



**Licence Sciences et Techniques : Géorressources et Environnement**

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**

Pour l'obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques

***ETUDE DE LA NAPPE DE Dradère – Soueïre DANS LE BUT  
DE L'ELABORATION DE SA CARTE PIEZOMETRIQUE***

**Présenté par:**

**AZZAOUI BADR  
AISSAOUI TLEMCANI WIDAD**

**Encadré par:**

**Pr. CHAROUD MOHAMMED, FST-Fès  
Chef de la DEPRE. MISANE LAILA, ABHS- Fès  
ING. AMASRI MERIEM, ABHS- Fès**

**Soutenu Le 09 Juin 2018, devant le jury composé de:**

**Pr. CHAROUD MOHAMMED, FST-Fès  
Pr. HINAJE SAID, FST-Fès  
Pr. EL AZZAB IDRIS, FST-Fès  
Chef de la DEPRE. MISANE LAILA, ABHS- Fès  
ING. AMASRI MERIEM, ABHS- Fès**

**Stage effectué à : Agence du bassin hydraulique de Sebou**

**ABHS, Fès**





Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques

**Nom et prénom: AZZAOUI BADR  
AISSAOUI TLEMCANI WIDAD**

**Année Universitaire : 2017/2018**

***Titre : ETUDE DE LA NAPPE DE Dradère – Soueïre DANS LE BUT DE  
L'ELABORATION DE SA CARTE PIEZOMETRIQUE***

## **Résumé**

Notre stage a eu lieu dans l'agence du bassin hydraulique de Sebou (ABHS). La thématique a pour objectif la mise à jour de la piézométrie de nappe du Dradère-Souïère ainsi que la caractérisation de la qualité et de l'hydrochimie des eaux souterraines. Notre travail sera composé d'une présentation succincte du lieu de stage, suivie par un aperçu géologique sur la zone étudié, l'hydrologie, la climatologie et l'hydrochimie.

Pour bien comprendre les changements et les grands traits du fonctionnement hydrodynamique de la nappe durant les dernières décennies, on doit nécessairement faire une étude de l'évolution spatio-temporelle de l'état de la piézométrie.

Et enfin pour déterminer les facies chimique, leur parenté chimique ainsi que la qualité des eaux on a fait l'étude hydrochimique des eaux souterraines de la nappe du Dradère-Souïère.

**Mots clés :** Bassin hydraulique, Evapotranspiration, Piézométrie.

# *Dédicace*



*Nous dédions ce travail :*

*A nos parents*

*Aucun mot ne saurait témoigner de l'étendue  
des sentiments qu'on éprouve à leur égard  
On souhaite que Dieu leur accorde une longue vie*

*Aux familles Azzaoui et Aissaoui Tlemçani ,*

*A tous nos amis*

*A nos enseignants le long de notre vie scolaire et universitaire*



## *Remerciements*

Au terme de ce sujet de fin d'études réalisé à la Faculté des Sciences et Techniques de Fès, la première personne que nous tenons à remercier est notre encadrant **Pr. Mohammed Charoud** professeur à la faculté des Science et Technique de Fès, pour l'orientation, la confiance, la patience qui ont constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port. Qu'il trouve dans ce travail un hommage vivant à sa haute personnalité. Nous remercions également **Melle Laila Misane** chef de la division évaluation et planification des ressources en eau (DEPRE) et **Melle Meriem Amasri** ingénieure de la même division au sein de l'Agence du Bassin Hydraulique de Sebou, qui, grâce à leur disponibilité, aide et rigoureux conseils, nous avons pu mener à bien ce projet.

Nos vifs remerciements vont à **Pr .Hinaje said** et **Pr.El Azzab idriss** pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions. Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à tous les professeurs qui nous ont enseigné et qui par leurs compétences nous ont soutenu dans la poursuite de nos études.

Nous remercions également notre famille qui nous a soutenu tout au long de mon cursus, et à tous ceux qui nous aidait, de près ou de loin, à accomplir ce projet.

# *Sommaire*

## **CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE**

|  |   |
|--|---|
| <b>I-</b> Présentation de l'agence du bassin hydraulique de Sebou..... | 1 |
| <b>II-</b> Présentation de la zone d'étude .....                       | 3 |
| <b>1-</b> Bassin versant de Sebou.....                                 | 3 |
| <b>2-</b> La nappe de Dradère-Souière .....                            | 4 |
| <b>III-</b> Situation géographique.....                                | 4 |
| <b>IV-</b> Situation morphologique et topographie .....                | 5 |
| <b>V-</b> Cadre géologique .....                                       | 6 |
| <b>1-</b> Cadre général.....   | 6 |
| <b>2-</b> Cadre structural.....  | 8 |
| <b>3-</b> Cadre morfo-structural.....                                  | 8 |

## **CHAPITRE II : CLIMATOLOGIE**

|   |    |
|---|----|
| <b>I-</b> Introduction.....                         | 11 |
| <b>II-</b> Précipitation .....                      | 11 |
| <b>1-</b> Précipitations annuelles .....            | 11 |
| <b>2-</b> Précipitations mensuelles .....           | 12 |
| <b>III-</b> Température.....                        | 13 |
| <b>1-</b> Température moyenne annuelle .....        | 13 |
| <b>2-</b> Températures moyennes mensuelles.....     | 13 |
| <b>3-</b> Degré d'aridité.....                      | 13 |
| <b>4-</b> Diagramme Ombrothermique.....             | 14 |
| <b>5-</b> Quotient pluvio-thermique d'Emberger..... | 15 |
| <b>IV-</b> Evapotranspiration.....                  | 16 |

|   |    |
|---|----|
| 1-Evapotranspiration Potentiel (ETP)..... | 16 |
| 2-Evapotranspiration réelle (ETR).....    | 17 |
| V-Conclusion .....                        | 18 |

### **Chapitre III : Hydrologie, hydrochimie, hydrogéologie de la nappe Dradère – Soueïre**

|  |    |
|--|----|
| I-Contexte hydrologique .....                            | 19 |
| II-Contexte Hydrogéologique.....                         | 20 |
| 1- Lithologie de la nappe.....                           | 20 |
| 2- Profondeur de la nappe .....                          | 21 |
| 3- Paramètres hydrodynamiques de la nappe.....           | 21 |
| 4- Epaisseur et réserves totales en eau de la nappe..... | 21 |
| 5- Ressources en eau souterraine.....                    | 22 |
| 6- Bilan de la nappe .....                               | 24 |
| 7-Conclusion.....  | 24 |
| III-Contexte Hydrochimique.....                          | 25 |
| 1-Fiabilité des mesures.....                             | 25 |
| 2-Détermination des facies chimique.....                 | 26 |
| 3-Qualité des eaux.....                                  | 29 |
| IV-Conclusion .....                                      | 30 |

### **CHAPITE IV : Piézométrie**

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| I-Introduction.....             | 31 |
| II-Historique de la nappe ..... | 33 |

|                                 |           |
|---------------------------------|-----------|
| <b>CONCLUSION GENERALE.....</b> | <b>35</b> |
|---------------------------------|-----------|

## *Liste des figures :*

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure 1 :</b> Organigramme de l'Agence du Bassin hydraulique du Sebou.....   | 2  |
| <b>Figure 2:</b> Carte de situation du plateau de la nappe de Dradère-Souière.....   | 3  |
| <b>Figure 3:</b> Localisation du Bassin Dradère – Souière.....   | 5  |
| <b>Figure 4 :</b> Géologie de la zone d'étude (réalisé a base de l'extrait de la carte géologique du Gharb &Prérief occidental 1/200000 et de la carte structurale de la chaine Rifaine 1/50000..... | 8  |
| <b>Figure 5:</b> Carte des structures profondeurs à partir des résultats de la cartographie sismique.....  | 8  |
| <b>Figure 6 :</b> position du passage de oued Soueïre sur un plan de faille au niveau du profile sismique 93 GH 65.....  | 9  |
| <b>Figure 7 :</b> position du passage de oued Dradère sur un plan de faille au niveau du profile sismique 93 GH 64.....  | 10 |
| <b>Figure 8 :</b> Carte des isohyètes du bassin versant Dradere-souiere.....   | 11 |
| <b>Figure 9 :</b> Précipitations moyennes annuelles.....   | 12 |
| <b>Figure 10:</b> Précipitations moyennes mensuelles.....  | 12 |
| <b>Figure11 :</b> Diagramme ombrothermique à la station Lalla Mimouna.....   | 14 |
| <b>Figure 12:</b> Diagramme d'Emberger.....  | 16 |
| <b>Figure 13:</b> Carte hydrographique du bassin de Sebou.....   | 19 |
| <b>Figure 14:</b> carte des nappes du bassin de sebou.....   | 20 |
| <b>Figure 15:</b> Sectorisation des aquifères du bassin Dradère Soueïre.....   | 23 |
| <b>Figure 16 :</b> Diagramme de Piper.....   | 26 |
| <b>Figure 17 :</b> Projection des échantillons sur le diagramme de Piper.....  | 27 |
| <b>Figure 18:</b> Diagramme de Schoeller-Berkaloff.....  | 28 |
| <b>Figure 19:</b> La carte piézométrique de la nappe Dradère-Souière.....  | 32 |
| <b>Figure 20:</b> Evolution piézométrique de la zone côtière nord de la nappe de Dradère-Souière.....  | 33 |
| <b>Figure 21:</b> Evolution piézométrique du secteur centre-est de la nappe de Dradère-Souière.....  | 33 |
| <b>Figure 22 :</b> Evolution piézométrique du secteur centre-ouest de la nappe de Dradère-Souière.....   | 34 |
| <b>Figure 23:</b> Evolution piézométrique du secteur central de la nappe de Dradère-Souière.....   | 34 |

## ***Liste des tableaux :***

|  |    |
|--|----|
| <b>Tableau 1 :</b> Précipitations moyennes mensuelles au cours de la période 1995-2017 .....             | 12 |
| <b>Tableau 2 :</b> Températures moyennes mensuelles de la période 1995-2017.....                         | 13 |
| <b>Tableau 3 :</b> Données climatologiques (P et T) de Lalla Mimouna (Période 1995-2017).....            | 14 |
| <b>Tableau 4 :</b> Données de la station climatologique de Lalla Mimouna (Période 1995-2017) .....       | 15 |
| <b>Tableau 5 :</b> Données de la station climatologique de Lalla Mimouna (période de 1995-2017).....     | 17 |
| <b>Tableau 6 :</b> Données de la station climatologique de Lalla Mimouna de la période (1995-2017) ..... | 18 |
| <b>Tableau 7 :</b> Bilan des ressources en eau de la nappe de Dradère-Souière.....                       | 24 |
| <b>Tableau 8 :</b> Analyses des échantillons.....  | 25 |
| <b>Tableau 9 :</b> résultat de la fiabilité des mesures.....   | 26 |
| <b>Tableau 10 :</b> Les différents faciès-s obtenus par le diagramme de Piper.....                       | 27 |
| <b>Tableau 11 :</b> Détermination des faciès chimique.....   | 28 |
| <b>Tableau 12 :</b> tableau des mesures de conductivité et S.A.R.....                                    | 29 |
| <b>Tableau 13 :</b> tableau de la qualité des échantillons .....   | 30 |
| <b>Tableau 14 :</b> Coordonnées des puits et leur niveau piézométrique.....                              | 32 |



# CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE

## I- Présentation de l'agence du bassin hydraulique de Sebou

L'agence du bassin hydraulique de Sebou est un établissement public, doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière. Elle gère les ressources en eau d'un bassin hydraulique en associant l'ensemble des acteurs de l'eau en veillant à la protection du domaine public hydraulique. L'objectif final est le développement durable. L'agence est administrée par un conseil présidé par l'autorité gouvernementale chargée des ressources en eau.

### L'agence du bassin hydraulique de Sebou :

#### Organise le développement des Ressources en Eau par :

- L'évaluation des ressources en eau
- La planification de l'aménagement des ressources en eau
- Le suivi qualitatif et quantitatif des ressources en eau
- La gestion des ressources en eau
- Le contrôle des ressources en eau
- Le recouvrement des redevances financières

#### Veille à la sécurité de la ressource et du patrimoine à travers :

- La sauvegarde du domaine public hydraulique
- La prévention et gestion des situations exceptionnelles
- la maîtrise des ouvrages d'art de lutte contre les inondations
- l'entretien maintenance et exploitation des ouvrages hydrauliques.

#### Elle a pour principales missions :

- L'évaluation, la planification et l'aménagement des ressources en eau
- Le suivi qualitatif et quantitatif des ressources en eau ;
- Le recouvrement des redevances financières
- La gestion et la sauvegarde du Domaine Public Hydraulique ;
- L'entretien, la maintenance et l'exploitation des ouvrages hydrauliques
- L'assistance technique et la réalisation de prestations aux usagers
- Le développement du partenariat

L'agence est administrée par un Conseil d'Administration présidé par l'autorité gouvernementale chargée des ressources en eau et dans lequel sont représentés tous les acteurs intervenant dans le domaine de l'eau au niveau du bassin hydraulique.

Assure un service de l'eau dans les conditions de qualité et de proximité requises par l'utilisateur notamment à travers :

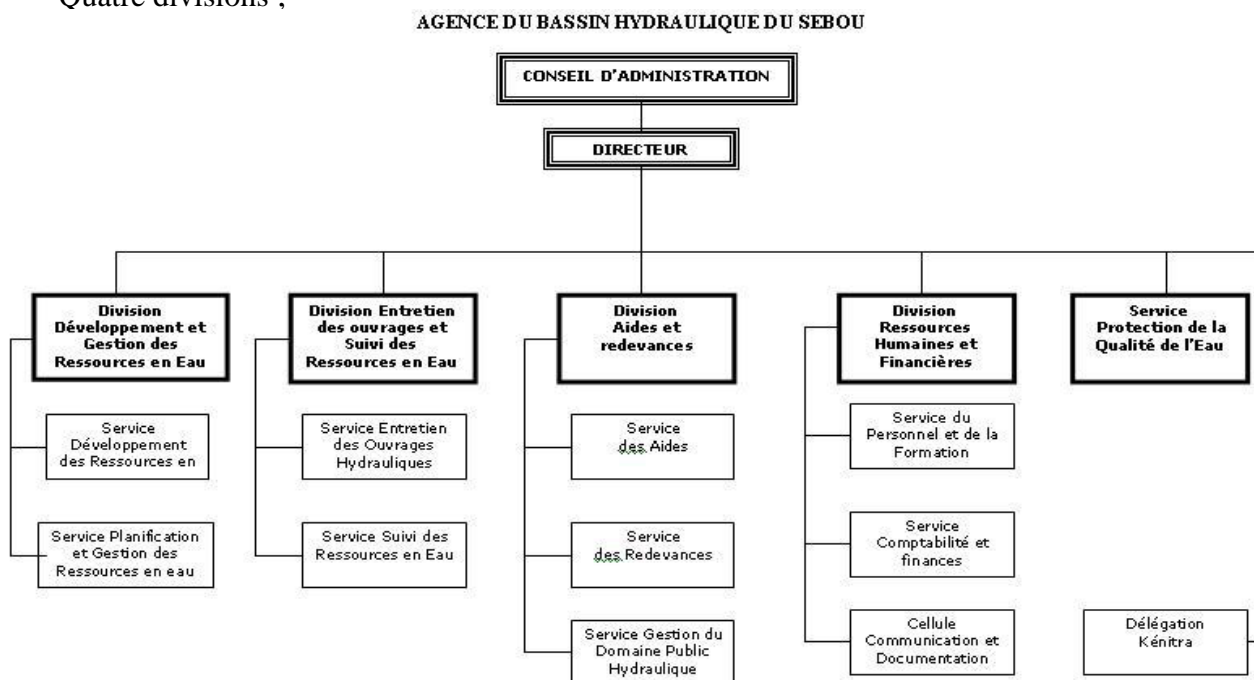
- La recherche et le dégagement de nouvelles ressources.
- La garantie de l'allocation des ressources en eau.
- La prévention contre la pénurie et l'atténuation des effets de la sécheresse.
- Le contrôle de la sécurité des ouvrages hydrauliques et leur maintenance.
- L'assistance technique et l'aide financière aux usagers.
- La participation à la protection de la population et des biens contre les inondations.
- L'information continue des usagers et des acteurs de l'eau.

### ✚ Organisation :

L'organigramme de l'Agence du Bassin hydraulique du Sebou se compose de:

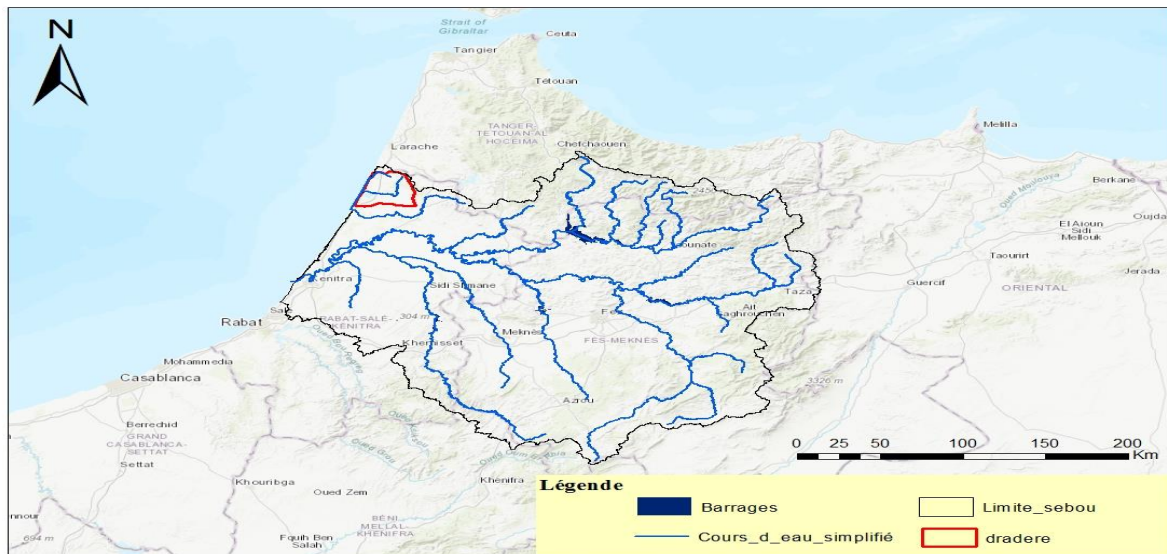
-Secrétariat Général ;

-Quatre divisions ;



**Figure1** : Organigramme de l'Agence du Bassin hydraulique du Sebou

## II- Presentation de la zone d'étude



**Figure 2:** Carte de situation du plateau de la nappe de Dradère-Souière

### 1- Bassin versant de Sebou

La zone du bassin hydraulique du Sebou couvre le bassin versant de l'oued Sebou, soit une superficie d'environ 40 000 km<sup>2</sup>. Le bassin est délimité par le Rif au nord, le couloir Fès-Taza à l'est, le Moyen-Atlas et la Meseta au sud et l'océan Atlantique à l'ouest.

La zone du bassin hydrographique du Sebou couvre quasi-totalement les régions administratives du Gharb-Chrarda-Beni Hssen, et de Fès-Boulemane. Il couvre aussi partiellement les régions de Meknès-Tafilalet et de Taza-Al Hoceima-Taouate.

Le Bassin du Sebou est le deuxième bassin le plus peuplé du royaume, il compte 6,2 millions d'habitants, soit 21,3% du total de la population marocaine.

#### ❖ Ressources en eaux:

- les eaux de surface.
- les eaux souterraines ;

Le bassin du Sebou fait partie des bassins les plus riches en eau souterraine du Maroc. Ses ressources mobilisables (1020 Mm<sup>3</sup>) représentent environ 25% du potentiel mobilisable du Maroc.

Les ressources en eau souterraines du bassin du Sebou sont contenues dans plusieurs nappes, dont les plus importantes sont :

- la nappe de la Maâmora
- la nappe du Gharb
- la nappe de Bou Agba
- La nappe de Dradère-Souière
- les nappes du bassin du Fès-Meknès (phréatique et profonde)
- les nappes du couloir de Fès-Taza (phréatique et profonde)
- les nappes du Causse du Moyen Atlas (basaltes quaternaires et calcaires et dolomies du Lias)

## 2-La nappe de Dradère-Souière

La nappe de Dradère-Souière se distingue par un contexte spécifique qu'il convient de considérer tout au long du processus de la mise en place du contrat de nappe.

La nappe est située en charnière entre deux bassins hydrographiques : le bassin du Sebou et le bassin du Loukous ;

La nappe est située en charnière entre deux zones d'actions d'ABH : Agence de Bassin Hydraulique du Sebou (ABHS) et Agence du Bassin Hydraulique du Loukous (ABHL).

- La nappe présente des limites hydrogéologiques relativement ouvertes (principalement de partage des eaux) avec une continuité avec la région du Rmel et continuité avec les limites septentrionales du Gharb.
- La nappe de Dradère-Souière comprend 8 communes rurales : Sud de Laouamra, Chouafaa, Ouest de Sidi Boubker El Haj, Lalla Mimouna, Nord de Beni Malek, Moulay Bouselhame, Bahhara OuladAyad et la partie Nord-Est de Sidi Mohamed Lahmar.

## III- Situation géographique

Le bassin de Dradère-Souière situé en bordure de l'océan Atlantique, et séparé du bassin de Sebou au Sud-est par les collines de Lalla Mimouna et au Sud par les collines de Lalla Zohra. Au nord-est il est séparé du bassin du Loukkos par les collines d'El Ferjane, Lalla Rhano et de Kourricha.

L'étendue du bassin est d'environ 600 km<sup>2</sup>, entre le bassin du Gharb-Maamora au Sud et le bassin de Loukkos au Nord. (Figure 2)

La bordure naturelle du bassin Dradère-Souïère est marquée au Sud par la colline de Lalla Zohra et au Sud-Est par la colline de Lalla Mimouna. Dans la partie nord-est ce sont les collines bordières de Kourricha, LallaRhano et El Ferjane qui le sépare du grand bassin hydrologique de Loukkos au Nord - Est.

#### IV- Situation morphologique et topographie

La morphologie générale du bassin Dradère-Souïère correspond à une cuvette avec une topographie irrégulière.

Les bordures du bassin Dradère-Souïère sont marquées par les collines qui le séparent du Loukkos et du Sebou ainsi que les dunes coutières qui l'isolent de l'Océan Atlantique. L'ensemble présente une ceinture naturelle du Dradère-Souïère avec un plongement du relief vers l'intérieur du bassin qui est marqué dans cette partie centrale par des dépressions peu accusées.

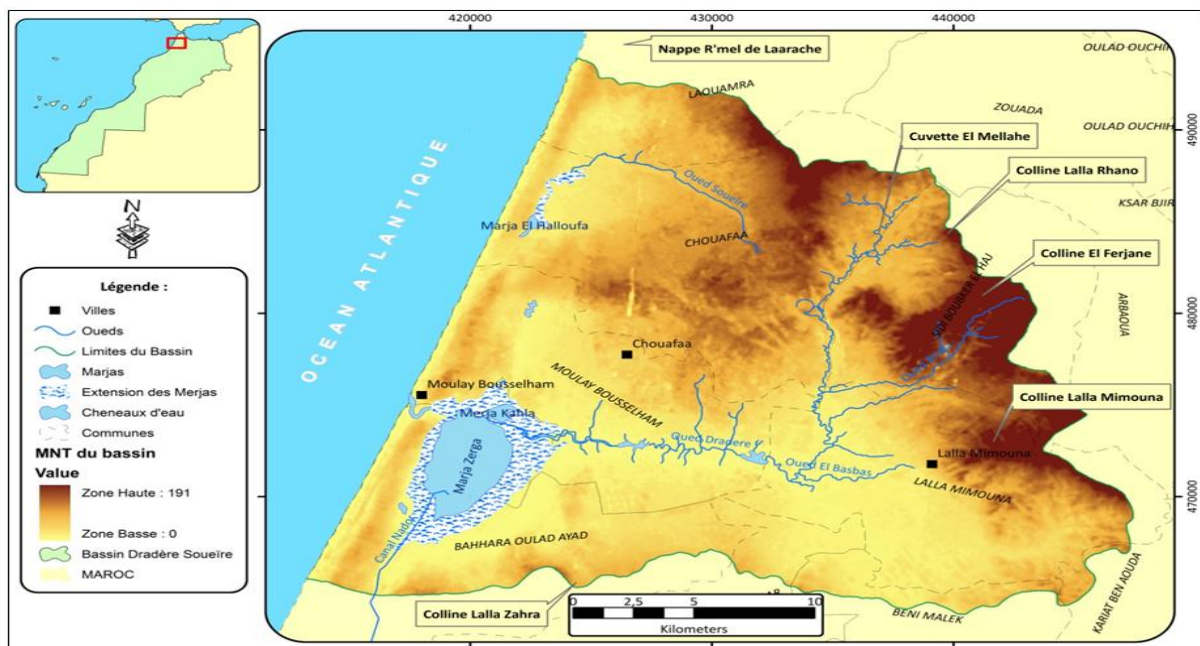


Figure 3: Localisation du Bassin Dradère - Souïère

## V- Cadre géologique

### 1- Cadre général

Le bassin Dradère-Souïère est un bassin subsidés qui a accumulé une grande quantité de sédiments charriés par les rivières du Sebou et Ourgha à partir du Rif et du Moyen Atlas (Benmohammadi, et al., 2007).

Le bassin a continué son affaissement durant le Mio-Pliocène (Le Coz, 1964), il est entièrement situé à l'intérieur du front Sud rifain (Chalouan, et al., 2004), cette position est reconnue par les données sismiques à quelques kilomètres au Nord de la ville de Kénitra (Litto, 2001).

Le bassin Dradère – Soueïre qui fait partie du domaine Mesétien Tabulaire (Benmohammadi, et al., 2007), présente une couverture méso-cénozoïque, pas trop épaisse et qui repose sur une base paléozoïque.

Dans le détail plusieurs parties composent le bassin Dradère-Souïère:

#### ❖ Partie sud-est :

Deux grandes structures rencontrées sont l'anticlinal de Lalla Mimouna, d'axe est-ouest bien marquée en surface, le pendage du flanc sud, est de 10° environ au niveau des marnes bleues du Miocène.

Vers le nord, le synclinal de Ferjane lui fait suite (Combe, 1963).

#### ❖ Partie est :

On note principalement la présence d'une flexion méridienne du Villafranchien dans cette zone (Benmohammadi, et al., 2007).

#### ❖ Partie nord :

La zone Nord du bassin est marquée par la remontée du Miocène (El Mellah) (**Error! Reference source not found.**), qui permet l'affleurement de la nappe pré-rifaine.

La zone d'El Mellah qui est formée par des cuvettes permet :

L'affleurement des marnes bleues du Miocène au centre ;

L'apparition d'une ligne de falaises, rouges formées par les conglomérats villafranchiens, à la bordure des cuvettes ;

L'affleurement du Trias diapir au fond des cuvettes qui a creusé les marnes miocènes (Chapond, 1955).

Au niveau de la zone nord du Bassin Dradère-Souière le Miocène semble aller en pente vers la mer, de telle sorte qu'il existe une cuvette où sont accumulés des sédiments (pliocène marin en particulier), dans toute la partie ouest du secteur.

#### ❖ **Partie sud :**

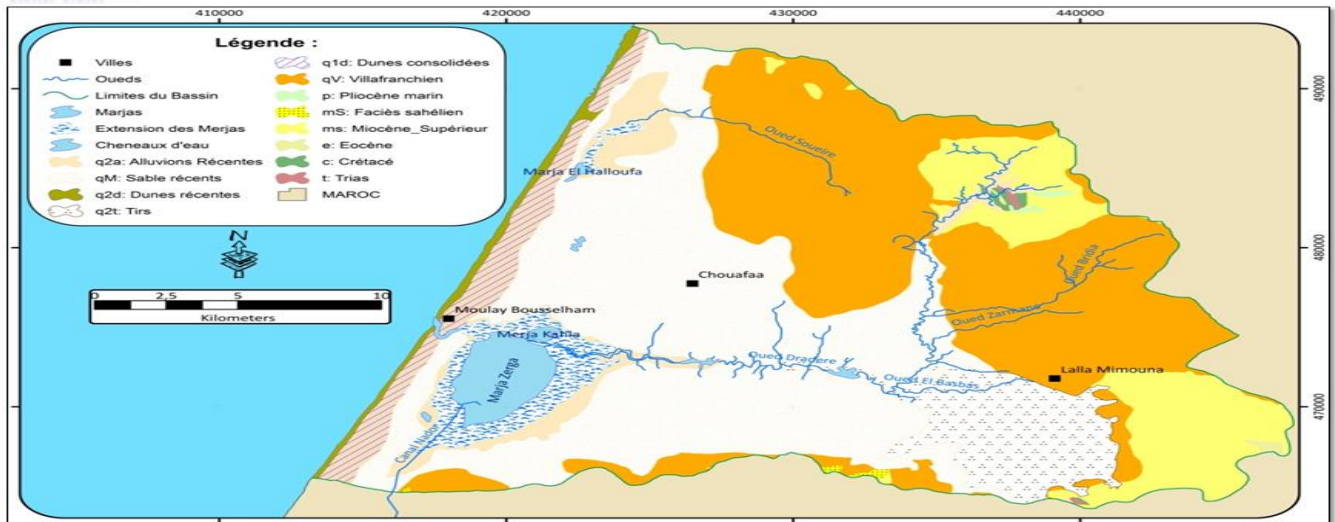
La présence des ondulations parallèles de direction NNE – SSW, ces ondulations qui s'étalent sur tout le bassin sont probablement une superposition des ondulations préexistantes de la nappe pré-rifaine (Chapond, 1955).

La structure faillée de Lalla – Zohra, qui a une direction E – W, différente des structures faillées présente au Nord, permet une remontée de la nappe pré-rifaine ainsi que du socle selon les analyses gravimétriques du Maroc (Benmohammadi, et al., 2007). Cette structure permet d'isoler la gouttière de Moulay Bousselhame du reste du bassin subsidient à travers le bassin de Lalla Mimouna (Benmohammadi, et al., 2007).

#### ❖ **Partie ouest :**

Dans la partie côtière du bassin le toit du Miocène se relève progressivement vers un sommet anticlinal parallèle à la côte actuel et immergé à faible distance (Chapond, 1955).

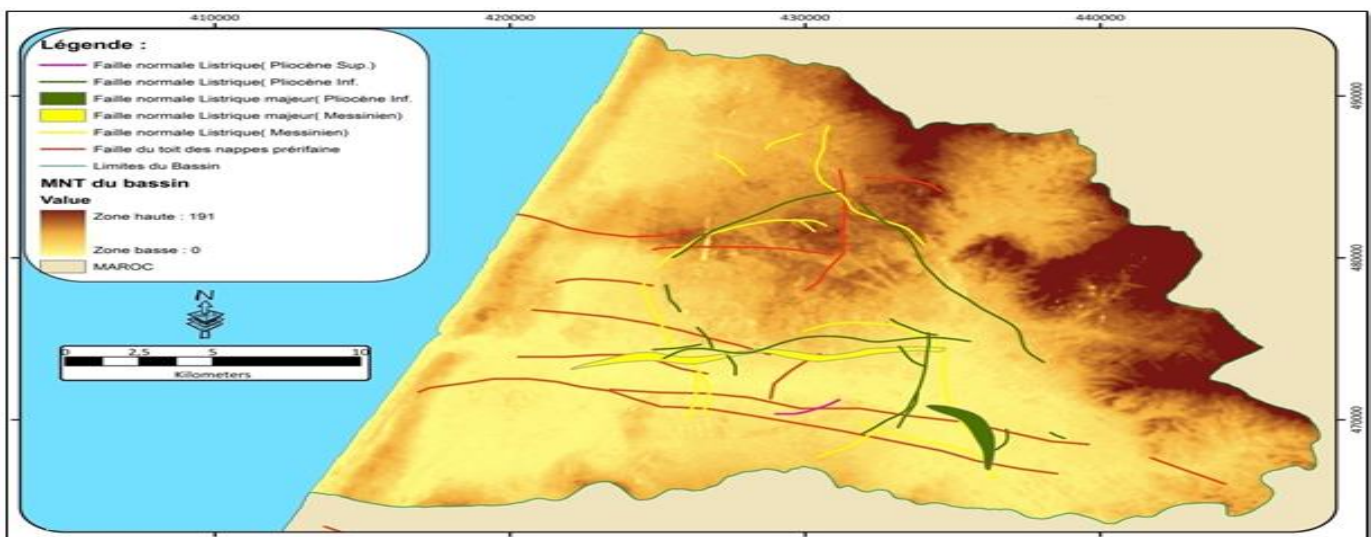
La partie ouest du bassin est marqué par des anticlinaux et synclinaux hérités de l'époque post-villafranchienne, ainsi que la mise en place des dunes consolidées du Quaternaire, présente tout au long de la plaine du Gharb (Le Sahel) (Chapond, 1955). Dans cette unité de dunes, quatre séries ont été identifiés à partir du Quaternaire moyen à l'heure actuelle (Michard, 1976). La série de dunes qui sont juxtaposées partout dans le Gharb sont intensifiées dans le secteur du bassin Dradère-Souière.



**Figure 4 :** Géologie de la zone d'étude (réalisé a base de l'extrait de la carte géologique du Gharb &Prérif occidental 1/200000 et de la carte structurale de la chaine Rifaine 1/50000

## 2-Cadre structural

Sur la base de l'ensemble de cartes géologiques élaborées au niveau du bassin Dradère Soueïre on a pu cartographier les différentes structures souvent extensives en profondeur du bassin.



**Figure 5:** Carte des structures profondes à partir des résultats de la cartographie sismique

## 3-Cadre morpho-structural

En analysant le réseau hydrographique, l'ensemble des oueds prennent naissance au niveau des collines bordières, Nord-Est du bassin Dradère-Souïère, marqué par un relief important.

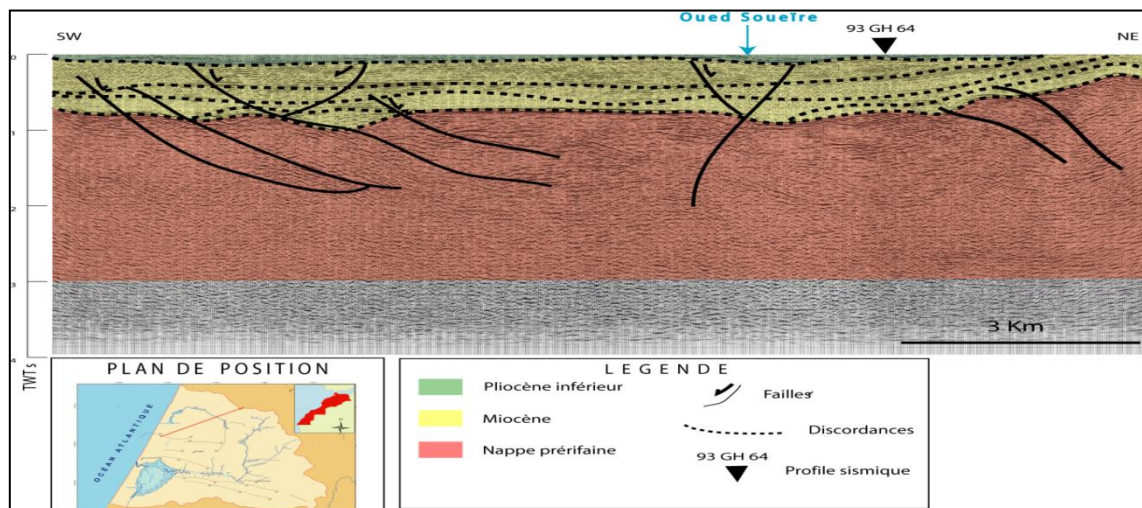


Le changement de direction des cours d'eau permet de constater que l'Oued Soueïre est constitué de trois segments.

### ❖ Oued Soueïre

Une superposition du tracé du cours d'eau à la carte des structures profondes, montre que l'Oued Soueïre au niveau des collines nord, suit un plan de faille SSE – NNO, ainsi le premier segment creuse au niveau d'une zone de faiblesse à regard vers l'ouest. Un changement de direction ESE – ONO constitue le segment secondaire qui serait en rapport avec un plan de faille de même direction, ceci est déterminé sur le profil sismique 93 GH 65 (Fig6).

La composante morphologique est la cause du changement de direction de Oued Soueïre, pour constituer le troisième segment du NE vers le SO parallèle à l'Atlantique, débouchant au niveau de Merja El Halloufa. En effet, le littoral du bassin est constitué des dunes plus ou moins consolidées, donnant des alignements de crêtes et de sillons parallèles au rivage. Cette bande littorale forme une barrière naturelle entre les dépressions du bassin et l'océan privant les eaux issues de l'amont d'avoir un exutoire direct vers la mer, c'est le cas du bassin du Gharb.



**Figure 6 :** position du passage de oued Soueïre sur un plan de faille au niveau du profile sismique 93 GH 65.

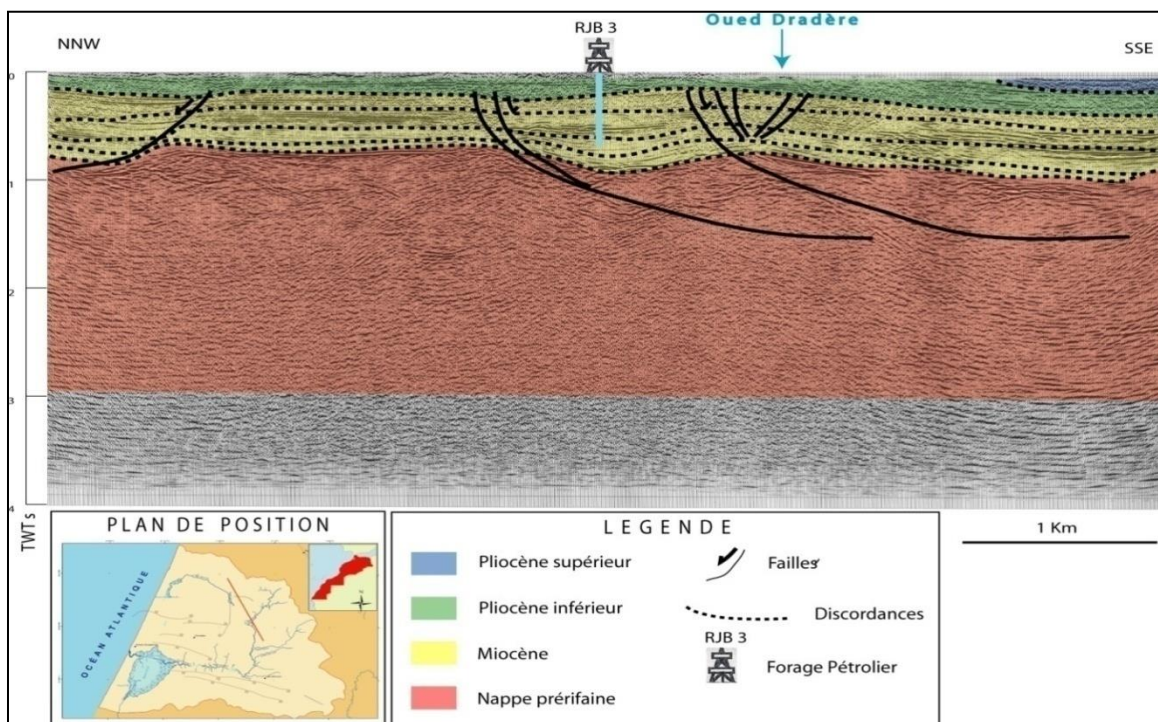
### ❖ Oued Dradère

Le contact à l'Est du Bassin avec le domaine externe rifain, est constitué d'une zone à fort relief (plus de 150 m). Cette zone haute est l'amont d'Oued Dradère, Oued Bridia, Oued Basbas et Oued Zamrane, qui prennent une direction ENE – OSO, les quatre fleuves constituent les premiers segments de la morphologie d'Oued Dradère.

L'analyse du profil 93 GH 64, callé au forage pétrolier RJB-3 (fig7), a permis d'identifier une faille associée à une structure compressive, faille d'OuladZiane et qui affecte la série néogène poste-nappe. Cette structure cause le changement de direction d'Oued Dradère vers le Nord – Sud. Avec cette nouvelle direction Oued Dradère collecte les eaux de Bridia, Basbas et Zamrane, un débit aussi important ne changera pas de direction seulement dans la présence d'une zone de faiblesse importante ou d'un obstacle naturel résistant.

La colline de Lalla Zohra, est constituée de deux structures différentes : Premièrement une faille de chevauchement au Sud de la colline, à regard nord, qui fait subir des forces latérales sur le bloc. Deuxièmement des failles normales extensives au Nord, résultats de la force exercée par la première structure, prolongent au niveau des dépressions de RhabetJbila. Ainsi, on aura une convexité de la colline (Flinch, 1993).

La complexité de la colline de Lalla Zohra, fait que l'oued Dradère, marque le changement d'une direction de 90° pour constituer le troisième segment de direction est – ouest parallèle à la colline de Lalla Zohra. Le déversement du cours d'eau est au niveau de la lagune de Moulay Bouselhame qui permet des échanges entre les eaux continentales et l'Océan Atlantique.



**Figure 7** : position du passage de oued Dradère sur un plan de faille au niveau du profile sismique 93 GH 64

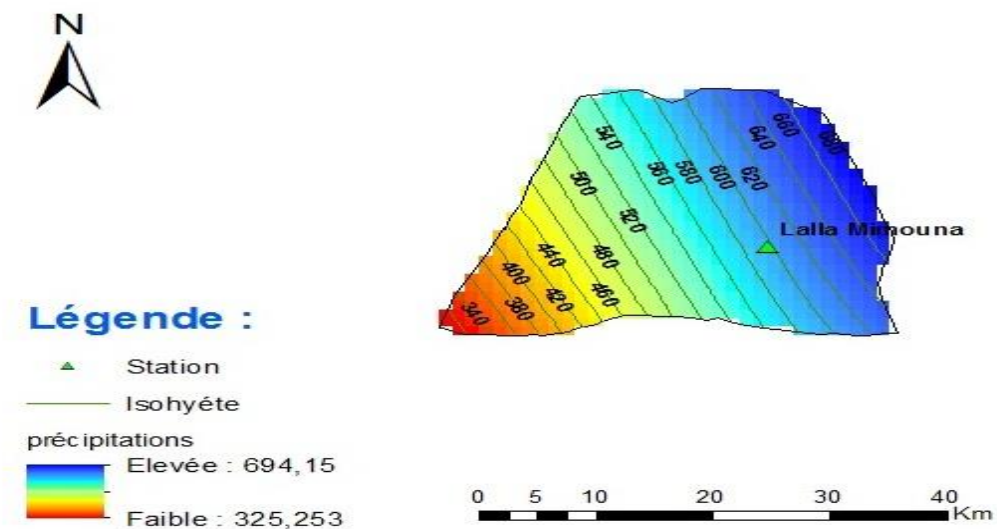
# CHAPITRE II : CLIMATOLOGIE

## I-Introduction

Ce chapitre a pour but d'étudier la variabilité spatio-temporelle des paramètres climatiques, c'est-à-dire les précipitations, la température et aussi l'évapotranspiration. Cette étude a été réalisée à partir des données enregistrées dans la station Lalla Mimouna correspondant à une période de 1995 à 2017. Cette station se situe au Sud-est du bassin et qui a les coordonnées Lambert : X= 43500 km, Y= 47260 km et Z= 5 m.

## II-Précipitation

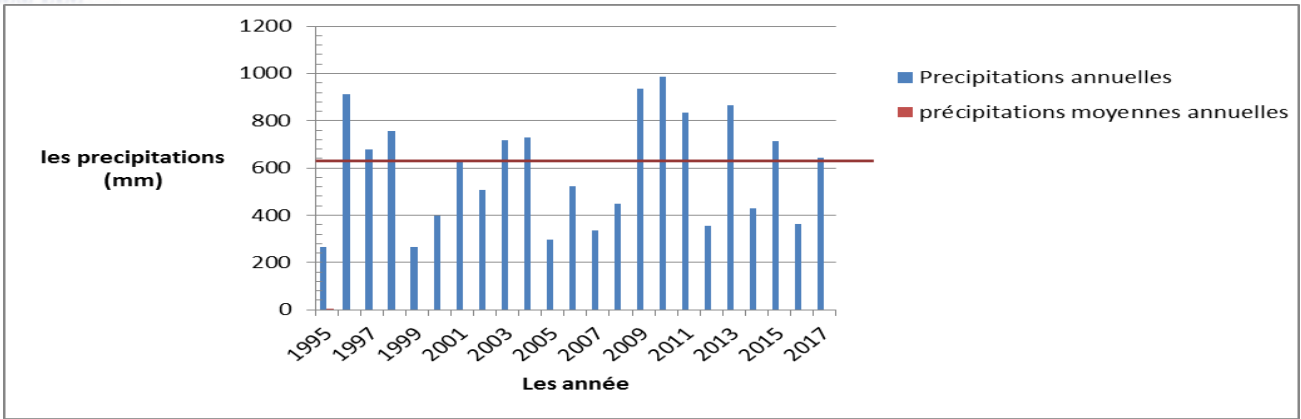
Les données de précipitations mensuelles qui ont été enregistrées au niveau du pluviomètre de la station Lalla Mimouna nous ont permis de faire l'étude pluviométrique du bassin versant de Dradère-Souïère.



**Figure 8 :** Carte des isohyètes du bassin versant Dradere-souiere

### 1- Précipitations annuelles

Les précipitations moyennes annuelles au cours des années 1995-2017 est de 617millimètres.



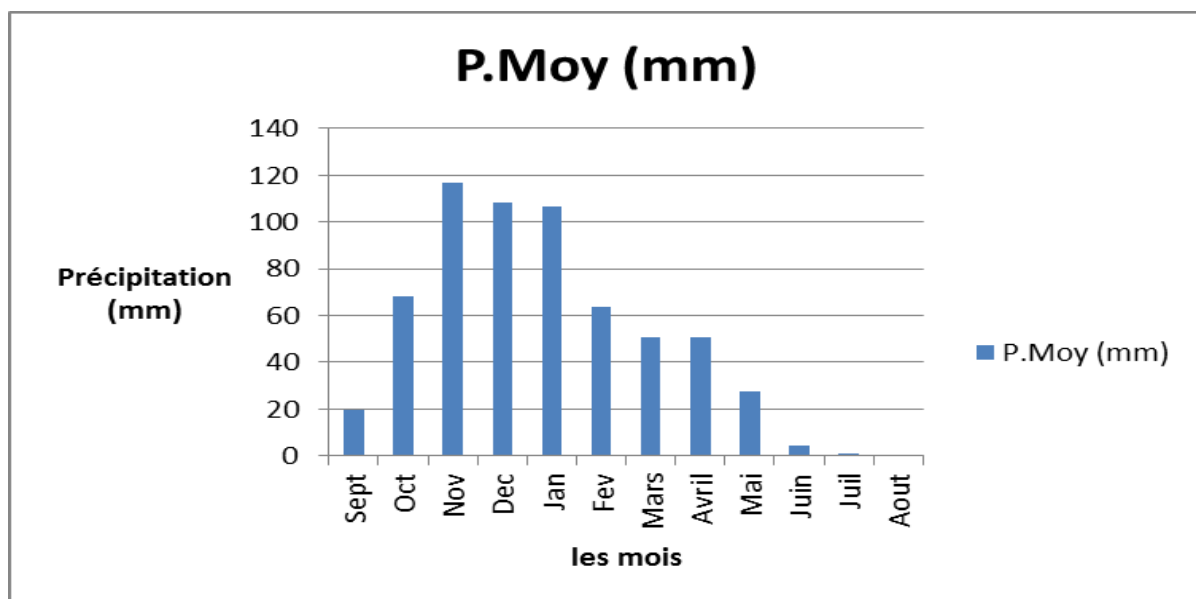
**Figure 9 :** Précipitations moyennes annuelles

## 2- Précipitations mensuelles

D’après le calcul des précipitations moyennes mensuelles dans la période 1995-2017, on a trouvé que ces précipitations mensuelles présentent une importante variabilité temporelle tout au long de l’année.

| Mois              | Sept  | Oct  | Nov    | Déc    | Jan    | Fév   | Mars  | Avril | Mai  | Juin | Juil. | Aout |
|-------------------|-------|------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|------|------|-------|------|
| <b>P.Moy (mm)</b> | 19,59 | 67,9 | 116,81 | 108,04 | 106,45 | 63,63 | 50,68 | 50,5  | 27,4 | 4,31 | 1,31  | 0,63 |

**Tableau 1:** Précipitations moyennes mensuelles au cours de la période 1995-2017



**Figure 10:** Précipitations moyennes mensuelles

Commençant par la partie humide, le tableau ci-dessus représente les précipitations moyennes mensuelles de la période 1995-2017. La partie humide s'étend du mois novembre jusqu'à janvier c'est là où on a les plus grandes moyennes de précipitations avec une moyenne de 110mm de pluie. Pour le mois le plus sec de l'année là on parle du mois aout avec une moyenne de 0,63 mm. Au cours de chaque année les précipitations mensuelles se varient d'une façon assez irrégulière. La répartition annuelle des pluies montre une augmentation discontinue des hauteurs d'eau précipitées d'Octobre à Avril, puis une diminution rapide celles-ci de Mai à septembre.

### III-Température

#### 1- Température moyenne annuelle

La valeur moyenne annuelle de la station Lalla Mimouna est de 17,13°C avec une légère variation d'une année à l'autre.

#### 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.

|          | Sep  | Oct  | Nov   | Dec  | Janv | Fève | Mars  | Avril | Mai   | Jiu   | Juil  | Aout  |
|----------|------|------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| T(°C)moy | 22,3 | 18,2 | 15,02 | 13,2 | 11,8 | 12,4 | 13,52 | 14,23 | 18,02 | 20,92 | 23,02 | 22,96 |
| MoyMax   | 38,9 | 32,7 | 28,7  | 21,6 | 21,4 | 23,1 | 28,6  | 31,2  | 35,8  | 39,9  | 42,3  | 41,4  |
| Moy Min  | 14,2 | 11   | 5,9   | 3,1  | 2,2  | 2,7  | 3,5   | 7,2   | 8,8   | 12,4  | 14    | 15,1  |

**Tableau 2 :** Températures moyennes mensuelles de la période 1995-2017

#### 3- 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.

Si :

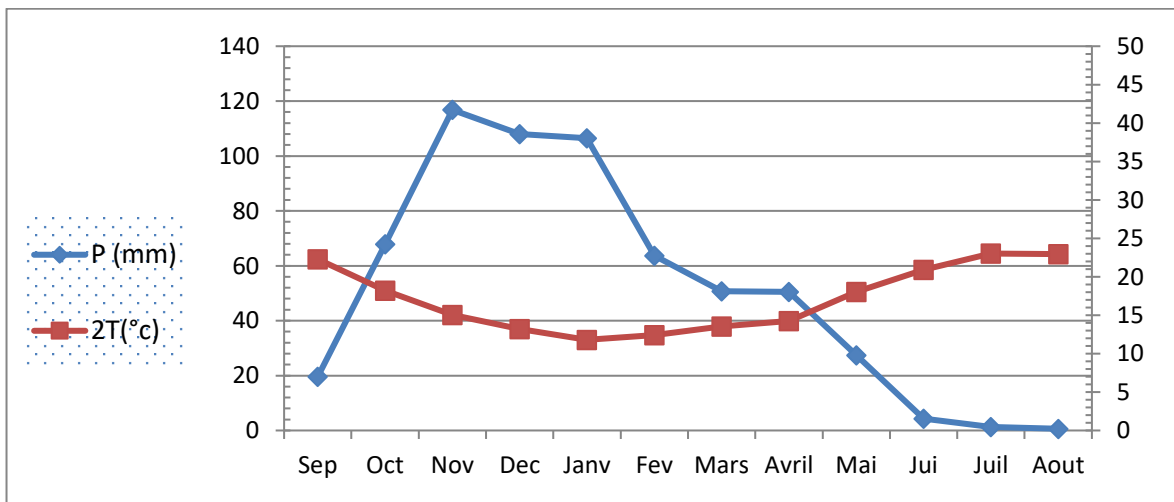
- **$I < 5$**  : Régions hyperarides ‘désert absolue’.
- **$5 < I < 10$**  : Régions arides Régions désertiques.
- **$10 < I < 20$**  : Régions semi-arides.
- **$20 < I < 30$**  : Régions semi-humides.
- **$I > 30$**  : Régions humides.

Avec  $I=19,8$  la région étudiée est une région semi-arides.

#### 4- Diagramme Ombrothermique

|        | Sep   | Oct  | Nov    | Dec    | Janv   | Fev   | Mars  | Avril | Mai   | Jui   | Juil  | Aout  |
|--------|-------|------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| P (mm) | 19,59 | 67,9 | 116,81 | 108,04 | 106,45 | 63,63 | 50,68 | 50,5  | 27,4  | 4,31  | 1,31  | 0,63  |
| T(°c)  | 22,3  | 18,2 | 15,02  | 13,2   | 11,8   | 12,4  | 13,52 | 14,23 | 18,02 | 20,92 | 23,02 | 22,96 |

**Tableau 3** : Données climatologiques (P et T) de Lalla Mimouna (Période 1995-2017)



**Figure11** : Diagramme ombrothermique à la station Lalla Mimouna

Le diagramme ombrothermique, appelé aussi indice xérothermique de Gaussen, montre que la période sèche s'étend du mois d'avril à la fin de Septembre, et pour la période humide, elle s'étend du mois d'Octobre à Mai. Novembre reste le mois le plus humide.

### 5- Quotient pluvio-thermique d'Emberger

En 1953 Emberger a établi 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.

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

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).

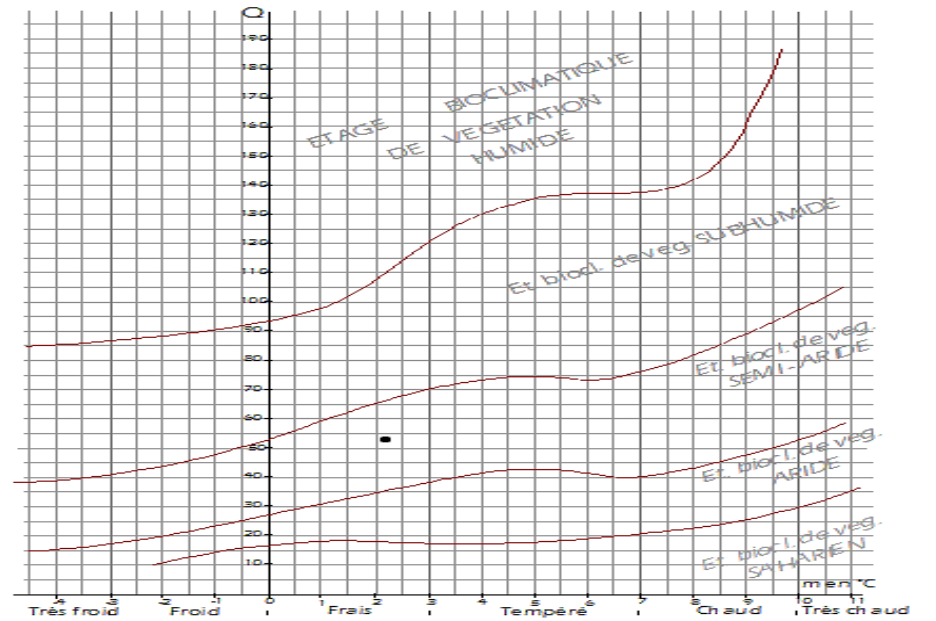
La méthode de classification d'Emberger consiste à représenter les stations de mesure sur un climagramme portant en abscisses la moyenne des températures minimales du mois le plus froid et en ordonnées la valeur du quotient pluvio-thermique, puis à déterminer par la même occasion les étages bioclimatiques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

|         | Sep   | Oct  | Nov    | Dec    | Janv   | Fev   | Mars  | Avril | Mai  | Jui  | Juil | Aout |
|---------|-------|------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|------|------|------|------|
| P (mm)  | 19,59 | 67,9 | 116,81 | 108,04 | 106,45 | 63,63 | 50,68 | 50,5  | 27,4 | 4,31 | 1,31 | 0,63 |
| Moy Max | 38,9  | 32,7 | 28,7   | 21,6   | 21,4   | 23,1  | 28,6  | 31,2  | 35,8 | 39,9 | 42,3 | 41,4 |
| Moy Min | 14,2  | 11   | 5,9    | 3,1    | 2,2    | 2,7   | 3,5   | 7,2   | 8,8  | 12,4 | 14   | 15,1 |

**Tableau 4 :** Données de la station climatologique de Lalla Mimouna Période 1995-2017

Le Quotient pluvio-thermique d'Emberger  $Q_2 = 52$

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



**Figure 12:** Diagramme d’Emberger

D’après le diagramme d’emberger on peut dire que le climat de Lalla Mimouna est Semi Aride.

#### IV-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.

##### 1- Evapotranspiration Potentiel (ETP)

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

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

En 1944 Thornthwaite évalue l’évapotranspiration potentielle mensuelle à partir de la température moyenne du mois considéré par la formule suivante:

Avec ETP : évapotranspiration mensuelle (mm),

T : Température moyenne mensuelle (°C),



I : Somme des indices thermiques mensuels,

$i_k$ : Indice thermique du mois k,

$\alpha$  : Coefficient exprimé en fonction de la somme des indices thermiques mensuel.

Avec  $\alpha=1,764$  / I = 79

|       | Sep  | Oct  | Nov   | Dec  | Janv | Fev  | Mars  | Avril | Mai   | Juin  | Juil  | Aout  |
|-------|------|------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| T(°c) | 22,3 | 18,2 | 15,02 | 13,2 | 11,8 | 12,4 | 13,52 | 14,23 | 18,02 | 20,92 | 23,02 | 22,96 |
| ik    | 9,61 | 7,07 | 5,28  | 4,34 | 3,66 | 3,95 | 4,5   | 4,87  | 6,96  | 8,73  | 10    | 10,05 |
| ETP   | 100  | 70   | 50    | 39   | 33   | 36   | 41    | 45    | 69    | 89    | 106   | 105   |

**Tableau 5** : Données de la station climatologique de Lalla Mimouna (période de 1995-2017)

## 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.

|              | Sep   | Oct  | Nov    | Dec    | Janv   | Fev   | Mars  | Avril | Mai  | Juin | Juil | Aout |
|--------------|-------|------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|------|------|------|------|
| P moy (mm)   | 19,59 | 67,9 | 116,81 | 108,04 | 106,45 | 63,63 | 50,68 | 50,5  | 27,4 | 4,31 | 1,31 | 0,63 |
| ETP (mm)     | 100   | 70   | 50     | 39     | 33     | 36    | 41    | 45    | 69   | 89   | 106  | 105  |
| ETR (mm)     | 19,59 | 67,9 | 50     | 39     | 33     | 36    | 41    | 45    | 27,4 | 4,31 | 1,31 | 0,63 |
| RFU (mm)     | -     | -    | 50     | 50     | 50     | 50    | 50    | 50    | 8,4  | -    | -    | -    |
| Excès (mm)   | -     | -    | 16,81  | 69,04  | 73,45  | 27,63 | 9,68  | 5,5   | -    | -    | -    | -    |
| Déficit (mm) | 50    | 32,5 | -      | -      | -      | -     | -     | -     | 50   | 50   | 50   | 50   |

**Tableau 6** : Données de la station climatologique de Lalla Mimouna de la période 1995-2017

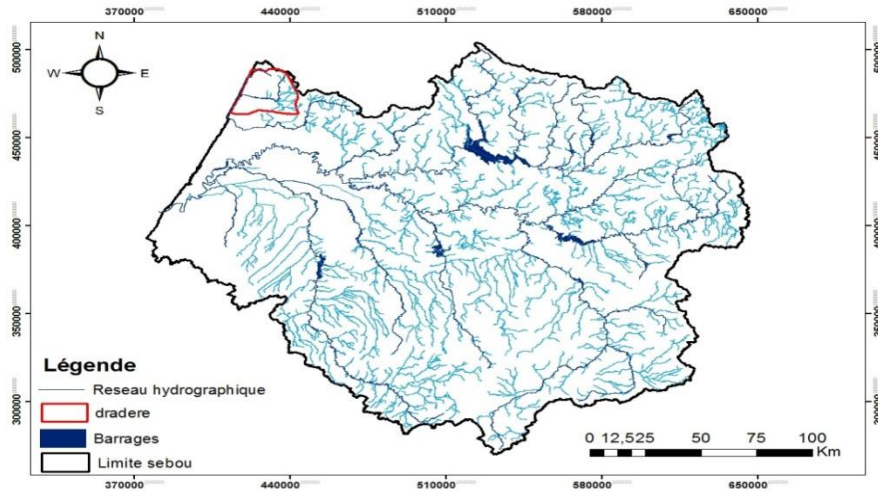
### V-Conclusion

D'après les résultats on peut dire que le climat du bassin est semi-aride (Fig.4). Il se caractérise par : une pluviométrie très importante de 617mm/an. Les hauteurs pluviométriques mensuelles se varient entre 0,63 mm pour le mois d'août et 116.81 mm pour le mois de décembre (Fig.1)

- La température moyenne annuelle est de 20°C, c'est une température qui est assez douce, elle se varie entre 11,8 en janvier et 23,03 °C au mois de juillet. (Tab.2).
- l'évapotranspiration potentielle (ETP) se varie entre 33 mm au mois de Janvier et 106 mm au mois de juillet. L'ETP moyenne annuelle est de 783 mm • (Fig.5).

## Chapitre III : hydrologie, hydrochimie, hydrogéologie de la nappe Dradère – Soueïre

### I-Contexte hydrologique



**Figure 13:** Carte hydrographique du bassin de Sebou

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

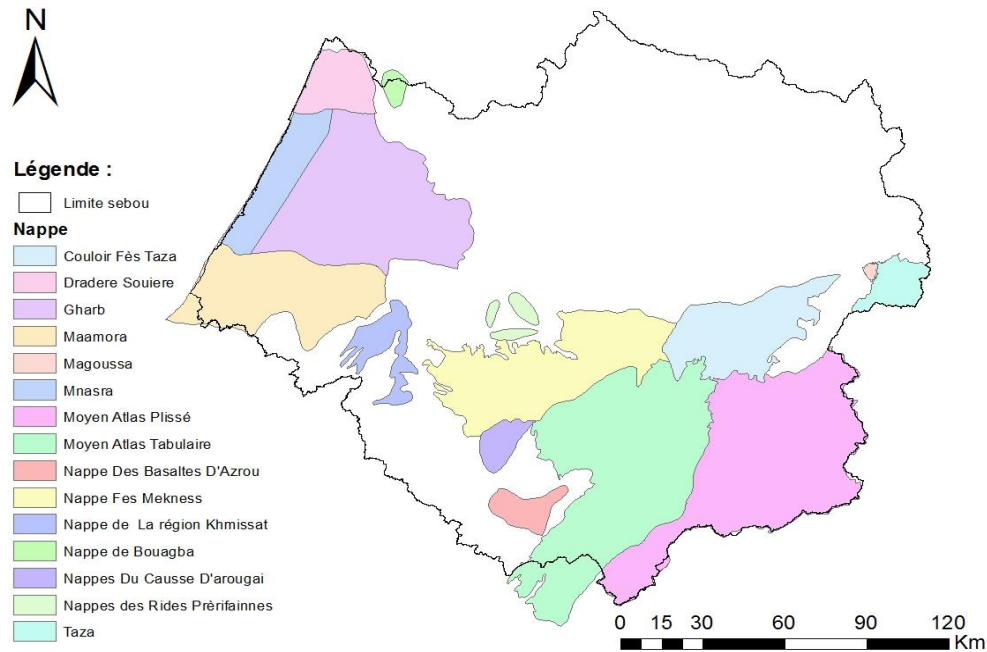
L'oued Dradère se situe à la limite est du bassin et coule du nord vers le sud dans ses tronçons amont et médian. L'écoulement devient est-ouest dans son tronçon aval, jusqu'à son débouchement dans la merjaZerga.

L'oued n'est pas pérenne dans ses tronçons amont et médian (débit d'étiage nul). Son débit moyen en amont (mesuré au niveau de la station de LallaMimouna) 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-Souièrè. Son débit d'étiage est d'environ 300 l/s (mesuré en août 1967), mais se situe autour de 500 l/s en année moyenne

L'oued Souièrè 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 pérennes 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 premières grosses sources présentent un débit moyen de 30 à 50 l/s, qui

s'accroissent vers l'aval, par d'autres venues d'eau en provenance du fond de l'oued.  
Le débit moyen de l'oued est de 379 l/s et son débit d'étiage est de 251 l/s.

## II- Contexte hydrogéologique



**Figure 14:** carte des nappes du bassin de sebou

### 1- Lithologie de la nappe

Quatre principaux secteurs peuvent être distingués :

Le secteur de Dhar El Hadechi, situé dans la partie centrale du bassin entre les oueds Dradère et Souière. La nappe est libre et circule dans des lumachelles, sables fins et grès du Pliocène, surmontés par des sables plus ou moins argileux du Quaternaire

Le secteur d'El Fahis, situé au sud du bassin. La nappe circule dans des sables gréseux du Pliocène

Le synclinal Ferjjane- Lalla Mimouna, situé à l'est du bassin. La nappe circule dans des conglomérats et argiles caillouteux du Plio-Villafranchien continental

Le secteur de la Marja Zerga et des dunes côtières de l'Ouest. La nappe circule dans des grès dunaires ;

Le bassin côtier entre Moulay Bou-Selham et Bargha, situé le long du littoral à l'Ouest. La nappe circule dans des formations grésosableuses d'origine marine ou dunaire

Les secteurs d'El Mellah (nord-est) et Bouhira (sud-est) sont dépourvus de nappe, et correspondent à des affleurements de marnes miocènes (El Mellah) ou recouverts partiellement par des formations très peu perméables (Bouhira).

## 2- Profondeur de la nappe

La profondeur de la surface de la nappe est faible ; généralement comprise entre 0.5 et 5 m.

Les profondeurs les plus faibles sont inférieures à 1 m se trouvent au nord-ouest et sur la rive gauche de l'oued Dradère, dans son tronçon médian ayant un écoulement E-O.

Les profondeurs les plus importantes sont supérieures à 4 m sont situées à l'est tronçon amont de l'oued Dradère, ayant un écoulement N-S, à l'ouest et au sud de la nappe le long des collines de Lalla Zohra.

## 3- Paramètres hydrodynamiques de la nappe

- ❖ **La perméabilité** de la nappe varie entre  $5.10^{-5}$  m/s et  $5.10^{-4}$  m/s, avec une valeur moyenne d'environ  $1.7 \cdot 10^{-4}$  m/s. La classe la plus représentée est comprise entre 1 et  $4.10^{-4}$  m/s.
- ❖ **La transmissivité** de la nappe varie entre  $2.10^{-5}$  m/s et  $2.6 \cdot 10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s, avec une valeur moyenne d'environ  $6.5 \cdot 10^{-2}$  m/s. La classe la plus représentée est comprise entre  $1.10^{-3}$  et  $8.10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s. Les secteurs de forte transmissivité ( $>10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s) sont situés au niveau de DharHadechi (NE de la nappe) et sur la rive droite de l'oued Dradère. Entre ces deux secteurs, la transmissivité augmente du nord vers le sud et varie entre 1 et  $5 \cdot 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s.

Les valeurs du coefficient d'emménagement de la nappe sont absentes. Etant donnée la nature sableuse de la nappe et son type hydrodynamique (libre), nous estimons que les valeurs de ce coefficient devraient se situer autour de quelques pourcents (5 à 10 %).

## 4- Epaisseur et réserves totales en eau de la nappe

L'épaisseur de la nappe varie entre 0 et 100 m. Le maximum est observé dans le bassin de Dradère.

Si on considère que le coefficient d'emménagement de la nappe est de l'ordre de 5 à 10 % (sable fin plus ou moins argileux, sables gréseux, conglomérats) et son épaisseur moyenne de 50 m, les réserves totales de la nappe seraient comprises entre 1.5 et 3 milliards de m<sup>3</sup> d'eau.

## 5- Ressources en eau souterraine

Hydrogéologiquement le bassin Dradère Soueïere est constitué de plusieurs niveaux aquifères alimentés par les infiltrations des pluies avec un équilibre piézométrique suite à une perméabilité verticale suffisamment grande (Combe, 1975). Ces aquifères sont libre, avec un plancher imperméable constitué des marnes miocènes.

La carte piézométrique dressée en 1967 à l'échelle du 1/50 000 permet de distinguer plusieurs zones dans ce bassin :

Deux zones sans nappe étendue correspondent à des affleurements de marnes miocènes sans recouvrement perméable, secteur de El-Mellah au NE, ou partiellement recouverts de formations très peu perméables et peu étendues à l'affleurement, secteur SE de Bouhira. La bordure caillouteuse des collines de Bouhira contient cependant un peu d'eau, tout juste suffisante pour satisfaire l'alimentation de quelques petits douars.

- une zone à eau saumâtre qui englobe le pourtour de la lagune de la merja Zerga.
- le reste du bassin où existe une nappe aquifère étendue et généralisée. Plusieurs subdivisions peuvent être faites dans cette nappe en fonction de la nature du terrain aquifère,

La dépression de GhabetJebila connue la présence d'une nappe semi-artésienne au niveau des formations moghrébiens ayant comme substratum les marnes miocènes et surmonté par des argiles plastiques du Quaternaire ancien – Villafranchien, La profondeur de cette nappe varie selon le pendage des formations plio-moghrébiens, elle est comprise entre 140 et 222 mètres de profondeur au niveau de deux forages d'irrigation réalisés en 2006 .

### ❖ ZONES sans nappe étendue

Les zones NE et SE du bassin Dradère Soueïere marquées par les affleurements des marnes Miocène sans recouvrement perméable ou partiellement recouverts de formation très peu perméables. Cette zone contient une faible quantité d'eau et l'émergence des sources d'eaux bordières du bassin

### ❖ Zone d'eau saumâtre

Les zones d'eau saumâtres sont localisées principalement au niveau de la lagune de Moulay Bouselhame car celle-ci subie des échanges avec l'océan.

### ❖ ZONES à une seule nappe

Le reste du bassin, à l'exception des zones précitées, est connu par une nappe aquifère étendue et généralisée. Les variations lithologiques des aquifères permettent de subdiviser cette nappe en plusieurs secteurs

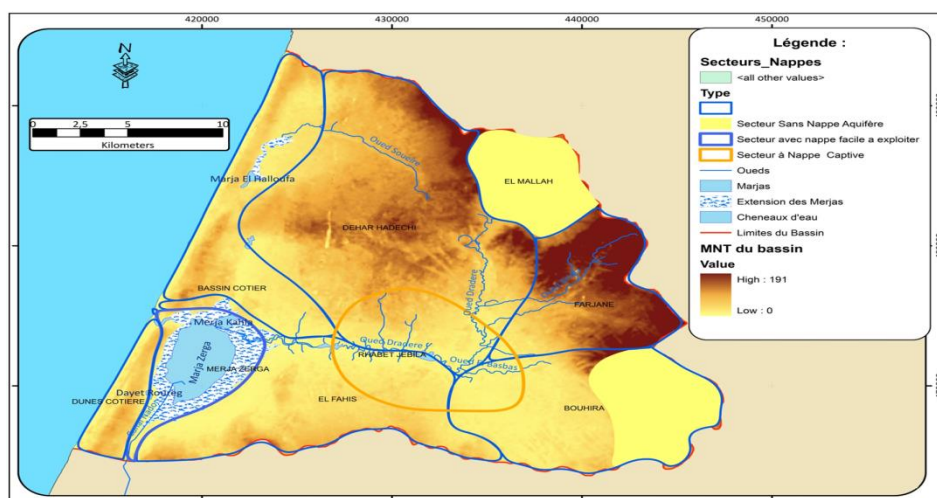
- Secteur de Dehar El Hadechi.
- Secteur nord en rive droite du Soueïre.
- Secteur sud du bassin El Fahis.
- Secteur du bassin de l'Est, Synclinal Ferjane – Lalla Mimouna.
- Secteur du Merja Zerga et Dunes côtières de l'Ouest.
- Secteur du bassin côtier entre Moulay Bouselhame et Bargha (Combe, 1975).

L'alimentation du système aquifère s'effectue par des infiltrations des eaux de pluies.

### ❖ ZONES à deux nappes (nappe libre et nappe semi-artésienne profonde)

Les grandes dépressions de Ghabet Jebila, qui correspondent à deux synclinaux NS et EW perpendiculaires, sont marquées par la présence d'une nappe captive profonde suite à la présence des formations sableuses et gréseuses du Pliocène et des calcaires moghrébiens, ayant une perméabilité importante permettant la circulation sur le substratum marneux compacte d'âge miocène et surmonté par des argiles plastiques villafranchiens exerçant une pression qui donne tendance aux jaillissements de ces aquifères.

La profondeur de cette nappe varie selon le pendage des formations plio-moghrébiens, elle est comprise entre 140 et 222 mètres de profondeur au niveau de deux forages réalisés en 2006 pour l'irrigation du domaine « ROY AGR Maroc ».



**Figure 15:** Sectorisation des aquifères du bassin Dradère Soueïre

## 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 Mm<sup>3</sup>/an (Tab 7).

Le débit des écoulements alimentant les Merjas Zerga et EL Halloufa a été estimé à partir du bilan de la nappe à environ 47 Mm<sup>3</sup>/an. Une partie de ce débit et de celui s'écoulant vers l'océan environ 20 et 30 Mm<sup>3</sup>/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 <sup>3</sup> /an      |
|---|--------------------------|
| Infiltration de pluie                       | 103.0                    |
| Retour des eaux d'irrigation                | 1.0                      |
| Entrées au niveau des limites               | 7.0                      |
| <b>Entrées totales</b>                      | <b>111.0</b>             |
| <b>SORTIES</b>                              |                          |
|   | <b>Mm<sup>3</sup>/an</b> |
| Prélèvements agricoles (IP : 1614 ha)       | 21.0                     |
| Prélèvements AEP (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 (*)                 |
| <b>Sorties totales</b>                      | <b>111.0</b>             |
| <b>Bilan (Entrées-Sorties)</b>              | <b>0.0</b>               |

**Tableau 7** : Bilan des ressources en eau de la nappe de Dradère-Souière

## 7-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.



### III- Contexte Hydrochimique

Ce chapitre a pour but de caractériser les paramètres physico-chimiques des eaux souterraines de la nappe Dradère-Souière afin de déterminer leurs facies chimiques et la parenté de ces eaux et puis les résultats recueillis de cette étude seront suffisants pour déterminer soit la qualité des eaux d'irrigation ou des eaux potable.

#### 1- Fiabilité des mesures

La fiabilité des analyses chimiques est approchée par le calcul de la balance ionique .La détermination de la balance ionique est basée sur les analyses des éléments majeurs (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) . 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.

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

- **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

| Echantillon | Ca <sup>2+</sup><br>[meq/L] | Mg <sup>2+</sup><br>[meq/L] | Na <sup>+</sup><br>[meq/L] | K <sup>+</sup><br>[meq/L] | Mn <sup>2+</sup><br>[meq/L] | Nh <sup>4+</sup><br>[meq/L] |
|-------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1           | 6,9877                      | 0,6591                      | 2,2782                     | 0,008                     | 0,0017                      | 0,0015                      |
| 2           | 0,519                       | 0,205                       | 0,7347                     | 0,0108                    | 0,0052                      | 0,0079                      |
| 3           | 5,1909                      | 1,5887                      | 5,1908                     | 0,0621                    | 0,0017                      | 0,0015                      |
| 4           | 6,488                       | 0,3492                      | 2,1782                     | 0,0119                    | 0,0017                      | 0,0082                      |
| 5           | 0,5989                      | 0,2738                      | 0,7086                     | 0,0141                    | 0,0017                      | 0,0157                      |
| 6           | 5,5902                      | 1,4929                      | 5,8695                     | 0,0818                    | 0,0017                      | 0,005                       |

| Echantillon | Cl <sup>-</sup><br>[meq/L] | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup><br>[meq/L] | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup><br>[meq/L] | CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup><br>[meq/L] | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup><br>[meq/L] | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup><br>[meq/L] |
|-------------|----------------------------|--|--|--|---|---|
| 1           | 3,2676                     | 1,452                                    | 3,3934                                   | 0  | 0,0003                                  | 1,7258                                  |
| 2           | 0,969                      | 0,164                                    | 0,4901                                   | 0  | 0,0003                                  | 0,0044                                  |
| 3           | 6,7323                     | 1,3229                                   | 4  | 0  | 0,0005                                  | 0,2306                                  |
| 4           | 3,07                       | 1,5833                                   | 3,0819                                   | 0  | 0,0003                                  | 1,4548                                  |
| 5           | 0,9323                     | 0,1862                                   | 0,3606                                   | 0  | 0,0003                                  | 0,0856                                  |
| 6           | 7,183                      | 1,2916                                   | 4  | 0  | 0,0135                                  | 0,7258                                  |

Tableau 8 : Analyses des échantillons

D'après le calcul des balances ioniques respectives, nos échantillons ont présenté des balances inférieures ou égales à 5% cela montre que les résultats de ces analyses peuvent être utilisés dans l'étude hydrochimique.

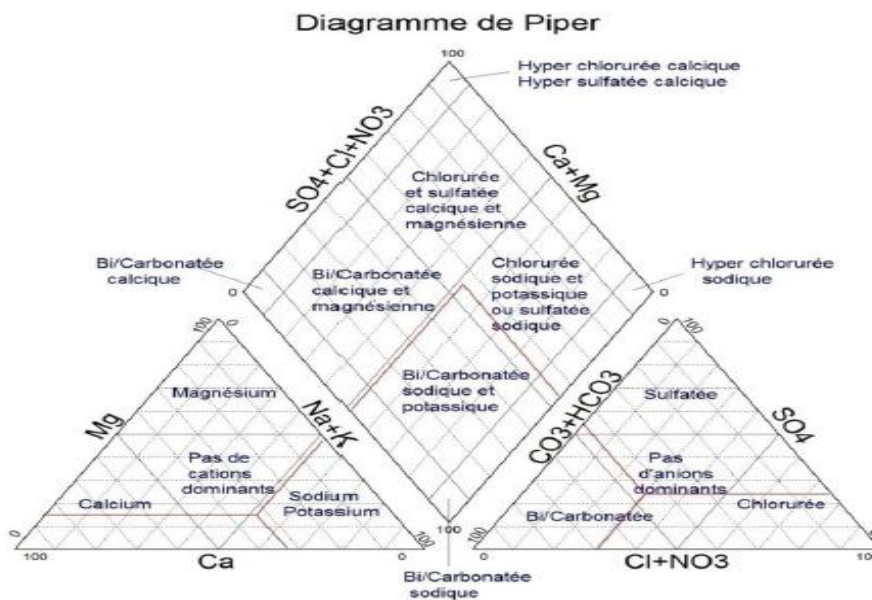
| Echantillon | Balance-ionique | Résultats                |
|-------------|-----------------|--------------------------|
| 1           | 1%              | l'analyse est très bonne |
| 2           | 5%              | l'analyse est très bonne |
| 3           | 1%              | l'analyse est très bonne |
| 4           | 1%              | l'analyse est très bonne |
| 5           | 1,5%            | l'analyse est très bonne |
| 6           | 1%              | l'analyse est très bonne |

**Tableau 9 :** résultat de la fiabilité des mesures

## 2- Détermination des facies chimique

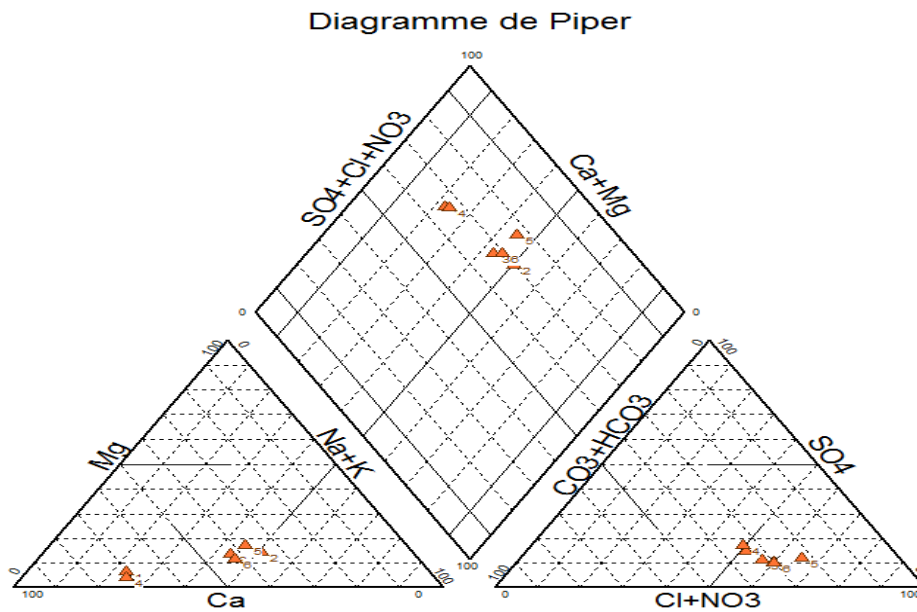
### ❖ Diagramme de Piper :

Le diagramme de Piper est utilisé pour déterminer les facies chimiques des échantillons. Il est composé d'un grand losange et de deux petits triangles, sur un de ces triangles on représente les anions et sur l'autre triangle on représente les principaux cations, puis on trace l'intersection sur le diagramme losangique, et dans chaque partie de ce diagramme on trouve des facies différents.



**Figure 16 :** Diagramme de Piper

La qualité chimique des eaux des deux oueds (Dradère et Souière) est bonne, le résidu sec est inférieur à 500 mg/l toute au long de l'année.



**Figure 17:** Projection des échantillons sur le diagramme de Piper

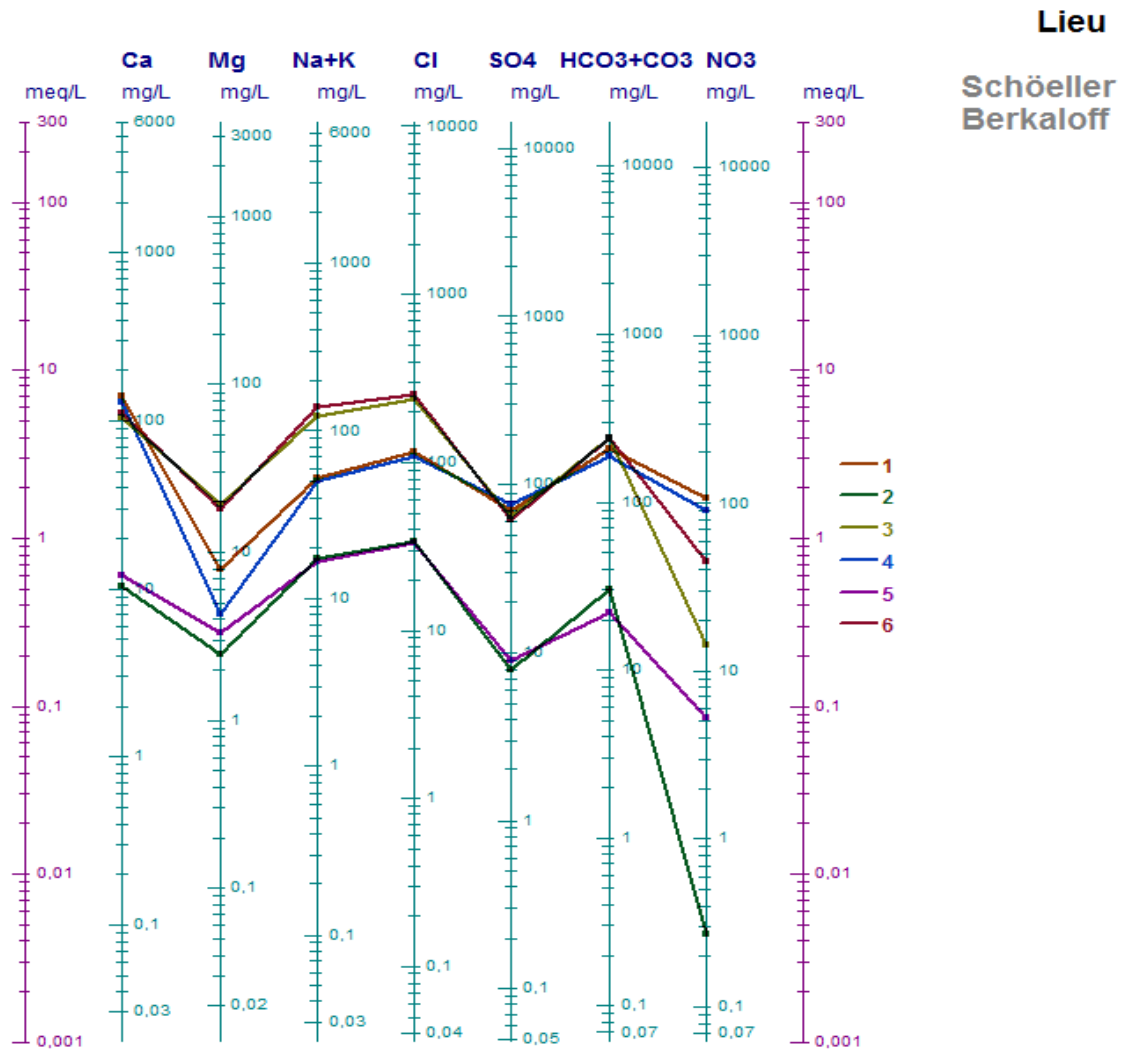
Les différents faciès-s obtenus par le diagramme de Piper

| Echantillon | FACIES CHIMIQUES                     |
|-------------|--------------------------------------|
| 1           | Sulfaté-chlorurée calcique-magnésien |
| 2           | chlorurée sodique-potassique         |
| 3           | Sulfaté-chlorurée calcique-magnésien |
| 4           | Sulfaté-chlorurée calcique-magnésien |
| 5           | Sulfaté-chlorurée calcique-magnésien |
| 6           | Sulfaté-chlorurée calcique-magnésien |

**Tableau 10 :** Les différents faciès-s obtenus par le diagramme de Piper

❖ **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.



**Figure 18:** Diagramme de Schoeller-Berkaloff

Les différentes parentés chimiques obtenues sont données par le tableau ci-dessous:

### Détermination des facies chimique

| Echantillon | FACIES CHIMIQUES                     |
|-------------|--------------------------------------|
| 1           | Sulfaté-chlorurée calcique-magnésien |
| 2           | chlorurée sodique-potassique         |
| 3           | Sulfaté-chlorurée calcique-magnésien |
| 4           | Sulfaté-chlorurée calcique-magnésien |
| 5           | Sulfaté-chlorurée calcique-magnésien |
| 6           | Sulfaté-chlorurée calcique-magnésien |

**Tableau 11 :** Détermination des facies chimique

### 3- Qualité des eaux

#### ❖ Qualité des eaux d'irrigation

Pour faire le test de l'aptitude des échantillons étudiés vis-à-vis à l'irrigation, on a utilisé la classification de L'USSLS (United States Salinity Laboratory Staff). Avec cette classification on peut distinguer des différents types d'eaux en se basant sur la conductivité électrique ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) à  $25^\circ\text{C}$  et le rapport d'adsorption du sodium « S.A.R » :

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

| Echantillon | Ca <sup>2+</sup> [meq/L] | Mg <sup>2+</sup> [meq/L] | Na <sup>+</sup> [meq/L] | Conductivité | S.A.R   |
|-------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------|---------|
| 1           | 6,9877                   | 0,6591                   | 2,2782                  | 952          | 1,16511 |
| 2           | 0,519                    | 0,205                    | 0,7347                  | 205          | 1,22111 |
| 3           | 5,1909                   | 1,5887                   | 5,1908                  | 1195         | 2,81933 |
| 4           | 6,488                    | 0,3492                   | 2,1782                  | 870          | 1,17807 |
| 5           | 0,5989                   | 0,2738                   | 0,7086                  | 150          | 1,07271 |
| 6           | 5,5902                   | 1,4929                   | 5,8695                  | 1300         | 3,11892 |

**Tableau 12** : tableau des mesures de conductivité et S.A.R

- L'échantillon N°1, 3, 4 et 6 contient des valeurs élevés de la conductivité qui cause un fort risque de salinisation des sols, ces eaux sont mauvais pour l'agriculture.
- L'échantillon N°2 et 5 indique une conductivité faible et une alcalinisation faible, ces eaux son très bonnes pour l'irrigation.

#### ❖ Qualité des eaux de consommation

Pour l'estimation de la potabilité des eaux destinées à la consommation humaine on a utilisé la méthode de la dureté des eaux qui se détermine en calculant le 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)

- **Th de 3 à 15 °F** : L'eau est douce.
- **Th de 15 à 30°F** : L'eau est dure.
- **Th > 30°F** : L'eau est très dure.

| Echantillon | TH (°F)       | Type d'eau |
|-------------|---------------|------------|
| 1           | <b>38,234</b> | Très dure. |
| 2           | <b>3,62</b>   | Douce.     |
| 3           | <b>33,898</b> | Très dure. |
| 4           | <b>34,186</b> | Très dure. |
| 5           | <b>4,363</b>  | Douce.     |
| 6           | <b>35,41</b>  | Très dure. |

**Tableau 13 :** Tableau de la qualité des échantillons

## IV-Conclusion

Les analyses chimiques des échantillons des puits étudiés nous a permis de déterminer tout d'abord les différents faciès chimiques des eaux de la nappe Dradère-Souière et on a remarqué une dominance très importante des eaux sulfaté -chlorurée calciques-magnésiennes. Ceci serait dû à la nature lithologique de la région. D'après ces mesures on a pu aussi déterminer l'aptitude des eaux étudiées à l'irrigation qui est moyenne.

## CHAPITE IV : Piézométrie

### I- Introduction

Pour bien comprendre les changements et les grands traits du fonctionnement hydrodynamique d'une nappe durant les Années précédentes , on doit nécessairement faire une étude de l'évolution spatio-temporelle de l'état de la piézométrie.

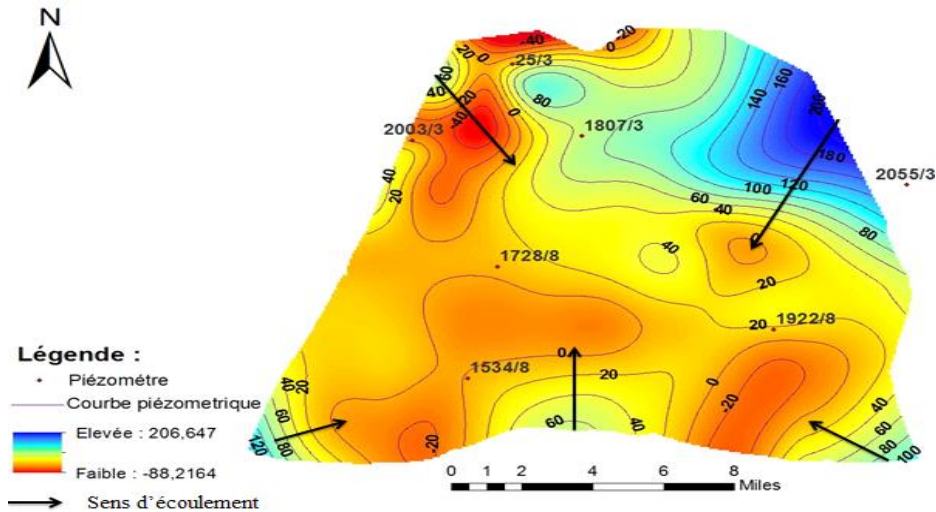
A l'aide des relevés piézométriques réalisés par l'agence du bassin hydraulique de Sebou (ABHS), et dans le cadre de cette étude, on a établi une carte piézométrique de la nappe du Dradere-souiere, pour le mois d'Avril de l'année 2018. Tout d'abord, on a téléchargé le MNT de la zone et d'après ce dernier on a reporté les altitudes au niveau des points de mesures piézométriques collectées auprès de l'agence. L'agence nous a fournit les données des profondeurs jusqu'à l'eau mesurées au niveau de son réseau de piézomètres. On a ensuite calculé les niveaux piézométriques :

**Niveau piézométrique = cote topographique – profondeurs jusqu'à l'eau**

| IRE    | X      | Y      | Z   | Profondeur jusqu'à l'eau | NP      |
|--------|--------|--------|-----|--------------------------|---------|
| 1534/8 | 423130 | 468540 | 13  | 11,635                   | 1,365   |
| 1728/8 | 424490 | 475090 | 14  | 8,87                     | 5,13    |
| 1807/3 | 428340 | 482740 | 74  | 7,57                     | 66,43   |
| 1922/8 | 437048 | 471402 | 16  | 0,31                     | 15,69   |
| 2003/3 | 420610 | 482510 | 15  | 18,075                   | -3,075  |
| 2055/3 | 443130 | 479890 | 192 | 18,555                   | 173,445 |
| 25/3   | 425160 | 486970 | 24  | 1,765                    | 22,235  |
| 954/8  | 434420 | 478420 | 46  | 2,91                     | 43,09   |

**Tableau 14** : coordonnées des puits et leur niveau piézométrique

Enfin pour obtenir la carte piézométrique (Figure 19), une interpolation a été effectuée sur la base de ces niveaux piézométriques.



**Figure 19 :** Carte piézométrique de la nappe de Dradère-Souière.

En analysant la carte ci-dessus, on remarque que l'oued Dradère constitue une zone de convergence des lignes de courant (zone de drainage important de la nappe), provenant de part et d'autre de ses deux rives.

L'écoulement se fait :

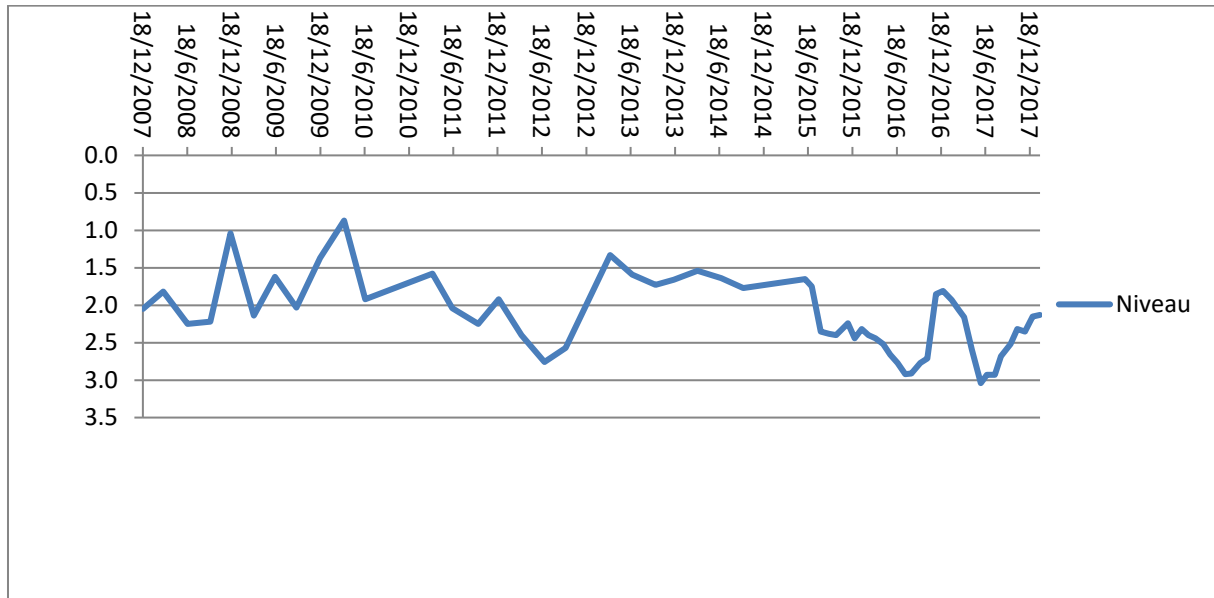
- du Nord vers le sud (rive droite de l'oued Dradère),
- Sud vers le nord (rive gauche de l'oued Dradère), l'ouest vers l'est (Meja Zerga).

Les cotes piézométriques minimales (inférieure à 10 m) sont situées le long du tronçon aval du lit de l'oued Dradère, au voisinage de la Merja Zerga et le long de la bordure atlantique.



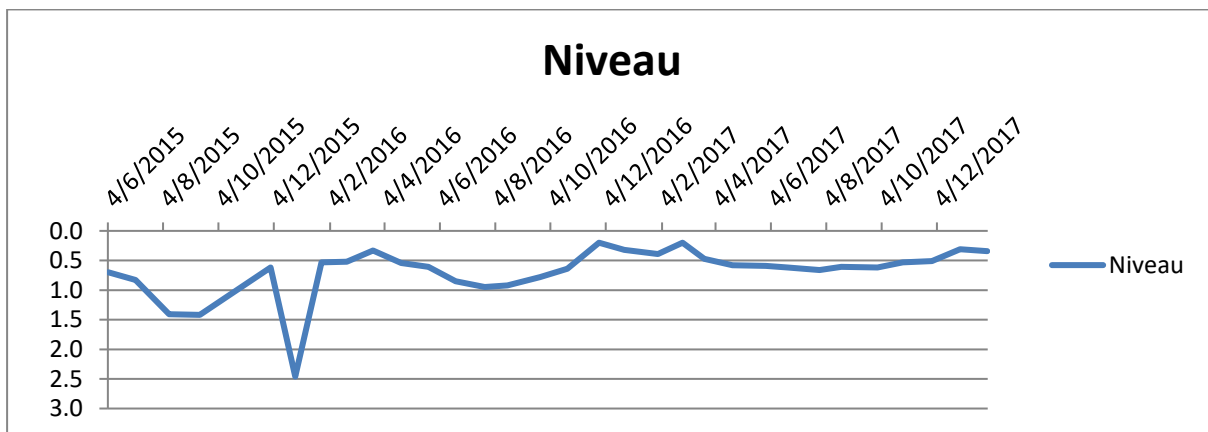
## II- Historique de la nappe

Les courbes suivantes représentent les historiques piézométriques de la nappe au niveau des différents secteurs.



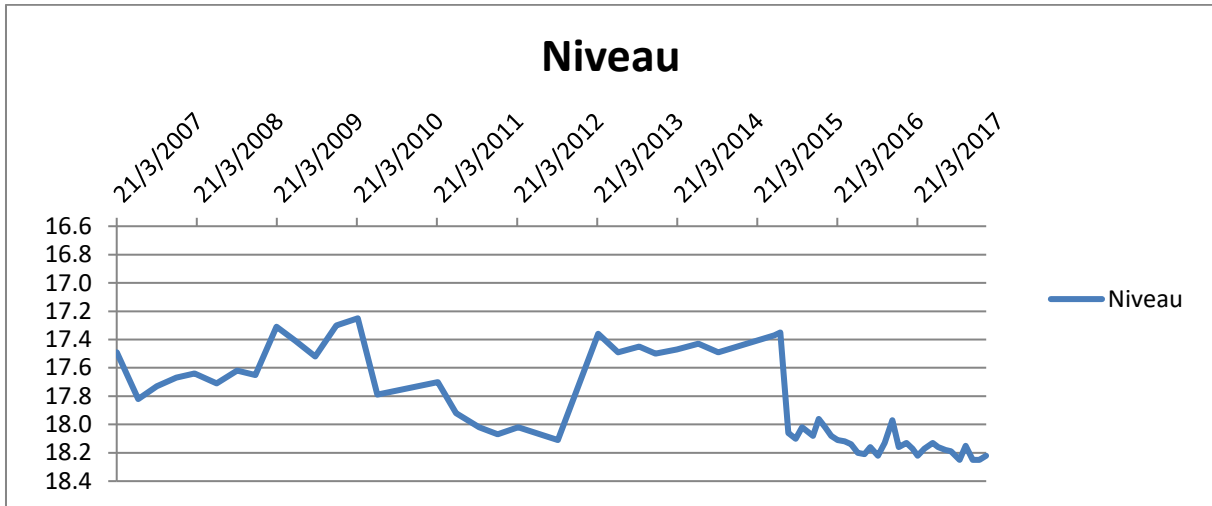
**Figure 20:** Evolution piézométrique de la zone côtière nord de la nappe - Dradère-Souïère

On remarque une stabilisation quasi générale des niveaux de la nappe dans le secteur côtier Nord.

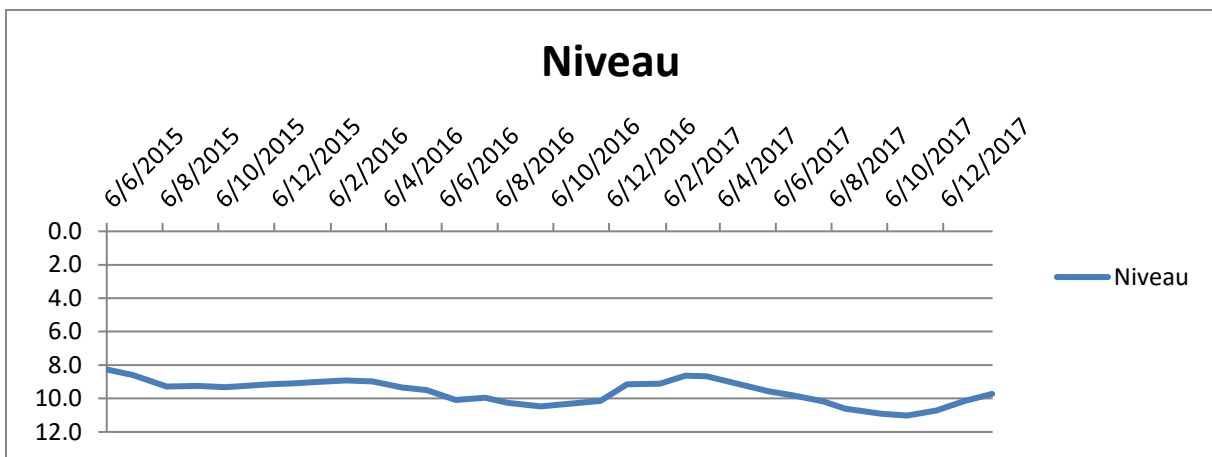


**Figure 21:** Evolution piézométrique du secteur centre-est de la nappe de Dradère-Souïère

Le niveau de la nappe a tendance à la hausse au centre-est de la nappe. Cette remontée peut être due à l'importance du retour des eaux d'irrigation dans cette zone.



**Figure 22 :** Evolution piézométrique du secteur centre-ouest de la nappe de Dradère-Souière



**Figure 23:** Evolution piézométrique du secteur central de la nappe de Dradère-Souière

Une tendance générale à la baisse est soulignée dans le secteur central, ainsi que dans le secteur centre Ouest de la nappe.

---

## *CONCLUSION GENERALE*

Dans le 1<sup>er</sup> chapitre, Nous avons réalisé une monographie généralement complète pour cette nappe souterraine (Dradère Soueïre) du bassin de Sebou, à l'aide des données qui ont été fournies grâce à l'agence hydraulique du bassin de Sebou.

Le 2<sup>ème</sup> chapitre est consacré pour le contexte climatologique qui a pour but définir et connaitre le climat de la zone étudiée après le calcul des précipitations, et de la température.

Le 3<sup>ème</sup> chapitre, nous avons fait une étude hydrologique, hydrogéologique, et hydrochimique, tout d'abord pour savoir les principaux oueds qui dominant l'hydrologie du bassin, ensuite l'étude hydrogéologique nous a permis de connaitre le positionnement de la nappe, la reconnaissance de la lithologie et la localisation des zones de charge et de décharge de l'eau et savoir aussi le sens d'écoulement dans la nappe. À la fin de ce chapitre on a réalisé une étude hydrochimique qui nous a permis de déterminer les facies chimiques dominants et aussi la qualité des eaux de la nappe de Dradère Soueïre.

Enfin, dans le 4<sup>ème</sup> chapitre on a fait une étude de l'évolution spatio-temporelle de l'état piézométrique pour comprendre les différents changements et les fonctionnements hydrodynamique de la nappe Dradère Soueïre.

### **Recommandations :**

Nous proposons de faire un suivie avec l'AGENCE DU BASSIN HYDROLIQUE DE SEBOU sur l'évolution de la nappe de Dradère Soueïre surtout dans son contexte de changements climatique et leur impact sur celle-ci.

## ***REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES:***

- Tomes des ressources en eau du Maroc.
- Rapport Définitif Dradère\_Ver\_24\_Nov\_2006 -ABHS : Etude pour la mise en place d'un contrat de nappe pour une gestion participative et durable des ressources en eau souterraine du système aquifère du Dradère-Souière.
- ABHS : Note sur les ressources en eau du bassin du Sebou. 2002-2003.
- PDAIRE Sebou : Mission I.2. : Evaluation des Ressources en eau de surface du bassin du Sebou. Nappe de Dradère-Souière. ADI. Octobre 2005.
- Plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau (PDAIRE) du bassin du Sebou.