



UNIVERSITE CADI AYYAD  
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES GUELIZ MARRAKECH  
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE  
LICENCE-ES SCIENCES ET TECHNIQUES  
« Eau & Environnement »

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**

***Etude de la qualité des eaux d'irrigation et du sol  
dans le périmètre de Saâda  
(Région du Haouz)***

Par :

**Berrouch Hamza**

Encadré par :

**Mr. B. IGMOULLAN** : Professeur à la Faculté des Sciences et Technique-Marrakech

**Mr. Sghir** : Ingénieur à l'ORMVA du Haouz

Soutenu le 22 Février 2011 devant le jury :

**Mr. Igmoullan** (FST Marrakech)

**Mr. Sghir** (ORMVAH)

**Mr. Saidi** (FST Marrakech)

**Mlle. Bourgeoini** (FST Marrakech)

**Année universitaire 2010-2011**

# *Dédicace*

*A mes très chers parents*

En témoignage de profond amour, de grande reconnaissance et pour tous les sacrifices que vous avez consentis pour mon éducation et mon bonheur.

*A mes enseignants.*

*A mes chers (es) amis (es) et collègues*

A toute personne qui m'aime, et qui contribuera à ma joie familiale et mon bonheur professionnel.

## *Remerciements*

*Au terme de ce travail, il m'est agréable de m'adresser à toute personne qui a participé de près et de loin à son élaboration.*

*Je remercie Mr. Brahim Igmoullan, Professeur à la faculté des sciences et techniques Marrakech, département des sciences de la terre, qui a dirigé ce travail, tout en me prodiguant de nombreux conseils et nous faisant profiter de sa large expérience. Je lui en suis très reconnaissant.*

*J'adresse mes remerciements les plus sincères à Monsieur le directeur de l'Office Régional de la Mise en Valeur Agricole du Haouz qui m'a ouvert les portes de son service.*

*Mes vifs remerciements s'adressent à Mr. Sghir Fathallah, Ingénieur à l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Haouz (ORMVAh), pour son encadrement exemplaire, sa compréhension et son humanité.*

*J'exprime mes gratitudes à Mme. Khadija Iqizou, Doctorante-chercheuse à la faculté des sciences et techniques Marrakech, département des sciences de la terre qui, et malgré ses occupations, m'a bénéficié de son expérience, son aide, ses conseils et critiques judicieux.*

*Mes remerciements vont à Mr. Saïdi et Mlle. Bourgeoini, Professeurs à la faculté des sciences et techniques Marrakech, département des sciences de la terre. Merci d'avoir accepté de juger ce travail.*

*Je n'oublie pas aussi mes amis (es) pour leur soutien et leurs différents conseils qui m'ont encouragé parfaitement pour atteindre mes objectifs.*

*A tous Merci*

# Sommaire

<b>INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>5</b>
<b>Partie I: Présentation du périmètre de Saada</b>	
<b>I - Contexte géographique et géologique de la région du Haouz .....</b>	<b>7</b>
<b>II - Contexte climatologique et hydrologique de la région du Haouz .....</b>	<b>11</b>
II-1 Climat .....	11
II-2 Hydrologie – Hydrogéologie.....	11
II-2-1 Eau de surface.....	11
III-2-2 Eaux Souterraines .....	12
<b>III - Occupation du sol de la région du Haouz .....</b>	<b>12</b>
<b>VI- Climatologie du périmètre de Saada .....</b>	<b>13</b>
VI-1- Type de climat.....	13
VI-1-1 Indice xérothermique de Gaussen et diagramme Ombrothermique.....	13
VI-1-2 Indice d'aridité de De Martonne.....	15
VI-1-3 Quotient pluviothermique et diagramme d'Emberger.....	16
VI-2 Températures.....	17
VI-3 Précipitations .....	19
<b>Partie II: Cadre hydrochimique du périmètre de Saada</b>	
<b>I - Introduction .....</b>	<b>21</b>
<b>II - Méthodologie.....</b>	<b>21</b>
II -1 Technique d'échantillonnage des eaux.....	21
II -2 Mode opératoire .....	23
<b>III - Résultats et interprétations .....</b>	<b>25</b>
III - 1 Le pH.....	25
III - 2 La conductivité électrique .....	26
III - 3 Les éléments majeurs.....	28
III - 3 -1 Eaux souterraines :.....	28
III - 3 -2 Eaux de surface .....	30
<b>VI- Classification des eaux.....</b>	<b>30</b>
VI- 1 Composition chimique .....	30
VI- 2 Faciès chimique.....	31
VI- 3 Dureté des eaux de la nappe .....	32
VI- 4 Taux d'absorption du Sodium (SAR) .....	34

## **Partie III: Caractérisation des sols de Saada**

<b>I - Introduction .....</b>	<b>37</b>
<b>II - Méthodologie.....</b>	<b>37</b>
II- 1-Technique d'échantillonnage.....	37
II- 2- Mode opératoire.....	38
<b>III- Résultats et interprétations .....</b>	<b>39</b>
III- 1 Mesure du pH du sol .....	39
III- 2 la conductivité électrique.....	40
III- 3 Répartition des éléments majeurs du sol.....	43
III-3 -1 Anions.....	43
III-3 -2 Cations.....	44
<b>VI- Taux de sodium échangeable (Ex changeable Sodium Pourcentage) ESP : .....</b>	<b>45</b>
<b>V- Eaux d'irrigation-sol .....</b>	<b>46</b>
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>48</b>
<b>Recommandations .....</b>	<b>49</b>
<b>Liste des Figures .....</b>	<b>50</b>
<b>Liste des Tableaux .....</b>	<b>51</b>
<b>Liste des Photos .....</b>	<b>51</b>
<b>BIBILLOGRAPHIE.....</b>	<b>52</b>
<b>ANNEXE .....</b>	<b>53</b>

## INTRODUCTION GENERALE

L'accroissement rapide de la démographie ainsi que l'amélioration du niveau de vie des populations engendre un développement économique et social et nécessitent proportionnellement un accroissement des besoins en eau. Toutefois, la sécheresse des années successives accompagnant la rareté et l'irrégularité des apports annuels aussi bien en eaux superficielles qu'en eaux souterraines retardent le développement et posent un sérieux problème de gestion de ces ressources.

Cela se traduit clairement dans notre secteur d'étude (la N2 de Saâda) où le développement économique est basé essentiellement sur l'agriculture nécessitant une mobilisation importante des ressources en eau, qui coïncide en revanche avec l'effet de sécheresse persistante depuis le début des années 1980.

Le présent travail a pour objectif d'étudier la qualité de l'eau et du sol de la zone de Saâda. Elle nécessite une étude multidisciplinaire à savoir la géologie, la climatologie, l'hydrologie, l'hydrogéologie, l'hydrochimie de l'eau... etc.

Pour mener à bien nos objectifs souhaités, l'étude s'est déroulée en 3 étapes :

- La première s'est basée sur une bibliographie exhaustive de la plaine Haouz Central. Les informations ont été rassemblées d'après plusieurs ouvrages, articles et organismes ;
- La deuxième a concerné le travail sur le terrain et vise à faire le maximum de prélèvements d'eau et du sol. Cette étape a été conduite avec la collaboration de l'Office Régionale de Mise en Valeur Agricole du Haouz de Marrakech, et vise à faire le maximum de prélèvements d'eau et du sol ;
- La troisième étape est réalisée au laboratoire de l'ORMVAH de Marrakech. Les échantillons prélevés d'eau et du sol sont soumis à une série d'analyses physico-chimiques.

L'ensemble des données nous a conduit à mieux évaluer la qualité de l'eau et du sol de la zone étudiée.

**PARTIE I**  
**PRESENTATION DU PERIMETRE DE SAADA**  
**(Région du Haouz)**

## I - Contexte géographique et géologique de la région du Haouz

La zone d'étude fait partie du périmètre du Haouz Central, elle est constituée d'un vaste couloir de plaines qui s'allonge d'Est en Ouest en parallèle avec le couloir synclinal au Nord des Jbilettes.

Le secteur d'étude (Fig1) se situe dans la zone de Saâda et plus précisément au niveau du périmètre N2 à 14 km au nord-ouest de Marrakech.

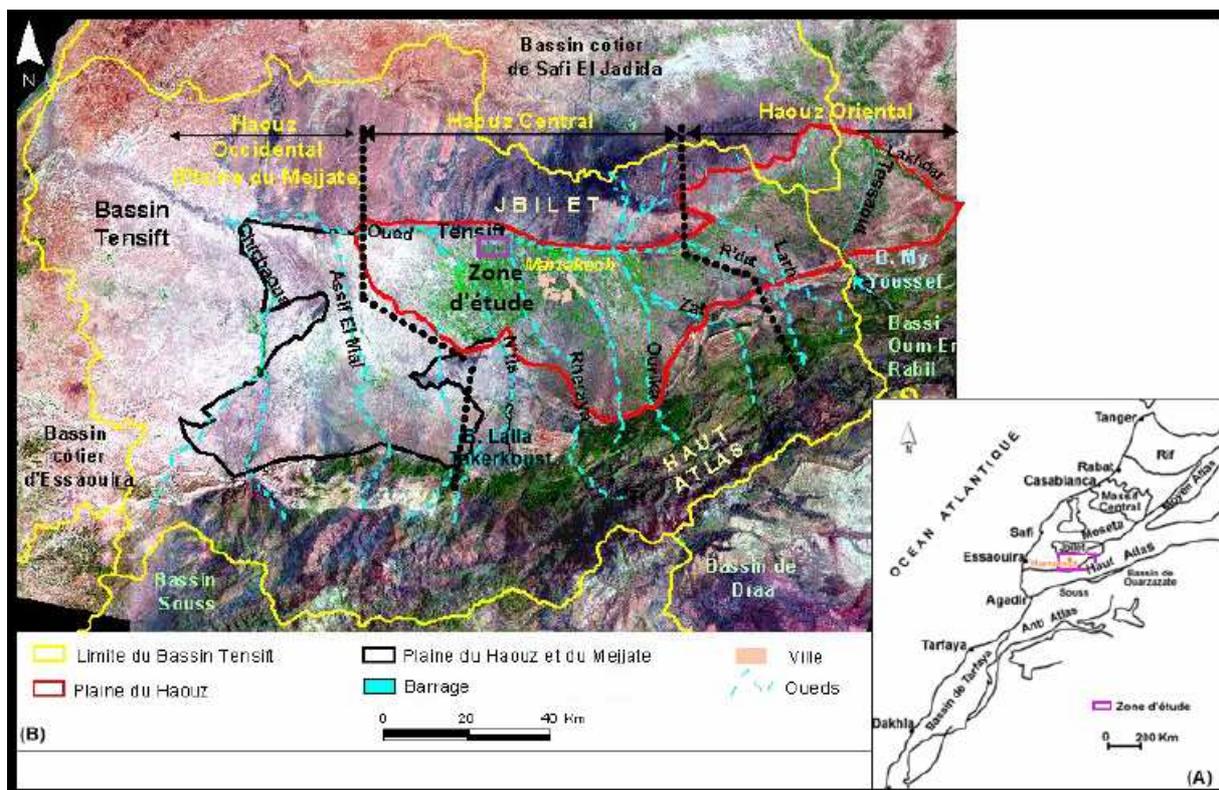
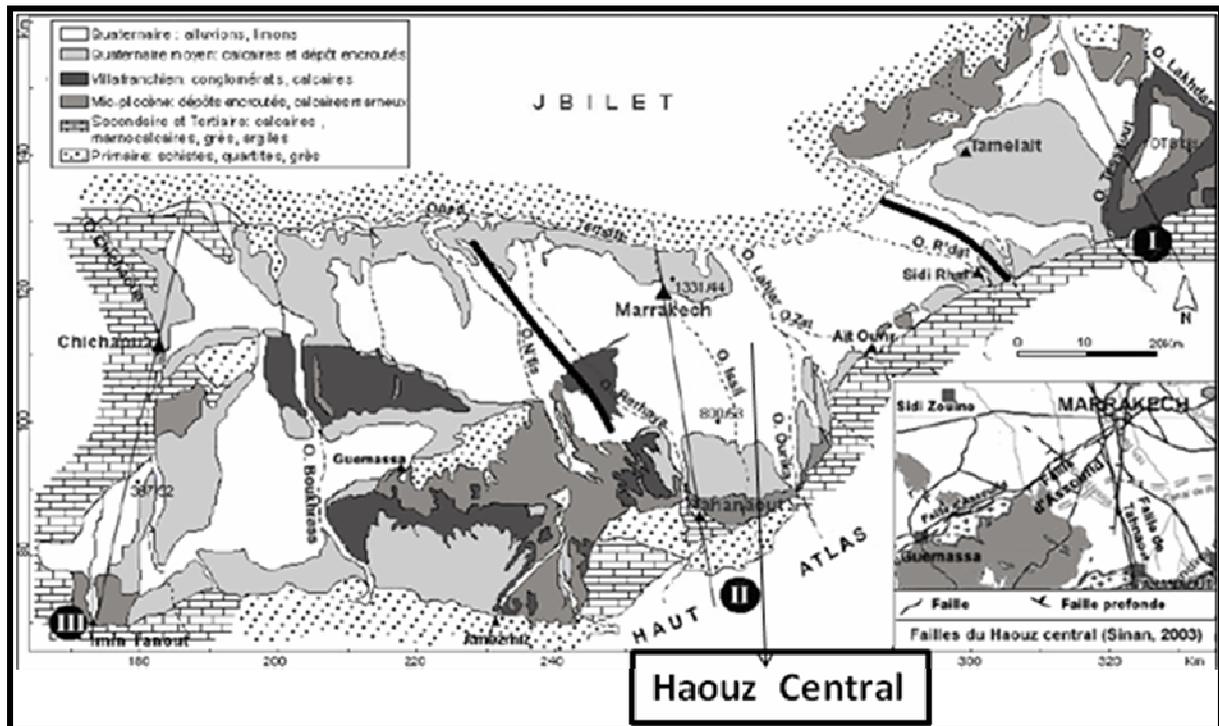


Figure 1: Situation géographique de la zone d'étude. (Sinan, 2000)

Le Haouz Central est une plaine délimitée au Nord par des chaînons des Jbilettes et au Sud par les chaînes montagneuses du Haut Atlas, par l'oued R'Dat à l'Est et par l'oued N'Fis à l'Ouest (Fig 2).



*Figure.2 : Carte géologique simplifié du Haouz (D'après la carte géologique 1/500000 de Marrakech)*

D'après les figures 3 et 4 on trouve les formations suivantes :

#### 1- Paléozoïque :

Les terrains paléozoïques constituent le massif de Jebilet, limite nord du Haouz central et une grande partie du haut Atlas. Ces terrains sont essentiellement formés de schistes, pélites, grès, quartzites et des argiles avec des carbonates au dévonien.

#### 2- Mésozoïque :

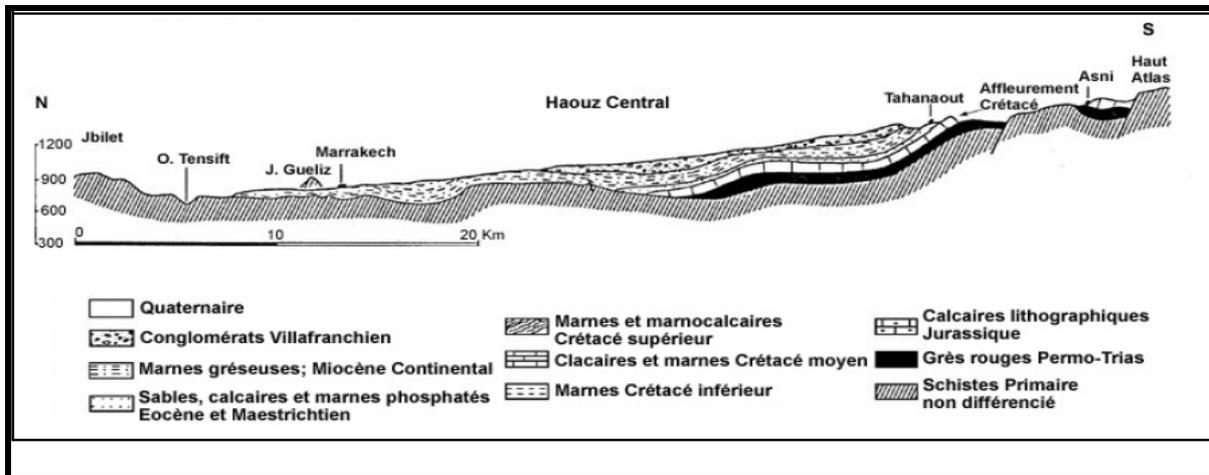
- Permo-Trias :

Les dépôts Permotriasiques sont constitués par une série argilo-salifère épaisse (dépassant les 100 m), surmontée par des coulées de basaltes dolérétiques qui atteignent 200 m d'épaisseur (Sinan, 2000).

- Jurassique :

Le Jurassique inférieur est formé par les silto argileux, et le calcaire dolomitique, calcaire marneux et parfois gypsifère.

Le Jurassique moyen est essentiellement détritique composé de conglomérats, grès et argiles.



*Figure 3 : Coupe géologique à travers le Haouz central et la bordure Nord du Haut Atlas*

*(Ambroggi et Thuile, 1952)*

- Crétacé :

Le Crétacé inférieur est représenté, dans le Haouz central, par de calcaires gréseux à altération jaunâtre (Albien) et le Crétacé moyen par un faciès argileux (Cénomanién) et des calcaires (cénomano-turonien).

Le Crétacé supérieur est représenté par des faciès argileux et des intercalations calcaires(Sénonien).

### 3-Cénozoïque :

- Eocène :

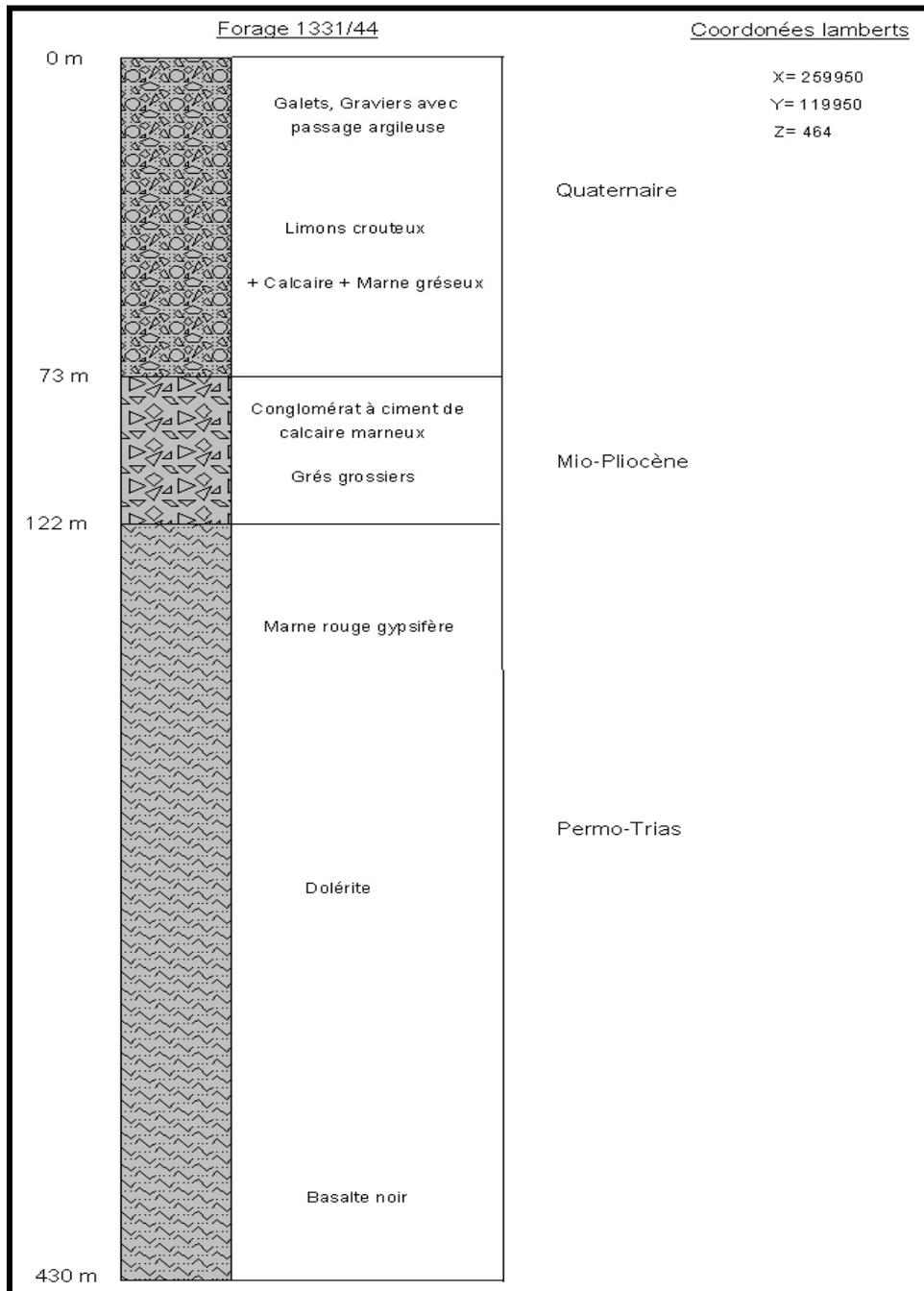
Il constitue le fond des synclinaux, ce sont des calcaires coquillés parfois à silex et de calcaires dolomitiques avec des passages marneux ou gréseux.

- Mio-Pliocène :

Il affleure au sud sous forme de pointements avec un faciès essentiellement conglomératiques et argileux gréseux.

### 4- Quaternaire :

Ses sédiments résultent des produits de démantèlement de la chaîne atlasique. Les dépôts sont constitués essentiellement par des limons crouteux, calcaires avec des marnes gréseuses, argiles et des conglomérats qui affleurent sur des grandes étendues dans le Haouz central.



**Figure 4 : Coupe lithologique du forage minier 1331/44 (Sinan, 2000)**

Le passage de la plaine vers les hauts sommets se fait graduellement. La pente ; très faible et régulière ; de l'ordre de 1% dans la plaine, s'infléchit brusquement pour atteindre progressivement des valeurs très élevées. La plaine de Haouz Central est une plaine de fossé de remplissage formé par des mouvements tectoniques tertiaires lors de la formation de l'Atlas, puis comblé au miocène-Pliocène par les produits de démantèlement de cette chaîne.

Les Oueds atlasiques ont remanié les formations du pliocènes avec des nouveaux apports. A l'amont s'étalent des cailloutis qui forment des cônes de déjection, tandis qu'à l'aval ils déposent des sédiments limoneux.

Les formations de la plaine, constituant les roches mères des sols du Haouz central, sont essentiellement composées de sables fins, de limons roses et des argiles rouges.

## **II - Contexte climatologique et hydrologique de la région du Haouz**

### ***II-1 Climat***

Le climat du Haouz central, chaud et sec, de type continental, est classé à la limite du semi-aride et de l'aride. Il est caractérisé par :

- des pluies faibles et variables avec une moyenne annuelle de l'ordre de 240 mm, pour environ 40 jours de pluie ;
- une température moyenne élevée, avec des écarts journaliers et mensuels importants. La moyenne des maxima (Juillet) est de 37 °C. La moyenne des minima (Janvier) est de 4°C ;
- une hygrométrie faible, la moyenne mensuelle varie de 40 % (Août) à 70 % (Janvier);
- une très forte évaporation, l'évaporation moyenne annuelle est d'environ 2300 mm.

### ***II-2 Hydrologie – Hydrogéologie***

#### **II-2-1 Eaux de surface**

Le réseau hydrographique du Haouz est constitué de l'ensemble des Oueds issus de l'Atlas.

Les eaux des oueds Lakhder et Tessaout sont collectées par l'oued Oun Er Rbia, qui assure leur débouche vers l'océan.

L'oued Tensift, orienté vers l'Ouest et dont le drainage débouche sur l'Atlantique, joue le rôle de colature des eaux de surface.

L'oued N'Fis, ayant un cours d'eau orienté Sud-Nord, comme les autres oueds, accusé des crues pendant la saison pluvieuse.

### **III-2-2 Eaux Souterraines**

On distingue dans le Haouz trois nappes :

- Une nappe à 80m de profondeur avec un débit de 30l/s ;
- Une 2<sup>ème</sup> nappe à une profondeur moyenne de 300m et avec un débit plus faible ;
- Une 3<sup>ème</sup> nappe à plus 500m de profondeur et de débit négligeable.

La première nappe n'est autre que la nappe phréatique du Haouz qui fournit l'essentiel des débits souterrains du Haouz.

Cette nappe alimentée principalement à partir de l'amont par celle des calcaires et dolomie jurassique. Les eaux de réinfiltration des oueds contribuent pour une part non négligeable à son alimentation. Dans la plaine, les pertes des seguias (un système d'irrigation traditionnel par canaux en terre) contribuent pour une part très importante à l'alimentation de la nappe.

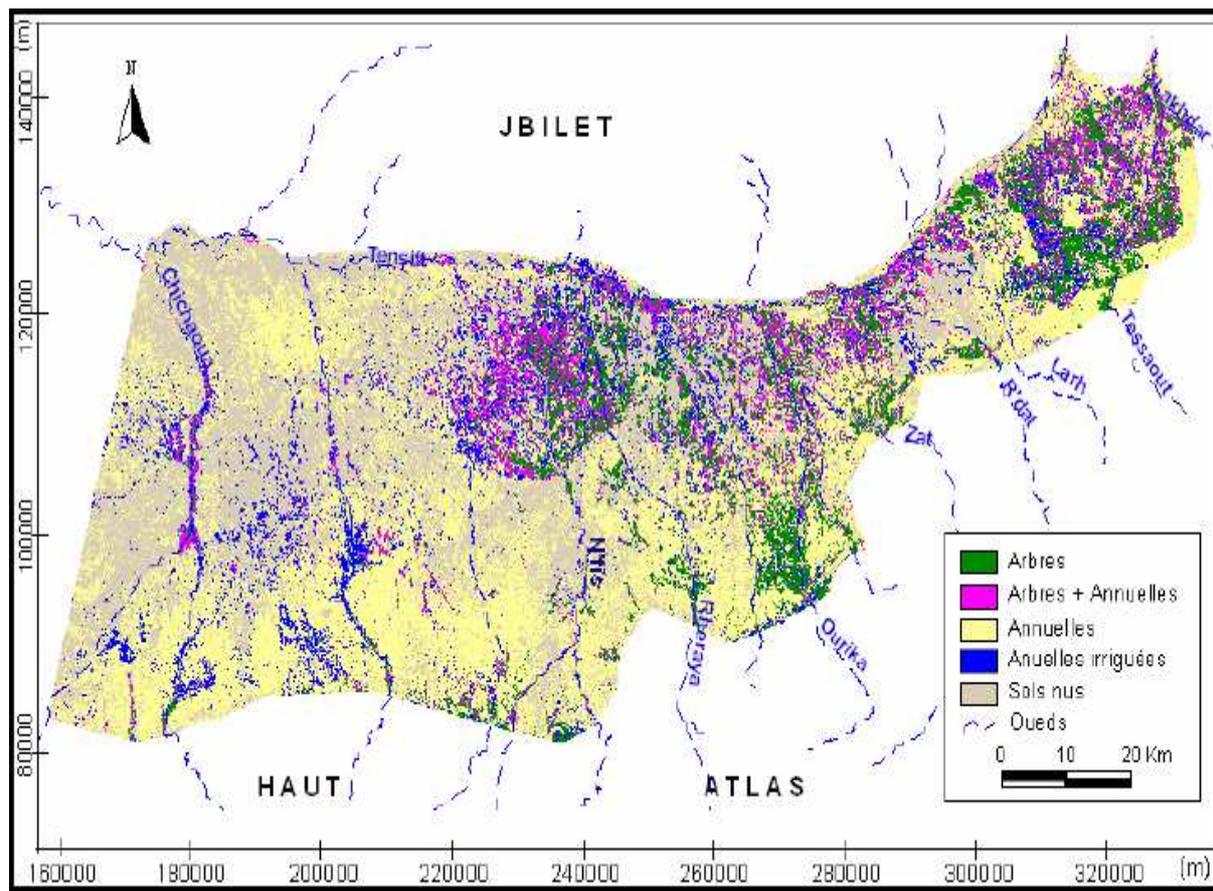
Les eaux de la nappe phréatique sont aussi utilisées pour l'irrigation dans le périmètre.

La commune rurale de Saada occupe une superficie de 16200ha irriguée essentiellement par des eaux de surface, dont 3630ha est irriguée par l'eau du barrage Lalla takerkoust et 12510ha est irriguée par les eaux du barrage Hassan 1er, éventuellement on irrigue par des eaux souterraines affectées par 770 puits.

La zone d'étude N2 correspond à un périmètre d'environ 3150ha qui est irriguée par des eaux de surface provenant du barrage Hassan 1er et par des puits.

### **III - Occupation du sol de la région du Haouz**

Au niveau du périmètre de Haouz central, l'arboriculture fruitière est pratiquée sur 68% du périmètre. Elle est largement dominée par l'olivier sur une superficie de 20700ha, suivi de l'abricotier et les agrumes puis le pommier. Le blé tendre est la céréale la plus cultivées (4410ha) suivi du blé dur, l'orge et le maïs. En totalité les céréales occupent 16% de la superficie du périmètre(Fig5).



*Figure 5 : carte d'occupation du sol (Abourida, 2007)*

Les cultures maraichère occupe environs 1887 ha soit 3,4 % de la superficie totale du Haouz Central. Celle-ci, bien diversifiées, sont dominées par la fève maraichère et la pomme de terre, puis le melon, le petit pois ver, la courgette, la tomate et quelques autres cultures maraichères.

## **VI- Climatologie du périmètre de Saada**

### ***VI-1- Type de climat***

A partir des données de températures et de précipitations dont nous disposons, le calcul de quelques indices d'aridité nous permettra de caractériser le climat de la zone Saâda.

#### **VI-1-1 Indice xérothermique de Gaussen et diagramme Ombrothermique**

L'indice xérothermique de Gaussen définit les mois secs comme ceux où :  $P < 2T$

Avec **P** : La précipitation moyenne mensuelle en mm

Et **T** : La température moyenne du mois correspondant en °C

Les précipitations et les températures mensuelles interannuelles correspondantes sont présentées sur le tableau 1 :

Mois	P (mm)	T°C	2 T°C
<b>Jan</b>	28,4	11,6	23,3
<b>Fev</b>	28,0	13,1	26,2
<b>Mars</b>	<b>28,1</b>	<b>14,9</b>	<b>29,8</b>
<b>Avril</b>	<b>26,7</b>	<b>17,1</b>	<b>34,1</b>
<b>Mai</b>	<b>12,2</b>	<b>20,1</b>	<b>40,1</b>
<b>Juin</b>	<b>2,4</b>	<b>26,9</b>	<b>53,7</b>
<b>Juillet</b>	<b>1,3</b>	<b>28,3</b>	<b>56,6</b>
<b>Aout</b>	<b>2,9</b>	<b>28,1</b>	<b>56,1</b>
<b>Sept</b>	<b>6,7</b>	<b>26,2</b>	<b>52,4</b>
<b>Oct</b>	<b>17,7</b>	<b>19,7</b>	<b>39,3</b>
<b>Nov</b>	28,3	14,1	28,2
<b>Dec</b>	24,0	11,8	23,6

*Tableau 1 : Précipitations et températures moyennes mensuelles à la station Saada.*

On constate que la période sèche à Saâda s'étend du Mars à Octobre, où le total mensuel des précipitations est inférieur au double de la température mensuelle.

Les mois les plus secs à Saada sont encore plus clairs sur le diagramme ombrothermique (figure 6), ils sont couverts par l'ombre d'aridité du graphique. Avec les 12 mois de l'année en abscisse et les précipitations et le double des températures mensuelles en ordonnées :

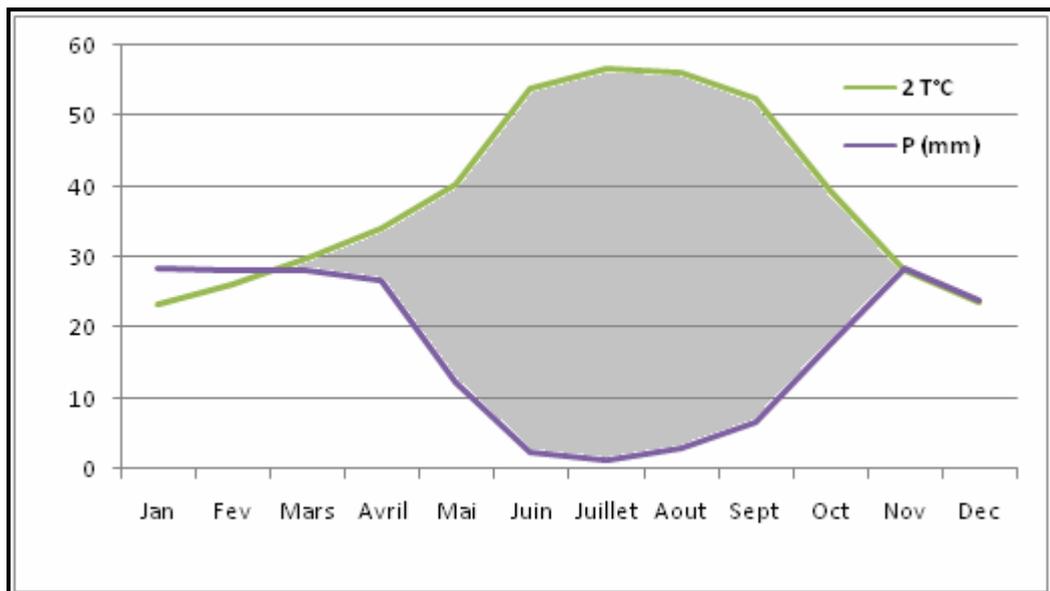


Figure 6 : Le diagramme ombrothermique de la zone Saâda.

### VI-1-2 Indice d'aridité de De Martonne

L'indice d'aridité annuel permet de définir le type de climat d'une station, il s'écrit :

$I = P/(T+10)$  avec : **P** : la moyenne interannuelle des précipitations (en mm)

Et **T** : la température moyenne interannuelle (en °C).

L'aridité est d'autant plus grande que la valeur de I sera plus faible.

Si  $I < 10$ , le climat est aride

Si  $10 \leq I < 20$ , le climat est semi-aride

Si  $20 \leq I < 50$ , le climat est froid, tempéré ou tropical

Si  $I \geq 50$ , le climat est équatorial ou montagnard

• Pour Saâda :

$$I = 206,7 / (19,3 + 10) = 7$$

L'indice d'aridité annuel a donné la valeur de **7** pour Saâda. La région a donc un climat aride.

Dans notre cas on peut également calculer les indices d'aridité mensuels (pour déterminer les mois les plus secs) en utilisant les hauteurs moyennes des précipitations mensuelles (p en mm) et les températures mensuelles interannuelles (t en °C) dans la formule :

$$i = 12p / (t + 10)$$

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau d'indice de Martonne (Tab. 2).

<b>Mois</b>	<b>P (mm)</b>	<b>T (°C)</b>	<b>i</b>
<b>Janvier</b>	28,4	11,6	15,7
<b>Février</b>	28,0	13,1	14,5
<b>Mars</b>	28,1	14,9	13,5
<b>Avril</b>	26,7	17,1	11,8
<b>Mai</b>	12,2	20,1	4,9
<b>Juin</b>	2,4	26,9	0,8
<b>Juillet</b>	1,3	28,3	0,4
<b>Aout</b>	2,9	28,1	0,9
<b>Septembre</b>	6,7	26,2	2,2
<b>Octobre</b>	17,7	19,7	7,2
<b>Novembre</b>	28,3	14,1	14,1
<b>Décembre</b>	24,0	11,8	13,2

**Tableau 2 : Précipitations, températures et indices mensuels de De Martonne à Saada.**

Les mois d'aridité marquée où l'indice de De Martonne est inférieur à 10 s'étendent de Mai à Octobre.

### **VI-1-3 Quotient pluviothermique et diagramme d'Emberger :**

Le diagramme d'Emberger permet de délimiter les étages bioclimatiques et de placer une station dans l'un des étages d'Emberger (humide, subhumide, semi-aride, aride et saharien).

Le quotient pluviothermique s'écrit :

$$Q = 2000 P / (M^2 - m^2)$$

**P** : Précipitations moyennes annuelles en mm.

**M** : Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en Kelvin (°C+273).

**m** : Moyenne des températures minimales du mois le plus froid en Kelvin.

Ce quotient croit avec les hauteurs des précipitations, mais décroît avec les amplitudes thermiques annuelles, c'est-à-dire les différences entre le mois le plus chaud et le mois le plus froid. Pour le cas de Saâda :

$$Q = (2000 * 206,7) / (273 + 37,8)^2 - (3,78 + 273)^2$$

$$Q = 20,7$$

Dans le cas de Saada, la valeur de ce quotient est **20,7**, donc connaissant la moyenne des températures minimales du mois le plus froid ( $m = 3,8^{\circ}\text{C}$ ), on peut donc placer la zone de Saada dans l'étage aride sur le diagramme d'Emberger (Fig. 7).

Les différents indices d'aridité placent donc tous la station de Saâda dans un climat aride caractérisé surtout par une faiblesse des hauteurs annuelles des précipitations.

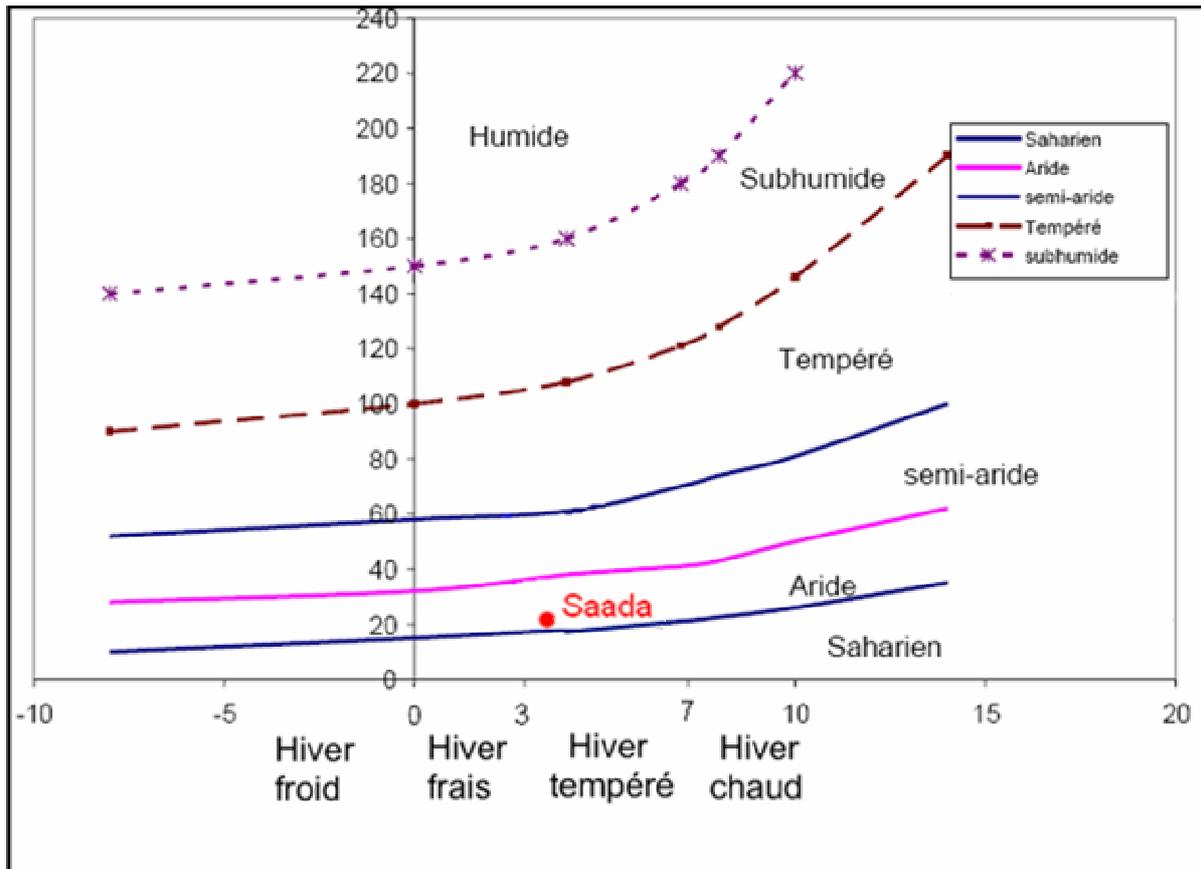
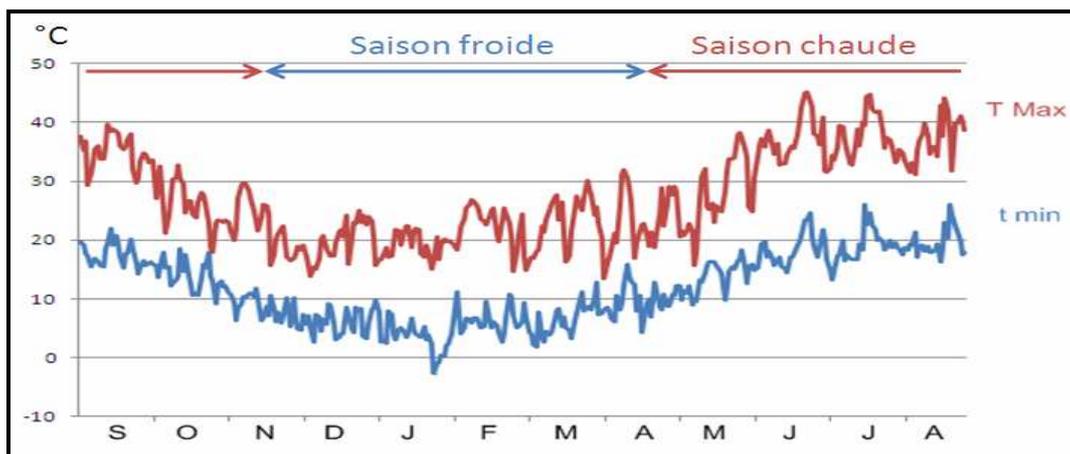


Figure 7 : Moyenne des minimas du mois le plus froid de l'année en °C.

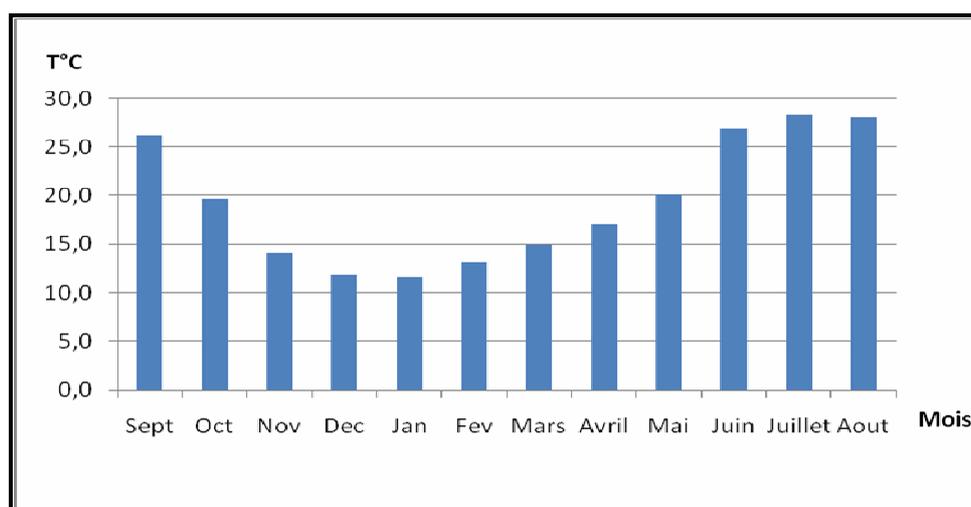
## VI-2 Températures

Les données de températures montrent que ce paramètre climatique est caractérisé par une variabilité interannuelle et surtout intra-annuelle. Il y a un contraste thermique entre l'été et l'hiver qui montre le caractère continental du climat de la zone d'étude.



**Figure. 8 : Variations journalières des températures maximales et minimales pendant l'année 2003-2004.**

Les variations journalières des températures (Fig. 8) montre aussi une assez grande différence entre la température du jour et la température de la nuit ce qui confirme ce caractère continental du climat.



**Figure 9 : Variations des températures de la station de Saâda.**

L'analyse des variations des températures mensuelles (Fig. 9), permet de constater l'existence de deux saisons, une chaude et l'autre froide assez bien constastées.

La température maximale enregistrée au cours du mois de Juillet est de l'ordre de 44°C alors que la température minimale enregistrée en Janvier est de l'ordre de -2°C. L'écart thermique important entre les températures maximales et minimales indique le climat continental qui règne sur la zone de Saada.

### VI-3 Précipitations

Pendant les années d'observations, les pluies sont très variables d'une année à l'autre, avec une moyenne de l'ordre de 206 mm.

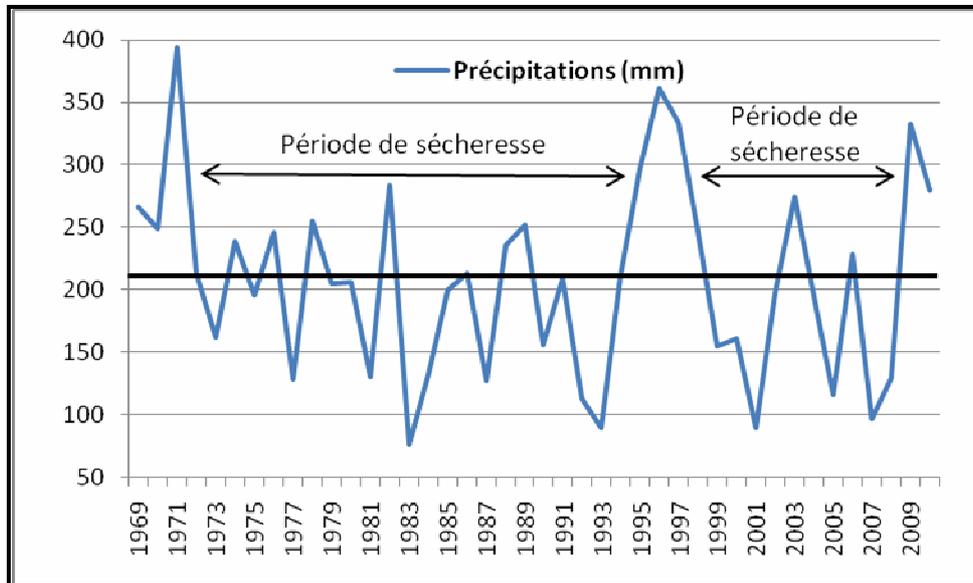


Figure 10 : Variation des précipitations annuelles.

On remarque également un nombre élevé d'années de sécheresse, l'année la plus sèche est celle de 1982-1983 avec un total de 75 mm alors que l'année la plus pluvieuse est celle de 1970-1971 avec un total de 394 mm (Fig.10).

La répartition intra-annuelle des précipitations (Fig. 11) montre l'existence de deux saisons pluviométriques distinctes : une saison humide et une saison sèche.

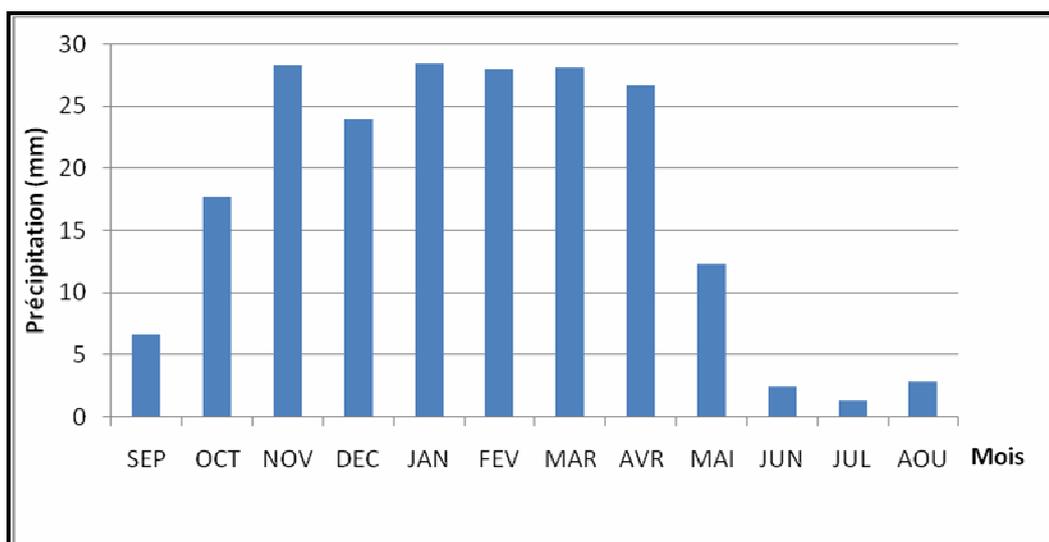


Figure 11: Variation des précipitations moyennes à la station de Saâda de l'année 1968 à 2010.

**PARTIE II**

**CADRE HYDROCHIMIQUE DU PERIMETRE DE SAADA**

## **I - Introduction**

Les ressources hydriques sont soumises à plusieurs contraintes, la rareté, l'irrégularité temporelle, la mauvaise répartition spatiale et la grande vulnérabilité à la sécheresse et à la pollution. La zone d'étude, ne fait pas exception avec ces ressources en eau, autant souterraines que superficielles.

L'altération naturelle de la qualité des eaux souterraines est la conséquence des facteurs de salinité. Tous ce qui défavorise et ralentit le drainage naturel en surface ou dans le sous sol est un facteur de concentration des eaux. On cite les faibles pentes, les basses altitudes, les faibles perméabilités, l'évaporation, la nature lithologique du réservoir....etc. (Boukhari, 2008).

Ce chapitre fait l'objet d'une approche hydrochimique des ressources en eau afin de définir la qualité, les faciès, la composition chimique et les possibilités d'utilisation de l'eau de la zone d'étude pour l'irrigation.

## **II - Méthodologie**

Dans le but d'une caractérisation des eaux d'irrigation et du sol dans la zone d'étude, nous avons réalisé une campagne d'échantillonnage durant le mois de juillet 2010, nous étions dans l'obligation de répartir nos points de prélèvement dans le périmètre choisi.

Au total, 13 échantillons des eaux souterraines et 3 échantillons des eaux superficielles ont été prélevés, en parallèle de l'échantillonnage des eaux, nous avons effectué des prélèvements du sol des parcelles irriguées par ces eaux (Fig.12).

### ***II -1 Technique d'échantillonnage des eaux***

La technique d'échantillonnage détermine la fiabilité des résultats. La répartition des échantillons était en fonction de la disponibilité d'un point d'eau d'irrigation et une borne répartition dans le secteur étudié. (Fig. 12)

Les échantillons des eaux souterraines ont été prélevés à partir des puits traditionnels et les eaux superficielles à partir des bornes. Ces eaux prélevées étaient échantillonnées dans des bouteilles en plastique bien fermées, nommées par des codes et conservées dans une glacière jusqu'au moment d'analyse.



Le but de notre étude est la caractérisation des eaux d'irrigation. Pour cela, des analyses physico-chimiques de l'eau d'irrigation ont été effectuées au laboratoire de pédologie de l'OROMVA du Haouz.

Les paramètres mesurés sont portés sur la conductivité, le pH et sur les éléments majeurs à savoir :  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  et  $\text{SO}_4^{2-}$ .

## ***II -2 Mode opératoire***

- **Le pH** : Il permet de déterminer l'acidité d'une eau : il se mesure à l'aide d'un pH-mètre.
- **La conductivité électrique** : Elle permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation totale de l'eau. Elle a été réalisée sur le terrain et au laboratoire à l'aide d'un conductivimètre (photo, 2).
- **Le bilan ionique de l'eau** : L'analyse chimique des eaux se fait par le dosage volumétrique pour les chlorures, les bicarbonates, les carbonates, le calcium et le magnésium) et par Spectrophotométrie à flamme pour le sodium, le potassium et les sulfates. Les méthodes de dosage ci-après décrites ont été tirées de Jackson (1965) et Rodier (1984).

**A- Les chlorures** : les ions  $\text{Cl}^-$  sont dosés par une solution titrée de nitrate d'argent ( $\text{AgNO}_3$ , 0.02N) en présence de chromate de potassium ( $\text{KCrO}_4$ ). Les chlorures vont se précipiter sous forme de chlorure d'Argent ( $\text{AgCl}$ ) (photo1).

- Calcul

$$\text{mg /L} = V(\text{AgNO}_3) * 5 * 35,5$$

**B - Les bicarbonates** : les eaux naturelles ont un pH neutre, ce qui correspond à la zone de stabilité des ions  $\text{HCO}_3^-$ , les ions  $\text{CO}_3^{2-}$  sont absents. Le dosage des  $\text{HCO}_3^-$  se fait par acidimétrie à l'aide d'une solution d'acide sulfurique  $\text{H}_2\text{SO}_4$  à 0.02N. L'indicateur coloré utilisé est le vert de Bromocrésol qui donne une couleur bleue.

- Calcul

Soient, n (mL) volume d'acide sulfurique versé dans le dosage de carbonates, et N (mL) volume d'acide sulfurique versé dans le dosage de bicarbonates.

S'il n'y a pas de carbonates:

$$\text{m\acute{e}q (HCO}_3^-)/\text{L} = \text{N (mL)} * 0,02 * 1000 * 0,1 = \text{N (mL)} * 2 * 61 \text{ (mg/L)}$$

**C - *Le calcium*** : il se dose par complexométrie dans un milieu alcalin à pH = 10 en présence de la soude (NaOH)). Nous titrons par l'acide éthylène diamine tétraacétique (E.D.T.A.), avec le murexide comme indicateur coloré.

- Calcul

Soit n (mL) le volume d'EDTA ajouté (0,02N)

$$\text{m\acute{e}q (Ca}^{2+}/\text{L)} = \text{n (mL)} * 0,02 * 0,1 * 1000 = 2\text{n}$$

$$\text{mg (Ca}^{2+}/\text{L)} = 2\text{n} * 20$$

**D - *Le Magnésium*** : les teneurs en ions  $\text{Mg}^{2+}$  sont calculées par la différence de la dureté totale et du Calcium exprimés en m\acute{e}q/l.

- Calcul

Soit N (mL) le volume d'EDTA (0,02N) versé.

$$\text{m\acute{e}q (Mg}^{2+} / \text{l)} = ((\text{N}-\text{n}) * 0,02 / 10) * 1000 = 2(\text{N}-\text{n})$$

$$\text{mg (Mg}^{2+} / \text{l)} = 2(\text{N}-\text{n}) * 24$$

**E - *le Sodium et le Potassium*** : le dosage de ces deux ions se base sur la méthode de spectrophotométrie à flamme. Son principe se base sur la dissociation des atomes pendant leur passage dans la flamme, et qui émettent de l'énergie à leur excitation. Chaque élément va émettre une longueur d'onde bien précise qui sera détectée par des filtres optiques de chaque élément. Le principe consiste à réaliser une courbe d'étalonnage de l'élément à doser avec des concentrations connues, puis évaporer dans la flamme du photomètre l'eau à analyser et déterminer la teneur du  $\text{Na}^+$  ou  $\text{K}^+$  en connaissant la longueur d'onde d'absorption de chacun d'eux.

- Calcul

$$\text{mg Na}^+ \text{ par litre} = \text{meq Na}^+ / \text{litre} * 23$$

$$\text{mg K}^+ \text{ par litre} = \text{meq K}^+ / \text{litre} * 39$$

**F - *Les sulfates*** : ils sont analysés à l'aide de chlorure de Barium stabilisé (Cl Ba), on agite 2 à 3 fois, après 15 secondes, on agite encore une fois et on fait la lecture au spectrophotomètre à 650 nm. Pour 39ml la courbe donne directement la teneur en  $\text{SO}_4^{2-}$  en mg/l.

- Calcul

Soient :

N ml de complexon III N/50 utilisés pour complexer (Ca + Mg).

V ml utilisés pour complexer Ca + Mg + Ba en excès + Mg ajouté.

T ml utilisés pour complexer Ba et Mg.

meq SO<sub>4</sub> par litre = ((t + N) - v) \* 2

mg SO<sub>4</sub> par litre = 2 \* (t + N) - v) \* 48



Photo n°1 : Dosage des chlorures (Labo ORMVA du Haouz) Photo n°2 : Mesure de la conductivité de l'eau (Labo ORMVAH)

### III - Résultats et interprétations

#### III - 1 Le pH

Le pH (potentiel Hydrogène) mesure l'activité en ions H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14. Ce paramètre se mesure par un pH-mètre (photo 3). Il conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques, et dépend de facteurs multiples dont la température et l'origine de l'eau.

Le pH des eaux souterraines est compris entre 7,33 et 8,14, à noter que 77% de ces eaux sont légèrement alcalines et 23% sont alcalines.

Concernant les eaux de surface, ce sont des eaux alcalines avec un pH de 8,1 pour tous les échantillons (Annexe, Tab. 1).



Photo n°3 : pH-mètre (Labo ORMVA du Haouz)

### III - 2 La conductivité électrique

C'est un paramètre physique très important, car il traduit le degré de minéralisation des eaux. Il permet d'avoir rapidement l'ordre de la minéralisation globale de l'eau, son unité est le dS/m (Décimens par mètre). Afin de déterminer la concentration des sels solubles dans l'eau, on applique la relation suivante :

$$CE \text{ (mmhos/cm)} = \text{lecture (ms/cm)} * 1.105$$

$$CE \text{ (mmhos/cm)} * 0,64 = \text{la concentration en sels solubles dans l'eau (g /L)}.$$

Les résultats obtenus (Tab. 3) montrent que les eaux de la nappe ont une conductivité électrique comprise entre 0,57 dS/cm et 1,6 dS/cm avec une moyenne de 1,06 dS/cm.

Nature d'eau	N° Echantillon	Conductivité		
		dS/m	mmhos/cm	g/L
Eau souterraine	1	1,53	1,69	1,08
Eau de surface	2	0,54	0,60	0,38
Eau de surface	3	0,56	0,62	0,40
Eau souterraine	4	0,72	0,80	0,51
Eau souterraine	5	1,02	1,13	0,72
Eau souterraine	6	1	1,11	0,71
Eau de surface	7	0,56	0,62	0,40
Eau souterraine	8	1,45	1,60	1,03
Eau souterraine	9	1,06	1,17	0,75
Eau souterraine	10	1,6	1,77	1,13
Eau souterraine	11	0,59	0,65	0,42
Eau souterraine	12	0,57	0,63	0,40
Eau souterraine	13	0,57	0,63	0,40
Eau souterraine	14	1,14	1,26	0,81
Eau souterraine	15	0,9	0,99	0,64
Eau souterraine	16	1,6	1,77	1,13

Tableau 3 : Conductivité électrique des eaux de la zone Saâda.

Risque	Total dissous (mg/L)	mmhos/cm
Nul	<500	<0.75
Legers	500-1000	0.75-1.5
Modéré	1000-2000	1.5-3.00
Sévère	>2000	>3.0

**Tableau 4 : Risque de salinité des eaux d'irrigation en fonctions de la conductivité électrique**

Source : <http://www.lenntech.fr/applications/irrigation/salinite/irrigation/salinite-risque-irrigation.htm>

**Eau de la nappe** : Selon le tableau de risque de salinité (Tab. 4) nous avons pu distinguer 3 types d'eaux :

- Des eaux de conductivité électrique inférieure à 0,75 mmhos/cm soit un total de sels solubles inférieur à 0,5 g/l, ce sont des eaux non salines de bonne qualité pour l'irrigation. Ces eaux sont représentées par les échantillons N° 11, 12 et 13. (Tab. 3)
- Des eaux de conductivité électrique comprise entre 0,75 mmhos/cm et 1,5 mmhos/cm soit un total de sels solubles compris entre 0,5 g/l et 1 g/l, présentent une eau de qualité légèrement saline.
- Des eaux de conductivité électrique comprise entre 1,5 mmhos/cm et 3 mmhos/cm, soit un total de sels solubles compris entre 1 g/l et 2 g/l, ce sont des eaux de salinité modéré. Ces eaux sont représentées par les échantillons suivants : 8, 10 et 16. (Tab. 3)

La carte de la conductivité électrique (Fig. 13b) de la nappe du périmètre de Saâda montre l'existence de trois zones de trois qualités d'eaux différentes qui ont été classé selon les normes du risque de la salinité (Tab. 4).

- Une zone où les eaux d'irrigation légèrement saline avec une extension très large le long du périmètre.
- Une zone des eaux de salinité modérée répartie au nord, au sud et au centre.
- Une zone très réduite des eaux non saline située au Nord entre ces deux zones.

On trouve la même répartition illustrée par la carte du résidu sec (Fig. 13a).

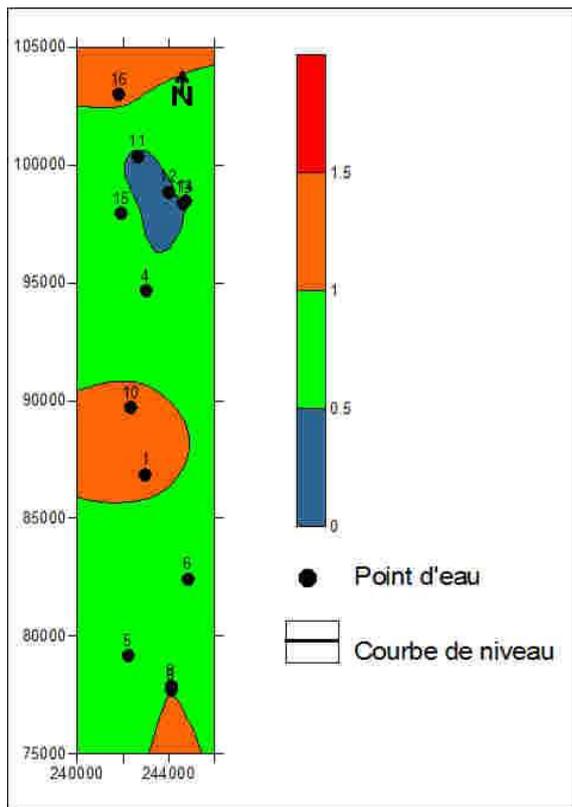


Figure 13a: Carte du résidu sec en g/l des eaux de la nappe de Saâda.

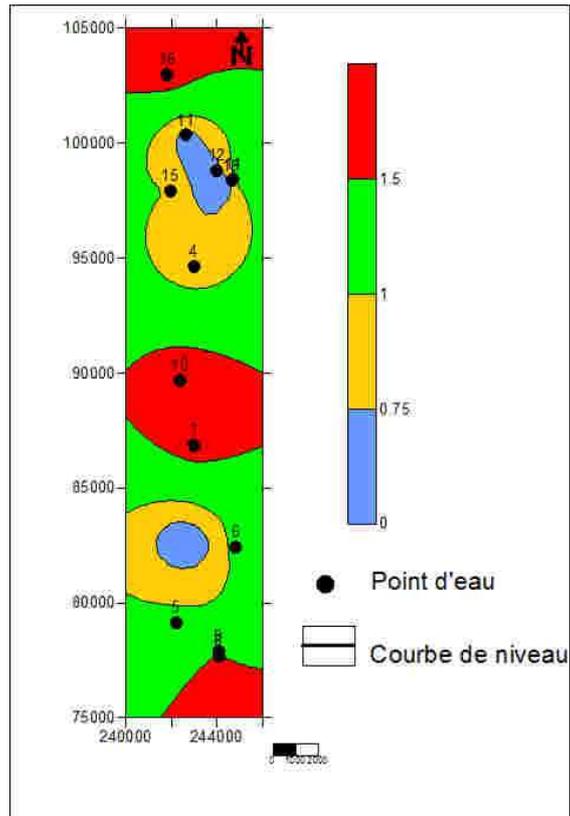


Figure 13b: Carte de la conductivité électrique en mmhos/cm des Eaux de la nappe de Saâda.

**Les eaux de surface :** Les eaux superficielles de la zone Saâda trouvent leur source du barrage du Hassan 1<sup>er</sup> représentées par les échantillons N° 2, 3 et 7 prélevés des bornes, ils se caractérisent par une conductivité électrique de 0,62 mmhos/cm soit un total de sels solubles ne dépassent pas 0,5 g/l. Ce sont des eaux de conductivité électrique faible par rapport aux eaux de la nappe et qui ont une qualité très bonne pour l'irrigation aussi que pour la potabilité.

### ***III - 3 Les éléments majeurs***

Les résultats des analyses sont consignés dans le tableau où les concentrations sont exprimées en milliéquivalent (meq /l) et qui présente des valeurs très diversifiées des éléments majeurs.

#### **III - 3 -1 Eaux souterraines :**

##### **A- Les anions :**

Le résultats des analyses (Annexe,Tab. 1) montre une concentration élevée des chlorures qui varie de 2,5 meq/l à 8 meq/l avec une moyenne de 5,61 meq/l(Tab. 5). Le diagramme de concentrations des anions confirme cette augmentation par rapport aux autres

anions, les bicarbonates et les sulfates ont des teneurs assez proches et légèrement élevés (Fig. 14).

	Faible	Moyenne	Forte
<b>Chlorures</b>	2,5	5,61	8
<b>Bicarbonates</b>	2,4	4,6	6,6
<b>sulfates</b>	3	4,51	6,1

Tableau 5 : Intervalles de concentrations des anions en meq/l .

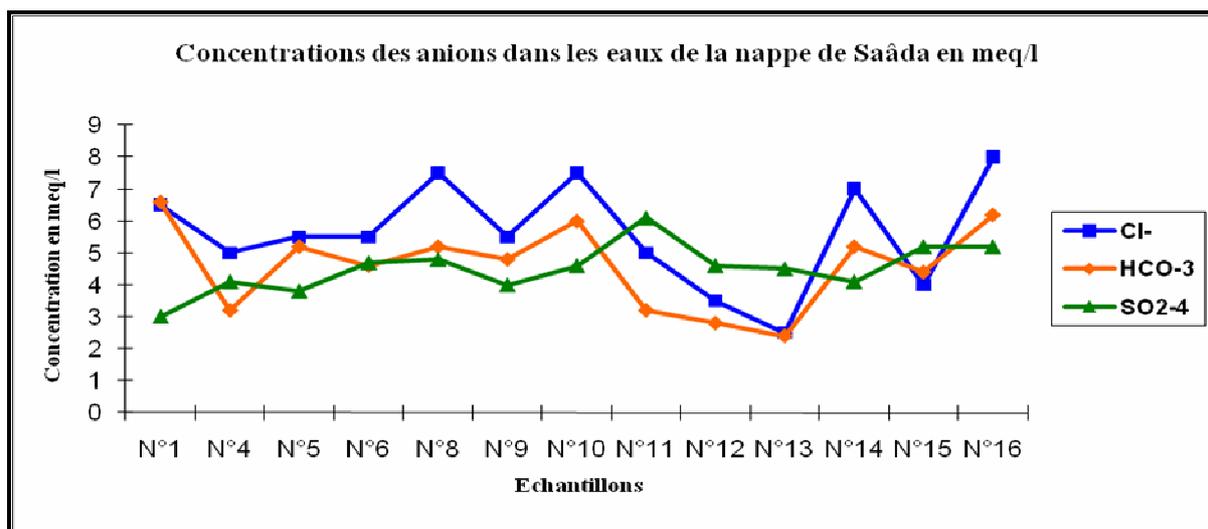


Figure 14 : Concentrations des anions des eaux de la nappe de Saâda en meq/l.

➤ **Les cations :**

Les concentrations des cations est illustrées par la figure 15 qui montre que le cation le plus abondant par rapport aux autres est le calcium qui présente des concentrations qui varient entre 0,6 meq/l et 2,6 meq/l avec une moyenne de 1,51 meq/l(Tab.6), cet enrichissement en calcium est dû à l'existence des formations d'encroûtements de calcaires appartenant au miopliocène.

Le Magnésium présent par des concentrations moyenne par rapport à la concentration totale des cations, suivi par le sodium, ce dernier se trouve dans les eaux de la nappe en faible teneur. Alors que le potassium est très faible avec des teneurs qui ne dépasse pas 0,3 meq/l (Tab. 6).

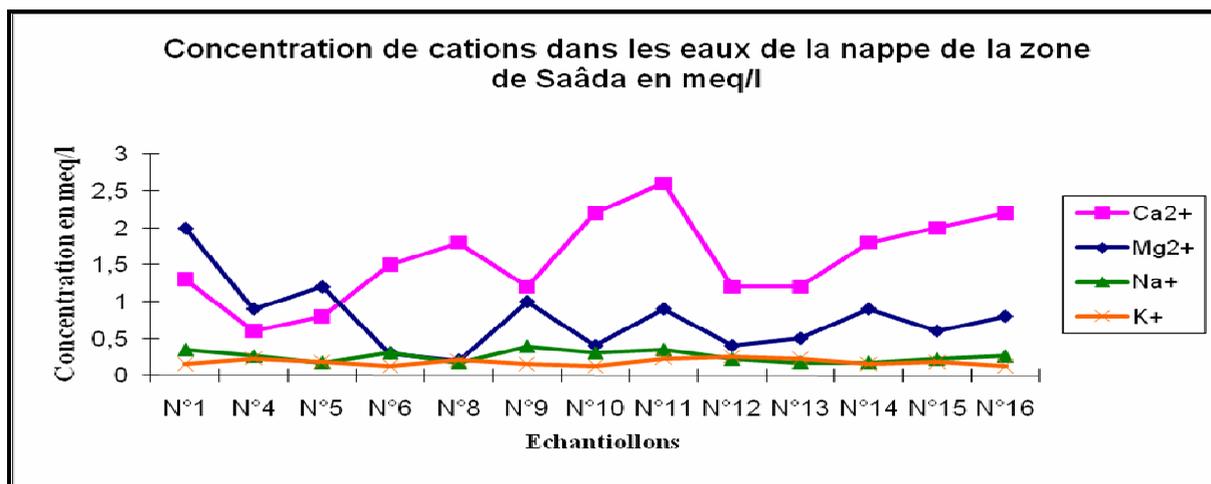


Figure.15 : Concentrations des cations des eaux de la nappe de Saâda en meq/l.

	Faible	Moyenne	Forte
<b>Calcium</b>	0,6	1,51	2,6
<b>Magnésium</b>	0,3	0,77	2
<b>Potassium</b>	0,17	0,26	0,39
<b>Sodium</b>	0,13	0,18	0,26

Tableau 6: Intervalles de concentrations des cations en meq/l.

### III - 3 -2 Eaux de surface

Concernant les concentrations des ions majeurs dans les eaux superficielles, elles présentent des teneurs très faibles pour tous les éléments analysés(Annexe. Tab 1).

## VI- Classification des eaux

### VI- 1 Composition chimique

Pour mieux avoir une idée sur la chimie des eaux de la nappe de Saâda, nous avons réalisé un diagramme radial (Fig. 16) à partir des moyennes des éléments majeurs analysés en mg/l. Ce diagramme montre que ces eaux ont des teneurs :

- Elevées en : Chlorures ;
- Moyennes en : Sulfates et Bicarbonates ;
- Faibles en : Potassium et Magnésium et Calcium, Sodium.

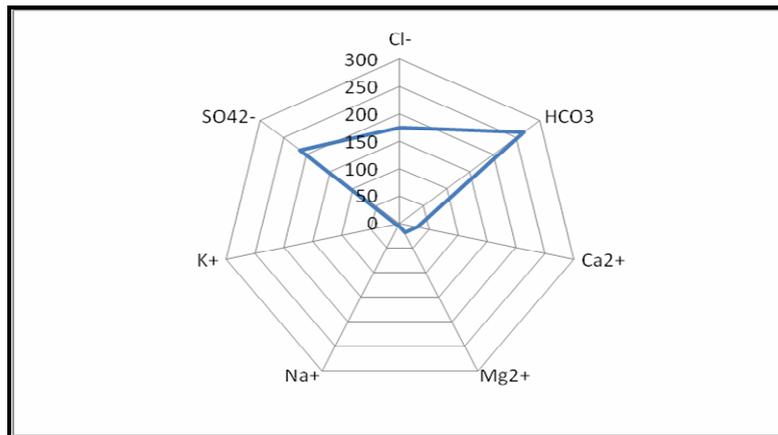


Figure 16 Composition chimique des eaux de la nappe de Saada.

## VI- 2 Faciès chimique

Afin de déterminer le faciès chimique des eaux de la nappe de Saada, on a utilisé le diagramme de Piper et Schöeller Berkhaloff. L'analyse de ces deux diagrammes (Fig. 17, 18) montre que les eaux de la nappe de Saada présentent un faciès chloruré, sulfaté calcique et magnésien.

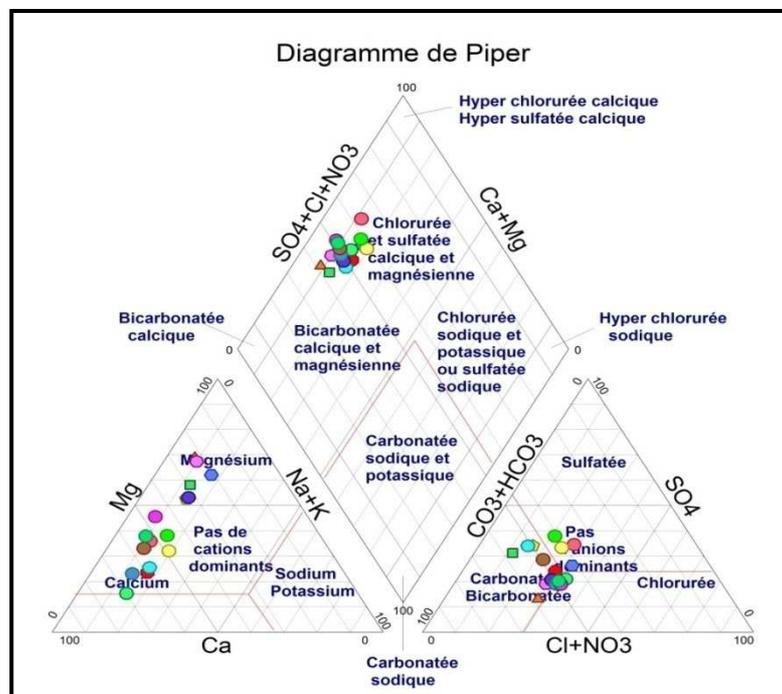
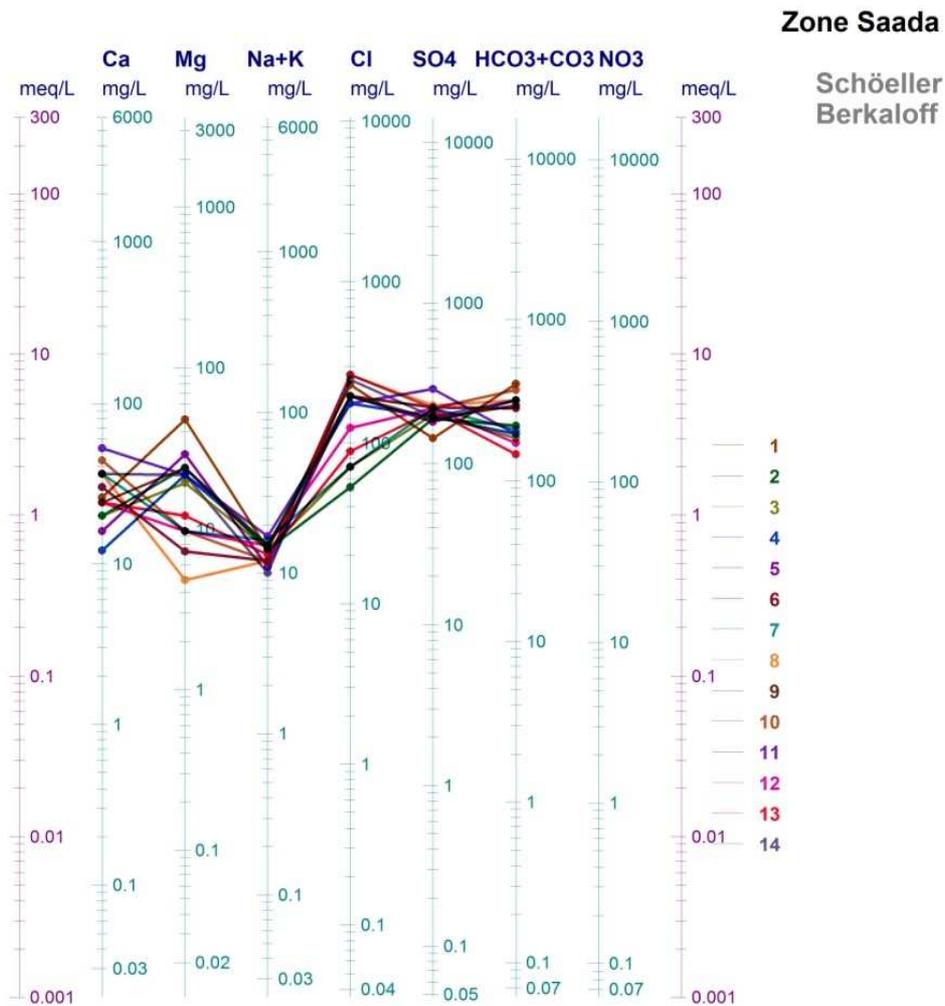


Figure 17: Diagramme de Piper des eaux échantillonnés de la nappe de Saada.



**Figure 18: Diagramme de Schöeller Berkaloff des eaux échantillonnées de la nappe de Saâda.**

### ***VI- 3 Dureté des eaux de la nappe***

La dureté d'une eau est due essentiellement à la présence des sels de calcium et de magnésium. L'origine du  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  est attribuée à la dissolution des roches calcaires et dolomitiques en présence de  $\text{CO}_2$  provenant de l'atmosphère et des couches superficielles du sol (TARDAT-HENRY & BEAUDRY, 1984). Le calcium et le magnésium sont des éléments très solubles à l'état naturel et ils possèdent une grande mobilité aquatique.

Il existe plusieurs manières d'exprimer la dureté, dans nos calculs on a utilisé le degré hydrotimétrique, avec  $1^\circ\text{F} = 10\text{mg/l}$  de  $\text{CaCO}_3$ . Elle est calculée par la formule suivante :

$$\text{TH} = (\text{Ca} + \text{Mg}) * 5$$

Où  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  sont exprimés en meq/l.

Caractérisation	Dureté en °F
Douce	3 à 15
Dure	15 à 30
Très dure	>30

**Tableau.7 : Classification de la dureté utilisée au Maroc (Ouyse, 2005).**

- Interprétation :

Les eaux de la nappe Saâda se classent dans la catégorie des eaux douce à dure, faiblement chargées en ions bivalent ( $Mg_2^+$ ,  $Ca_2^+$ ) (Tab 8). Ce résultat n'est pas étonnant, si on sait qu'il y a des formations géologiques de nature calcaire dans la zone d'étude.

Comme le pH, la dureté des eaux est due à la dissolution des carbonates et de calcium contenus dans les roches calcaires (Ouyse, 2005).

<i>N° Echantillon</i>	TH en °F	Caractérisation
1	16,5	Dure
2	10	Douce
3	9	Douce
4	7,5	Douce
5	10	Douce
6	9	Douce
7	11	Douce
8	10	Douce
9	11	Douce
10	13	Douce
11	17,5	Dure
12	8	Douce
13	8,5	Douce
14	13,5	Douce
15	13	Douce
16	15	Dure

**Tableau 8 : Dureté des eaux de Saâda.**

#### **VI- 4 Taux d'absorption du Sodium (SAR)**

Pour maintenir les conditions d'infiltration adéquates dans les sols irrigués, il faut veiller à empêcher les complexes d'échange du sol de se charger en  $\text{Na}^+$ . On exprime le danger de sodicité d'une eau d'irrigation par le SAR (Sodium Absorption Ratio),

$$\text{SAR} = \text{Na} / [(\text{Ca} + \text{Mg}) / 2]^{1/2}$$

Où  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  sont exprimés en meq/l.

Le sodium échangeable a une incidence marquée sur les propriétés physiques et chimiques des sols. A mesure que la teneur en eau échangeable augmente, le sol a tendance à se disperser, il devient moins perméable à l'eau et ne prête guère aux pratiques culturales (Ouyssé, 2005). L'eau d'irrigation stagne alors à la surface du sol et ne parvient plus jusqu'aux racines. Le calcul de ce paramètre va nous permettre d'apprécier la dégradation éventuelle de la structure du sol et l'altération de ses qualités physiques.

- **Interprétation :**

D'après les résultats concernant le SAR (Annexe, Tab 1), on constate que la proportion du sodium adsorbée est comprise entre 0,15 et 0,32, ce qui affirme un très faible apport du sodium à la solution du sol selon la classification du SAR (Tab. 9).

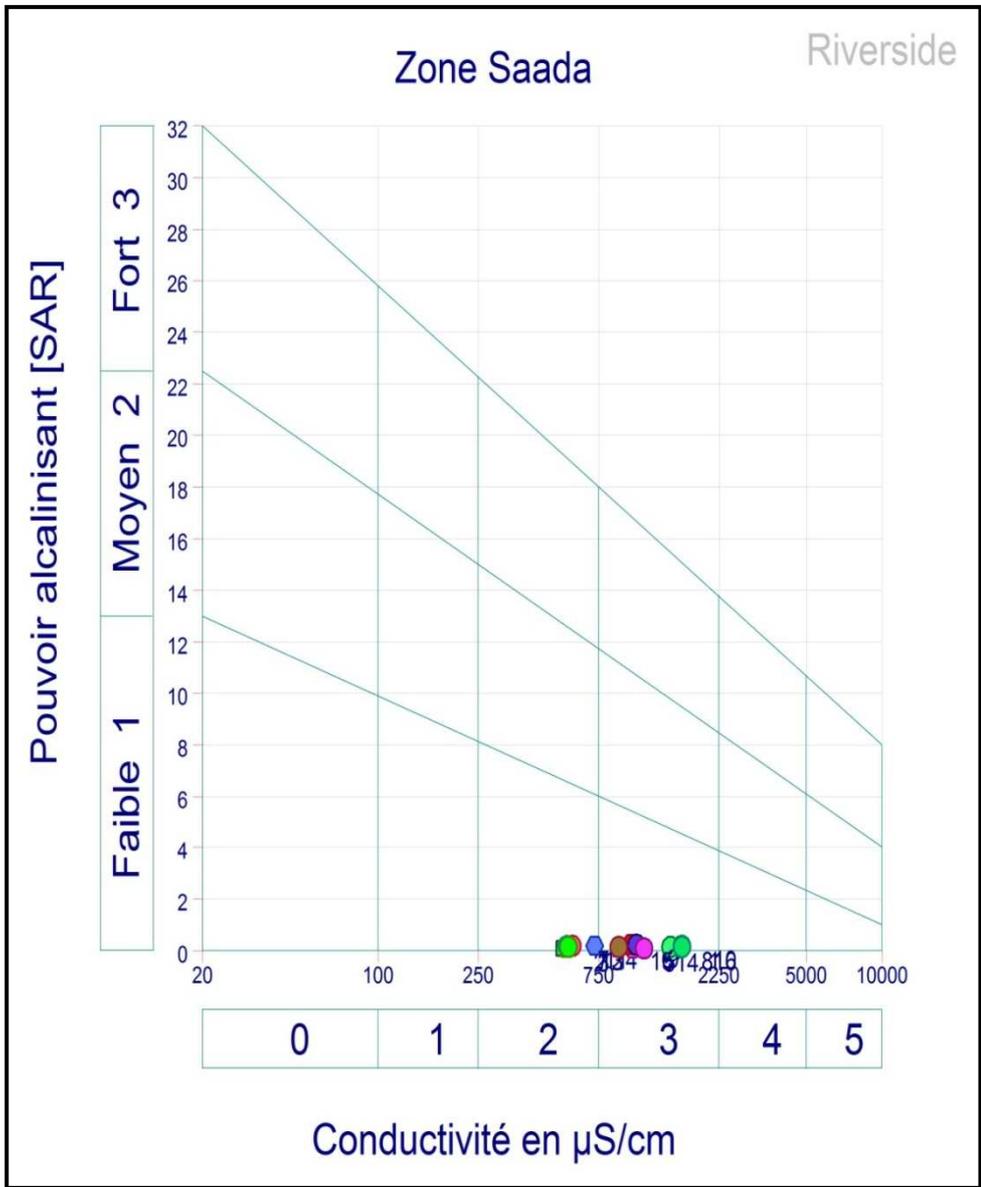
<b>SAR</b>	<b>Risque</b>
<10	faible
10<SAR<18	moyen
10<SAR<18	élevé
>26	Très élevé

**Tableau 9 : Classement selon le SAR**

Source : <http://hydram.epfl.ch/docs/Irrigation-basic.pdf>

- Les points d'eaux échantillonnés dans le secteur de Saâda sont très peu alcalinisantes.

D'après le diagramme de Riverside, on remarque que les eaux exploitées dans le secteur de Saâda se placent dans la classe C3-S1, cette dernière est caractérisée par une qualité moyenne à médiocre selon (Mermoud.A, 2006), ces eaux présentent des faibles teneurs en Sodium et une faible conductivité. A utiliser avec précaution et nécessité de drainage avec dose de lessivage et/ou apport de gypse.



**Figure 19 : Qualité de l'eau de Saâda (D'après le Diagramme du laboratoire de Riverside, 1954).**

**PARTIE III**

**CARACTERISATION DES SOLS DE SAADA**

## **I - Introduction**

L'analyse du sol consiste en un ensemble d'opérations successives physique et chimique. Avant de développer ces types d'analyses, il faut tout d'abord commencer par l'opération critique dans l'analyse du sol : c'est l'échantillonnage et le prélèvement d'échantillon de sol ont l'importance n'est pas toujours bien perçue par l'opérateur. Si l'analyse au laboratoire revêt une grande importance, l'échantillonnage et les prélèvements d'échantillons reste la première des conditions pour gérer correctement les apports en fertilisants. Le résultat est une quantité du sol représentative de conditions hétérogènes.

## **II - Méthodologie**

Des échantillons de sols ont été effectués en parallèle de l'échantillonnage des eaux, nous avons effectué des prélèvements du sol des parcelles irriguées par ces eaux (Fig.12).

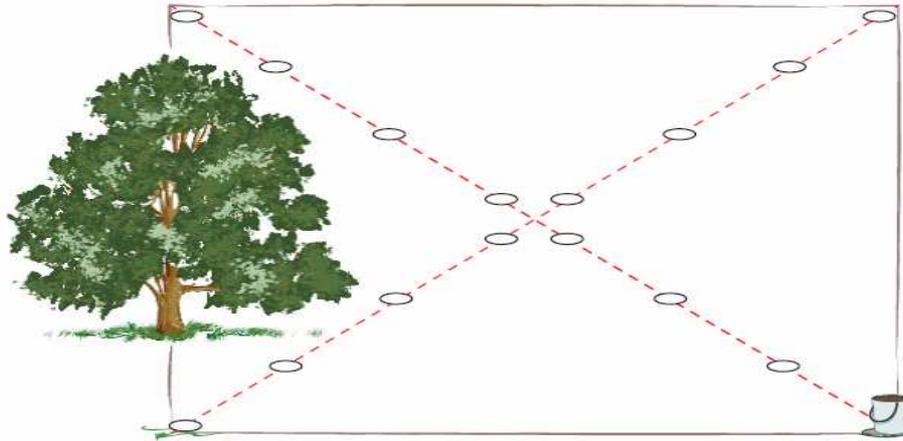
Afin d'étudier une caractérisation a l'échelle verticale, nous avons procédé à un prélèvement à l'aide d'une tarière agricole dans les horizons 0-20 cm et 20-40 cm, soit en total 26 échantillons du sol on été prélevés.

### ***II- 1-Technique d'échantillonnage***

L'échantillonnage c'est le prélèvement de plusieurs échantillons de sol afin de faire des analyses chimiques et physiques, cette opération détermine la fiabilité des résultats. Pour des raisons d'homogénéité il est recommandé des subdiviser notre champ selon sa couleur, son orientation de la pente et ses pratiques cultures.

- Matériel :
  - Tarière.
  - Plusieurs cuvettes ou seaux.
  - Sac plastique épais.
  - Couteau.

Plusieurs prélèvements élémentaires doivent être effectués dans un champ pour obtenir un résultat fiable, on a procédé à des prélèvements selon la diagonale.



**Figure 20 : Méthode de prélèvement en diagonale**

Prélèvement en diagonale (Fig 20): marcher en suivant les diagonales du champ. Prendre un échantillon tous les 10 m environ (distance à adapter en fonction de la dimension du champ). Stocker dans le seau 1 ou 2 poignées de chaque prélèvement préalablement émiétté et mélangé.

Les prélèvements sont faits dans une tranche de sol ou horizon déterminée en fonction de l'épaisseur de l'horizon organique travaille et de l'enracinement dense de la culture (0-20, 0-40 cm). Il est impératif de ne pas mélanger le sol de deux niveaux différents. Constituer l'échantillon composite qui sera porté au laboratoire : Les poignées prises dans chacun des 6 (ou plus) prélèvements sont soigneusement mélangés dans le seau. Ensuite, prendre 10 poignées (total : 1 kg) pour remplir un sac en plastique. Remplir la fiche d'identification qui accompagnera le sac de l'échantillon composite.

## ***II- 2- Mode opératoire***

### ***➤ Méthode d'analyse***

Avant toutes analyses des échantillons, les sols ont été séchés à l'air libre pendant une nuit ou plus et tamisés par des tamis de 2 mm pour obtenir une terre fine.

Les techniques d'analyses ont été tirées de Jackson (1965), nous avons mesuré la conductivité électrique et le pH de la pâte saturé ainsi dosé les éléments majeurs de l'extrait de cette pâte par les même techniques de dosage que celles décrites dans les analyses d'eau.

➤ **Extrait de pâte saturée**

Préparation de la pâte saturée :

- Dans un bécher polyéthylène de 250mL, mettre 100g de terre fine.
- A l'aide d'une burette de 50mL, faire couler goutte à goutte sur la terre l'eau distillée.
- Tout en versant l'eau distillée, bien mélanger la terre et l'eau à l'aide d'une spatule ; il faut faire disparaître tous les grumeaux.
- Ajouter de l'eau jusqu'à ce que la terre commence à couler; il ne doit pas y avoir d'eau surnageant mais la surface doit être brillante.
- Noter la quantité d'eau distillée versée.
- Couvrir un verre de montre ou par du parafilm.
- Laisser reposer 4 heures.
- Rajouter de l'eau distillée si nécessaire, noter la quantité ajoutée, faire la somme.
- Centrifuger (à 5.000 t/mn pendant environ 15mn ou plus) le maximum de terre possible.
- Recueillir l'extrait de saturation dans un bécher.

Pour les calculs, ils sont les mêmes qui ont été calculés pour l'eau, sauf que les concentrations obtenues sont multipliées par le RD qui est le rapport de dilution :

$$RD = Q/q$$

Q : Volume d'eau (ml) ajouté pour obtenir la pâte saturée.

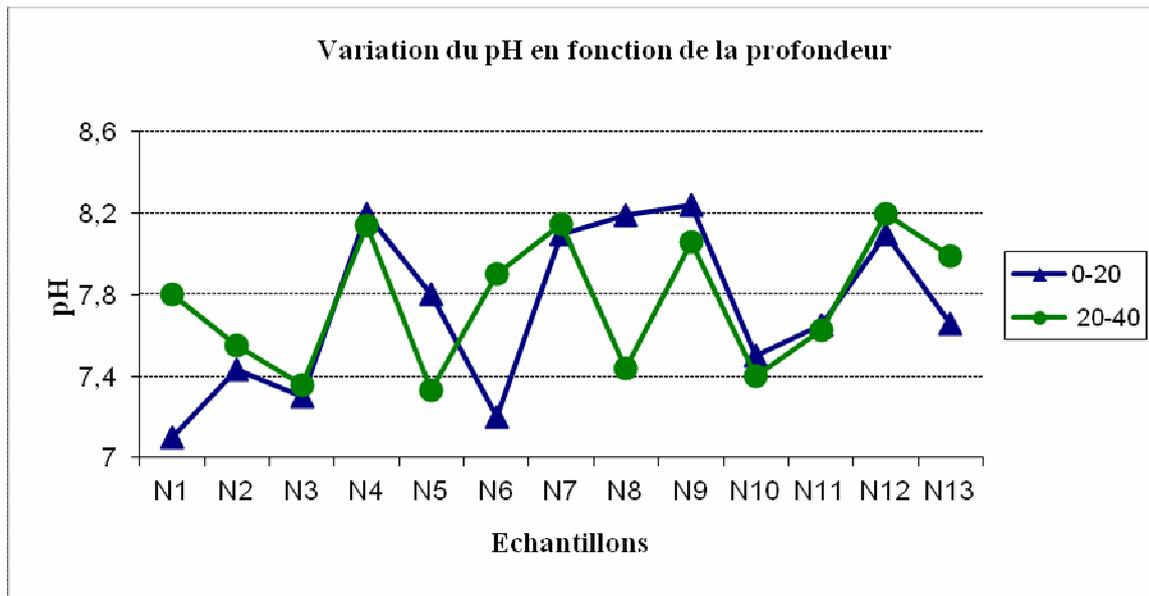
q : Volume d'eau extrait de la pâte saturée après la centrifugation.

### **III- Résultats et interprétations**

#### ***III- 1 Mesure du pH du sol***

Dans un bécher de 50 ml, mettre un peu d'extrait, juste ce qu'il faut pour pouvoir faire la mesure du pH. Les résultats sont représentés dans l'Annexe, Tableau 2.

A l'échelle horizontale, 80,7 % des échantillons ont un pH moyennement alcalin à alcalin avec des valeurs de 7,5 à 8,24. Verticalement cette alcalinité change aléatoirement pour certains échantillons, exemple de l'échantillon N°6 qui est légèrement alcalin à la surface et devient alcalin dans la couche 20-40cm (Fig. 21).



**Figure. 21: Variation du pH en fonction de profondeur**

### ***III- 2 la conductivité électrique***

La salinité d'un sol est déterminée par la conductivité électrique 1/5 c'est-à-dire la dissolution d'une fraction du sol en 5 fractions d'eau et après on passe à la conductivité électrique sur l'extrait de la pâte saturée. Dans notre étude nous avons mesuré la conductivité de la pâte saturée en raison qu'elle est proche à l'état réel du sol. Les résultats sont représentés dans l'Annexe, Tableau 2. Horizontalement on remarque que les valeurs de la conductivité électrique de la pâte saturée du sol varient de 0,08 dS/m à 0,98 dS/m avec une moyenne de l'ordre de 0,27 dS/m. Ces valeurs de conductivité électrique nous permettent de classer ces sols dans la classe des sols non salins en fonction de la classification de l'organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) (Tab 10°) :

Classe	Conductivité de l'extrait de sol saturé (dS/m)	Effet sur la croissance des plantes
Non salins	0-2	Effets de la salinité négligeables
Légèrement salins	2-4	La production de certaines plantes sensibles peut être affectée (ex : tomate, haricot...)
Modérément salins	4-8	La production de la plupart des plantes est restreinte.
Fortement salins	8-16	Seules les plantes tolérantes au sel produisent de façon satisfaisante (ex : asperge)
Très fortement salins	>16	Seul un très petit nombre de plantes tolérantes au sel produisent de façon satisfaisante.

**Tableau 10 : Classification des sols selon le (FAO)**

**Source : FAO soil bulletin 39,1988.**

Verticalement, La courbe de L'évolution de la conductivité électrique vers la couche profonde (fig 22), épouse parfaitement celle de la couche de surface. Les sols du périmètre de Saâda ce sont des sols non salins latéralement aussi que verticalement, donc on a un effet de salinité négligeable sur la croissance des plantes cultivés.

La carte de la répartition spatiale de conductivité électrique (fig 23a) montre une zone de sols non salins tout au long du périmètre, et une zone de conductivité moyenne de ce périmètre.

On trouve les mêmes zones dans la répartition verticale (fig 23b). A noter que les deux cartes de la répartition de la conductivité électrique s'épousent parfaitement.

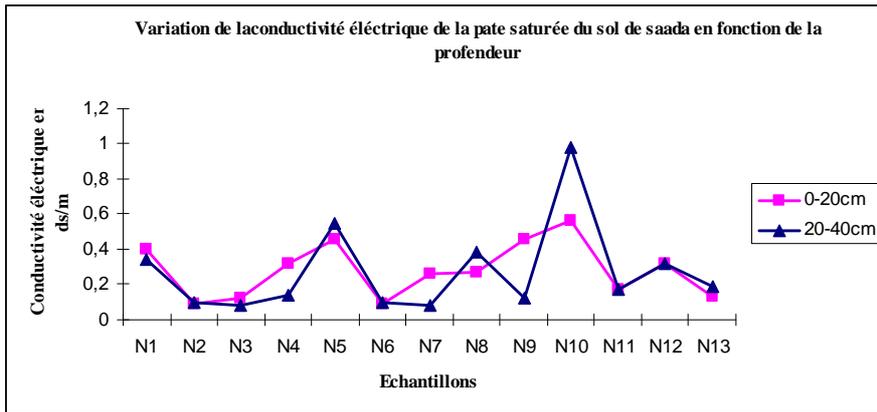


Figure 22 : Variation de la conductivité électrique de la pâte saturée du sol de Saâda.

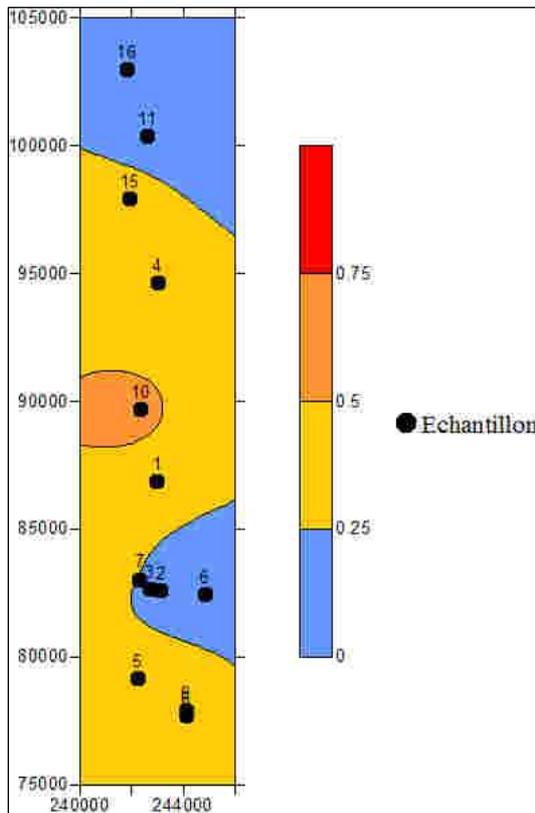


Figure 23a : Carte de la répartition spatiale de la conductivité électrique en ds/m de la profondeur 0-20 c m.

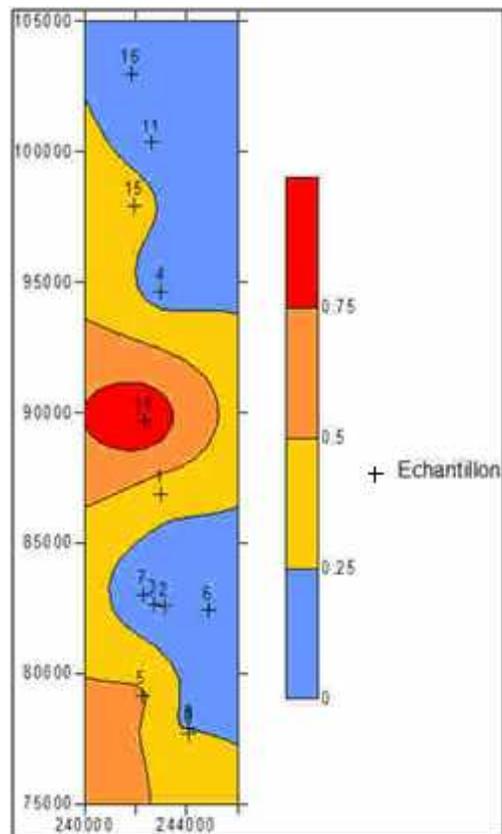


Figure 23b : Carte de la répartition spatiale de la conductivité électrique en ds/m Profondeur 20 -40 cm.

### III- 3 Répartition des éléments majeurs du sol

#### III-3 -1 Anions

Les sols de Saâda se caractérisent par des concentrations très fortes en sulfates par rapport aux concentrations de chlorures et de bicarbonates, cette concentration varie horizontalement de 3.6 meq/l jusqu'au un maximum de 6meq/l, à noter que nous n'avons pas une grande variation de ces teneurs en sulfates vers l'horizon 20-40 cm. Concernant les chlorures sont représenté par des teneurs moyennes par rapport aux anions compris entre 1,5meq/l et 3,75 meq/l (Tab 11) à la surface du sol. Et on trouve les bicarbonates en faibles concentrations. Généralement il n'y a pas de grande différence de la répartition des anions entre les horizons échantillonnés 0-20 cm et 20-40 cm. La figure 24° montre la variation des moyennes des concentrations des anions dans la couche de 0- 40 cm en meq/l pour tous les échantillons du sol prélevés.

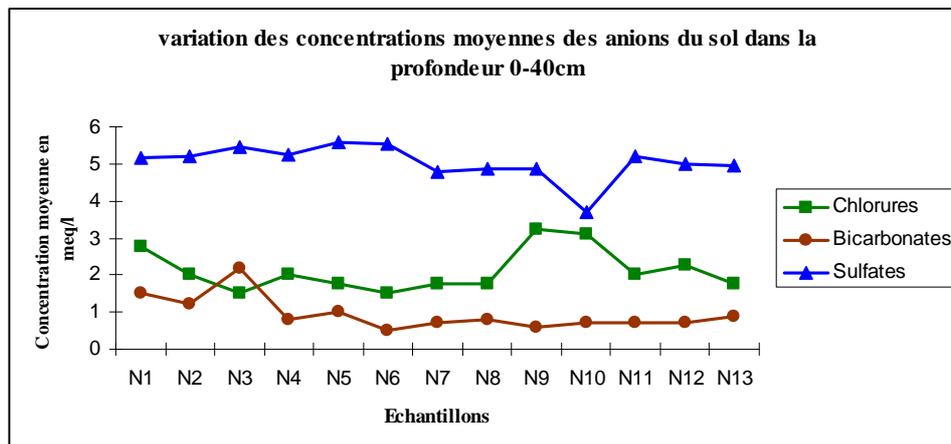


Figure 24 : Variation des concentrations moyennes des anions du sol dans la couche 0-40 cm.

Horizon	Cl <sup>-</sup> (meq/l)			HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (meq/l)			SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (meq/l)		
	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy
0-20	3,75	1,5	2,23	2,2	0,6	1,03	6	3,6	4,9
20-40	4,5	1,5	2,17	2,2	0,4	0,97	6,6	3,8	5,17

Tableau 11 : Intervalles des concentrations des anions.

### III-3 -2 Cations

D'après les résultats (Annexe Tab 2), le cation  $\text{Na}^+$  est l'élément le plus abondant dans tous les niveaux des profils prospectés 0-20cm et 20-40cm par rapport aux autres cations. Horizontalement, il varie de 3 meq/l à 6,22 meq/l. En deuxième lieu on trouve le  $\text{Ca}^{2+}$  et le  $\text{Mg}^{2+}$  (Tab 12) avec des concentrations assez proches mais moyennement élevés par rapport au  $\text{Na}^+$  à l'échelle verticale aussi qu'horizontale. Les sols de Saâda sont des sols très pauvres en  $\text{K}^+$  malgré sont importance dans la fertilité des sols agricoles.

La variation des concentrations moyennes (Fig.25) des cations dans les sols du périmètre de Saâda est illustrée par la figure N°25 qui montre l'abondance du  $\text{Na}^+$  dans ces sols par rapport aux cations.

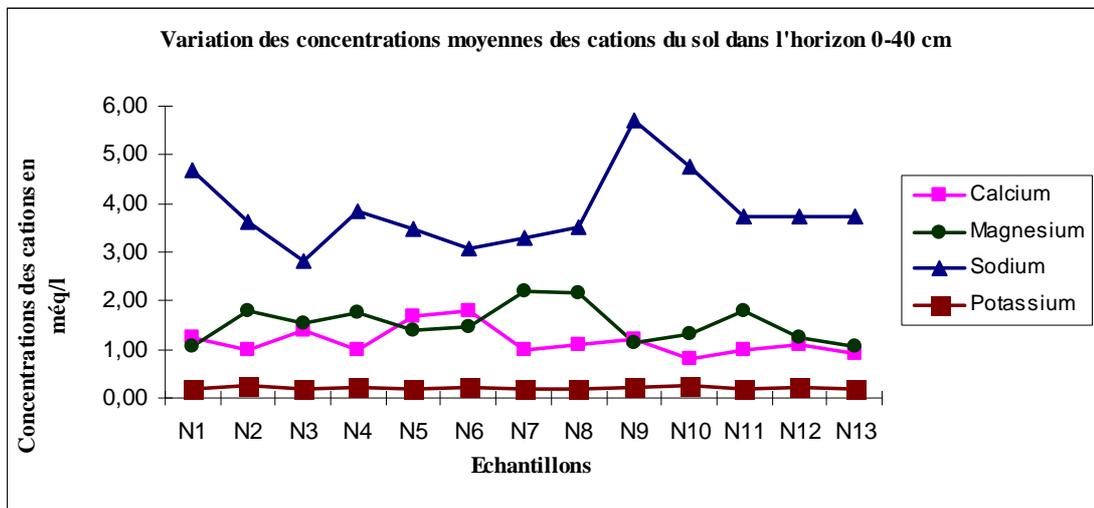


Figure 25 : Variation des concentrations moyennes des cations du sol dans la couche 0-40 cm

Horizon	$\text{Na}^+$ (meq/l)			$\text{Mg}^{2+}$ (meq/l)			$\text{Ca}^{2+}$ (meq/l)			$\text{K}^+$ (meq/l)		
	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy
0-20	6,22	2,80	4,03	2,40	0,40	1,03	2,40	0,60	1,23	0,28	0,13	0,21
20-40	7,65	2,76	3,93	2,40	0,40	1,41	2,60	0,40	1,21	0,26	0,15	0,19

Tableau 12 : Intervalles des concentrations des cations.

## VI- Taux de sodium échangeable (Ex changeable Sodium Pourcentage) ESP :

Vu l'abondance de  $\text{Na}^+$  dans les sols de Saâda, nous avons jugé utile de calculer l'ESP :

Il est déterminé par le rapport  $(\text{Na} * 100) / (\text{somme des cations})$

Na: Concentration du sodium (méq/l).

A l'exception de certaines cultures, ce paramètre n'a pas d'effet direct sur la culture. Un taux de sodium échangeable supérieur à 15% ( Tab 13°) indique que le sol contient trop de sodium qui se manifeste par la réduction de la porosité du sol, ceci limite la circulation de l'eau et de l'air dans le sol. Ceci va entraîner un stress hydrique même si on irrigue puisque l'eau n'arrive pas aux racines. De tels sols sont appelés sols sodiques. Une amélioration de ces sols (labour profond) est nécessaire avant leur exploitation (Iqizou, 2005).

	Conductivité électrique (ds/m)	Taux de sodium échangeable(%)
Sols salins	>4	< 15
Sols alcalins ou sodiques	<4	>15
Sols alcalino-salins	>4	>15

**Tableau 13. Classification des sols en fonction de l'ESP et la conductivité électrique (in Mermoud, 2006)**

Les valeurs calculés de l'ESP sont représentés dans l'annexe, tableau 2, d'après ces résultats nous avons presque 100% des échantillons du sol ont un ESP supérieure à 15 % ce qui montre que le  $\text{Na}^+$  prédomine dans le sol de la zone de Saâda. Ces sols ont une CE faible et un ESP très élevé ce qui les classe dans la catégorie des sols alcalins ou sodiques.

## v- Eaux d'irrigation-sol

Afin d'étudier la relation entre la qualité des eaux d'irrigation et les sols irrigués par ces eaux, nous avons établie des courbes de conductivité d'eau et la conductivité moyenne du sol, la figure 26 montre que la courbe de la conductivité du sol suit la même allure que celle des eaux. Ceci traduit qu'il y a vraiment une influence de la qualité des eaux sur celle des sols lors d'irrigation.

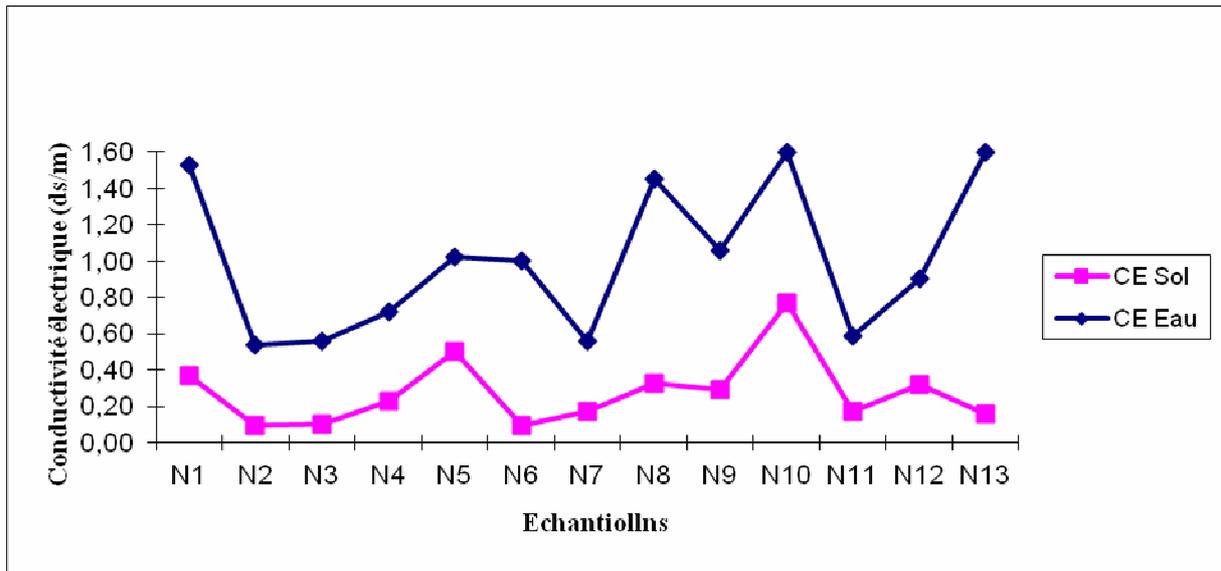


Figure 26 : Relation eaux – sol dans la zone de Saâda.

# CONCLUSION GENERALE

## CONCLUSION GENERALE

La région du Haouz constitue un périmètre où l'activité agricole se considère l'activité principale de la population. Certes le développement de cette activité est limité par la sévérité du climat, la dégradation de la qualité des eaux d'irrigation et la détérioration des sols cultivés. Notre zone constitue un exemple des zones du Haouz qui souffre des ces phénomènes. Les composantes de ce climat constituent d'une part les facteurs limitant le bon développement des cultures en absence d'une bonne irrigation et d'autres parts favorisent l'accumulation des sels dans le sol.

Les eaux d'irrigation du périmètre étudié se caractérisent par un pH légèrement alcalins à alcalin. Selon la conductivité électrique trois types d'eau souterraine ont été distingués :

- Des eaux non salines de conductivité électrique inférieure à 0,75 mmhos/cm, ce sont des eaux de bonne qualité pour l'irrigation ainsi que la potabilité.
- Des eaux ayant une salinité légère dont la conductivité électrique est comprise entre 0,75 mmhos/cm et 1,5 mmhos/cm à utiliser pour l'irrigation.
- Des eaux de salinité modérée avec une conductivité électrique comprise entre 1,5 mmhos/cm et 3 mmhos/cm, utilisation sur sol modérément lessivé et plantes moyennement tolérantes au sel. Alors que les eaux superficielles de la zone Saâda sont des eaux de conductivité électrique faible par rapport aux eaux de la nappe traduit par une faible minéralisation et qui ont une très bonne qualité pour l'irrigation.

Le résultat des analyses chimiques des eaux souterraines montre une concentration élevée des chlorures suivi par les bicarbonates et les sulfates qui ont des teneurs assez proches. Concernant les concentrations des cations on constate que le calcium est présent en grande quantité, cet enrichissement en calcium a comme origine l'existence des formations d'encroûtements de calcaires appartenant au Mio-pliocène. Le Magnésium présent par des concentrations moyennes par rapport à la concentration totale des cations, suivi par le sodium et le potassium en faibles teneurs. Ces teneurs en  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ , classent les eaux de saâda dans la catégorie des eaux douce à dure.

L'utilisation des diagrammes, Piper et Schoëller Berkaloff montre que ces eaux ont un faciès chloruré, sulfaté calcique et magnésien. Selon le diagramme de Riverside qui classe les eaux d'irrigation en fonction de l'indice du SAR et la conductivité électrique on a pu placer ces eaux dans la classe C3-S1.

Les sols de Saâda sont des sols très riches en sodium et pauvre en Potassium qui se caractérisent par une conductivité électrique de la pâte saturée inférieure à 4 ds/m traduite par un ESP supérieur à 15%. Ceci montre qu'on est dans le cas des sols sodiques ou alcalins. L'étude de l'interaction eau-sol traduit l'impact de qualité des eaux d'irrigation sur la qualité des sols.

## **Recommandations**

A fin d'éviter la détérioration de la qualité des eaux et des sols on cite les recommandations suivantes :

- La bonne gestion des ressources en eaux
- Une irrigation appropriée avec le mélange des eaux de surface avec les eaux de la nappe pour éviter l'accumulation des sels à long terme.
- Un labour profond pour l'amélioration des sols sodiques
- Surveiller la qualité des eaux et des sols d'une façon périodique

## Liste des Figures

**Figure 1:** Situation géographique de la zone d'étude.

**Figure.2 :** Carte géologique simplifiée du Haouz (D'après la carte géologique 1/500000 de Marrakech)

**Figure 3 :** Coupe géologique à travers le Haouz central et la bordure Nord du Haut Atlas (Ambroggi et Thuile, 1952)

**Figure 4 :** Coupe lithologique du forage minier 1331/44 (Sinan, 2000)

**Figure 5 :** carte d'occupation du sol (Abourida, 2007)

**Figure 6 :** Le diagramme ombrothermique de la zone Saâda.

**Figure 7:** Moyenne des minimas du mois le plus froid de l'année en °C.

**Figure 8 :** Variations journalières des températures maximales et minimales pendant l'année 2003-2004.

**Figure 9 :** Variations des températures de la station de Saâda.

**Figure 10 :** Variation des précipitations annuelles.

**Figure 11:** Variation des précipitations moyennes à la station de Saâda de l'année 1968 à 2010.

**Figure 12 :** Position des points d'eaux et du sol échantillonnés dans la plaine de Saâda.

**Figure 13a:** Carte du résidu sec en g/l des eaux de la nappe de Saâda

**Figure 13b:** Carte de la conductivité électrique en mmhs/cm des Eaux de la nappe de Saâda.

**Figure 14 :** Concentrations des anions des eaux de la nappe de Saâda en meq/l.

**Figure.15 :** Concentrations des cations des eaux de la nappe de Saâda en meq/l.

**Figure 16** Composition chimique des eaux de la nappe de Saada.

**Figure 17:** Diagramme de Piper des eaux échantillonnés de la nappe de Saada.

**Figure 18:** Diagramme de Schöeller Berkloff des eaux échantillonnées de la nappe de Saâda.

**Figure 19 :** Qualité de l'eau de Saâda (D'après le Diagramme du laboratoire de Riverside, 1954).

**Figure 20 :** Méthode de prélèvement en diagonale

Figure. 21: Variation du pH en fonction de profondeur

**Figure 22 :** Variation de la conductivité électrique de la pâte saturée du sol de Saâda.

**Figure 23a :** Carte de la répartition spatiale de conductivité électrique en ds/m du Profondeur 0 -20 cm

**Figure 23b :** Carte de la répartition spatiale de conductivité électrique en ds/m Profondeur 20 -40 cm.

**Figure 24 :** Variation des concentrations moyennes des anions du sol dans la couche 0-40 cm

**Figure 25 :** Variation des concentrations moyennes des cations du sol dans la couche 0-40 cm

**Figure 26 :** Courbe de la conductivité électrique des eaux d'irrigation et celle de la pate saturée du sol dans la zone de Saada.

## **Liste des Tableaux**

**Tableau 1 :** Précipitations et températures moyennes mensuelles à la station Saada.

**Tableau 2:** Précipitations, températures et indices mensuels de De Martonne à Saada.

**Tableau 3:** Conductivité électrique des eaux de la zone Saâda.

**Tableau 4 :** Risque de salinité des eaux d'irrigation en fonctions de la conductivité électrique

**Tableau 5:** Intervalles de concentrations des anions en meq/l.

**Tableau 6:** Intervalles de concentrations des cations en meq/l.

**Tableau.7 :** Classification de la dureté utilisée au Maroc (Ouyssse, 2005).

**Tableau 8 :** Dureté des eaux de Saâda.

**Tableau 9 :** Classement selon le SAR

**Tableau 10 :** Classification des sols selon le (FAO)

**Tableau 11 :** Intervalles des concentrations en anions

**Tableau 12 :** Intervalles des concentrations en cations

**Tableau 13 :** Classification des sols en fonction de l'ESP et la conductivité électrique (in Mermoud, 2006)

## **Liste des Photos**

**Photo n°1 :** Dosage des chlorures (Labo ORMVA du Haouz)

**Photo n°2 :** Mesure de la conductivité de l'eau (Labo ORMVAH)

**Photo n°3 :** pH-mètre (Labo ORMVA du Haouz)

## BIBILLOGRAPHIE

- **ABOURIDA A.**, 2007 : Approche hydrogéologique de la nappe du Haouz (Maroc) par Télédétection. Isotopie. SIG et Modélisation. Thèse Univ Cadi Ayyad- Faculté des sciences Semlalia.
- **Ambroggi R. et Thuile G.**, 1952 : Les plaines et les plateaux du domaine marginal de l'Atlas : Haouz de Marrakech. Hydrogéologie du Maroc. Notes mém. N° serv. Géol. Maroc.
- **Boukhari khalid**, 2008 : Contribution à l'étude Géologique & Hydrogéologique de la nappe des Oulad Bou Sbaâ (Province de Chichaoua) Mémoire t de Master.
- **EL ALAOUI A., HAJHOUI Y**, 2010 : L'hydrochimie et qualité des eaux de surfaces et souterraines du Haouz. Projet fin d'étude de Licence sciences et techniques à la Faculté des Sciences et Techniques Marrakech.
- **Jackson (1965)** : Soil chemical d'analysis.
- **Khadija Iqizou**, 2005 : Implication de l'interaction « eau-sol » dans les processus de salinisation : cas de palmeraie de Skoura (Region d'Ourzazate). Mémoire de DESA à la Faculté des Sciences et Techniques Marrakech.
- **Mermoud A. (2006)** : Maîtrise de la salinité des sols. Cours de physique du sol- Ecole polytechnique Fédérale de Lausanne –Suisse.
- **Rodier J. (1984)** : L'analyse de l'eau, Chimie, physico-chimie, bactériologie, biologie, Edition Dunod.
- **Samira OUY SSE**, 2005 : contribution à l'étude des ressources en eau dans la Vallée de Drâa Moyen (Province de Zagora). Mémoire de DESA à la Faculté des Sciences et Techniques Marrakech.
- **SINAN M**, 2000 : Méthodologie d'identification, d'évaluation et de protection des ressources en eau des aquifères régionaux par couplage des SIG, de la géophysique et de la géostatistique. Application a l'aquifère du Haouz de Marrakech (Maroc).Thèse Univ. Mohammed V. Rabat, Maroc ;
  - <http://hydram.epfl.ch/docs/Irrigation-basic.pdf>
  - <http://www.lenntech.fr/applications/irrigation/salinite/irrigation/salinite-risque-irrigation.htm>

## **ANNEXES**

**Tableau 1 : Résultats des analyses des échantillons des eaux prélevés de la zone de Saâda**

Nature d'eau	N° Echantillon	X	Y	Conductivité			PH	Chlorures		Bicarbonates		Calcium		Magnesium		Sodium		Potasium		Sulfates	
				dS/m	mmhos/cm	g/L		meq/L	mg/L	meq/L	mg/L	meq/L	mg/L	meq/L	mg/L	meq/L	mg/L	meq/L	mg/L	meq/L	mg/L
Eau souterraine	1	242990,63	86868,4	1,53	1,69	1,08	7,34	6,5	230,8	6,6	402,6	1,3	26	2	48	8	0,35	6	0,15	3	144
Eau de surface	2	243146,11	82571,38	0,54	0,60	0,38	8,14	1,5	53,25	3,6	219,6	1	20	1	24	4	0,17	10	0,26	4	192
Eau de surface	3	242710,26	82660,31	0,56	0,62	0,40	8,19	2	71	3	183	1	20	0,8	19,2	4	0,17	10	0,26	4,2	201,6
Eau souterraine	4	243001,91	94655,24	0,72	0,80	0,51	7,86	5	177,5	3,2	195,2	0,6	12	0,9	21,6	6	0,26	9	0,23	4,1	196,8
Eau souterraine	5	242229,12	79167,33	1,02	1,13	0,72	7,36	5,5	195,3	5,2	317,2	0,8	16	1,2	28,8	4	0,17	7	0,18	3,8	182,4
Eau souterraine	6	244847,41	82427,7	1	1,11	0,71	7,34	5,5	195,3	4,6	280,6	1,5	30	0,3	7,2	7	0,30	5	0,13	4,7	225,6
Eau de surface	7	242310,45	83036,75	0,56	0,62	0,40	8,1	2	71	3,4	207,4	1,8	36	0,4	9,6	6	0,26	10	0,26	4,6	220,8
Eau souterraine	8	244101,05	77709,36	1,45	1,60	1,03	7,66	7,5	266,3	5,2	317,2	1,8	36	0,2	4,8	4	0,17	8	0,21	4,8	230,4
Eau souterraine	9	244101,84	77887,57	1,06	1,17	0,75	7,9	5,5	195,3	4,8	292,8	1,2	24	1	24	9	0,39	6	0,15	4	192
Eau souterraine	10	242350,12	89702,6	1,6	1,77	1,13	7,33	7,5	266,3	6	366	2,2	44	0,4	9,6	7	0,30	5	0,13	4,6	220,8
Eau souterraine	11	242626,62	100355,4 3	0,59	0,65	0,42	8,06	5	177,5	3,2	195,2	2,6	52	0,9	21,6	8	0,35	9	0,23	6,1	292,8
Eau souterraine	12	243994,53	98833,64	0,57	0,63	0,40	8,14	3,5	124,3	2,8	170,8	1,2	24	0,4	9,6	5	0,22	10	0,26	4,6	220,8
Eau souterraine	13	244648,62	98384,17	0,57	0,63	0,40	8,13	2,5	88,75	2,4	146,4	1,2	24	0,5	12	4	0,17	9	0,23	4,5	216
Eau souterraine	14	244745,37	98448,24	1,14	1,26	0,81	7,63	7	248,5	5,2	317,2	1,8	36	0,9	21,6	4	0,17	6	0,15	4,1	196,8
Eau souterraine	15	241936,34	97944,12	0,9	0,99	0,64	7,65	4	142	4,4	268,4	2	40	0,6	14,4	5	0,22	7	0,18	5,2	249,6
Eau souterraine	16	241811,09	102994,4 4	1,6	1,77	1,13	7,44	8	284	6,2	378,2	2,2	44	0,8	19,2	6	0,26	5	0,13	5,2	249,6

**Tableau 2 : Résultats des analyses des échantillons des sols prélevés de la zone de Saâda**

N° Echantillon	Profondeurs (cm)	X	Y	Conductivité			Jus extrai t	pH	ESP %	Chlorures		bicarbonates		Calcium		Magnesium		Sodium		Potassium		Sulfates	
				dS/m	mmh os/cm	g/L				meq/L	mg/L	meq/L	mg/L	meq/L	mg/L	meq/L	mg/L	meq/L	mg/L	meq/L	mg/L	meq/L	mg/L
1	0-20	242990,63	86868,4	0,4	0,44	2,39	19	7,1	73,89	3	106,5	2	122	1,2	24	0,4	9,6	5,11	117,50	0,21	8	5	240
	20-40			0,34	0,38	2,59	18,5	7,8	57,14	2,5	88,75	1	61	1,3	26	1,7	40,8	4,24	97,50	0,18	7	5,3	254,4
2	0-20	243146,11	82571,38	0,09	0,10	0,66	14,5	7,43	53,02	2	71	0,8	48,8	0,8	16	2	48	3,48	80,00	0,28	11	5	240
	20-40			0,1	0,11	0,48	15	7,55	55,24	2	71	1,6	97,6	1,2	24	1,6	38,4	3,77	86,75	0,26	10	5,4	259,2
3	0-20	242710,26	82660,31	0,12	0,13	0,88	23	7,3	43,75	1,5	53,25	2,2	134,2	2,4	48	1	24	2,80	64,50	0,21	8	6	288
	20-40			0,08	0,09	0,61	15	7,36	51,57	1,5	53,25	2,2	134,2	0,4	8	2,1	50,4	2,83	65,00	0,15	6	4,9	235,2
4	0-20	243001,91	94655,24	0,32	0,35	2,44	14,5	8,2	55,17	2	71	0,8	48,8	1,2	24	1,6	38,4	3,76	86,50	0,26	10	5,4	259,2
	20-40			0,14	0,15	1,03	14,5	8,14	57,61	2	71	0,8	48,8	0,8	16	1,9	45,6	3,91	90,00	0,18	7	5,1	244,8
5	0-20	242229,12	79167,33	0,46	0,51	3,51	15	7,8	54,98	2	71	1,2	73,2	0,8	16	2,4	57,6	4,07	93,50	0,13	5	4,6	220,8
	20-40			0,55	0,61	3,38	14,5	7,33	47,24	1,5	53,25	0,8	48,8	2,6	52	0,4	9,6	2,87	66,00	0,21	8	6,6	316,8
6	0-20	244847,41	82427,7	0,09	0,10	0,57	18	7,2	45,27	1,5	53,25	0,6	36,6	1,2	24	2,3	55,2	3,04	70,00	0,18	7	4,7	225,6
	20-40			0,1	0,11	0,88	17,5	7,9	49,01	1,5	53,25	0,4	24,4	2,4	48	0,6	14,4	3,13	72,00	0,26	10	6,4	307,2
7	0-20	242310,45	83036,75	0,26	0,29	2,30	12,5	8,1	53,31	2	71	0,6	36,6	1,2	24	2	48	3,86	88,75	0,18	7	5	240
	20-40			0,08	0,09	0,68	12,5	8,15	44,96	1,5	53,25	0,8	48,8	0,8	16	2,4	57,6	2,76	63,50	0,18	7	4,6	220,8
8	0-20	244101,05	77709,36	0,27	0,30	2,13	13	8,19	52,26	2	71	0,8	48,8	1,4	28	2,1	50,4	4,00	92,00	0,15	6	4,9	235,2
	20-40			0,38	0,42	3,50	14	7,44	48,71	1,5	53,25	0,8	48,8	0,8	16	2,2	52,8	3,04	70,00	0,21	8	4,8	230,4
9	0-20	244101,84	77887,57	0,46	0,51	4,07	12	8,24	60,60	2	71	0,8	48,8	1,4	28	0,8	19,2	3,74	86,00	0,23	9	4,2	201,6
	20-40			0,12	0,13	0,88	12,5	8,06	74,07	4,5	159,75	0,4	24,4	1	20	1,5	36	7,65	176,00	0,18	7	5,5	264
10	0-20	242350,12	89702,6	0,56	0,62	2,81	15	7,5	73,37	3,75	133,12 5	0,8	48,8	0,6	12	1,4	33,6	6,22	143,00	0,26	10	3,6	172,8
	20-40			0,98	1,08	6,37	22	7,4	57,62	2,5	88,75	0,6	36,6	1	20	1,2	28,8	3,30	76,00	0,23	9	3,8	182,4
11	0-20	244745,37	100355,4 3	0,17	0,19	1,11	17	7,65	52,71	2	71	0,6	36,6	0,8	16	2,2	52,8	3,54	81,50	0,18	7	4,8	230,4
	20-40			0,17	0,19	1,50	17	7,63	58,96	2	71	0,8	48,8	1,2	24	1,4	33,6	3,96	91,00	0,15	6	5,6	268,8
12	0-20	241936,34	97944,12	0,32	0,35	2,08	12,5	8,1	52,54	2,5	88,75	0,6	36,6	1,2	24	2	48	3,83	88,00	0,26	10	5	240
	20-40			0,32	0,35	2,44	17	8,2	68,77	2	71	0,8	48,8	1	20	0,5	12	3,64	83,75	0,15	6	5	240
13	0-20	241811,09	102994,4 4	0,13	0,14	0,93	14,5	7,66	59,79	2	71	0,8	48,8	1,2	24	1,3	31,2	4,02	92,50	0,21	8	5,7	273,6
	20-40			0,19	0,21	1,35	15,5	7,99	68,77	1,5	53,25	1	61	0,6	12	0,8	19,2	3,48	80,00	0,18	7	4,2	201,6