

Année Universitaire : 2012-2013



Licence Sciences et Techniques : Eau et Environnement

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du Diplôme de Licence Sciences et
Techniques

**CARACTERISATION HYDROGEOLOGIQUE ET HYDROCHIMIQUE DES EAUX
DE LA NAPPE DRADERE - SOUIERE, MAROC SEPTENTRIONAL**

Présenté par:

- **Mamouni Mohammed Amine** - **Karim Msatef**

Encadré par:

- **Lahcen Benaabidate, FST – Fès**

- **Noureddine Esserrhini**

Soutenu Le 14 Juin 2013 devant le jury composé de:

- **Mr. Lahcen Benaabidate**
- **Mr. Abderrahim Lahrach**
- **Mr. Mohammed Benabdelhadi**

Stage effectué à : ABHS, Fès

SOMMAIRE

Liste des figures	3
Liste des tableaux	4
Introduction générale	5
Chapitre I : APERÇU GEOLOGIQUE	
I. Présentation géographique	6
II. Contexte géologique	7
Chapitre II : CLIMATOLOGIE	
I. Introduction	9
II. Précipitation	9
II.1. Précipitations annuelles	9
II.2. Précipitations mensuelles	10
III. Température	10
III.1. Température moyenne annuelle	10
III.2. Températures moyennes mensuelles	11
IV. Degré d'aridité	11
V. Diagramme ombrothermique	12
VI. Quotient pluvio-thermique d'Emberger	12
VII. Evapotranspiration	13
VII.1. Evapotranspiration Potentielle (ETP)	13
VII.2. Evapotranspiration réelle (ETR)	13
VIII. Conclusion	16
Chapitre III : CONTEXTES HYDROLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE	
I. Introduction	17
II. Hydrologie	17

III. Hydrogéologie	17
III.1. Piézométrie de la nappe	17
III.2. Evolution du niveau piézométrique	21
III.3. Epaisseur et réserves totales en eau de la nappe	23
III.4. Alimentation de la nappe	24
III.5. Exutoires de la nappe	24
III.6. Bilan de la nappe	24
IV. Conclusion	25
Chapitre IV: HYDROCHIMIE	
I. Introduction	26
II. Fiabilité des mesures	26
III. Détermination des facies chimique	28
III .1.Diagramme de Piper	28
III.2.Diagramme de Schoeller-Berkaloff	30
IV. Qualité des eaux	31
IV.1.Qualité des eaux d'irrigation	31
IV.2.Qualité des eaux de consommation	32
V .Conclusion	33
Conclusion générale	34
Références bibliographiques	35

LISTE DES FIGURES

- Fig .I.1 Carte de situation de la nappe Dradère-Souière
- Fig .I.2 Carte géologique de la nappe Dradère-Souière
- Fig II.1.: Précipitations moyennes annuelles au cours de la période 1981-2012
- Fig. II.2 : Précipitations moyennes mensuelles
- Fig .II.3 : Diagramme ombrothermique
- Fig .II.4 : Diagramme d'emberger
- Fig .II.5 : Diagramme d'évolution (ETP, ETR, P) en fonction des mois
- figIII.1 : Carte de situation des puits et leur niveau piézométrique
- Fig.III.2 : La carte piézométrique de la nappe Dradère-Souière
- Fig.III.3 : Carte du relief de la région Dradère-Souière
- Fig.III.4 : Courbe d'évolution piézométrique N°IRE 237-8
- Fig.III.5 : Courbe d'évolution piézométrique N°IRE 1497-8
- Fig.III.6 : Courbe d'évolution piézométrique N°IRE 1783-8
- Fig.III.7 : Courbe d'évolution piézométrique N°IRE 2027-3
- Fig.III.8 : Courbe d'évolution piézométrique N°IRE 1462-8
- Fig.IV.1 : Carte géologique positionnement des échantillons
- Fig.IV.2 : Diagramme de Piper
- Fig.IV.3 : Diagramme de piper (positionnement des échantillons)
- Fig.IV.4 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff
- Fig.IV.5 : Diagramme de Riverside

LISTE DES TABLEAUX

Tableau. II.1. Précipitations moyennes mensuelles au cours de la période de 1981-2012

Tableau II.2. Températures moyennes mensuelles de la période de 1981-2012

Tableau II.3. Diagramme ombrothermique de Lalla Mimouna

Tableau II. 4. Quotient pluvio-thermique d'Emberger de Lalla Mimouna

Tableau II.5. Calcul de l'ETP par la méthode de Thornthwaite à Lalla Mimouna

Tableau II. 6. Calcul de l'ETR par la méthode de Thornthwaite à Lalla Mimouna

Tableau III.1 : Coordonnées des puits et leur niveau piézométrique

Tableau III.2 : Bilan des ressources en eau de la nappe de Dradère Souière

Tableau IV.1. Résultat d'analyse des échantillons eaux

Tableau IV.2. Résultat de la fiabilité des mesures

Tableau IV.3. Détermination des facies chimiques

Tableau IV.4. Tableau des mesures de conductivité et S.A.R

Tableau IV.5. Tableau de la qualité des échantillons

INTRODUCTION GENERALE

Dans les pays arides tels que le Maroc, les eaux souterraines revêtent une importance capitale pour le développement socio-économique. L'avancée technologique des dernières décades a joué un rôle déterminant en rendant possible l'exploitation de ces ressources sur une grande échelle. De nos jours, on dispose de plus en plus de données de base élaborées en informations utiles précises sur le milieu physique, les mécanismes d'écoulement en surface, souterrain et on comprend mieux les principes de mécanique des fluides qui conditionnent l'alimentation en surface, la percolation et l'accumulation en profondeur. Cependant, en même temps, ces progrès techniques ont entraîné un accroissement accéléré et continu de la mobilisation et de l'utilisation de l'eau. En certains milieux, où la réalimentation des nappes est insuffisante pour compenser les prélèvements, les quantités d'eau en réserve diminuent progressivement.

L'évolution rapide des besoins des différents usages fait que plusieurs bassins hydrauliques du Maroc se trouvent confrontés à des situations critiques impliquant de nouvelles orientations stratégiques, qui doivent œuvrer pour une meilleure et plus grande utilisation de l'eau.

Aussi, l'exploitation des eaux souterraines a connu au cours de ces trois dernières décades un accroissement considérable conduisant localement, voire régionalement à des situations conflictuelles et à des pertes économiques notables. Ainsi donc il importe de se demander comment accréditer les réservoirs souterrains de la fonction de régularisation des eaux de crues qui à défaut d'une récupération partielle, se perdraient totalement à la mer ou se dégraderaient. Ces quantités d'eau disponibles, dans les régions arides ou semi-arides sur de courtes périodes lors des fortes précipitations épisodiques pourraient être épargnées en favorisant leur infiltration dans le sous-sol utilisant ainsi la capacité d'emmagasinement des formations aquifères.

Mais avant d'aborder l'aspect de réalisation pratique, il est fort utile de rappeler certaines données fondamentales. En premier lieu, lorsqu'on compare les eaux souterraines et les eaux de surface, on relève que les débits d'écoulement souterrains et de surface sont en général sans commune mesure. En même temps et dès lors qu'une année s'avère pluvieuse, des quantités énormes sont véhiculées par les cours d'eau et déversées à la mer lorsqu'elles ne sont stockées dans des retenues de barrages. En deuxième lieu, les réservoirs souterrains se distinguent par une inertie leur conférant une grande capacité de régularisation. Leur recharge naturelle a lieu en période de crues dont une partie des eaux produites s'infilte le long des oueds, dans les zones d'épandage et le long des réseaux de seguias traditionnelles. La recharge artificielle se présente, de ce fait, domaine d'intégration dans la gestion intégrée des eaux de surface et souterraines, aujourd'hui reconnue universellement comme fondement des bonnes gouvernances dans le secteur de l'eau.

Chapitre I : APERCU GEOLOGIQUE

I. PRESENTATION GEOGRAPHIQUE

Le bassin de Dradère-Soueire ouvert sur l'océan Atlantique est séparé du bassin de Sebou au Sud par les collines de Lalla Zohra et au Sud-est par les collines de Lalla Mimouna. Au Nord-est, il est séparé du bassin du Loukkos par les collines d'El Ferjane, Lalla Rhano et de Kourricha. Ce bassin s'étend sur une superficie de 600 km².

Ce bassin présente une forme en cuvette avec un relief peu accusé au centre. Les pentes décroissent régulièrement depuis les collines bordières qui entourent le bassin vers le bas Dradère et les merjas côtières qui longent les dunes vers l'intérieur du pays (Fig. I.1).

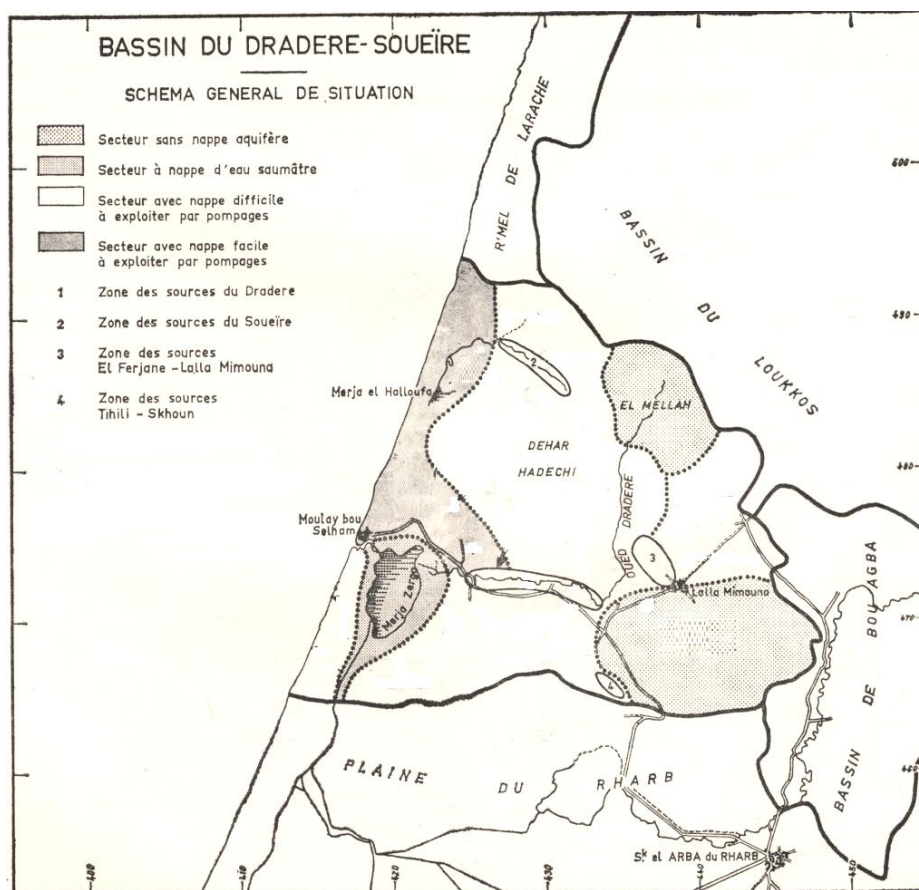


Fig. I.1 Carte de situation de la nappe Dradère-Soueire

II. Contexte géologique

Le bassin de Dradère-Soueire se situe dans le domaine pré-rifain où les nappes pré-rifaines constituant le substratum général affleurent largement sur les pourtours et apparaissent localement dans le bassin sous forme de terrains salifères, en particulier au centre de la cuvette d'El Mellah et à l'Est de Lalla Ghano (SE du bassin). Au SE de Lalla Mimouna, un large affleurement de marno-calcaire est également attribué aux nappes pré-rifaines (Fig. I.2).

Une épaisse série de marnes du Miocène supérieur dénommée « série des marnes bleues » recouvre les formations pré-rifaines sur la presque totalité de la surface du bassin. Cette série est épaisse de plusieurs centaines de mètres comme l'ont montré les sondages pétroliers effectués dans la boutonnière de Lalla Zohra, au Sud du bassin. Cette épaisseur importante de marnes permet de considérer cette formation comme un plancher imperméable. Ces marnes affleurent largement au Sud (Lalla Zohra) et à l'Est (El Mellah-Haut Bouhira).

La série des marnes bleues s'achève par des niveaux d'origine marine de sables argileux fins, de fines lumachelles non consolidées, de grès tendres intercalés d'argiles que l'on attribue au Pliocène. Ces niveaux peuvent avoir des épaisseurs importantes de plusieurs dizaines de mètres.

A la fin du Tertiaire et au début du Quaternaire, le bassin qui était jusqu'alors totalement immergé devient un bassin côtier. La mer se retire en effet vers l'Ouest, mais quelques oscillations la ramèneront encore jusqu'au pied des collines du Sud et de l'Ouest. Deux types de sédimentation s'individualisent nettement ; à l'Est et au SE s'accumulent des séries de galets et d'argiles qui constituent les produits du démantèlement continental de la chaîne pré-rifaine. A l'Ouest et au SW, se déposent des successions de grès et sables marins ou dunaires alternant avec des argiles.

Le Quaternaire récent est représenté dans la partie centrale du bassin ; Bas Dradère ; par des dépôts épais d'argiles noires continentales dont l'accumulation traduit une subsidence de ce secteur (ABHS).

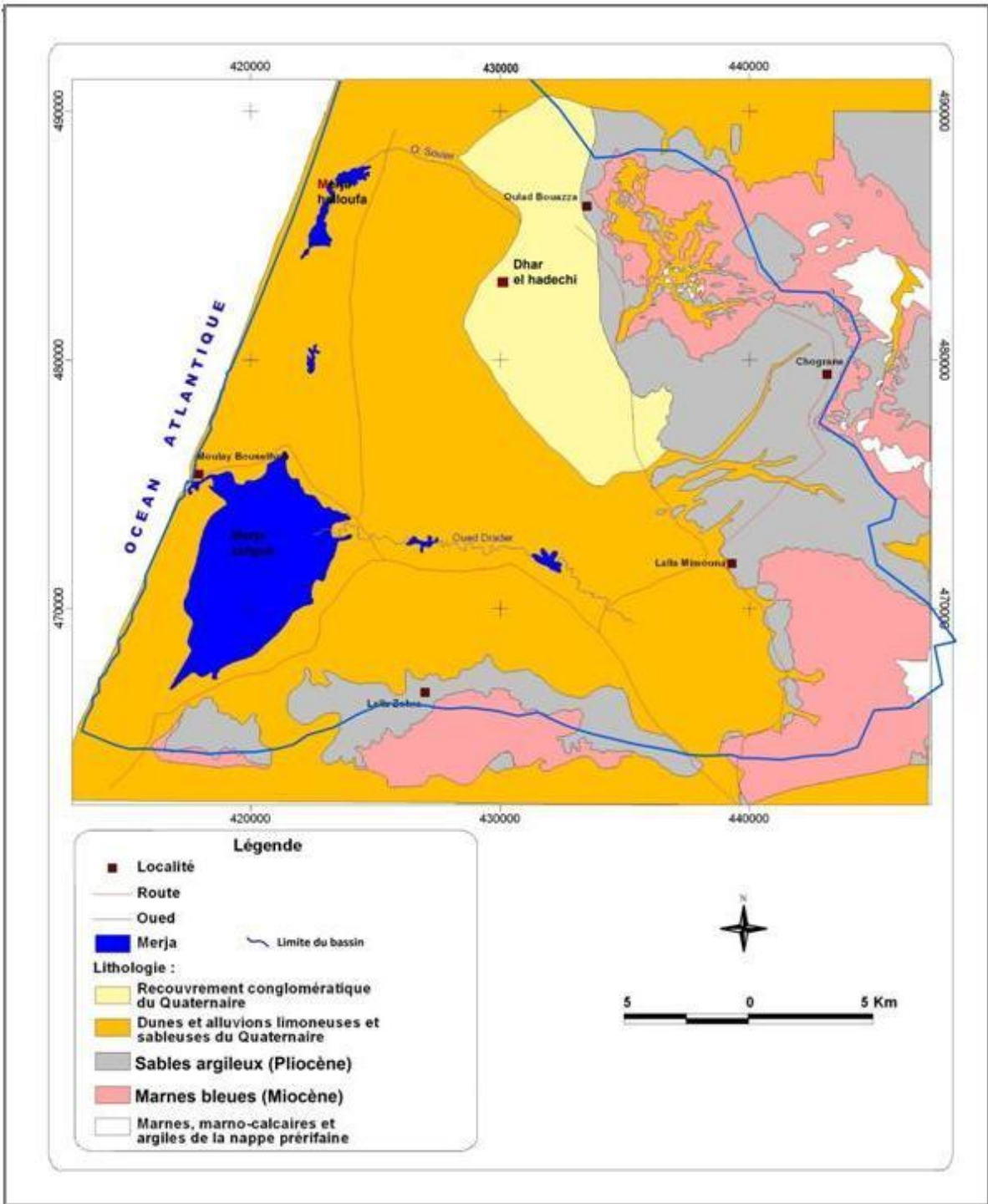


Fig .I.2 Carte géologique de la nappe Dradère-Souïère

Chapitre II : CLIMATOLOGIE

I. Introduction

L'objectif de ce chapitre est d'étudier la variabilité spatiale et temporelle des paramètres climatiques notamment la précipitation, la température et l'évapotranspiration.

Cette étude porte sur les données enregistrées dans la station de Lalla Mimouna et correspondent à une période de 1981 à 2012. Cette station est située au Sud-est du bassin avec des coordonnées Lambert : X= 435 km, Y= 472,6 km et Z= 16 m.

II. Précipitation

L'étude pluviométrique du bassin versant du Dradère a été réalisée à partir des données mensuelles enregistrées au niveau du pluviomètre de la station Lalla Mimouna.

I.II Précipitations annuelles

La hauteur moyenne des précipitations annuelles au cours de la période 1981-2012 est de 544,5 millimètres et les valeurs annuelles se répartissent autour de cette moyenne (Fig. II.1).

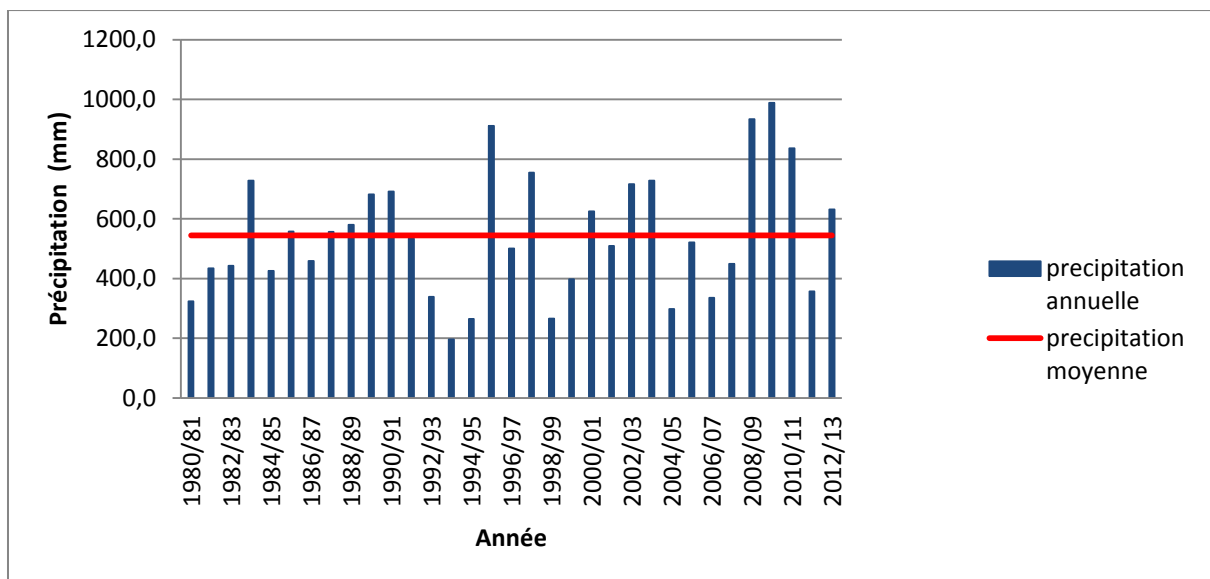


Fig II.1.: Précipitations moyennes annuelles au cours de la période 1981-2012

II.2 Précipitations mensuelles

La hauteur moyenne des précipitations mensuelles est calculée pour la période 1981-2012. Cependant, ces précipitations mensuelles présentent une importante variabilité temporelle au cours de l'année (Tab. II.1).

Tab. II.1 Précipitations moyennes mensuelles au cours de la période 1981-2012

	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août
P.moy (mm)	12,84	57,73	83,01	102,36	86,23	69,99	52,06	62,56	32,52	7,94	1,99	0,67

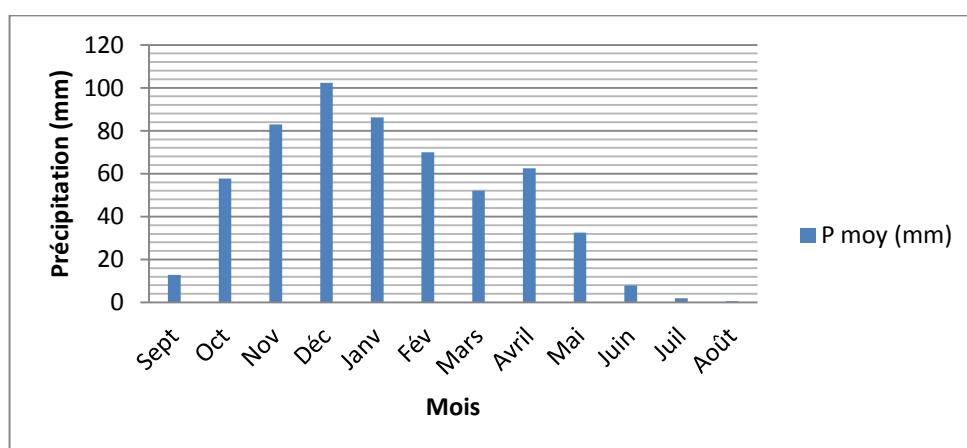


Fig. II.2 : Précipitations moyennes mensuelles

La partie humide s'étend du mois de novembre à janvier avec une moyenne de 90 mm de pluie. Août est le mois le plus sec de l'année. L'évolution des précipitations mensuelles au cours de l'année est assez irrégulière. La répartition annuelle des pluies montre une augmentation discontinue des hauteurs d'eau précipitées d'Octobre à Avril, puis une diminution rapide de celles-ci de Mai à septembre (Fig.II.2).

III. Température

III.1. Température moyenne annuelle

La valeur moyenne annuelle de la station Lalla Mimouna est de 18,5°C avec une légère variation d'une année à l'autre.

III.2. Températures moyennes mensuelles

Les variations mensuelles des températures montrent que les mois les plus froids sont les mois de décembre, janvier et février. Les mois les plus chauds sont juillet et août. Ces valeurs extrêmes révèlent l'évolution annuelle de la température de l'air qui se refroidit de septembre à janvier, puis se réchauffe jusqu'à juillet-août. (Tab.II.2)

Tableau II.2 : Températures moyennes mensuelles de la période 1981-2012

	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août
T(°C)moy	21.18	18.47	14.96	12.69	11.57	11.76	13.48	13.57	17.07	20.62	22.28	22.80
Moy Max	38,9	32,9	28,1	21,7	21,4	23,2	28,7	31,6	35,3	39,7	42,5	41,2
Moy Min	14,4	11,1	5,8	2,9	2,4	2,9	3,9	7,4	8,6	12,2	14,2	15

IV. Degré d'aridité

L'aridité est un phénomène climatique impliquant une pluviométrie faible. Dans les régions dites arides, les précipitations sont inférieures à l'évapotranspiration potentielle. On retrouve 3 degrés communs à quasiment tous les indices d'aridité :

L'indice d'aridité de « De Martonne », noté I, permet de déterminer le degré d'aridité d'une région. Pour le calculer, on utilise la formule :

$$I = \frac{P}{T + 10}$$

P : les précipitations totales annuelles

T : la température moyenne annuelle

Et pour un mois on utilise la formule suivante :

$$I = \frac{12p}{t + 10}$$

p : désigne les précipitations totales mensuelles.

t : la température moyenne mensuelles.

I < 5	Régions hyperarides 'désert absolu'
5 < I < 10	Régions arides Régions désertiques
10 < I < 20	Régions semi-arides
20 < I < 30	Régions semi-humides
I > 30	Régions humides

Avec I=18,6 la région étudiée est une région semi-aride

V. Diagramme ombrothermique

Tab. II.3 : Données climatologiques (P et T) de Lalla Mimouna (Période 1981-2012)

	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août
P (mm)	12,84	57,73	83,01	102,36	86,23	69,99	52,06	62,56	32,52	7,94	1,99	0,67
T(°c)	21.18	18.47	14.96	12.69	11.57	11.76	13.48	13.57	17.07	20.62	22.28	22.80

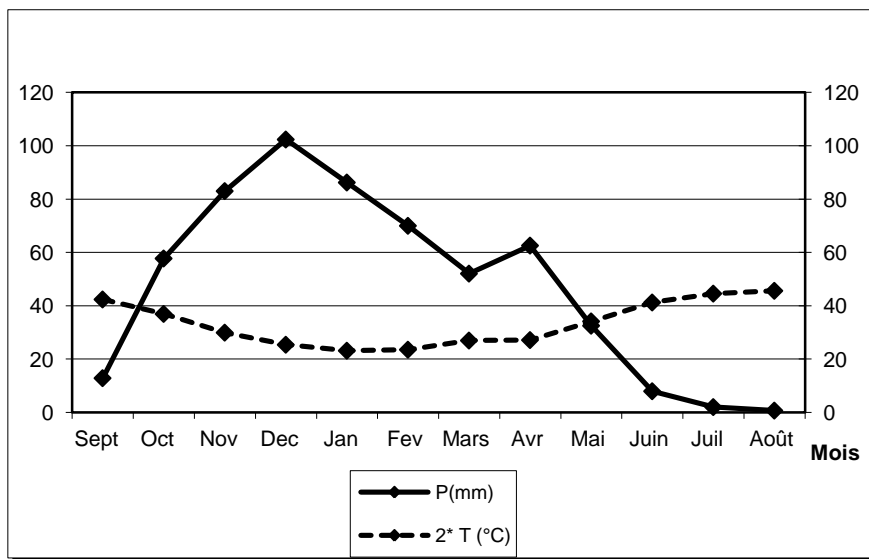


Fig .II.3 : Diagramme ombrothermique à la station Lalla Mimouna

Ce diagramme (Fig .II.3), appelé aussi indice xérothermique de Gaussen, montre que la période sèche s'étend du Juin à Septembre, et la période humide s'étend d'Octobre à Mai, le mois le plus humide est Décembre.

VI. Quotient pluvio-thermique d'Emberger

Emberger a établi en 1952 un quotient pluviométrique permettant de définir l'appartenance d'une station de mesure des températures et des précipitations à un étage bioclimatique donné. Ce quotient est fonction de la pluviométrie moyenne et de l'amplitude thermique annuelle à la station considérée.

$$Q_2 = \frac{2000 P}{M^2 - m^2}$$

Avec P : précipitations moyennes annuelles (mm),

M : Température moyenne des maxima du mois le plus chaud (K),

m : Température moyenne des minima du mois le plus froid (K).

La méthode de classification d'Emberger consiste à représenter les stations de mesure sur un climagramme portant en abscisses la moyenne des températures minimales du mois le plus froid et en ordonnées la valeur du quotient pluvio-thermique, puis à déterminer par la même occasion les étages bioclimatiques auxquels appartiennent ces différentes stations.

Tab II. 4 : Données de la station climatologique de Lalla Mimouna Période 1981-2012

	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août
Moy Max	38,9	32,9	28,1	21,7	21,4	23,2	28,7	31,6	35,3	39,7	42,5	41,2
Moy Min	14,4	11,1	5,8	2,9	2,4	2,9	3,9	7,4	8,6	12,2	14,2	15,0
P moy (mm)	12,84	57,73	83,01	102,36	86,23	69,99	52,06	62,56	32,52	7,94	1,99	0,67

Le Quotient pluvio-thermique d'Emberger $Q_2 = 41,6$

Température min moyenne $m^{\circ}\text{C} = 2,4$

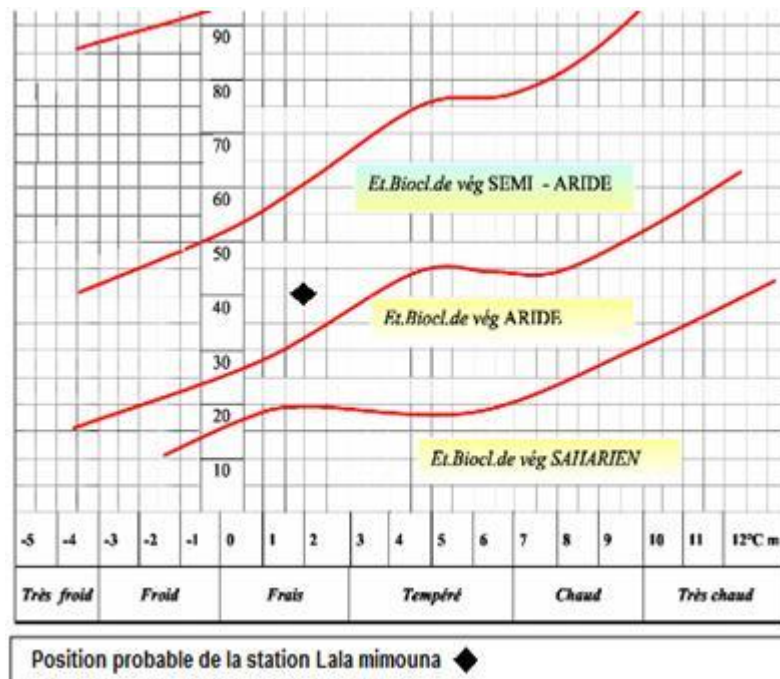


Fig.II.4 : Diagramme d'Emberger

VII. Evapotranspiration

La notion d'évapotranspiration potentielle (ETP) est couramment opposée à l'évapotranspiration réelle (ETR).

L'évapotranspiration réelle désigne la quantité exacte d'eau évapotranspirée à partir d'une surface d'eau et contenant ou pas une couverture végétale réelle. À l'opposé, l'évapotranspiration potentielle désigne la quantité d'eau qui est serait évaporée à partir d'une surface contenant suffisamment d'eau. Cette évapotranspiration est calculée par des formules mathématiques. L'ETP est ainsi l'objet de définitions variées, selon auteurs et les méthodes de calcul employées.

VII.1. Evapotranspiration Potentiel (ETP)

Thornthwaite (1944) évalue l'évapotranspiration potentielle (Tab.II.5) mensuelle à partir de la température moyenne du mois considéré par la formule suivante:

$$ETP = 16 \times \left(\frac{10T}{I} \right)^\alpha$$

où $I = \sum_{k=1}^{12} i_k$, $i_k = \left(\frac{T_k}{5} \right)^{1.514}$ et $\alpha = 49239.10^{-5} + 1792.10^{-5} I - 771.10^{-7} I^2 + 675.10^{-9} I^3$

Avec ETP : évapotranspiration mensuelle (mm),

T : Température moyenne mensuelle (°C),

I : Somme des indices thermiques mensuels,

i_k : Indice thermique du mois k,

α : Coefficient exprimé en fonction de la somme des indices thermiques mensuel.

Tab.II. 5 Données de la station climatologique de Lalla Mimouna (période de 1981-2012)

	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août
T(°c) moy	21,18	18,47	14,96	12,69	11,57	11,76	13,48	13,57	17,07	20,62	22,28	22,8
i_k	8,90	7,23	5,26	4,10	3,56	3,65	4,49	4,53	6,42	8,54	9,61	9,95
ETP	92	73	51	38	33	34	42	43	63	88	100	104

Avec $\alpha=1,70932912$ / $I = 76,22$

VII.2. Evapotranspiration réelle (ETR)

Le calcul de l'ETR est basé sur les principes suivants :

- si l'ETP excède la quantité d'eau fournie par les précipitations et la RFU, alors la valeur de l'ETR équivaut à celle de la somme (P+RFU) ;

- si l'ETP est inférieure à la quantité d'eau mise à disposition par les précipitations et la RFU, alors la valeur de l'ETR est égale à celle de l'ETP ;
- la part des précipitations non évapotranspirée pendant un mois donné est stockée dans le sol et constitue la RFU. L'excédent est remobilisé pour alimenter l'infiltration et le ruissellement.

Dans les zones arides et semi arides, la valeur maximale de la réserve facilement utilisable est fixée à 50 mm compte tenu des conditions climatiques qui y prévalent. La RFU est initialisée à la valeur 0 au début de l'année hydrologique, car l'absence de précipitations et l'évapotranspiration intense que connaît l'été dans ces régions entraîne un déficit hydrique important qui épuise la réserve d'eau du sol.

Tab.II. 6: Données de la station climatologique de Lalla Mimouna de la période 1981-2012

	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août
P moy (mm)	12,84	57,73	83,01	102,36	86,23	69,99	52,06	62,56	32,52	7,94	1,99	0,67
ETP (mm)	92	73	51	38	33	34	42	43	63	88	100	104
ETR (mm)	12,84	57,73	51	38	33	34	42	43	63	27,46	1,99	0,67
RFU (mm)	-	-	32,01	50	50	50	50	50	19,52	-	-	-
Excès (mm)	-	-	-	46,37	53,23	35,99	10,06	19,56	-	-	-	-
Déficit (mm)	50	50	19,99	-	-	-	-	-	30,48	50	50	50

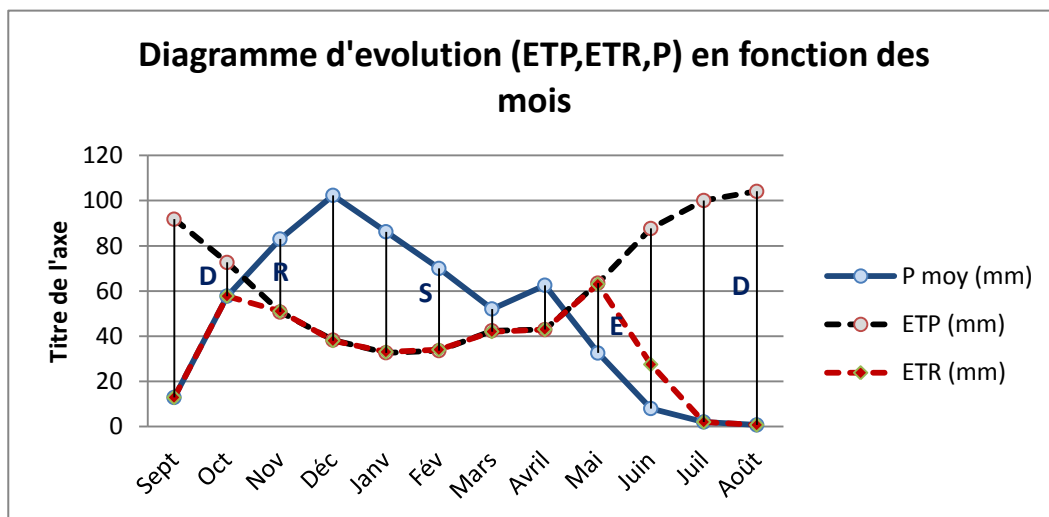


Fig.II.5 : Diagramme d'évolution (ETP, ETR, P) en fonction des mois

Avec :

R : reconstitution des réserves du sol,

S : écoulement de l'excédent d'eau,

E : évapotranspiration au détriment du stock d'eau,

D : déficience de l'évapotranspiration.

(La réserve utile en eau du sol est estimée à 50 mm en zone aride et semi-aride).

VIII. Conclusion

Le climat du bassin est semi-aride (Fig.II.4), avec une petite influence océanique. Il est caractérisé par :

- une pluviométrie assez importante, d'environ 544,5 mm/an. Les hauteurs pluviométriques mensuelles varient entre moins de 0,67 mm pour le mois d'août et 102,36 mm pour le mois de décembre (Fig.II.1)
- des températures assez douces, variant entre 11.6 en janvier et 22.8 °C au mois d'août. La température moyenne annuelle est de 16.7°C (Tab.II.2).
- une évapotranspiration potentielle (ETP) variant entre 33 mm au mois de Janvier et 104 mm au mois de juillet. L'ETP moyenne annuelle est de 718 mm (Fig.II.5).
- La période aride (Précipitations < 2 fois la température du mois) s'étale sur 4 mois, entre les mois de juillet et septembre de chaque année (Fig.II.3).

Chapitre III : HYDROGEOLOGIQUE ET HYDROLOGIQUE

I. Introduction

Dans ce chapitre, l'objectif est d'étudier le contexte hydrogéologique et hydrologique de la nappe Dradère-Souière et d'interpréter les informations obtenues pour faire une approche du bilan des ressources de cette nappe.

Cette étude s'articule principalement sur des informations, piézométriques, hydrologiques et ce grâce aux données de forages qui existent dans le bassin.

II. Contexte hydrologique

L'hydrologie du bassin est dominée par deux oueds principaux : l'oued Dradère et l'oued Souière.

L'oued Dradère se situe à la limite du bassin et coule du Nord vers le Sud dans ses tronçons amont et médian. L'écoulement devient Est-ouest dans son tronçon aval, jusqu'à son débouchement dans la merja Zerga.

L'oued n'est pas durable dans ses tronçons amont et médian. Son débit moyen en amont (mesuré au niveau de la station de Lalla Mimouna) est de 710 l/s. L'oued devient pérenne dans son tronçon aval (écoulement est-ouest), en raison de son alimentation par plusieurs sources et du drainage de la nappe de Dradère-Souière

L'oued Souière situé dans la partie Nord-ouest du bassin, a un écoulement orienté du Sud-est vers le Nord-ouest. Il est alimenté par plusieurs sources et débouche dans la merja El Halloufa, qui constitue également une zone d'affleurement de la nappe. Cette dernière n'a pas de communication avec l'océan duquel, elle est séparée par un cordon dunaire. A l'amont de l'oued, les grosses sources s'accroissent vers l'aval par d'autres venues d'eau en provenance du fond de l'oued.

III. Contexte hydrogéologique

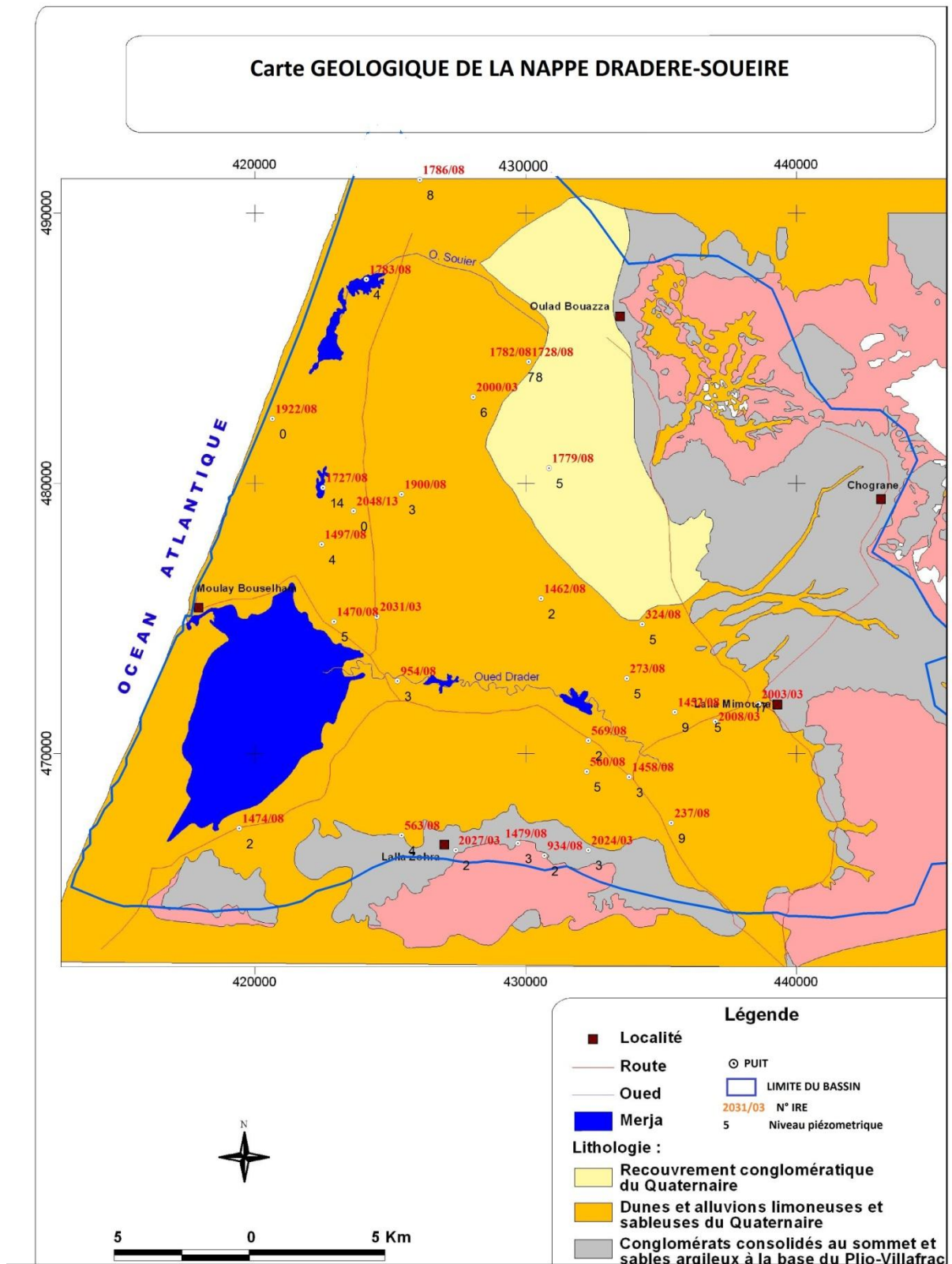
III.1. Piézométrie de la nappe

La carte piézométrique de Mars 2012 montre que l'écoulement général de la nappe se fait du :

- Nord (Dehar El Hadechi vers le Sud (rive droite de l'oued Dradère), l'Ouest (Merja Zerga) et le Nord-ouest (oued Souière) ;
- Sud (collines de Lalla Mimouna) vers le Nord (rive gauche de l'oued Dradère), l'Ouest (Meja Zerga) et l'Est ;
- Est vers le Sud-est (rive gauche de l'oued Dradère) (Fig.III.2).

N° IRE	X	Y	Z	hauteur d'eau	NP(m)
2048/13	423629	478987	25,60	0	25,6
2024/03	432300	466450	35,00	3	32,0
2027/03	427400	466450	75,00	2	73,0
2031/03	424494	475086	16,00	2	14,0
563/08	425400	467000	52,00	4	48,0
954/08	425250	472700	9,00	3	6,0
1922/08	420625	482400	23,00	0	23,0
1479/08	429700	466700	70,00	3	67,0
1474/08	419400	467250	3,00	2	1,0
1458/08	433810	469150	18,00	3	15,0
1900/08	425400	479600	45,00	3	42,0
569/08	432300	470500	24,00	2	22,0
2008/03	437000	471200	16,00	5	11,0
1462/08	430560	475750	32,00	2	30,0
324/08	434300	474800	18,00	5	13,0
1783/08	424100	487550	23,00	4	19,0
560/08	432250	469350	29,00	5	24,0
1779/08	430850	480575	85,00	5	80,0
1470/08	422900	474900	18,00	5	13,0
273/08	433725	472800	13,00	5	8,0
2000/03	428050	483200	80,00	6	74,0
1497/08	422450	477750	12,00	4	8,0
1782/08	430100	484500	85,00	7	78,0
1728/08	430100	484500	85,00	8	77,0
237/08	435370	467450	18,00	9	9,0
1452/08	435500	471550	12,00	9	3,0
1727/08	422500	479850	14,00	14	0,0
2003/03	438600	471850	30,00	17	13,0
934/08	430675	466250	72,00	2	70,0
1786/08	426075	491230	30,00	8	22,0

Tableau III.1 : Coordonnées des puits et leur niveau piézométrique



figIII.1 : Carte de situation des puits et leur niveau piézométrique

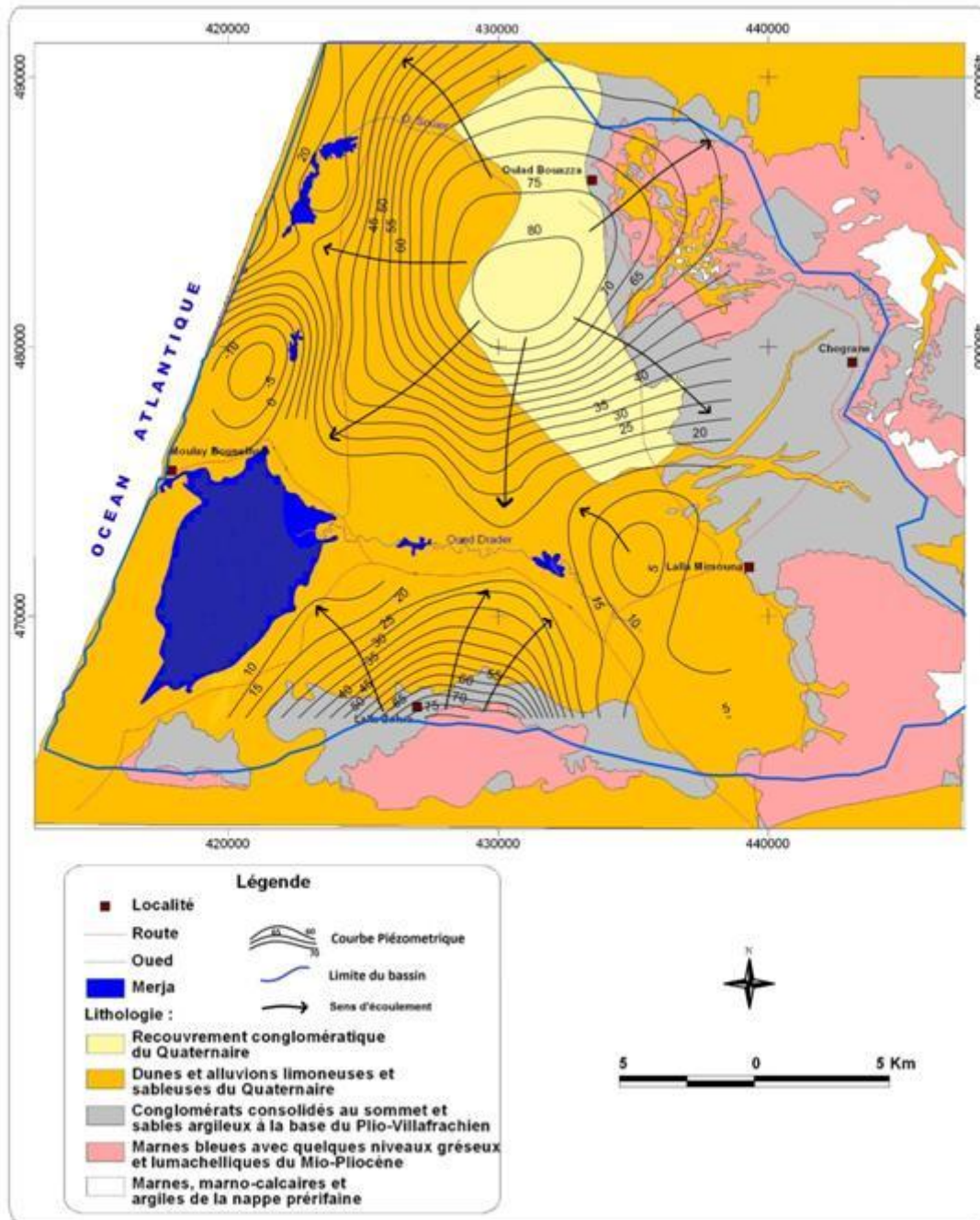


Fig.III.2 : La carte piézométrique de la nappe Dradère-Souière

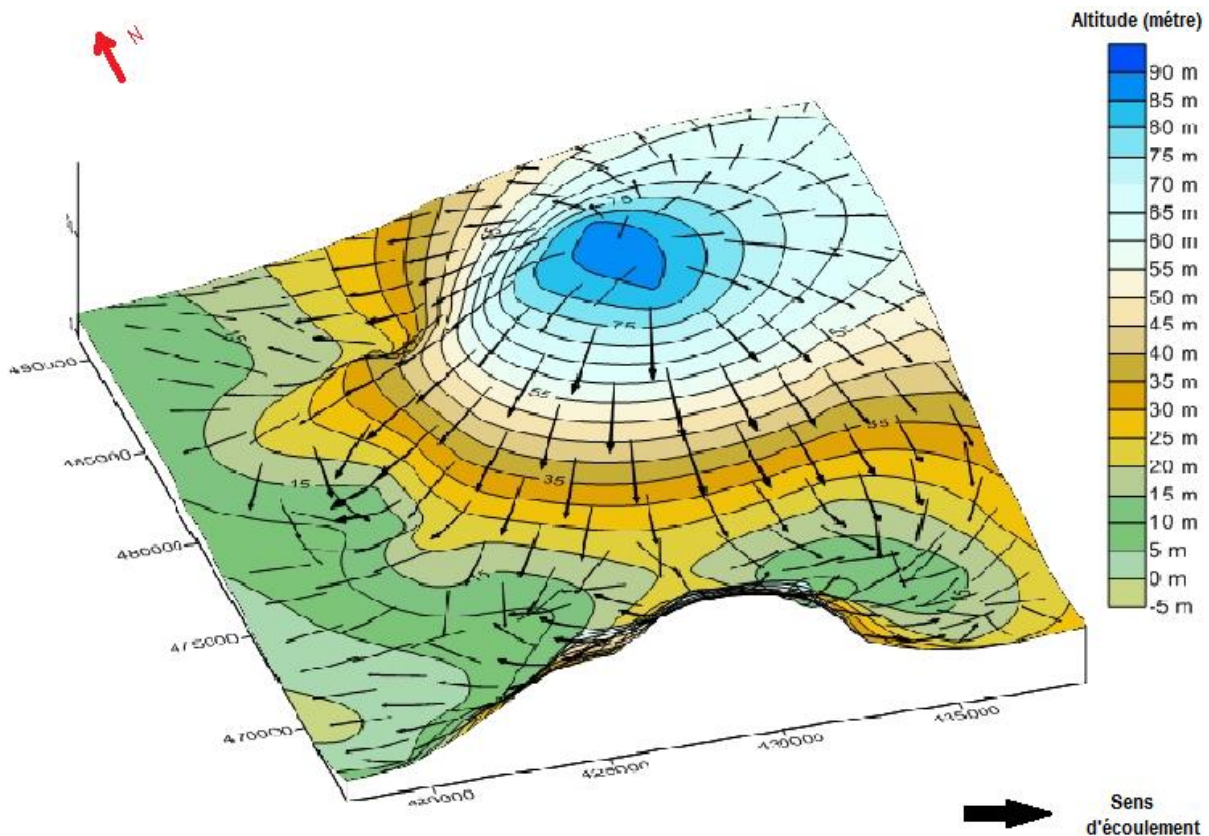


Fig.III.3 : Cadre de la numérisation numérique du terrain de la région Dradère-Souière

III.2. Evolution du niveau piézométrique de 2005-2012

Afin d'analyser le progrès du niveau piézométrique en fonction d'années on constate :

- la nappe dans le secteur nord-ouest (Fig.III.6) au Nord-est au Sud-est (Fig.III.4) se recharge assez rapidement à chaque épisode pluvieux. La réalimentation des nappes intervient juste après la saturation des sols en eau, par infiltration directe des eaux de pluies ou d'irrigation au niveau des zones d'affleurement. Une stabilisation quasi générale des niveaux de la nappe dans les secteurs central et oriental.
- une petite tendance à la baisse dans le Nord-ouest (Fig.III.6) au Sud de la Merja Zerga, suite au positionnement de cette zone (relief peu élevée) (Fig.III.3). A chaque saison, cette zone alimente la nappe au-dessous et Merja Zerga et Merja Haloufa.

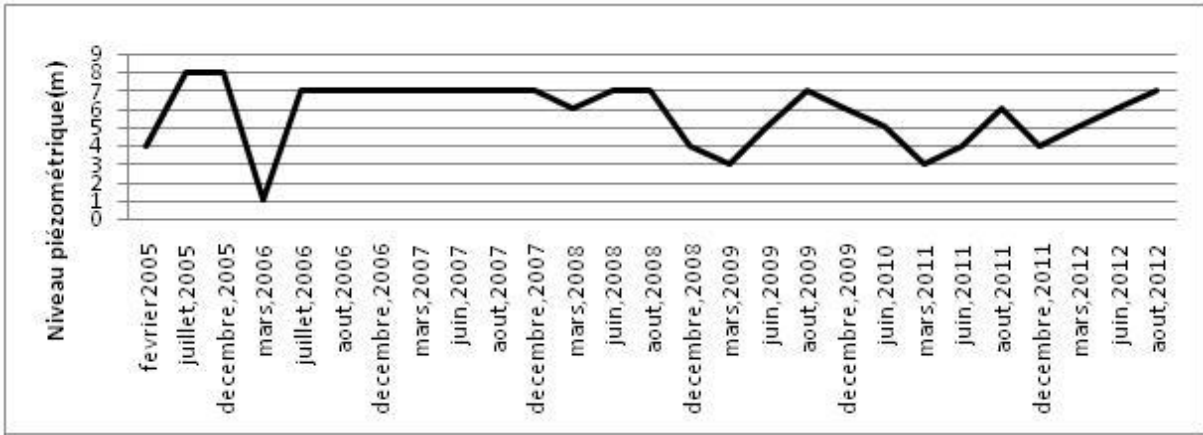


Fig.III.4 : Courbe d'évolution piézométrique N°IRE 237-8 secteur Sud-est de la nappe

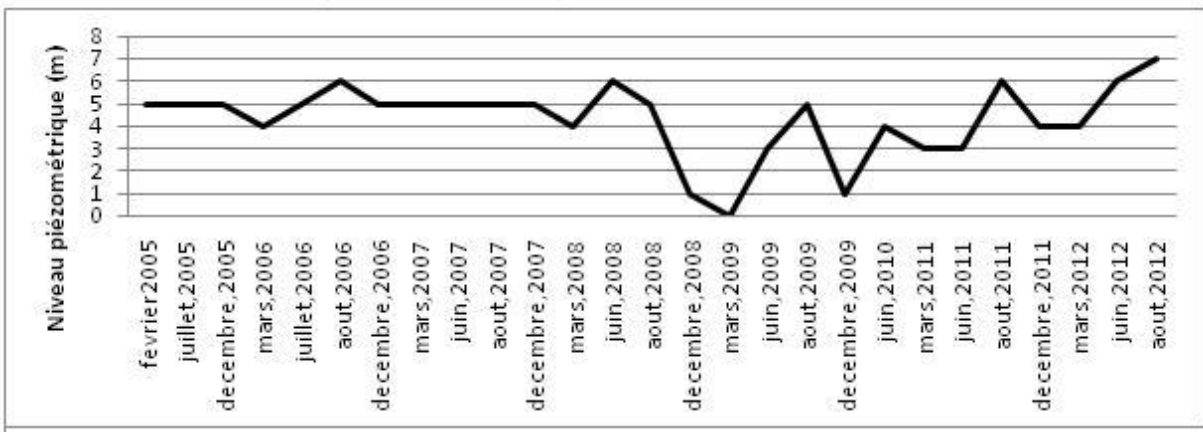


Fig.III.5 : Courbe d'évolution piézométrique N°IRE 1497-8 secteur Ouest de la nappe

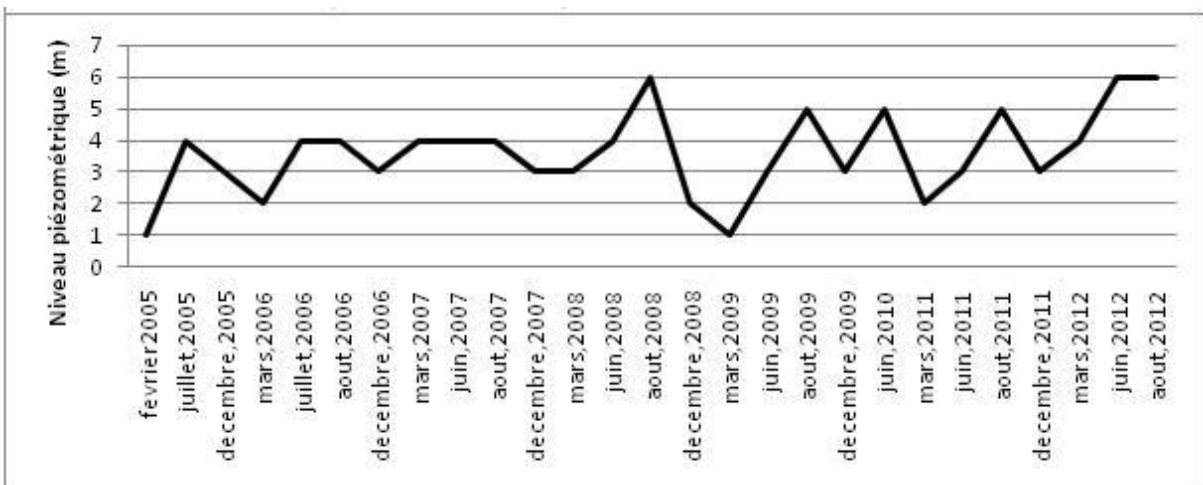


Fig.III.6 : Courbe d'évolution piézométrique N°IRE 1783-8 secteur Nord-ouest de la nappe

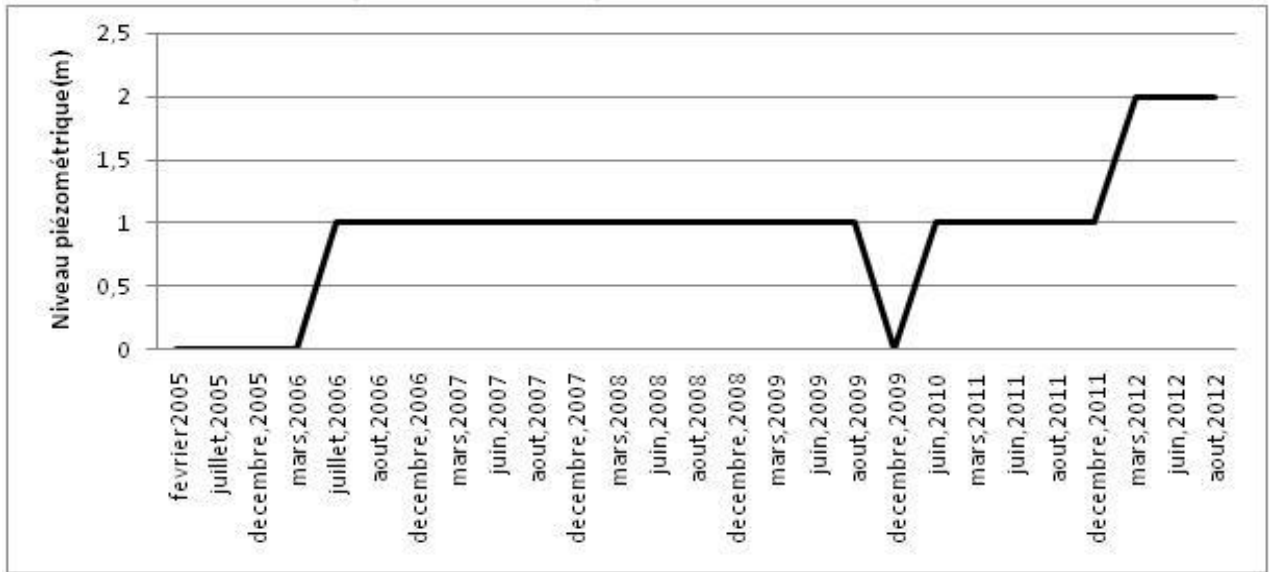


Fig.III.7 : Courbe d'évolution piézométrique N°IRE 2027-8 secteur Sud de la nappe

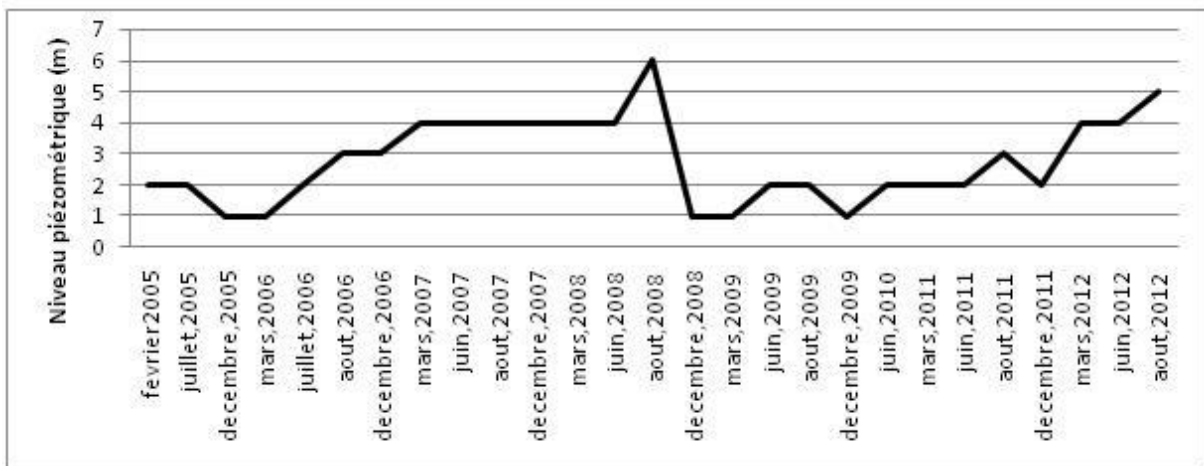


Fig.III.8 : Courbe d'évolution piézométrique N°IRE 1462-8 au centre de la nappe

III.3. Epaisseur et réserves totales en eau de la nappe

Les réserves totales de la nappe sont estimées entre 1,2 et 2,5 milliards de m³ d'eau, pour une épaisseur moyenne de 50 m.

III.4. Alimentation de la nappe

L'alimentation principale de la nappe est assurée par l'infiltration des eaux de pluie et par le retour des eaux d'irrigation.

La recharge de la nappe par la pluie a été évaluée à environ 103 Mm³/an. Cette recharge a nettement baissé à partir du début des années 90.

Le volume d'eau infiltré dans la nappe de Dradère-Souière à partir des eaux d'irrigation a été estimé à environ 1,0 Mm³/an ; soit 20 % du volume d'eau d'irrigation utilisé.

Les entrées de la nappe au niveau de sa limite sud sont d'environ 0.22 m³/s, soit environ 7 Mm³/an.

Les entrées totales de la nappe s'élèvent donc à environ 111 Mm³/an (Fig.III.9), soit environ 3.5 m³/s. L'infiltration efficace représente la part la plus importante, avec environ 93 % du volume total moyen de l'alimentation de la nappe.

III.5. Exutoires de la nappe

Les sorties naturelles de la nappe sont constituées par :

- le drainage des sources de l'oued Dradère : environ 339 l/s ; environ 10,7 M m³/an;
- le drainage de l'oued Souière: environ 287 l/s : environ 9 Mm³/an ;
- l'écoulement souterrain vers l'océan : évalué à environ 0,7 l/s ; environ 22 Mm³/an, et une longueur de front d'environ 20 km ;
- l'alimentation des merja Zerga et Halloufa.

L'exploitation actuelle de la nappe se fait principalement par les prélèvements agricoles pour l'irrigation d'une superficie d'environ 1614 ha.

III.6. Bilan de la nappe

Le bilan de la nappe est globalement en équilibre ; les secteurs excédentaires équilibrant ceux qui sont déficitaires et les sorties sont donc globalement égales aux entrées, avec un volume moyen annuel d'environ 111 Mm³/an (Tab.III.1).

Le débit des écoulements alimentant les Merjas Zerga et EL Halloufa a été estimé à partir du bilan de la nappe à environ 47 Mm³/an. Une partie de ce débit et de celui s'écoulant vers l'océan ; environ 20 et 30 Mm³/an, pourra être prélevé par forages dans la nappe sans que cela n'affecte ses réserves permanentes (non renouvelables) et les débits alimentant les dayas du bassin.

ENTREES	Mm ³ /an
Infiltration de pluie	103.0
Retour des eaux d'irrigation	1.0
Entrées au niveau des limites	7.0
Entrées totales	111.0
SORTIES	Mm ³ /an
Prélèvements agricoles (IP : 1614 ha)	21.0
Prélèvements urbaine et rurale	1.0
Drainage des sources de l'oued Dradère	10.7
Drainage de l'oued Souière	9.0
Ecoulement vers l'Océan	22.0
Ecoulement vers les Merja Zerga et Halloufa	47.3 (*)
Sorties totales	111.0

Tab.III.2 : Bilan des ressources en eau de la nappe de Dradère-Souière

IV. CONCLUSION

Cette étude nous a permis de savoir l'écoulement des eaux dans la nappe Dradère-Souière ; localise les zones de charge et de décharge de l'eau

Les variations piézométriques indiquent un rôle important sur le changement de la quantité d'eau qui existe sur la nappe. Par ailleurs, Les sorties naturelles de la nappe Dradère-Souière se situent soit vers l'océan, les Merjas ou l'alimentation de la nappe souterraine.

Chapitre IV : HYDROCHIMIE

I. Introduction

L'objectif de ce chapitre est de caractériser les paramètres physico-chimiques des eaux souterraines de la nappe Dradère-Souière (Fig.IV.1) afin de déterminer leur faciès chimiques et la parenté de ces eaux.

Les informations recueillies de cette étude seront utiles pour déterminer soit la qualité des eaux d'irrigation ou eau potable.

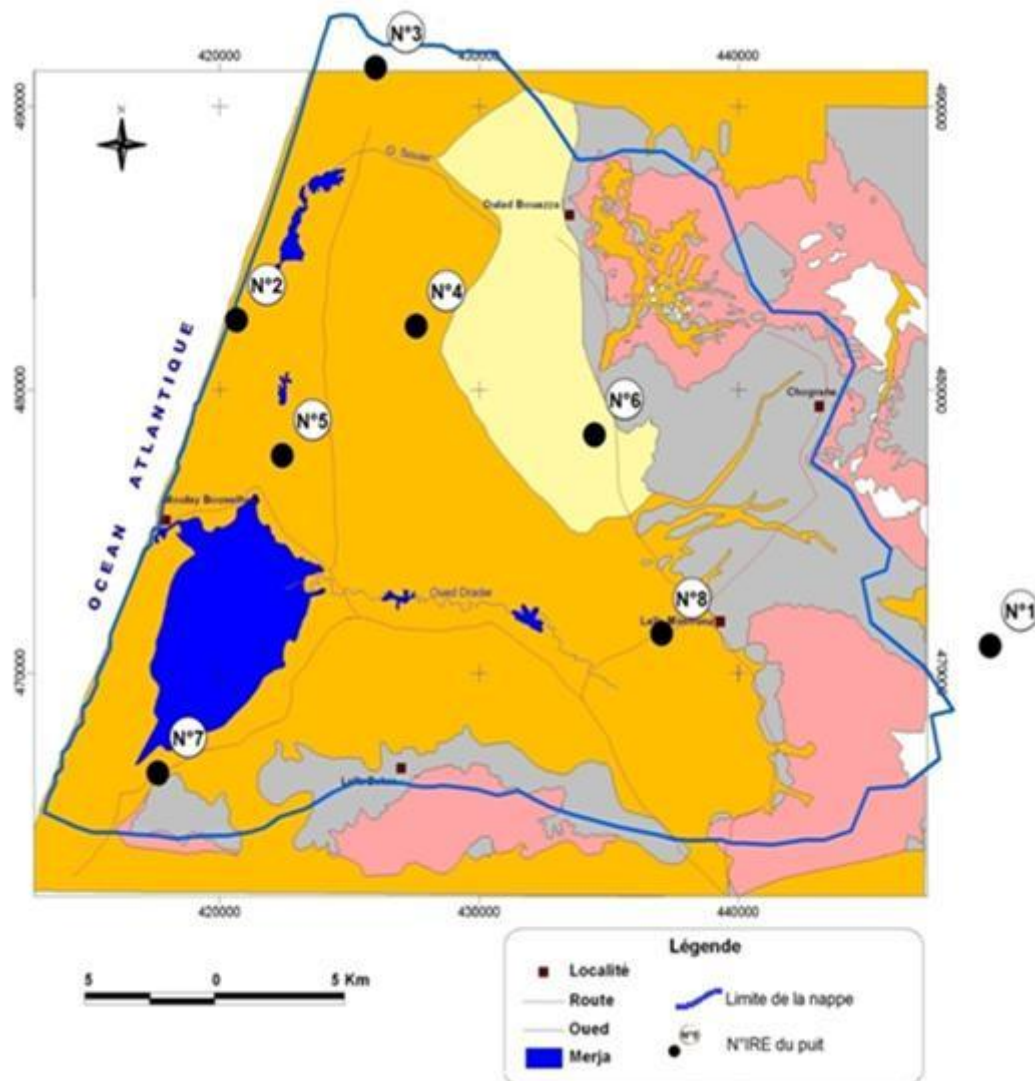


Fig.IV.1 : Situation des échantillons (ABHL, 2012)

II. Fiabilité des mesures

La fiabilité des analyses chimiques est approchée par le calcul de la balance ionique (Tab.IV.1). La détermination de la balance ionique est basée sur les analyses des éléments majeurs (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-}). En principe, la somme des cations dans l'échantillon d'eau doit être égale à la somme des anions sur la base des ions équivalents. Cependant, il y a souvent une petite différence entre les deux sommes qui serait due à l'erreur survenue lors des analyses chimiques des éléments majeurs. Cette différence est approchée par la notion de la balance ionique.

$$\text{BI}\% = \left| \frac{\sum \text{cations} - \sum \text{Anions}}{\sum \text{cations} + \sum \text{Anions}} \right| \times 100$$

- BI% est < à 5% : l'analyse est très bonne
- 5 < BI% < 10% : l'analyse est utiliser avec précaution
- BI% > 10% : l'analyse est rejeter et à refaire

Tab.IV. 1 : Analyses des échantillons

		Cations				
Echantillon	Ca[meq/L]	Mg[meq/L]	Na[meq/L]	K[meq/L]	Mn[meq/L]	NH ₄ [meq/L]
N°1	0,77844	0,31516	5,0457	0,02123	0,00175	0,00033
N°2	3,518	0,77926	0,9178	0,00665	0,00175	0,00105
N°3	5,7385	0,88871	1,853	0,01765	0,00175	0,00033
N°4	7,2854	0,52006	1,1266	0,00997	0,00175	0,00033
N°5	7,8842	0,84756	1,4789	0,00895	0,00175	0,00128
N°6	0,67864	0,31928	0,59157	0,0289	0,00175	0,00033
N°7	5,1397	0,38922	1,6312	0,02353	0,00175	0,00083
N°8	6,1876	2,3534	5,6547	0,01662	0,00175	0,00033
		Anions				
Echantillon	H ₃ O[meq/L]	HCO ₃ [meq/L]	Cl[meq/L]	SO ₄ [meq/L]	NO ₃ [meq/L]	NO ₂ [meq/L]
N°1	0,00017	2,1797	4,231	0,22278	0,18547	0,00009
N°2	0,00006	2,7369	1,5993	0,17656	0,81768	0,00011
N°3	0,00006	3,1467	2,4286	1,2826	1,5144	0,00024
N°4	0,00006	2,5075	2,3806	1,8531	2,5643	0,00033
N°5	0,00007	3,1303	2,8488	1,3554	2,8385	0,0018
N°6	0,0003	0,6195	0,75029	0,16657	0,03596	0,00024
N°7	0,00005	2,7533	2,3186	0,67668	1,9031	0,00009
N°8	0,00009	4,2611	8,885	0,87448	0,76284	0,00028

Selon le calcul des balances ioniques respectives, tous les échantillons ont présenté des balances inférieures ou égales à 5% ce qui montre que ces analyses peuvent être utilisées dans l'étude hydrochimique (Tab.IV.2).

Tab.IV.2 : résultat de la fiabilité des mesures

Echantillon	Balance-ionique	Résultats
N°1	5%	l'analyse est très bonne
N°2	1%	l'analyse est très bonne
N°3	1%	l'analyse est très bonne
N°4	2%	l'analyse est très bonne
N°5	0%	l'analyse est très bonne
N°6	2%	l'analyse est très bonne
N°7	3%	l'analyse est très bonne
N°8	2%	l'analyse est très bonne

III. Détermination des facies chimique

III.1.Diagramme de Piper

Le diagramme de Piper (Fig.IV.2) permet de déterminer les facies chimiques des échantillons ; il est constituée de deux petit triangles et d'un grand losange .on porte les principaux anions et sur le seconde en porte les principaux cations, puis on trace l'intersection de ces deux points sur le diagramme losangique, chaque partie de ce diagramme représente des facies différents.

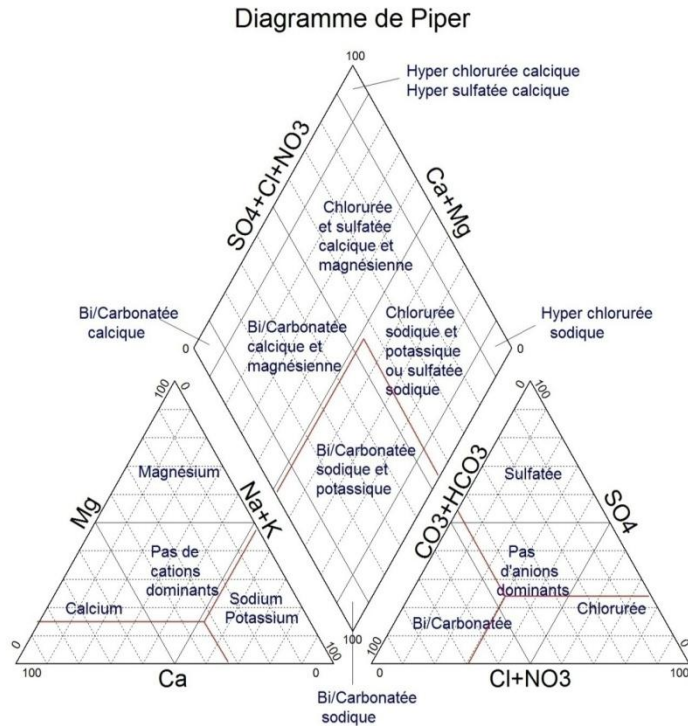


Fig.IV.2 : Diagramme de Piper

La projection des échantillons d'eau étudiés sur ce diagramme (Fig.IV.3), a permis d'obtenir différents faciès qui sont donnés par le tableau (IV.3).

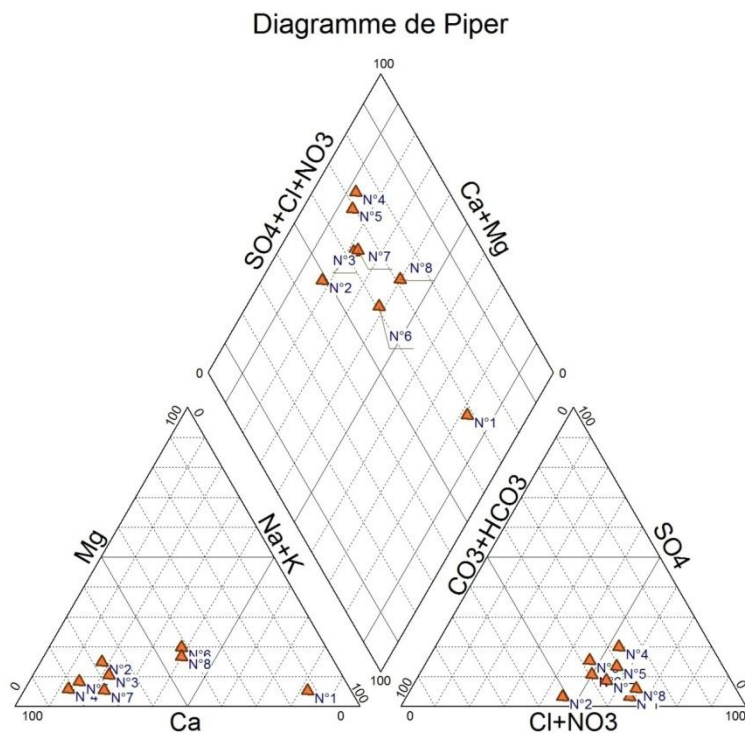


Fig.IV.3 : Projection des échantillons sur le diagramme de Piper

Tab.IV.3 : Les différents faciès-s obtenus par le diagramme de Piper

Echantillon	FACIES CHIMIQUES
N°1	chlorurée sodique-potassique
N°2	Bicarbonate-calcique-magnésienne
N°3	Sulfaté-chlorurée calcique-magnésien
N°4	Sulfaté-chlorurée calcique-magnésien
N°5	Sulfaté-chlorurée calcique-magnésien
N°6	Sulfaté-chlorurée calcique-magnésien
N°7	Sulfaté-chlorurée calcique-magnésien
N°8	Sulfaté-chlorurée calcique-magnésien

III.2.Diagramme de Schoeller-Berkaloff

Ce diagramme a pour but de déterminer la parenté chimique des échantillons d'eau, il est composé de 7 échelles logarithmiques verticales équidistantes.

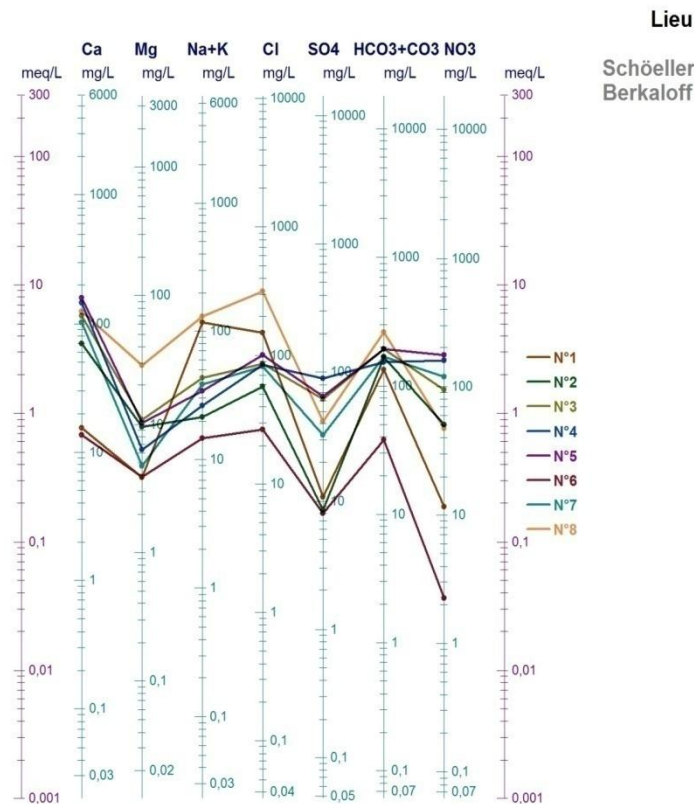


Fig.IV.4 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff

Les différentes parentés chimiques obtenues sont données par le tableau (IV.4) ci-dessous:

Tab.IV. 3 : Détermination des facies chimique

Echantillon	FACIES CHIMIQUES
N°1	chlorurée sodique-potassique
N°2	Bicarbonate-calcique-magnésienne
N°3	Sulfaté-chlorurée calcique-magnésien
N°4	Sulfaté-chlorurée calcique-magnésien
N°5	Sulfaté-chlorurée calcique-magnésien
N°6	Sulfaté-chlorurée calcique-magnésien
N°7	Sulfaté-chlorurée calcique-magnésien
N°8	Sulfaté-chlorurée calcique-magnésien

IV. Qualité des eaux

IV.1. Qualité des eaux d'irrigation

Pour tester l'aptitude des échantillons étudiés vis-à-vis à l'irrigation, on a utilisé la classification de L'USSLS (United States Salinity Laboratory Staff. Cette classification distingue différents types d'eaux en tenant compte de la conductivité électrique ($\mu\text{s/cm}$) à 25 °C et le rapport d'adsorption du sodium « S.A.R » :

$$\text{S. A. R} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{(\text{Ca}^{2+}) + (\text{Mg}^{2+})}{2}}}$$

Tab.IV. 4 : tableau des mesures de conductivité et S.A.R

Echantillon	Ca[meq/L]	Mg[meq/L]	Na[meq/L]	Conductivité	S.A.R
N°1	0,77844	0,31516	5,0457	654	6,8234996
N°2	3,518	0,77926	0,9178	490	0,6261339
N°3	5,7385	0,88871	1,853	755	1,0179467
N°4	7,2854	0,52006	1,1266	825	0,5702765
N°5	7,8842	0,84756	1,4789	960	0,7077875
N°6	0,67864	0,31928	0,59157	165	0,8374777
N°7	5,1397	0,38922	1,6312	710	0,9810746
N°8	6,1876	2,3534	5,6547	1400	2,7363409

D'après les valeurs obtenues de S.A.R et de la conductivité, les échantillons d'eau sont rangés en quatre catégories qui indiquent le risque d'alcalinisation et de salinisation du sol.

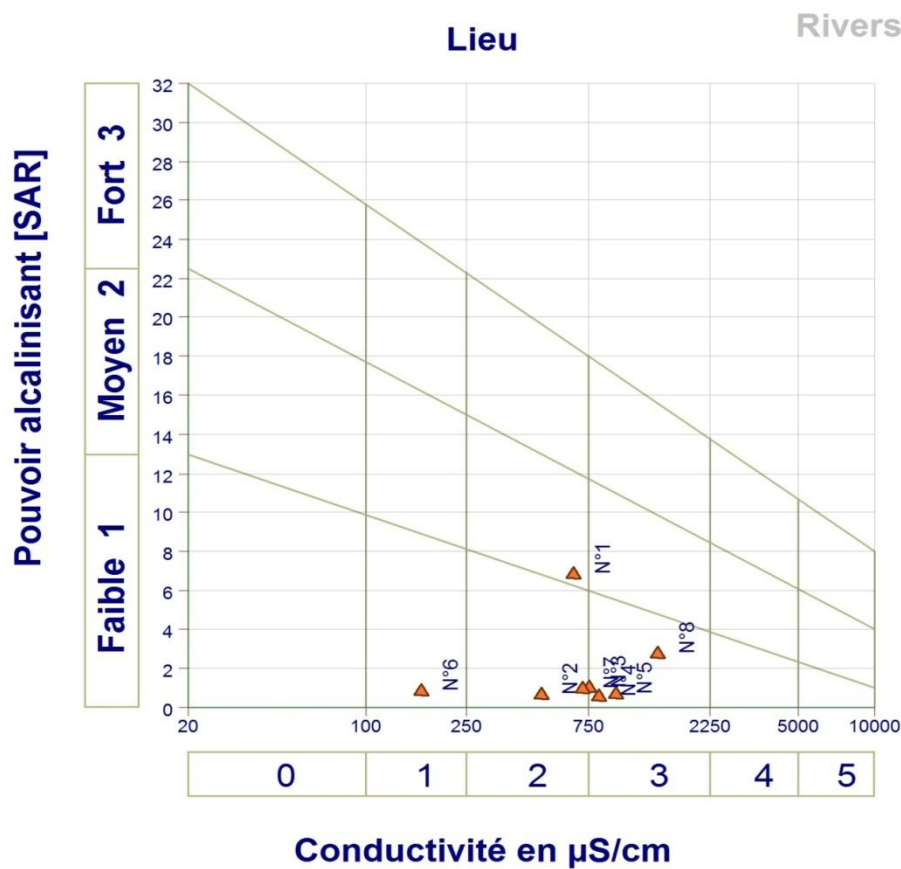


Fig.IV.5 : Diagramme de Riverside

- L'échantillon N° 8, 5, 4 et 3 (Fig.IV.5) contient des valeurs élevées de la conductivité qui cause un fort risque de salinisation des sols, Ces eaux sont mauvaises pour l'agriculture.
- L'échantillon N° 2, 1 et 7 (Fig.IV.5) indique que le risque d'alcalinisation est faible alors que celui de salinisation est moyen, ces eaux sont bonnes pour l'irrigation.
- L'échantillon N° 6 (Fig.IV.5) indique une conductivité faible et une alcalinisation faible, ces eaux sont très bonnes pour l'irrigation.

IV.2. Qualité des eaux de consommation

La dureté des eaux est l'une des méthodes pour l'estimation de la potabilité des eaux destinées à la consommation humaine. Cette dureté est déterminée par le calcul du titre hydrotimétrique :

$$\text{Th} = 5 \times (\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})$$

Th : titre hydrotimétrique exprime en degré français (°F)

Ca et Mg sont exprimés en (meq/l)

Tab.IV.5 : Classification des eaux selon la duresté

Duresté (Th)	Type d'eau
Th de 3 à 15 °F	Douce
Th de 15 à 30°F	Dure
Th > 30°F	Très dure

Tab.IV. 6 : tableau de la qualité des échantillons

Echantillon	TH (°F)	Type d'eau
N°1	8,48	Douce
N°2	21,5	Dure
N°3	33,2	Très dure
N°4	39	Très dure
N°5	43,7	Très dure
N°6	5	Douce
N°7	27,7	Dure
N°8	42,7	Très dure

V. Conclusion

Les analyses chimiques des échantillons des puits étudiés a permis de déterminer les différents faciès chimiques des eaux de la nappe Dradère-Souière. On a remarqué une dominance des eaux sulfaté (chlorurée) – calciques (magnésiennes). Ceci serait dû à la nature lithologique de la région. Ces mesures ont permis aussi de déterminer l'aptitude des eaux étudiées à l'irrigation qui reste moyenne.

CONCLUSION GENERALE

L'étude géologique de l'aquifère Souière-Dradère a montré que cet aquifère est formé de deux unités stratigraphiques. Le Quaternaire récent est constitué essentiellement de sables dunaires et de grès à l'Ouest et par des conglomérats à l'Est du bassin. Les deux unités sont séparées par une couche conductrice sablo-argileuse, caractérisée par une variabilité d'épaisseur qui joue un rôle d'écran semi-perméable entre les deux nappes. Les eaux souterraines de la nappe Dradère-Souière jouent un rôle capital dans le développement socio-économique de la région de Moulay Bousselham et pour l'alimentation en eau potable et industrielle de la région.

La combinaison entre les données thermométriques et pluviométriques a révélé que la nappe Dradère-Souière est globalement sous un climat semi-aride.

L'étude hydrogéologique nous a permis de localiser les zones de stockage et de décharge de l'eau et aussi de savoir le sens d'écoulement dans la nappe. Par ailleurs, les variations piézométriques indiquent un rôle important sur le changement de la quantité d'eau qui existe sur la nappe.

L'étude hydro-chimique nous a permis de déterminer les faciès chimiques dominés par les faciès évaporitiques et aussi la qualité de ces eaux pour l'irrigation qui est moyenne.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ABHS, 2003 : Note sur les ressources en eau du bassin du Sebou. 2002-2003.

BENAABIDATE L., 2002 : Caractérisation du bassin versant de Sebou : Hydrogéologique, qualité des eaux et géochimie des eaux thermales. Thèse es-Sc. FST Fès, 250 p.

BONNET M., 1982 : Méthodologie des modèles de simulation en hydrogéologie. Application aux nappes de R'Mel et de Dradère-Souière. BRGM.

DGH., 1977 : Ressources en eau du Maroc. Tome 3 : Domaines atlasique et sud-atlasique.

Rapport Définitif Dradère_Ver_24_Nov_2006

Mission 1 : évaluation des ressources en eau souterraine 2012

Rapport de la nappe du Dradère-Souière (fournie par personnel ABHS)

Bulletin d'analyses de la qualité des eaux (LPEE Casablanca)