

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPUTAIRE**

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE DE LARBI TEBESSI - TEBESSA  
FACULTE DES SCIENCES EXACTES ET DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE**

**Mémoire de fin d'étude  
Pour l'obtention du diplôme de Master**

**Option : Hydrogéologie**

**Thème**

**ETAT DE LA RESERVE EN EAUX SOUTERRAINES  
DANS LA PLAINE D'EL HAMMAMET  
(TEBESSA - ALGERIE)**

**Présenté par :**

AYACHI Smail

LAADJEL Anas

**Dirigé par :**

Pr HEMILA Mohammed Laid

**Devant le jury composé de :**

Président : Dr GEUFFAIFIA Omar

Examineur : Pr GOUAIDIA Laayachi

Encadreur : Pr HEMILA Mohammed Laid

**Promotion : JUIN 2022**

# **TABLE DE MATIERE**

## **INTRODUCTION GENERALE**

<b>I.</b> Buts et méthodologie d'étude :.....	1
<b>II.</b> Situation géographique de la région d'étude.....	3

### **CHAPITRE I :**

#### **APERÇUS GENERAUX SUR LA ZONE D'ETUDE**

<b>I.</b> Aperçu géomorphologique :.....	7
<b>II.</b> Aperçu hydroclimatologique :.....	8
<b>III.</b> Aperçu géologique et tectonique :.....	11
<b>IV.</b> Aperçu hydrogéologique :.....	13
<b>V.</b> Conclusion :.....	14

### **CHAPITRE II :**

#### **GEOMETRIE DE L'AQUIFERE DU REMPLISSAGE ALLUVIONNAIRE**

<b>I.</b> Introduction :.....	19
<b>II.</b> Réinterprétation des profils géoélectriques :.....	19
<b>III.</b> Etablissement et interprétation de la carte des isopaques de l'horizon aquifère du remplissage alluvionnaire :.....	36
<b>III.1</b> Etablissement de la carte des isopaques :.....	36
<b>III.2</b> Interprétation de la carte des isopaques :.....	36
<b>IV.</b> Etablissement et interprétation de la carte des isobathes du substratum de l'horizon aquifère du remplissage alluvionnaire :.....	38
<b>IV.1</b> Etablissement de la carte des isobathes du substratum :.....	38
<b>IV.2</b> Interprétation de la carte des isobathes du substratum :.....	40
<b>V-</b> Conclusion :.....	40

### **CHAPITRE III :**

#### **ESTIMATION DES RESERVES EN EAUX SOUTERRAINES DE L'AQUIFERE DU REMPLISSAGE ALLUVIONNAIRE**

<b>I.</b> Introduction :.....	43
-------------------------------	----

II. Estimation de la réserve relative à la période des hautes eaux du cycle hydrologique 1973/1974 :.....	43
II.1 Présentation et interprétation de la carte piézométrique du cycle hydrologique 1973/1974:.....	44
II.2 Etablissement et interprétation de la carte des isopaques d'alluvions mouillées relative à la période des hautes eaux du cycle hydrologique 1973/1974 :.....	46
II.3 Estimation du coefficient d'emmagasinement (S) :.....	46
II.4 Calcul des réserves en eaux souterraines :.....	50
III- Estimation des réserves en eaux souterraines relatives à la période des basses eaux du cycle hydrologique 1985/1986:.....	53
III.1 Présentation de la piézométrie du cycle hydrologique 1985/1986 :.....	53
III.2 Etablissement de la carte des isopaques d'alluvions mouillées relative à la période des basses eaux du cycle hydrologique 1985/1986:.....	53
III.3 Calcul des réserves en eaux souterraines relatives à la période des basses eaux du cycle hydrologique 1985/1986 :.....	53
IV. Fluctuation spatio-temporelle des réserves en eaux souterraines : .....	53
V. Etablissement de la carte des iso profondeurs du niveau statique de la nappe :.....	62
VI. Calcul et estimation des réserves en eau et des paramètres caractéristiques de la nappe relatives au cycle hydrologique 2021/2022 :.....	62
VII. Conclusion :.....	71
 CONCLUSION GENERALE :.....	 73
BIBLIOGRAPHIE :.....	76

## Liste des figures

- Figure n° 1: Situation géographique de la plaine d'El Hammamet par rapport au territoire Algérien. Page 4
- Figure n° 2: Situation géographique de la plaine d'El Hammamet par rapport au grand bassin versant de Medjerda et du sous bassin de Mellègue (Carte établie par l'agence national des ressources hydriques (A.N.R.H.). Page 5
- Figure n°3 : Carte géomorphologique de la plaine d'EL Hammamet dans le cadre du Bassin versant de Tébessa-Morsott. Page 7
- Figure n°4 Courbe de variabilité interannuelle des précipitations annuelles (1984/1985 - 2009/2010) - In DJELAB Mokdad. Page 9
- Figure n°5 Distribution interannuelle des précipitations mensuelles de la station de Tébessa (1984/1985 - 2009/2010). - In DJELAB Mokdad. Page 9
- Figure n°6 Courbe de distribution interannuelle des températures moyennes mensuelles (1984/1985 - 2009/2010). - In DJELAB Mokdad. Page 10
- Figure n°7 : Diagramme pluviométrique de la station météorologique de Tébessa (1984/1985 - 2009/2010) - In DJELAB Mokdad. Page 10
- Figure n° 8 Esquisse géologique de la zone d'étude (établie par DUROZOY G. 1949). Page 12
- Figure n° 9 Log lithostratigraphique synthétique de la géologie de la plaine d'El Hammamet (Tébessa). Page 13
- Figure n° 10 Carte de positions des forages implantés dans la plaine d'El Hammamet. Page 16
- Figure n°11 Carte de position des sondages électriques verticaux réalisés en 1978 par STRAJEXPORT dans la plaine d'El Hammamet (Tébessa). Page 21
- Figure n° 12 Profil géoélectrique « I » réalisé par STRAJEXPORT PRAGUE et réinterprété par nous même (Mai 2022). Page 22
- Figure n° 13 Profil géoélectrique « J » réalisé par STRAJEXPORT PRAGUE et réinterprété par nous même (Mai 2022). Page 24
- Figure n° 14 Profil géoélectrique « K » réalisé par STRAJEXPORT PRAGUE et réinterprété par nous même (Mai 2022). Page 26
- Figure n° 15 Profil géoélectrique « L » réalisé par STRAJEXPORT PRAGUE et réinterprété par nous même (Mai 2022). Page 27
- Figure n° 16 Profil géoélectrique «M»réalisé par STRAJEXPORT PRAGUE et réinterprété par nous même (Mai 2022). Page 29
- Figure n° 17 Profil géoélectrique « N » réalisé par STRAJEXPORT PRAGUE et réinterprété par nous même (Mai 2022). Page 30

Figure n° 18 Profil géoélectrique « O » réalisé par STRAJEXPORT PRAGUE et réinterprété par nous même (Mai 2022). Page 31

Figure n° 19 Profil géoélectrique « P » réalisé par STRAJEXPORT PRAGUE et réinterprété par nous même (Mai 2022). Page 33

Figure n° 20 Profil géoélectrique « Q » réalisé par STRAJEXPORT PRAGUE et réinterprété par nous même (Mai 2022). Page 34

Figure n° 21 Profil géoélectrique « R » réalisé par STRAJEXPORT PRAGUE et réinterprété par nous même (Mai 2022). Page 35

Figure n° 22 Carte des isopaques de l'horizon résistant du remplissage alluvionnaire dans la plaine d'El Hammamet (Tébessa). Page 37

Figure n° 23 Carte des isobathes du substratum de l'horizon résistant du remplissage alluvionnaire dans la plaine d'El Hammamet (Tébessa). Page 39

Figure n° 24 Carte piézométrique de la nappe alluvionnaire de la plaine d'El Hammamet (Tébessa) - (Cycle hydrologique 1973/1974). Page 45

Figure n° 25 Carte des isopaques d'alluvions mouillés relative à la période des hautes eaux du cycle hydrologique 1973/1974 de la nappe alluvionnaire de la plaine d'El Hammamet (Tébessa). Page 49

Figure n° 26 Carte piézométrique de la nappe alluvionnaire de la plaine d'El Hammamet (Tébessa)-(Cycle hydrologique 1985/1986). Page 54

Figure n° 27 Carte des isopaques d'alluvions mouillés relative à la période des hautes eaux du cycle hydrologique 1985/1986 de la nappe alluvionnaire de la plaine d'El Hammamet (Tébessa). Page 56

Figure n° 28 Carte de fluctuation de la nappe alluvionnaire de la plaine d'El Hammamet (Tébessa) (Cycles hydrologiques 1973/1974-1985/1986). Page 59

Figure n° 29 Carte de profondeur d'eau relative à la période des basses eaux du cycle hydrologique 1985/1986 de la nappe alluvionnaire de la plaine d'El Hammamet (Tébessa). Page 63

Figure n°30 Carte piézométrique estimée de la nappe alluvionnaire de la plaine d'El Hammamet (Tébessa) (Cycle hydrologique 2021/2022). Page 69

Figure n° 31 Carte de fluctuation estimée (calculée) de la nappe alluvionnaire de la plaine d'El Hammamet (Tébessa) (Cycles hydrologiques 1973/1974-2021/2022). Page 70

## Liste des tableaux

Tableau n°1 Inventaire des forages implantés dans la plaine d'El Hammamet (Tébessa-Algérie). Page 20

Tableau n°2 Matrice de la piézométrie relative à la période des hautes eaux du cycle hydrologique 1973/1974 de la nappe alluvionnaire de la plaine d'El Hammamet de (Tébessa – Algérie). Page 47

Tableau n°3 Matrice de la charge hydraulique relative à la période des hautes eaux du cycle hydrologique 1973/1974 de la nappe alluvionnaire de la plaine d'El Hammamet de (Tébessa – Algérie). Page 48

Tableau n°4 Tableau récapitulatif de détermination du coefficient d'emmagasinement par analogie des valeurs de résistivités spécifiques des couches. Page 50

Tableau n°5 Matrice d'estimation du coefficient d'emmagasinement de la nappe alluvionnaire de la plaine d'El Hammamet (Tébessa – Algérie). Page 51

Tableau n°6 Matrice d'estimation de la réserve en eau, exprimée en million de mètre cube, relative à la période des hautes eaux du cycle hydrologique 1973/1974 de la nappe alluvionnaire de la plaine d'El Hammamet de (Tébessa –Algérie). Page 52

Tableau n°7 Matrice de la piézométrie relative à la période des basses eaux du cycle hydrologique 1985/1986 de la nappe alluvionnaire de la plaine d'El Hammamet de (Tébessa – Algérie). Page 55

Tableau n°8 Matrice de la charge hydraulique relative à la période des basses eaux du cycle hydrologique 1984/1985 de la nappe alluvionnaire de la plaine d'El Hammamet de (Tébessa – Algérie). Page 57

Tableau n°9 Matrice d'estimation de la réserve en eau, exprimée en million de mètre cube, relative à la période des basses eaux du cycle hydrologique 1984/1985 de la nappe alluvionnaire de la plaine d'El Hammamet de (Tébessa –Algérie). Page 58

Tableau n°10 Matrice de fluctuation de la nappe alluvionnaire de la plaine d'El Hammamet (Tébessa – Algérie) (Cycles hydrologiques 1973/1974-1985/1986). Page 60

Tableau n°11 Résultats récapitulatifs du bilan des réserves d'eaux souterraines de l'aquifère alluvionnaire dans la plaine d'El Hammamet (Tébessa - Algérie). Page 61

Tableau n°12 Tableau de comparaison des réserves d'eaux souterraines de l'aquifère alluvionnaire dans les deux plaines El Hammamet – BoulhafDyr (Tébessa - Algérie). Page 61

Tableau n°13 Matrice d'estimation de la réserve en eau, exprimée en million de mètre cube, relative à ce cycle hydrologique 2021/2022 de la nappe alluvionnaire de la plaine d'El Hammamet de (Tébessa –Algérie). Page 64

Tableau n°14 Matrice d'estimation de la charge hydraulique en eau relative à ce cycle hydrologique 2021/2022 de la nappe alluvionnaire de la plaine d'El Hammamet de (Tébessa – Algérie). Page 65

Tableau n°15 Matrice d'estimation des côtes piézométriques relative à ce cycle hydrologique 2021/2022 de la nappe alluvionnaire de la plaine d'El Hammamet de (Tébessa – Algérie). Page 66

Tableau n°16 Matrice d'estimation de la fluctuation de la nappe alluvionnaire de la plaine d'El Hammamet de (Tébessa – Algérie) sur une période de 46 ans (du cycle hydrologique 1973 /1974 à celui 2021/2022). Page 67

Tableau n°17 Matrice d'estimation de la profondeur de la nappe alluvionnaire de la plaine d'El Hammamet de (Tébessa – Algérie) relative au cycle hydrologique 2021/2022. Page 68

# **INTRODUCTION GENERALE**

### III. Buts et méthodologie d'étude :

Dans le cadre de préparation du projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master en hydrogéologie, il nous a été proposé un sujet qui vise à mettre en relief l'état actuel de la réserve en eau souterraine dans la plaine de Hammamet. L'objectif principal de ce sujet est donc l'estimation des réserves en eau de l'aquifère alluvionnaire dans cette plaine et d'identifier leurs variabilités spatio-temporelles selon des levés piézométriques réalisés en différentes périodes.

En raison de manque de moyens matériels et financiers pour la réalisation des nouvelles campagnes de mesures in-situ, notre tâche d'étude s'est orientée vers l'estimation des réserves en eau de l'aquifère alluvionnaire sur la base de traitement et interprétations de deux anciennes carte piézométriques établies :

- par l'A.N.R.H en période des hautes eaux du cycle hydrologique 1973/1974,
- par Pr HEMILA Mohammed Laid en période des basses eaux du cycle hydrologique 1985/1986, à la suite d'un inventaire de tous les points d'eau implantés dans la plaine d'El Hammamet.

Nous avons adopté une méthodologie d'étude à deux étapes :

- la première étape est l'identification de la structure de cet aquifère ; sa lithologie et sa géométrie. Nous avons exploité des données de deux prospections géophysiques. Par le procédé d'étalonnage par apport aux logs géologiques de dix sept (17) forages et aux affleurements de bordures nous avons réinterprété :
  - Cent neuf (109) sondages électriques verticaux, réalisés en 1978 par la société STRAJEXPORT PRAGUE, répartis sur dix (10) profils géoélectriques allant du profil « I » jusqu'au profil « R »,
  - Douze (12) sondages électriques verticaux réalisés en 1970 par la compagnie générale de la géophysique (C.G.G.). Ils constituent les premiers sondages des profils F, G et H.
- la deuxième étape, est l'estimation des réserves de cet aquifère alluvionnaire en prenant en considération la géométrie de l'aquifère en question. Comme technique de travail, nous avons adopté un découpage de la plaine en mailles carrées de un kilomètre carrés (01 km<sup>2</sup>) pour chaque maille en raison de l'existence d'un réseau non dense de points d'eau. Dans nos calculs nous avons utilisé une variante que nous la considérons la plus pessimiste.

Le manuscrit de cette étude, qui se présente sous forme d'un mémoire, est composé de trois chapitres, à savoir :

- Dans le premier chapitre, nous donnerons des aperçus généraux sur la zone d'étude de point de vue géomorphologiques, géologiques, hydroclimatologiques et hydrogéologiques,
- Dans le deuxième chapitre, nous exposerons les résultats de traitement et de réinterprétation des données relatives à la détermination de la géométrie de l'aquifère en question,
- Dans le troisième et dernier chapitre, nous évoquerons l'état des réserves en eaux souterraines et leurs fluctuations spatio-temporelles en fonction des caractéristiques hydrodynamiques propres de cet aquifère.

A la fin de cette approche d'étude et dans la conclusion générale, nous dégagerons des synthèses avec lesquelles nous donnerons une image approximative sur l'état de la réserve et sa fluctuation spatio-temporelle relative une période de douze ans d'exploitation intensive de cette nappe aquifère.

Dans une perspective de recherche et d'étude plus exhaustive, nous proposerons un programme complémentaire d'acquisition des nouvelles données qui permettra de bien préciser les calculs des réserves en eaux souterraines dans cette localité selon une situation actuelle de la surface piézométrique, c'est-à-dire selon un bilan hydrogéologique du couple alimentation – drainage.

## **II. Situation géographique de la région d'étude:**

La plaine d'el Hammamet, couvrant une superficie ne dépassant pas 135 km<sup>2</sup>, constitue la partie sud ouest du bassin versant de Tébessa- Morsott qui se situe à l'extrémité Nord Est du territoire algérien et fait partie du grand bassin versant de Medjerda et du sous bassin versant de Méllègue (Figure n° 01 et 2). Cette plaine est délimitée :

- Au nord, par Halloufa, El Hariaet Ain Hamadja,
- Au sud, par Djebel Es Senn, Djebel Bouziane, Tabia et Djebel Stah.
- A l'est, par le tracé de ligne qui joint les localités MtatDjefafli, Meddoud-Ain Chabroo,
- A l'ouest par H<sup>f</sup> el Khenafid, Draa Mzahizla, Ain Moussa et Koudiat el Arar.

De point de vue administratif, cette zone d'étude fait partie de la commune d'El Hammamet.

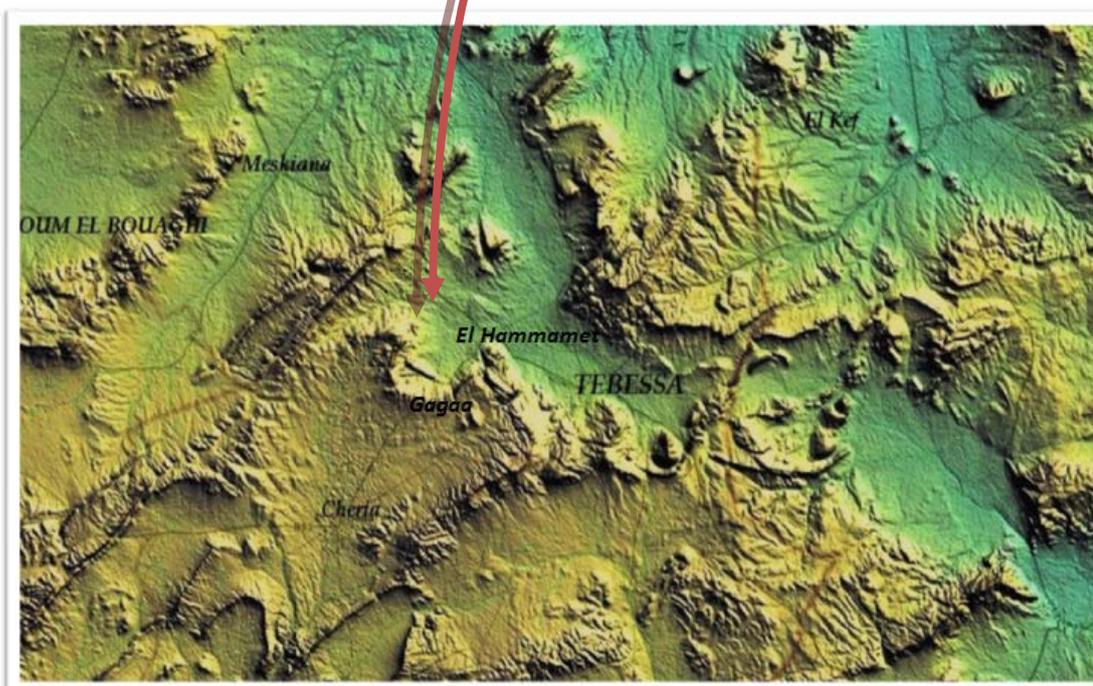


Figure n° 2: Situation géographique de la plaine d'El Hammamet par rapport au territoire Algérien.

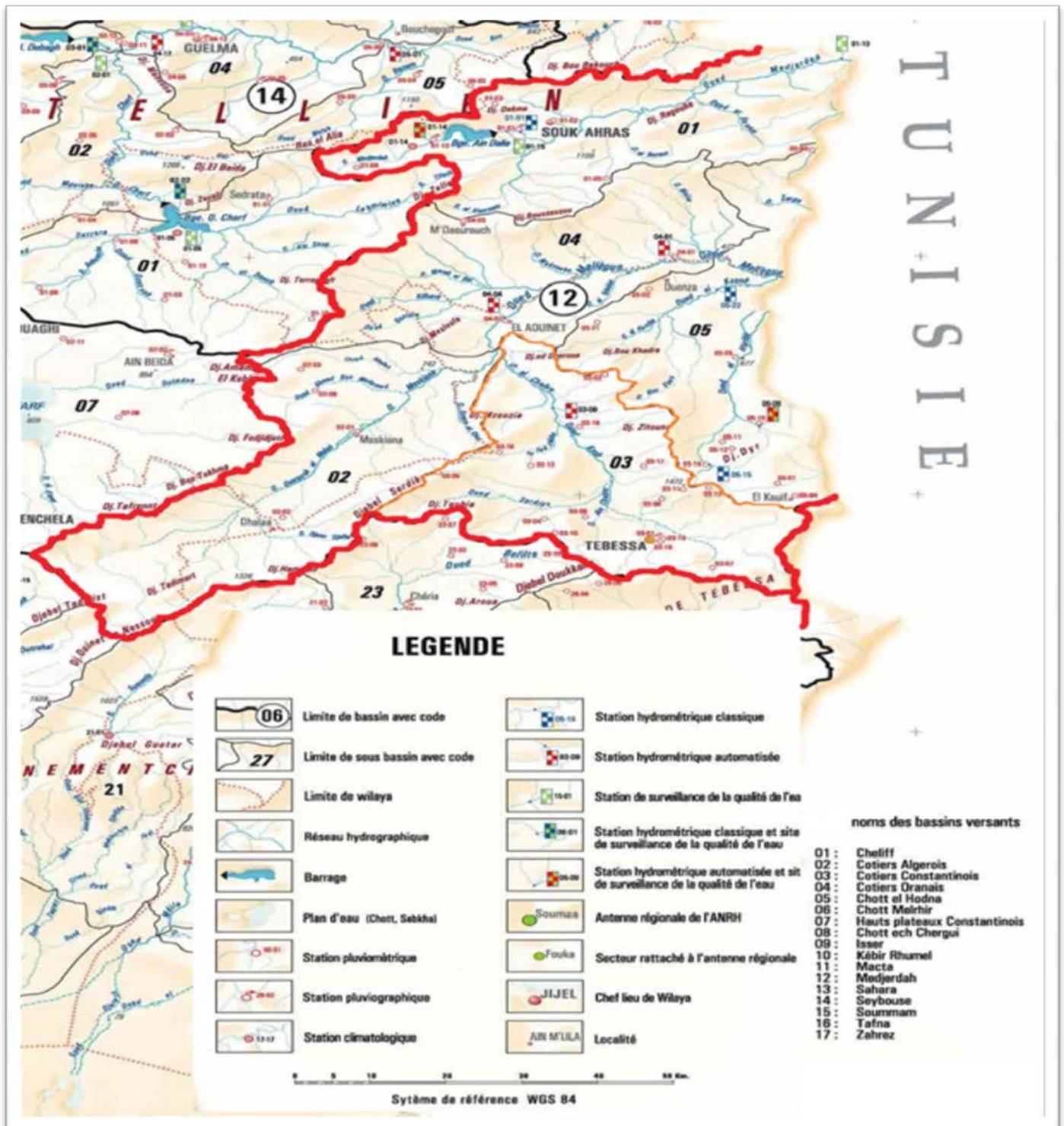


Figure n° 2: Situation géographique de la plaine d'El Hammamet par rapport au grand bassin versant de Medjerda et du sous bassin de Mellègue (Carte établie par l'agence national des ressources hydriques (A.N.R.H.).

# **CHAPITRE I :**

## **APERÇUS GÉNÉRAUX SUR LA ZONE D'ÉTUDE**

- *Aperçu géomorphologique,*
- *Aperçu hydroclimatologique,*
- *Aperçu géologique et tectonique,*
- *Aperçu hydrogéologique.*

## I. Aperçu géomorphologique :

La plaine d'El Hammamet fait partie du bassin versant Tébessa – Morsott qui se présente comme un grand fossé d'effondrement recoupant orthogonalement des plis d'axe Sud Ouest – Nord Est. De grandes fractures, disloquant ces structures anciennes, ont naturellement accompagnés l'enfoncement du grand graben. Cette plaine est entourée de part et d'autre de masses calcaires assez élevées (Djebel Troubia, Djebel Es Senn, Djebel El Gagaa, Djebel Bouziane et Djebel Stah), séparés par des dépressions creusées dans les marnes de la série Crétacée (Fig. 0 3).

La plaine d'El Hammamet représente donc une culminance de grandes falaises carbonatées des versants (Djebels). Elle est formée par un grand remplissage alluvionnaire très épais souvent à sédiments plus grossiers au pieds des versants et plus fins dans le centre des dépressions. La chaîne montagneuse constitue la limite sud de la plaine, elle est caractérisée par des hautes altitudes atteignant 1456 m à Djebel Troubia, 1331 m à Djebel El Gagaa, 1254 m à Djebel Es Senn, 1321 m à Djebel Bouziane et 1027 m à Djebel Stah. Les crêtes et les falaises sont bien dégagées par le phénomène érosif. Les principaux cours d'eau qui draine les eaux de surface sont l'oud Serdiess et l'oud Chabroo qui traversent la plaine selon une direction préférentielle SudOuest - NordEst avec une très faible dénivelée.

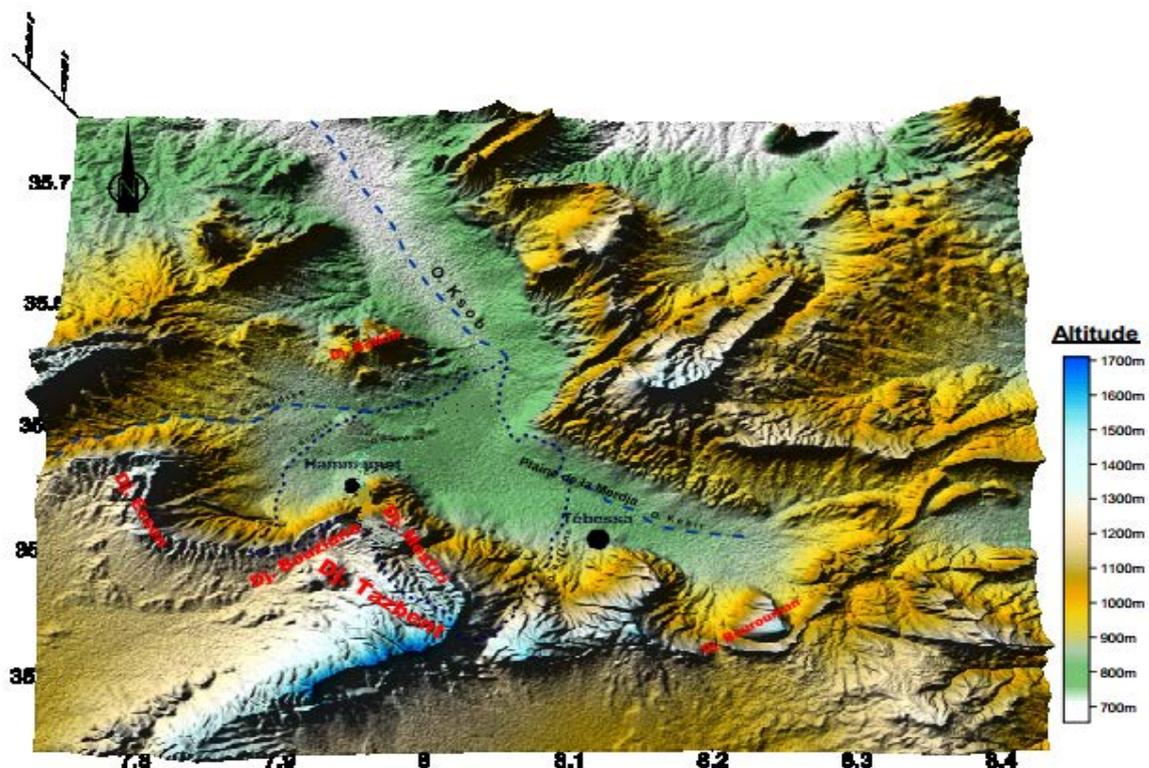


Figure n°3 : Carte géomorphologique de la plaine d'EL Hammamet dans le cadre du Bassin versant de Tébessa-Morsott.

## II. Aperçu hydroclimatologique :

Les travaux hydro climatologiques entrepris précédemment par plusieurs auteurs ont confirmé la semi aridité du climat dans la région de Tébessa dont leurs paramètres hydrologiques varient considérablement d'une façon très irrégulière dans le temps et dans l'espace.

L'étude hydro climatologique réalisée par le défunt DJELAB Mokdad sur la base des données pluviométriques de la station météorologique de Tébessa relatives à une période d'observation de vingt-six (26) cycles hydrologiques (de 1984/1985 à 2009/2010), a révélé l'irrégularité du régime pluviométrique d'une année à l'autre avec des écarts à la normale très considérables (Fig.4). La moyenne interannuelle des précipitations est de 397 mm. Le cycle hydrologique le plus arrosé est celui 2003/2004 avec une pluviosité totale annuelle de 642.8 mm, cependant durant le cycle 2000/2001 a été enregistrée la plus faible pluviosité annuelle avec un total de 230.8 mm. Cette irrégularité du régime pluviométrique a été ainsi constatée à l'échelle de distribution mensuelle. Comme le montre la figure n° 5, les pluies orageuses automnales sont les plus élevées atteignant une valeur moyenne interannuelle au mois de septembre de 47.22 mm.

En saison printanière de chaque année, nous constatons toujours la reprise des précipitations. La saison estivale est toujours sèche où les deux mois de juin et juillet les précipitations sont presque nulles. Les précipitations tombées durant la période des hautes eaux représentent généralement 40% à 50 % de la pluviométrie annuelle.

De point de vue température, comme le montre la figure n°6, en saison hivernale, le froid est très rigoureux avec une température moyenne mensuelle interannuelle de 6.78°C, cependant en période estivale le climat est très chaud et les températures moyennes mensuelles atteignent 26.94°C. La période de sécheresse peut s'étendre jusqu'au mois d'octobre (figure n° 7). La température moyenne annuelle est de l'ordre de 16 °C.

Sur la base de l'établissement du bilan hydrique par la méthode de Thorntwaite, la confrontation de toutes les données climatiques a donné, sur cette période d'observation, une forte évapotranspiration réelle et un faible excédent qui représentent respectivement 91.47 % et 8.53 %. Le déficit agricole annuelle est de l'ordre 504.99 mm distribuée sur six mois, allant du mois de mai jusqu'au mois d'octobre. La période excédentaire est très limitée aux trois mois de janvier, février et mars en donnant un excédent moyen annuel de 33.85 mm. Le ruissellement et l'infiltration représentent respectivement 6.97 % et 1.56 %.

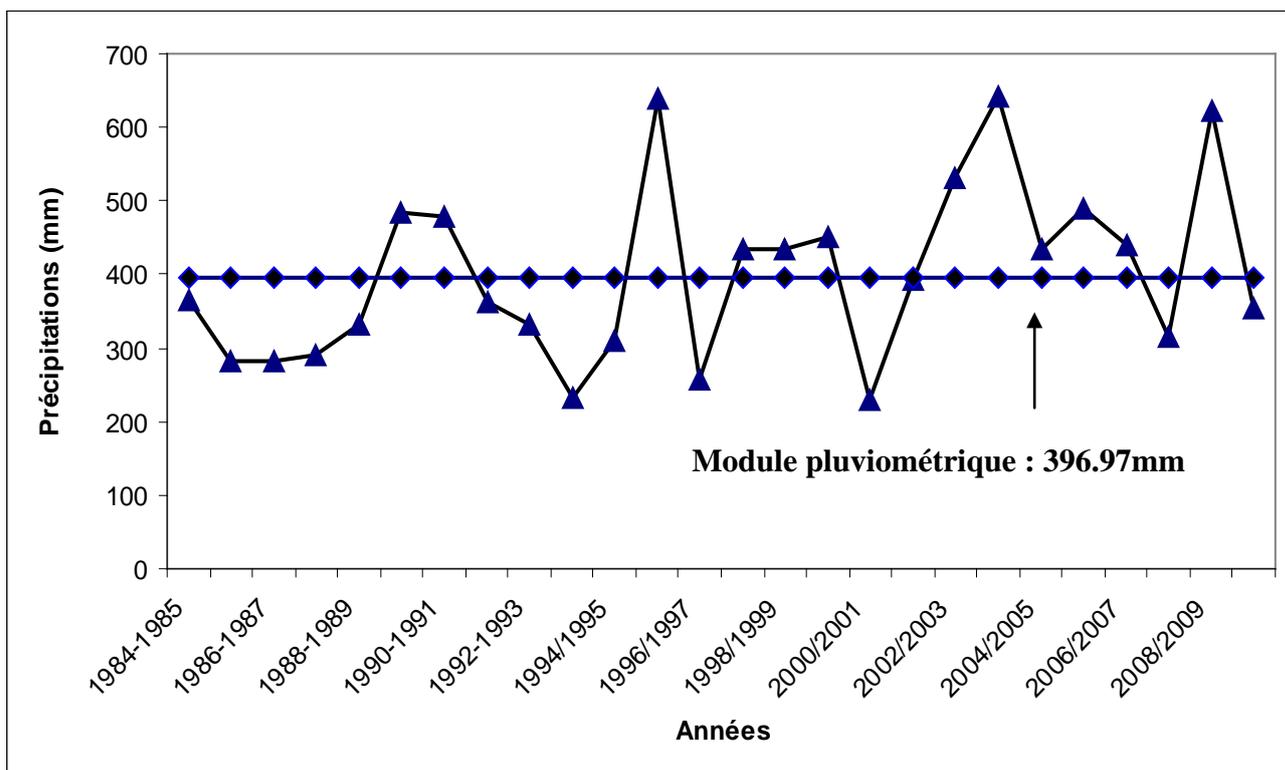


Figure n°4 Courbe de variabilité interannuelle des précipitations annuelles (1984/1985 - 2009/2010) - In DJELAB Mokdad.

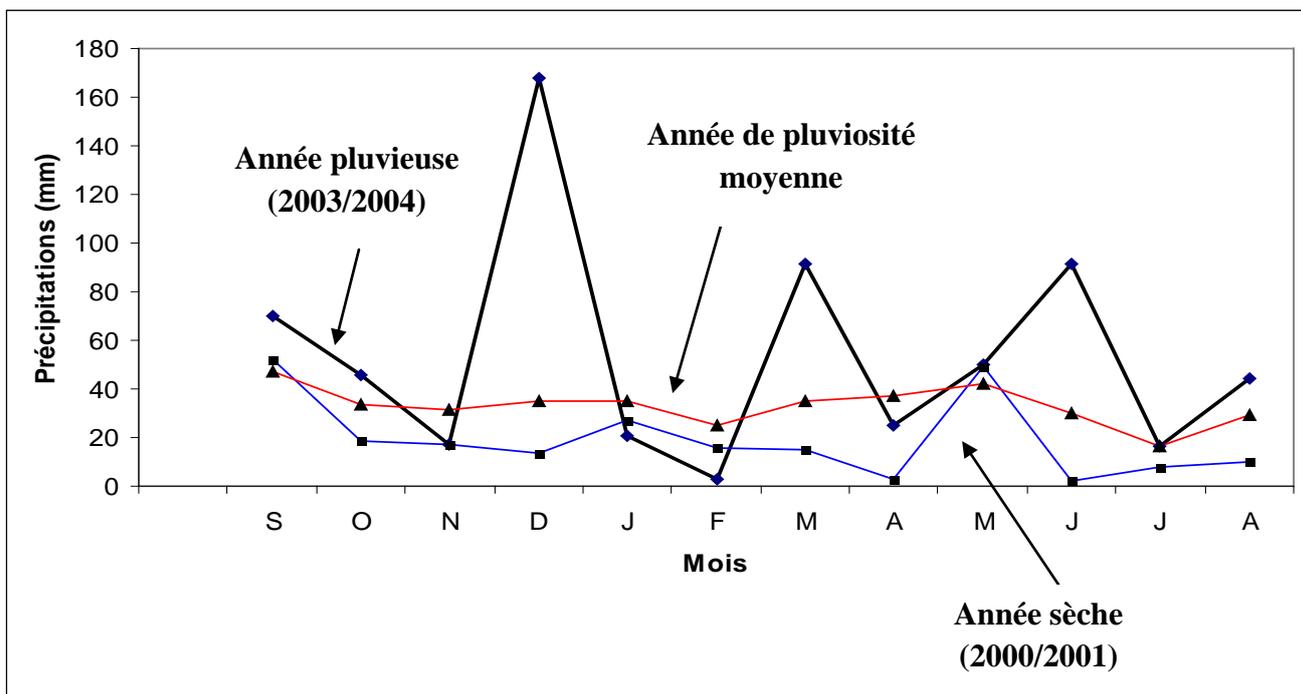


Figure n°5 Distribution interannuelle des précipitations mensuelles de la station de Tébessa (1984/1985 - 2009/2010). - In DJELAB Mokdad.

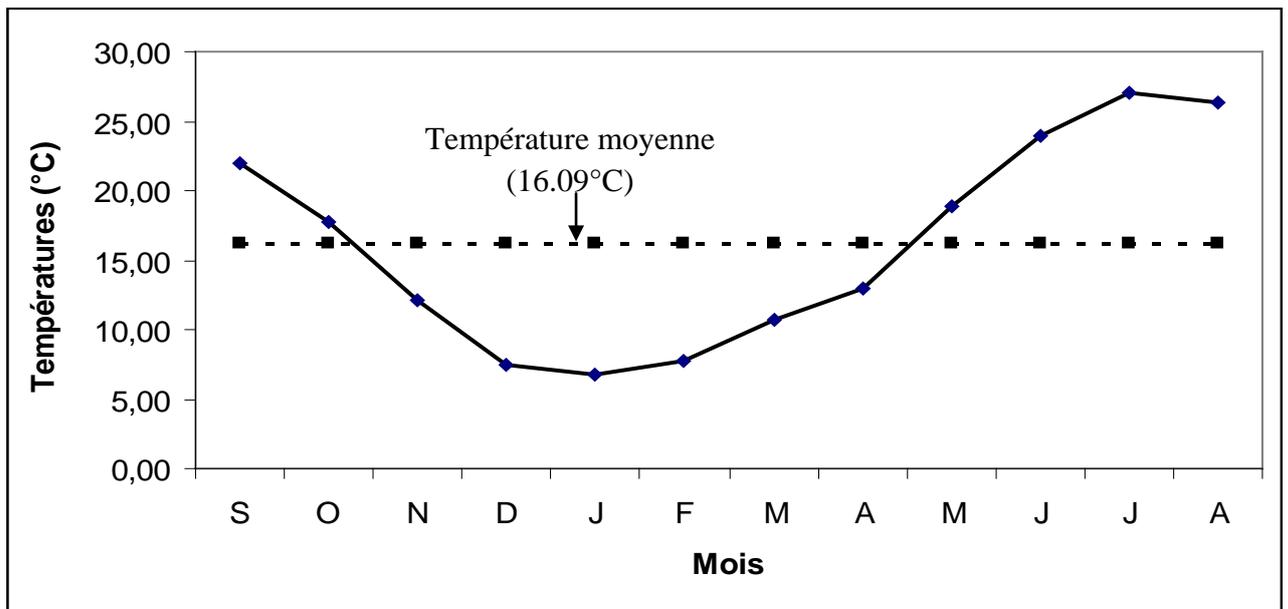


Figure n°6 : Courbe de distribution interannuelle des températures moyennes mensuelles (1984/1985 - 2009/2010). - In DJELAB Mokdad.

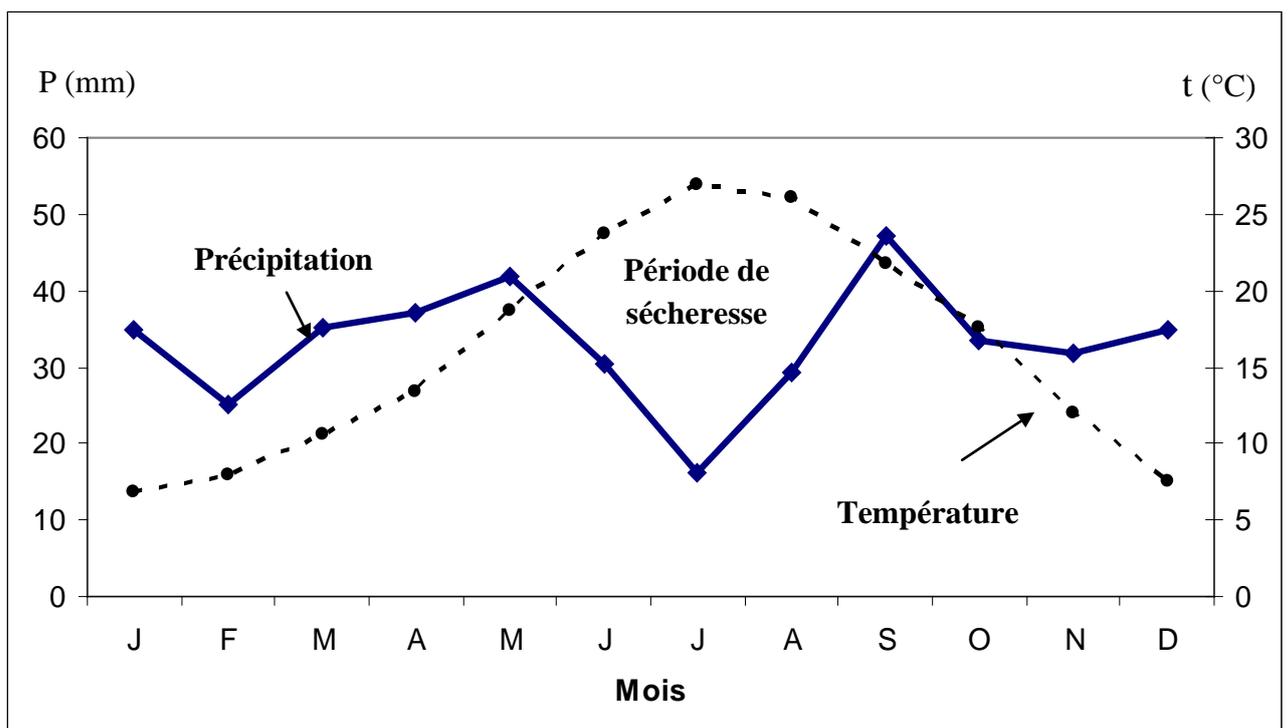


Figure n°7 : Diagramme pluviométrique de la station météorologique de Tébessa (1984/1985 - 2009/2010). - In DJELAB Mokdad.

Dans cette région, la distribution mensuelle d'une façon irrégulière de la pluviosité a permis de considérer qu'une année exceptionnellement pluvieuse n'est pas forcément l'année la plus excédentaire car l'excédent dépend seulement du taux d'arrosage de la saison hivernale où l'évapotranspiration potentielle est au minimum par chute de la température journalière (Température moyenne ne dépasse pas 7°C).

### III. Aperçu géologique et tectonique :

En se référant aux divers travaux géologiques entrepris dans la région d'étude par plusieurs auteurs notamment ceux du DUROZOY G. 1949 qui a établi la carte géologique de Tébessa (feuille n° 206) et l'esquisse géologique d'El Hammamet (feuille n° 205), la zone d'El Hammamet constitue la partie Sud Ouest du fossé d'effondrement de Tébessa-Morsott. Elle est formée par deux grands ensembles sédimentaires autochtones:

- Ensemble carbonaté à faciès calcaireux et marneux, qui représente les affleurements de bordures et de Djebels ;
- Ensemble de sédiments de remplissage alluvionnaire qui représente la plaine.

Comme le montre l'esquisse géologique de DUROZOY G. (1949) et le log litho stratigraphique (figures n° 8 et 9), la description des formations peut se présenter de plus récent au plus ancien comme suit :

**III.1 Limons récents ( $q^2$ ):** ces alluvions limoneuses occupent la partie aval et le centre de la plaine selon les parcours de l'Oued Chabroo et l'oued Serdiess et les oueds d'écoulement temporaire.

**III.2 Alluvions anciennes de piedmont ( $q_1$ ):** ce sont des formations de bordure de la plaine avec un changement de faciès, d'une formation argileuse constituée à partir des marnes emschériennes à celle caillouteuse vers les versants à partir des calcaires maestrichtiens. Ce sont la plupart du temps des cônes de défection.

**III.3 Matériel d'épandage ancien en terrasse ( $q_{II}$ ):** ce sont des cailloutis et argiles, peu épais en général, Il repose sur les marnes crétacées.

**III.4 Matériel d'épandage ancien ( $q_{II}$ ) :** ce sont des éboulis et des cônes de déjection anciens ravinés par les oueds, des gros éboulis, amas de blocs souvent énormes, les calcaires maestrichtiens paraissant disloqués et en cours de destruction par l'érosion ;

**III.5 Pliocène (P):** il est constitué par des argiles rouges, conglomérats et sables quartzeux, termes les plus anciens d'une série compréhensive Plio-Quaternaire. Les argiles rouges sont compactes, les conglomérats sont souvent bien cimentés.

#### III.6 Crétacé supérieur :

**III.6.1 Le Maestrichtien Moyen ( $C^{6b}$ ):** c'est une assise très constante et très homogène dans toute la région, il s'agit de 80 m environ de calcaires blancs massifs, bien lités, renfermant parfois de nombreuses empreintes d'Inocérames typiques.

**III.6.2 : Maestrichtien Inférieure ( $C^{6a}$ ):** Il est représenté par les marnes grises qui sont souvent masquées par les éboulis au pied de reliefs. L'épaisseur est d'une trentaine de mètres. Quelquefois deux gros bancs de calcaire ocre très dur existent à la base des marnes.

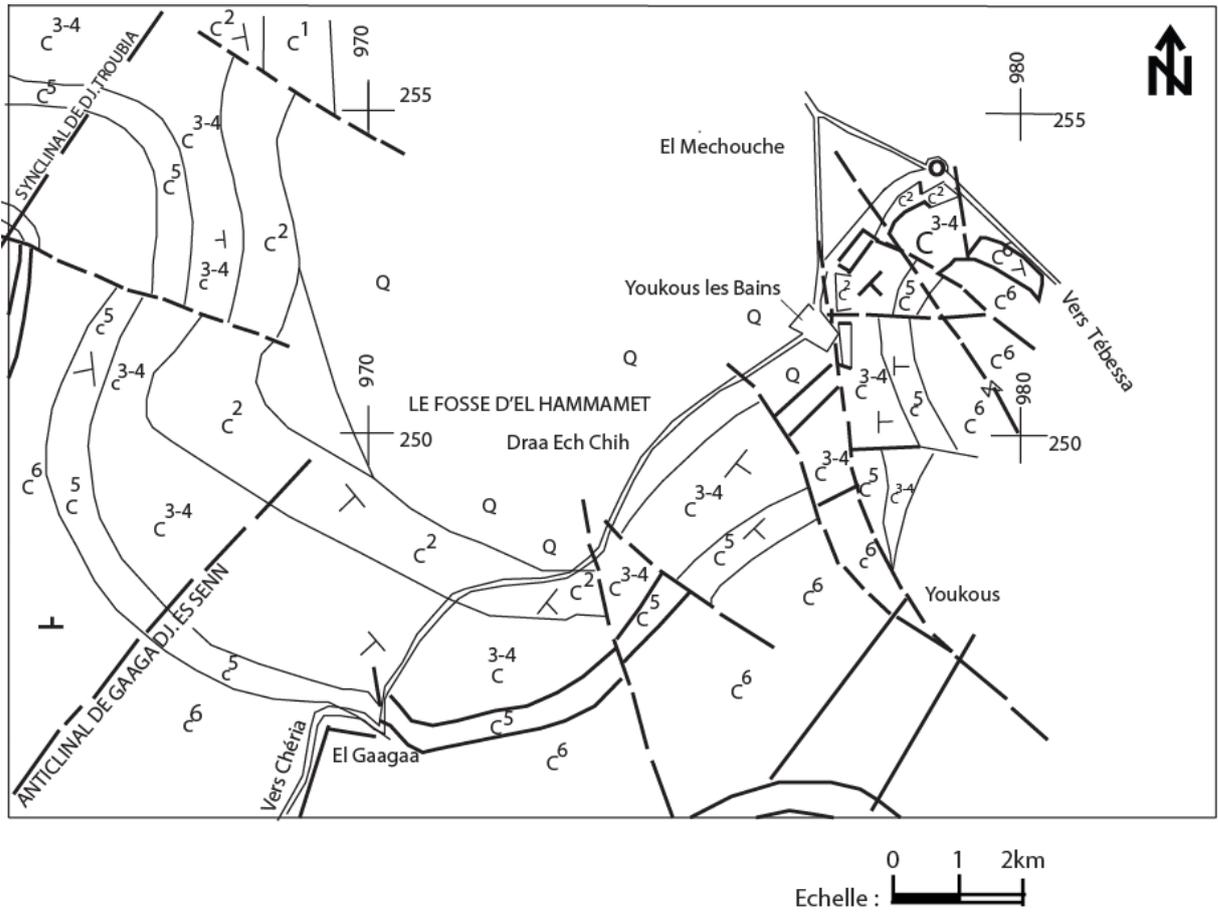


Figure n° 8 : Esquisse géologique de la zone d'étude (établie par DUROZOY G. 1949 et reprise par KOWALSKI W.M. 1997).

NB : Pour la légende, voir la page suivante - figure 9.

ERE	SYSTEME	ETAGE	EPAISSEUR m LITHOLOGIE	DESCRIPTION LITHOLOGIQUE	
<b>QUATERNAIRE</b>	<b>q<sub>2</sub></b>	Limons récents		Alluvions limoneuses	
	<b>q<sub>1</sub></b>	Alluvions anciens		Formations argileuses ou caillouteuses	
	<b>q<sub>II</sub></b>	Materiel ancien d'épandage		Cailloutis et argiles	
	<b>P</b>	Pliocène		Argiles rouges et conglomérats	
<b>SECONDAIRE</b>	<b>Crétacé supérieur</b>	<b>C<sup>6b</sup></b>	Maestrichtien moyen	80 m	Calcaires blancs massifs avec empreintes d'Inocérames
		<b>C<sup>6a</sup></b>	Maestrichtien inférieur	30 m	Marnes grises
		<b>C<sup>5</sup></b>	Campanien	60 m	Marno-calcaires
		<b>C<sup>3-4</sup></b>	Emschérien (Santonien Coniacien)	250 m	Marnes noires ou vertes
		<b>C<sup>2c</sup></b>	Turonien supér.	150 m	Marnes noires gypsifères, Marno-calcaires gris.
	<b>Crétacé supérieur</b>	<b>C<sup>2b</sup></b>	Turonien moyen	100 m	Calcaires beiges ou rosés
		<b>C<sup>2a</sup></b>	Turonien infér.	60-70 m	Marno-calcaires et Marnes
		<b>C<sup>1c</sup></b>	Cénomaniens supér.	200 m	Marnes jaunes avec quatre bancs de calcaire
		<b>C<sup>1b</sup></b>	Cénomaniens moyen	200 m	Marnes grises
		<b>C<sup>1a</sup></b>	Cénomaniens inf.	160 m	Marnes jaunes et noires à gypse

Figure n° 9 : Log lithostratigraphique synthétique de la géologie de la plaine d'El Hammamet (Tébessa).

Au dessus d'Ain Chabroo, sur Djebel Stah et Djebel Mestiri, les marnes passent à des marno-calcaires blancs qui n'ont pas distingués de l'assise suivante.

**III.6.3 Campanien ( $C^5$ ):** cet étage est constitué par une assise de 60 m de calcaires marneux blancs et crayeux. Il forme, quand il n'est pas masqué par les éboulis, une seconde falaise au-dessous des reliefs maestrichtiens.

**III.6.4 Emschérien (Santonien - Coniacien) ( $C^{3-4}$ ):** c'est une série épaisse (250 m) et monotone de marnes noires ou vertes (jaunes en altération) à rares passés de calcaire à la base.

**III.6.5 Turonien supérieur ( $C^{2c}$ ):** au dessous du dernier banc de lumachelles du Coniacien, le Turonien supérieur, épais de 150 m, comprend de haut en bas : des marnes noires gypsifères, des marno-calcaires gris en plaquettes à altération blanchâtres et de nouveau des marnes noires souvent lumachéliques et rognoneuses.

**III.6.6 Turonien moyen ( $C^{2b}$ ):** c'est une assise massive de 80 à 100 m de calcaires beiges ou rosés et de dolomies ou de calcaires dolomitiques. Les bancs sont épais, sauf dans la partie inférieure qui comprend uniquement des calcaires marneux.

**III.6.7 Turonien inférieur ( $C^{2a}$ ):** c'est une assise très constante de marno – calcaires gris en petits bancs, de marnes, de marno calcaires en plaquettes. L'épaisseur est de 60 à 70 m. On rencontre fréquemment à la base de petits Inocérames allongés à test noirs.

**III.6.8 Cénomaniens supérieur ( $C^{1c}$ ):** il s'agit des marnes jaunes avec quatre ou cinq bancs de calcaires ocre, épais, durs intercalés, et de Lumachelles. L'épaisseur est de 200 m.

**III.6.9 Cénomaniens moyen ( $C^{1b}$ ):** c'est une série très espèce de marnes grises sans fossiles avec quelques bancs de lumachelles à la base. L'épaisseur est de 200 m.

**III.6.10 Cénomaniens inférieur ( $C^{1a}$ ):** au sommet, on a de haut en bas des lumachelles grises en dalles minces alternant avec des marnes, puis deux bancs de calcaires gris compactes cristallins massifs intercalés dans des marnes. L'épaisseur est de 80 m.

A la base, sous l'assise précédente, on a de haut en bas : des marnes jaunes à gypse avec quelques bancs de lumachelles ocres ou jaunes, minces et quelques bancs, puis des marnes noires épaisses. L'épaisseur est de 60 - 80 m.

De point de vu tectonique, la totalité du bassin versant est affectée par une tectonique cassante bien développée faisant partie de la structure globale de la région de Tébessa. Le fossé d'effondrement est la conséquence de mouvements récents du socle, prolongeant celui de Kasserine à l'est, en Tunisie, se poursuivant au nord-ouest par celui de Morsott (plis de couverture). Ce graben recoupe d'anciennes structures, orientées selon une direction Sud Ouest - Nord Est, qui sont considérées comme plis de couverture. Ces structures sont anté -

Miocènes et les mouvements ont commencé au Campanien pour atteindre le point le plus aigu au Lutétien supérieur.

Les principaux traits structuraux de l'atlas saharien résultent de mouvements tectoniques déterminant l'évolution paléogéographique et structurale de la région. On distingue :

- Le plissement des séries sédimentaires ; qui se présente comme ensemble de plis à grand rayon de courbure et dont l'ossature est assurée par les niveaux calcaires crétacés. Les anticlinaux sont relayés par de grandes structures synclinales dont le cœur est constitué par des calcaires éocènes. Les principaux éléments structuraux sont caractérisés par l'homogénéité du plissement de direction nord est - sud ouest, suite à la phase tectonique atlasique fini-éocène.
- La genèse des fossés d'effondrement ; Ces fossés d'effondrements sont postMio-pliocène, ils sont allongés nord ouest – sud est accompagnés de grandes cassures de même direction qui constituent la structure générale de la région. Ils font partie du paysage des confins Algéro-Tunisien et s'étendent sur plusieurs kilomètres (fossés de Morsott-Tebessa). Ces fossés sont limités par des accidents majeurs en failles normales résultants généralement ; soit d'une phase distensive, soit induits par la translation des blocs nord est - sud ouest selon une rotation dextre (J.P.Richart 1969).

#### **IV. Aperçu hydrogéologique :**

Les études hydrogéologiques entreprises précédemment par plusieurs auteurs sur le fossé d'effondrement de Tébessa – Morsott ont permis de montrer dans cette localité la présence d'un aquifère de grande potentialité hydraulique dans le remplissage alluvionnaire du Quaternaire en raison de sa lithologie, sa grande puissance et ses bonnes paramètres hydrodynamiques.

Cet aquifère est formé par des horizons lenticulaires à faciès très hétérogènes composés essentiellement par des gros cailloutis de calcaires blancs, des galets de calcaires et de graviers mélangés de sables et d'argiles. Son plan d'eau est variable dans le temps et l'espace. Cet aquifère est en exploitation pour l'alimentation en eau potable par une batterie de dix huit (18) forages implantés (figure n° 10) à Youkous. Ces derniers sont profonds et n'atteignent pas le substratum à faciès marneux d'âge crétacé supérieur.

Les anciennes cartes piézométriques établies précédemment ont tous montré que l'écoulement souterrain des eaux est en général de direction préférentielle Ouest - Est avec des dénivelés piézométriques modérées à fortes d'amont en aval. Cette nappe se réalimente souterrainement par les affleurements carbonatés de bordure.

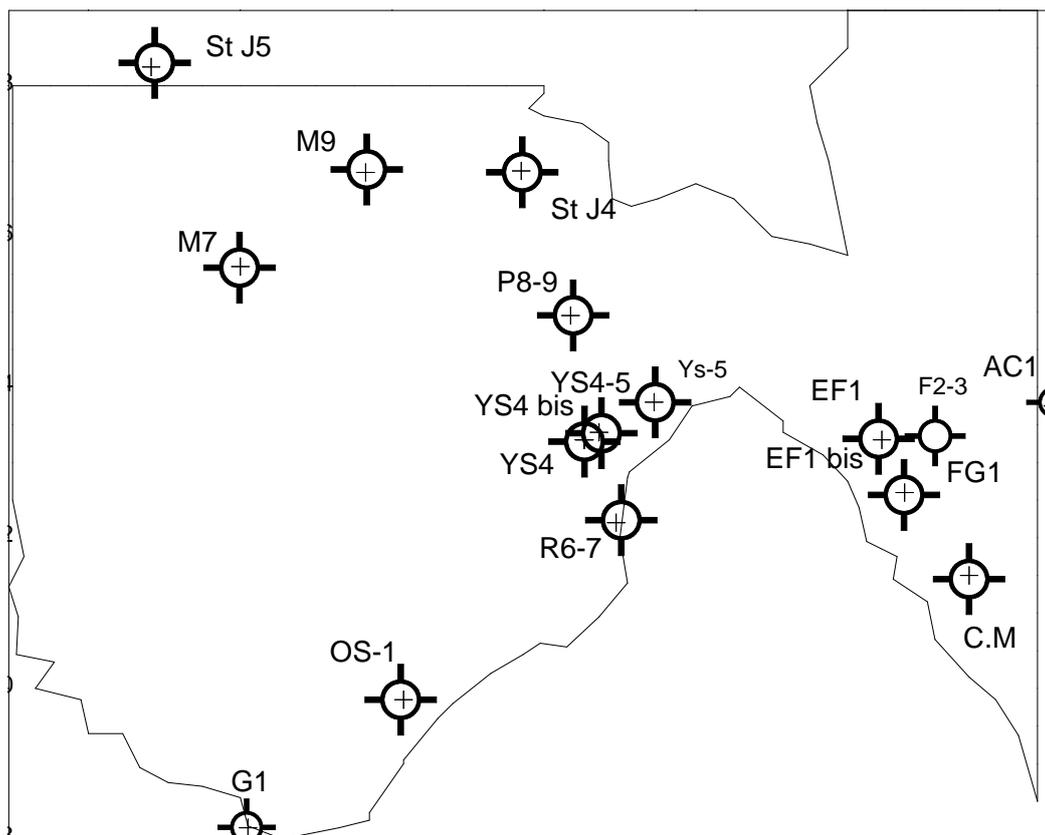


Figure n° 10 : Carte de position des forages implantés dans la plaine d'El Hammamet.

## **V. Conclusion :**

Cette brève exposition générale de la zone d'étude, nous a laissé de dire que cette zone est constituée par deux grands ensembles :

- Le premier ensemble constitue la plaine à sédiments de remplissage alluvionnaire Plio-Quaternaire,
- Le deuxième ensemble représente les anciens affleurements de bordures qui sont à faciès carbonatés d'âge crétacé.

Les crêtes et les falaises sont bien dégagées par le phénomène érosif.

Cette région se caractérise par un climat semi aride, se traduisant par une irrégularité mensuelle et annuelle du régime pluviométrique. Les pluies automnales sont les plus élevées cependant la saison estivale est toujours la plus sèche. Les précipitations tombées durant la période des hautes eaux représentent généralement 40% à 50 % de la pluviométrie annuelle.

Le froid est très rigoureux en saison hivernale.

Cette zone se caractérise par une forte évapotranspiration réelle et un faible excédent qui représente respectivement 91% et 9 %. Le déficit agricole annuelle est de six mois, allant du mois de mai jusqu'au mois d'octobre. Cependant la période excédentaire n'est que trois mois durant l'année ; janvier, février et mars. Le ruissellement et l'infiltration sont respectivement de 7 % et 2 %.

Dans cette localité, le remplissage alluvionnaire du Quaternaire constitue un aquifère de grande potentialité hydraulique en raison de sa lithologie, sa grande puissance et ses bonnes paramètres hydrodynamiques. Cet aquifère est en exploitation par une batterie de dix huit forages implantés à Youkous pour l'alimentation en eau potable de la population de la région de Tébessa.

**CHAPITRE II :**  
**GEOMETRIE DE L'AQUIFERE DU REMPLISSAGE**  
**ALLUVIONNAIRE**

## **I. Introduction :**

Dans l'objectif d'estimation de la réserve en eau de la nappe du remplissage alluvionnaire dans la plaine d'El Hammamet, il est impérativement d'étudier la géométrie de l'aquifère en question. L'identification de son extension horizontale et verticale permettra à la fin de déduire l'épaisseur de la couche saturée et sa variabilité spatiale.

Pour cela, et afin de définir la géométrie de l'aquifère du remplissage alluvionnaire de la dite zone, nous avons exploité les données de deux prospections géophysiques.

Par un essai d'étalonnage par apport aux logs géologiques de dix huit (18) forages (Tableau n°1) et aux affleurements de bordures et à la limite de la plaine d'El Hammamet nous avons réinterprété :

- Cent neuf (109) sondages électriques verticaux, réalisés en 1978 par la compagnie STRAJEXPORT PRAGUE, répartis sur dix (10) profils géoélectriques allant du profil « I » jusqu'au profil « R » (Figure n° 11),
- Douze (12) sondages électriques verticaux réalisés en 1970 par la compagnie générale de la géophysique (C.G.G.). Ils constituent les premiers sondages des profils F, G et H.

Au niveau des endroits de contact anormal du remplissage alluvionnaire avec les affleurements des couches plus anciennes, nous avons pris en considération des points limites où l'épaisseur de l'aquifère est fixée nulle.

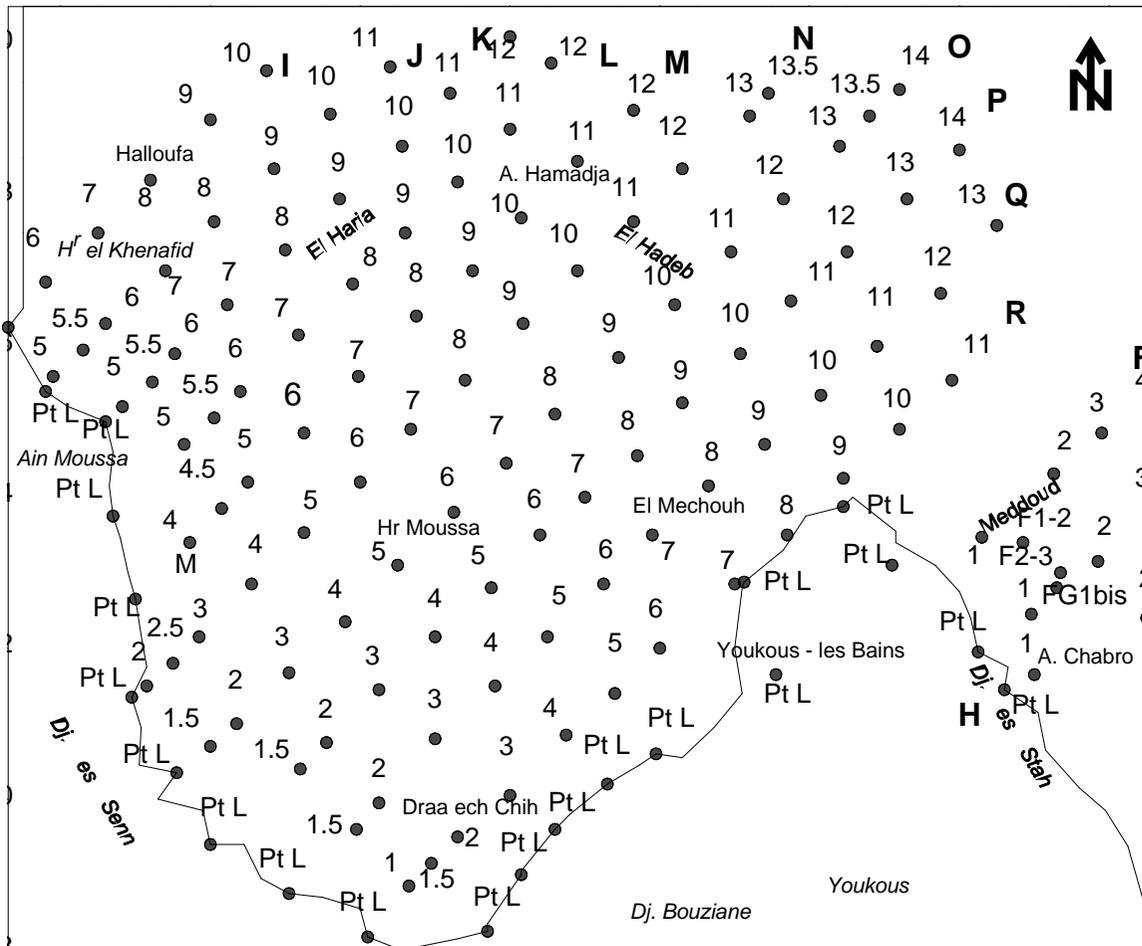
## **II. Réinterprétation des profils géoélectriques :**

La tentative de corrélation des données de résistivité des couches avec les natures lithologiques des affleurements de bordure et les logs géologiques de quelques puits implantés au centre de la plaine (Tableau n° 1), nous a permis de déduire ce qui suit :

**Le profil géoélectrique « I »** (Figure n°12), situé à la limite nord ouest de la plaine dans la zone appelée H<sup>r</sup> el Khenafid - Halloufa, révèle une succession de couches géoélectriques résistantes et conductrices qui s'intercalent. En subsurface, à partir du sondage électrique vertical n° 9, nous constatons la mise en place de deux couches lenticulaires qui appartiennent sans doute au remplissage alluvionnaire. La première lentille conductrice, de résistivité et d'épaisseur ne dépassant pas respectivement 7  $\Omega$ m et 35 m, est visualisée au niveau des deux sondages électriques verticaux n° 10 et 11, elle caractérise certainement une nature argileuse. La deuxième lentille résistante, de résistivité et d'épaisseur ne dépassant pas respectivement 13  $\Omega$ m et 30 m, est apparue à la limite de la zone d'étude au niveau du sondage électrique vertical (S.E.V.) n° 9. Elle indique absolument des sédiments à éléments grossiers de sables et de graviers avec peu d'argiles.

Tableau n° 1 Inventaire des forages implantés dans la plaine d'El Hammamet (Tébessa-Algérie).

N:	Sigle du forage	Coordonnées Lambert			Profondeur du forage
		X (m)	Y (m)	Z (m)	
1	EF1,BIS	980,250	253,500	789	180
2	EF-1	980,450	253,300	789	265
3	AC1 BIS	982,710	253, 750	777	140
4	St J4	975,7	256,87	860	45
5	YS-5	977,45	253,8	847	22.4
6	CM	981,6	251,5	780	57
7	FG-1	980,75	252,6	785	202.5
8	G1	972,1	248,15	971	80
9	P8-9	976,35	254,95	822	150
10	OS-1	974,15	249,85	895	420
11	St J5	970,825	258,25	775	60
12	R6-7	976,95	252,2	860	200
13	YS-4	976,525	253,3	840	205
14	YS4-5	976,725	253,4	848	175
15	YS-4bis	976,534	253,3	840	170
16	M7	972	255,6	863	150
17	AC1	982,7	253,75	777	200
18	F2-3	981.35	253.5	783	191



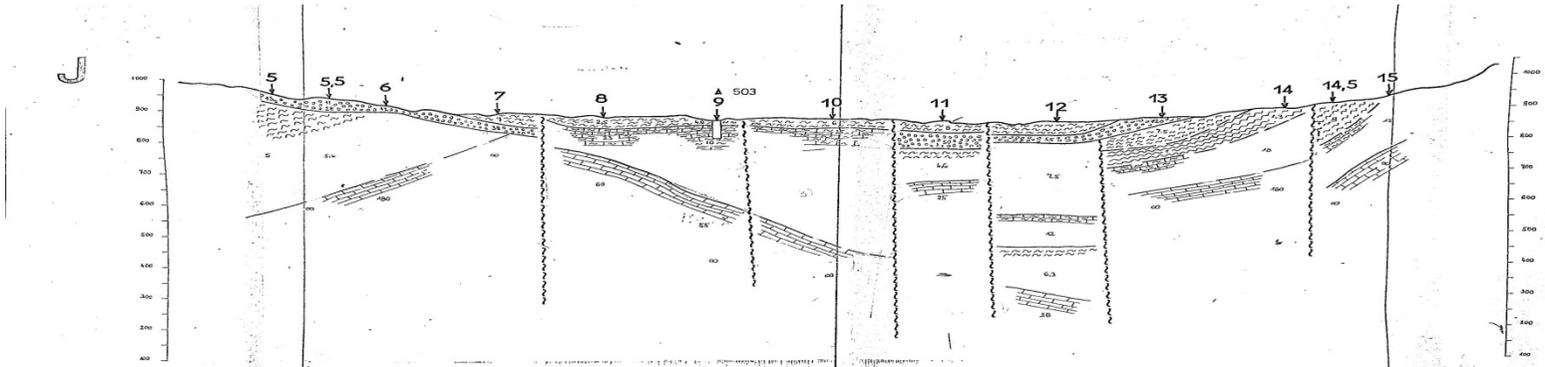


Au dessous de cette mince couverture alluvionnaire, nous observons une superposition de cinq couches géoélectriques, à savoir de haut en bas :

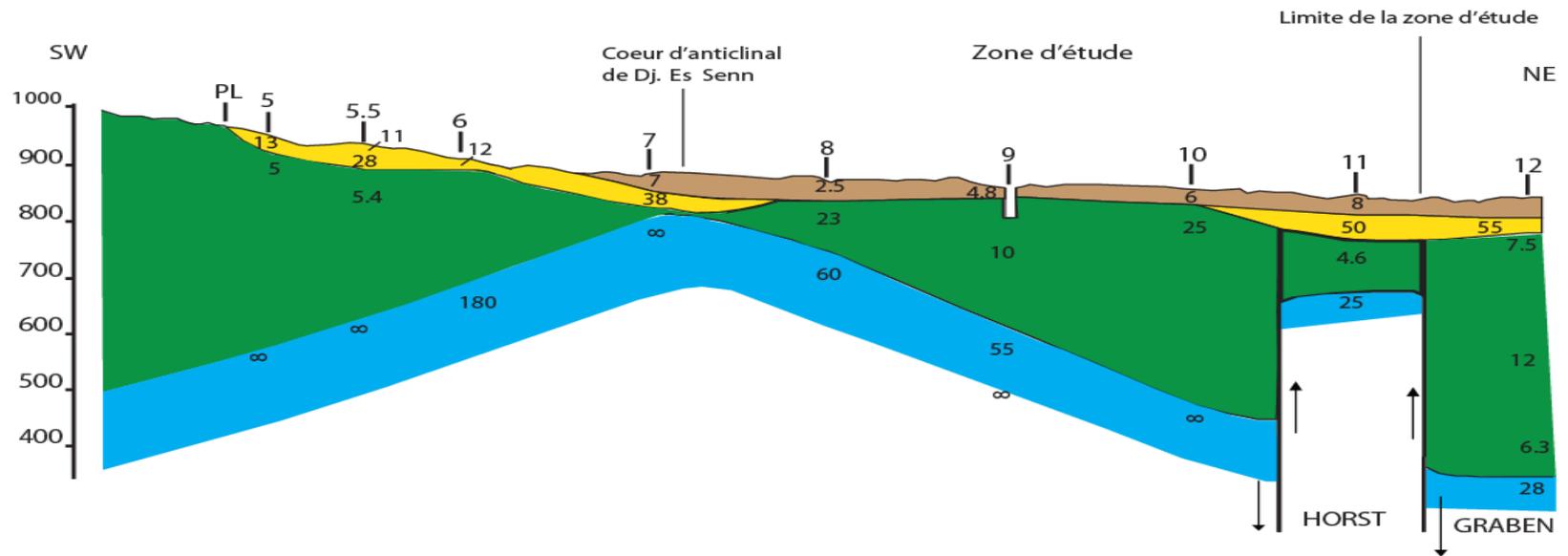
- La première couche est conductrice de résistivité 4.8 à 7.8  $\Omega\text{m}$  et épaisse d'épaisseur variant de 50 à 125 m elle est constatée en affleurement au niveau du sondage électrique vertical (S.E.V.) n° 8 et en dessous du remplissage alluvionnaire au niveau des sondages électriques verticaux allant du S.E.V. n° 9 au S.E.V. n°14. Cette couche ne peut être attribuée qu'aux formations marneuses du Campanien - Maestrichtien inférieur ( $C^5 - C^{6a}$ ).
- La deuxième couche de dessous de résistivité variant de 15 à 25  $\Omega\text{m}$  et d'épaisseur atteignant 175 m pourrait caractérisée les marno-calcaires de l'Emschérien supérieur (Santonien  $C^4$ ).
- La troisième couche très conductrice ( $2.4 < \rho < 9 \Omega\text{m}$ ) et puissante, détectée en profondeur par les sondages électriques verticaux allant du S.E.V. n°8 au S.E.V n° 11 et aperçue en surface par les deux premiers sondages (S.E.V. n°6 et n°7), constitue normalement les marnes d'âge Turonien supérieur – Emschérien inférieur ( $C^{2c} - C^3$ ).
- La quatrième couche plus profonde, apparue à une profondeur dépassant 160 m aux deux premiers sondages et au S.E.V. n°11 et à une profondeur variant entre 425 et 560 m par les S.E.V. n° 8,9 et 10, est une couche très résistante de résistivité dépassant 90  $\Omega\text{m}$  et une épaisseur dépasse 200 m. Selon le principe de superposition, cette couche géoélectrique représente les calcaires du Turonien moyen ( $C^{2b}$ ).
- La dernière couche que nous pouvons la considérer comme substratum des calcaires du Turonien, n'a été détectée qu'au niveau du premier sondage électrique verticale de ce profil électrique (S.E.V. n°6) à une profondeur 475 m. Cette couche géoélectrique très conductrice de résistivité 3.6  $\Omega\text{m}$  constitue évidemment les marnes du Cénomaniens - Turonien inférieur ( $C^1 - C^{2a}$ ).

La variation très considérable des niveaux de profondeur de détection de ces couches traduit l'existence des contacts anormaux entre les différentes couches anciennes et explique bien que la région a subi des mouvements tectoniques très cassants auparavant. Alors, des failles ont été illustrées avec des grands rejets. Comme exemple, le rejet de la faille localisée entre S.E.V. n°7 et n°8 atteint 350 m. Dans l'ensemble du profil, nous observons une structure géologique complexe caractérisée par la mise en place des grabens et des horsts en escaliers.

**Le profil géoélectrique « J »** (Figure n°13), montre le début d'élargissement latéral du remplissage alluvionnaire du Quartenaire vers la plaine. La lentille argileuse de surface a été détectée à partir du sondage n°7 avec une résistivité qui varie entre 2.5 à 8  $\Omega\text{m}$ .



a) Profil réalisé par STRAJEXPORT PRAGUE. en 1978



b) Profil réinterprété par nous même (Mai 2022)

**Figure n° 13 Profil géoélectrique J**

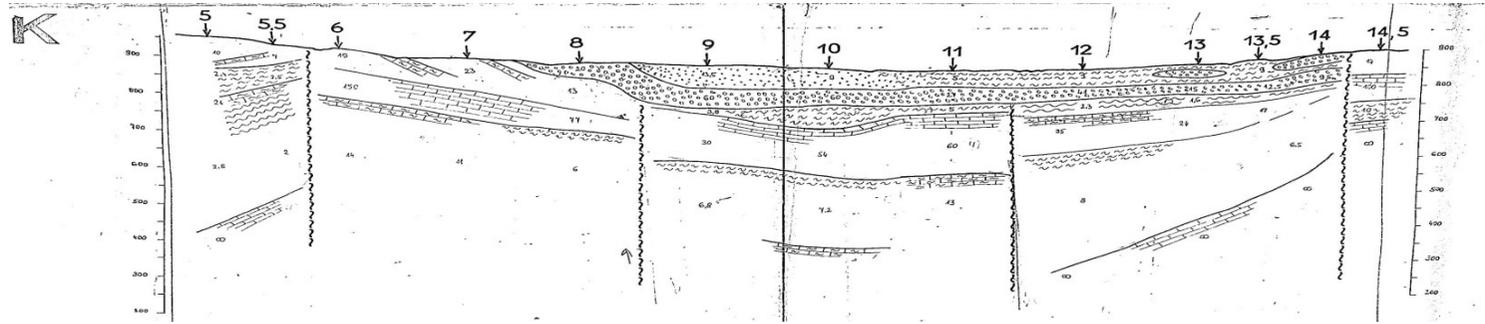
La couche géoélectrique résistante de sables et graviers a été aperçue par les sondages électriques verticaux numérotés de 5 à 7 avec une résistivité de 12 à 38  $\Omega\text{m}$  et par les deux sondages n°11 et 12 avec une résistivité atteignant 55  $\Omega\text{m}$ . Cette couche résistante caractérise un sédiment à éléments plus grossiers (gros graviers et cailloutis de calcaires). Le substratum de cette couverture Quaternaire est marneux et marno-calcaireux d'âge Emschérien – Campanien où la résistivité est de 5  $\Omega\text{m}$  pour les marnes et entre 10 et 25  $\Omega\text{m}$  pour les marno-calcaires.

La structure globale au niveau de ce profil J, est un anticlinal dont la charnière du grand pli est localisée au niveau des sondages électriques verticaux n°7 et 8. Le cœur est calcaireux d'âge Turonien moyen. A partir du S.E.V. n°10, la structure est ainsi faillée avec des rejets assez forts en marquant des horsts et des grabens.

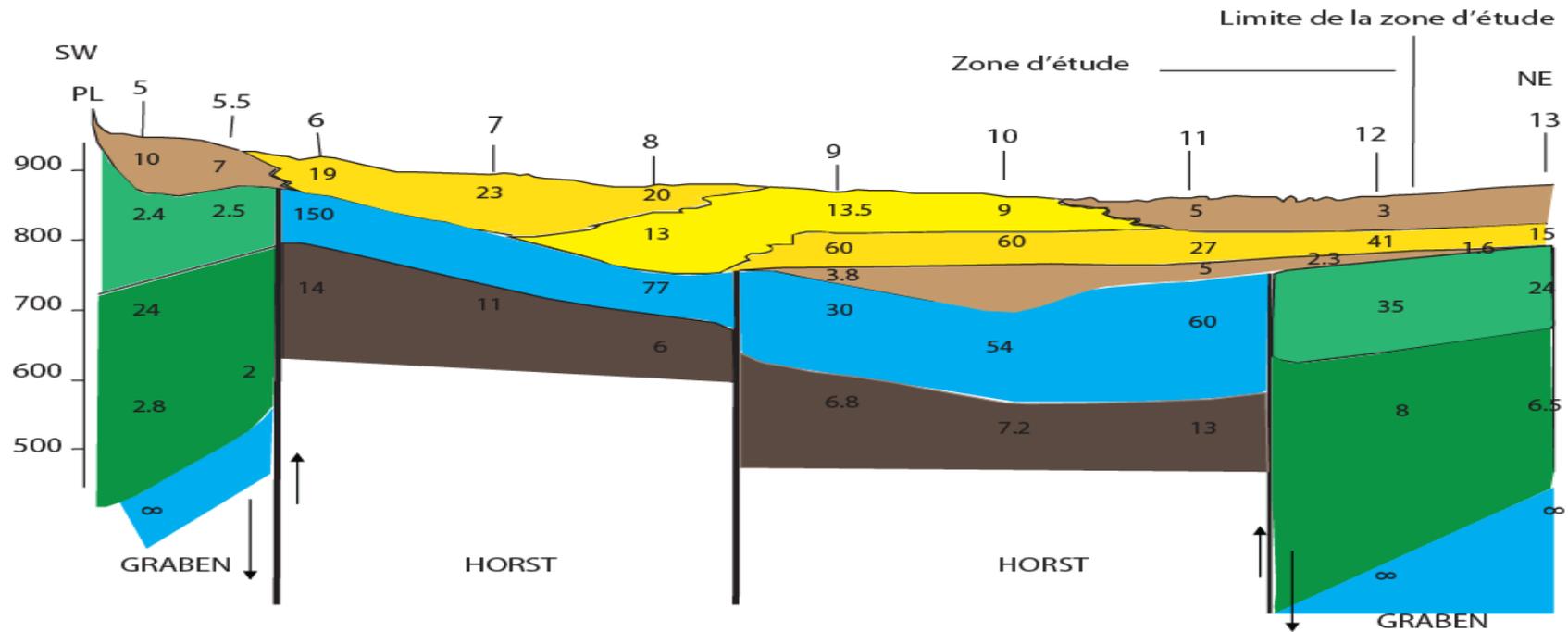
**Le profil géoélectrique « K »** (Figure n°14), a mis en évidence un remplissage alluvionnaire plus résistant et plus épais. La couche résistante s'étend sur la totalité du profil avec une large variation horizontale et verticale de la résistivité, ceci indique bien le changement latéral de faciès d'un dépôt de sables argileux de résistivité 13 - 15  $\Omega\text{m}$  à un dépôt de graviers et cailloutis de calcaires de résistivité 19 à 60  $\Omega\text{m}$ . A partir du sondage n°11, cette couche résistante du remplissage devient en dessous de la lentille argileuse ayant une résistivité 3 à 5  $\Omega\text{m}$ . Le substratum de cette couverture alluvionnaire devient calcaireux d'âge Turonien moyen au niveau des trois sondages n° 6, 7 et 8. La structure géologique générale déduite précédemment est bien conservée au niveau de ce profil.

**Le profil géoélectrique « L »** (Figure n°15) révèle un remplissage alluvionnaire totalement résistant marqué par une nette variation latérale de la résistivité. La lentille argileuse est complètement disparue, c'est-dire son extension vers la plaine est limitée à un endroit limitrophe de ce profil avec le profil géoélectrique précédent. Dans ce remplissage résistant, trois lentilles géoélectriques peuvent être distinguées :

- La première lentille de résistivité 18  $\Omega\text{m}$ , d'extension latérale et verticale très limitée aux sondages n° 7 et 8, caractérise un sédiment de sables et de graviers avec peu d'argiles,
- La deuxième lentille du dessous, qui s'allonge du sondage n° 5 à celui n° 9 avec une résistivité qui varie de 28 à 400  $\Omega\text{m}$  (S.E.V. n° 5.5), caractérise un sédiment de gros graviers et cailloutis de calcaires. Son épaisseur est de 30 à 75 m,
- La troisième lentille, constituant la base, débute du S.E.V. n° 7 jusqu'au S.E.V. n° 13, sa résistivité varie entre 9.5 à 19  $\Omega\text{m}$ . Elle représente un sédiment de sables argileux, de sable fin et de graviers. Cette lentille est plus épaisse au niveau des sondages 8, 9 et 10 où l'épaisseur est de 110 à 150 m.

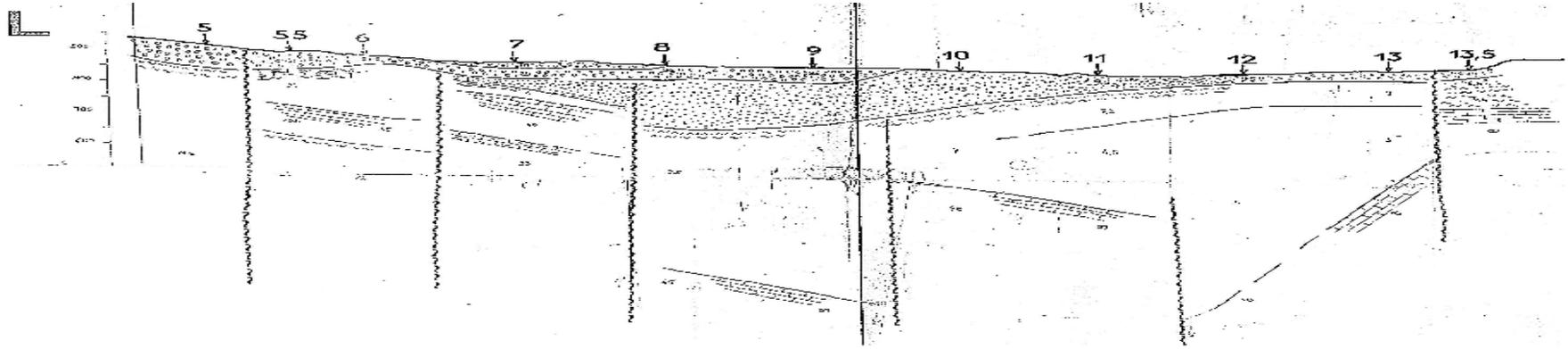


a) Profil réalisé par STRAJEXPORT PRAGUE. en 1978

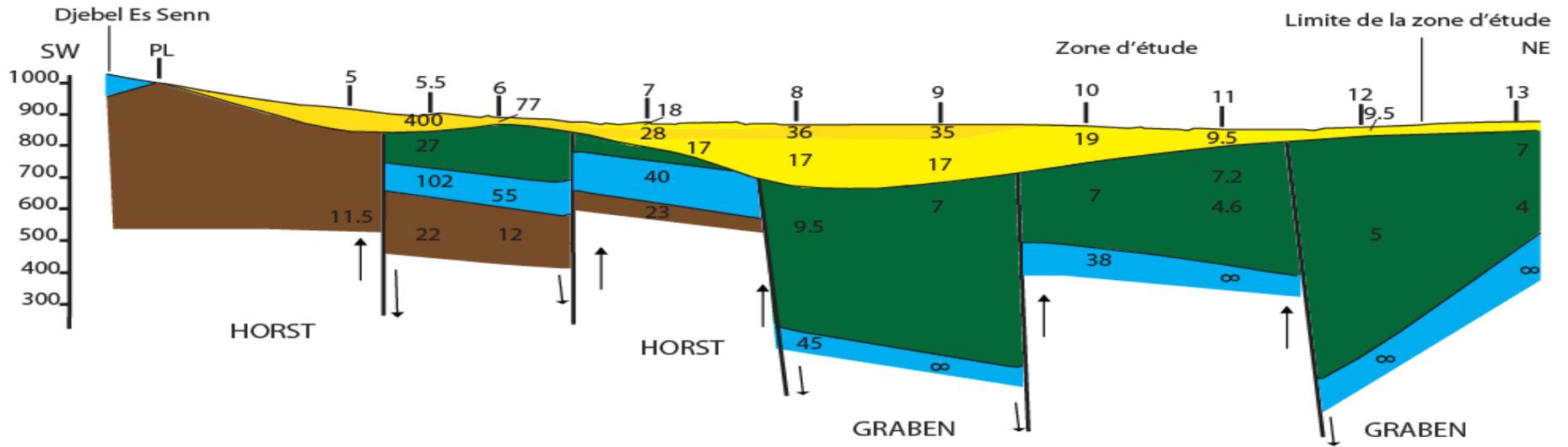


b) Profil réinterprété par nous même (Mai 2022)

Figure n° 14 Profil géoélectrique K



a) Profil réalisé par STRAJEXPORT PRAGUE. en 1978



b) Profil réinterprété par nous même (Mai 2022)

Figure n° 15 Profil géoélectrique L

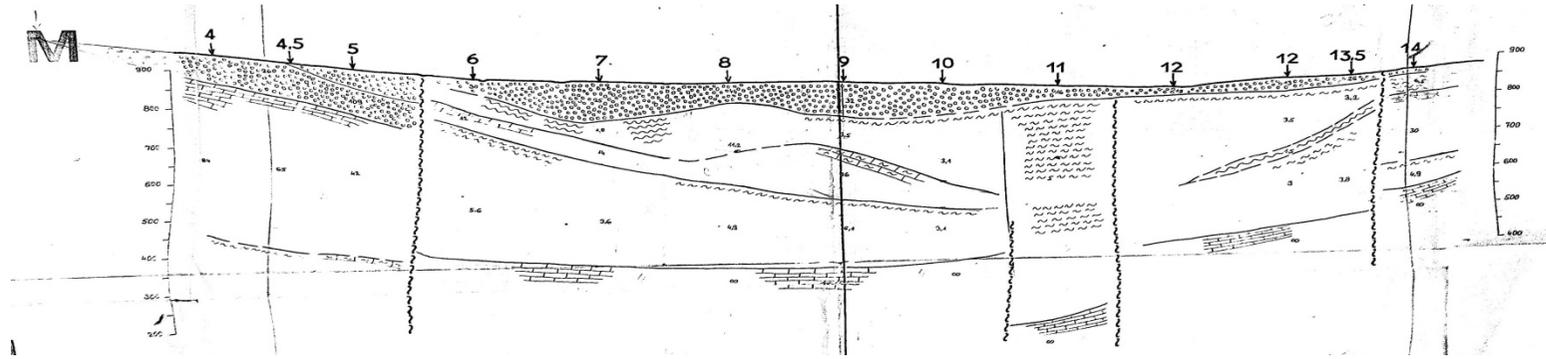
Au centre du profil, précisément au niveau des sondages 8 et 9, le substratum à facies marneux et marnocalcaires se trouve à 200 m de profondeur, cependant aux extrémités, il se trouve à une profondeur ne dépassant pas 30 m. La structure géologique générale est de même, caractérisée par la présence des failles avec des rejets assez forts en marquant des horsts et des grabens.

**Le profil géoélectrique « M »** (Figure n° 16) présente aussi un remplissage alluvionnaire résistant qui se caractérise par des ondulations de son substratum en donnant des dépressions et des dômes. Ce substratum est calcaireux d'âge Turonien moyen au niveau des trois premiers sondages (S.E.V. n° 4, 4.5 et 5) et marneux d'âge Emschérien à partir du sondage électrique vertical n°6. Les calcaires du Turonien moyen sont très épais atteignant 400 m d'épaisseur et les marnes d'âge Cénomaniens - Turonien inférieur n'ont été détectées qu'au niveau des trois premiers sondages avec une profondeur 475 à 500 m.

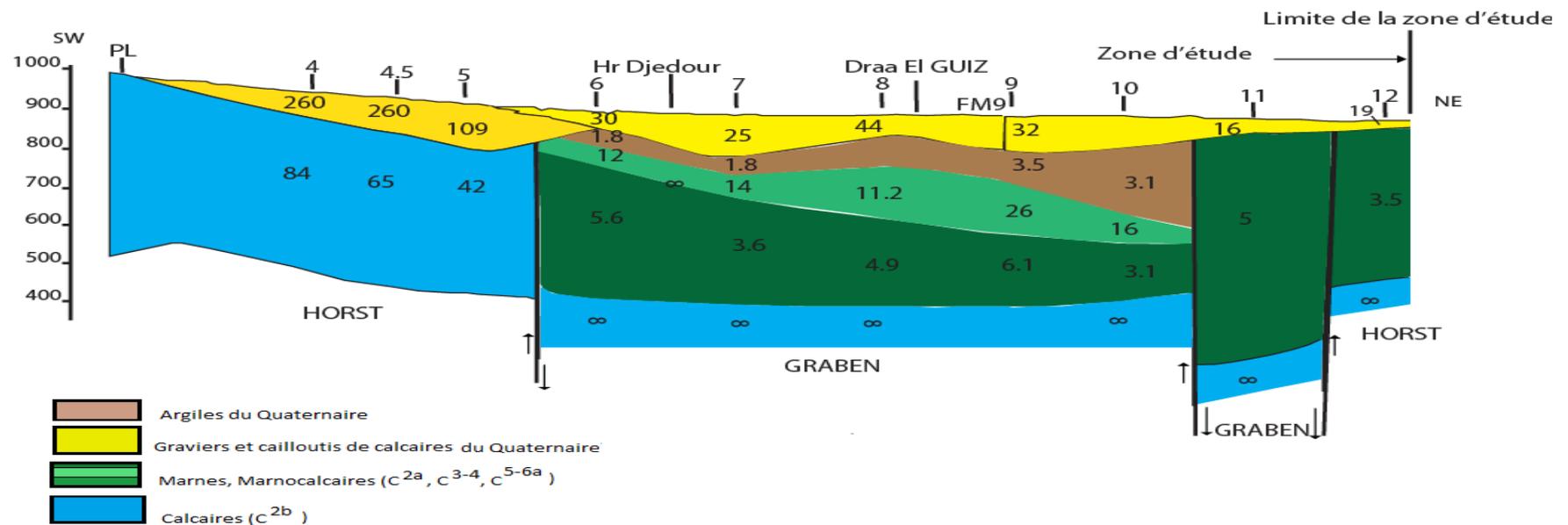
**Le profil géoélectrique « N »** (Figure n° 17) a mis en évidence une diminution de l'épaisseur de la couverture alluvionnaire plus en allant vers la limite nord jusqu'à son disparition totale d'une part et l'affleurement de son substratum marneux au niveau du S.E.V. n° 10 d'autre part. Cependant, aux sondages allant du S.E.V. n° 2 au S.E.V. n° 6, cette couverture alluvionnaire résistante reste épaisse atteignant 150 m. Sa résistivité oscille entre 18 et 100  $\Omega$  m indiquant un dépôt de sédiments beaucoup plus caillouteux et graveleux. Nous rappelons ainsi l'existence au niveau du S.E.V. n°6 d'une petite lentille de résistivité 9  $\Omega$ m d'argile sableuse.

La structure générale est analogue à celle donnée par les profils géoélectriques précédents.

**Le profil géoélectrique « O »** (Figure n° 18) a montré juste au niveau du sondage n°2 une importante dépression de cette couverture alluvionnaire résistante du Quaternaire, celle-ci est marquée par la détection du substratum à facies calcaireux du Turonien moyen à 430 m de profondeur par rapport au niveau de sol. Cependant, au sondage n° 4, le substratum à facies marneux d'âge Emschérien commence à s'élever pour être en subsurface au niveau des sondages électriques verticaux n°5, 7, 9 et 10 et entièrement en affleurement à la surface au niveau du sondage n°8 et ensuite au niveau des cinq derniers sondages électriques verticaux (S.E.V. n° 11, 12, 13, 13.5 et 14). En ce profil géoélectrique, nous remarquons aussi une légère baisse de la résistivité électrique ( $9.4 < \rho < 65 \Omega$ m) dans l'ensemble de ce remplissage alluvionnaire résistant. La structure générale reste compact inchangée à celle précisée auparavant par les profils géoélectriques précédents.

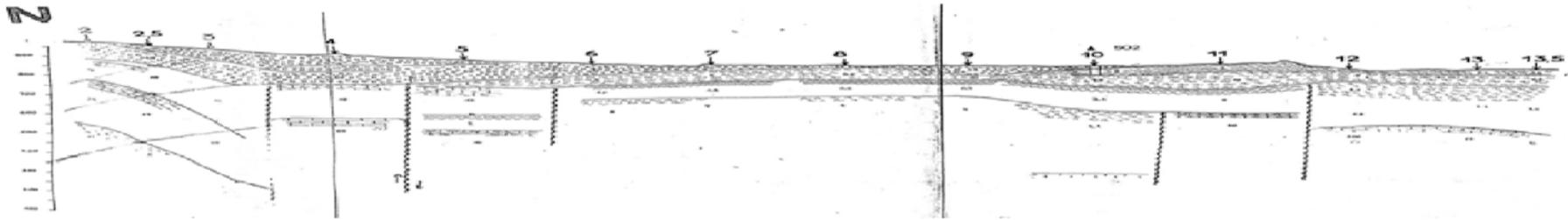


a) Profil réalisé par STRAJEXPORT PRAGUE. en 1978

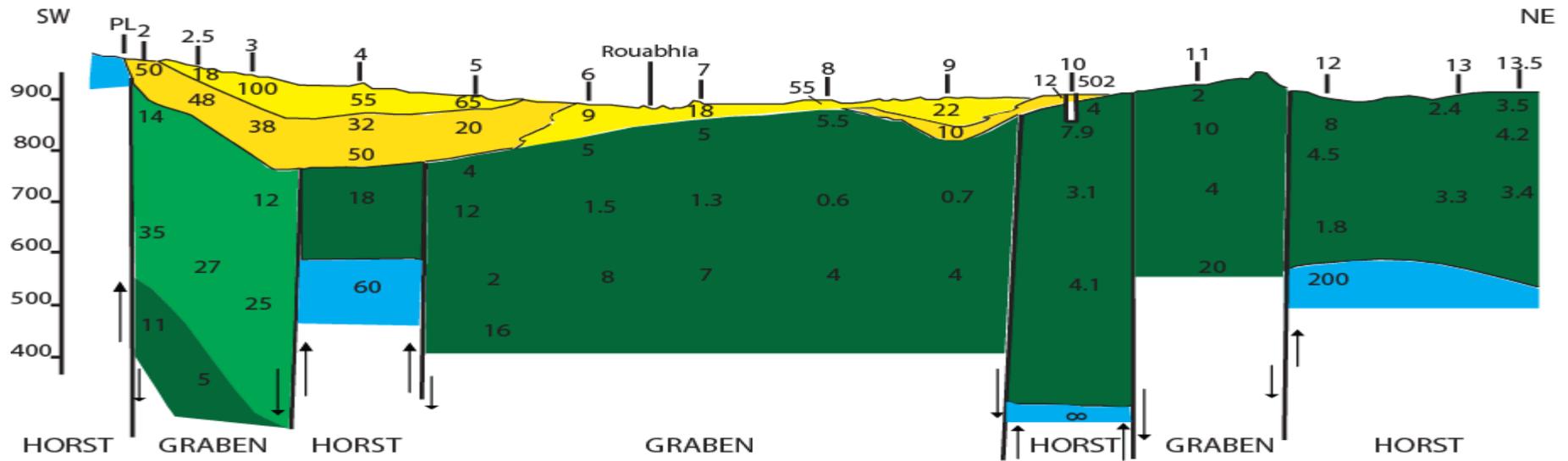


b) Profil réinterprété par nous même (Mai 2022)

Figure n° 16 Profil géoélectrique M

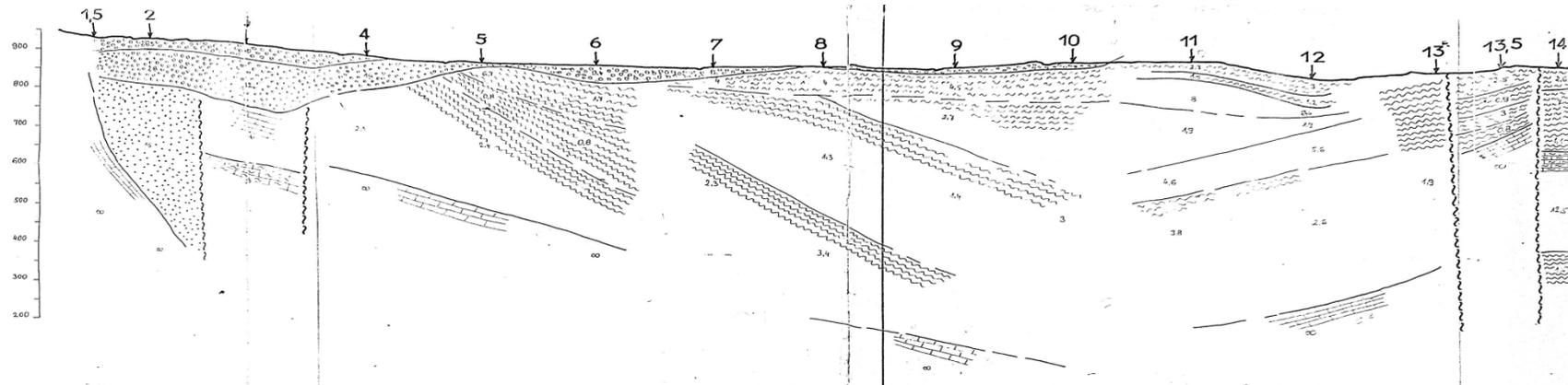


a) Profil réalisé par STRAJEXPORT PRAGUE. en 1978

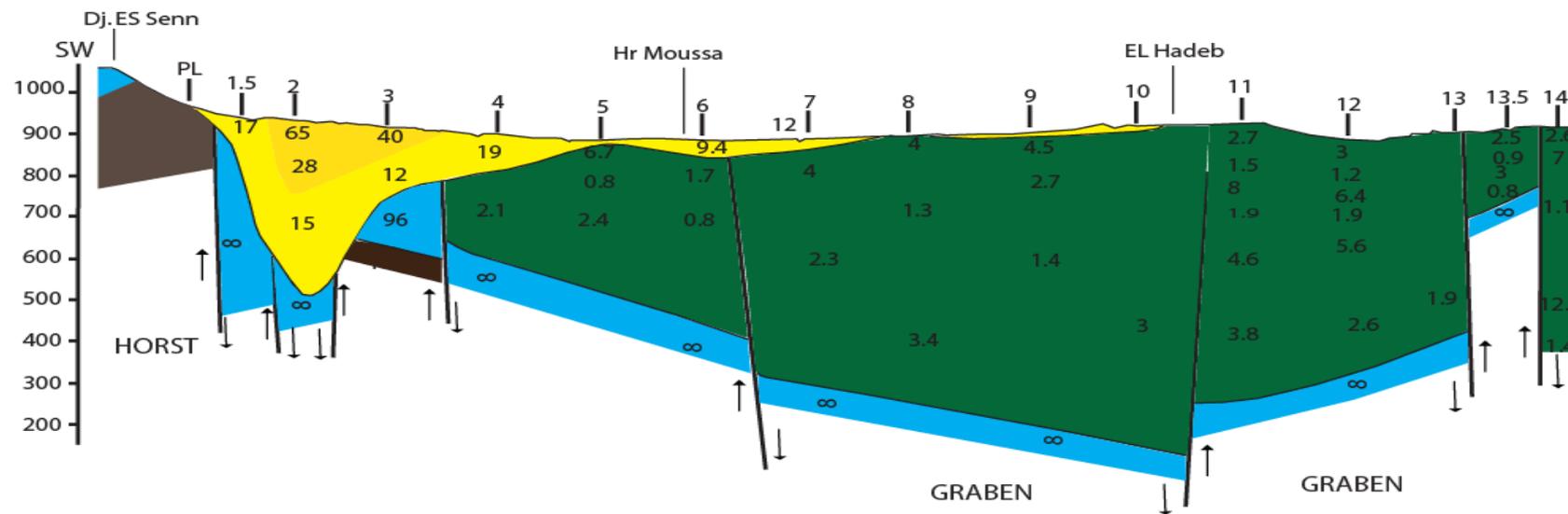


b) Profil réinterprété par nous même (Mai 2022)

Figure n° 17 Profil géoélectrique N



a) Profil réalisé par STRAJEXPORT PRAGUE. en 1978



b) Profil réinterprété par nous même (Mai 2022)

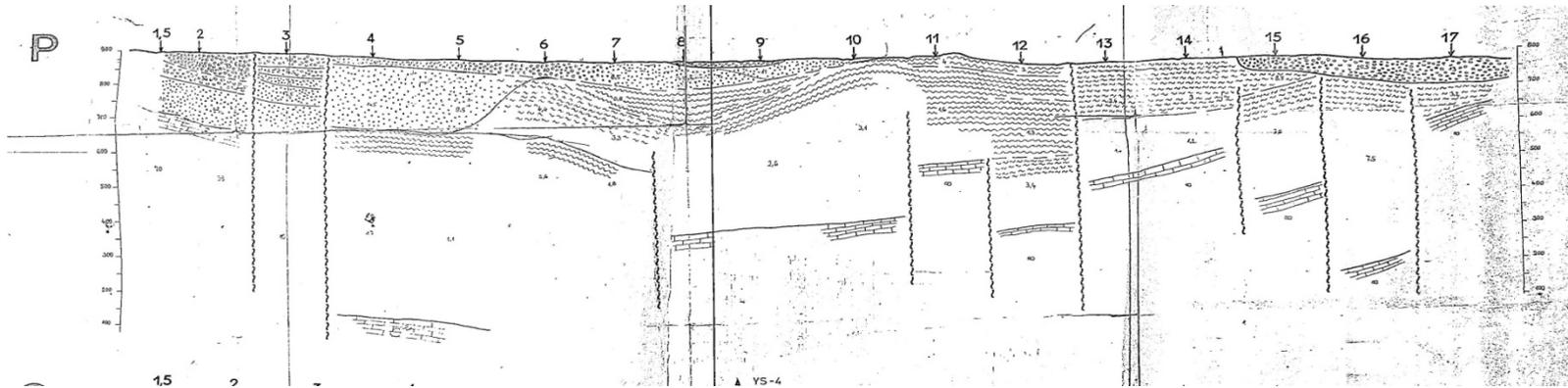
Figure n° 18 Profil géoélectrique O

**Le profil géoélectrique « P »** (Figure n° 19), a mis en évidence un remplissage alluvionnaire résistant qui s'étend du premier sondage jusqu'au sondage n° 10, il se présente en deux dépressions séparées au niveau du sondage n° 6 par un dôme.

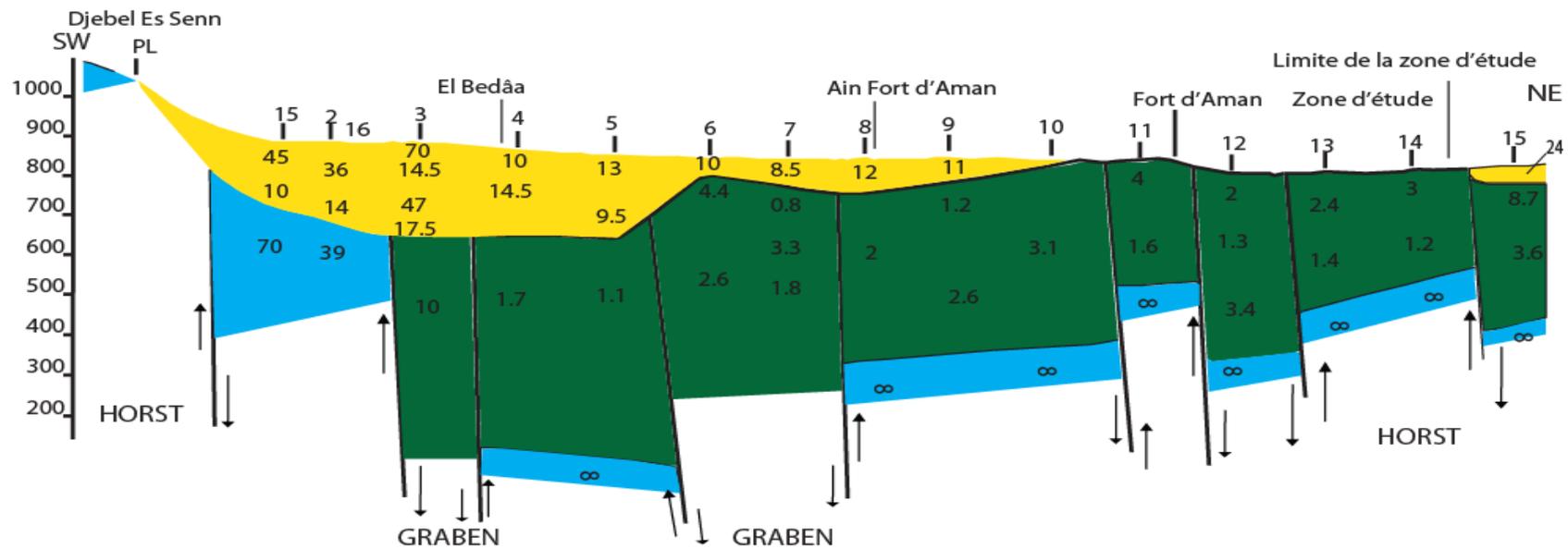
La plus importante est celle découverte par les sondages électriques verticaux allant du premier au cinquième, en cet endroit l'épaisseur atteint 235 m (S.E.V. n°3). Mais, la deuxième dépression est moins importante où l'épaisseur est au maximum 77.5 m (S.E.V. n° 8). Le substratum est de nature marneuse d'âges Turonien supérieur – Emschérien – Campanien, excepté au niveau des deux premiers sondages où ce substratum est de nature calcaireuse d'âge Turonien moyen. A partir du sondage n°10 jusqu'à la limite nord de la zone d'étude, ce substratum affleure en surface.

**Le profil géoélectrique « Q »** (Figure n° 20 ), montre une structure géoélectrique semblable à celle observée au niveau du profil précédent. Toutefois, le remplissage devient très puissant, caractérisé par la présence de deux grandes dépressions. Au niveau de la première dépression, la plus importante, l'épaisseur de la couverture alluvionnaire atteint 530 m (S.E.V. n°2). Le substratum est de même, il est de nature calcaire d'âge Turonien moyen au niveau des deux premiers sondages et marneux d'âge Turonien supérieur – Emchérien - Campanien-Maestrichtien inférieur au niveau des autres sondages électriques verticaux. Ce substratum apparait aussi en surface à partir du sondage n°11 jusqu'à la limite nord de la zone d'étude.

**Le profil géoélectrique « R »** (Figure n° 21), situé en parallèle de la ligne de crête délimitant le bassin versant, donne aussi une structure analogue mais avec un substratum de remplissage alluvionnaire très profond où nous le constatons non détecté à une profondeur dépassant 620 m au niveau de quatre sondages électriques verticaux (S.E.V. n° 1.5, 3, 4, 6). La particularité de ce profil est que ce substratum est calcaireux d'âge Turonien moyen du premier au septième sondage et marneux du huitième au dernier sondage. Le non détection du substratum explique bien l'ampleur de l'effondrement qu'a affecté le bassin versant de Tébessa. Le profil illustre bien que cet effondrement est très fort en forme d'escaliers en donnant naissance à des horsts et des grabens. Les rejets de failles sont grands et dépassant 700 m.

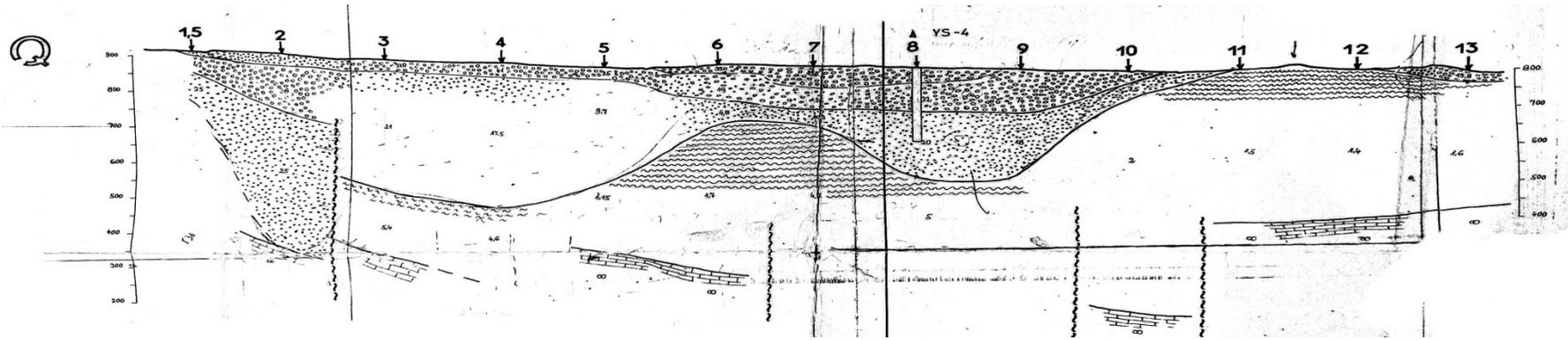


a) Profil réalisé par STRAJEXPORT PRAGUE. en 1978

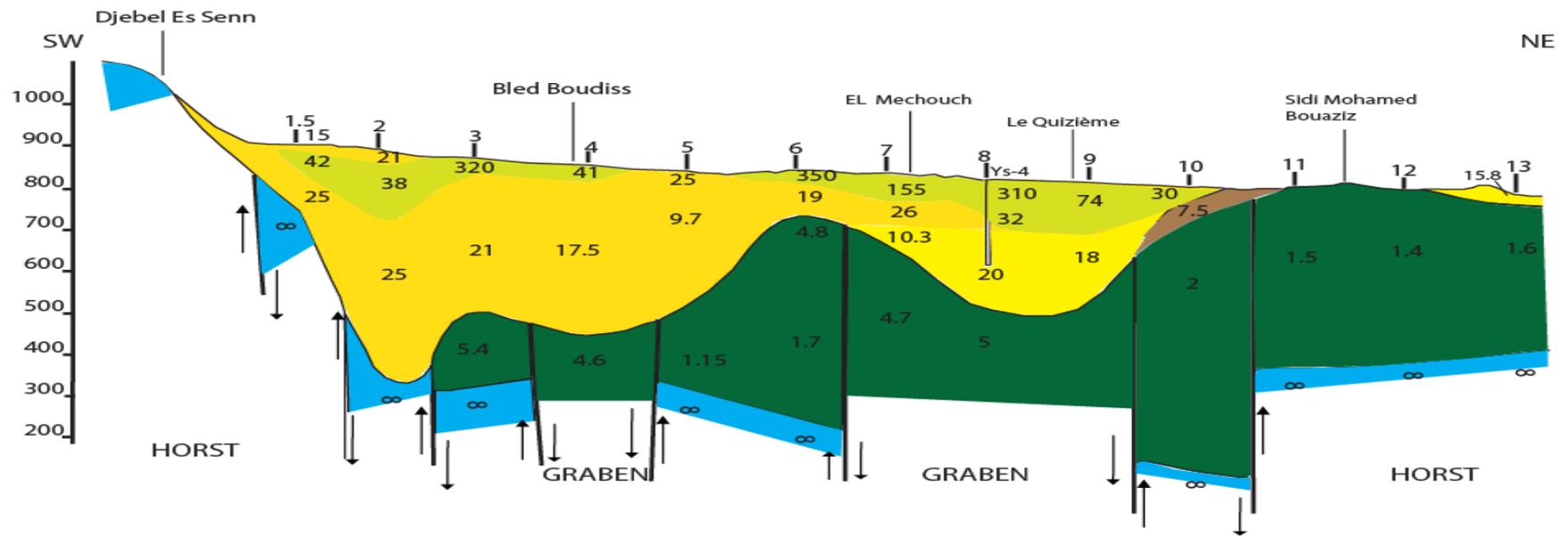


b) Profil réinterprété par nous même (Mai 2022)

Figure n° 19 Profil géoélectrique P

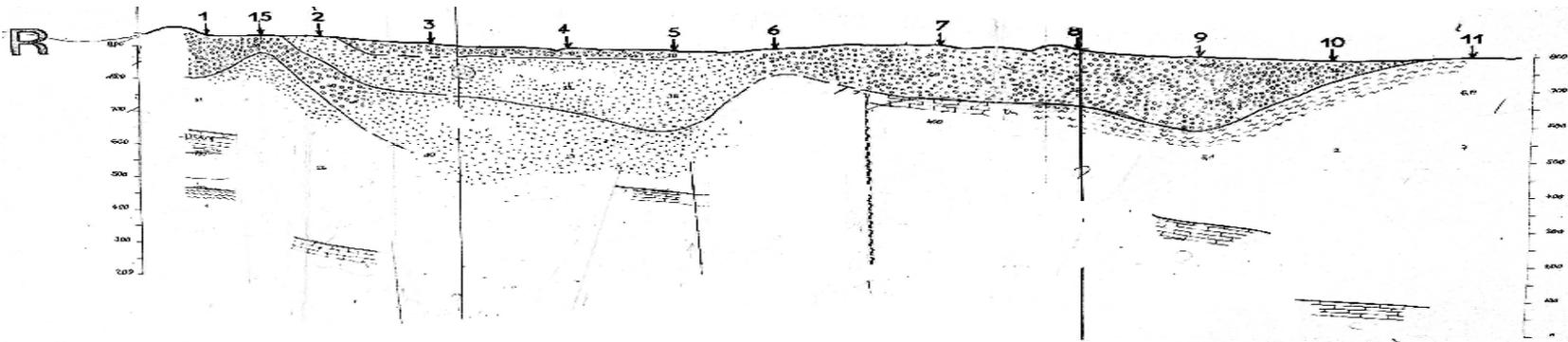


a) Profil réalisé par STRAJEXPORT PRAGUE. en 1978

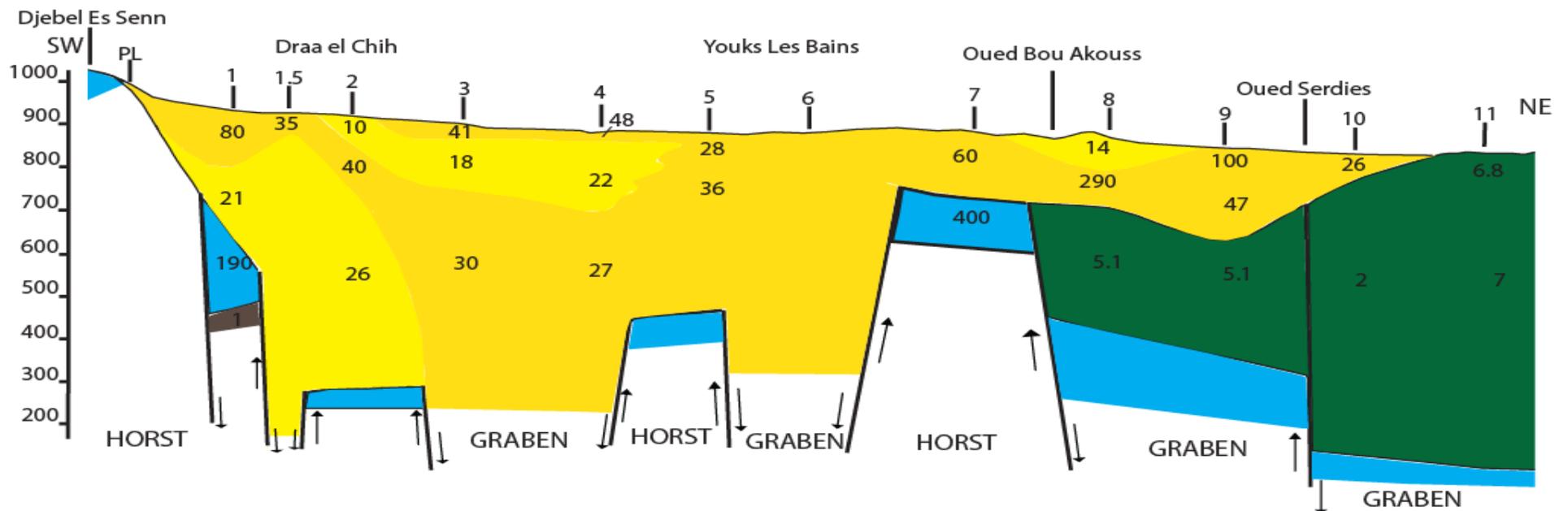


b) Profil réinterprété par nous même (Mai 2022)

Figure n° 20 Profil géoélectrique Q



a) Profil réalisé par STRAJEXPORT PRAGUE. en 1978



c) Profil réinterprété par nous même (Mai 2022)

Figure n° 21 Profil géoélectrique R

### **III. Etablissement et interprétation de la carte des isopaques de l'horizon aquifère du remplissage alluvionnaire :**

#### **III.1 Etablissement de la carte des isopaques :**

Le travail de réinterprétation des profils géoélectriques, nous a permis ainsi de déterminer, au niveau de chaque sondage électrique vertical (121 S.E.V.), l'épaisseur de l'horizon résistant du remplissage alluvionnaire. Cet horizon constitue sans doute le principal aquifère de la plaine d'El Hammamet.

Sur la base des valeurs calculées d'épaisseur, nous avons établi la carte des isopaques de cet horizon aquifère en utilisant le logiciel Surfer 13 et en appliquant la méthode d'interpolation kriging (Figure n°22). Cette présentation graphique nous permettra de visualiser sur un plan bidimensionnel l'extension horizontale et verticale de l'aquifère.

Il est à noter qu'au niveau des sondages où le substratum non détecté, c'est-à-dire est plus profond, nous avons fixé à leur niveau une épaisseur égale à celle du sondage voisin.

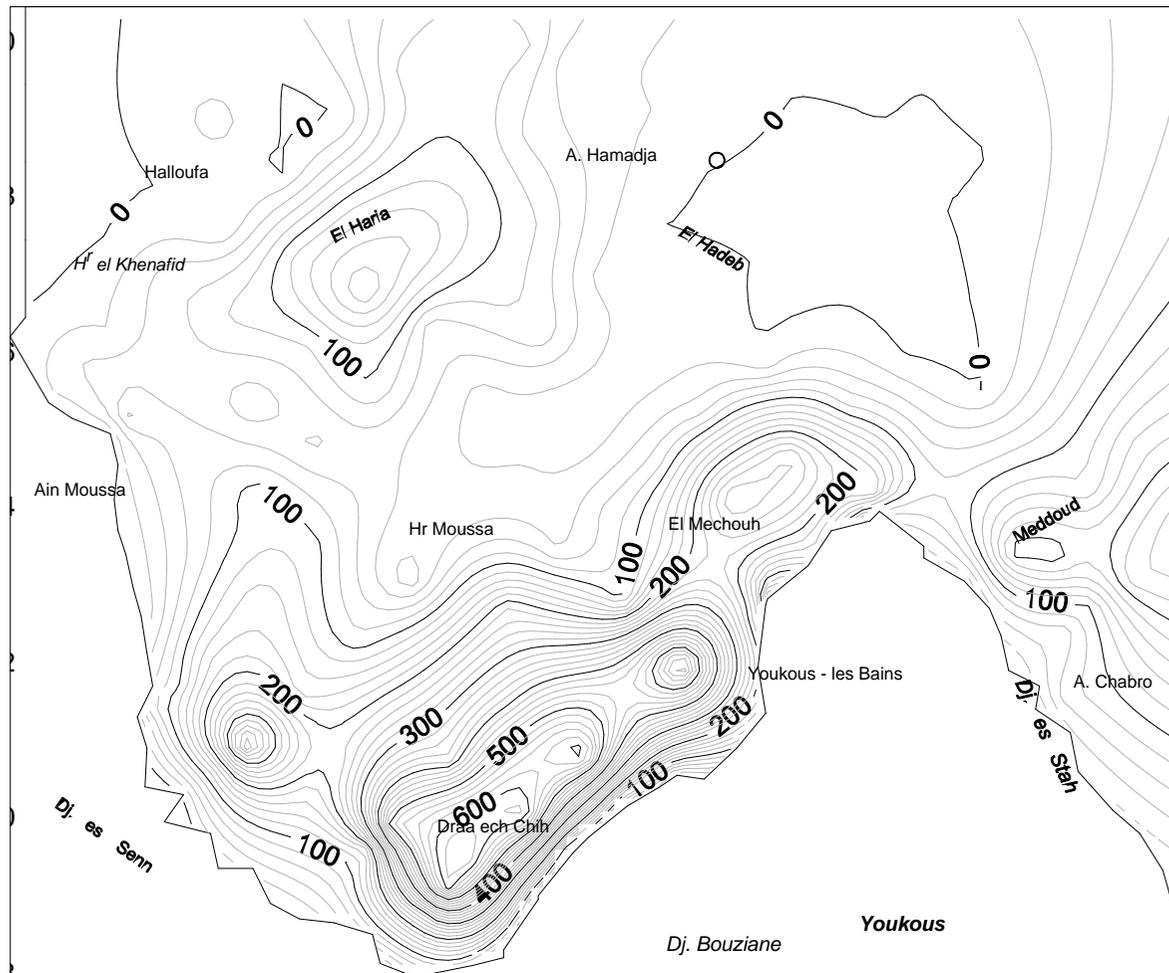
#### **III.2 Interprétation de la carte des isopaques :**

Comme le montre la figure n° 22, la carte des isopaques révèle l'existence d'un horizon aquifère qui s'étend presque sur la totalité de la plaine selon un espace d'environ 130 kilomètres carrés. La répartition des iso-valeurs de son épaisseur nous a permis de distinguer deux cuvettes séparées par un dôme :

- **La première cuvette :** se localise au nord ouest de la plaine, elle est délimitée par les zones nommées :
  - EL Haria au nord,
  - H<sup>f</sup> Moussa au sud,
  - H<sup>f</sup> El Khenafid à l'ouest,
  - Ain Hamadja et El Hadeb à l'est.

Cette cuvette se présente sous forme d'une dépression où son cœur atteint une profondeur de 200 m enregistrée au niveau du S.E.V n°8, profil géoélectrique « L ». Elle s'allonge selon un axe de direction nord est - sud ouest et prend l'allure d'un rectangle équivalent ramassé de superficie d'environ 20 kilomètres carrés, de longueur d'environ 5.6 km et de largeur qui ne dépasse pas 3.5 km.

- **La deuxième cuvette :** la plus importante se trouve au sud de la plaine, elle s'allonge longitudinalement selon un axe de même orientation, direction nord est – sud ouest, mais de distance dépasse 10 km. Cette importante cuvette de superficie d'environ 35 kilomètres carrés, est limitrophe de la ligne de crêtes qui délimite le bassin versant de Tébessa-Morsott dans sa partie sud ouest. Localement, elle est délimitée :



- au Nord par Hr Moussa,
- au Nord Est par la zone Ain Hamadja et El Hadeb où les marnes d'âge Emschérien affleurent en surface,
- au sud ouest par les pieds de versants Djbel es Senn,
- Au sud est par les pieds de versants de Djebel Bouziane et par le village de Youkous - les Bains.

Dans cette cuvette, nous observons la mise en place de quatre dépressions de différentes profondeurs en donnant une structure globale analogue d'un fossé en escaliers. Ces dépressions sont comme suit :

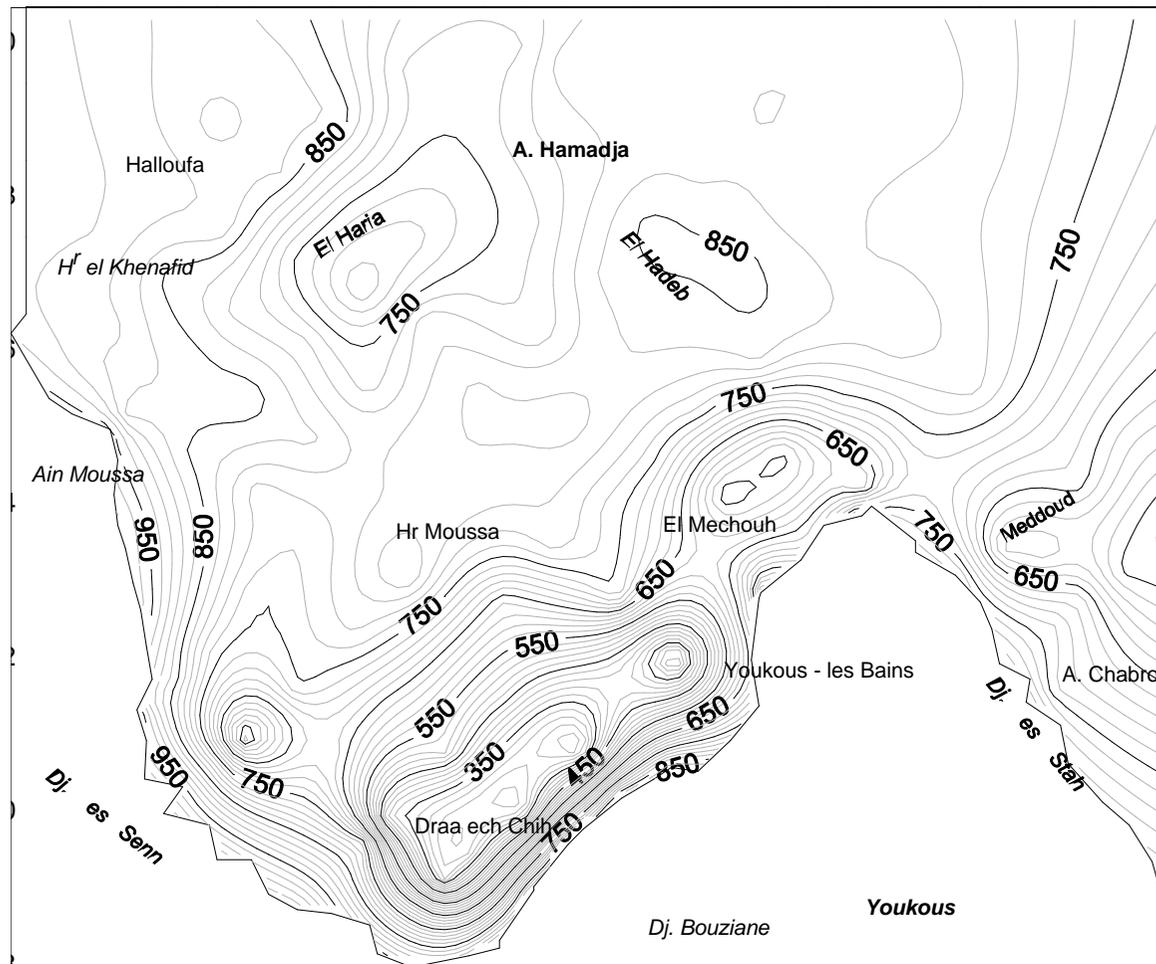
- La dépression nord qui constitue la zone appelée El Mechouch où l'épaisseur du remplissage alluvionnaire résistant atteint 305 m enregistrée au niveau du S.E.V n°8 du profil géoélectrique Q,
- La dépression centrale qui forme la plaine limitrophe du village de Youkous – les bains (El Hammamet) où l'épaisseur du remplissage alluvionnaire résistant dépasse 600 m enregistrée au niveau du S.E.V n° 6 du profil géoélectrique « R ». Les forages implantés dans cette zone sont tous des forages imparfaits (substratum imperméable non atteint),
- La dépression sud qui forme la zone de Draa ech chih où l'épaisseur de l'aquifère dépasse 600 m enregistrée au niveau des premiers sondages électriques verticaux du profil géoélectrique R (du S.E.V n° 1 au S.E.V n° 4),
- La dépression limitrophe du pied de versant Djebel es Senn où le fond de l'aquifère en question atteint 410 m de profondeur, enregistrée au niveau du S.E.V n°2 du profil géoélectrique O.

#### **IV. Etablissement et interprétation de la carte des isobathes du substratum de l'horizon aquifère du remplissage alluvionnaire :**

##### **IV.1 Etablissement de la carte des isobathes du substratum :**

La carte isobathe du substratum est une représentation graphique selon un plan bidimensionnel des iso valeurs d'altitude de la profondeur du substratum, c'est-à-dire la profondeur du substratum est exprimée en côte d'altitude. Elle sera calculée par la simple opération de soustraction de la profondeur de celui-ci de la côte du sol. (Côte du substratum = Côte du sol – Profondeur du substratum).

La détermination des côtes du substratum de remplissage alluvionnaire au niveau de tous les sondages électriques verticaux, nous a permis d'établir une carte des isobathes du substratum de ce remplissage en utilisant le même logiciel et la même méthode d'interpolation (Figure n°23 ).



#### **IV.2 Interprétation de la carte des isobathes du substratum :**

Comme le montre la figure n° 23, la carte des isobathes du substratum a une allure de répartition en iso-valeurs semblable à celle de la carte des isopaques de l'aquifère alluvionnaire. Elle confirme bien la présence de ces deux cuvettes séparées par un dôme.

Nous constatons le fonçage du substratum au cœur de ces deux cuvettes et notamment au niveau des deux dépressions du sud (Draa Ech Chih et Youkous – les bains) où le substratum n'a pas été détecté à une cote d'altitude de 270 m. Nous mentionnons ainsi que ce fonçage est très spectaculaire où les courbes sont très serrées marquant une pente très forte, ce qui caractérise bien l'ampleur de l'effondrement qu'a supporté la région à l'époque de l'effondrement global du bassin versant de Tébessa.

Au nord de la plaine au niveau des régions Halloufa, Ain Hamadja et El Hdab on note l'apparition en surface de ce substratum avec un faciès marneux marquant la limite nord de l'aquifère.

#### **V- Conclusion :**

L'essai de réinterprétation des dix profils géoélectriques, réalisés en 1978 par la compagnie STRAJEXPORT PRAGUE, passant longitudinalement la plaine d'El Hammamet selon une direction sud ouest – nord est, nous a révélé l'existence d'un remplissage alluvionnaire résistant et très épais surtout en se rapprochant à la zone limitrophe de la ligne de crête formée par Djebel es Senn et Djbel Bouziane. En dessous de ce remplissage alluvionnaire, à faciès de sédiments de sables, de graviers et cailloutis de calcaires, nous observons une superposition des couches anciennes épaisses d'âges allant du Cénomaniens jusqu'au Maestrichtien inférieur avec des faciès carbonatés (marnes et calcaires). La variation très considérable des niveaux de profondeur de détection de ces couches par cette prospection géophysique traduit l'existence des contacts anormaux entre les différentes couches anciennes et explique bien que la région a subi des mouvements tectoniques très cassants auparavant.

La structure globale est donc une structure complexe caractérisée par la mise en place, à la limite du bassin, d'un effondrement très fort en forme de gradins, en donnant des horsts et des grabens. Les rejets de failles dépassent largement 700 m notamment en cette zone.

Selon cette structure, la possibilité aquifère n'est que dans le remplissage alluvionnaire qui constitue une nappe alluvionnaire libre dans la totalité de son extension excepté dans la zone nord où elle est sous pression d'une lentille argileuse.

L'établissement des cartes des isopaques et isobathes du remplissage alluvionnaire ont permis de distinguer deux cuvettes séparées par un dôme :

- La première cuvette, délimitée par les zones nommées : EL Haria au nord, H<sup>f</sup> Moussa au sud, H<sup>f</sup> El Khenafid à l'ouest, Ain Hamadja et El Hadeb à l'est. C'est une dépression où son substratum se trouve à une profondeur de 190 m.
  - La deuxième cuvette, la plus importante se trouve au sud de la plaine, limitrophe de la ligne de crêtes. Cette cuvette se présente en quatre dépressions de différentes profondeurs. L'épaisseur du remplissage alluvionnaire résistant atteint 305 m à la zone appelée El Mechouch, il dépasse 600 m à la plaine du village Youkous – les bains (El Hammamet) et à la zone Draa ech chih. Les forages implantés en cette zone sont tous des forages imparfaits (substratum imperméable non atteint). Au pied de versant Djebel es Senn, le substratum de la couverture alluvionnaire atteint 410 m de profondeur.
- Au nord de la plaine, constitué par la région Halloufa, Ain Hamadja et El Hdab, ce substratum apparaît en surface avec un facies marneux marquant la limite nord de l'aquifère.

**CHAPITRE III :**  
**ESTIMATION DES RESERVES EN EAUX**  
**SOUTERRAINES DE L'AQUIFERE DU**  
**REPLISSAGE ALLUVIONNAIRE**

## **I. Introduction :**

Le principal objectif de notre travail est l'estimation des réserves en eaux souterraines de l'aquifère du remplissage alluvionnaire et leurs variabilités spatio-temporelles. Nous avons effectué cette tâche sur la base de deux cartes piézométriques réalisées en deux cycles hydrologiques :

- La carte piézométrique établie, par l'A.N.R.H en période des hautes eaux du cycle hydrologique 1973/1974,
- La carte piézométrique dressée, par Pr HEMILA Mohammed Laid en période des basses eaux du cycle hydrologique 1985/1986, sur la base d'un inventaire de tous les puits domestiques implantés dans la plaine d'El Hammamet.

Pour cela, après détermination de la géométrie de l'aquifère en question par établissement des cartes de synthèses des isopaques et des isobathes, nous essayons dans ce chapitre d'estimer, à la limite de la zone d'étude, les réserves de cet aquifère alluvionnaire. Nous admettons dans nos calculs une variante que nous la considérons la plus pessimiste, en particulier dans le choix des valeurs du coefficient d'emmagasinement qui varie selon la nature du matériau aquifère. Nous avons opté un découpage de la zone d'étude en mailles carrées de un kilomètre carré ( $01 \text{ km}^2$ ) pour chaque maille en raison de présence sur terrain d'un réseau non dense de points d'eau.

A la fin de cette approche d'étude, nous dégagerons une synthèse avec laquelle nous donnons une image approximative sur la fluctuation spatio-temporelle de ces réserves sur cette période de douze ans d'exploitation intensive de cette nappe aquifère. Dans une perspective de recherche, nous proposerons un programme complémentaire d'acquisition des données complémentaire qui permettra de bien préciser les calculs des réserves en eaux souterraines dans cette localité selon une situation actuelle de la piézométrie et des prélèvements, c'est-à-dire du bilan hydrogéologique du couple recharge – drainage.

## **II. Estimation de la réserve relative à la période des hautes eaux du cycle hydrologique 1973/1974 :**

L'estimation des réserves en eaux souterraines d'un aquifère est étroitement liée à la détermination de deux paramètres hydrodynamiques :

- L'épaisseur de la zone saturée de l'aquifère qui représente la charge hydraulique. Selon le maillage choisi, ce paramètre sera calculé au niveau de chaque nœud par la différence de la cote piézométrique et celle du substratum imperméable.

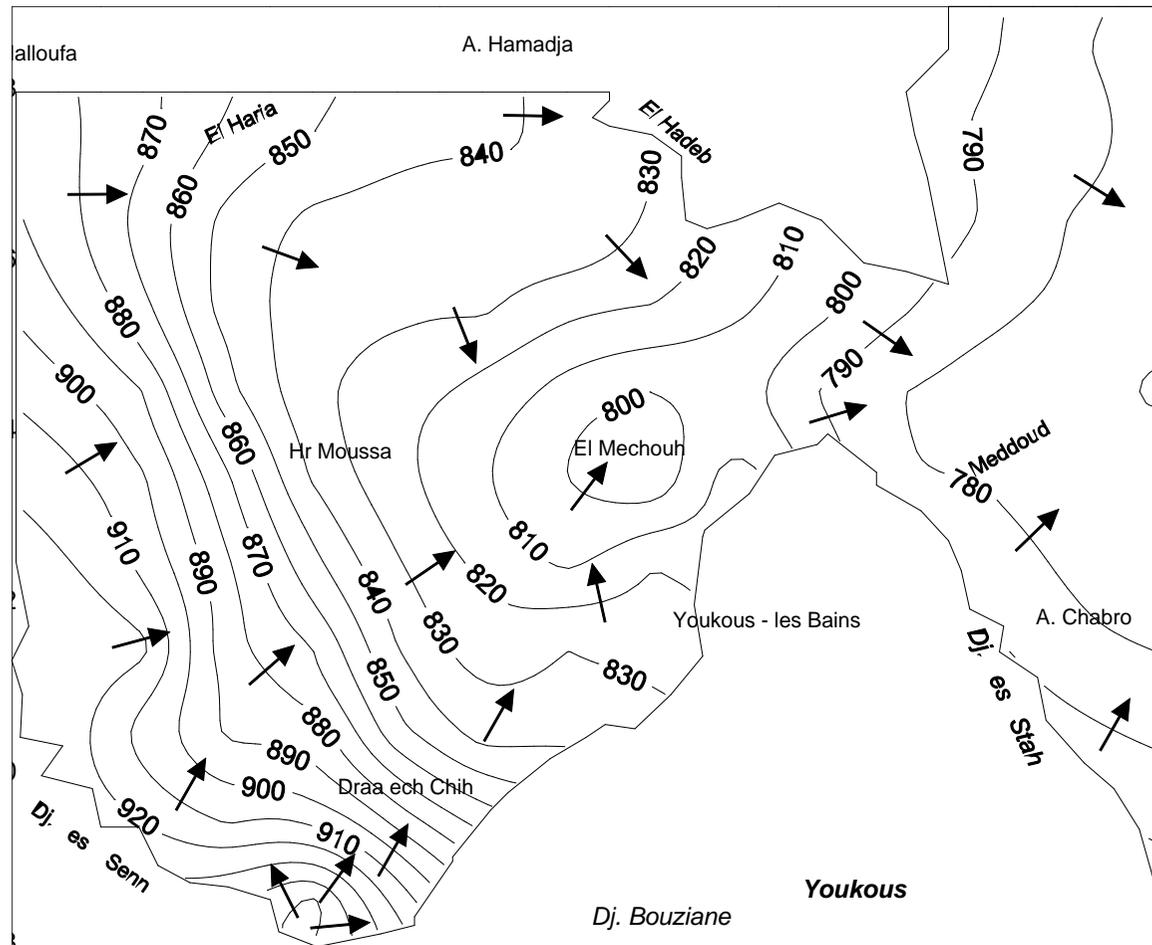
- Le coefficient d'emménagement qui représente la capacité de l'aquifère à stocker de l'eau en fonction des paramètres hydrodynamiques (Perméabilité et Transmissivité) qui devront être déterminés par réalisation des essais de débits par pompage dans une station équipée d'un puits principal et de piézomètres.

## **II.1 Présentation et interprétation de la carte piézométrique du cycle hydrologique 1973/1974 :**

La carte piézométrique établie par L'A.N.R.H. en 1973/1974 sur la base d'un inventaire réalisé auparavant (Figure n° 24), révèle que la nappe du remplissage alluvionnaire au niveau de la plaine d'El Hammamet se présente comme une nappe alluviale libre à filets convergents avec un sens d'écoulement souterrain de direction préférentielle Ouest-Est. La morphologie piézométrique globale se caractérise par la mise en place d'une importante dépression au niveau de la zone El Mechouch où les lignes de courants se convergent. Cette dépression peut être expliquée par le fonçage en profondeur du substratum et la nature lithologique très perméable du matériau aquifère en cette zone (Figure n° 23). Le facteur intensification des pompages par le champ de captage par forages d'El Hammamet peut jouer ainsi un rôle dans cette morphologie piézométrique. Le gradient hydraulique varie de l'amont vers l'aval, il est très fort à la bordure ouest ( $i = 0.029$ ) et devient faible au centre de la dépression ( $i = 0.012$ ) et au niveau de la zone nommée Meddoud ( $i < 0.0054$ ) où la nappe en ce dernier endroit est à filets convergeant. La dénivelé piézométrique globale entre l'entrée et la sortie de la plaine est de 180 m.

Comme condition aux limites, nous indiquons que :

- La bordure Ouest, formée par la ligne de crêtes Djbel Es Sen et Djbel Serdies, est une limite à débit entrant où les lignes équipotentiels sont parallèles à cette bordure à faciès calcaireux de Turonien moyen,
- La limite Est de la plaine est une limite à débit sortant.
- La limite Nord de la plaine est une limite étanche où le substratum est apparu en surface et les lignes équipotentiels sont perpendiculaires à cette limite à faciès marneux d'âge Emschérien,
- La limite Sud, constituée par la ligne de crêtes de Djbel Bouziane, est une limite étanche où les lignes équipotentiels sont perpendiculaires à cette limite à faciès marneux d'âge Emschérien,
- La limite Sud Est, constituée par la ligne de crêtes de Djbel Estah, est une limite à débit entrant où les lignes équipotentiels sont parallèles à cette bordure à faciès calcaireux du Maestrichtien.



A partir de cette carte nous avons déterminé au niveau de chaque nœud des mailles la cote piézométrique correspondante (Tableau n° 2).

## **II.2 Etablissement et interprétation de la carte des isopaques d'alluvions mouillées relative à la période des hautes eaux du cycle hydrologique 1973/1974 :**

L'épaisseur de la zone saturée, correspondante à la charge hydraulique de la nappe, est la différence des côtes piézométriques et celles du substratum imperméable. Le calcul de ce paramètre au niveau de chaque maille (Tableau n° 3), nous a permis d'établir une carte des isopaques d'alluvions mouillées relative à la période des hautes eaux du cycle hydrologique 1973/1974 (Figure n° 25). Comme le montre cette figure, la répartition des iso valeurs de la charge hydraulique est entièrement semblable à celle des iso valeurs des épaisseurs du remplissage alluvionnaire (Figure n° 22). Nous observons la mise en place des dépressions suivantes:

- La dépression d'El Haria, localisée au Nord Ouest de la plaine, avec une charge hydraulique atteignant 143 m;
- La dépression d'El Meddoud, qui constitue la zone limite Est de la plaine et de convergence d'écoulement souterrain de la nappe, avec une charge hydraulique atteignant 250 m;
- La dépression de la zone El Mechouch avec une charge hydraulique atteignant 247 m;
- La dépression de la zone Youkous les bains - Draa Ech Chih avec une charge hydraulique dépassant 535 m,
- La dépression limitrophe du pied de versant Djebel Es Senn avec une charge hydraulique atteignant 282 m.

## **II. 3 Estimation du coefficient d'emménagement (S) :**

Le coefficient d'emménagement (S) représente la quantité d'eau libéré sous une variation unitaire de la charge hydraulique, c'est-à-dire sous l'effet d'une baisse du niveau d'eau. Dans un aquifère libre, l'eau est libérée par l'action des forces de gravité (drainage). En pratique, le coefficient d'emménagement est égal à la porosité efficace et sa signification est indépendante du temps. Les valeurs usuelles vont de 1% (0.01) pour certains limons et jusqu'à 30 - 40% (0.3 – 0,4) pour des alluvions grossières.

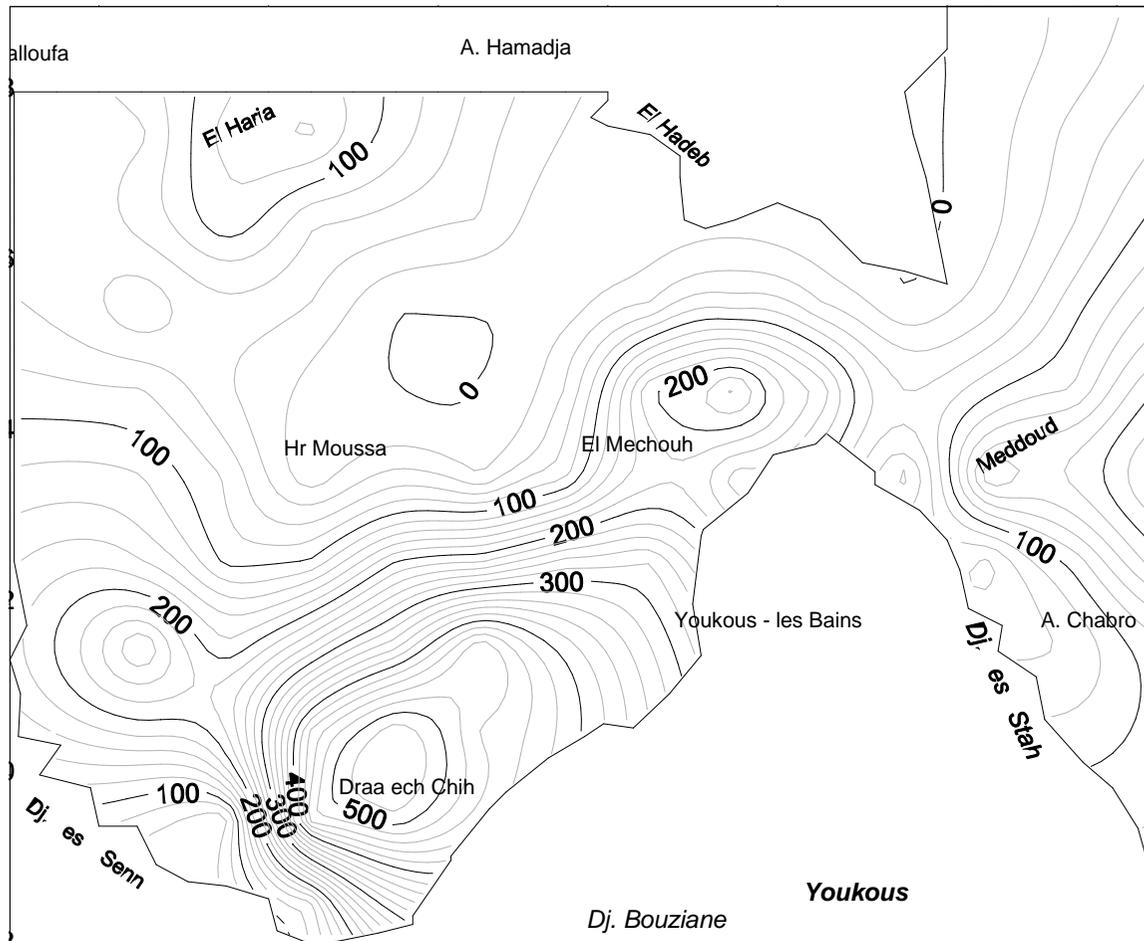
Ce paramètre hydrodynamique est souvent déterminé lors de pompages d'essai, au niveau d'une station de pompage équipée d'un puits principal et de piézomètres, notamment dans le cadre de puits destinés à l'alimentation en eau potable et à l'irrigation.

Tableau n° 2 Matrice de la piézométrie relative à la période des hautes eaux du cycle hydrologique 1973/1974 de la nappe alluvionnaire de la plaine d'El Hammamet de (Tébessa –Algérie).

Coordonnées des nœuds des mailles		Les colonnes Y												
		970,5	971,5	972,5	973,5	974,5	975,5	976,5	977,5	978,5	979,5	980,5	981,5	982,5
Les lignes X	258,5	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	791	781	775
	257,5	873	858	850	843	841,2	/	/	/	/	/	787	786	773,5
	256,5	866	847	838	836,1	834,9	840	/	/	/	/	789	779	773
	255,5	872,5	845	837,41	832,5	832	823,25	820	812,5	803,03	791,11	782,95	777,54	772,93
	254,5	890	853	832,86	824,11	817	806	800	802,38	789,23	780	775,55	771,44	769
	253,5	901	871	838,57	823,12	811,34	800	792,14	815	/	781,5	779,29	774,14	775
	252,5	907	881,04	853	830,87	818	808,12	819,43	/	/	/	785	778	774
	251,5	922,87	883,86	870	840	825,59	829,86	/	/	/	/	/	783	779,5
	250,5	906,1	888,5	885,71	853,57	836	/	/	/	/	/	/	/	/
	249,5	/	908	906,5	885,48	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	248,5	/	/	953,34	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

Tableau n° 3 Matrice de la charge hydraulique relative à la période des hautes eaux du cycle hydrologique 1973/1974 de la nappe alluvionnaire de la plaine d'El Hammamet de (Tébessa –Algérie).

Coordonnées des nœuds des mailles		Les colonnes Y												
		970,5	971,5	972,5	973,5	974,5	975,5	976,5	977,5	978,5	979,5	980,5	981,5	982,5
Les lignes X	258,5	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	6	28	57
	257,5	55	128	143	90	47,2	/	/	/	/	/	12	48	78,5
	256,5	68	117	63	51,1	39,9	3	/	/	/	/	14	59	108
	255,5	22,5	55	39,41	1,5	2	8,25	42	72,5	43,03	2,11	32,95	92,54	147,93
	254,5	82	43	14,86	1,11	2	41	200	247,38	154,23	60	95,55	121,44	204
	253,5	121	78	6,57	48,12	21,34	75	172,14	130	/	11,5	199,29	184,14	250
	252,5	161	94,04	103	200,87	218	268,12	279,43	/	/	/	35	108	194
	251,5	282,87	183,86	265	355	480,59	389,86	/	/	/	/	/	63	114,5
	250,5	186,1	218,5	445,71	535,57	456	/	/	/	/	/	/	/	/
	249,5	/	48	476,5	515,48	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	248,5	/	/	133,34	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/



L'absence d'une station de pompage équipée de piézomètres dans cette zone d'étude, nous a forcé de déterminer ce coefficient d'emmagasinement par analogie de la valeur de la résistivité spécifique de la couche qui caractérise la nature lithologique du matériau aquifère. Selon la variation de la résistivité de l'horizon aquifère en question, nous avons adopté avec un scénario plus pessimiste quatre fourchettes de coefficient d'emmagasinement analogue à quatre classes de résistivité comme le montre le tableau ci-dessous :

Tableau n° 4 Tableau récapitulatif de détermination du coefficient d'emmagasinement par analogie des valeurs de résistivités spécifiques des couches.

N°	Classe de résistivité en $\Omega m$ .	Nature du matériau aquifère	Valeur du coefficient d'emmagasinement
1	$\rho \geq 50$	Cailloutis de calcaires et graviers dépourvus d'argiles.	35%
2	$20 \leq \rho < 50$	Mélange de graviers et sables avec peu d'argiles	25%
3	$10 \leq \rho < 20$	Sables argileux et argiles sableuses	15%
4	La nappe sous pression d'un toit argileux (nature captive)	/	1 %

La matrice de calcul des valeurs du coefficient d'emmagasinement est représentée par le tableau n° 5.

#### II.4 Calcul des réserves en eaux souterraines :

Le volume d'eau stocké au niveau de chaque volume élémentaire représentatif (V.E.R.) sera calculé par l'expression suivante :

$$W = H * S * dx * dy$$

Avec:

- W est le volume d'eau stocké exprimé en mètre cube,
- H est l'épaisseur mouillée ou de la couche saturée correspondant à la charge hydraulique en m,
- S est le coefficient d'emmagasinement sans unité,
- dx et dy sont les dimensions du plan d'extension de la maille exprimées en mètre.

L'application simple de cette formule nous a donné, dans cette zone d'étude, un total de volume du stock en eaux souterraines de l'aquifère du remplissage pour ce cycle hydrologique (1973/1974) estimé à 2, 5425 milliards de mètre cube ( $2, 5425 * 10^9 m^3$ ) (Tableau n° 6).

Tableau n° 5 Matrice d'estimation du coefficient d'emménagement de la nappe alluvionnaire de la plaine d'El Hammamet (Tébessa – Algérie)

Coordonnées des nœuds des mailles		Les colonnes Y												
		970,5	971,5	972,5	973,5	974,5	975,5	976,5	977,5	978,5	979,5	980,5	981,5	982,5
Les lignes X	258,5	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,1	0,1	0,1
	257,5	0,15	0,2	0,25	0,2	0,2	/	/	/	/	/	0,1	0,1	0,1
	256,5	0,25	0,25	0,2	0,2	0,15	0,15	/	/	/	/	0,1	0,1	0,1
	255,5	0,35	0,2	0,2	0,35	0,01	0,15	0,15	0,15	0,15	0,1	0,15	0,1	0,1
	254,5	0,35	0,2	0,15	0,15	0,01	0,15	0,35	0,35	0,35	0,25	0,15	0,1	0,1
	253,5	0,35	0,35	0,15	0,15	0,15	0,2	0,35	0,35	/	0,15	0,15	0,1	0,1
	252,5	0,35	0,25	0,15	0,15	0,15	0,35	0,3	/	/	/	0,1	0,1	0,1
	251,5	0,3	0,25	0,25	0,25	0,2	0,25	/	/	/	/	/	0,1	0,1
	250,5	0,35	0,25	0,25	0,25	0,25	/	/	/	/	/	/	/	/
	249,5	/	0,25	0,25	0,25	/	/	/	/	/	/	/	/	/
248,5	/	/	0,35	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	

Tableau n° 6 Matrice d'estimation de la réserve en eau, exprimée en million de mètre cube, relative à la période des hautes eaux du cycle hydrologique 1973/1974 de la nappe alluvionnaire de la plaine d'El Hammamet de (Tébessa –Algérie).

Coordonnées des nœuds des mailles		Les colonnes Y												
		970,5	971,5	972,5	973,5	974,5	975,5	976,5	977,5	978,5	979,5	980,5	981,5	982,5
Les lignes X	258,5	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,6	2,8	5,7
	257,5	8,25	25,6	35,75	18	9,44	/	/	/	/	/	1,2	4,8	7,85
	256,5	17	29,25	12,6	10,22	5,985	0,45	/	/	/	/	1,4	5,9	10,8
	255,5	7,875	11	7,882	0,525	0,02	1,2375	6,3	10,875	6,454	0,211	4,9425	9,254	14,793
	254,5	28,7	8,6	2,229	0,1665	0,02	6,15	70	86,583	53,98	15	14,3325	12,144	20,4
	253,5	42,35	27,3	0,9855	7,218	3,201	15	60,249	45,5	/	1,725	29,8935	18,414	25
	252,5	56,35	23,51	15,45	30,1305	32,7	93,842	83,829	/	/	/	3,5	10,8	19,4
	251,5	84,861	45,965	66,25	88,75	96,118	97,465	/	/	/	/	/	6,3	11,45
	250,5	65,135	54,625	111,4275	133,8925	114	/	/	/	/	/	/	/	/
	249,5	/	12	119,125	128,87	/	/	/	/	/	/	/	/	/
248,5	/	/	46,669	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	

Volume total estimé à  $2542,5205 * 10^6 \text{ m}^3 = 2,5425 * 10^9 \text{ m}^3$

### **III- Estimation des réserves en eaux souterraines relatives à la période des basses eaux du cycle hydrologique 1985/1986:**

#### **III.1 Présentation de la piézométrie du cycle hydrologique 1985/1986 :**

Durant le cycle hydrologique 1985/1986, Monsieur le Professeur HEMILA Mohammed Laid a établi, dans le cadre de l'obtention de son diplôme des études approfondies à l'université de Bordeaux, une carte piézométrique de la zone d'étude sur la base d'un inventaire des points d'eau réalisé par lui-même en octobre 1985. Comme le montre la figure n° 26, cette carte a donné une morphologie piézométrique de la nappe alluvionnaire à la limite de l'espace d'étude semblable à celle tracé par l'A.N.R.H. en 1973/1974 mais avec une fluctuation du niveau piézométrique. Les côtes piézométriques que nous les avons déterminé au niveau des mailles sont présentées dans la matrice du tableau n° 7 .

#### **III.2 Etablissement de la carte des isopaques d'alluvions mouillées relative à la période des basses eaux du cycle hydrologique 1985/1986:**

Sur la base des côtes piézométriques relatives au cycle hydrologique 1985/1986 et les côtes du substratum de l'aquifère en question, nous avons calculé de la même manière, au niveau de chaque nœud des mailles, les valeurs de la charge hydraulique de la nappe (Epaisseur de la zone saturée) pour ce cycle hydrologique 1985/1986 (Tableau n° 8) et avec les quelles nous avons établi la carte des isopaques d'alluvions mouillées (Figure n°27). Cette figure découvre une allure générale de répartition d'iso valeurs presque similaire à celle déduite au cycle 1973/1974.

#### **III.3 Calcul des réserves en eaux souterraines relatives à la période des basses eaux du cycle hydrologique 1985/1986 :**

Le calcul par la formule de base (page n°50), nous a donné en cette période de basses eaux, un total de volume de stock en eaux souterraines estimé 2, 515 milliards de mètres cube ( $2, 515 * 10^9$  m<sup>3</sup>) (Tableau n° 9).

### **IV. Fluctuation spatio-temporelle des réserves en eaux souterraines :**

Afin de donner une indication sur l'ampleur de la fluctuation spatio-temporelle de ces réserves sur une période de douze cycles d'exploitation intensive de cette nappe aquifère, nous avons dressé une carte de fluctuation entre la piézométrie du cycle hydrologique 1973/1974 et celle du cycle hydrologique 1985/1986 (Figure n° 28), sur la base des valeurs de calculs des différences de niveaux du plan d'eau souterrain (Tableau n° 10 ). Cette carte visualise un rabattement très fort de la nappe dans les zones limites et faible au cœur de la plaine. Le rabattement le plus grand a été enregistré à la limite Nord Est d'El Hadeb et de la plaine où il a pu atteindre 4,5 m, cependant au cœur de la plaine, il n'a pas dépassé 1,5 m.

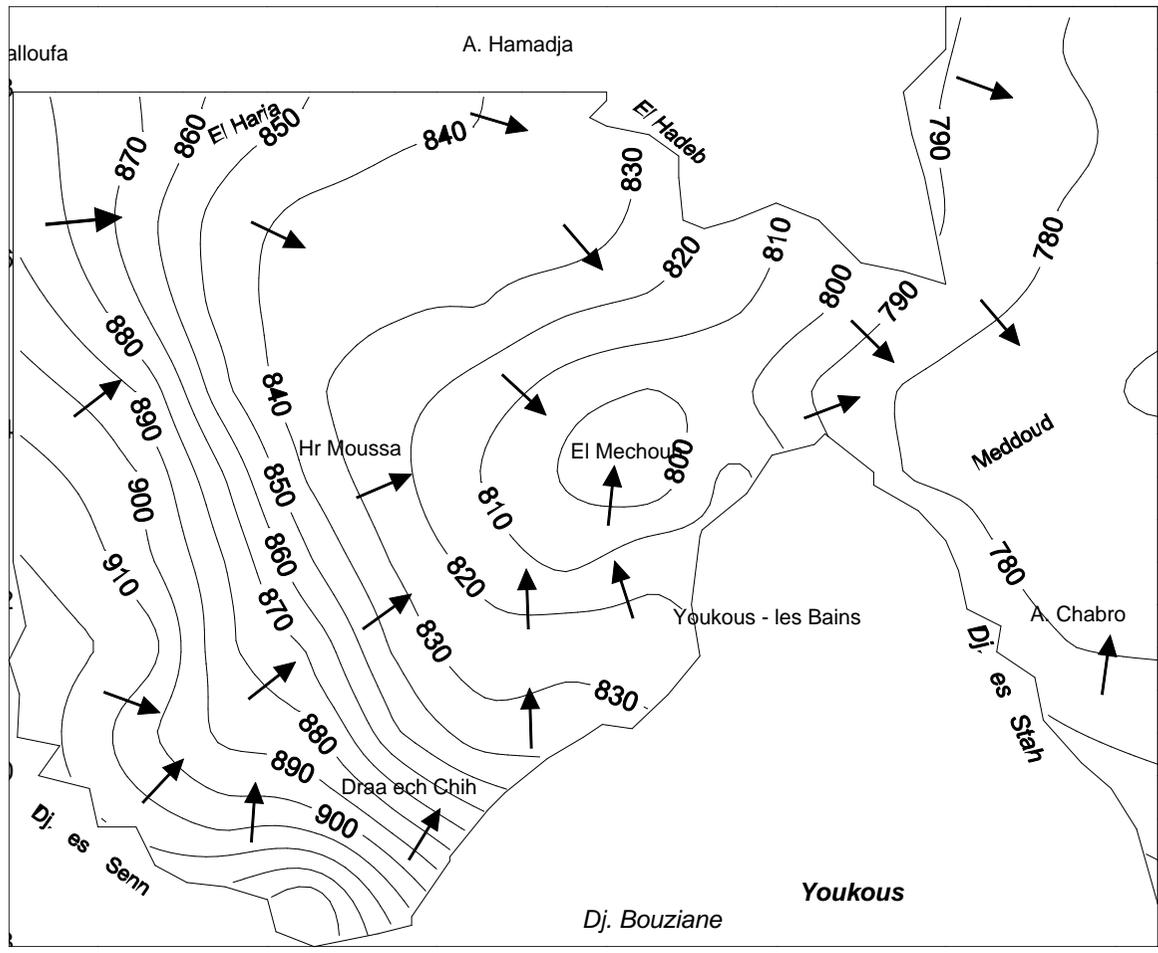


Tableau n° 7 Matrice de la piézométrie relative à la période des basses eaux du cycle hydrologique 1985/1986 de la nappe alluvionnaire de la plaine d'El Hammamet de (Tébessa –Algérie).

Coordonnées des nœuds des mailles		Les colonnes Y												
		970,5	971,5	972,5	973,5	974,5	975,5	976,5	977,5	978,5	979,5	980,5	981,5	982,5
Les lignes X	258,5	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	786,5	779	773
	257,5	870,65	854,4	848,37	841,37	839,8	/	/	/	/	/	783	784	772
	256,5	863,69	844,8	836,64	834,57	833,6	838,5	/	/	/	/	787	778	772,2
	255,5	870,4	844,41	836,8	831,5	830,5	822,13	818,25	811,85	802	789,5	781,9	776,6	772
	254,5	889	852	831,67	823,8	816	804,89	799,4	801,1	788,21	779,16	774,89	771,05	768,5
	253,5	900	870	838	822,76	810	799,15	791,31	813,91	/	780	778,79	773,5	774,5
	252,5	903	880	851,1	828,92	817,33	807,42	818,12	/	/	/	781,5	774,5	773,5
	251,5	919	882	869	838	824,57	827,8	/	/	/	/	/	780	779
	250,5	902	887	884	851,4	834	/	/	/	/	/	/	/	/
	249,5	/	905	904	883	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	248,5	/	/	950	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

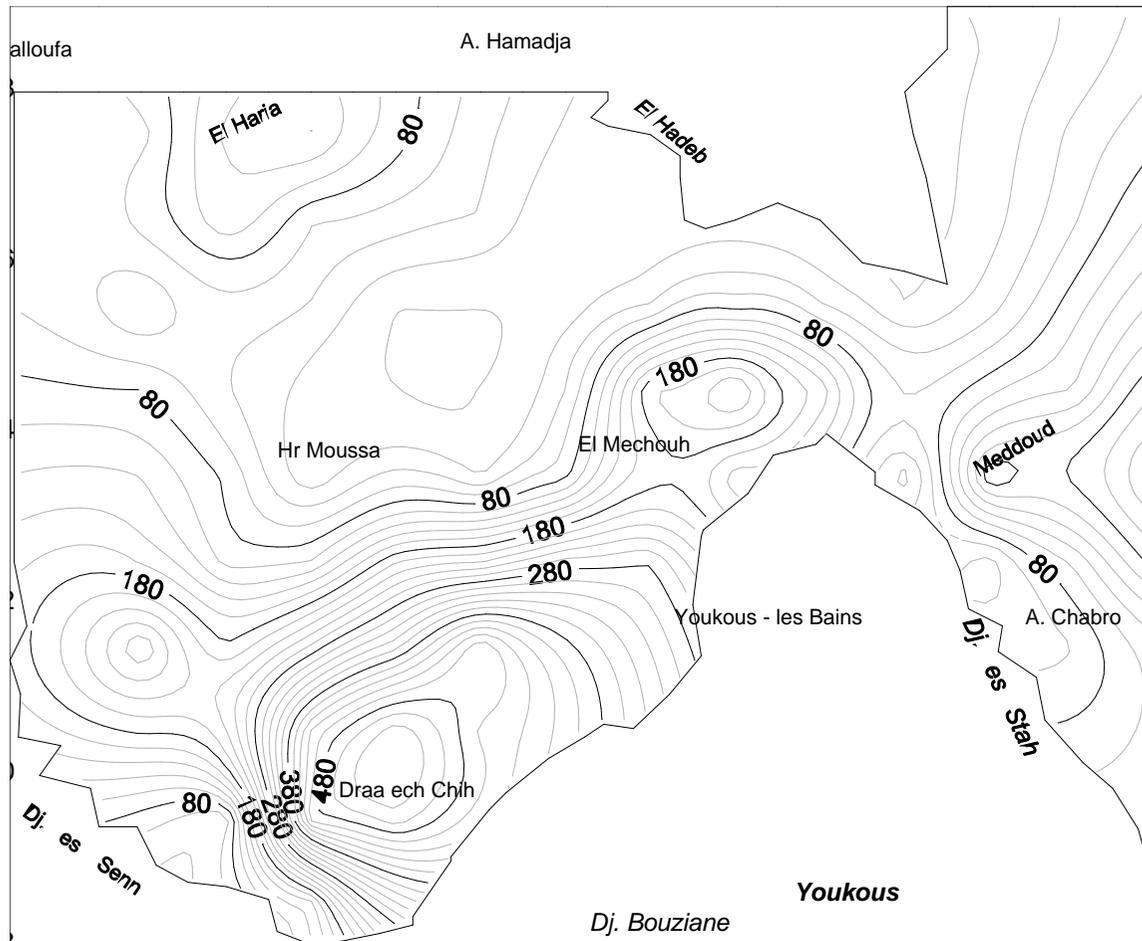


Tableau n° 8 Matrice de la charge hydraulique relative à la période des basses eaux du cycle hydrologique 1984/1985 de la nappe alluvionnaire de la plaine d'El Hammamet de (Tébessa –Algérie).

Coordonnées des nœuds des mailles		Les colonnes Y												
		970,5	971,5	972,5	973,5	974,5	975,5	976,5	977,5	978,5	979,5	980,5	981,5	982,5
Les lignes X	258,5	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1,5	26	55
	257,5	52,65	124,4	141,37	88,37	45,8	/	/	/	/	/	8	46	77
	256,5	65,69	114,8	61,64	49,57	38,6	1,5	/	/	/	/	12	58	107,2
	255,5	20,4	54,41	38,8	0,5	0,5	7,13	40,25	71,85	42	0,5	31,9	91,6	147
	254,5	81	42	13,67	0,8	1	39,89	199,4	246,1	153,21	59,16	94,89	121,05	203,5
	253,5	120	77	6	47,76	20	74,15	171,31	128,91	/	10	198,79	183,5	249,5
	252,5	157	93	101,1	198,9 2	217,3 3	267,4 2	278,12	/	/	/	31,5	104,5	193,5
	251,5	279	182	264	353	479,5 7	387,8	/	/	/	/	/	60	114
	250,5	182	217	444	533,4	454	/	/	/	/	/	/	/	/
	249,5	/	45	474	513	/	/	/	/	/	/	/	/	/
248,5	/	/	130	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	

Tableau n° 9 Matrice d'estimation de la réserve en eau, exprimée en million de mètre cube, relative à la période des basses eaux du cycle hydrologique 1984/1985 de la nappe alluvionnaire de la plaine d'El Hammamet de (Tébessa –Algérie).

Coordonnées des nœuds des mailles		Les colonnes Y												
		970,5	971,5	972,5	973,5	974,5	975,5	976,5	977,5	978,5	979,5	980,5	981,5	982,5
Les lignes X	258,5	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,15	2,6	5,5
	257,5	7,8975	24,88	35,343	17,674	9,16	/	/	/	/	/	0,8	4,6	7,7
	256,5	16,423	28,7	12,328	9,914	5,79	0,225	/	/	/	/	1,2	5,8	10,72
	255,5	7,14	10,882	7,76	0,175	0,005	1,0695	6,0375	10,777	6,3	0,05	4,785	9,16	14,7
	254,5	28,35	8,4	2,051	0,12	0,01	5,9835	69,79	86,135	53,623	14,79	14,234	12,105	20,35
	253,5	42	26,95	0,9	7,164	3	14,83	59,958	45,118	/	1,5	29,819	18,35	24,95
	252,5	54,95	23,25	15,165	29,838	32,5995	93,597	83,436	/	/	/	3,15	10,45	19,35
	251,5	83,7	45,5	66	88,25	95,914	96,95	/	/	/	/	/	6	11,4
	250,5	63,7	54,25	111	133,35	113,5	/	/	/	/	/	/	/	/
	249,5	/	11,25	118,5	128,25	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	248,5	/	/	45,5	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

Volume total estimé à  $2515,525 * 10^6 \text{ m}^3 = 2, 515 * 10^9 \text{ m}^3$ .

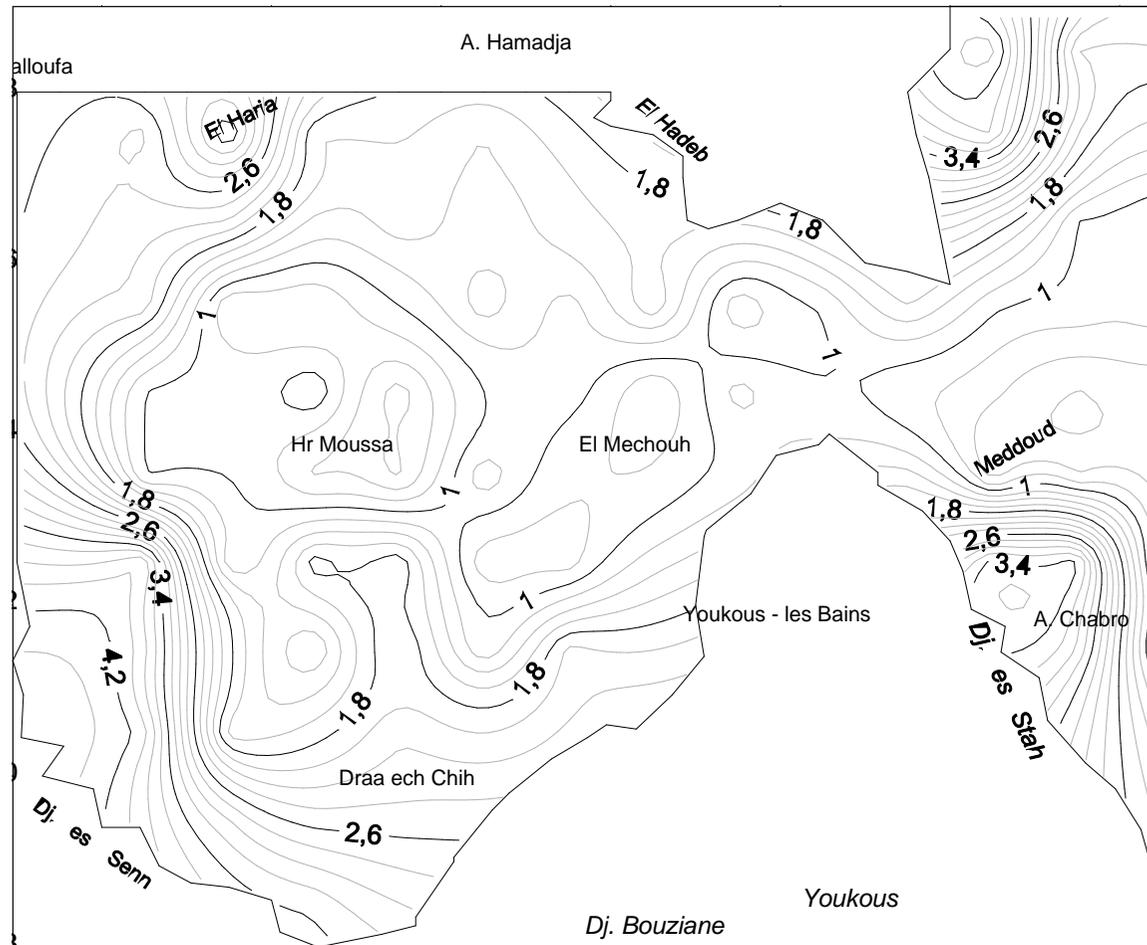


Tableau n° 10 Matrice de fluctuation de la nappe alluvionnaire de la plaine d'El Hammamet (Tébessa – Algérie)

(Cycles hydrologiques 1973/1974-1985/1986)

Coordonnées des nœuds des mailles		Les colonnes Y												
		970,5	971,5	972,5	973,5	974,5	975,5	976,5	977,5	978,5	979,5	980,5	981,5	982,5
Les lignes X	258,5	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	4,5	2	2
	257,5	2,35	3,6	1,63	1,63	1,4	/	/	/	/	/	4	2	1,5
	256,5	2,31	2,2	1,36	1,53	1,3	1,5	/	/	/	/	2	1	0,8
	255,5	2,1	0,59	0,61	1	1,5	1,12	1,75	0,65	1,03	1,61	1,05	0,94	0,93
	254,5	1	1	1,19	0,31	1	1,11	0,6	1,28	1,02	0,84	0,66	0,39	0,5
	253,5	1	1	0,57	0,36	1,34	0,85	0,83	1,09	/	1,5	0,5	0,64	0,5
	252,5	4	1,04	1,9	1,95	0,67	0,7	1,31	/	/	/	3,5	3,5	0,5
	251,5	3,87	1,86	1	2	1,02	2,06	/	/	/	/	/	3	0,5
	250,5	4,1	1,5	1,71	2,17	2	/	/	/	/	/	/	/	/
	249,5	/	3	2,5	2,48	/	/	/	/	/	/	/	/	/
248,5	/	/	3,34	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	

A la sortie de l'espace d'étude, précisément à l'aval de la région de Meddoud, le rabattement est dans une fourchette de 0,5 à 1 m au cœur de la dépression.

Ce rabattement général, causé par l'exploitation intensive de la nappe et le changement climatique sur une durée de douze (12) cycles hydrologiques, a provoqué un déstockage d'eau de la nappe atteignant un volume de 26,996 millions de mètres cube ( $26,996 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ ) soit une moyenne interannuelle de 2,25 millions de mètres cube ( $2,25 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ ). Ce déstockage représente une moyenne de  $26446,17 \text{ m}^3/\text{an}/\text{km}^2$ .

Le tableau ci dessous récapitule les résultats du bilan des réserves d'eaux souterraines de l'aquifère alluvionnaire dans la plaine d'El Hammamet (Tébessa - Algérie).

Tableau n° 11 Résultats récapitulatifs du bilan des réserves d'eaux souterraines de l'aquifère alluvionnaire dans la plaine d'El Hammamet (Tébessa - Algérie).

Réserves en eau en $10^9 \text{ m}^3$		Fluctuation en $10^6 \text{ m}^3$	
Cycle hydrologique 1973/1974	Cycle hydrologique 1985/1986	$\Delta W$	$\Delta W$ moyenne interannuelle
2, 5425	2, 515	26,996	2. 25

En comparant nos résultats d'estimation à ceux trouvés en 2017 par M<sup>er</sup> BENDAKOUM Mehdi au niveau de la plaine de Boulhaf Dyr qui se situe juste en aval (Tableau n°12), nous pouvons constater une certaine cohérence entre ces résultats. Les réserves d'eaux souterraines de l'aquifère alluvionnaire dans la plaine d'El Hammamet délimitée à une surface de  $85 \text{ km}^2$  représentent presque trois fois celles dans la plaine de Boulhaf Dyr délimitée à une surface de  $117 \text{ km}^2$ , ceci peut être interprété par la variation lithologique du matériau aquifère où ce dernier est un dépôt de sédiments à éléments plus grossiers (cailloutis de calcaires, de graviers et de sable) au niveau de la plaine d'El Hammamet.

Tableau n° 12 Tableau de comparaison des réserves d'eaux souterraines de l'aquifère alluvionnaire dans les deux plaines El Hammamet – Boulhaf Dyr (Tébessa - Algérie).

Réserves en eau en $10^9 \text{ m}^3$				Variation de la réserve en $10^6 \text{ m}^3$			
Plaine d'El Hammamet		Plaine de Boulhaf Dyr		Plaine d'El Hammamet		Plaine de Boulhaf Dyr	
Cycle hydrol. 1973/1974	Cycle hydrol. 1985/1986	Cycle hydrol. 1973/1974	Cycle hydrol. 2016/2017	$\Delta W$ sur 12 ans	$\Delta W$ moyenne interannuelle	$\Delta W$ sur 43 ans	$\Delta W$ moyenne interannuelle
2, 5425	2, 515	0,9186	0,8066	26,9955	2. 25	111,97	2,60

Le très bon calage entre les moyennes interannuelles des variations des réserves (Tableau n° 12), malgré la différence des périodes d'étude et ainsi des surfaces, au niveau de ces deux plaines qui font partie du bassin versant de Tébessa – Morsott, traduit bien un comportement presque semblable de la nappe vis-à-vis de l'intensification des prélèvements d'eau et ainsi de la variabilité considérable des conditions climatiques caractérisées par des longues périodes de sécheresse.

#### **V. Etablissement de la carte des iso profondeurs du niveau statique de la nappe :**

Afin d'avoir une idée sur la variation latérale de la profondeur du plan d'eau de la nappe en question, nous avons dressé une carte d'iso valeurs de la profondeur du niveau statique relative au cycle hydrologique 1985/1986 (Figure n°29). Cette carte nous a révélé que le niveau statique du plan d'eau est étroitement lié à la profondeur du substratum, plus qu'on enregistre un fonçage du substratum plus que le niveau du plan d'eau est plus profond. Alors ce niveau statique est très profond au niveau des dépressions. Il peut être détecté à des profondeurs de : 30 m à 40 m au niveau de Draa EchChih, 36 à 52 m au niveau d'El Mechouch, 14 à 25 m à El Haria, 2 à 20 m à El Meddoud.

#### **VI. Calcul et estimation des réserves en eau et des paramètres caractéristiques de la nappe relatives au cycle hydrologique 2021/2022 :**

Selon le taux de déstockage moyen interannuel des réserves en eau ( $2,25 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ ), ces réserves pourraient être, durant ce cycle hydrologique 2021/2022, estimées à 2,439 milliards de mètres cubes ( $2,439 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ ). La réduction des réserves d'environ 103,50 millions de mètres cubes ( $103,50 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ ), calculée sur une période de 46 ans (1973/1974 à 2021/2022), représente 4,07 % par rapport aux réserves de l'année 1973/1974. L'application de ce ratio de réduction de volume au niveau de chaque nœud de maille, nous a permis pour cette année 2021/2022 de déduire :

- le volume des réserves (Tableau n°13),
- la charge hydraulique (Tableau n°14),
- la côte piézométrique correspondante (Tableau n°15),
- la fluctuation durant une période de 46 ans, 1973/1974 à 2021/2022 (Tableau n° 16),
- la profondeur du niveau statique (Tableau n° 17).

Les résultats de calcul, nous a permis à titre indicatif d'illustrer graphiquement la piézométrie estimée (Figure n°30) pour cette année 2021/2022 et sa fluctuation après une période de 46 ans (Figure n°31). Selon cette représentation graphique, nous pouvons considérer que la nappe alluvionnaire de la zone d'El Hammamet connaît actuellement une situation de rabattement considérable de son plan d'eau, surtout dans la zone de grande dépression localisée au sud entre Draa Ech Chih et Youks les Bains ; en raison de l'intensification de

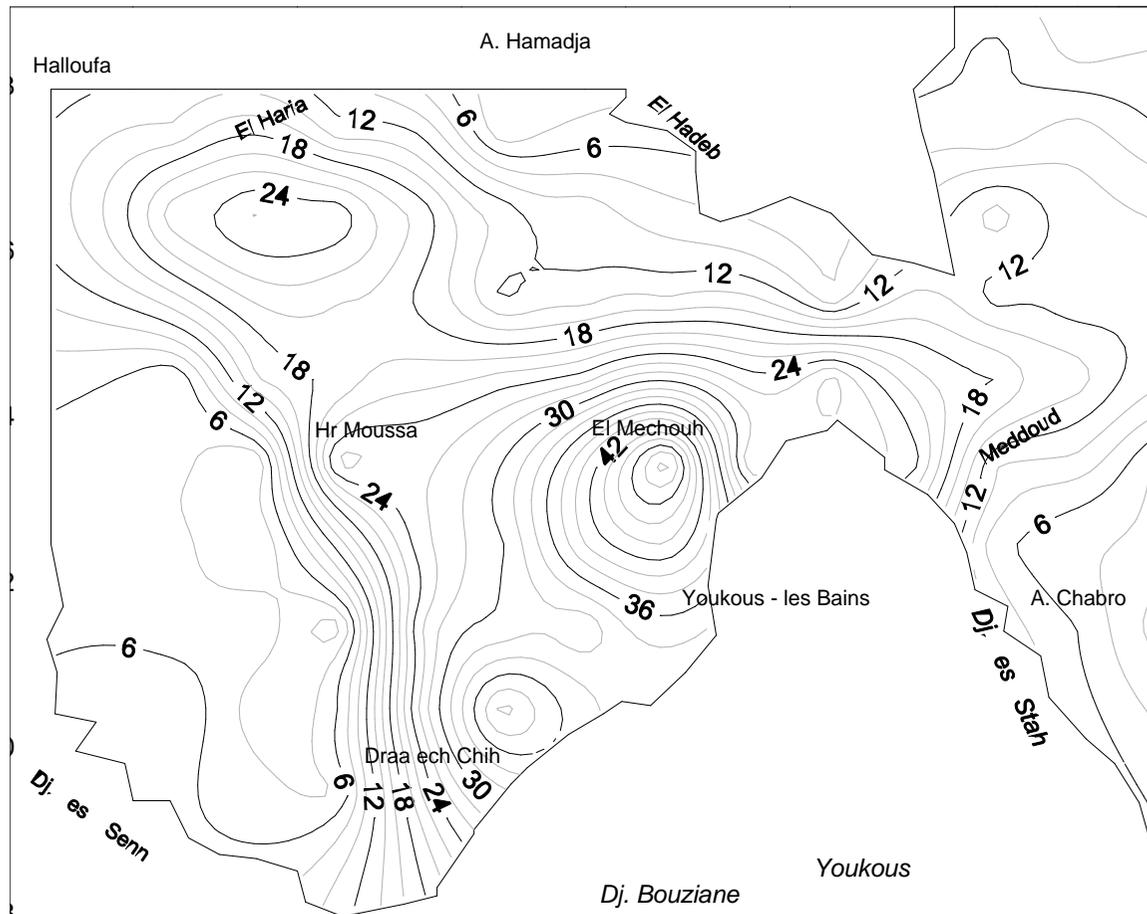


Tableau n° 13 Matrice d'estimation de la réserve en eau, exprimée en million de mètre cube, relative à ce cycle hydrologique 2021/2022 de la nappe alluvionnaire de la plaine d'El Hammamet de (Tébessa –Algérie).

Coordonnées des nœuds des mailles		Les colonnes Y												
		970,5	971,5	972,5	973,5	974,5	975,5	976,5	977,5	978,5	979,5	980,5	981,5	982,5
Les lignes X	258,5	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,58	2,69	5,49
	257,5	7,91	24,56	34,29	17,27	9,056	/	/	/	/	/	1,15	4,61	7,53
	256,5	16,31	28,06	12,09	9,80	5,74	0,44	/	/	/	/	1,34	5,66	10,36
	255,5	7,55	10,55	7,56	0,50	0,02	1,19	6,04	10,43	6,20	0,20	4,74	8,88	14,19
	254,5	27,53	8,25	2,14	0,16	0,02	5,90	67,15	83,06	51,78	14,39	13,75	11,65	19,57
	253,5	40,62	26,19	0,94	6,92	3,07	14,39	57,80	43,65	/	1,65	28,68	17,66	23,98
	252,5	54,06	22,55	14,82	28,90	31,37	90,02	80,42	/	/	/	3,36	10,36	18,61
	251,5	81,41	44,09	63,55	85,14	92,21	93,50	/	/	/	/	/	6,04	10,98
	250,5	62,48	52,40	106,89	128,44	109,3602	/	/	/	/	/	/	/	/
	249,5	/	11,51	114,28	123,62	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	248,5	/	/	44,77	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

**Volume total estimé à  $2439,034 \cdot 10^6 \text{ m}^3 = 2,439 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ .**

Tableau n° 14 Matrice d'estimation de la charge hydraulique en eau relative à ce cycle hydrologique 2021/2022 de la nappe alluvionnaire de la plaine d'El Hammamet de (Tébessa –Algérie).

Coordonnées des nœuds des mailles		Les colonnes Y												
		970,5	971,5	972,5	973,5	974,5	975,5	976,5	977,5	978,5	979,5	980,5	981,5	982,5
Les lignes X	258,5	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	5,76	26,86	54,68
	257,5	52,76	122,79	137,8	86,34	45,28	/	/	/	/	/	11,51	46,05	75,30
	256,5	65,23	112,24	60,44	49,02	38,28	2,88	/	/	/	/	13,43	56,60	103,60
	255,5	21,58	52,76	37,81	1,44	1,92	7,91	40,29	69,55	41,28	2,024	31,61	88,77	141,909
	254,5	78,66	41,25	14,26	1,06	1,92	39,33	191,86	237,31	147,95	57,56	91,66	116,50	195,70
	253,5	116,07	74,83	6,30	46,16	20,47	71,95	165,13	124,71	/	11,03	191,18	176,65	239,82
	252,5	154,45	90,21	98,81	192,69	209,13	257,21	268,05	/	/	/	33,58	103,60	186,10
	251,5	271,36	176,38	254,21	340,55	461,03	373,99	/	/	/	/	/	60,44	109,84
	250,5	178,53	209,61	427,56	513,77	437,44	/	/	/	/	/	/	/	/
	249,5	/	46,05	457,11	494,50	/	/	/	/	/	/	/	/	/
248,5	/	/	127,91	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	

Tableau n° 15 Matrice d'estimation des côtes piézométriques relative à ce cycle hydrologique 2021/2022 de la nappe alluvionnaire de la plaine d'El Hammamet de (Tébessa –Algérie).

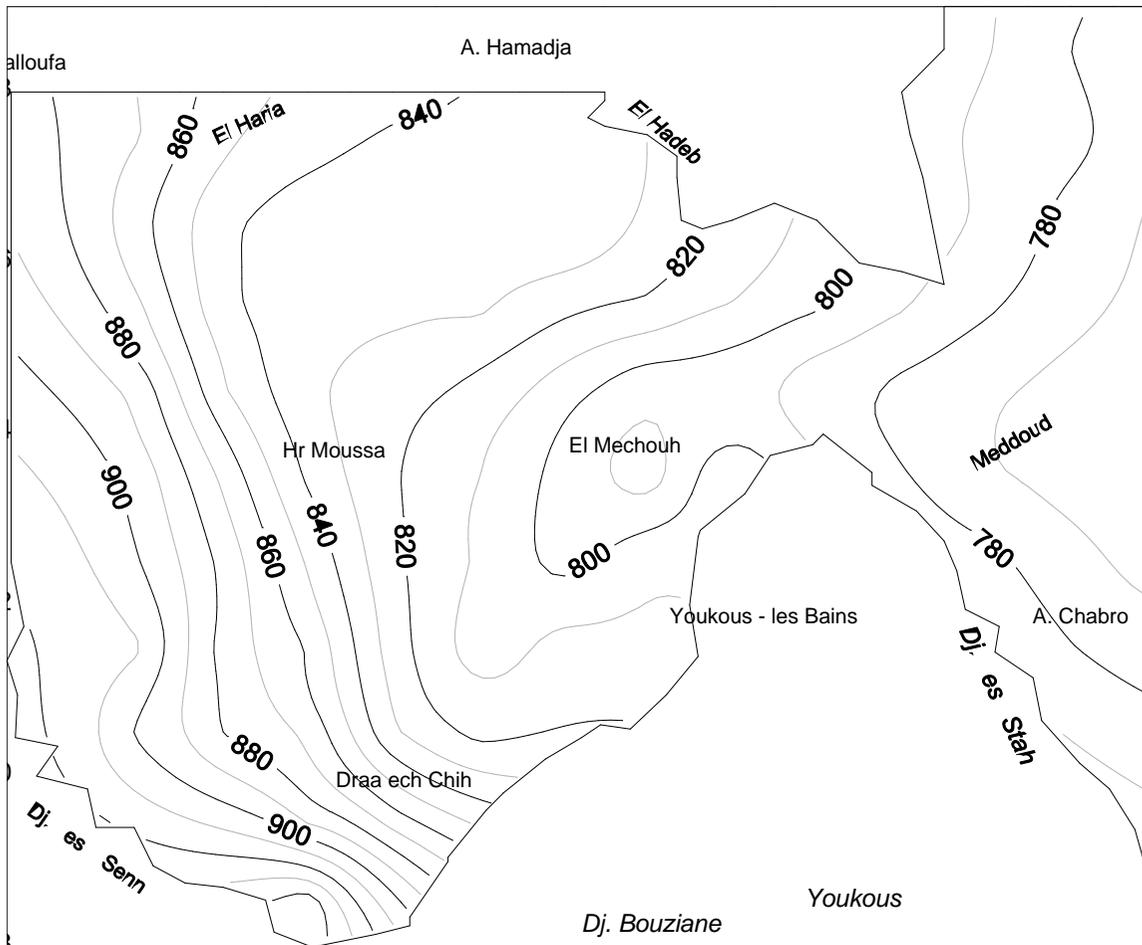
Coordonnées des nœuds des mailles		Les colonnes Y												
		970,5	971,5	972,5	973,5	974,5	975,5	976,5	977,5	978,5	979,5	980,5	981,5	982,5
Les lignes X	258,5	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	790,76	779,86	772,68
	257,5	870,76	852,79	844,18	839,34	839,28	/	/	/	/	/	786,51	784,01	770,31
	256,5	863,23	842,24	835,44	834,02	833,28	839,88	/	/	/	/	788,43	776,60	768,60
	255,5	871,58	842,76	835,81	832,44	831,92	822,91	818,29	809,55	801,28	791,02	781,61	773,77	766,91
	254,5	886,66	851,25	832,26	824,05	816,92	804,33	791,86	792,31	782,95	777,56	771,66	766,50	760,70
	253,5	896,08	867,83	838,30	821,16	810,47	796,95	785,13	809,71	/	781,03	771,18	766,65	764,82
	252,5	900,45	877,21	848,81	822,69	809,13	797,21	808,06	/	/	/	783,58	773,60	766,10
	251,5	911,36	876,38	859,21	825,55	806,03	813,99	/	/	/	/	/	780,44	774,84
	250,5	898,53	879,61	867,57	831,77	817,44	/	/	/	/	/	/	/	/
	249,5	/	906,04	887,11	864,50	/	/	/	/	/	/	/	/	/
248,5	/	/	947,91	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	

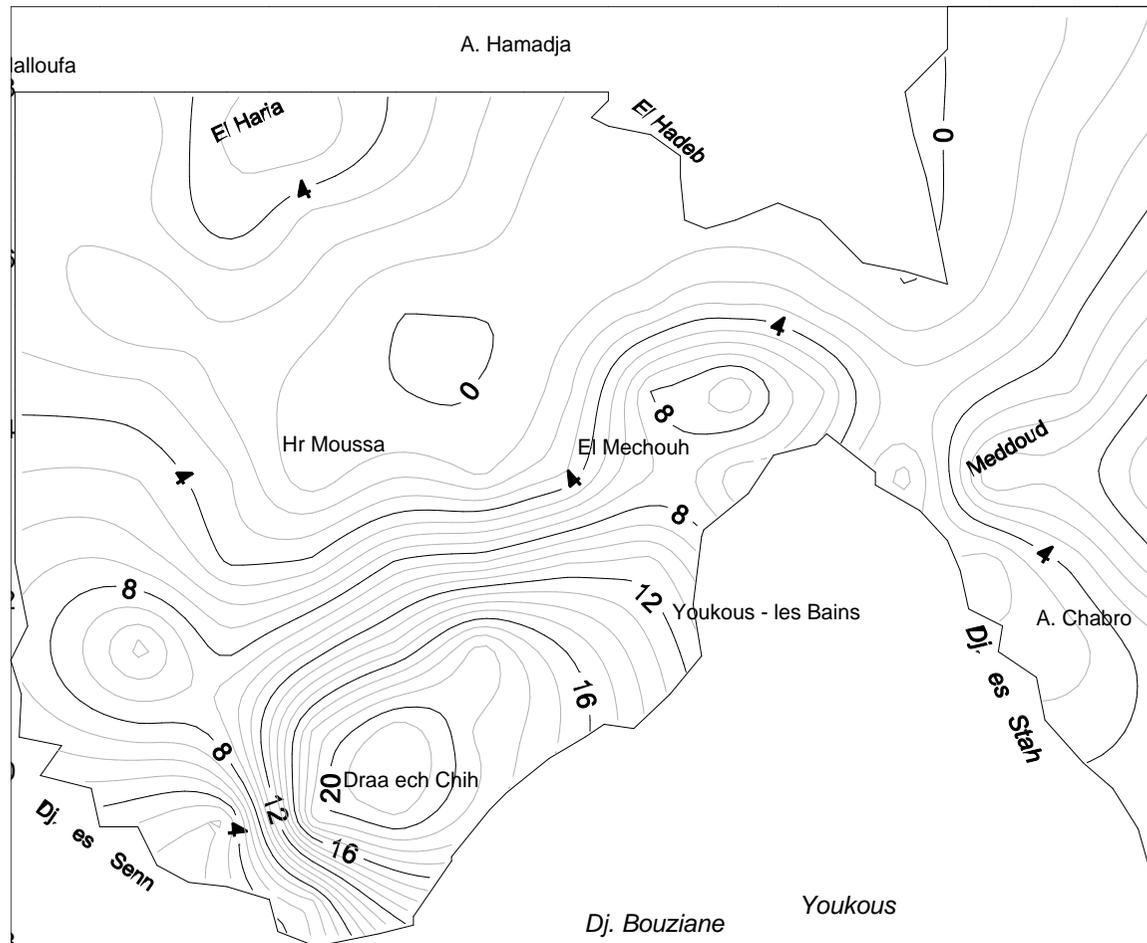
Tableau n° 16 Matrice d'estimation de la fluctuation de la nappe alluvionnaire de la plaine d'El Hammamet de (Tébessa –Algérie) sur une période de 46 ans (du cycle hydrologique 1973 /1974 à celui 2021/2022)

Coordonnées des nœuds des mailles		Les colonnes Y												
		970,5	971,5	972,5	973,5	974,5	975,5	976,5	977,5	978,5	979,5	980,5	981,5	982,5
Les lignes X	258,5	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,24	1,14	2,32
	257,5	2,24	5,21	5,82	3,66	1,92	/	/	/	/	/	0,49	1,954	3,20
	256,5	2,77	4,76	2,56	2,08	1,62	0,12	/	/	/	/	0,57	2,404	4,40
	255,5	0,92	2,24	1,60	0,06	0,08	0,34	1,71	2,95	1,75	0,07	1,34	3,77	6,03
	254,5	3,34	1,75	0,61	0,04	0,08	1,67	8,14	10,07	6,27	2,44	3,89	4,94	8,30
	253,5	4,92	3,18	0,26	1,96	0,87	3,05	7,01	5,29	/	0,47	8,11	7,49	10,18
	252,5	6,55	3,83	4,19	8,18	8,87	10,91	11,37	/	/	/	1,43	4,40	7,90
	251,5	11,51	7,48	10,79	14,45	19,56	15,87	/	/	/	/	/	2,56	4,66
	250,5	7,57	8,89	18,14	21,80	18,55	/	/	/	/	/	/	/	/
	249,5	/	1,95	19,39	20,98	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	248,5	/	/	5,43	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

Tableau n° 17 Matrice d'estimation de la profondeur de la nappe alluvionnaire de la plaine d'El Hammamet de (Tébessa –Algérie) relative au cycle hydrologique 2021/2022

Coordonnées des nœuds des mailles		Les colonnes Y												
		970,5	971,5	972,5	973,5	974,5	975,5	976,5	977,5	978,5	979,5	980,5	981,5	982,5
Les lignes X	258,5	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	2,24	2,14	4,32
	257,5	14,24	19,21	16,82	13,66	2,72	/	/	/	/	/	2,49	8,95	7,70
	256,5	23,77	28,761	26,56	19,98	13,72	10,12	/	/	/	/	13,57	12,40	13,40
	255,5	14,42	22,24	21,19	16,56	10,08	12,08 5	13,71	16,45	8,72	12,98	11,39	13,23	16,09
	254,5	6,34	16,75	17,74	20,94	22,08	25,66	37,14	33,69	34,05	22,44	21,34	19,50	18,30
	253,5	8,93	4,18	26,70	26,84	29,53	42,05	59,87	30,29	/	23,97	17,82	16,35	13,18
	252,5	7,55	4,79	15,19	31,31	37,87	50,29	53,94	/	/	/	4,42	5,40	10,90
	251,5	12,64	11,62	10,79	38,45	48,97	44,01	/	/	/	/	/	5,56	5,16
	250,5	11,47	10,39	22,43	46,23	57,46	/	/	/	/	/	/	/	/
	249,5	/	3,9536	20,89	40,50	/	/	/	/	/	/	/	/	/
248,5	/	/	12,09	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	





pompage par les forages et puits d'une part et la diminution des recharges par les précipitations en ces deux derniers décennies d'autre part. La longue période de sécheresse que notre pays a vécue, en particulier les régions des hauts plateaux, a certainement influencé sur le stock global en eaux souterraines.

Il est évident que cette situation piézométrique estimée est très hypothétique et ne peut être validée qu'à partir d'une confrontation avec celle mesurée.

Afin de vérifier la fiabilité des résultats de calcul, il est nécessaire de réaliser un levé piézométrique pour ce cycle hydrologique et de le comparer par apport à celui calculé. Alors plus que l'écart entre les valeurs mesurées et calculées est petit plus que les résultats de calculs sont considérés crédibles et reflètent la réalité du comportement de la nappe en question.

## **VI. Conclusion :**

L'essai d'estimation de la réserve d'eau de la nappe alluvionnaire dans la zone d'étude, nous permet de conclure que l'aquifère en question se trouve, selon sa morphologie piézométrique et ces paramètres hydrodynamiques de base (charge hydraulique et coefficient d'emmagasinement), dans une situation de réserves en eaux souterraines qui s'évaluent à :

- 2,542 milliards de mètre cube ( $2,5425 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ ) pour le cycle hydrologique 1973/1974,
- 2,515 milliards de mètre cube ( $2,515 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ ) pour le cycle hydrologique 1985/1986.

Le système aquifère alluvionnaire a connu des forts rabattements de son niveau d'eau dans les zones limites et faible au cœur de la plaine. Ce rabattement a pu atteindre 4.50 m à la limite Nord Est d'El Hedeb et de la plaine et il n'a pas dépassé 1 m au cœur de la plaine. A la sortie de l'espace d'étude, précisément à la région de Meddoud, le rabattement est dans une fourchette de 0,5 à 1 m. Cette fluctuation a provoqué, sur une période de douze cycles hydrologiques, un déstockage de la nappe de 26,9955 millions de mètres cube correspondant à une moyenne interannuelle de 2,25 millions de mètres cube, soit **26446,17 m<sup>3</sup>/an/km<sup>2</sup>**.

En comparant nos résultats à ceux trouvés en 2017 par M<sup>er</sup> BENDAKOUM Mehdi au niveau de la plaine de Boulhaf Dyr qui se situe juste en aval, nous déduisons une certaine cohérence entre ces résultats et un très bon calage entre les moyennes interannuelles des variations des réserves, malgré la différence des périodes d'étude et ainsi des surfaces, au niveau de ces deux plaines qui font partie du bassin versant de Tébessa – Morsott. Ceci traduit un comportement presque semblable de la nappe vis-à-vis de l'intensification des prélèvements d'eau et ainsi de la variabilité considérable des conditions climatiques caractérisées par des longues périodes de sécheresse. Selon le taux de déstockage moyen interannuel des réserves

en eau ( $2,25 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ ), ces réserves pourraient être durant cette année 2021/2022 estimées à 2,439 milliards de mètres cubes ( $2,439 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ ) avec un déstockage total, calculé sur une période de 46 ans (1973/1974 à 2021/2022), d'environ 103,500 millions de mètres cubes ( $103,500 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ ). Alors à partir de cet approche de calcul, nous pouvons considérer que la nappe alluvionnaire de la zone d'El Hammamet connaît actuellement une situation de rabattement considérable de son plan d'eau, surtout dans la zone de grande dépression localisée au sud entre Draa Ech Chih et Youks les Bains ; en raison de l'intensification de pompage par les forages et puits d'une part et la diminution des recharges par les précipitations en ces deux derniers décennies d'autre part. La longue période de sécheresse que notre pays a vécue, en particulier dans les régions des hauts plateaux, a certainement influencé sur le stock global en eaux souterraines.

Il est évident que cette situation piézométrique estimée est très hypothétique et virtuelle, elle ne peut être validée qu'à partir d'une confrontation avec celle mesurée.

En conséquence, ces résultats de calculs ne peuvent être qu'approximatifs et ne reflètent pas vraiment la situation actuelle de la réserve en eau de la dite nappe qui se caractérise par hétérogénéité et anisotropie du milieu.

Dans le cas de perspective de recherche et d'étude très exhaustive et approfondie, et pour une meilleure quantification de la réserve en eaux souterraine de la nappe du remplissage alluvionnaire dans cette plaine en appliquant la méthode du modèle (Modélisation) et en prenant en considération l'hétérogénéité et l'anisotropie du milieu, nous recommandons un programme complémentaire d'acquisition des nouvelles données. Alors nous suggérons la réalisation dans cette plaine des travaux complémentaires in situ suivants :

1. Réalisation d'un inventaire de tous les points d'eau implantés et l'établissement d'une nouvelle carte piézométrique qui permet de refléter la situation actuelle de la nappe alluvionnaire,
2. Réalisation des sondages électriques verticaux de dispositif AB égal à 6000 m, qui permet d'avoir une profondeur d'investigation supérieure à 600 m, dans les endroits où le substratum imperméable de la nappe n'a pas été détecté ;
3. Réalisation au minimum cinq forages de reconnaissance atteignant le substratum imperméable dans les zones marquées par la présence des dépressions des isopaques de remplissage alluvionnaire,
4. Installation des piézomètres au près des forages implantés pour déterminer le coefficient d'emménagement par réalisation des essais de débit par pompage sur station de pompage équipée de puits principal et de piézomètres.

## **CONCLUSION GENERALE**

En achevant cette tentative d'étude basée sur l'acquisition des données disponibles, nous pouvons dire que la plaine d'El Hammamet est constituée par un remplissage alluvionnaire résistant et très épais surtout en se rapprochant à la zone limitrophe de la ligne de crête formée par Djebel es Senn et Djbel Bouziane. En dessous de ce remplissage, se met en place une succession de couches anciennes épaisses d'âges allant du Cénomaniens jusqu'au Maestrichtien inférieur avec des faciès carbonatés (marnes et calcaires) qui constituent le substratum. La structure globale est complexe caractérisée par la mise en place, à la limite du bassin, d'un effondrement très fort en forme de gradins, en donnant des horsts et des grabens. Les rejets de failles dépassent largement 700 m notamment en cette zone. Le diapir de Djebel Belkif a joué un grand rôle dans la construction de ce type de structure.

La possibilité aquifère dans cette plaine n'est que dans ce remplissage alluvionnaire qui constitue une nappe alluvionnaire libre dans la totalité de son extension excepté dans la zone nord où elle est sous pression d'une lentille argileuse.

La répartition spatiale des épaisseurs de cet aquifère a permis de distinguer deux cuvettes séparées par un dôme :

- La première cuvette, située au nord ouest de la plaine, est une dépression où le substratum se trouve à une profondeur de 190 m.
- La deuxième cuvette, la plus importante se trouvant au sud de la plaine, limitrophe de la ligne de crêtes, se présente en quatre dépressions de différentes profondeurs.

Selon un scénario plus pessimiste, les réserves en eau dans cet aquifère pourraient être estimées à :

- 2,542 milliards de mètre cube ( $2,5425 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ ) pour le cycle hydrologique 1973/1974,
- 2,515 milliards de mètre cube ( $2,515 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ ) pour le cycle hydrologique 1985/1986.

La fluctuation en cette période de douze cycles hydrologiques a provoqué un déstockage de 26,9955 millions de mètres cube correspondant à une moyenne interannuelle de 2,25 millions de mètres cubes, soit **26470,59 m<sup>3</sup>/an/km<sup>2</sup>**.

Par comparaisant aux résultats trouvés en 2017 au niveau de la plaine de Boulhaf Dyr qui se situe juste en aval, nous jugeons qu'il existe une certaine cohérence et un très bon calage entre les moyennes interannuelles des variations des réserves, malgré la différence des périodes d'étude et ainsi des surfaces, au niveau de ces deux plaines qui font partie du bassin versant de Tébessa – Morsott. Ceci pourrait traduire un comportement presque semblable de la nappe vis-à-vis de l'intensification des prélèvements d'eau et ainsi de la variabilité considérable des conditions climatiques caractérisées par des longues périodes de sécheresse. Selon le taux de déstockage moyen interannuel des réserves en eau de  $2,25 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ , ces réserves pourraient être durant cette année 2021/2022 estimées à 2,439 milliards de mètres cubes avec un

déstockage total, calculé sur une période de 46 ans (1973/1974 à 2021/2022), d'environ 103,500 millions de mètres cubes.

Il est évident que cette situation piézométrique estimée est très hypothétique et virtuelle, elle ne peut être validée qu'à partir d'une confrontation avec une piézométrie mesurée.

En conséquence, ces résultats de calculs ne peuvent être qu'approximatifs et ne reflètent pas vraiment la situation actuelle de la réserve en eau de la dite nappe qui se caractérise par l'hétérogénéité et l'anisotropie du milieu.

Dans le cas de perspective de recherche et d'étude très exhaustive et approfondie, et pour une meilleure quantification de la réserve en eaux souterraine de la nappe du remplissage alluvionnaire dans cette plaine en appliquant la méthode du modèle (Modélisation) et en prenant en considération l'hétérogénéité et l'anisotropie du milieu, nous recommandons un programme complémentaire d'acquisition des nouvelles données. Alors nous suggérons la réalisation dans cette plaine des travaux complémentaires in situ suivants :

5. Réalisation d'un inventaire de tous les points d'eau implantés et l'établissement d'une nouvelle carte piézométrique qui permet de refléter la situation actuelle de la nappe alluvionnaire ;
6. Réalisation des sondages électriques verticaux de dispositif AB égal à 6000 m, qui permet d'avoir une profondeur d'investigation supérieure à 600 m, dans les endroits où le substratum imperméable de la nappe n'a pas été détecté ;
7. Réalisation au minimum cinq forages de reconnaissance atteignant le substratum imperméable dans les zones marquées par la présence des dépressions des isopaques de remplissage alluvionnaire ;

Installation des piézomètres au près des forages implantés pour déterminer le coefficient d'emménagement par réalisation des essais de débit par pompage sur station de pompage équipée de puits principal et de piézomètres.

# **BIBLIOGRAPHIE**

**BENAKOUM Mehdi** : Etat de la réserve en eaux souterraines dans la zone de Tébessa Boulhaf – Dyr durant la période des hautes eaux du cycle hydrologique 2016/2017. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master – Univ. de Laarbi Tebessi - Tébessa, Algérie (Mai 2017).

**CHEHILI. D** : Impact des eaux usées de la ville de Tébessa sur la nappe du remplissage alluvionnaire par évaluation du DBO<sub>5</sub>, DCO et les principaux métaux lourds dans la zone de Boulhaf-Dyr (Tébessa-Algérie). Mémoire de Magistère - Univ. de Laarbi Tebessi - Tébessa, Algérie (2016)

**CARTE TOPOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE DE TEBESSA, Feuille N° 206**

**CARTE TOPOGRAPHIQUE DE YOUKOUS LES BAINS, Feuille N° 205**

**CARTE TOPOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE DE LA MESKIANA, Feuille N° 178**

**COMPAGNIE GENERALE DE GEOPHYSIQUE (C .G .G)** ; Etude par prospection géophysique dans la plaine de Tébessa – Morsott ; Ministère de l'hydraulique (Algérie). (1971).

**COMPAGNIE DE GEOPHYSIQUE STRAJEXPORT PRAGUE** : Etude par prospection géophysique dans la plaine d'El Hammamet; Ministère de l'hydraulique (Algérie). (1978).

**DUROSOY** : Carte géologique de TEBESSA N° 206 et notice de la carte. (1956).

**DJELLAB M.** : Contribution des systèmes aquifères karstiques Maestrichtiens et Eocènes du Dyr à l'alimentation du système aquifère Mio-Plio-Quaternaire de Tébessa dans la zone de Boulhaf-Dyr – Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master – Université de Tébessa(2011).

**HAOUAM S.** : Variabilité spatiale du chimisme et de la qualité des eaux souterraines dans la zone de Boulhaf-Dyr (Tébessa) - Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master – Université de Tébessa (2013).

**HEMILA M.L.** : Hydrogéologie Modélisation et gestion des ressources en eau de la plaine alluviale du bassin de l'oued de la Meskiana – Haut Mellegue - (Est algérien), Thèse de Doctorat de l'université, Univ. de Franche comté – Besançon, France (1988) .

**KOWALSKI, W.M., BOUDOUKHA A., HEMILA M.L., PHARISAT A** : Les stades d'effondrement du graben de Tébessa (confines Algéro-Tunisiens) et la tectonique plicative Plio-Quaternaire. Pub. Soc.Hist.Nat.Montbéliard. (1997).