

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université KASDI Merbah Ouargla

—ooOoo—

Faculté des Sciences Appliquées  
Département de Génie Civil et d'Hydraulique

—ooOoo—

Mémoire  
Présenté Pour L'obtention Du Diplôme De

## MASTER

Filière : Hydraulique  
Option : Forage d'eau

Thème :

**Contribution à l'identification Hydrodynamique  
du Système Aquifer de la région de Ouargla  
Cas : Forage Hai-Nasser**

Réalisé Par : - Djafour abbes  
- Ben dréghme Abd Elatife

Soutenu publiquement le :  
Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Université	Qualité
Fortas Tahar	MAA	Kasdi Merbah de Ouargla	Président
Mansouri Zina	MAB	Kasdi Merbah de Ouargla	Examinatrice
Fedel Mourad	MAB	Kasdi Merbah de Ouargla	Encadreur

Année Universitaire : 2013 /2014

## *Remerciements*

*Je tiens à exprimer ma profonde gratitude avant tout à dieu tout puissant qui ma aidé et donné le courage pour mener a bien ce modeste travail.*

*Ma gratitude et mes vifs remerciements vont directement à mon encadreur du mémoire Mr Fedel Mourad d'avoir encadré et suivi mon travail de près avec sa rigueur scientifique exceptionnelle, ses conseils qui m'ont permis de mener à bien ce travail. Je remercie tout particulièrement messieurs les membres de Jury :*

*Mr Fortas Tahar M.A.A de l'université de Ouargla qui a acceptée de présider le jury.*

*Mr Mansouri Zina M.A.B de l'université de Ouargla.*

*. Enfin, je tiens à remercier tous les amis et les collègues qui m'ont aidés et encouragés pour réaliser ce mémoire.*

# DÉDICÆE

*A*

*- Mon père et ma mère*

*- Mes frères et ma sœur*

*- Tous les gens que j'aime et qui m'aiment*

*Je dédie ce travail . . . .*

## *Liste des tableaux*

---

<b>Tableau 01 : Précipitations moyennes mensuelles (1997-2009) ONM Ouargla</b>	<b>18</b>
<b>Tableau 03 : Humidité moyennes mensuelles en % (1997-2009) ONM</b>	<b>20</b>
<b>Tableau 04 : vitesse du vent mensuel moyen (1997-2009) ONM</b>	<b>21</b>
<b>Tableau 05 : l'insolation moyenne mensuelle en heures à Ouargla (1997-2009)</b>	<b>22</b>
<b>Tableau 06 : Température moyenne mensuelle interannuelle (1997-2009) ONM</b>	<b>23</b>
<b>Tableau 07 : l'évaporation moyenne interannuel mensuelle (1997-2009)</b>	<b>23</b>

## *Liste des figures*

<b>Figure 01 : Carte géologique locale (BG, 2004)</b>	<b>4</b>
<b>Figure 02 : Réseau hydrographique de la vallée de Ouargla</b>	<b>7</b>
<b>Figure 03 : Carte des ressources en eau souterraines (CI et CT). (UNESCO, 1972)</b>	<b>10</b>
<b>Figure 04 : Coupe hydrogéologique transversale du "CT" (UNESCO, 1972)</b>	<b>12</b>
<b>Figure 05 : Coupe hydrogéologique transversale du "CI" (UNESCO, 1972)</b>	<b>13</b>
<b>Figure 06 : Chotts et Sebkhass de la vallée de Ouargla</b>	<b>16</b>
<b>Figure 07 : Précipitations moyennes mensuelles (1997-2009) ONM</b>	<b>19</b>
<b>Figure 08 : Graphique des précipitations annuelle (cumule) (1997-2009) ONM</b>	<b>20</b>
<b>Figure 09: Graphique de l'Humidité moyenne mensuelle 1997-2009.</b>	<b>21</b>
<b>Figure 10: Graphique de vitesse du vent mensuel moyen (1997-2009)</b>	<b>21</b>
<b>Figure 11: Graphique de la température moyenne mensuelle (1997-2009)</b>	<b>23</b>
<b>Figure 12 : Graphique de l'évaporation moyenne interannuelle mensuelle (1997-2009)</b>	<b>24</b>
<b>Figure 13 : L'ETR mensuelle (1997-2009) calculée par la formule de Thornthwaite</b>	<b>26</b>
<b>Figure 14 : Formation du mudcake en face des formation poreuses et perméable</b>	<b>32</b>
<b>Figure 15 : Montrant la zon compacte entre 1425m les caves observées sur la courbe du caliper</b>	<b>33</b>
<b>Figure 16 : Montrant la PS en face des argiles et en face des formations propre et la séparation des courbes de résistivités en face des formations poreuses et perméables</b>	<b>34</b>
<b>Figure 17 : Courbe de descente et de remonté essais par palier</b>	<b>38</b>
<b>Figure 18 : Détermination de B et C</b>	<b>39</b>
<b>Figure 19 : Courbe caractéristique</b>	<b>39</b>
<b>Figure 20 : Courbe de descente du palier constant</b>	<b>40</b>
<b>Figure 21 : Diagramme de piper</b>	<b>43</b>
<b>Figure 22 : Diagramme scholler barkalove</b>	<b>44</b>

# *S o m m a i r e*

Remerciements

Dédicace

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction

## *Chapitre I*

### *Géologie*

I. Géologie	3
II. Géomorphologie	4
Couverture végétale	5
III. Hydrologie	6
Cycle et bilan de l'eau dans un site saharien	6
Fonctionnement d'un bassin versant au Nord du Sahara	6
Oueds de la vallée de Ouargla	6
Oued M'Zab	6
Oued N'sa	7
Oued M'ya	7

## *Chapitre II*

### *Hydrogéologie*

Hydrogéologie

1. Présentation des nappes de la région	09
1.1 Nappe phréatique	10
1.2 Nappes du Complexe Terminal	11
1.2.1 Nappe du Mio-Pliocène	11
1.2.2 Nappe du Sénonien	11
1.2.3 Nappe du Continental Intercalaire	12
Sebkhas et Chotts	13
Chott Aïn Beïda	13
Chott Oum-Er-Raneb	14
Sebkhet Safioune	14
Sebkha de Bamendil	15

## ***Chapitre III***

### ***Hydroclimatologie***

Hydroclimatologie	
I. Introduction	18
II. Paramètres Climatiques	18
II.1 Précipitations	18
II.2 Précipitations mensuelles	18
II.3 Précipitations interannuelle	19
III. Humidité de l'air	20
III.1 La vitesse du vent	21
III.2 L'insolation	22
La Température	22
L'évaporation	23
L'évapotranspiration	24
Formule de Thornthwaite	24
CONCLUSION	26

## ***Chapitre IV***

### ***Diagraphie***

Diagraphie	28
I. Définition et principe	28
II. Conclusion	31

## ***Chapitre V***

### ***Essais de débit***

I. Essais de débit	36
II. Analyse chimique	36
Conclusion	46
Références bibliographiques	48
Annexes	
Résumé	

## *Introduction*

---



## **INTRODUCTION**

Après une présentation sommaire de la géologie de la région de Ouargla, ce travail traite des données recueillies sur le forage Albien de Hai-Nasser commune de Ouargla.

Il s'articule sur l'identification géologique de l'aquifère en s'aidant des logs de forage et des diagraphies.

L'aquifère est un système dynamique caractérisé par sa configuration sa structure, et les fonctions de son réservoir et ses comportements.

L'aquifère est constitué de deux phases principales en interaction : le réservoir et l'eau souterrain.

L'eau est extraite du terrain aquifère, recoupée par la force sous l'effet de la chute de pression engendrée par une pompe, à moins qu'elle ne jaillisse directement au niveau du sol.

Les essais de puits et le pompage d'essais sont deux méthodes d'expérimentation qui ont pour objet l'évaluation des caractéristiques du complexe aquifère /ouvrage d'une part et la détermination des paramètres hydrodynamiques d'autre part.

### **Le but de travail:**

L'objectif de cette étude est l'interprétation des données des pompages d'essais et de fixer l'objectif principal de déterminer les principaux paramètres hydrauliques de l'aquifère.

# *Chapitre I*

---

## *Situation géographiques*

## 1. Cadre géographique

La wilaya de Ouargla se situe au Sud Est du pays, elle s'étend sur une superficie de 163.233 Km<sup>2</sup>. La population est estimée à 415.000 habitants, en 2004, répartie à travers 21 Communes. Elle est limitée au Nord par les wilayate de Djelfa et d'El Oued, au Sud par les wilayate d'Illizi et de Tamannrasset, à l'Ouest par la wilaya de Ghardaia et à l'Est par la Tunisie (fig.1).

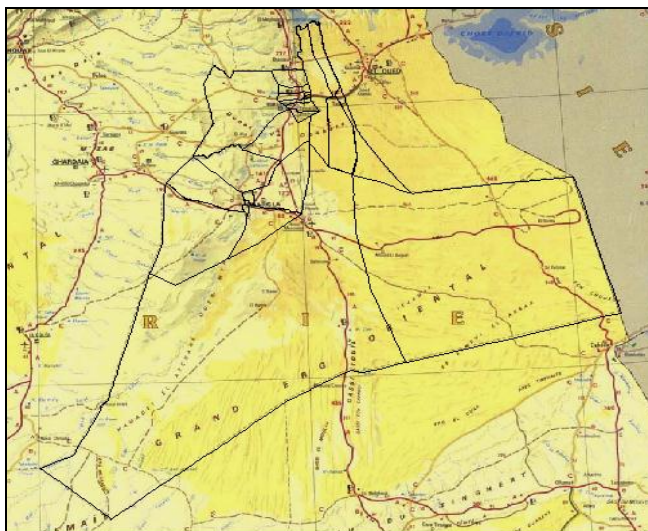


Fig.1 : Limites administratives de la wilaya d'Ouargla

## 3. Aspect climatique

La région d'étude se caractérise par un climat aride, très chaud en été avec une moyenne maximale de 42,8°C au mois de juillet et une température moyenne minimale de 4,4°C au mois de janvier. La pluie moyenne annuelle est de l'ordre de 50 mm.

## 4. Aspect hydrogéologique

Dans la région d'étude, on distingue trois types de systèmes aquifères, l'un libre correspondant à la nappe phréatique les autres sont captifs, correspondant aux nappes du Complexe Terminal et le Continental Intercalaire :

### - La nappe phréatique :

Cette nappe est peu profonde, son épaisseur varie de 0 à 20m. Elle est contenue dans les sables gypseux quaternaires. Elle s'écoule librement des points hauts vers les points bas (chotts et sebkhas).

La vallée de Ouargla est actuellement affectée par une remontée des eaux de la nappe phréatique qui est due à la multiplication des forages d'eau, au mauvais drainage des eaux agricoles et à la mauvaise gestion des eaux résiduaires urbaines. Lorsque les entrées sont supérieures aux sorties, le niveau de la nappe monte et remplit les pores des terrains sus-jacents. L'ascension capillaire est ainsi facilitée et le phénomène d'évaporation intervient.

- **Système aquifère du Complexe Terminal (CT)** : Il est largement exploité dans la région du Bas Sahara, ceci s'explique par le fait qu'il est accessible à des profondeurs souvent inférieures à 500 m et avec des conditions de mobilisation facilement maîtrisables (faibles artésianisme et température de l'eau). Le Complexe Terminal contient trois nappes. De haut en bas nous distinguons :

- **La nappe du Mio-pliocène** : formée d'une alternance de sables et d'argiles et repose en discordance sur le Sénonien. Son épaisseur moyenne est de l'ordre de 150m.

- **La nappe du Sénonien-Eocène** : Formée de dolomies, de calcaires dolomitiques avec des intercalations de marnes et d'argiles, reconnu sur une épaisseur de 360m et repose sur la série imperméable du **Sénonien lagunaire**.

- **La nappe du Turonien** : Formée de calcaires et constitue un aquifère captif, localement fissuré, dans la région de Hassi Messaoud. Son épaisseur moyenne est de l'ordre de 60m et repose sur un substratum imperméable du **Cénomaniens anhydritique** et argileux.

-**Système aquifère du Continental Intercalaire (CI)** : Il occupe l'intervalle stratigraphique compris entre le Trias et le sommet de l'Albien. Les niveaux aquifères sont contenus essentiellement dans le Barrémien et l'Albien qui sont constitués de dépôts continentaux gréseux et sablo-argileux du Crétacé inférieur. Dans la zone d'étude, cet aquifère est captif, la puissance du réservoir utile est supérieure à 250m. Les mesures de pressions statiques indiquent des valeurs comprises entre 15 et 18 bars (eau jaillissante).

A ces deux grands aquifères vient s'y ajouter une **nappe phréatique** superficielle, contenue dans les sables quaternaires. Elle est peu profonde avec une large extension dans les vallées de Ouargla et d'Oued Righ.

*Chapitre II*

---

*Géologie*

## I. GEOLOGIE

La vallée de Ouargla est creusée dans les formations continentales. Il s'agit de sables rouges et de grès tendres à stratifications entrecroisées, avec nodules calcaires, entrecoupés de niveaux calcaires ou gypseux que l'on voit affleurer sur ses bords Est et Ouest.

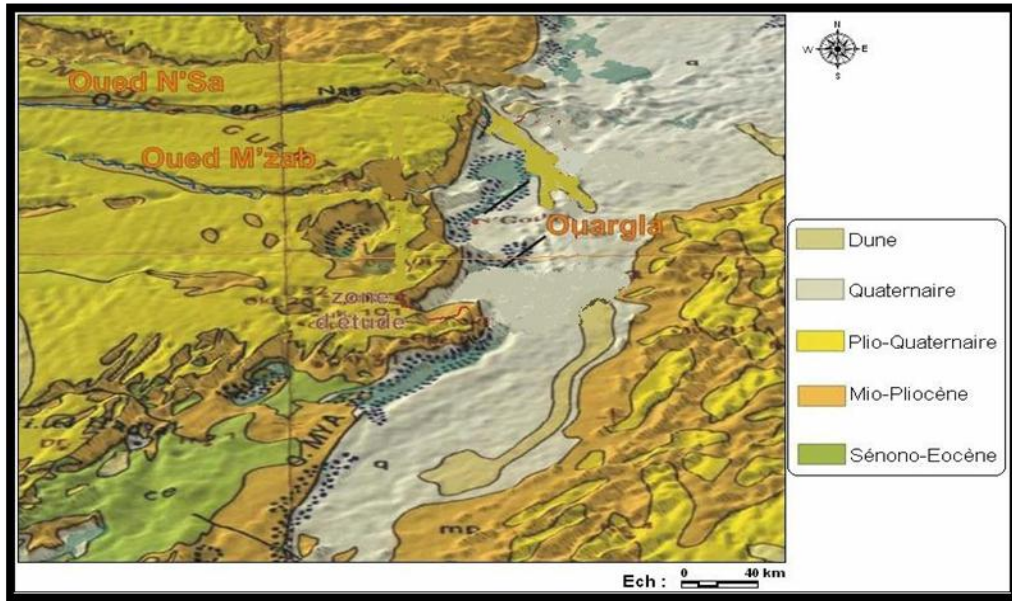
Au-dessous du fond de la vallée, les puits et les sondages ont mis en évidence, sous quelques mètres de sable :

- Une alternance de niveaux formés de calcaires, de calcaires marneux, de sables argileux et de grès tendres se terminant à la base par des argiles sableuses vers 30 à 45 m de profondeur.
- Des sables fins et gros se terminant par des argiles sableuses à leur base vers 55 m à 80 m.
- Les calcaires du Sénonien vers 250 m
- Un épais horizon d'argiles à évaporites vers 650 à 700 m
- Une centaine de mètres d'évaporites massives
- Des argiles à évaporites plastiques, vers 1050 – 1100 m de profondeur
- Des sables et grès de l'Albien se trouvant entre 1050 – 1100 m et 1350 - 1400m de profondeur.

Après son creusement, la vallée de Ouargla a été occupée par un lac au fond duquel se sont déposés des sédiments fins argileux ou d'origine chimique, craies, calcédoine et évaporites. Un niveau charbonneux a été daté de – 17'000 ans.

Des oueds, descendant de la dorsale mzabite à l'Ouest (oueds M'Zab, N'Sa, Z'gag) ou du Tadmait (oued M'ya) au Sud, se déversaient dans ce lac en abandonnant leurs alluvions en larges cônes (Ank Djemel pour l'oued M'Zab) ou barrant la vallée (oueds N'Sa et Z'gag au Nord de la Sebkhet Safioune).

Avec la fin du dernier grand pluvial, le lac s'est retiré. L'oued M'ya n'a pu qu'épisodiquement couler de sebkha en sebkha sans beaucoup de vigueur, son cours étant complètement coupé par les reliefs situés à l'aval de la Sebkhet Safioune (un lac se formait à nouveau à chaque période un peu pluvieuse). (BG, 2004)



**Figure 02 : Carte géologique locale (BG, 2004)**

D'après la carte géologique réalisée par BG. Busson, le relief d'Ouargla est constitué de roche sédimentaires et alluvions et colluvions dérivées de ces roches :

Marne jaunâtres, plus ou moins gréseuses, salées ou gypseuses ;

- Calcaires ocre, gréseux ou marneux ;
- Argiles sableuses rouges à ocres salées et gypseuses ;
- Grés, sables et conglomérats ;
- Calcaires lacustres ;
- Sables récents du quaternaire.

## II. GEOMORPHOLOGIE

La cuvette de Ouargla occupe une superficie d'environ 1000 Km<sup>2</sup> dans la basse vallée de l'Oued M'ya qui s'étend sur une soixantaine de kilomètres du sud vers le nord.

Cette cuvette correspond à la basse vallée fossile datant du quaternaire de l'oued M'ya qui descend en pente douce (1%) du plateau de tadmaït et se termine à 20 kilomètres au nord de Ouargla.

D'ouest en est on distingue

Le plateau de la Hamada pliocène, à l'ouest de Ouargla, s'abaisse légèrement d'ouest en est. Il est à 220 m au-dessus de la vallée. À l'est, il est fortement érodé, laissant dans le paysage une série de buttes témoins ou Goure. Les glacis, sur le versant Ouest de la cuvette, s'étagent du plus ancien au plus récent, d'ouest en est sur quatre niveaux de 200 m à 140 m. Les glacis de 180 m et de 160 m, très visibles, se caractérisent par l'affleurement du substrat gréseux du Mio-Pliocène. La pente de ce dernier, souvent recouverte de sables et de graviers, est faible. L'Est de la cuvette de Ouargla est un vaste glacis alluvial à sable grossier, de 150 m d'altitude.

Le chott et la sebkha constituent le niveau le plus bas. Le chott qui correspond à la bordure de la sebkha est constitué de sable siliceux et/ou gypseux et de sols gypseux à croûte gypseuse de surface et de subsurface. Le bas-fond se caractérise par la présence d'une nappe phréatique permanente, très peu profonde (1 à 5 m) dans le chott, qui affleure en surface au centre de la sebkha. En aval de Ouargla, en direction SSE-NNO, diverses sebkhas alternent avec les massifs dunaires jusqu'à la sebkha Safioune (103 m NGA).

Les dunes, formations éoliennes récentes en petit cordons, d'environ 150 m d'altitude, occupent l'Est et le Nord-Est de Ouargla et bordent les sebkhas le long de la vallée de l'oued Mya.

Le sous-sol de la ville de Ouargla est formé de sables dunaires reposant sur des alluvions de l'oued avec localement des formations gréseuses indurées.

Dans la région de Ouargla, seuls les terrains du Mio-Pliocène affleurent, recouverts par endroits de formations de dépôts datant du quaternaire composé des ergs et des dunes.

### **Couverture végétale**

La végétation naturelle est plutôt due au fait de la nature des sols et leur structure ainsi que le climat. Elle est plus ou moins présente suivant les régions. Ainsi, une végétation arbustive à acacias est rencontrée notamment dans les lits d'Oued, les vallées et les alentours des Gueltas.

Selon le service des statistiques de la direction des services agricoles ; l'évolution des surfaces agronomiques est comme suite : La surface agronomique totale de la wilaya est de 4877393 ha ; la surface réellement utilisée est de 29839,5 ha ; et jusqu'à l'année 2005 la



surface agronomique irriguée est de 17955.5 ha, avec un débit total d'irrigation de 49.7 hm<sup>3</sup>/an.

### III. HYDROLOGIE

Les grands réseaux hydrographiques de la région d'étude sont Oued M'ya et oued M'zab et Oued N'sa qui draine leur eau vers la cuvette de Ouargla et par conséquent pose des problèmes de la remonté des eaux superficielle.

C'est l'aquifère phréatique qui pose problème, car sa surface piézométrique remonte et étouffe l'appareil végétal des palmiers, ce qui entraîne leur dépérissement (diminution progressive de rendement, puis la mort).

#### Cycle et bilan de l'eau dans un site saharien

Le bilan hydrique d'eau du bassin versant est constitué par les précipitations, l'évaporation, le ruissellement et les infiltrations. Pour expression générale :

$$P = ET + R + I + D$$

- P : Précipitations.
- ET : Evapotranspirations.
- R : Ruissellement
- I : Infiltration
- D : Drainage

Le bilan d'eau du chott est constitué par les eaux de précipitation ; les eaux drainées et infiltrées (entrées) et l'évaporation (sorties).

#### Fonctionnement d'un bassin versant au Nord du Sahara

##### Oueds de la vallée de Ouargla

La cuvette de Ouargla est alimentée par trois oueds importants :

##### Oued M'Zab

L'oued M'Zab coule d'ouest en est sur environ 320 kilomètres de la région de Botma Rouila à 750 mètres d'altitude jusqu'à la Sebkha Safioune à 107 mètres située au nord de la cuvette de Ouargla.

La surface du bassin versant est de 5 000 km<sup>2</sup>. Il n'y a pas d'écoulement pérenne. Les crues sont exceptionnelles, les dernières observées datent de 1901, 1951, 1991 et septembre 1994. Le débit mesuré en 1994 a atteint 13,5 m<sup>3</sup>/seconde. Lors de la crue de 1991, la

circulation de la route Frane-El Hadjira a été interrompue, cependant l'eau n'a pas franchi la route vers Hassi Debiche. (Mission IIB, 2004)

### Oued N'sa

Le bassin versant de oued N'sa couvre une superficie de 7 800 km<sup>2</sup>. Il coule selon une direction Ouest-est dans son cours supérieur, en direction Nord Nord ouest – Sud Sud Est dans son cours moyen sur une longueur d'environ 100 kilomètres et de nouveau vers l'est en son cours inférieur pour se déverser dans la sebkha Safioune. Les crues sont également exceptionnelles. La dernière date de 1994, où le débit enregistré a été de 35 m<sup>3</sup>/seconde. (Mission IIB, 2004)



**Figure 03 : Réseau hydrographique de la vallée de Ouargla**

### Oued M'ya

Le bassin de l'oued M'Ya couvre une superficie de 19 800 Km<sup>2</sup>. Les écoulements sont plus fréquents en novembre, octobre, mai et juin. Les crues de l'oued M'Ya se perdent à 200 kilomètres en amont de la ville de Ouargla. (Mission (IIB, 2004)

## *Chapitre III*

---

# *Hydroclimatologie*

## HYDROCLIMATOLOGIE

### I. Introduction :

Le climat du Sahara septentrional correspond au schéma global de circulation atmosphérique, qui schématiquement consiste en un échange entre la zone des basses pressions et celles des hautes pressions subtropicales dues aux alizés (qui soufflent à basse altitude du Nord et Nord-est vers l'équateur), et aux courants d'altitude venants d'ouest. La région d'Ouargla fait partie du bas Sahara et obéit à ce schéma climatique (DUBIEF, 1959-1963). Ce climat saharien est caractérisé par un été chaud et sec, un hiver plutôt doux, une faible pluviométrie et une forte évaporation.

L'analyse des de différents paramètres climatiques fournies par l'ONM -station d'Ouargla- (2009) (Annexe I), montre que la zone d'étude est caractérisée par un climat saharien hyper aride à hivers tempérés, et d'une sécheresse permanente, l'aridité s'exprime par des températures élevées en été, la faiblesse des précipitations, et l'évaporation intense due à la sécheresse de l'air.

### II. Paramètres Climatiques :

#### II.1 Précipitations :

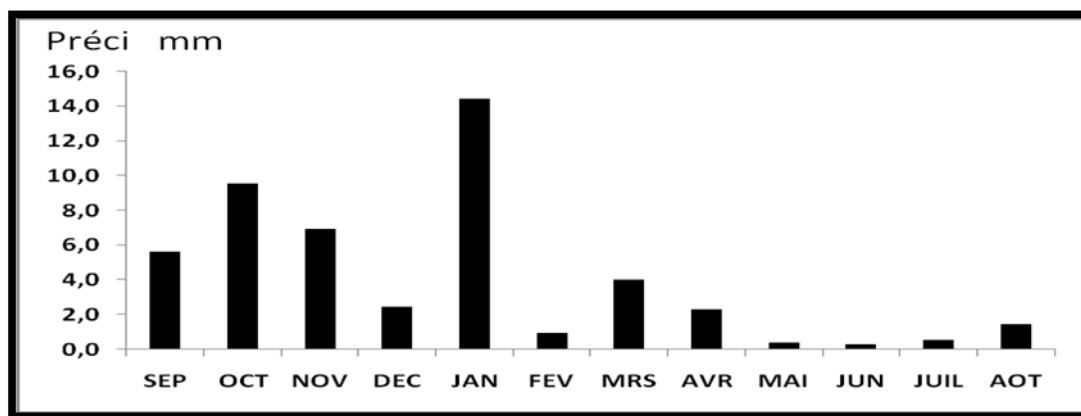
La région d'étude est caractérisée par pluies irrégulières, faibles, et présentent de variations interannuelles importantes, nous allons exposer respectivement, les précipitations mensuelles et celles annuelles.

#### II.2 Précipitations mensuelles :

Le tableau ci-dessous et la figure 1 montrent les précipitations moyennes mensuelles interannuelles observées durant la période de (1997-2009).

**Tableau 01 : Précipitations moyennes mensuelles (1997-2009) ONM Ouargla.**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Préci. mm	5,6	9,5	7,0	2,5	14,4	1,0	4,0	2,3	0,4	0,3	0,5	1,4



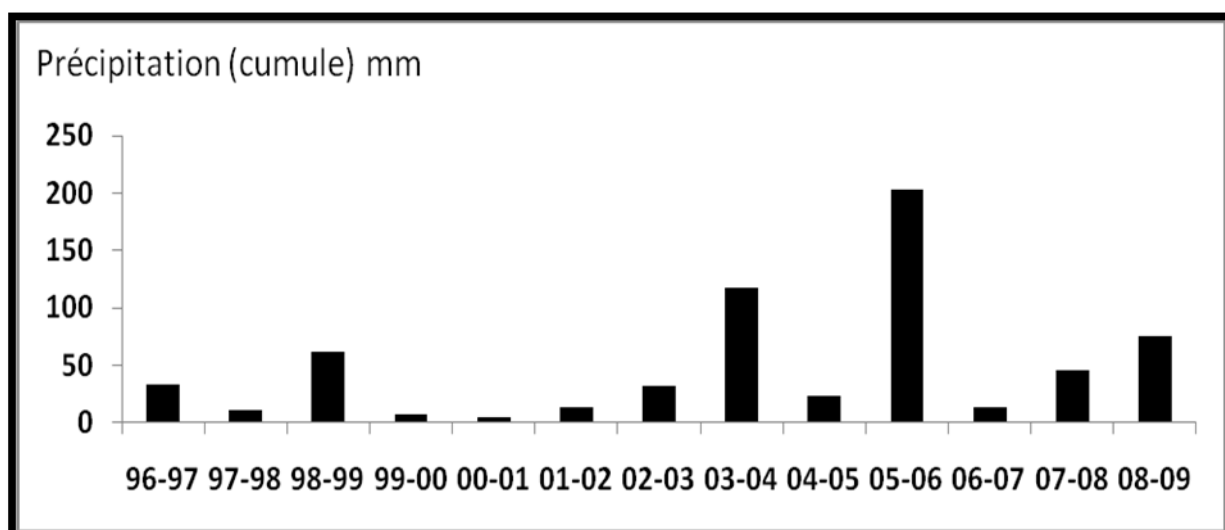
**Figure 04 : Précipitations moyennes mensuelles (1997-2009) ONM**

Les précipitations mensuelles sont irrégulières et montrent de faibles hauteurs, (figure 7) que ce sont surtout les mois sep, oct. nov. jusqu'à janvier qui constituent le maximum de pluviométrie durant l'année, le reste du mois est très insignifiants.

### II.3 Précipitations interannuelle

La moyenne des précipitations interannuelles calculées dans cette série allant de 1997 à 2009 est 52,7 mm. Tableau : Précipitations moyennes interannuelles (1997-2009) ONM (2010)

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
ANNEE	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
P cumul mm	32,9	10,6	62,3	7	5,9	13,9	32,1	117,8	23,7	203	13,1	46,4	75,9



**Figure 05 : Graphique des précipitations annuelle (cumule) (1997-2009) ONM**

D'après l'histogramme on constate que les valeurs des cumules de précipitation annuelle depuis 1997 jusqu'à 2009, varient de 6mm (2001) à 203mm(2006) ; l'année hydrologique la plus pluvieuse dans cette série, ce qui explique une importante irrégularité des précipitations d'une année à autre avec un écart de 197mm.

### III. Humidité de l'air :

Le degré hygrométrique de l'air (ou humidité relative) c'est le rapport de la tension de vapeur effective à la tension de vapeur saturante dans les mêmes conditions de température et de pression. Le tableau I-3 montre que la moyenne mensuelle de l'humidité mesurée à Ouargla (1997-2009)

**Tableau 03 : Humidité moyennes mensuelles en % (1997-2009) ONM**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
H en %	38,0	46,4	55,7	60,5	60,1	52,4	41,9	35,3	32,2	26,2	24,2	27,8

D'après le tableau et le graphique (Figure 8), on remarque que l'humidité maximale correspond les mois de Janvier et Décembre (60 %). Cette valeur est parfois les caractéristiques importantes du climat, l'humidité moyenne annuelle de l'air dans le secteur étudié est de 41,7 %.

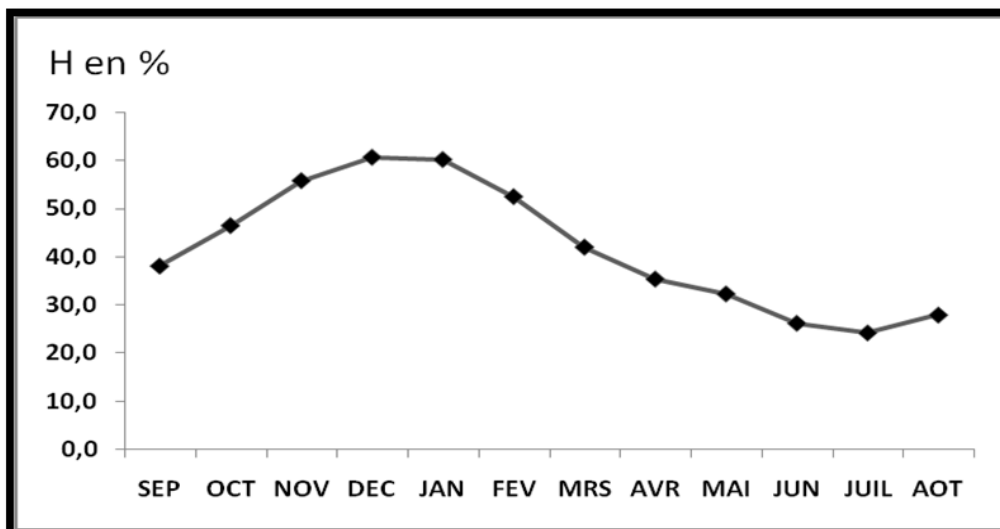


Figure 06: Graphique de l'Humidité moyenne mensuelle 1997-2009.

**III.1 La vitesse du vent :**

Le vent est le paramètre climatique le plus régulier dans la région d'Ouargla, Il est déterminé par sa direction et sa vitesse.

**Tableau 04 : vitesse du vent mensuel moyen (1997-2009) ONM**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
vitesse m/s	3,8	3,5	2,8	2,7	2,8	3,2	3,8	4,4	4,8	4,6	4,2	4,0

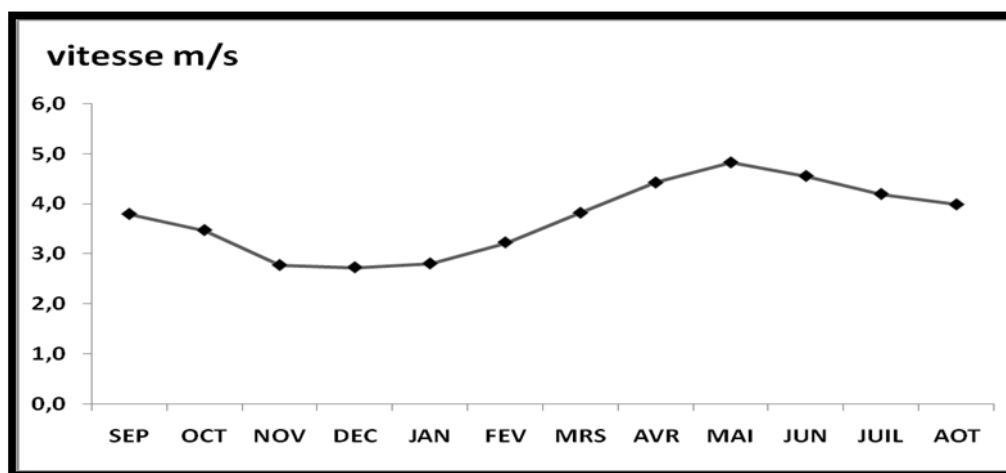


Figure 07 : Graphique de vitesse du vent mensuel moyen (1997-2009)

Le tableau 04 montre que les vents les plus forts se produisent durant les mois d'Avril à Juillet avec un maximum de 4,8 m/s en juin, tandis que le reste des mois la vitesse de vent est faible (2,7 m/s).

Généralement, les vents les plus fréquents sont ceux qui ont une direction S-N et SW-NE, tandis que les vents dirigés vers le Sud et le Sud-ouest ne dominent qu'au mois de Janvier. On peut penser que l'orientation grossièrement N-S de la vallée joue un rôle dans la direction des vents. La vitesse moyenne annuelle du vent est de 3,7 m/s.

### III.2 L'insolation

L'insolation est la durée d'apparition du soleil, elle est exprimée en heures, elle varie en fonction de l'altitude qui détermine la longueur des jours et le degré d'obliquité des rayons solaires, le tableau 5 représente les valeurs d'insolation mensuelle moyenne à Ouargla durant la période 1997-2009.

**Tableau 05 : l'insolation moyenne mensuelle en heures à Ouargla (1997-2009)**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Insolation h	249	266	226	227	246	238	263	281	276	302	341	320

La durée moyenne d'ensoleillement journalière est supérieure à 8 h/j. Elle peut dépasser légèrement 11 h/j en Été, tandis qu'elle ne dépasse pas 8 h en Hiver.

L'insolation mensuelle, est élevée aux mois les plus chauds, dont ; Juin, juillet, et Août. Les valeurs minimales sont enregistrées dans la période allant de novembre jusqu'à février.

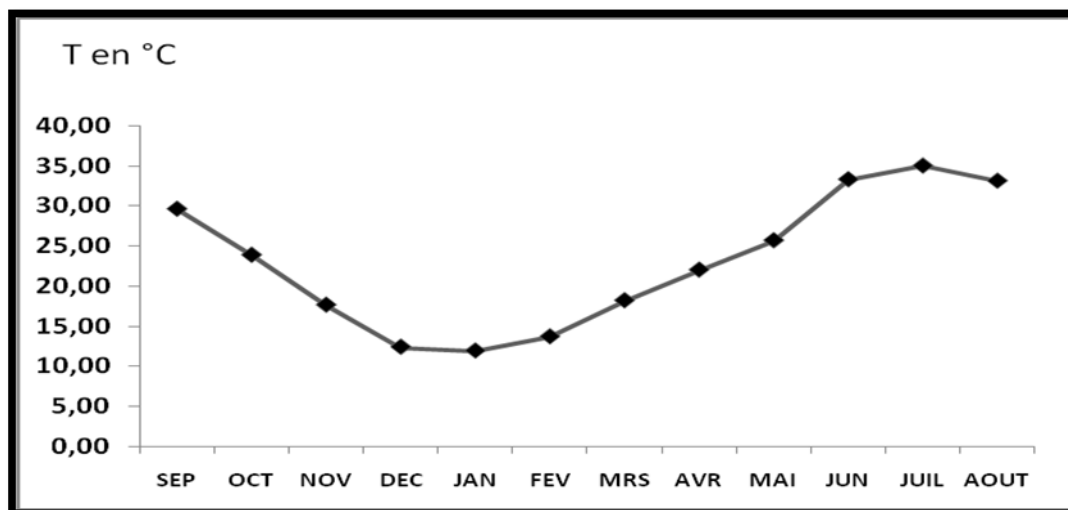
### La Température

La température de l'air est un facteur fondamental ayant une grande influence sur le bilan hydrique du fait qu'il conditionne l'évaporation et l'évapotranspiration réelle de toute la région. L'analyse des températures est faite à partir des données recueillies de l'ONM Ouargla période (1997-2009).



**Tableau 06 : Température moyenne mensuelle interannuelle (1997-2009) ONM**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
T en °C	29,63	23,88	17,66	12,40	11,93	13,71	18,21	22,04	25,71	33,33	35,03	33,14

**Figure 08: Graphique de la température moyenne mensuelle (1997-2009)**

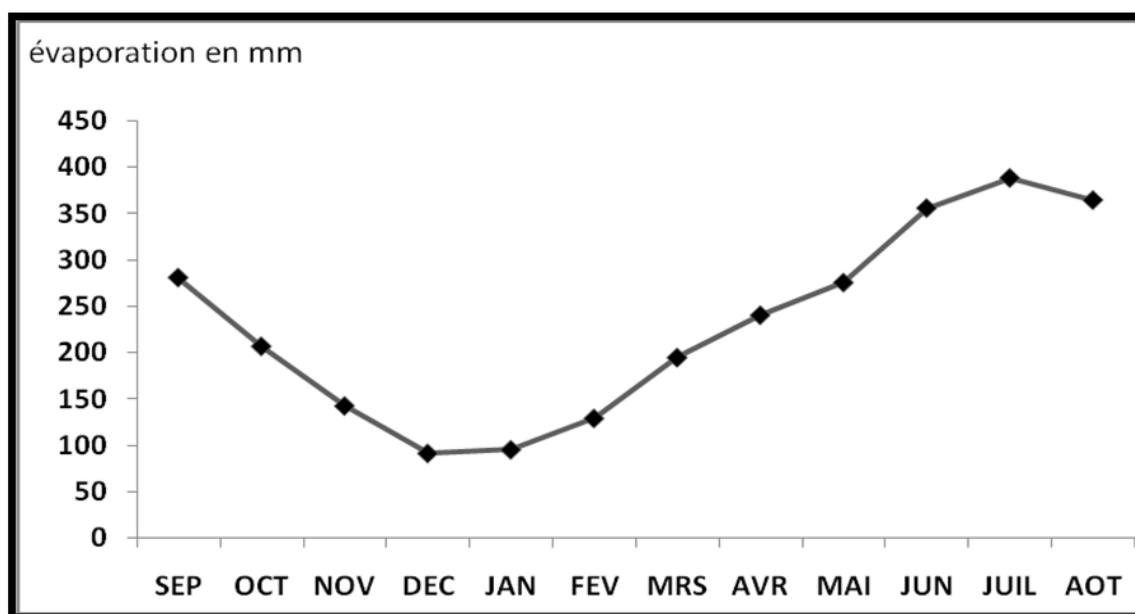
La température est un paramètre déterminant dans le calcul du bilan hydrologique. La moyenne mensuelle du mois le plus chaud (juillet) dépasse 35°C et celle du mois le plus froid (janvier) est de 11.9 °C. Ce sont des températures qui caractérisent généralement le climat saharien.

#### L'évaporation :

L'évaporation est définie comme étant la restitution de l'eau sous forme de vapeur de la surface terrestre à l'atmosphère. Les valeurs mensuelles interannuelles de l'évaporation dans la région d'Ouargla sont reportées dans le tableau suivant le tableau, ces valeurs sont enregistrées durant la période 1997-2009.

**Tableau 07: l'évaporation moyenne interannuel mensuelle (1997-2009)**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Evapora en mm	281,1	206,9	142,5	91,2	95,1	129,0	194,7	240,5	275,8	356,3	388,8	364,9



**Figure 09 : Graphique de l'évaporation moyenne interannuelle mensuelle (1997-2009)**

D'après le tableau et le graphe on voit bien que l'évaporation la plus élevée se produit en Juin, Juillet, et Août, et la plus faible en Janvier et Décembre.

### **L'évapotranspiration :**

L'évapotranspiration est déterminée par l'ensemble des processus d'évaporation (phénomène physique) et de transpiration (phénomène biologique) on distingue alors l'évapotranspiration potentielle (E.T.R) qui correspond à la quantité d'eau pouvant être restituée par la transpiration des végétaux et l'évaporation à partir du sol et l'évapotranspiration réelle (E.T. R) qui correspond à la quantité d'eau effectivement évaporée et transpirée. De nombreux auteurs ont établis des formules empiriques donnant une approximation de l'évapotranspiration (ETR) potentielle à partir des paramètres climatiques facilement accessibles

### **Formule de Thornthwaite :**

Thornthwaite a défini l'évapotranspiration potentielle à partir d'une surface qui serait suffisamment approvisionnée en eau pour permettre l'évaporation de la quantité maximale d'eau permise par les conditions climatiques. Elle s'oppose à l'évapotranspiration réelle qui mesure l'évapotranspiration à partir d'une surface compte tenu de son état d'humidité. La formule de Thornthwaite est : **ETR = 16 (10 t / I) a.k**

Avec :

**ETR** : évapotranspiration mensuelle en mm,

**t** = température moyenne mensuelle,

**I** = Indice thermique annuelle soit la somme des indices de Chaleur Mensuelle.

$$I = \sum i$$

$$i = (t/5)1,514$$

$$a = (1,6/100) I + 0,5$$

**K** : coefficient d'ajustement mensuel ;

**Tableau 08: ETR moyennes mensuelles et annuelles calculées par la formule de THORNTHWAITE en période (1997-2009).**

mios	sep	oct	nov	dés	jan	fév	mar	avr	mai	juin	jui	aout	
<b>T ( c)</b>	30,8	25,3	16,9	12,2	11,7	13,5	18,5	22,9	27,4	32,8	35,4	34,3	23,48
<b>i</b>	15,68	11,64	6,32	3,86	3,62	4,50	7,25	10,01	13,14	17,25	19,36	18,46	
<b>ETP (mm)</b>	130,53	85,42	33,46	14,32	12,86	15,87	38,15	63,65	107,05	160,66	209,28	198,93	1070,16
<b>K</b>	1,03	0,98	0,89	0,88	0,9	0,87	1,03	1,08	1,18	1,18	1,2	1,14	
<b>ETPc (mm)</b>	134,44	83,71	29,78	12,60	11,57	13,81	39,29	68,74	126,32	189,58	251,13	226,79	1187,75
<b>P (mm)</b>	3,3	7,07	5,6	1,4	8,07	0,9	4,2	1,4	1,06	0,45	0,64	1,5	35,59
<b>RFU (mm)</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	-3,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0
<b>ETR (mm)</b>	3,30	7,07	5,60	1,40	11,57	0,90	4,20	1,40	1,06	0,45	0,64	1,5	39,09
<b>EX (mm)</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>DA (mm)</b>	131,14	76,64	24,18	11,20	3,50	12,91	35,09	67,34	125,26	189,13	250,49	225,29	1152,16

Dans la cuvette d'Ouargla l'ETR calculées selon la formule de Thornthwaite est minimale dans les mois d'hiver, et les valeurs élevées sont dans les mois d'été, avec un maximum en juillet (252 mm).

Le cumul des moyennes mensuelles annuelle est 1248 mm /ans dans cette série.

### **CONCLUSION :**

Le climat de la région de Ouargla est connu par son aridité marquée notamment par la faiblesse et l'irrégularité des précipitations d'une part, et par les amplitudes thermiques et les températures trop élevées d'autre part. Cette aridité ne se constate pas seulement en fonction du manque de pluies, mais aussi par une forte évaporation qui constitue l'un des facteurs climatiques majeurs actuels qui règnent dans la région.

Ce climat est de type méditerranéen aride, malgré l'effet de la continentalité, il est caractérisé par un Hiver doux et une période de sécheresse prolongée dominée par des vents de direction SW-NE.

*Chapitre IV*

---

*Hydrogéologie*

## I. HYDROGEOLOGIE

La cuvette de Ouargla appartient au Bas-Sahara algérien. Il s'agit d'un immense bassin sédimentaire, en forme de synclinal dissymétrique, particulièrement bien doté en couches perméables favorables à la circulation souterraine des eaux. Certaines, recouvertes de terrains imperméables, assurent l'existence de nappes captives alors que d'autres, situées au sommet des dépôts et sans couverture étanche, permettent la formation de nappes phréatiques. Bénéficiant de cette structure, les eaux souterraines constituent plusieurs ensembles superposés : la puissante nappe artésienne du Continental intercalaire gréseux, la nappe artésienne des calcaires marins du Sénonien et de l'Eocène, les nappes artésiennes du Continental terminal sableux (Mio-Pliocène) regroupées avec la précédente sous le nom de Complexe Terminal, enfin des nappes phréatiques largement étalées dans les formations continentales superficielles.

## II. Présentation des nappes de la région

Dans le sous-sol de la vallée, il existe trois grands ensembles aquifères qui du haut vers le bas sont :

- La nappe phréatique dont le niveau est souvent proche de la surface (parfois moins de 1 mètre), généralement entre 1 et 2 m, mais qui peut dépasser 18 m au Sud de Ouargla ou sous les reliefs.
- L'ensemble aquifère du Complexe Terminal (CT) comprenant trois aquifères différents qui de haut en bas sont le Mio-Pliocène, le Sénonien et le Turonien.
- L'ensemble aquifère du Complexe Intercalaire dite aussi nappe de l'Albien fortement artésienne située à 1100- 1200 mètres de profondeur.

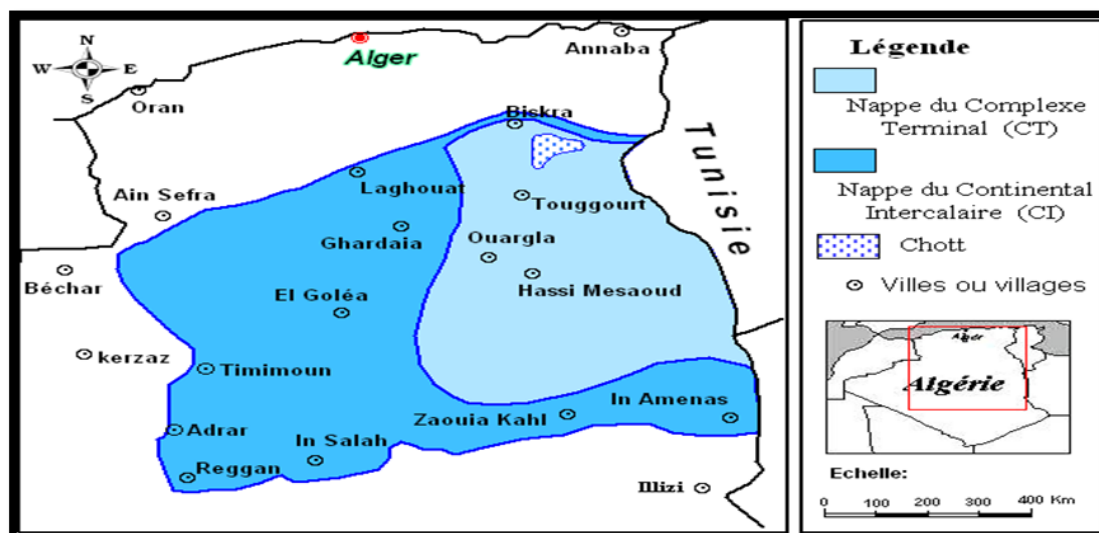


Figure 10 : Carte des ressources en eau souterraines (CI et CT). (UNESCO, 1972)

## II.1 Nappe phréatique

La nappe phréatique circule dans les sables dunaires et les alluvions de l'oued M'ya. Elle est en moyenne à 1,5 m de profondeur par rapport au sol. Elle forme un dôme au niveau de la ville de Ouargla provoquant des nombreuses nuisances :

- Remontée des eaux dans les constructions, techniques de construction particulières à mettre en œuvre pour les fouilles des fondations,
- Remontée des eaux au niveau de la palmeraie engendrant des asphyxies au niveau des palmiers et des baisses de production.

La nappe phréatique repose sur un substrat étanche, imperméable de plus de 20 mètres d'épaisseur qui empêche toute communication entre la nappe phréatique et la nappe du Mio-Pliocène sous jacente. D'ailleurs si des connexions existaient, se développeraient des zones humides avec de la végétation dans Safioun. La nappe s'écoule du point eau situé au niveau de la ville de Ouargla vers le point bas situé à Safioun. Les écoulements souterrains sont faibles et estimé à environ 200 m/an soit un débit de 4000 à 5000 m<sup>3</sup>/jour.

La qualité des eaux de la nappe phréatique est très dégradée. La conductivité est très forte elle augmente en allant du Sud vers le Nord. A Safioun, la conductivité varie de 199000 à 214000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à 25°, ce qui correspond à environ 250-300 g/l de sel. Au niveau de N'Goussa, la teneur en sel est d'environ 30 g/l. (BG, 2004)

## II.2 Nappes du Complexe Terminal

Le Complexe terminal comprend trois aquifères qui du haut en bas sont:

- La nappe du Mio-Pliocène
- La nappe du Sénonien
- La nappe du Turonien

Dans la cuvette de Ouargla seules sont exploitées les nappes du Mio-Pliocène et sénonien.

### II.2.1 Nappe du Mio-Pliocène

Cette nappe est contenue dans les sables grossiers atteints vers 30 à 60 m de profondeur par les puits artésiens jaillissants qui autrefois irriguaient les palmeraies de Ouargla. L'exploitation de cette nappe du Mio-Pliocène par le creusement de nombreux puits artésiens date de 1883. Ces puits existaient déjà au 14<sup>ème</sup> siècle mais ils se sont multipliés en 1883 grâce à l'aide sondages réalisés par les militaires. L'eau est alors située entre 30 et 60 mètres de profondeur. En 1901, le nombre de puits atteint 160 et l'artésianisme diminue. Le développement de ces puits et une meilleure disponibilité en eau ont favorisé la sédentarisation des nomades dans l'oasis.

Actuellement la situation a fondamentalement changé. L'artésianisme a baissé au point que dans les palmeraies de Ouargla, la nappe n'est plus jaillissante. Elle est exploitée par pompage dans des forages. Les Autorités, inquiètes des communications qui pourraient s'établir avec la nappe phréatique ont fait boucher les puits. (Elles ont aussi programmé le rebouchage de 30 anciens forages). Cette nappe du Mio-Pliocène est à une profondeur de 130 mètres au niveau de Safiouna où elle est encore artésienne. La teneur en sel est d'environ 2 à 3 g/l. Cette nappe est actuellement utilisée pour l'alimentation en eau potable de la ville de Ouargla.

### II.2.2 Nappe du Sénonien

La nappe artésienne du Sénonien est exploitée dans les calcaires entre 140 et 200 m de profondeur. C'est la nappe du sénonien qui est exploitée au forage de Hassi Khefif au nord est de la Sebkha Safiouna à 400 mètres de profondeur. Le résidu sec varie entre 2,5 et 3,6 g/l.



Au total, 274 forages dont la plupart sont captant dans le complexe terminal assurent une production annuelle de 50 millions de m<sup>3</sup> d'eau pour l'alimentation domestique et agricole.

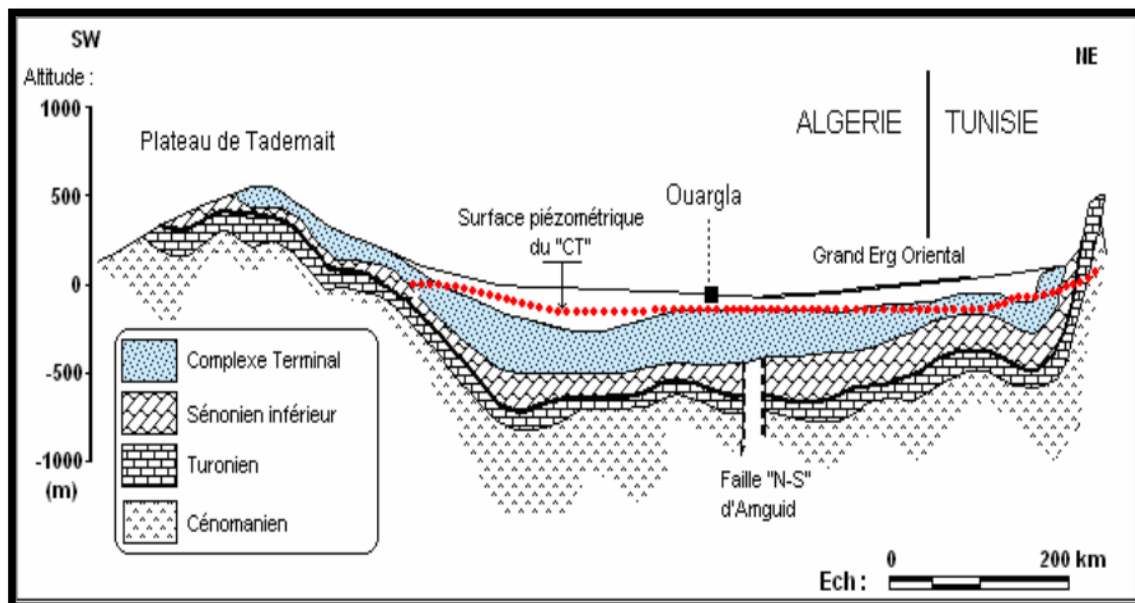
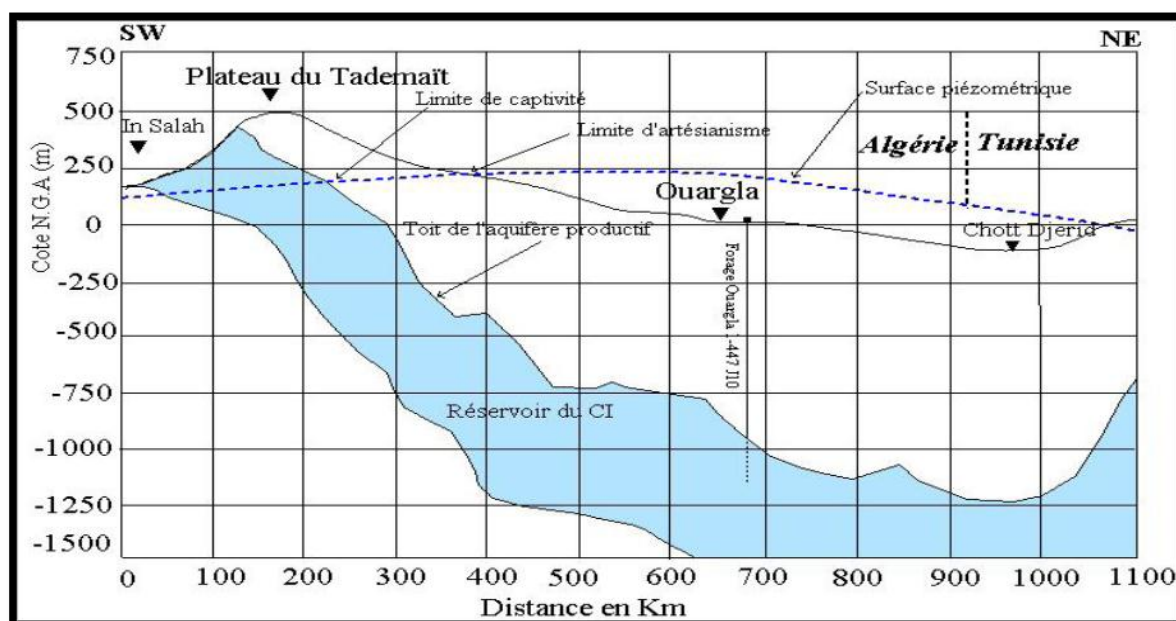


Figure 11 : Coupe hydrogéologique transversale du "CT" (UNESCO, 1972)

### II.2.3 Nappe du Continental Intercalaire

La nappe du Continental Intercalaire couvre une superficie de 800 000 Km<sup>2</sup> et est une des plus grandes réserves souterraines au monde. C'est une nappe fossile qui n'est pas réalimentée par la climatologie actuelle. Cette réserve doit être gérée comme une ressource minière épuisable.

Dans la région de Ouargla le toit de la nappe est situé à – 850 mètres (par rapport au niveau 0) et donc par rapport au sol à –1000 mètres, l'épaisseur du réservoir est de 800 mètres au total. L'alimentation de l'aquifère en eau s'effectue par infiltration des eaux de l'Atlas saharien et des eaux circulant sous la hamada Sud-Oranienne et sous l'Erg oriental. L'écoulement des eaux se fait du Nord vers le Sud dans la partie occidentale, et de l'Ouest vers l'Est ainsi que du Sud vers le Nord dans la partie orientale. Les premiers forages profonds dans le continental intercalaire datent de 1939, un forage de 900 mètres de profondeur donne alors un débit de 1 500 litres/minute. Actuellement, 2 forages sont implantés dans le CI pour assurer l'alimentation en eau potable de Ouargla.



**Figure 12 : Coupe hydrogéologique transversale du "CI" (UNESCO, 1972)**

### Sebkhas et Chotts

Le milieu naturel est constitué des chotts et des Sebkhas qui sont sur le niveau le plus bas de la cuvette de Ouargla, jouent le rôle de dépression et de décantation. Le chott est constitué de sable siliceux et/ou gypseux et de sols gypseux de surface et sub-surface, tandis que la présence d'une nappe phréatique permanente.

Sur les 99000 hectares que compte la cuvette de Ouargla, la superficie occupée par les zones de sebkhas est évalué à 21000 ha dont 3500 ha représentés par les chotts (lieux d'apparition des eaux stagnantes), parmi les plus importants on distingue le chott Ain Beïda, Oum-Er-Raneb et Sebkhet Safioune, les autres sites sont de moins importance comme les Chotts de Saïd Otba et Bour El-Haïcha, les sebkhas de N'Goussa et Bamendil.

### Chott Aïn Beïda

Le chott d'Aïn Beïda constitue le point bas de la ville de Ouargla, il a pu il y a de nombreuses années constituer l'exutoire des eaux de oued M'ya. Il couvre environ une superficie de 1000 hectares. Actuellement l'alimentation en eau du chott se fait à partir de la nappe phréatique dont le niveau varie en fonction de la saison et des actions de l'homme (drainage de la palmeraie, irrigation).

L'inventaire de la faune et de la flore du Chott d'Aïn Beïda, a été réalisé dans le cadre d'une étude menée par le département de la conservation des forêts afin de définir un plan d'action pour une meilleure gestion de cette zone humide.

Le Chott Aïn Beïda est divisé en quatre zones distinctes par l'implantation d'infrastructures plus ou moins récentes. Le canal de drainage des eaux de la palmeraie sépare longitudinalement le chott. La réalisation de la piste du chott, récemment goudronnée qui permet de joindre la ville de Ouargla à Aïn El Beïda coupe le chott de manière transversale. Ces deux infrastructures ont vraisemblablement des incidences sur les circulations d'eau souterraines au niveau de la zone mais qui ne sont pas actuellement mesurables. (BG, 2004)

### **Chott Oum-Er-Raneb**

Le Chott de Oum-Er-Raneb est une zone humide située dans une cuvette située à environ 7 Km au Nord-Est de la Ville de Ouargla. Il est localisé entre l'agglomération de Sidi-Khouiled (Chef lieu de la commune du même nom) au sud et l'agglomération d'Oum-Er-Raneb au Nord. Le Chott est allongé selon une direction Nord-Sud. Sa superficie varie de 900 à 1400 hectares en fonction du niveau de l'eau.

Le Chott est entouré par des formations dunaires au Nord, à l'Est et au Sud. Le Chott de Oum-Er-Raneb est alimenté par les eaux usées de la ville de Ouargla et les eaux de drainage agricole depuis 1983. C'est un site très pauvre en végétation. (BG, 2004)

### **Sebkhet Safioune**

La sebkha Safioune constitue le point le plus bas de la cuvette de Ouargla. Elle s'étend sur une superficie totale de près de 8000 hectares et constitue l'exutoire naturel des crues des oueds N'sa et M'zab.

La Sebkha est limitée en bordure Est et Nord-est par une zone à topographie un peu plus élevée occupée par une végétation clairsemée de tamaris, et de salicorne. Ces deux espèces sont inféodées aux milieux salés voire très salés. A l'Ouest et au Sud, la sebkha est bordée par des dunes de sable. Les contraintes du milieu sont telles que toute végétation et vie animale est quasi inexistante.

Les concentrations en sels au niveau de la nappe phréatique située sous la sebkha sont de l'ordre de 300g/l. Cette concentration limite tout développement faunistique et floristique intéressant.

Le sol est également très salé, une croûte d'inflorescence saline recouvre toute la partie de la sebkha limitant tout développement végétatif.

Les dunes situées à au Sud et à l'Ouest abritent des espèces de mammifères du Sahara mais qui n'ont aucune relation avec la Sebkha.

La sebkha Safioune ne présente aucun intérêt du point faunistique et floristique. Les teneurs en sel du sol et de la nappe phréatique limitent également toute valorisation agricole. En bordure est de l'autre côté de la route menant à Hassi Debiche de nouvelles palmeraies sont en cours d'implantation dans le cadre des programmes de développement agricole des provinces du Sud. Les canaux de drainage ont été creusés et certains palmiers plantés. Cette zone est légèrement surélevée par rapport à la Sebkha. (BG, 2004)

### **Sebkha de Bamendil**

Nos travaux ont été menés sur la sebkha de Bamendil, cette dernière située à quelques kilomètres au Nord-ouest du centre de la ville de Ouargla, est considérée comme une bande allongée géographique et s'étale sur une superficie de 1838 ha environ. L'altitude varie entre 131,5 m et 130,8 m dans une région marquée par un climat aride. La Sebkha de Bamendil est caractérisée par la présence d'une nappe phréatique de faible profondeur, les eaux de cette nappe soumises à une forte évaporation ont tendance à se concentrer et les sols à se saler. La sebkha est limitée au Nord par un terrain vierge, au sud par l'agglomération et les Oasis de Ouargla ; à l'est par les Oasis et les Chotts d'Oum-Er-Raneb et de Aïn Beïda et à l'ouest par les oasis et l'agglomération de Bamendil.

Le sol de la zone étudiée est également très salé, une croûte saline recouvre toute la partie de la sebkha limitant tout développement végétatif elle a servi de suivre la salinité de l'eau et du sol et des fluctuations de la nappe phréatique.

La topographie de la sebkha d'une façon générale est plane, mais il existe un point de dépression au centre de la Sebkha où l'eau de la nappe phréatique proche à la surface du sol (20 à 40 cm), dans ce point la croûte est épaisse par rapport aux autres points. Plus on éloigne du centre vers la Nord, ce niveau augmente pour atteindre un niveau de plus de 1,20 mètres.

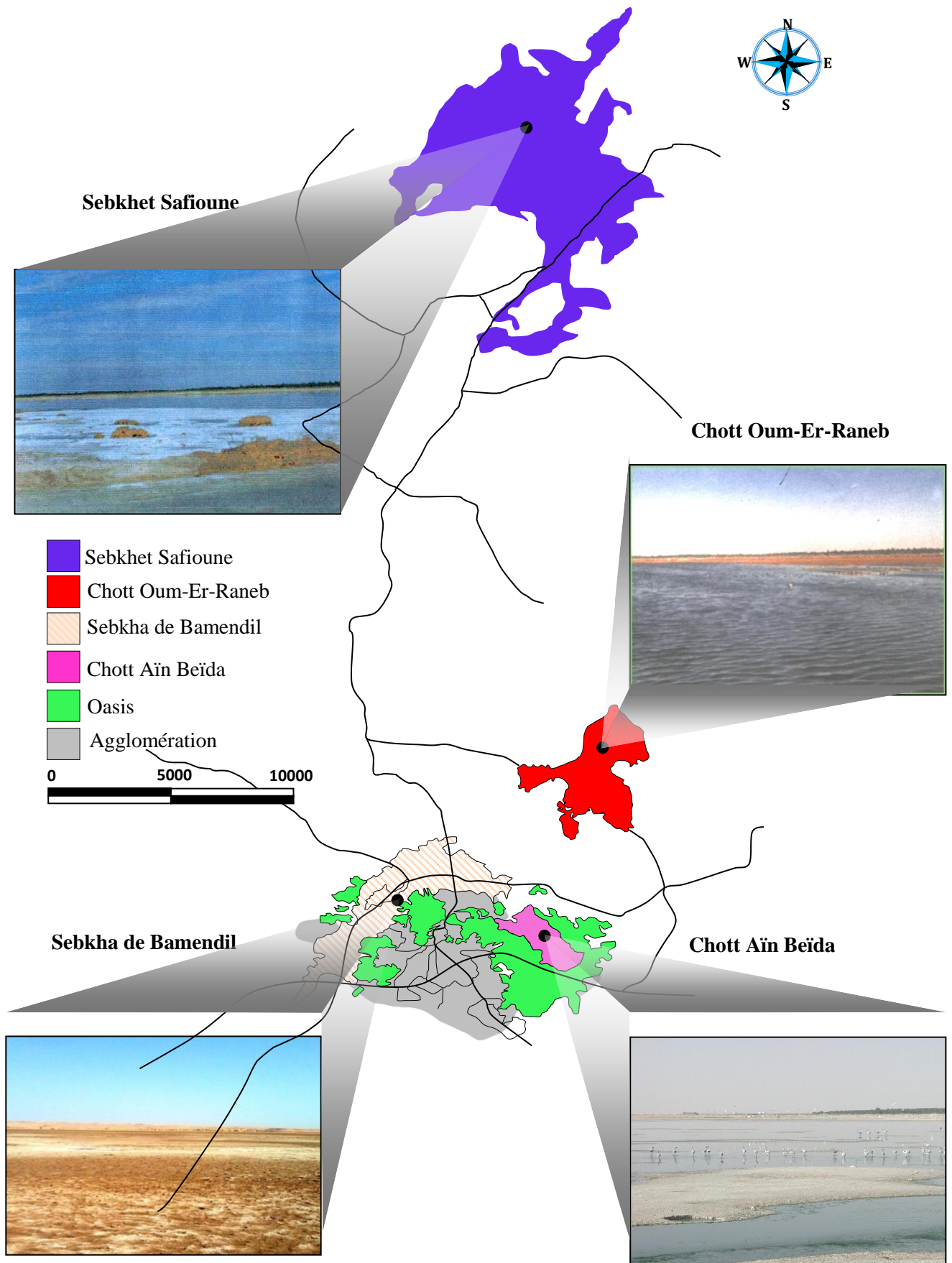


Figure 13 : Chotts et Sebkhas de la vallée de Ouargla

*Chapitre V*

---

*Diagraphie*

## DIAGRAPHIE

### I. DEFINITION ET PRINCIPE

#### 1. Définition

Une diagraphie est une opération qui consiste à enregistrer les paramètres physiques du sous-sol en fonction de sa profondeur. En hydrogéologie, le but de cette opération essentiellement la mise en évidence des formations aquifères, trois types de diagraphies ont été utilisés :

- Mesure de la radioactivité naturelle avec l'outil Gamma Ray.
- Mesure de la résistivité de la formation
- Mesure de la polarisation spontanée (PS).

#### Principe

##### **Gamma Ray (GR) :**

Cet outil mesure la radioactivité naturelle existante dans les formations. Cette dernière provient essentiellement de trois éléments : Potassium (K), Thorium (Th) et Uranium (Ura). Le GR est utilisé pour identifier et quantifier le contenu en Argile. Il sert aussi pour délimiter les différentes couches, et c'est un outil de corrélation et de contrôle de la profondeur. L'outil GR a une profondeur d'investigation de 18" et une résolution verticale de 11", il peut être enregistré dans tout les types de boue. Son unité de mesure est le GAPI.

##### **Résistivité ACRT :**

L'outil ACRT utilise les principes de l'induction magnétique pour déterminer la conductivité des couches géologiques. L'outil comporte un émetteur, qui génère un champ magnétique alternatif, et un ensemble de réception qui mesure en permanence ce champ. Comme les champs magnétiques sont variables, ils induisent des courants de Foucault dans les formations environnantes, et ces courants induisent des champs magnétiques qui leur sont propres. En interprétant les données, la conductivité des différentes couches que l'outil traverse peut être déterminée.

Une bobine émettrice unique génère des champs magnétiques à 12, 36 et 72 kHz. Les signaux primaires de la matrice d'induction sont collectés par un réseau de bobines 6

récepteurs. Les bobines réceptrices sont placées à 6, 10, 17, 29, 50 et 80 pouces de la bobine émettrice. L'espacement émetteur-récepteur au récepteur principal commande la profondeur d'investigation et permet à l'ACRt de faire de profondes mesures élémentaires à haute résolution verticale.

L'ACRt génère des courbes dont la profondeur radiale est de 10", 20", 30", 60" et 90". L'unité de mesure est l'ohm m.

### **Polarisation spontanée (SP) :**

Le log P.S. ou log de polarisation spontanée (P.S. en anglais), enregistre des différences de potentiel électrique dues à des causes naturelles. Ces différences sont mesurées entre une électrode de référence fixe, placée en surface, et une électrode mobile qui parcourt toute la longueur du forage.

### **Le log P.S. permet :**

- De mettre en évidence les bancs poreux et perméables.
- De localiser certains niveaux imperméables.
- De calculer le pourcentage d'argile contenu dans la roche réservoir.
- De calculer la résistivité de l'eau d'imbibition  $R_w$ , ce qui permet d'obtenir la salinité et donc la qualité chimique de cette eau.

Rappelons que le log P.S. ne peut être enregistré que dans les forages contenant un liquide conducteur en contact avec les parois du trou. Et elle dépend essentiellement de la différence de salinité entre les fluides en présence, filtrat de boue et eau de formation. L'échelle est donnée en millivolts par division, par convention, le positif est toujours à droite et le négatif à gauche.



## Interprétation des diagraphies :

### **Interprétation du log composite du forage Hai-Nasser**

Le trou de profondeur 1484m est en général en bon état avec présence de caves surtout en face des argiles. En face des formations propres ou le gamma ray montre de faible lecture, le caliper montre une diminution du diamètre du trou due à la formation du mudcake

Ce dernier se forme en face des formations poreuses et perméables. En face des formation compacte le caliper est à sa valeur nominale c'est-à-dire 12.25".

Les résistivités montrent une séparation entre les différentes courbes ce qui signifie qu'il y a une bonne perméabilité en face. A l'exception de la zone entre 1425m et 1457m la superposition des courbes suggère probablement une zone compacte, c'est-à-dire que la porosité est nulle

Pour ce qui est de la polarisation spontanée, comme nous l'avons cite plus haut, elle dépend essentiellement de la différence de salinité entre les fluides en présence, filtrat de boue et eau de formation. Trois cas de figure peuvent se produire, en les définissons on peut se situer : Ou  $R_w$  : Résistivité de l'eau de formation et  $R_{mf}$  : Résistivité du filtrat de boue.

- Eau de formation plus salée que le filtrat de boue  $R_{mf} > R_w$ .

La P.S. est dite normale c'est le cas ou déflexion est positive à droite et négative à gauche. Le positif est alors en face des argiles et le négatif en face des formations propres. La déflexion est d'autant plus marquée que le contraste des salinités est important.

- Eau de formation moins salée que le filtrat de boue  $R_{mf} < R_w$

Dans ce cas on obtient une P.S. dite inverse, le positif est en face des sables et le négatif en face des argiles. Ce phénomène se produit assez souvent en prospection hydrologique.

- Eau de formation de même salinité que le filtrat  $R_{mf} = R_w$ .

La P.S. est alors plate, l'enregistrement ne montre pas de différence entre les argiles et les bancs poreux et perméables.

D'après ce qu'on vient de voir, il semble qu'on est dans le cas numéro 2, ce qui fait que l'eau de formation est moins salée que le filtrat de boue  $R_{mf} < R_w$ . (Voir figure 3)

**II Conclusion :**

L'interprétation des données diagraphiques réalisées sur le puits Hai-Nasser dans la Région de Berkaoui a permis d'identifier des zones poreuses et perméables a partir des courbes de résistivités, caliper et Polarisation spontanée

L'interprétation de la polarisation spontanée a permis de déterminer que l'eau de formation est moins salée que le filtrat de boue  $R_{mf} < R_w$ .

Une zone compacte avec une porosité nulle a été localisée entre 1425m et 1457m.

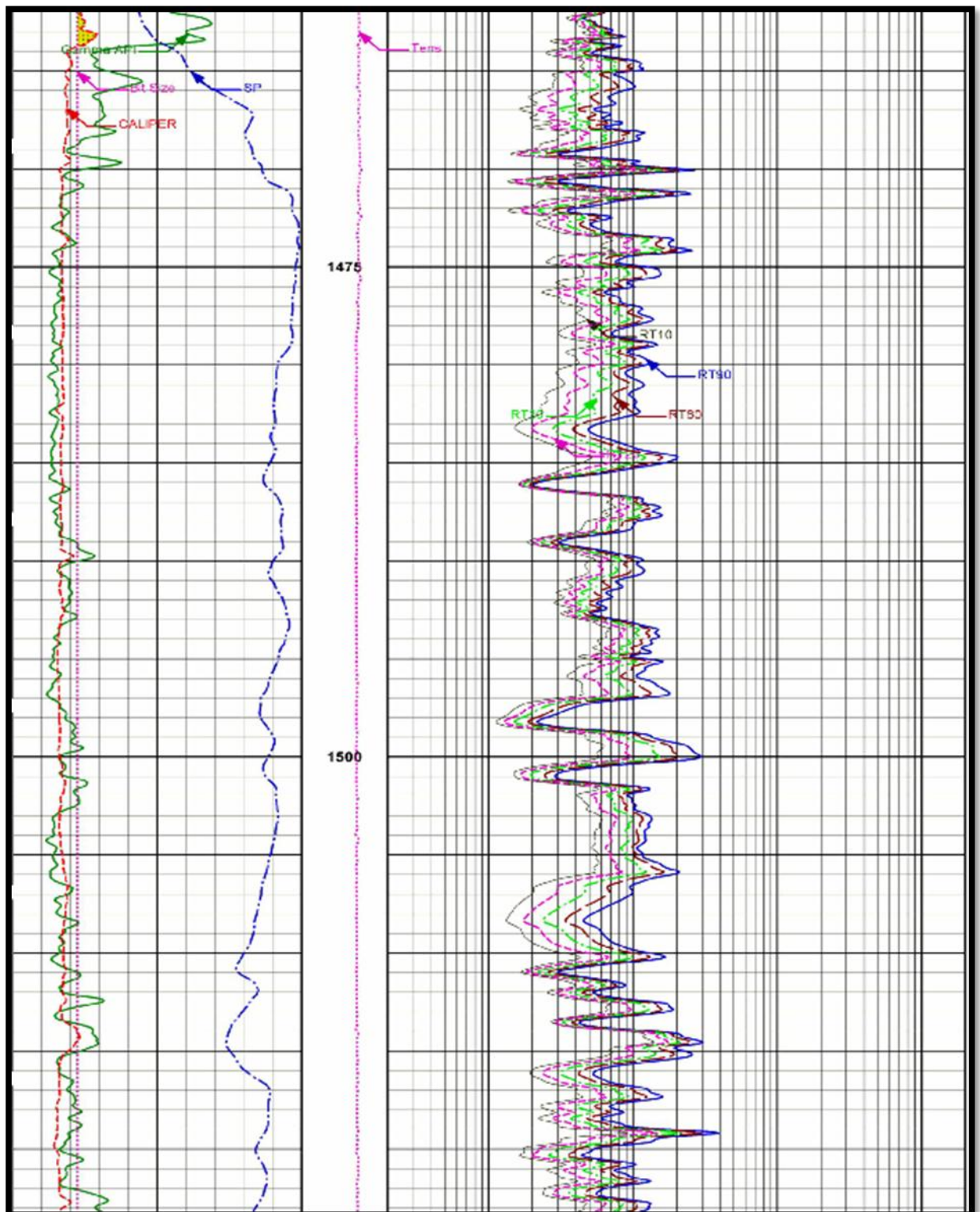


Figure 14 : Formation du mudcake en face des formations poreuses et perméables

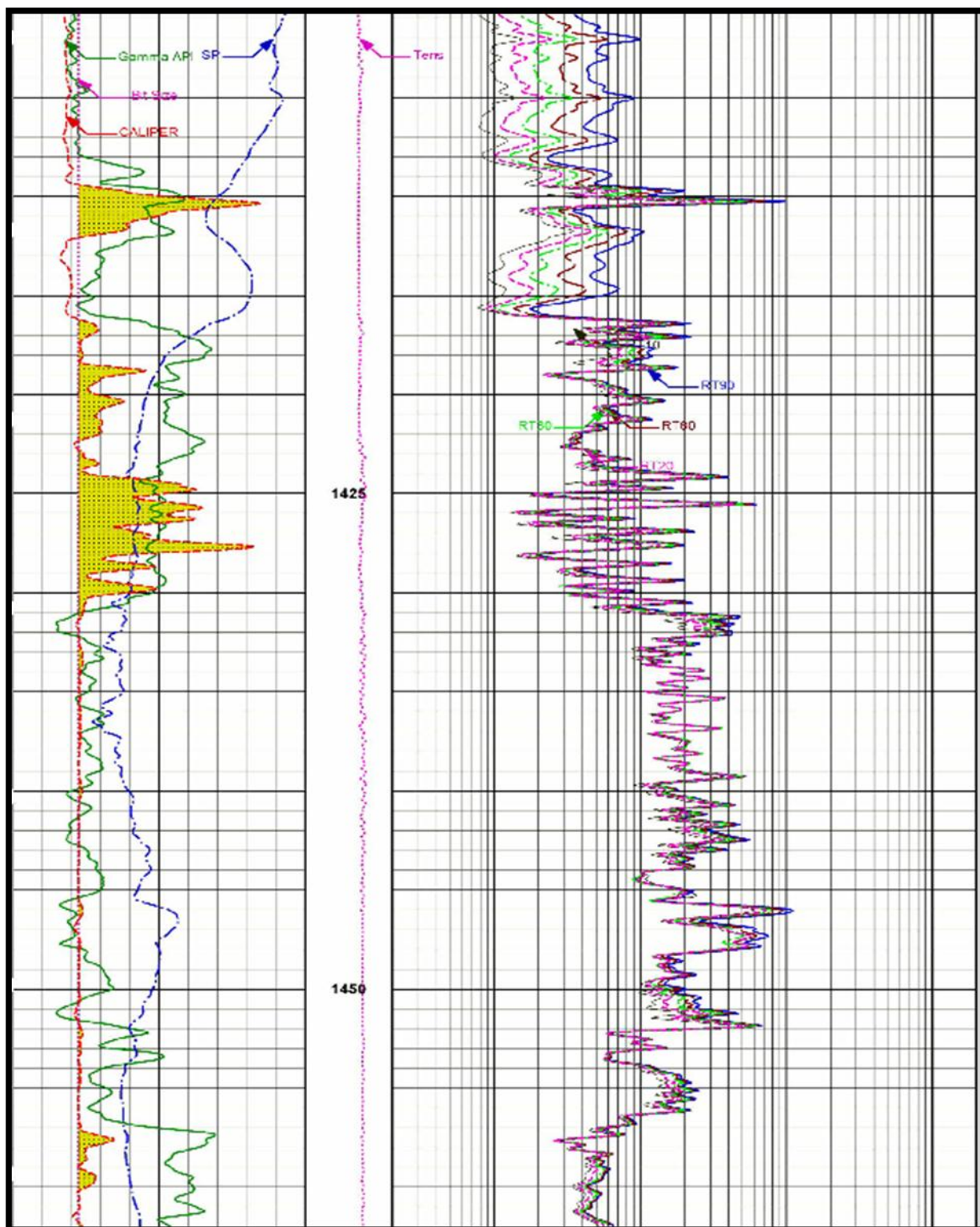


Figure 15 : Montrant la zone compacte entre 1425m et 1457m et les caves observées sur la courbe du caliper.



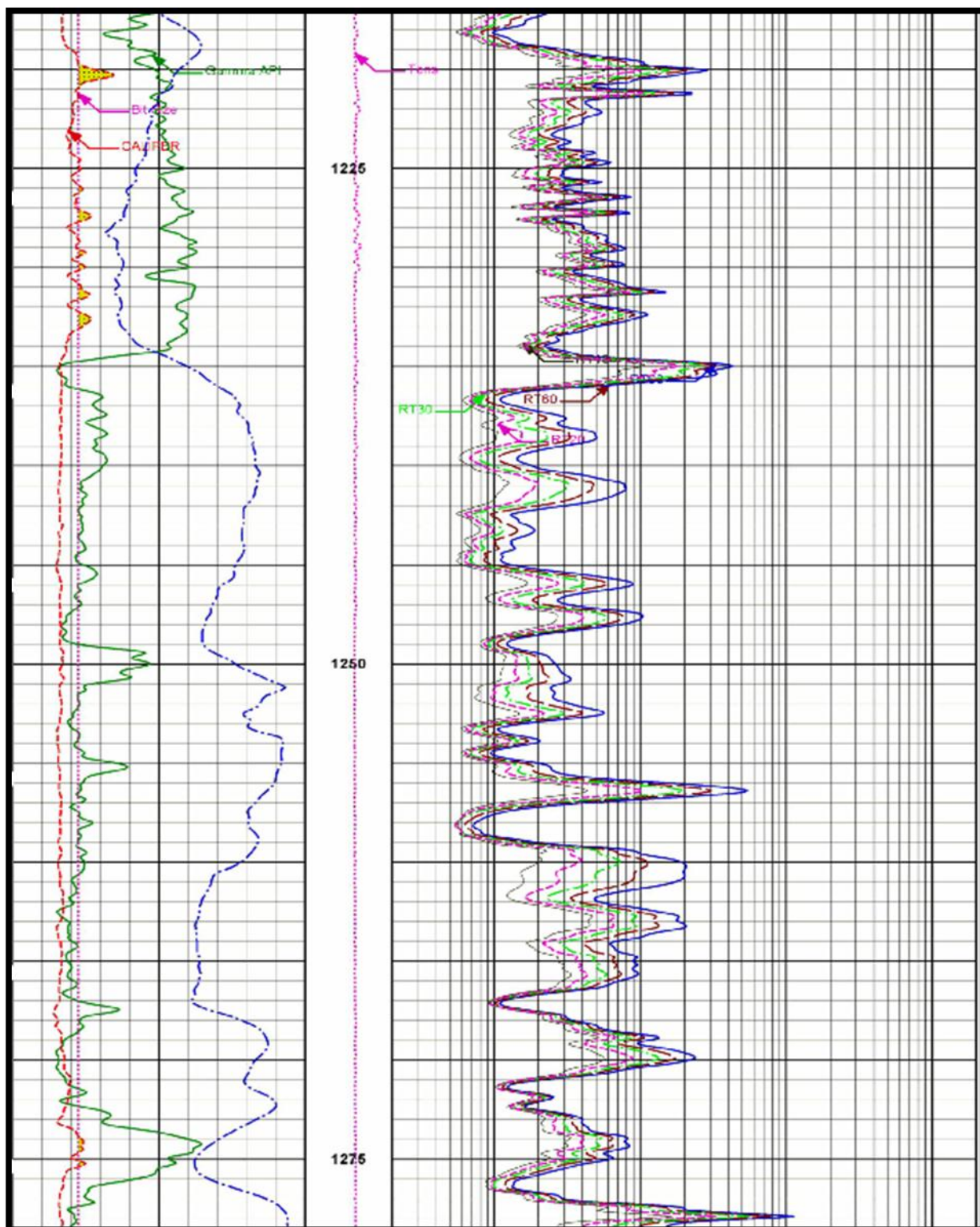


Figure 16 : Montrant la PS en face des argiles et en face des formations propres et la séparation des courbes de résistivités en face des formations poreuses et perméables

## *Chapitre VI*

---

# *Interprétation et analyse des résultats des pompages d'essais*

## I. ESSAIS DE DEBIT

### 1. Buts des essais

Les essais par paliers de débit, visent à évaluer les caractéristiques du complexe aquifère /ouvrage de captage tels que le débit spécifique, la productivité et les pertes de charges à l'intérieur et dans l'espace immédiat de l'ouvrage de captage entre crépine et aquifère. Quand à l'essai de long durée, il permet de mesurer la transmissivité de l'aquifère.

### 2. Définition des paramètres hydrauliques

#### - Le coefficient d'emmagasinement S

C'est le rapport entre le volume d'eau extrait d'un aquifère par unité de surface et la variation du niveau de la nappe. Ce coefficient sans dimension est inférieur à 0,01 pour les nappes captives et supérieures à ce seuil pour les nappes libres. Dans le premier cas, il traduit le phénomène de décompression du volume des vides et de l'eau alors que dans le deuxième cas il représente le phénomène de désaturation et correspond à l'écart entre la porosité totale et la limite inférieure de rétention de l'eau.

#### - La transmissivité T

C'est un paramètre issu du produit de coefficient de perméabilité K par l'épaisseur b du réservoir aquifère :  $T = K \cdot b$

La transmissivité T (exprimée en m<sup>2</sup>/s) permet d'apprécier à la fois la notion de puissance du réservoir allié à ses facultés de circulation de l'eau.

### 3. Equipement utilisé :

Un manomètre de mesure de pression en tête du forage.

Les mesures consistent à prendre périodiquement les valeurs de pression en bars et les valeurs du débit en l/s. Les résultats figurent dans les graphes ci-dessous.

#### 1. Essais Par Paliers

Un essai à blanc de trois (03) paliers enchaînés de huit (08) heure, caractérisé par des courbes de descente (figure 17) suivi à la fin d'une observation de remontée du niveau d'eau

d'une (01) heure. Ces courbes marquent une stabilisation qui peut être expliquée pour la proximité d'une limite de réalimentation.

Les résultats obtenus sont résumés sur le tableau n°1 (en annexe).

Les mesures effectuées se trouvent sur les fiches de pompage de l'essai de débit par paliers. D'après ces mesures nous avons tracé les courbes suivantes :

- Courbe du rabattement en fonction du temps

Tableau 09 : Données des essais par paliers

Observations	Débit Q		P - Pression tete forage	Niveau eau sur p.d.r.	Rabattement s	Rabattement Spécifique s/Q	Temperature eau a la sortie
	l/s	m <sup>3</sup> /h	bar	m	m	m/m <sup>3</sup> /h	°C
Statique	---	---	11,70	119,42	0,00	---	---
1° Palier - 480 mn	30,81	110,91	9,70	99,01	23,47	0,101	53,0
2° Palier - 480 mn	61,91	222,87	6,00	61,24	61,24	0,131	53,0
3° Palier - 480 mn	88,89	320,00	2,90	29,60	90,84	0,165	53,0



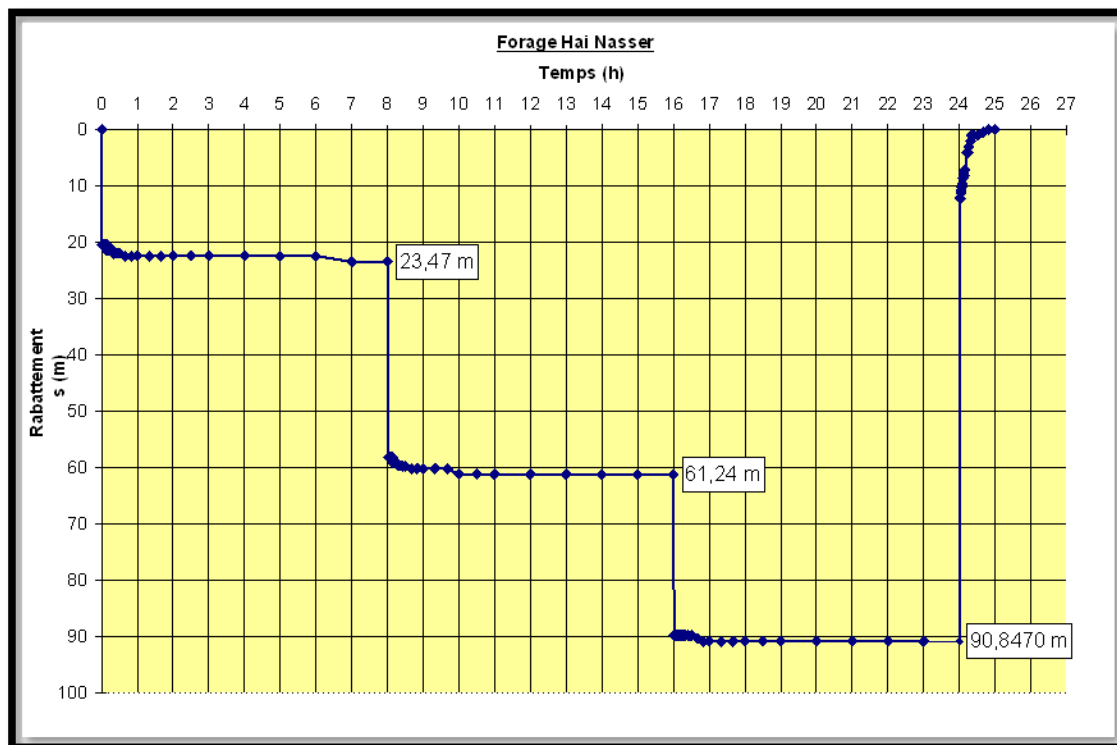


Figure 17: Courbe de descente et de remonté essais par palier

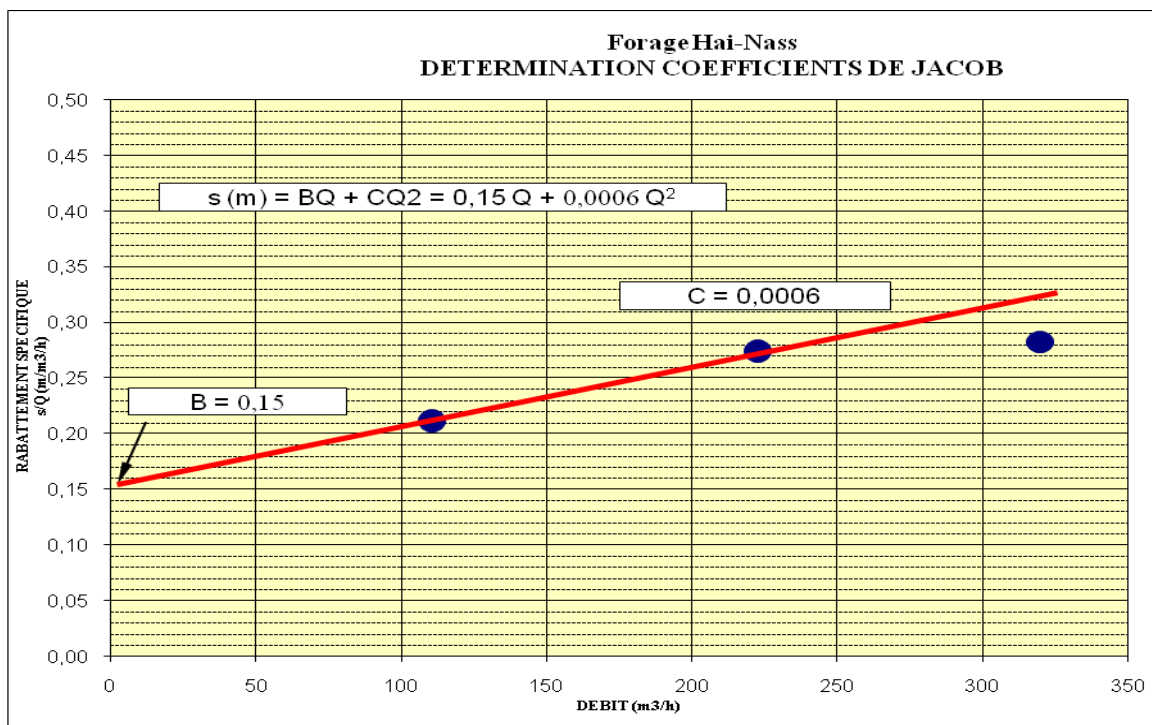


Figure 18: Détermination de B et C

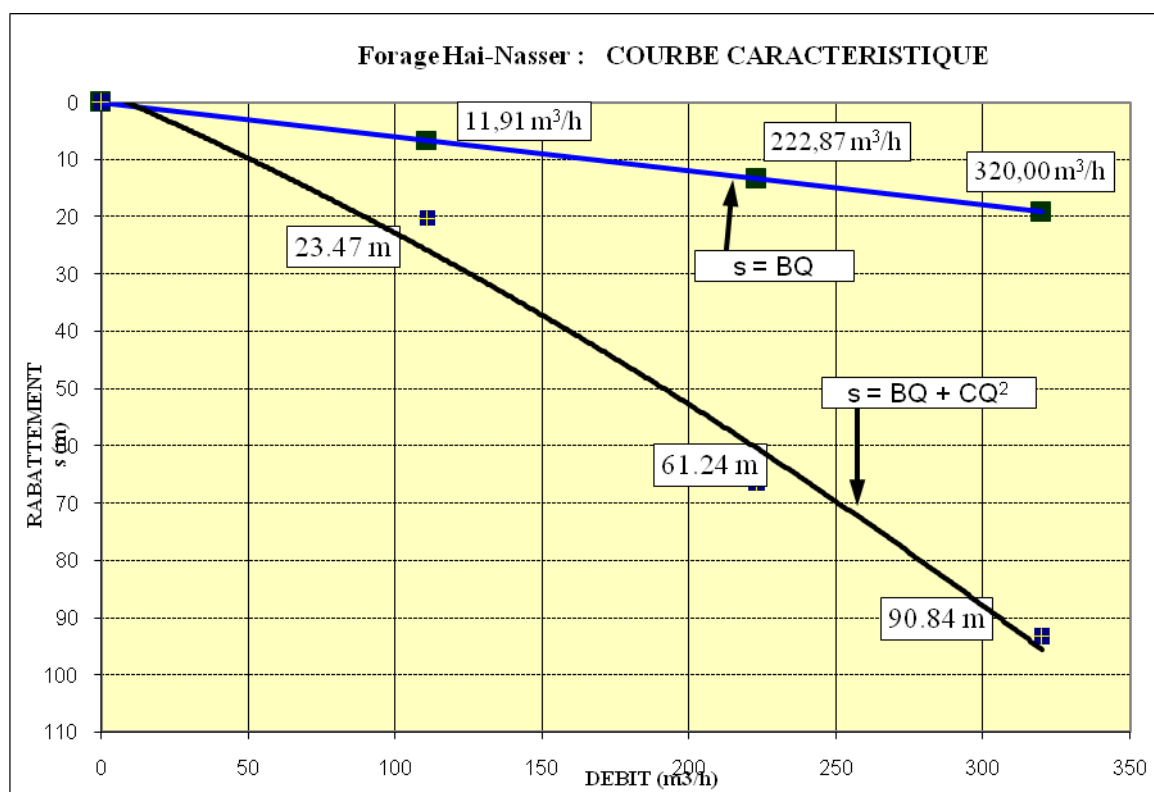


Figure 19 : Courbe caractéristique

D'après la droite rabattement spécifique/débit, régissant le rabattement en fonction des débits, selon l'équation  $s = BQ + CQ^2$

- Diagramme pour la détermination des coefficients B et C de l'équation de Jacob (Fig. 18)
- Courbe caractéristique du forage :  $s = BQ + CQ^2$  (Fig. 18)
- Perte de charge linéaire :  $B = 0,15 \text{ m/l/s}$
- Perte de charge quadratique :  $C = 0,0006 \text{ ms}^2/\text{l}^2$

Donc les pertes de charges au niveau de l'aquifère de l'ordre de 0,15 et des pertes de charges quadratiques au niveau du forage de 0,0006 qui sont très faibles.

## 2. Essai de débit Constant

Un essai définitif à débit constant d'une durée de soixante douze (72) heures a été effectuée pour déterminer les caractéristiques hydrauliques du forage, suivi d'une observation de remontée de vingt quatre (24) heure. Les mesures effectuées se trouvent sur les fiches de pompage de l'essai de débit constant.

Les résultats obtenus à partir des données observées sur le forage permet de déduire la valeur de transmissivité.

D'après ces mesures nous avons tracé la courbe suivante :

- Courbe du rabattement (s) en fonction de Log(t)

On calcule la valeur de la transmissivité, d'après la formule de Theis :

$$T = 0,183 \times Q \text{ Log}(t)/s$$

s : rabattement en m par intervalle logarithmique

T : transmissivité en m<sup>2</sup>/s

Q : débit en m<sup>3</sup>/s

t : temps en mn

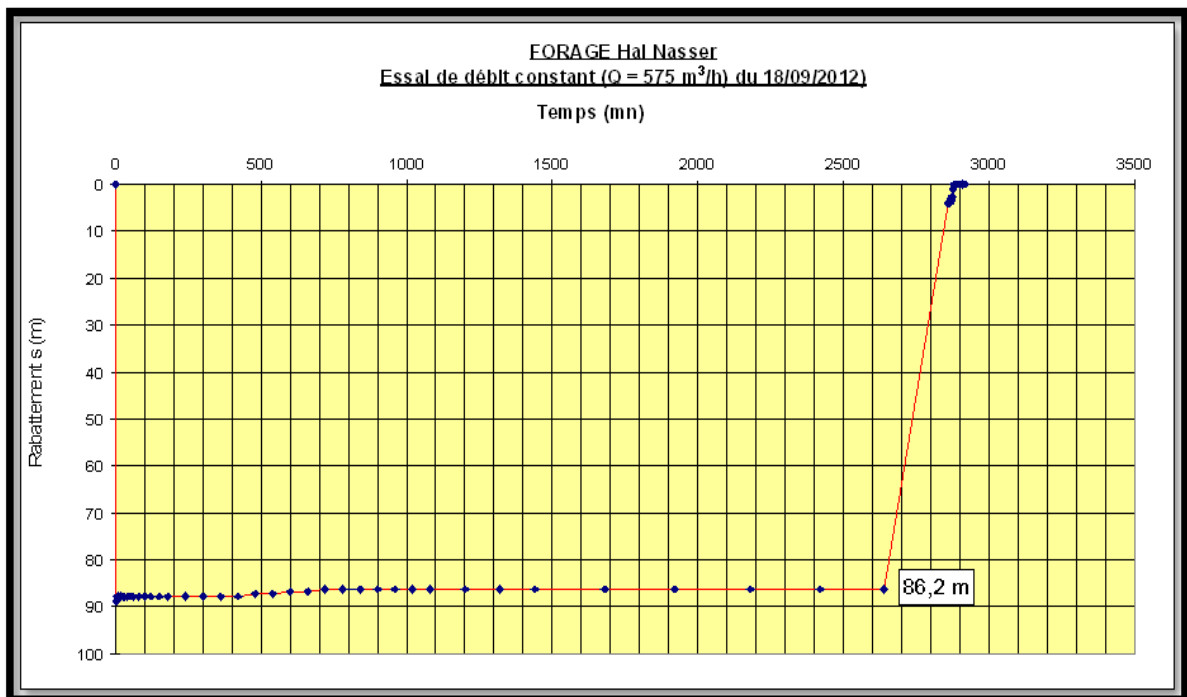


Figure 20 : Courbe de descente du palier constant

### 3. Principaux résultats obtenus :

Pression en tête	: 11,70 bars
Débit	: 175 l/s
Transmissivité	: 0,892 10 <sup>-2</sup> m <sup>2</sup> /s
Résidu Sec	: 2,304 g/l
Température de l'eau	: 53° C

## II. ANALYSE CHIMIQUE

Avant la fin de l'essai, un échantillon d'eau a été prélevé pour analyse physico-chimique.

Tableau N° : Résultat de l'analyse chimique

IONS	NORMES ALGERIENNE (mg/l)	NORMES O.M.S (mg/l)	HAI NASSER (mg/l)
Ca <sup>++</sup>	200	200	182,5
Mg <sup>+</sup>	150	150	115,2
Na <sup>+</sup>	200	-	485
K <sup>+</sup>	20	-	35
Fe <sup>++</sup>	0.3	1.0	
Cl <sup>-</sup>	500	600	688
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	400	400	138
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-	-	247,05

### Qualité chimique des eaux :

#### Classification des eaux :

Dans la région de Hai-Nasser, le faciès chimique dominant des eaux de la nappe du Continental Intercalaire représentée par le diagramme de Schoeller est sulfaté chlorurée sodique.

**Qualité :**

Les eaux de cet aquifère présentent un résidu sec de 2,304 (g/l).

PH (mesuré) est de 7,55 : Eau est de tendance agressive.

D'après les résultats obtenus par la méthode graphique (diagramme "Schoeller Berkloff" et "Piper") on constate que la concentration en ions ( $\text{Na}^{++}$ ,  $\text{CL}^{-}$ ) de l'eau de la région de Hai-Nasser est supérieure à celle tolérée par les normes algériennes et O.M.S.

Cela est dû essentiellement à la lithologie du terrain.

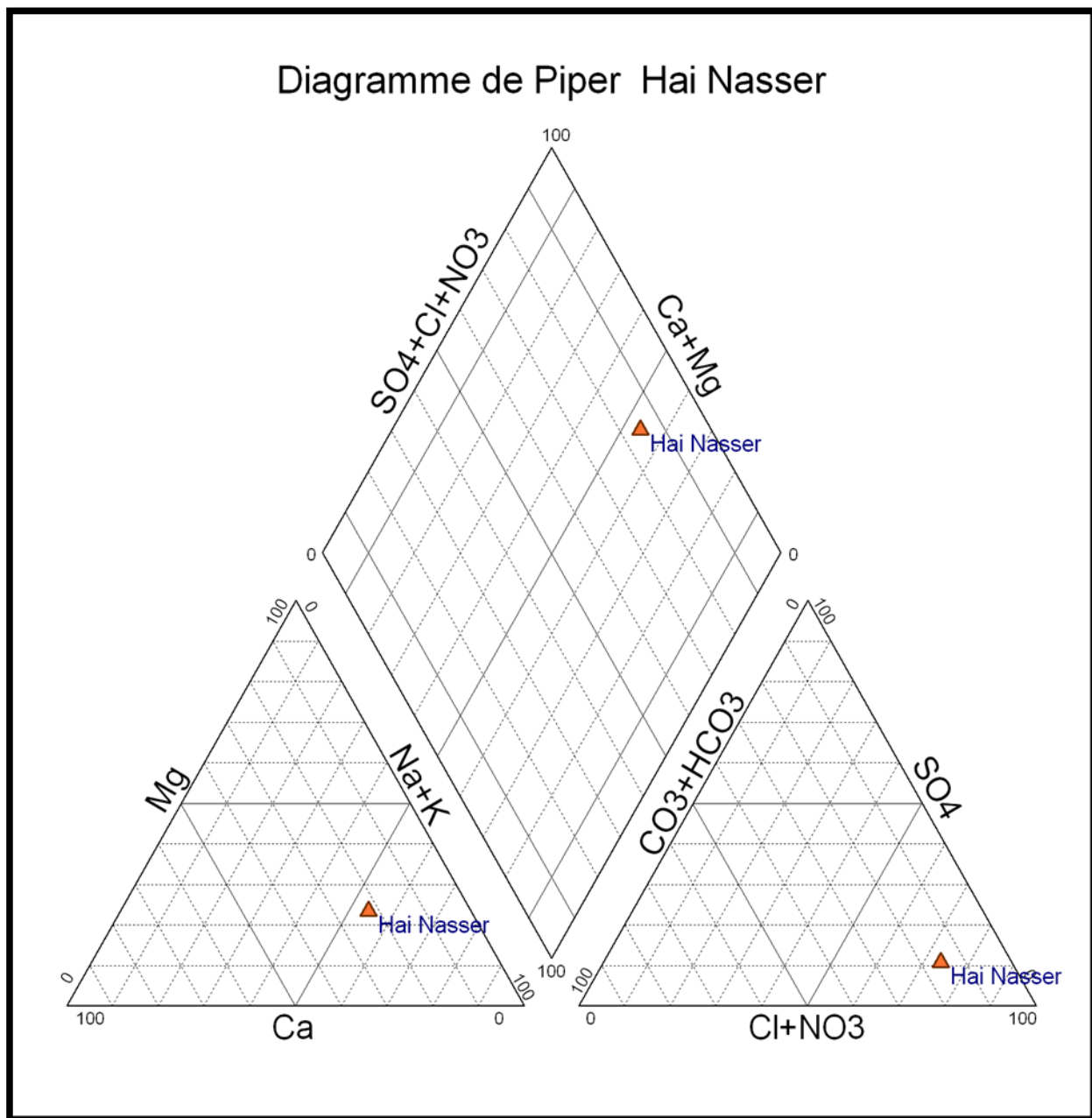


Figure 21 : Diagramme de Piper

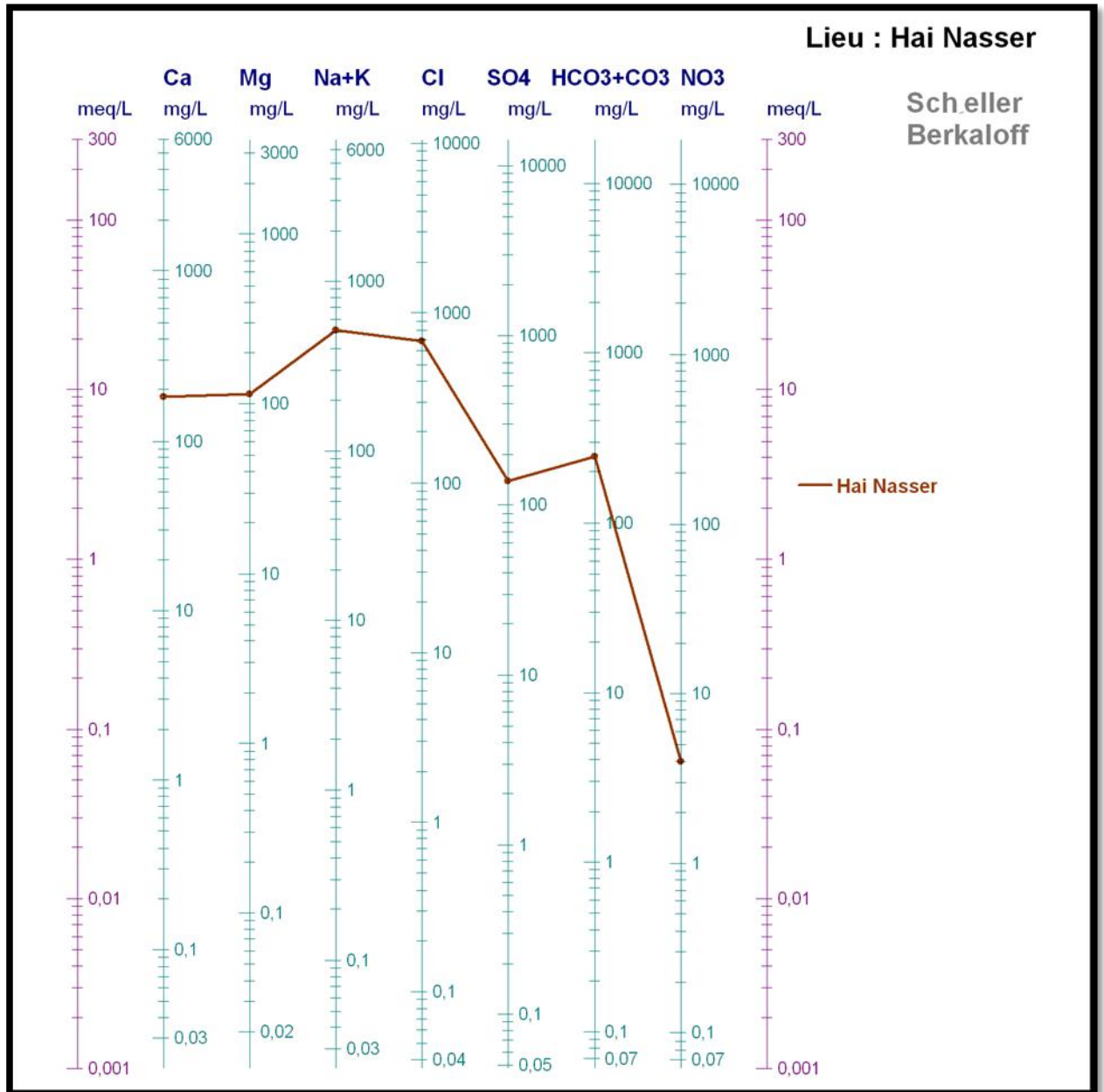


Figure 22: Diagramme Scholler Barkalove

## *Conclusion*

---



## **CONCLUSION**

La maîtrise des paramètres hydrogéologiques des nappes d'eau souterraines passe par une bonne connaissance de la géométrie et la structure des réserves aquifères.

Les paramètres géométriques du système ont été évalués à partir des résultats du forage et des diagraphies.

L'analyse des résultats des pompages d'essais a montré également une valeur de transmissivité, de débit spécifique et du coefficient d'emménagement.

La transmissivité obtenue à partir de la courbe de descente et de remonté est de l'ordre de  $0,892 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$  d'après la formule de Theis.

La qualité chimique de cette eau représentée par le diagramme de Schoeller est sulfaté chlorurée sodique.

En fin une fiche technique de l'ouvrage avec tous les indications techniques et géologiques.

## *Références bibliographiques*

---

- DUCHAUFFOUR. Ph. Abrégé de pédologie " 215 p Ed MASSON
- DUBOST. D et DUBOST. G 1983 " Bulletin d'agronomie" Saharienne " N°5 "124 p
- BG (2004) : Projet de protection de la cuvette de Ouargla contre la remontée des eaux, études de reconnaissance et rapports internes
- BUSSON, G, (1972) : Etude des ressources en eau du Sahara septentrional par UNESCO Utilisation des modèles pour l'établissement des programmes d'exploitation.VOL 5
- HAMMI, H. M'nif, A. et Rokban, R. (2001) : Étude de l'évaporation d'une saumure naturelle. Corrélation conductivité-concentrations ioniques. Pr10-64
- ISSOLAH. A. 1983 " Contribution a l'étude de l'évapotranspiration et des besoins en eau du maïs grain. Siagh Abdelkarim Thèse magister. Ina El Harrach " 231 p
- MABILLOT. A. 1984 "Le forage d'eau " 237p
- ROUVILLOIS-BRIGOL. M. 1975 " Le pays de Ouargla " Sahara Algérienne"

# *Annexes*

---

**FICHE D'ESSAI DE DEBIT CONSTANT**

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE POPULAIRE MINISTERE DES RESSOURCES EN EAU  
DIRECTION DES RESSOURCES EN EAU DE LA WILAYA DE OUARGLA

**FICHE D'ESSAI DE DEBIT CONSTANT**

N° du forage Hai Nasser Hauteur repère par rapport au sol : 1,54 m  
Pression statique 11,70 bars A la date du 18/09/2012  
Début essai 10h Fin essai 11h Durée essai 2920 mn  
Début Ecoulement 10h Fin essai 10h Durée essai 2860 mn  
Début Remontée 10h Fin essai 11h Durée essai 60 mn

Date	Heure	Durée d'essai (min)	MESURE EN TETE DE FORAGE				OBSERVATIONS
			Débit	Pression	Temp.	C.E. à 20 °C	
			(m <sup>3</sup> /h)	(bar)	(°C)	(µS/cm)	
18/09/2012	10h	0,00		11,70			Début écoulement
		1,00		3,00			
		2,00		3,00			
		3,00		3,00			
		4,00		3,00			
		5,00	575,00	3,10	53,00	334	
		6,00		3,10			
		7,00		3,10			
		8,00		3,10			
		9,00		3,10			
		10,00		3,10			Eau claire
		12,00		3,10			
		14,00		3,10			
		16,00		3,10			
		18,00		3,10			
		20,00	575,00	3,10		353	
		25,00		3,10			
		30,00		3,10			
		40,00		3,10			
		50,00		3,10			
	11h	60,00		3,10			
		80,00		3,10			

		100,00		3,10		
	12h	120,00	575,00	3,10		373
		150,00		3,10		
	13h	180,00		3,10		Eau claire
	14h	240,00		3,10		
	15h	300,00		3,10		Eau claire
	16h	360,00		3,10		
	17h	420,00		3,10		
	18h	480,00		3,15		379
	19h	540,00		3,15		
	20h	600,00		3,20		
	21h	660,00		3,20		
	22h	720,00		3,25		
	23h	780,00		3,25		
	24h	840,00	575,00	3,25		373
19/09/2012	1h	900,00		3,25		
		960,00		3,25		
		1020,00		3,25		
		1080,00		3,25		
		1200,00		3,25		
		1320,00		3,25		
		1440,00		3,25		
		1680,00		3,25		
		1920,00		3,25		
		2180,00		3,25		
		2420,00		3,25		
		2640,00		3,25		Fin écoulement - Début remontée
		2860,00		11,30		
		2861,00		11,30		
		2862,00		11,30		
		2863,00		11,30		
		2864,00		11,30		
		2865,00		11,35		
		2866,00		11,35		
	20h	2867,00		11,35		
		2868,00		11,35		
		2869,00		11,40		

---

	23h	2870,00		11,40			
20/09/201 2	24h	2872,00		11,40			
	01h	2874,00		11,45			
	02h	2876,00		11,60			
		2878,00		11,60			
		2880,00		11,70			
		2885,00		11,70			
		2890,00		11,70			
		2900,00		11,70			
		2910,00		11,70			
	10h	2920,00		11,70			

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTERE DES RESSOURCES EN EAU**

**DIRECTION DES RESSOURCE EN EAU DE LA WILAYA DE OUARGLA**

**REALISATION D'UN FORAGE ALBIEN DE PROJET DE HAI-NASSER**

**FICHE D'ESSAI DEBIT PAR PALIERS**

**Localité Hai-Nasser**

Nom du forage : Hai-Nasser	Hauteur repère par rapport au sol : 1,54m
Pression statique en tête : 11,70 bars	a la date du 14/09/2012
	Température 53° C
	1500
Début essai 09 h	Fin essai 17 h
	Durée d'essai min
Début 1 <sup>er</sup> palier 17 h	Fin 1 <sup>er</sup> palier 01 h
	Durée 1 <sup>er</sup> palier 480 min
Début 2 <sup>me</sup> palier 01 h	Fin 2 <sup>me</sup> palier 09 h
	Durée 2 <sup>me</sup> palier 480 min
Début 3 <sup>me</sup> palier 09 h	Fin 3 <sup>me</sup> palier 17 h
	Durée 3 <sup>me</sup> palier 480 min
Début remontée 17 h	Fin remontée 18 h
	Durée remontée 60 min

Date	Heure	Durée d'essai	MESURE EN TETE DE FORAGE		OBSERVATIONS
			Débit (l/s)	Pression (bar)	
14/09/2014		0		11,70	Premier palier
	09 h	1	30,74	9,70	Eau
		2	30,94	9,70	claire
		3	30,48	9,70	
		4	30,50	9,70	
		5	30,48	9,70	
		6	30,47	9,70	
		7	30,67	9,70	
		8	30,92	9,70	
		9	31,04	9,60	
		10	30,45	9,60	
		12	30,83	9,60	
		14	31,10	9,60	
		16	30,83	9,60	
		18	31,04	9,60	
		20	30,65	9,55	
		25	30,74	9,55	
		30	30,73	9,55	
		40	30,75	9,50	
		50	30,73	9,50	
	1h	60	30,83	9,50	
		80	30,76	9,50	
		100	30,69	9,50	
	2h	120	30,84	9,50	
		150	30,92	9,50	
	3h	180	30,77	9,50	
	4h	240	31,25	9,50	
	5h	300	30,76	9,50	
	6h	360	30,73	9,50	
	7h	420	30,83	9,40	
	8h	480	30,81	9,40	
		481	61,92	6,00	Début deuxième palier
		482	61,31	6,00	



		483	61,73	6,00	
		484	61,88	6,00	
		485	61,84	6,00	
		486	61,54	6,00	
		487	61,43	6,00	
		488	61,54	6,00	
		489	62,11	5,90	
		490	62,00	5,90	
		492	62,00	5,90	
		494	61,96	5,90	
		496	61,92	5,90	
		498	62,03	5,85	
		500	61,92	5,85	
		505	61,80	5,85	
		510	61,77	5,85	
		520	61,84	5,80	
		530	61,92	5,80	
	9h	540	61,92	5,80	
		560	61,96	5,80	
		580	61,88	5,80	
	10h	600	61,92	5,70	
		630	61,84	5,70	
	11h	660	61,80	5,70	
	12h	720	61,92	5,70	
	13h	780	61,84	5,70	
	14h	840	61,88	5,70	
	15h	900	61,92	5,70	
	16h	960	89,61	2,90	Début troisième palier
		961	88,89	2,90	Eau
		962	88,03	2,90	claire
		963	87,87	2,90	
		964	88,65	2,90	
		965	88,89	2,90	
		966	88,57	2,90	
		967	88,50	2,90	
		968	88,57	2,90	
		969	88,65	2,90	
		970	88,50	2,90	
		972	89,13	2,90	
		974	89,13	2,90	
		976	88,81	2,90	
		978	88,97	2,90	
		980	88,89	2,90	
		985	88,89	2,90	
		990	88,89	2,90	
		1000	88,81	2,85	
		1010	88,97	2,80	
	17h	1020	88,89	2,80	
		1040	88,81	2,80	
		1060	89,05	2,80	
		1080	88,97	2,80	
		1110	88,89	2,80	

		1140	88,89	2,80	Fin troisième palie- Début remontée
		1200	88,89	2,80	
		1260	88,81	2,80	
		1320	88,89	2,80	
		1380	88,89	2,80	
	24h	1440	88,89	2,80	
		1441		10,50	
		1442		10,60	
		1443		10,65	
		1444		10,70	
		1445		10,75	
		1446		10,85	
		1447		10,95	
		1448		10,90	
		1449		10,90	
		1450		11,00	
		1452		11,30	
		1454		11,30	
		1456		11,40	
		1458		11,50	
		1460		11,50	
		1465		11,60	
		1470		11,60	
		1480		11,65	
		1490		11,70	
	25h	1500		11,70	

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE POPULAIRE MINISTERE DES RESSOURCES EN EAU DIRECTION DES RESSOURCES EN EAU DE LA WILAYA DE OUARGLA REALISATION D'UN FORAGE ALBIEN DE 1554 ML PROJET DE Hai Nsser			
COORDONNEES: Géographiques X : 05° 22' 31" E Y : 31° 54' 28" N Z : 155 m		Puits implanté : à 08 km au l'ouest de la ville d'Ouargla	Date début de forage : 04/08/2011 Date fin de sondage : 19/09/2012 Profondeur finale : 1554m Entrepreneur : SARL SHAOULIN Appareil de forage : ZI50
Côte m	Lithologie	Complétion	Observations
10	Sable fin siliceux et calcaire tendre à ciment argileux		<b>1- Forage</b> - De 0 à 10 m en Ø 26" et pose d'un tube guide de Ø 24" cimenté jusqu'en surface - De 10 à 300 m en Ø 22" - De 300 à 1200m en Ø 17 <sup>1/2</sup> " - De 1200 à 1554m en Ø 12 <sup>1/4</sup> "
26	Marne verdâtre sableuse à quelques trace de gypse et calcaire		<b>2- Colonnes techniques</b> - De 0 à 300m: Tubes pleins AP IØ 18 <sup>5/8</sup> K 55-85,5 ib/ft cimenté jusqu'en surface. - De 0 à 1200m: Tubes pleins API 13 <sup>5/8</sup> K 55-85,5 ib/ft cimenté jusqu'en surface.
48	Calcaire à quelque quartz et silex		<b>3- Colonne de production : 9<sup>5/8</sup></b> - De 0 à 1200m: Tubes pleins API 9 <sup>5/8</sup> K 55-85,5 ib/ft cimenté jusqu'en surface
102	Calcaire tendre à quelque quartz		<b>4- Colonne de captage : 8<sup>5/8</sup></b> - De 1200 à 1554m: Alternance Crépines Johnson slot 20 renforcé et Tubes pleins inox
270	Marne		<b>5- Dégorgement et Développement du puits</b>
331	Marne à quelque gypse et dolomie		<b>6- Essais de débit</b>  P = 11,70 bar Q = 175 l/s t = 53° C T = 0,892 10 <sup>-2</sup> m <sup>2</sup> /s RS = 2,303 g/l
400	Marne à quelque gypse et dolomie		
500	Dolomie blanchâtre à calcaire		
600	Sel à calcaire et dolomie		
776	Sel massif		
780	Sel, dolomie grise, gypse		
800	Argile rouge brique		
868	Dolomie, marne		
980	Marne noire		
1200	Argile rougeâtre, marne		
1128	Marne, argile grise à sable fin		
1165	Grès à argile rougeâtre		
1300	Calcaire, argile rougeâtre à sable fin et moyen		
1432	Grès à quelques traces d'argile de couleur rouge brique		
1438	Marne verdâtre		
	Grès tendre		
1518	Marne, argile grise à sable fin		
1554	Argile rouge		

## RESUME

La présente étude constitue, une synthèse de l'état actuel de la ressource en eau de la zone de Ouargla, qui est la zone très fragile vue son importance économique et social dans le développement.

Malheureusement cette ressource, qui est utilisée pour les besoins en agriculture ainsi que pour l'alimentation en eau potable est mal gérée.

Cette mauvaise gestion a engendrée en plus de l'apparition de nombreux problèmes environnementaux tels que la remontée des eaux des nappes phréatiques dans les vallées de Ouargla, un rabattement important du niveau d'eau des nappes notamment celle du Continental Intercalaire et même la disparition de son artésianisme dans certaines zones.

En se basant dans notre étude sur les données de pompage d'essais du forage Hai-Nasser réalisés en 2012, pour déterminer les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère, et sur les enregistrements des diagraphies électriques qui nous permet de mieux exploiter l'aquifère/ouvrage du Continental Intercalaire de la région de Ouargla.

## ملخص :

هذه الدراسة هي حوصلة من الوضع الحالي للموارد المائية في منطقة ورقلة ، وهي منطقة حساسة جدا للأهمية الاقتصادية والاجتماعية في عملية التنمية.

للأسف هذا المورد، الذي يستخدم للأغراض الزراعية وكذلك لمياه الشرب.

وقد خلق سوء التسيير بالإضافة إلى ظهور العديد من المشاكل البيئية مثل المياه الجوفية الموجهة المتقلبة في الوديان ورقلة ، تراجع كبير في مستوى المياه بما في ذلك للمتداخل القاري و حتى اختفاء الارتوازية في بعض المناطق.

تستند دراستنا على بيانات من ضخ اختبار الحفر المنجز في حي النصر في عام 2012 ، الذي يعطينا الخصائص الهيدروديناميكية من طبقة المياه الجوفية ، و تسجيلات لسجلات الكهربائية التي تسمح لنا لاستغلال المياه الجوفية أفضل للمتداخل القاري منطقة ورقلة .