l'aquifère.
- ✓ Le rôle de lessivage, lors des fortes pluies saisonnières, et la pollution provoquée par les eaux usées rejetées en surface, demeurent responsables d'une telle progression des teneurs du sud vers le Nord.
- ✓ Une salinité importante traduite par les valeurs excessives de la conductivité, notamment dans la partie avale au Nord de la région.
- ✓ Des concentrations élevées pour la quasi-totalité des éléments chimiques, Particulièrement dans la partie Nord. A côté de Djebel Troubia, et Au Sud à coté de Djebel Es Senn.
- ✓ Un faciès chimique chloruré calcique sulfaté magnésienne.
- ✓ Généralement, les eaux souterraines de la région, à travers les différentes analyses, présentent des teneurs inférieures aux normes excessives fixées par l'OMS, il s'agit, en fait, d'une eau chimiquement potable.

1. Introduction

La climatologie est un facteur très important pour la connaissance des caractéristiques hydroclimatiques ou le régime d'infiltration d'eau. Les caractéristiques climatiques influencent les variations des réserves des eaux souterraines, c'est pourquoi il est impératif de connaître leurs évolutions dans le temps et dans l'espace.

Les précipitations qui agissent directement sur l'écoulement superficiel d'un bassin versant, de même pour les températures ont aussi une grande influence sur l'écoulement, l'évaporation favorise le déficit de l'écoulement, l'humidité et l'aridité qui diminue progressivement les caractéristiques du sol.

2. Les stations climatiques

L'étude est basée essentiellement sur les données de la station de Hammamet (Concernant les précipitations) et la station de Tébessa (pour les températures).

La période d'observation varie d'une station à une autre; le tableau ci-dessous résume les coordonnées de ces stations de mesure, ainsi que les périodes d'observation correspondantes.

Tableau 2 : Les coordonnées de stations de mesure.

Station	X(Km)	Y(Km)	Z(Km)	Période d'observation	Code de la station
Hammamet	248.5	977.9	860	1989-2014	120304
Tébessa	991.9	247.2	890	1989-2014	120301

Station pluviométrique de Hammamet Tébessa

Les mesures journalières permanentes des différents paramètres climatiques au niveau de ces stations sur une longue période d'observation et le traitement des données peuvent illustrer les conditions hydroclimatologiques de cette région.

3. Caractéristiques climatiques de la région

La région d'étude Tébessa -El Hammamet- fait partie de la seconde zone, marquée par les risques et les aléas. Dans ce qui suit nous présentons un aperçu hydro-climatologique, indispensable à la compréhension des processus d'alimentation et de restriction des eaux souterraines, ce qui nous permettra d'avancer dans la connaissance du comportement hydrologique des cours d'eau, et dans la variation des réserves des eaux souterraines. Ainsi la variation des paramètres climatiques donne des indications sur l'évolution des concentrations des éléments chimiques, en fonction des saisons, tant au niveau des eaux souterraines qu'au niveau des eaux de surface.

La quantification de la représentation de chaque paramètre hydrologique et l'étude de leurs variabilités dans le temps et dans l'espace permettent de visualiser en général l'impact du climat sur le stock d'eau souterraine et de définir en particulier les conditions hydrodynamiques des aquifères existants.

En effet, la disponibilité des données pluviométriques sur une période de vingt-cinq cycles hydrologiques de (1989-2014). Le tableau 2 nous a permis de déduire la situation hydroclimatique de cette région.

3.1. Les précipitations

La précipitation est la quantité d'eau météorique, totale, liquide ou solide qui tombe sur une surface horizontale déterminée, appelée la section pluviométrique.

Tableau 3 : Précipitation moyenne mensuelle aux stations de Hammamet (1989-2014).

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Jui.	Juil.	Août
Précipitation	33.8	22.4	26.59	25.41	32.39	14.65	28.6	31.44	37.5	21.2	9.94	18.19

Dans un contexte mensuel (tableau 3), les pluies orageuses d'automne ont été marquées au mois de mai par le pic pluviométrique le plus élevé atteignant une valeur moyenne interannuelle de 37,58 mm. Le mois le plus sec est évidemment le mois de juillet où la pluviosité a chuté considérablement

au-dessous du seuil de la valeur 9,94 mm. Les trois mois de printemps (mars, avril et mai) sont généralement caractérisés par l'élévation de la pluviosité (figure 5).



Fig. 5 : Variation des précipitations moyennes mensuelles (mm) de la période (1989-2014).

L'irrégularité du régime pluviométrique est aussi bien marquée au pas mensuel de distribution, le Tableau permet de monter l'importance des écarts mensuels de pluie entre les années. En effet le pic de plus forte précipitation de l'année (2008-2009).

Par contre le cycle de la plus faible pluviosité (2007-2008), la moyenne mensuelle de la lame d'eau précipitée n'a pas dépassé les 10 mm, elle est équivalente à la pluviosité du mois le plus sec de l'année moyenne de précipitations.

3.2. La température

La température est un élément très important du climat qui joue un rôle déterminant pour le bilan hydrologique. Les données des températures mensuelles et annuelles permettent de dégager certaines caractéristiques comme la division de l'année en saisons thermiques.

Les enregistrements des températures moyennes mensuelles sur une période (Tableau 4) et le traitement de leurs données (Figure 6) ont indiqué que les hivers de la région sont très froids et les étés sont très chauds avec des températures moyennes mensuelles de valeurs extrêmes respectivement 6.46°C enregistrée au mois de décembre et 27.52°C enregistrée au mois de juillet. La valeur moyenne annuelle de température est de l'ordre de 15.44°C.

Durant une période de six mois, allant du mois de novembre au mois d'avril, La température de l'air est restée en dessous de la température moyenne annuelle (15.44°C).

Tableau 5 : Température moyenne mensuelle aux stations d'observation (L'A.R.N.H.)

Mois	Sep	oct.	nov.	Déc.	jan	fév.	mars	Avr.	mai	Jui.	juil.	août
T (°C)	21.64	17.60	11.42	6.46	8.12	8.24	11.04	14.60	17.36	24.34	27.52	25.04

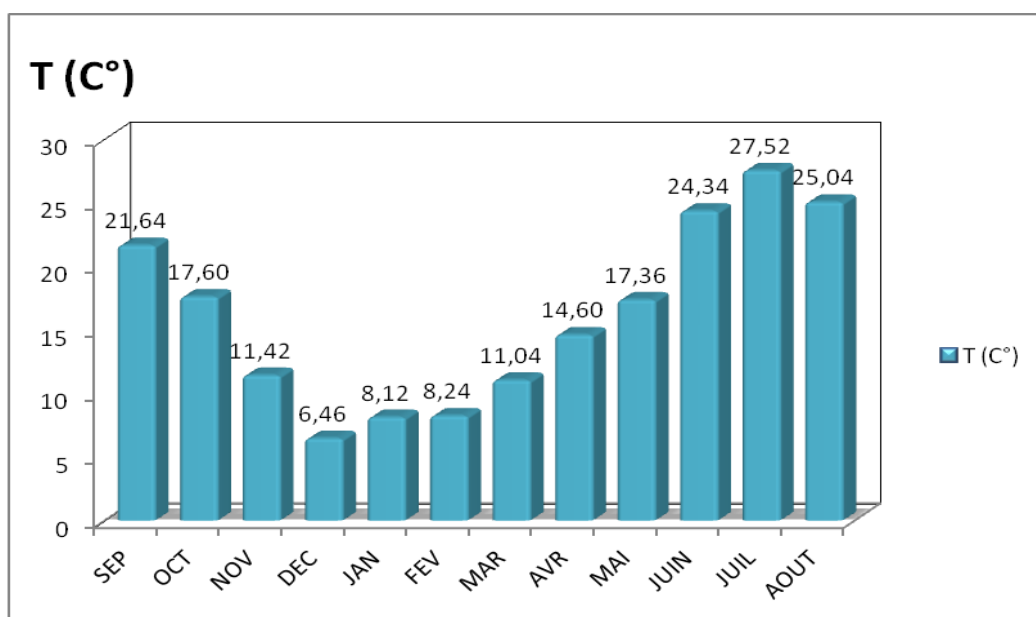


Fig .6 : Variation des températures moyennes mensuelles (mm) de la période (1989-2014).

4. Diagramme pluviothermique station de Hammamet depuis (1989-2014)

La confrontation au pas de temps mensuel des valeurs de précipitations et celles des températures selon une représentation graphique appelée diagramme pluviothermique permet de définir la période la plus sèche et celle humide. Selon Gausson et Bagnoub égal à l'inférieur au double de température moyenne exprimée en degré Celsius. La saison sèche est donc celle formée de plusieurs mois secs consécutifs.

Le diagramme dressé à partir des données disponibles de ces deux paramètres (Figure 7) a révélé pour l'année moyenne que la période la plus sèche et la plus sévère est celle estivale, mais elle peut être étendue jusqu'au mois d'octobre.

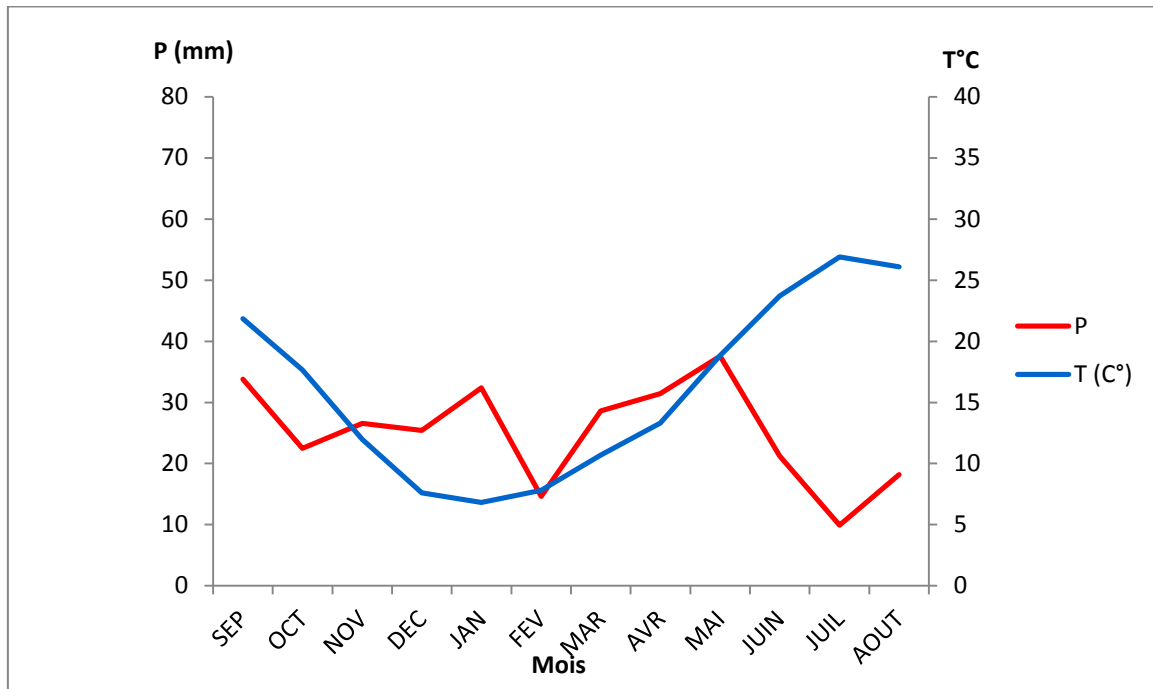


Fig. .7 : Diagramme pluviothermique de Gausson de la période (1989-2014).

5. Indice d'Aridité de Martonne (1923)

Cet indice est un indicateur quantitatif du degré de manque d'eau présente à un endroit donné (Oliver, 2006). On va le calculer (I) par la formule de MARTONNE. Il prend en compte les précipitations et leurs températures annuelles.

$$I = P/T + 10$$

Avec :

I : Indice d'aridité ;

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm) ;

T : Température moyenne annuelle en (C°).

Application numérique:

Dans le cas de notre région A= 18.77 tel que P=302.34 et T = 16.11

Suivant les valeurs de « I » obtenues, Martonne a établi la classification suivante :

- $I < 5$ Climat hyper aride.
- $5 < I < 7,5$ Climat désertique.
- $7,5 < I < 10$ Climat steppique.
- $10 < I < 20$ Climat semi - aride.
- $20 < I < 30$ Climat tempéré.

La région de Hammamet, avec un indice d'aridité égale à **11.58** se classe donc parmi les climats de type **semi-aride**.

6. Détermination des paramètres du bilan

6.1. Etude de l'évapotranspiration

L'évapotranspiration est sans doute l'une des données climatologiques les plus difficiles à approcher. Dans le bilan hydrique, elle est le terme le plus important après les précipitations.

Elle résulte de deux phénomènes : l'une physique « évaporation » et l'autre biologique « transpiration », ce phénomène important du cycle hydrologique est fonction de plusieurs facteurs : humidité, température, l'insolation et le couvert végétal...

On distingue une évapotranspiration potentielle, notée (ETP), et une évapotranspiration réelle, notée (ETR).

- **Estimation de l'évapotranspiration potentielle « ETP »**

L'évapotranspiration potentielle (ETP) correspond à la perte d'eau totale en phase gazeuse d'un couvert végétal abondant, en pleine croissance, très largement alimenté en eau (somme de l'eau évaporée au niveau du sol et émise par les plantes par transpiration) (Baudry et al, 2003).

L'ETP correspond à l'évapotranspiration maximale qui peut avoir lieu, si le sol est saturé ou pas en eau. Le calcul de l'ETP peut se faire par les formules de Thornthwaite, Turc et Penman.

Le résultat des calculs est présenté pour la période 1989-2014 dans le (tableau 3) et la (figure 5)

Le calcul de l'ETP, qui exprime le pouvoir évaporant, fait appel à la formule établie, en 1948, par C.W.Thornthwait et ne tient compte que de la température.

$$ETP_c = 16 \left(\frac{10 T}{I} \right)^a K$$

Avec :

T : Température moyenne mensuelle en (°C).

K : Coefficient de correction dépendant de l'altitude du bassin.

a : Indice lié a la température, où :

$$a = 1.6 \left(\frac{I}{100} \right) + 0.5$$

I : Indice thermique annuel obtenu à partir de la somme de deux valeurs mensuelles de température :

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \quad i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514}$$

- **Estimation de l'évapotranspiration réelle « ETR » :**

L'ETR, est la quantité d'eau évaporée effectivement par le sol, la végétation et la surface d'eau libre. Plusieurs formules empiriques sont utilisées pour le calcul de l'ETR en fonction de quelques éléments météorologiques simples tels que, la température moyenne annuelle et le module pluviométrique annuel. Ces méthodes considèrent que les zones sont climatiquement et géologiquement homogènes.

- **Formule de Turc :**

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

ETR : Évapotranspiration réelle en (mm).

T : Température moyenne annuelle en (°C).

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).

L : $(300+25T+0.05T^3)$.

- **Formule de Contagne :**

$$ETR = P - \lambda P^2$$

Avec :

ETR : Évapotranspiration réelle en (mm).

T : Température moyenne annuelle (°c).

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).

$$\lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14 \times T}$$

Cette formule est valable si : $1/8.\lambda < P < 1/2 \lambda$ $P= 251.22$ et $\lambda=0.31$.

Donc, cette formule n'est pas valable pour la région d'étude.

- **Formule de Thornthwaite :**

Pour le calcul de l'ETR, on a utilisé la méthode de Thornthwaite qui se distingue par deux cas principaux :

Si : $P-ETP > 0$; c'est-à-dire $P > ETP \rightarrow ETR = ETP$.

Si : $P-ETP < 0$; c'est-à-dire $P < ETP$: deux cas se présentent :

Si : $P+RFU > ETP \rightarrow ETR=ETP$.

Si : $P+RFU < ETP \rightarrow ETR=P+RFU$.

6.2. Estimation des réserves facilement utilisables (RFU)

Elles présentent la quantité d'eau emmagasinée dans le sol donnée par la formule de J.Richard, 1979.

$$R.F.U = \frac{1}{3} (Da \times He \times P)$$

Avec :

RFU : Réserve facilement utilisable.

Da : Densité apparente du sol.

He : L'humidité équivalente du sol (capacité de rétention).

P : Profondeur de la couche de la terre parcourue par les racines en (mm).

Application numérique :

$$Da = 14 \quad He = 0.25 \quad P = 25 \text{ mm.}$$

D'où:

$$RFU = \frac{1}{3} (14 \times 0.25 \times 25 = 29 \text{ mm})$$

6.3. Calcul du Ruissellement (R)

D'après la formule de Tixeront et Berkalof on peut calculer le ruissellement à partir de la précipitation moyenne annuelle et l'évapotranspiration potentielle.

$$R = \frac{P^3}{3(ETP)^2}$$

6.4. Calcul de L'infiltration « I »

La formule donnant le bilan hydrique est la suivante :

- Selon la méthode de thornthwait:

$$EXE=R+I \Rightarrow I=EXE-R$$

$$I=4.02-1.99=2.03$$

$$I=2.03$$

- Selon la méthode rationnelle:

$$P=ETR+R+I \Rightarrow I=P-(ETR+R)$$

$$=302.34-(298.32+1.99)=2.03$$

$$I=2.03$$

En tenant compte de si :

$I > 0$: les entrées sont supérieures aux sorties ;

$I < 0$: les entrées sont inférieures aux sorties.

7-BILAN HYDRIQUE DE 15ANS (1989 - 2014)**Tableaux 6 : BILAN HYDRIQUE DE 25 ANS (1989-2014).**

Mois	Sep	Oct	nov	dec	Jan	fev	mars	Avri	mai	jui	juil	aou	Totale
T(°C)	21.85	17.65	11.97	7.61	6.83	7.81	10.70	13.31	18.83	23.72	26.91	26.09	MOY =16.11
I	9.32	6.75	3.75	1.89	1.60	1.96	3.16	4.40	7.44	10.56	12.78	12.20	
I	75.81												
A	1.71												
K	1.03	0.97	0.86	0.85	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	
P(mm)	33.82	22.49	26.59	25.41	32.39	14.65	28.6	31.44	37.58	21.24	9.94	18.19	302.34 MOY 25.19
ETP _{nc}	97.6	68	35.04	16	13.28	16.80	28.80	41.60	75.68	112.64	139.68	132.32	
ETP _c	100.53	65.96	30.13	13.60	11.55	14.28	29.66	45.34	91.57	136.29	171.81	153.49	864.21
P-ETP	-66.71	-43.47	-3.54	11.81	20.84	0.37	-1.06	-13.9	-53.99	-115.05	-161.87	-135.3	
ETR(m m)	33.82	22.49	26.59	13.6	11.55	14.28	29.66	45.34	51.62	21.24	9.94	18.19	298.32
RFU	00	00	00	11.81	29	29	27.94	14.04	00	00	00	00	
EXE	00	00	00	00	3.65	0.37	00	00	00	00	00	00	4.02
DA	66.71	43.47	3.54	00	00	00	00	00	39.95	115.05	161.87	135.3	565.89
R(mm)	0.01	0.005	0.0025	0.0012	1.82	1.09	0.54	0.27	0.13	0.07	0.03	0.02	1.99

Interprétation de bilan hydrique

Le bilan hydrique nous a permis d'évaluer la part de chaque paramètre hydrologique.

D'après l'établissement de ces bilans on a pu tirer ces quelques conclusions :

On remarque que :

Les réserves facilement utilisables se constituent à partir du mois de Décembre et s'étalent jusqu' au mois d'Avril.

- La saturation de ces dernières est atteinte durant les mois de Janvier et Février.
- L'excédent est enregistré au mois de Décembre et Janvier.
- Le déficit agricole est enregistré durant les mois de Septembre, Octobre et Novembre ; et à partir du mois de Mai jusqu' au mois d'aout.

8. Conclusion

L'élaboration de la partie climatologique de la région d'étude, a montré que le climat de cette région est typiquement semi-aride. Le régime pluviométrique est très irrégulier dans tous pas temps, les hivers sont très froids et les étés sont très chauds et secs.

Des précipitations atteignent leurs maxima le mois du mai avec une valeur de 37.58 mm, et leurs minima en juillet de valeur 9.94 mm

La précipitation moyenne annuelle est de 303.34 mm, observée au niveau de la station de Hammamet. La température moyenne annuelle est de 15.44°C.

1. Introduction

L'Hydrogéologie est la science de l'eau souterraine à caractère pluridisciplinaire. Ses objectifs sont l'acquisition de données numériques par la prospection ou l'expérimentation sur le terrain, le captage et la planification de l'exploitation de l'eau souterraine.

Les roches carbonatées sont affectées par des processus de dissolution liés aux circulations d'eau. Cet ensemble de processus est susceptible de transformer profondément les caractéristiques initiales des roches carbonatées, en créant une morphologie singulière et des propriétés aquifères originales. Il est alors appelé karstogénèse. Les formations qui en résultent peuvent contenir d'importantes réserves en eau dans leur zone noyée.

Le milieu poreux constitue, lui aussi, des horizons susceptibles de produire d'importantes réserves et, d'assurer en même temps leurs pérennités dans le temps et dans l'espace. Si les conditions d'alimentations souterraines et les conditions d'exploitations sont rigoureusement respectées et fondées sur des normes qui prennent en considération les fluctuations des niveaux piézométriques, ces réserves peuvent être inépuisables.

Les réserves en eau des aquifères sont périodiquement renouvelées par le cycle de l'eau. Les infiltrations des eaux à partir des cours d'eaux superficiels, jouent un rôle important dans cette alimentation, mais il faut noter que la majeure partie du renouvellement est due principalement aux précipitations efficaces, c'est-à-dire à la fraction d'eau qui parvient à la nappe après soustraction des pertes par ETP est ruissellement.

On distingue deux types essentiels d'alimentation naturelle des nappes d'eau souterraine.

- **Alimentation directe**
 - a) par l'eau des précipitations.
 - b) par infiltration des eaux de surface.
- **Alimentation indirecte**
 - a) par déversement souterrain latéral des nappes profondes.
 - b) par ruissellement sur les reliefs de bordure d'un bassin hydrogéologique.

Les fluctuations du niveau piézométrique permettent d'étudier l'alimentation naturelle des couches aquifères. C'est le cas, par exemple, d'alimentation directe par les eaux des précipitations ou par les eaux de surface. C'est aussi le cas de l'alimentation indirecte par le ruissellement sur les reliefs de bordure d'un bassin hydrogéologique ou par déversement souterrain latéral des nappes profondes.

La région d'étude correspondant à un fossé d'effondrement. Représenté par un remplissage Alluvionnaire d'âge Pliocène. Ce sont des cailloutis calcaire, graviers à matrice argileuse. Les toutes repose sur un substratum marneux d'âge Cénomaniens.

Dans ce chapitre, il sera étudié la fluctuation de la surface piézométrique et notamment l'origine de l'alimentation souterraine de l'aquifère en question. (CASTANY ;1982).

2 Piézométrie et hydrodynamique

2.1 Généralités

La mesure du niveau des eaux souterraines est d'une importance fondamentale dans l'hydrogéologie. Le niveau des eaux souterraines de l'aquifère peut être utilisé pour plusieurs raisons y compris un complet hydrogramme, et la construction d'une carte piézométrique qui est nécessaire afin de connaître l'extension de l'aquifère, la direction et la vitesse de l'écoulement des eaux souterraines, ainsi que leur zones d'accumulation. La mesure de niveau des eaux souterraines est effectuée à l'aide d'une sonde (Fig. 09) dont le capteur est réactif à la conductivité de l'eau. Lorsque niveau de l'interface air/eau la sonde atteint le, un contact électrique est établi entre deux tiges métalliques, déclenchant un signal sonore et lumineux. (Ayache ; 2001).

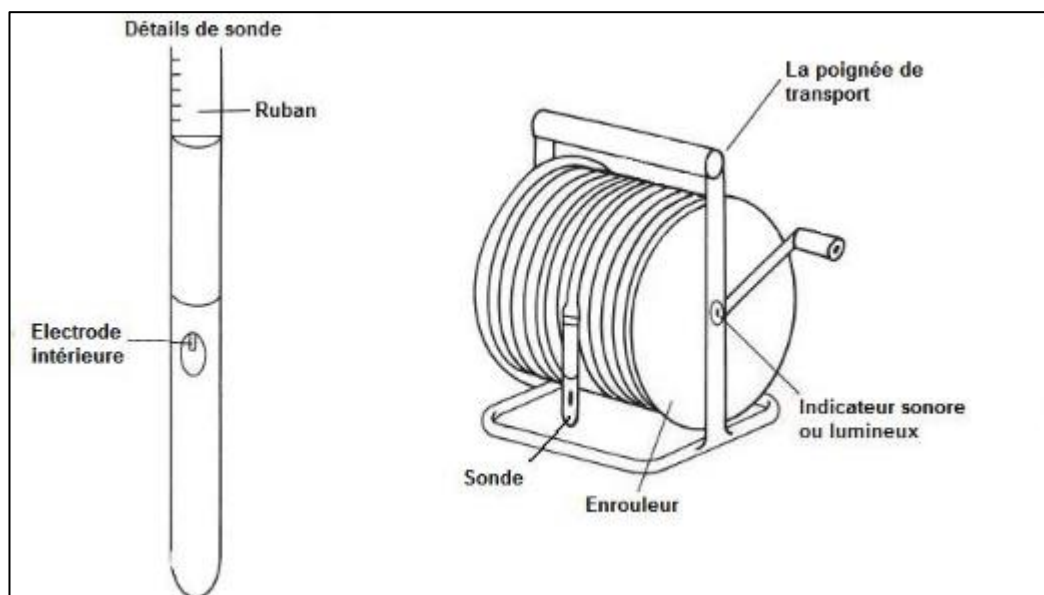


Fig. 09 : Principales caractéristiques d'une sonde de niveau d'eau.

2.2 Inventaire des points d'eaux

La zone d'étude comporte, dans son ensemble, quatorze (14) points d'eaux répartis, simultanément, dans la plaine de Hammamet ; utilisés dans leur majorité pour l'irrigation des terres agricoles.

Les profondeurs de ces points varient entre 50 et 150m. Ils sont équipés, en matière de tubage, sur toute leur profondeur. Quant aux équipements électromécaniques de ces points d'eaux, ils sont bien distingués suivant leurs dessertes. (Fig 10).

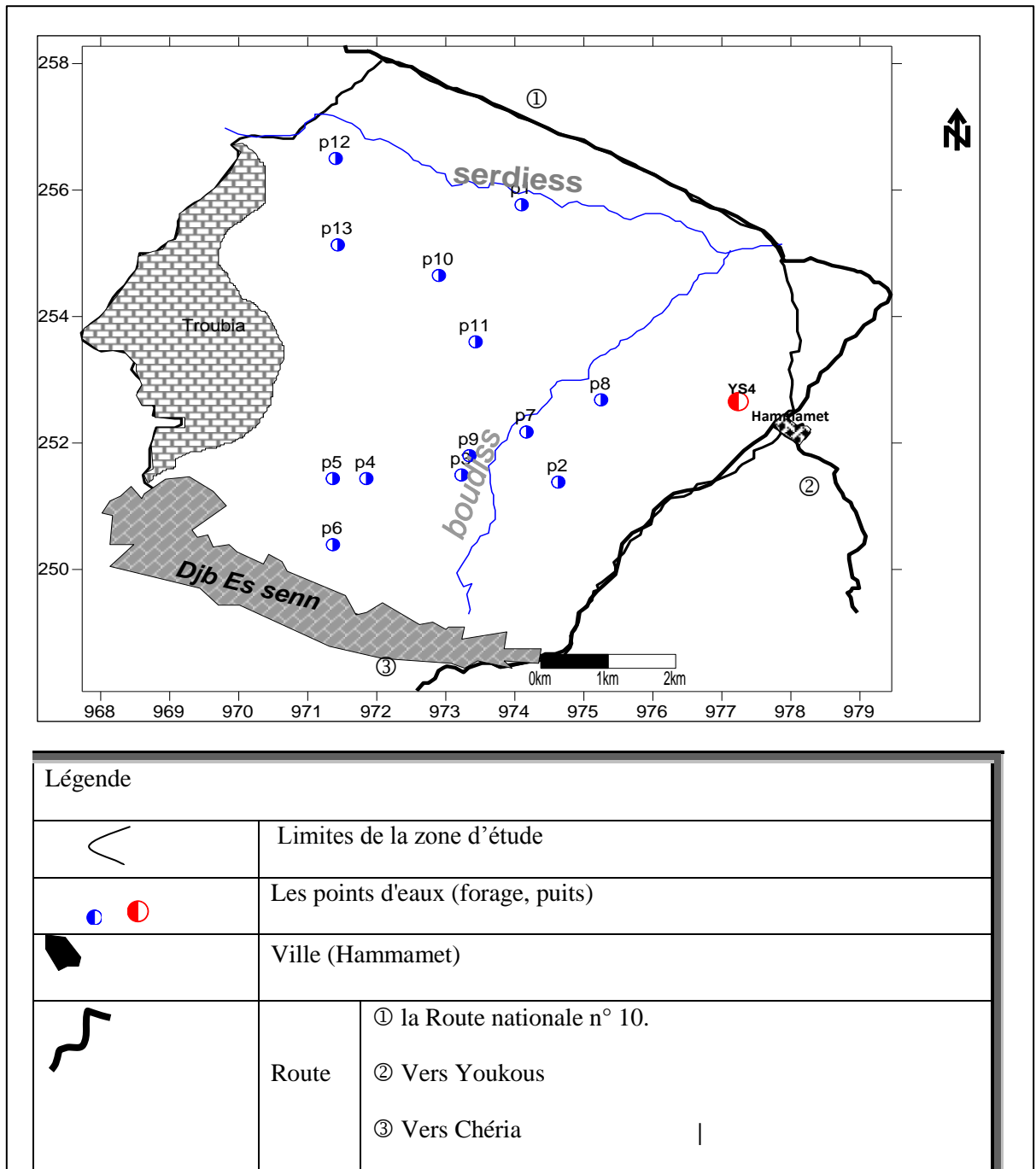


Fig. 10 : Carte d'inventaire des points d'eau.

2.3 La piézométrie

La reconnaissance de la surface piézométrique de la nappe, a été obtenue par l'inventaire de 14 puits implantés dans les alluvions, dans le cadre du réseau piézométrique de la région de Hammamet. On a choisi deux périodes d'observation piézométrique de haute eaux et basses eaux. Ces mesures permettent d'établir des cartes piézométriques. L'interprétation de ces surface piézométriques nous permet de connaître la forme de l'écoulement de la nappe, le sens de l'écoulement général, la profondeur de la surface piézométrique et elles figurent également les conditions aux limites hydrodynamiques. (CASTANY ;1982).

Une carte des hautes eaux (Fig. 11), une carte des basses eaux (Fig. 12), et une carte de fluctuation (Fig. 13) correspondant aux différences entre ces deux cartes ont été réalisées.

3. L'évolution spatiale de la piézométrie

3.1 La nappe en période de hautes eaux

Nous avons pris en que l'ensemble de l'aquifère Plio-quadernaire constitue un ensemble communicant unique, considération pour lequel nous allons tenter d'identifier les paramètres hydrodynamiques de la circulation générale en nous fondant sur la piézométrie. Nous disposons pour ce faire de toutes les valeurs de niveaux piézométriques relevées lors de différentes campagnes de terrain d'étude menées en 2014.

Nous avons plusieurs surfaces piézométriques, pour les différentes campagnes de terrain, en utilisant un construit interpolateur linéaire pondéré par l'inverse des distances .Dans notre étude nous avons pris deux cartes représentant deux périodes différentes de toute la Série d'étude, les résultats sont présentés sur les figures 11 et 12 (MARSILY ;2004).

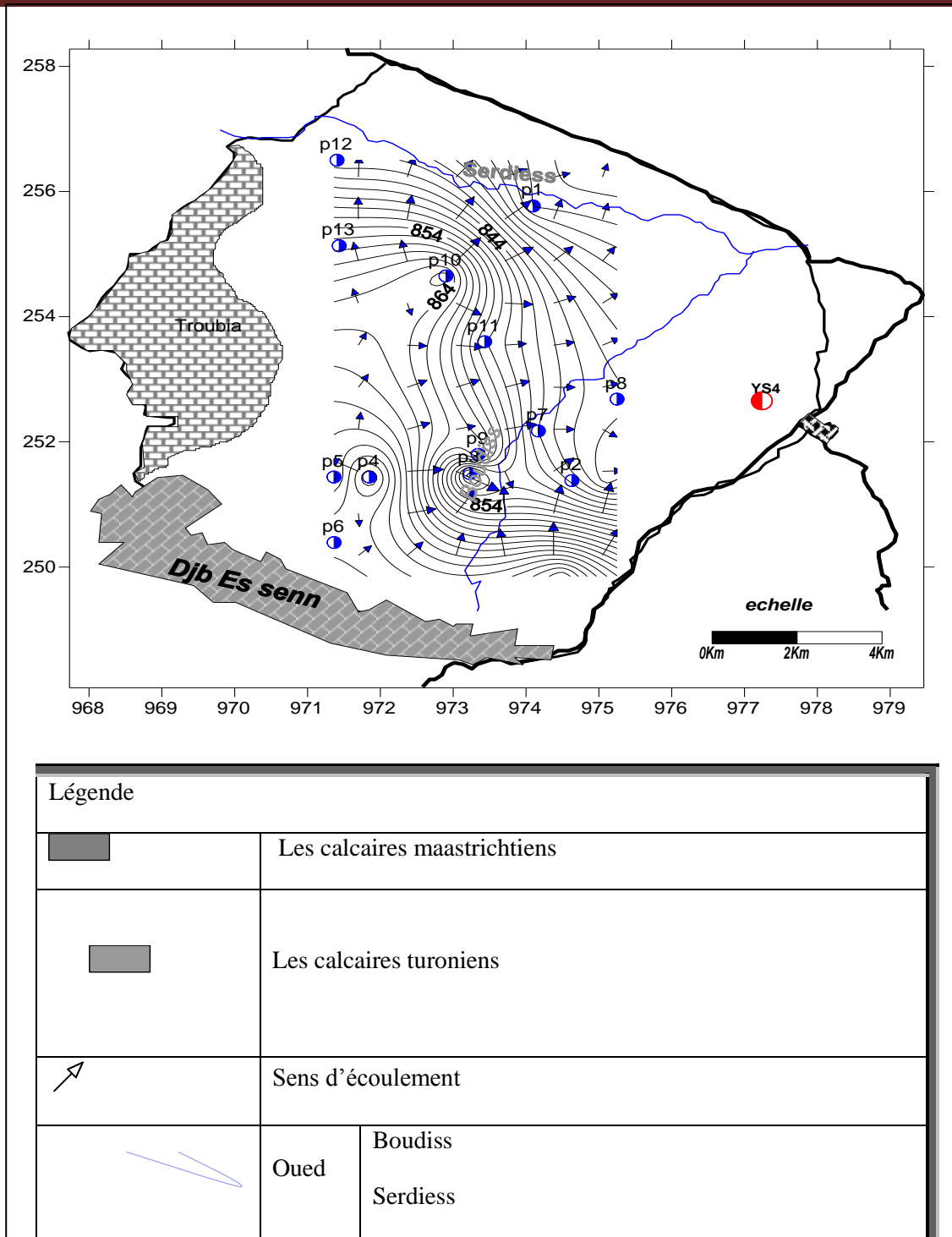


Fig. 11: Carte piézométrique de Hautes eaux 2014

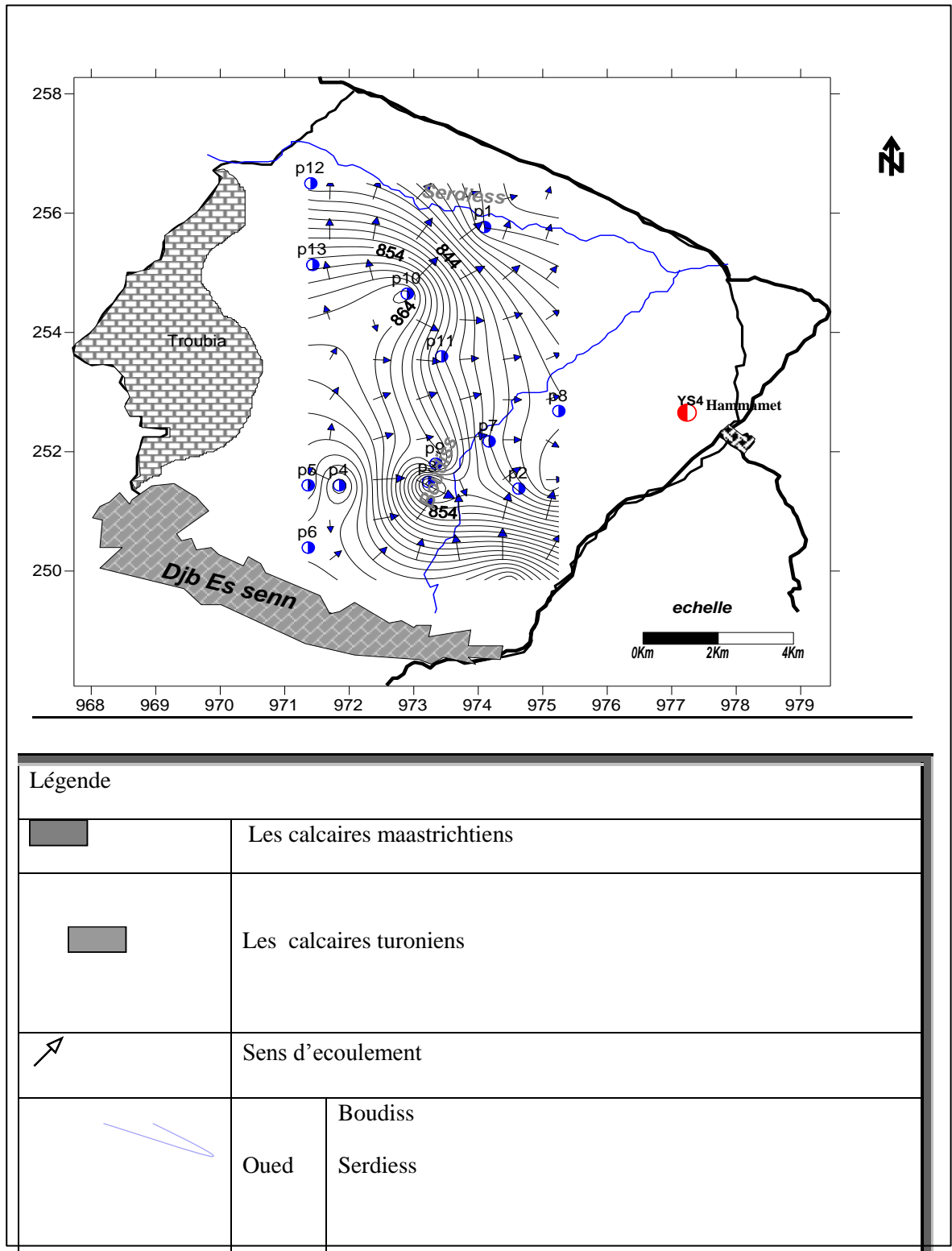


Fig. 12 : Carte piézométrique de Basses eaux. 2014.

3.2 La nappe en période de Basses eaux

Le tracé d'une carte piézométrique permet de mettre en évidence et d'attribuer des limites de nature hydraulique à un système aquifère dont on peut envisager une représentation cohérente. (Eric ; 1995).

Ces limites sont bien entendu à l'ouest et au sud-ouest celles de Djebel Troubia, Es Senn à l'Est et au Nord, On peut hydrauliquement délimiter le système aquifère à l'aide des affleurements du substratum constitué de marnes d'âge Cénomaniens-Emscheriens et par les Oueds de Boudiss et Serdies.

L'allure des lignes piézométriques offre par ailleurs de bonnes indications pour l'identification des zones d'alimentation, des axes d'écoulement et des exutoires naturels. Ainsi les aires principales d'alimentation de la nappe, semblent en première lecture, être constituées essentiellement par ces affleurements des terrains crétacés en bordure. On peut voir deux pôles d'alimentations correspondant au massif de Djebel Troubia à l'Ouest et aux calcaires de la région de Djebel Essen au Sud-Ouest. Ce qui semble indiquer que ces deux zones constituent des endroits d'infiltration des eaux souterraines.

Les courbes piézométriques sont serrées dans les parties Sud-Ouest et Nord-Ouest, elles sont presque parallèles à la bordure de Djebel Es Senn, Les iso pièzes traduisant une zone d'alimentation. Le rapprochement des courbes isopièzes donne un gradient hydraulique plus au moins fort (0,04).

Dans la partie central et orientale, les courbes isopièzes deviennent espacées ce qui traduit un faible gradient hydraulique suite à la présence d'un terrain plus perméable que les terrains qui se trouvent au Sud Est.

3.3 Battement de la nappe

La comparaison de la piézométrie entre la période de basses eaux et celle de hautes eaux a permis de dresser une carte de battement de la nappe pour l'année 2014 (Fig. 13).

Cette comparaison a montré que les fluctuations les plus importantes se manifestent au Nord de la nappe et peuvent atteindre 10m au niveau de P10. Au Sud de la nappe est à une distance de 1 km au Nord Est de Djebel Es Senn les fluctuations varient entre 10 et 12m (P5, P6).

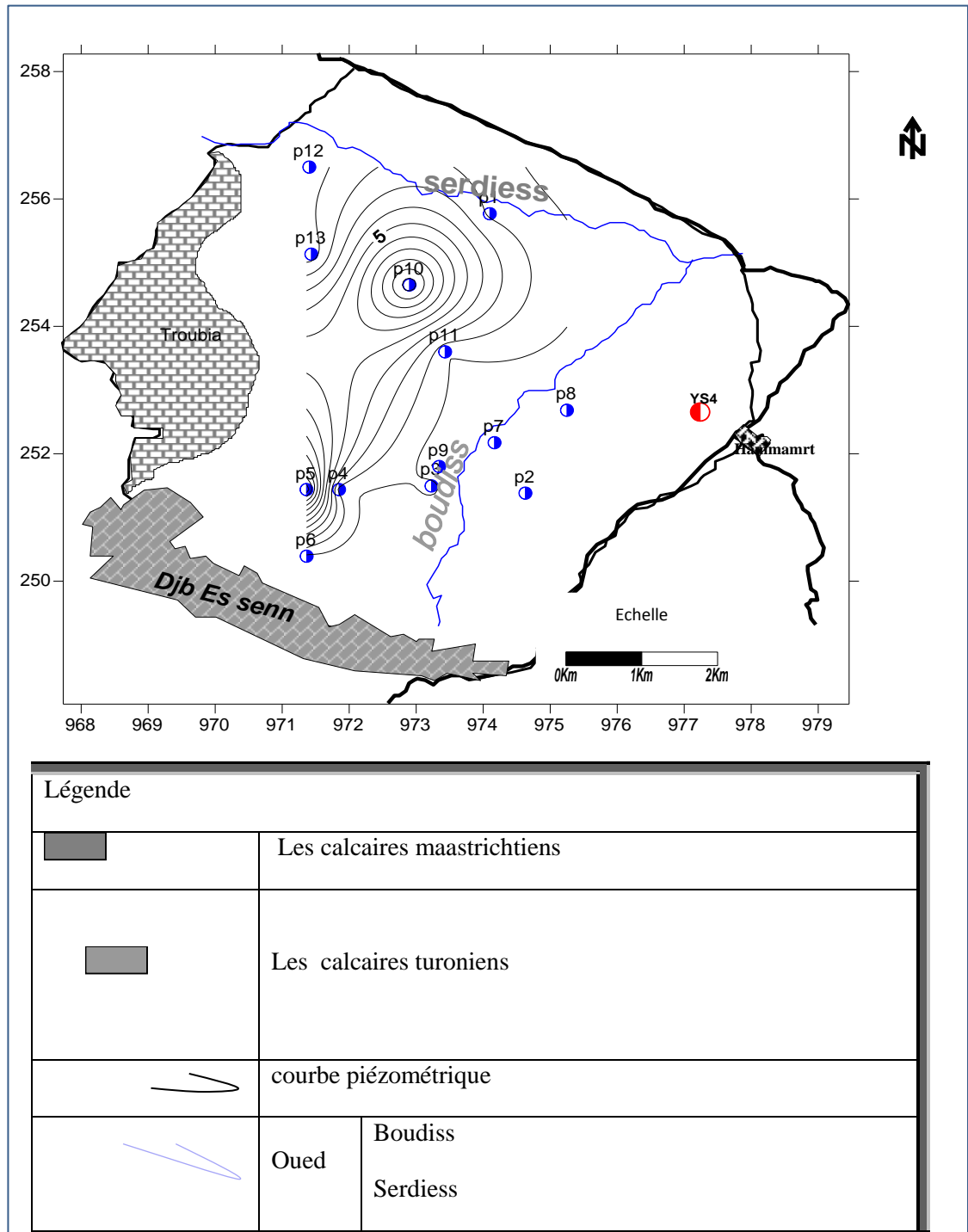


Fig. 13 : Carte piézométrique de fluctuation des eaux

4. Conclusions

La surface piézométrique, elle est de forme régulière, divergente vers le Nord – Est ; l'écoulement souterrain est de direction Sud-Ouest – Nord Est, caractérisé par un gradient hydraulique fort à l'Ouest de l'aquifère alluvionnaire et faible à sa partie Est.

Djebel Es Senn, par sa structure suite aux accidents tectoniques, ayant mis en place des structures en gradins limitrophes à la plaine d'effondrement.

Les réseaux très développés de fractures et de fissures ont un rôle prépondérant quant à l'alimentation souterraine. Celle – ci étant engendrée par les structures en gradins, dont la suralimentation et le contact anormal avec la plaine d'effondrement, demeure les facteurs essentiels responsables de l'alimentation souterraine de la nappe alluvionnaire.

Conclusion Générale

A partir de la présente étude et d'une façon générale, nous avons essayé de collecter et d'interpréter les résultats obtenus à partir de la connaissance des paramètres climatiques, hydrogéologiques et Hydrochimique.

Cette étude est relative à l'influencé des paramètres cités, sur les réserves aquifères plioquaternaire de la région de Hammamet

- ❖ L'étude du climatologique : L'élaboration de la partie climatologique de la région d'étude, a montré que le climat de cette région est typiquement semi-aride. Le régime pluviométrique est très irrégulière dans tous pas temps, les hivers sont très froids et les étés sont très chauds et secs.

Des précipitations atteignent leurs maximale le mois du septembre avec une valeur de 33,8 mm, et leurs minimale en juillet de valeur 9,94 mm.

Le bilan hydrique nous a permis d'évaluer la part de chaque paramètre hydrologique, D'après l'établissement de ces bilans on a pu tirer ces quelques conclusions on remarque que :

- Les réserves facilement utilisables se constituent à partir du mois de Décembre et s'étalent jusqu' au mois d'Avril.
- La saturation de ces dernières est atteinte durant les mois de Janvier et Février.
- L'excédent est enregistré au mois de Décembre et Janvier.
- Le déficit agricole est enregistré durant les mois de Septembre, Octobre et Novembre ; et à partir du mois de Mai jusqu' au mois d'aout.
- ❖ L'étude géologique, a montré que les formations qui constituent le sous bassin versant de Hammamet sont susceptibles d'être aquifères. Ainsi les formations perméables en grand se présentent comme suit :
 - Les calcaires fracturés d'âge Turonien, et maastrichtien
 - Les formations Plio-Quaternaires qui s'étendent sur la totalité de la plaine de Hammamet.
 - Pour les formations imperméables, il s'agit seulement des formations marneuses (marnes d'âge Emcherien, et céno-manien).
- ❖ Du point de vue hydrogéologiques : L'écoulement souterrain se fait, en général, selon deux directions -Ouest -Est, et Sud -Ouest -Nord Est avec deux axes de drainage qui coïncide sensiblement avec le parcours de l'Oued Serdiess et oued boudiss.

- L'allure générale des courbes piézométriques est restée constante lors des 02campagnes d'observations.
 - L'évolution de la piézométrie dépend des conditions climatiques, qui influent sur le battement de la nappe par la recharge durant la période de hautes eaux et l'évaporation pendant la période des basses eaux. La lithologie de la nappe régit l'écoulement, et ce en influant sur la vitesse de circulation.
 - Le niveau piézométrique présente une évolution régulière, caractérisée par une baisse durant la période des basses eaux sous l'effet de l'évaporation, et une remontée pendant la période de hautes eaux, suite à la recharge de la nappe. On signale l'évolution irrégulière de quelques puits, qui sont surexploités à des fins d'irrigation.
 - L'alimentation se fait à partir des bordures calcaires de Dj Es Senn au Sud, et Dj Troubia à l'ouest.
 - Pendant la période des basses eaux, l'écoulement des eaux souterraines présente une certaine convergence vers le centre de la plaine pour coïncider avec le tracé de l'oued principal, ce qui justifie le renforcement de l'alimentation des eaux de surface par les eaux souterraines. Au même endroit, pendant la période des hautes eaux, la surface piézométrique devient peu profonde et se rapproche de la surface du sol, ce qui met en contact les eaux de surface avec les eaux souterraines. Ce contact hydraulique favorise la contamination des eaux souterraines.
- l'étude hydrochimique : le traitement des données chimiques des eaux de la région d'étude montre que les eaux souterraines de la région, à travers les différentes analyses, présentent des teneurs inférieures aux normes excessives fixées par l'OMS. Il s'agit, en fait, d'une eau chimiquement potable.

Enfin, la présente étude basée essentiellement sur la détermination de la Qualité de ces eaux de la plaine Plio-Quaternaire de Hammamet et la source d'alimentation de cet aquifère.

Résumé

La région étudiée (Massif de Djebel Es Senn, Troubia), situé au Sud Ouest de la région de Hammamet, fait partie des domaines des hautes plaines de l'Est algérien aux confins algéro-tunisien plus précisément sur la zone de Nemmemcha.

Cette région comprend une série stratigraphique qui s'échelonne du Trias au Quaternaire, abritant ainsi plusieurs aquifères dont le plus important est le Plio-Quaternaire, il est constitué par des dépôts très variés correspondant aux alluvions, limons, graviers, croûte de calcaire et calcaire lacustres, renfermant une nappe généralement libre.

Sur le plan hydrogéologique, les aquifères sont alimentées par les massifs avoisinants, et à partir des accidents tectoniques orientés SW –NE, W-E.

Le traitement des données chimiques des eaux de la région d'étude montre que les eaux souterraines de la région, à travers les différentes analyses, présentent des teneurs inférieures aux normes excessives fixées par l'OMS. Il s'agit, en fait, d'une eau chimiquement potable.

Mots clés : Hammamet, Aquifère, hydrogéologie, hydrochimie.

ملخص

تقع منطقة الدراسة في الجنوب الغربي من منطقة الحمامات الجزء الرئيسي من جبل ترويبا حقيقة المناطق جزء من ارتفاعات السهول الشرقية الجزائرية من الحدود الجزائرية التونسية بالضبط في منطقة نامشة هذه المنطقة تتكون من سلسلة طبقية تبدأ من الترياس الى الحقب الرابع، حيث ان هذه المياه هي الاكثر اهمية الموجودة في الحقب الرابع الذي تتكون من مركبات متنوعة مثل الطمي، الغرين، الحصى، وحجر الكلس، حجر كلس بحيري تحتوي عامة من المياه الجوفية الحرة. وفق الدراسات الهيدروجيولوجية للمياه الجوفية تعمل بطاقة هائلة من المحيط، وتقع الاحداث التكتونية في الجنوب الغربي، الشمال الشرقي، الجنوب الشرقي.

معالجة المعطيات الكيميائية للماء في منطقة الدراسة لمراقبة المياه الجوفية للمنطقة من خلال مختلف التحاليل الموجودة في أدنى محتويات المعايير المفردة الثابتة حسب منظمة الصحة العالمية، وفي هذا الواقع الماء الكيميائي صالح للشرب.

الكلمات المفتاحية: الحمامات، المياه الجوفية، جيولوجيا، الكيمياء.

Abstract

The study area (Massif Jebel Es Senn, Troubia), located in the southwest region of Hammamet, is among the areas of the high plains of eastern Algeria to the Algerian-Tunisian border Nemmemcha more precisely on the area.

This area includes a stratigraphic series that runs from Triassic to Quaternary and housing several aquifers, the most important is the Pliocene-Quaternary, it consists of a wide range corresponding to alluvial deposits, silt, gravel, limestone and limestone crust lake containing a generally unconfined.

On the hydrogeological, aquifers are fed by the nearby mountains, and from the tectonic SW oriented -NE, WE.

The treatment of water chemistry data from the study area shows that the groundwater in the region, through the various analyzes, have lower levels to excessive standards set by WHO. This is in fact a chemically drinking water.

Keywords: Hammamet, aquifer, hydrogeology, hydrochemistry.

- **Ayache. M,2001** : :Synthese des données hydrogeologiques de la plaine de hammamet. .université de Tebessa P26.
- **CASTANY . G , 1982**: Principes et méthodes de l'Hydrogéologie. Dunod Edit. Paris,26,28P.
- **Chelih.F, 2007**: Approche sédimentologique et minéralogique pour l'étude des terrasses fluviatiles pendant le quaternaire de oued Bouakous Hammamet Tébessa. Université de Tebessa.
- **Chelih. F,2012** : Rôle et caractéristiques Hydrogéologiques des calcaires d'âge turonien de Djebel Es Senn Dans l'alimentation Du Champ Captant De Hammamet-Ain Chabro.37P.
- **DUROZOY. G, 1956** : Carte géologique au 1/50 000 de Tébessa feuille 206, et ça notice explicative. Synthèse géologique et geotechnique de la vallée de Bouakous (Hammamet) promotion 1991. Carte topographique N° 205 (youkous les bains). 3,5,9P.
- **Eric. G, 1995** : Hydrogéologie Objets, méthodes, applications. 31,36P.
- **FEHDI.CH, BOUDOUKHA. A ,SALAMEH .E, (Sous presse) ,2006**: Apport hydrogéochimique et isotopique dans la caractérisation des mécanismes de la salinité des eaux souterraines du complexe aquifère Morsott-ElAouinet (N.E Algérien). Revue Sécheresse.35P.
- **FEHDI .CH, BOUDOUKHA. A, SALAMEH .E, 2006** : Apport hydrogéochimique et isotopique dans la caractérisation des mécanismes de la salinité des eaux souterraines du complexe aquifère Morsott-ElAouinet (N.E Algérien).WATMED 2006, the 3rd International Conference on the Water Resources in the Mediterranean Basin, (présentation orale), Tripoli, Liban. 39P.
- **GOUAIDIA .L,2006** : Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des parametres physico –chimiques des eaux d'une nappe en zone semi-aride, cas de la nappe de meskiana nord-est algerien.35,37P.

- **Laurent. H,2007** : bioclimatologie, concepts et application. 18P.
- **MARSILY DE. G, 2004** : Cours d'hydrogéologie. Université pierre & marie curie.28P.
- **Ramade.F,2005** : Etude de la pollution chimique et la vulnérabilité à la pollution des eaux . 15P.
- **Roger. D, 2006** : précis d'écologie , 8e edition,cour et questions de réflexion,licence3eannée,master, capes, agrégation15P.
- **Seghir .K, 2008** : Vulnérabilité à la pollution, protection des ressources en eaux et gestion active du sous-système aquifère de Tébessa Hammamet (Est Algérien). 20,35P.
- **VILA J.M ,1980**: La chaîne alpine de l'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens.

Thèse de Doctorat- es -sciences, Université Pierre et Marie curie, Paris VI.5,9,11P.

- **<http://fr.wikipedia.org/wiki/Neige>.**
- **<HTTP://Dictionnaire.Doctissimo.Fr/Definition-Baryte.Htm> .**