

**Université Cadi Ayyad, Faculté des Sciences et Technique**

**Département des Sciences de la Terre**

**Licence Sciences et Techniques**

**Option : Eau et Environnement**

**Mémoire de fin d'études**

**Etude de la qualité des eaux d'irrigation  
et du sol au niveau du secteur**

**N°fis N1-2**

**Elaboré par : *Myriem DAOUDI***

***Jamila EL AABIDI***

**Encadrés par :**

***Mr. B. IGMOULLAN (FST-Marrakech)***

***Mr. .A. MORENO (Ing.ORMVAH)***

***Mme. L.KACEM (FST-Marrakech)***

***Soutenu le 17 Juin 2015 devant le jury***

***Mr. Igmoulan (FST-Marrakech)***

***Mr. Saidi (FST-Marrakech)***

***Mme.Kacem (FST-Marrakech)***

***2015-2016***

## *Dédicace*

### *A nos chers pères*

*Qui ont toujours été près de nous, pour nous écouter et nous soutenir. Puisse ce travail exprimer le respect et l'amour que nous leur portons.*

### *A nos chères mères*

*Qui n'ont jamais épargné un effort pour nous aider et nous encourager. Veuillez trouver en ce travail la consolation et le témoin de la patience et de l'amour.*

### *A nos sœurs, et nos frères*

*Qui nous souhaitons tout le bonheur du monde. Vous avez toujours été pour nous d'une aide très précieuse.*

### *A nos enseignants & professeurs*

*Pour leur patience, dévouement et sacrifice.*

### *A toute nos familles.*

*A tous nos amis et tous ce qui ont chers*

*A tous ceux qui ont confiance en nous*

## **REMERCIEMENTS**

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

**Nous remercions Mr. Ibrahim IGMOULLAN professeurs à la faculté des sciences et techniques de Marrakech qui a dirigé ce travail, tout en nous prodiguant de nombreux conseils et nous faisant profiter de sa large expérience**

**Nous adressons nos remerciements les plus sincères à Monsieur le directeur de l'office Régionale de Mise en Valeur Agricole du Haouz qui nous a ouvert Chaleureusement les portes de son service.**

**Nos vifs remerciements s'adressent à Mr. A. MORENO pour son encadrement exemplaire, sa compréhension et son humanité.**

**Nous exprimons une gratitude toute particulière à Mme Lamyaa KACEM Doctorante-chercheuse à la faculté des sciences et techniques Marrakech, département des sciences de la terre qui, et malgré ses occupations nous a bénéficié de ses conseils.**

**Nos remerciements vont Mr. SAIDI 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.**

**Enfin, nous remercions toutes les personnes du département de géologie de la Faculté des sciences et techniques de Marrakech, ainsi que nos collègues et nos amis.**

**A tous Merci**

## TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	5
Chapitre 1: Cadre général .....	6
1. Présentation de la Région Haouz :.....	7
1.1 Contexte géographique et géologique de la région du Haouz.....	7
1.2 Contexte climatologique de la Région du Haouz.....	9
1.3 Ressources en eaux :.....	9
1.3.1 Les eaux de surface :.....	9
1.3.2 Les eaux souterraines :.....	9
1.4 Etude du sol.....	10
2. Climatologie du périmètre N'FIS.....	11
3. Occupation du sol.....	11
Chapitre 2 : Matériels et Méthodologie d'analyse .....	13
1. Technique d'échantillonnage des eaux.....	14
2. Techniques d'échantillonnage du sol.....	20
Chapitre 3 : Discussions et interprétations des .....	23
1. Résultats d'analyses des eaux souterraines :.....	24
1.1 Conductivité électrique :.....	24
1.2 Le potentiel hydrogène (pH) :.....	25
1.3 Teneur en Nitrates :.....	27
1.4 Les éléments majeurs : .....	28
A. Les anions .....	27
B. Les cations. ....	28
2. Classification des eaux .....	29
2.1 Faciès chimique .....	29
2.2 Taux de sodium adsorption (SAR) .....	31
3. Résultats d'analyses des eaux de surface :.....	34
3.1 Conductivité électrique .....	34
3.2 Le potentiel hydrogène (pH) : .....	34
3.3 Teneur en Nitrates : .....	36
3.4 Matière en suspension :.....	37
3.5 Les éléments majeurs : .....	38
4. Classification des eaux de surface .....	40
4.1 Faciès chimique .....	39
4.2 Taux de sodium adsorption (SAR) .....	40
5. Résultats qualitatifs du sol .....	42
5.1 Texture du sol .....	41
5.2 Conductivité électrique .....	42

---

---

5.3 Taux de sodium Echangeable (ESP) .....	43
5.4 Perméabilité des sols par la méthode double anneaux .....	45
<b>6. Synthèse .....</b>	<b>47</b>
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>49</b>
<b>RECOMMANDATIONS.....</b>	<b>48</b>
<b>LISTE DES ABREVIATIONS .....</b>	<b>51</b>
<b>LISTE DES FIGURES .....</b>	<b>52</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX .....</b>	<b>54</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>56</b>
<b>WEBOGRAPHIE .....</b>	<b>57</b>
<b>ANNEXE .....</b>	<b>58</b>

## INTRODUCTION

Avec la forte pression démographique et urbanistique d'une part, et le développement économique et social d'autre part, la demande en eau ne s'arrête d'évoluer. 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 des difficultés sur la gestion des ressources en eau.

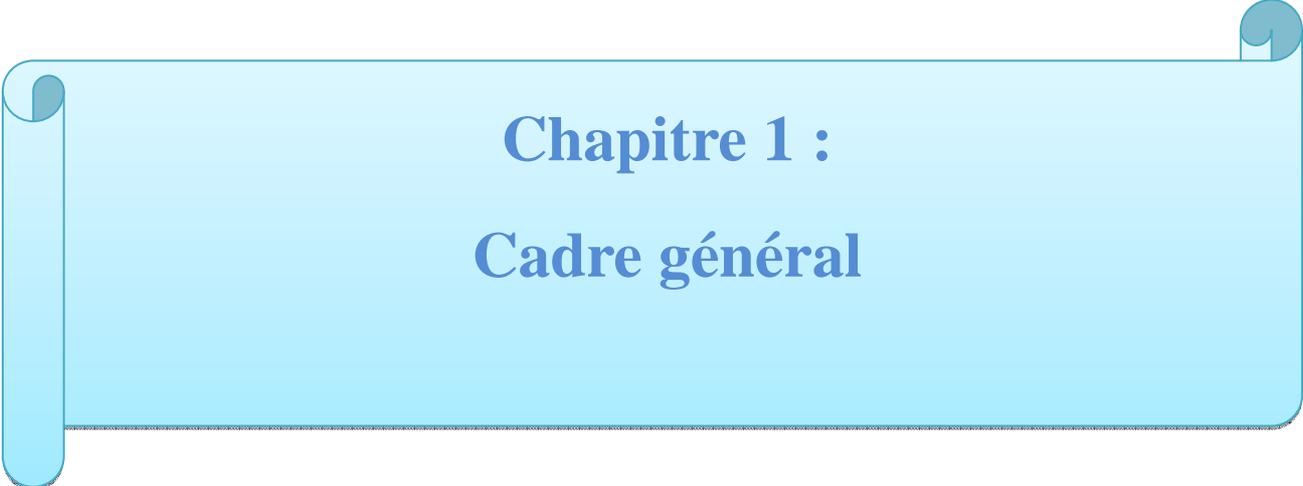
Cela se traduit clairement dans notre secteur d'étude (N°fis N1-2) où le développement économique est basé essentiellement sur l'agriculture nécessitant une mobilisation importante des ressources en eau. Dans le cadre des travaux de modernisation de l'agriculture dans les périmètres irrigués. L'office Régionale de la Mise en Valeur du Haouz a engagé un projet de reconversion du mode d'irrigation traditionnelle en irrigation localisée.

Le présent travail, réalisé en collaboration entre la faculté des sciences et technique de Marrakech et l'office Régionale de Mise en Valeur Agricole du Haouz à pour objectif d'étudier cette reconversion au niveau de la zone dite N°fis N1-2.

Pour aboutir à notre objectif nous avons étudié et analysé des échantillons d'eau et du sol au sien de laboratoire de pédologie de l'ORMVAH et d'autres analyses sont faite au laboratoire de la société LABOMAG (laboratoire d'analyses agronomiques, alimentaires et d'impact sur l'environnement, situé à Casablanca).

Le présent travail et subdivisé en 3 chapitre :

- Le premier chapitre donnera une présentation générale sur la plaine du Haouz central. Les informations ont été rassemblées d'après plusieurs ouvrages, articles et organisme.
- Le deuxième chapitre expliquera la méthodologie adoptée.
- Le troisième chapitre est consacré à la présentation des résultats et aux interprétations.

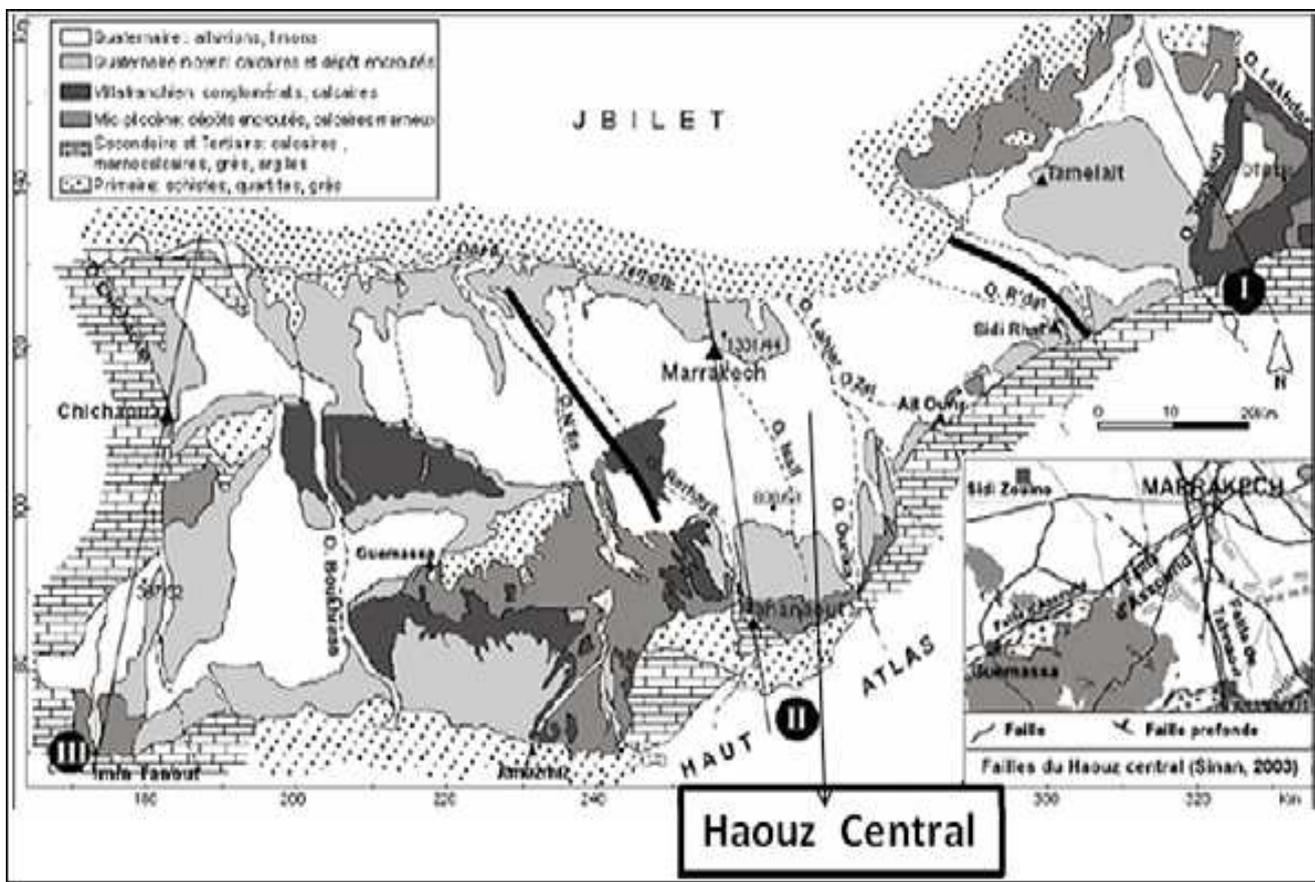


# Chapitre 1 : Cadre général



Le Haouz Central (Secteur N'fis) se compose essentiellement d'un socle primaire constitué de séries schisteuses très redressées et modelées par l'orogénèse hercynienne. Les couvertures secondaires et paléogènes sont déposés en discordances sur une topographie très irrégulière.

Certains dépôts ont un caractère purement continental, fruit de la désagrégation mécanique des roches et d'un court transport par gravité. La majorité des sédiments, par contre, a subi le



transport par l'eau, charriés par un réseau hydrographique au régime torrentiel. (Fig.2)

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

## 1.2 Contexte climatologique de la Région du Haouz

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 précipitations faibles avec une grande variabilité spatio-temporelle, la pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre 250mm à Marrakech et peut atteindre 700mm sur les sommets de l'Atlas. L'examen de la répartition moyenne des pluies mensuelles montre également l'existence de deux saisons nettement différenciées :
- Une température moyenne élevée avec une moyenne annuelle de 20°C, La moyenne des maximal (Juillet) est de 37 °C. La moyenne des minimal (Janvier) est de 4°C.
- Une très forte évaporation, L'évaporation moyenne annuelle varie de 1800 mm sur le versant atlasique à 2600 mm dans la plaine du Haouz.

(D'après« Secrétariat d'Etat chargé de l'Eau » Royaume du MAROC).

## 1.3 Ressources en eaux :

### 1.3.1 Les eaux de surface :

Les oueds importants du bassin de Tensift prennent tous naissance dans le Haut Atlas.

Les eaux des oueds Lakhdar et Tessaout affluents de l'Oum Rbia. Ce dernier présente un débit important, assez stable dans le temps.

L'oued Tensift, coule vers l'Ouest pour déboucher son drainage sur l'Atlantique.

L'oued N'Fis, orienté Sud-Nord, comme les autres oueds, accuse des crues pendant la saison pluvieuse et joue le rôle de collecteur des eaux de surface.

### 1.3.2 Les eaux souterraines :

La nappe du Haouz s'étend d'Est en Ouest entre les reliefs de l'Atlas au Sud et les Jbilet au Nord. Elle couvre sur une superficie d'environ 4500 km<sup>2</sup>. La surface libre de la

nappe s'établit en moyenne à 25m sous le niveau du sol mais se situe entre 0m et 5m le long d'oued Tensift et peut descendre jusqu'à 70 m le long du piémont de l'Atlas.

Dans les zones ou l'eau souterraine fait l'objet d'une exploitation intense, la surface libre de la nappe s'établit aux environ de 45m.

La recharge de la nappe se fait principalement par infiltration des eaux d'irrigation et des eaux de crue des oueds atlasiques traversant la plaine. L'écoulement général se fait du Sud vers le Nord pour être finalement drainé par l'oued Tensift.

La piézométrie de la zone est caractérisée par un écoulement général du Sud vers le Nord-Ouest en direction de l'Oued Tensift. Les gradients hydraulique sont forts au Sud de la plaine (2 à 4%) et sont faible vers le Nord. (ORMOVAH, 2013)

### 1.4 Etude du sol

Quatre types de sol de différente nature sont distingués : Rouge, gris, Châtain et bruns. Leur texture est généralement limono-argileuse, limoneuse et limono-sableuse. Dans le Haouz Central en trouve des sols châtain (Fig.3).

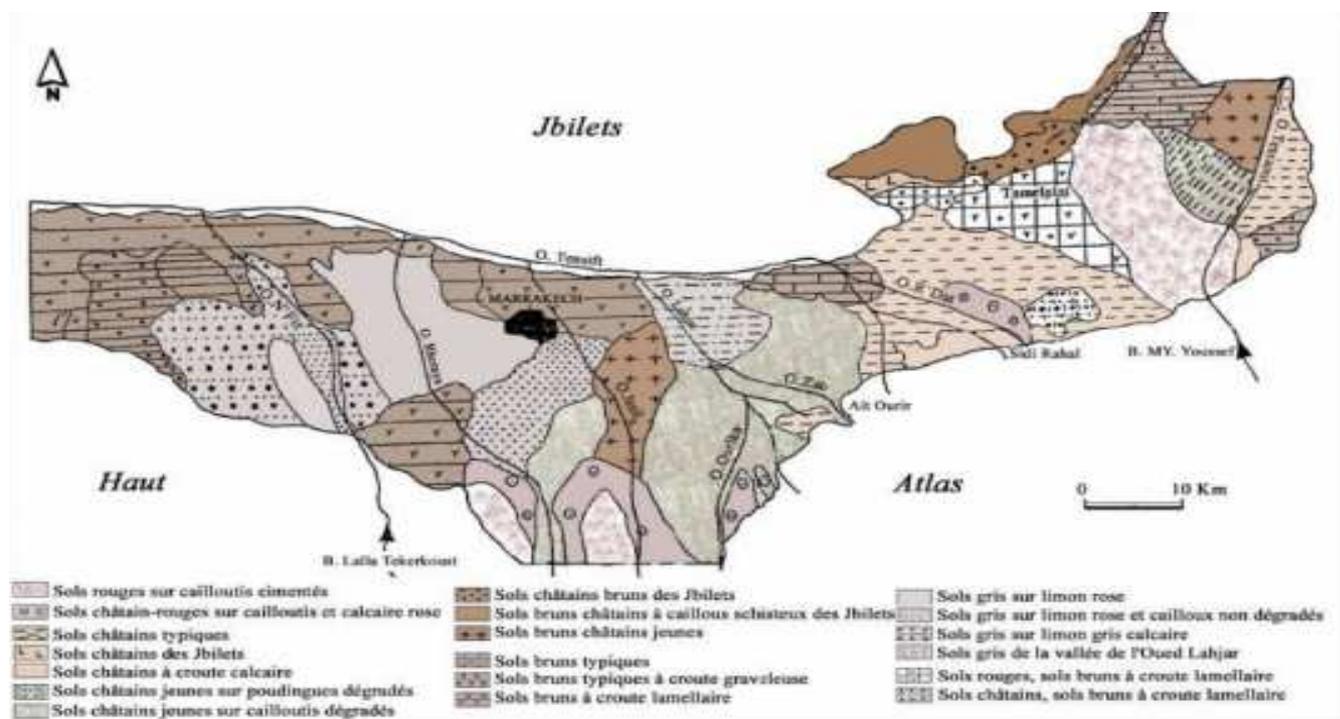
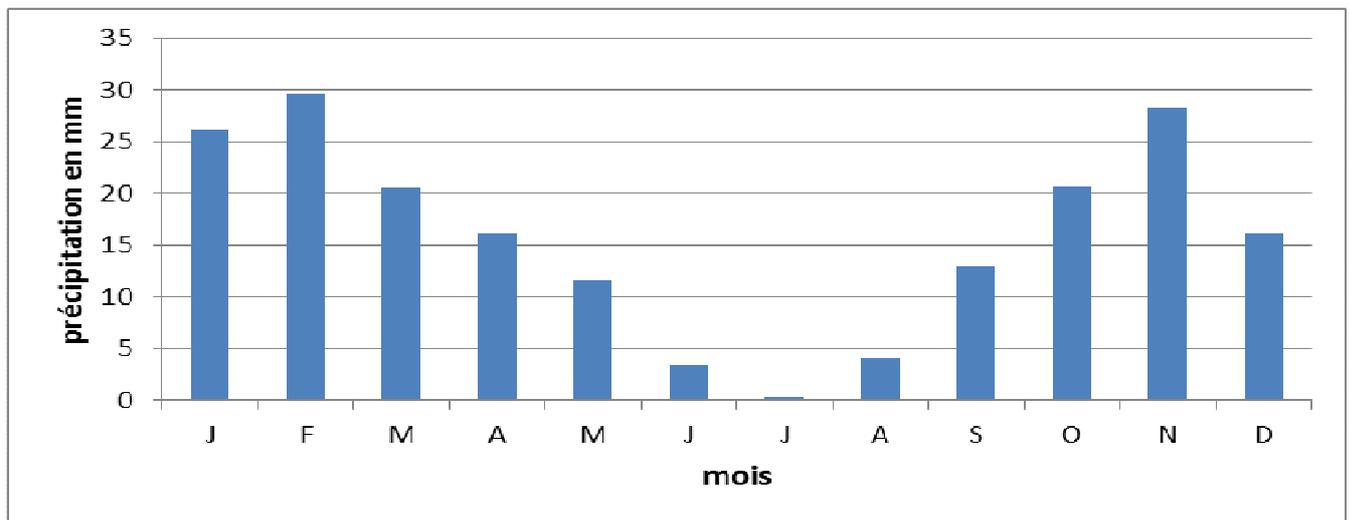


Figure .3: Carte pédologique du Haouz de Marrakech

(Rapport Interne de la Direction de l'Agriculture, du Commerce et des Forêts 1951)

## 2. Climatologie du périmètre N'FIS

Le climat du secteur d'étude est de type continental méditerranéen, chaud et sec, classé à la limite du semi-aride et de l'aride. Les précipitations sont faibles avec une moyenne annuelle de l'ordre de 186,02mm. Les données climatiques (précipitation) qui ont servi à notre étude ont été obtenues de l'ORMVAH. Le traitement de ces données a permis d'obtenir les graphes ci-dessous :



**Figure.4 : Variation des précipitations moyennes mensuelle à la station de Saada (années 2009 à 2013) (voir tableau détaillé en Annexe).**

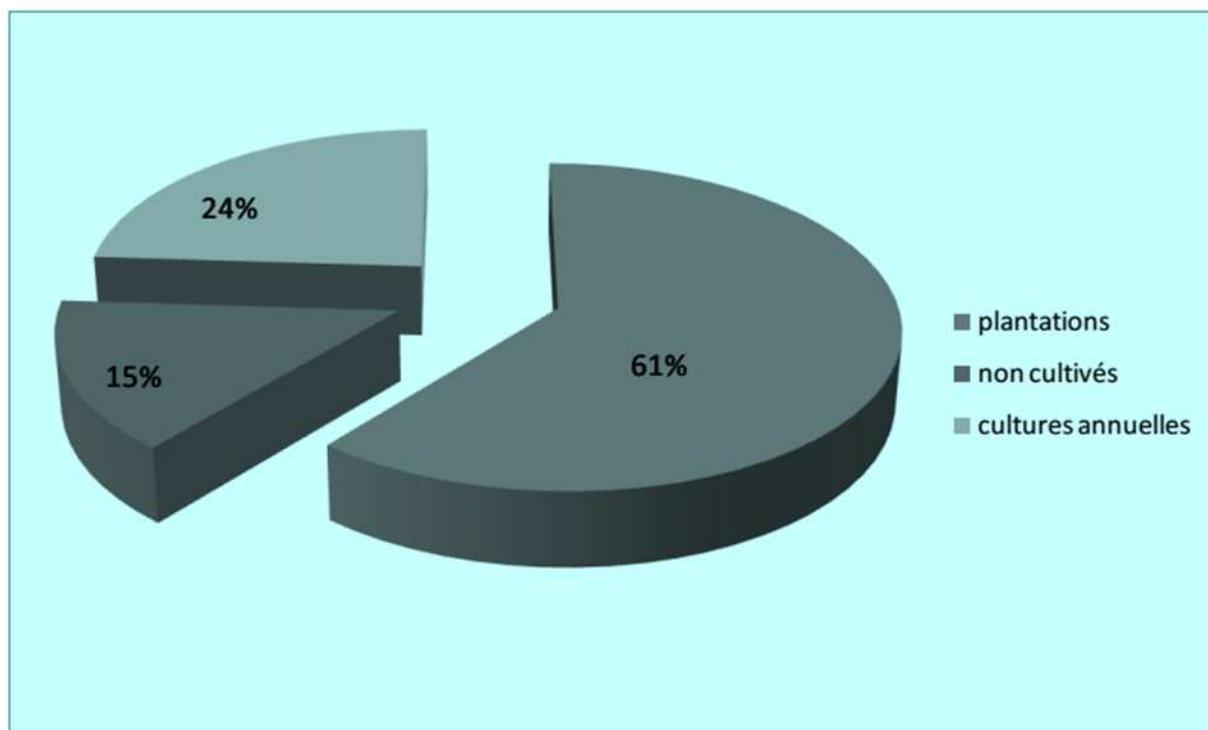
La répartition des précipitations montre clairement l'existence de deux saisons pluviométriques distinctes (Figure .4) : une saison sèche et une saison humide.

## 3. Occupation du sol

La production agricole dans le secteur N1-2 est orientée vers la filière olive. En effet l'assolement actuel du secteur se présente comme suit (fig. 5) :

- ❖ Les plantations occupent 61% de la superficie avec une dominance de l'olivier (42% de la Superficie Agricole utile (SAU)), les rosacés couvrent 12% des superficies avec l'abricotier comme arbre dominant.

- ❖ Les terres non cultivées couvrent près de 15% des superficies du secteur.
- ❖ Les cultures annuelles occupent 24% des surfaces avec 56% de céréales, 30% des cultures fourragères et 13% des cultures maraîchères (L'ORMVAH, 2010a).



**Figure 5: Occupation du sol dans le secteur d'étude (ORMVAH, 2010)**

## Chapitre 2 :

# Matériels et Méthodologie d'analyse

Dans le but de déterminer la qualité du sol et des eaux destinées à l'irrigation, nous avons réalisé, durant le mois d'avril, une campagne d'échantillonnage : 9 échantillons des eaux souterraines, 3 échantillons des eaux superficielles et 18 échantillons des sols.

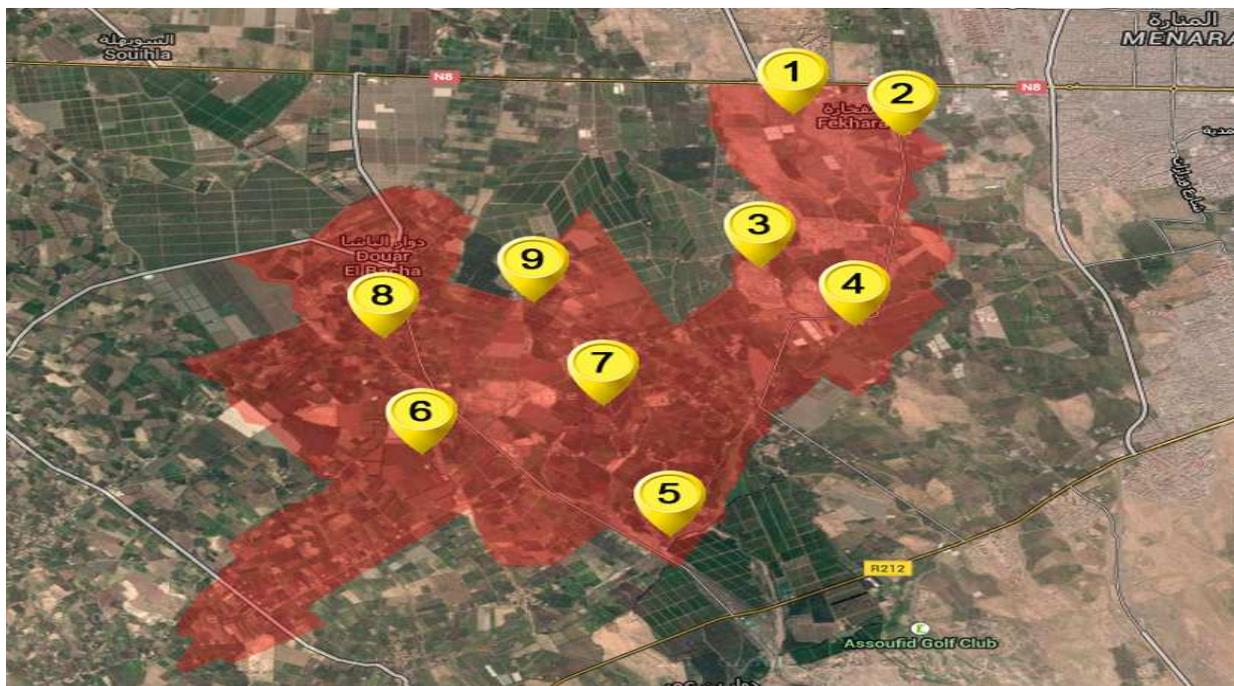
## 1. Technique d'échantillonnage des eaux

L'échantillonnage est une étape primordiale, car il conditionne la pertinence de l'analyse des eaux.

Pour l'échantillonnage des eaux de surface (dans notre cas il s'agit des canaux d'irrigation)

Pour l'échantillonnage des eaux souterraines (puits et forage d'exploitation), on pompe pendant une durée assez suffisante pour éliminer la lame d'eau piégée dans l'équipement du pompage. Les échantillons sont prélevés quand le système d'irrigation est en marche (Fig.6)

Ces eaux sont récupérées dans des bouteilles en plastique, codées et nommées. Ces eaux sont conservées par la suite dans une glacière jusqu'au moment des analyse.



**Figure.6 : Position des points d'eaux souterraines**

### Mode opératoire (Travail de laboratoire)

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

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

#### ➤ Le potentiel hydrogène de l'eau (pH)

Il permet de mesurer l'activité chimique des ions hydrogènes ( $\text{H}^+$ ) et donne une idée sur l'acidité ou l'alcalinité d'une eau à l'aide d'un appareil de mesure qui est le pH-mètre. Pour mesurer ce pH, on procède de la manière suivante :

- On place une quantité suffisante d'eau à analyser dans un bécher de 100 ml,
- On étalonne le pH mètre avec des solutions étalons dont le pH est bien connu,
- Après l'étalonnage de l'appareil, on rince abondamment l'électrode avec de l'eau distillée avant de commencer la mesure, qui consiste tout simplement à placer l'électrode dans le bécher et de lire la valeur donnée par l'appareil.



**Photo.1 : PH-mètre**

### ➤ La conductivité électrique

Donne une idée sur la dureté de l'eau, cette mesure permet de déterminer la quantité totale de sels minéraux dissous dans l'eau, elle est mesurée à l'aide d'un conductimètre exprimée en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . le protocole adopté est le suivant :

- On place dans un bécher de 100 ml une quantité suffisante de l'échantillon.
- On place ensuite l'électrode du conductimètre dans le bécher, et on lit La valeur donnée par l'appareil.

On ne doit pas oublié de rincer l'électrode après chaque mesure.



photo.2 : Conductivimètre.

### ✓ Le bilan ionique de l'eau

#### ↳ **Les chlorures :**

La quantité des chlorures contenus dans les échantillons a été déterminée, par dosage, elle est exprimée en mg/l. Le protocole utilisé dans ce cas est le suivant :

- On remplit l'erenmeyer par 10 ml d'eau.
- On remplit la burette par la solution de nitrate d'argent ( $\text{AgNO}_3$ ).

- On ajoute 3 gouttes de chromate de potassium ( $\text{KCrO}_4$ ) sur l'eau qu'on veut titrer, la couleur deviendra jaune.
- On ouvre la burette en laissant les nitrates d'argent s'écouler lentement on agitant,

On arrête la titration quand la solution prend une couleur rougeâtre.



**Photo.3 : Burette de dosage  $\text{Cl}^-$**

#### ↳ **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.

#### ↳ **Le calcium :**

Le dosage du calcium se fait par complexométrie en présence de la soude ( $\text{NaOH}$ ), le murexide comme indicateur coloré et nous titrons par l'acide éthylène diamine tétra acétique (E.D.T.A.).

#### ↳ **Le Magnésium :**

Les ions  $Mg^{2+}$  sont dosés par complexométrie (E.D .T.A) après l'ajout de la solution tampon et le NET comme indicateur coloré.



**photo.4 : Complexon de dosage de Calcium et Magnésium.**

#### ↳ **Sodium et le Potassium :**

Le dosage se fait par un spectrophotomètre à flamme dont le principe se base sur la décomposition des atomes  $Na^+$  et  $k^+$  lors de leurs passage dans la flamme après une certaine série d'étalonnage avec des concentrations différentes afin de déterminer la teneur des ions  $Na^+$  et  $k^+$  dans l'eau étudiée.



**photo.5 : Spectrophotomètre à flamme.**

### ↳ Les sulfates :

L'appareil utilisé pour déterminer le taux des sulfates contenu dans les eaux est un spectrophotomètre . Les teneurs obtenues sont exprimées en ppm (mg/l). Le dosage des sulfates se fait selon le mode opératoire suivant :

- *Étalonnage de l'appareil*

- Dans une série de fioles jaugées de 50 ml, on prépare un essai témoin de nombre de 7 solutions d'étalons dans les concentrations en NaSO<sub>4</sub> (solution d'étalon), sont : 0 ; 1 ; 3 ; 5 ; 7 ; 9 et 10, et on termine jusqu'au 50 ml par de l'eau distillée.
- On agite bien les étalons, et on les laisse se reposer pendant 15 min, puis on remplit les cuves et on les dose en spectrophotométrie, à la longueur d'onde de 650 nm

- *La mesure des échantillons*

Dans des fioles jaugées de 50 ml, on introduit un volume de 25 ml de l'échantillon et on complète avec de l'eau distillée jusqu'au 50 ml

- On ajoute 1 ml de l'acide chlorhydrique, et 5 ml de la solution de chlorure de baryum stabilisant (nommée TWAAN 20).
- On agite bien et on laisse les échantillons reposer au moins 15 min, après le repos on remplit les cuves et on les dose comme pour les étalons à l'aide d'un spectrophotomètre

### ➤ Les nitrates :

Le taux de l'azote contenu dans les eaux est déterminé par dosage à l'aide d'un colorimètre. Les teneurs obtenues sont exprimées en mg/l. Le protocole adopté pour cela est le suivant :

- On doit tout d'abord étalonner le colorimètre par le 'BLANC', qui n'est que de l'eau distillée placée dans une cuve à part, car on va le considérer comme une gamme d'étalon qui est égale à 0,

- Ensuite on place l'échantillon dans une autre cuve, et on rajoute un stabilisant « Nitrate Chromotropic Powder pack », après agitation on attend pendant 5 min pour que la réaction soit terminée,
- Avant de procéder à la mesure des échantillons, il faut mesurer en premier le blanc afin de stabiliser l'appareil.

Les résultats donnés par l'appareil présentent la concentration en mg/l de l'azote contenu dans un litre d'eau. Pour connaître la concentration en nitrates, on multiplie cette valeur par : 4,43

### ➤ Matière en Suspension :

Les matières en suspension comprennent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau. Elles incluent les argiles, les sables, les limons, les matières organiques et minérales de faible dimension. La quantité de matières en suspension varie notamment selon les saisons et le régime d'écoulement des eaux. Ces matières affectent la transparence de l'eau et diminuent la pénétration de la lumière et par suite la photosynthèse, Les matières en suspensions sont exprimées en mg/l. leur analyse se fait par filtration et détermination de matières retenues par pesée différentielle après séchage à 105°C.

## 2. Techniques d'échantillonnage du sol

Comme pour les eaux, le sol aussi a été prélevé selon un protocole d'échantillonnage bien défini. Les sols analysés sont prélevés dans des parcelles irriguées par les eaux déjà décrites précédemment.

Les échantillons ont été prélevés dans tout le secteur selon un parcours ayant la forme de la lettre Z. Au niveau de chaque station les prélèvements ont été effectués en surface (0-20 cm) et en profondeur (20-40). 18 échantillons ont été prélevés à l'aide d'une Tarière agricole, en prenant en considération de laisser l'espace d'un mètre entre les troncs d'arbres. Après avoir mélangé l'horizon dans un seau, on verse l'échantillon d'horizon dans un sachet en plastique et on nomme l'échantillon et son horizon.

## Mode opératoire (Travail de laboratoire)

### ➤ 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 de 250mL, on met 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.
- 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 dit être brillante.
- Noter la quantité d'eau distillée versée.
- Couvrir un verre de montre
- 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.

### ➤ Méthode double anneaux

#### ✓ **Principe :**

Le principe de la méthode double anneaux repose sur la mesure d'un débit surfacique d'eau s'infiltrant sous une ou plusieurs charges hydrauliques. L'anneau externe, dit de garde,

a pour but de maintenir le flux vertical dans l'anneau interne. L'essai est généralement conduit comme suit :

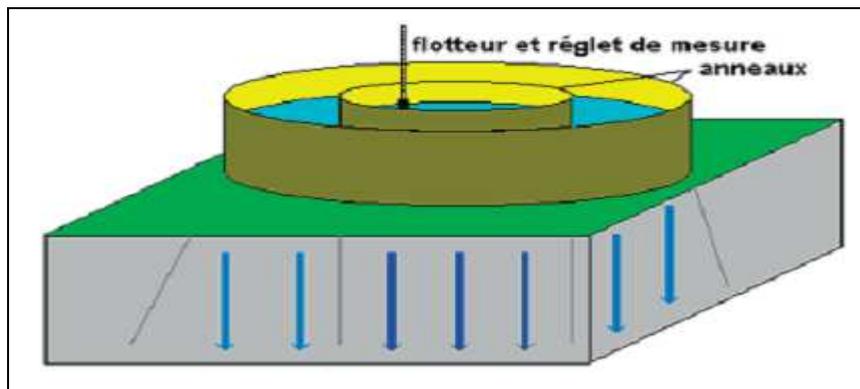
- Préparation du terrain et de surface d'essai.
- Disposition d'une manière étanche à la surface du sol les anneaux concentriques.
- Mesures du volume d'eau infiltré pendant un temps d'observations suffisant pour aboutir les informations nécessaires au calcul de la perméabilité. L'exploitation des résultats conduit à la détermination de la vitesse d'infiltration par la relation suivant :

$$V = \Delta V / A \cdot \Delta t$$

$\Delta V$  : volume d'eau infiltré.

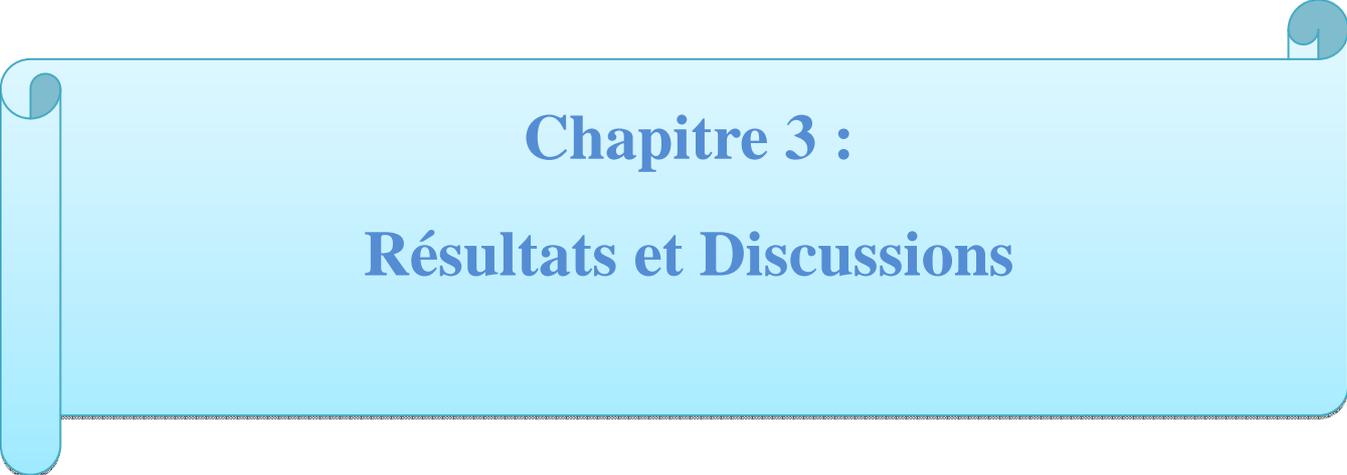
$A$  : aire d'essai.

$\Delta t$  : intervalle du temps.



**Figure.26 : schéma de l'essai double anneaux.**

(Source : CETE Nord- Picardie, guide chaussée réservoir 2002)



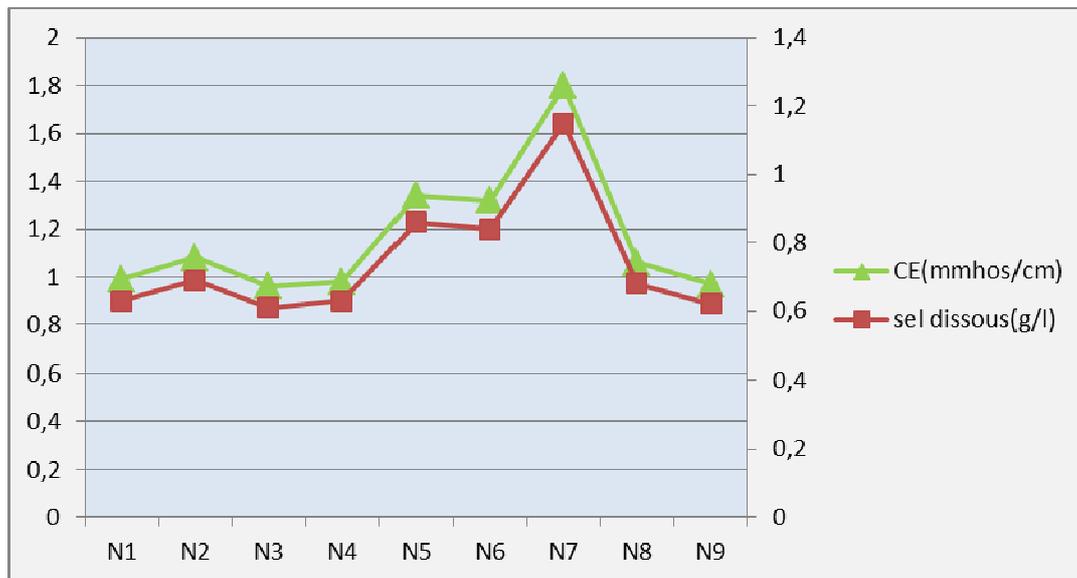
## **Chapitre 3 :**

# **Résultats et Discussions**

Cette partie a pour objectif de donner une idée générale sur la qualité de l'eau destinée à l'irrigation et de caractériser l'état du sol dans la zone étudiée afin de les comparer avec les normes de validité en vigueur. (Tableau en Annexe).

## 1. Résultats d'analyses des eaux souterraines :

### 1.1 Conductivité électrique :



**Figure .7 : variation de la conductivité électrique et les sels dissous dans les eaux souterraines**

**Tableau.1 : Grille D'évaluation de la qualité des eaux souterraines : salinité**

(Norme Ministère Energie, Mine Eaux et Environnement)

Classe de qualité	Excellente	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvais e
CE (mmhos/cm)	0.1-0.75	0.75-1.3	1.3-2.7	2.7-3.0	3.0-7.0

**Tableau.2 : barème d'appréciation de la salinité de l'eau pour l'irrigation.**  
**(Normes directive FAO)**

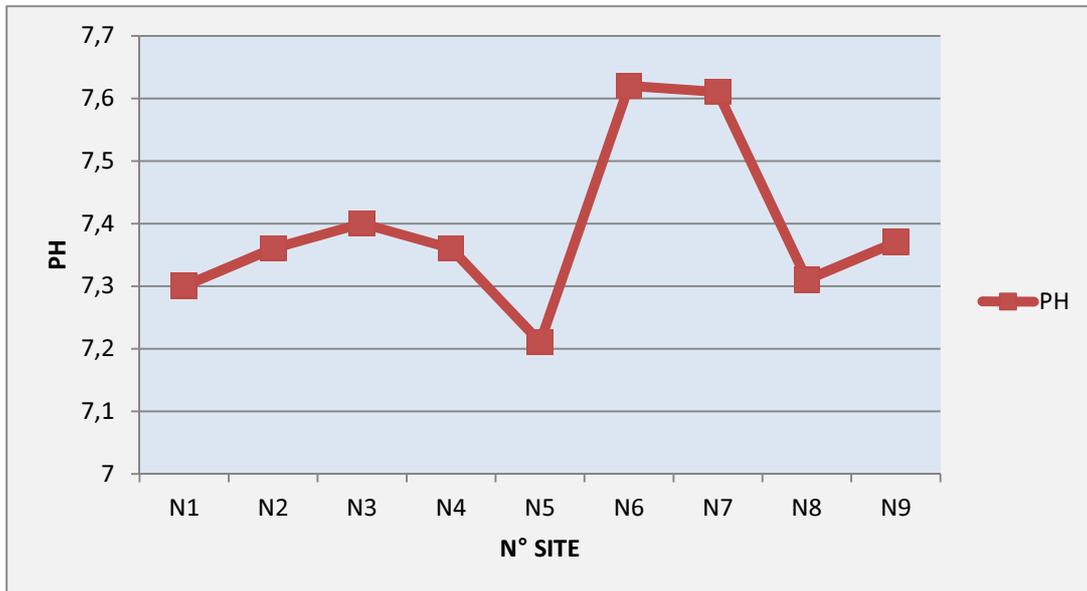
Salinité	Aucune restriction pour l'irrigation	Restriction Modéré	Forte restriction pour l'irrigation
Conductivité en mmhos/cm	< 0.75	0.75 -3.0	> 3.0

La conductivité électrique des eaux souterraines dans la zone d'étude (N'fis) varie de 0.99 et 1.8 mmhos/cm. Le niveau de salinité des eaux souterraines est faible (comprise entre 0.61 et 1.15). On remarque une différence de la conductivité entre le site N7 et les autres sites.

D'après les tableaux 1 et 2, les eaux souterraines de secteur N'fis N1-2 sont de qualité moyenne à bonne, ne sont pas salée et ne présentent que des restrictions même modérées pour l'irrigation.

Cette richesse en sels dissous dans l'eau du site N7 due à la lithologie de la zone (contact eau-roche)

## 1.2 Le potentiel hydrogène (pH) :



**Figure.8 : courbe illustrant la variation du potentiel hydrogène des eaux souterraines**

**Tableau.3 : Classifications des eaux selon leur pH (Normes de potabilité International)**

PH < 5	Acidité forte => présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles
pH = 7	pH neutre
7 < pH < 8	Faible alcalinité, => majorité des eaux de surface
5,5 < pH < 8	Faible alcalinité => Majorité des eaux souterraines.
pH =8	Alcalinité forte => évaporation intense

A part les échantillons 6 et 7 qui présentent un pH plus élevé. Le pH des eaux du secteur montrent des valeurs comprises entre 7,21 et 7.62

En se basant sur le tableau des classifications des eaux selon leur pH (tableau.3), on peut conclure que nos échantillons ont un pH faiblement alcalin

### 1.3 Teneur en Nitrates :

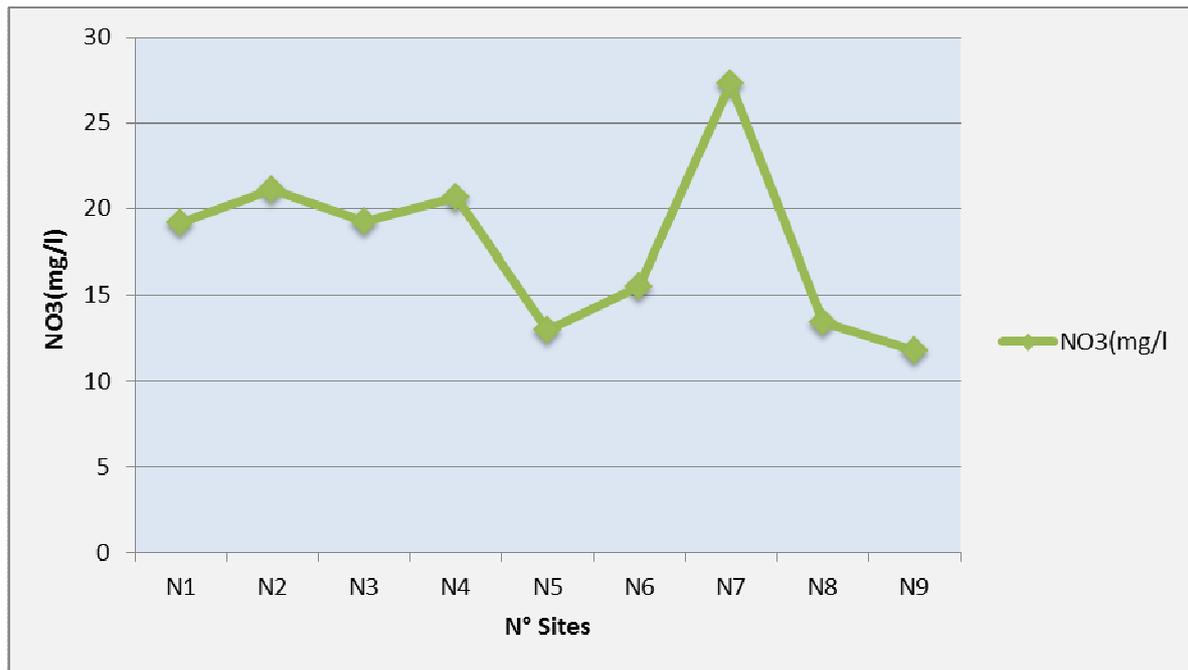


Figure.9 : Variation des nitrates dans les eaux souterraines

Tableau.4 : barème d'évaluation de la qualité des eaux souterraines pour le paramètre NO3.

(Norme Ministère Energie, Mine Eaux et Environnement)

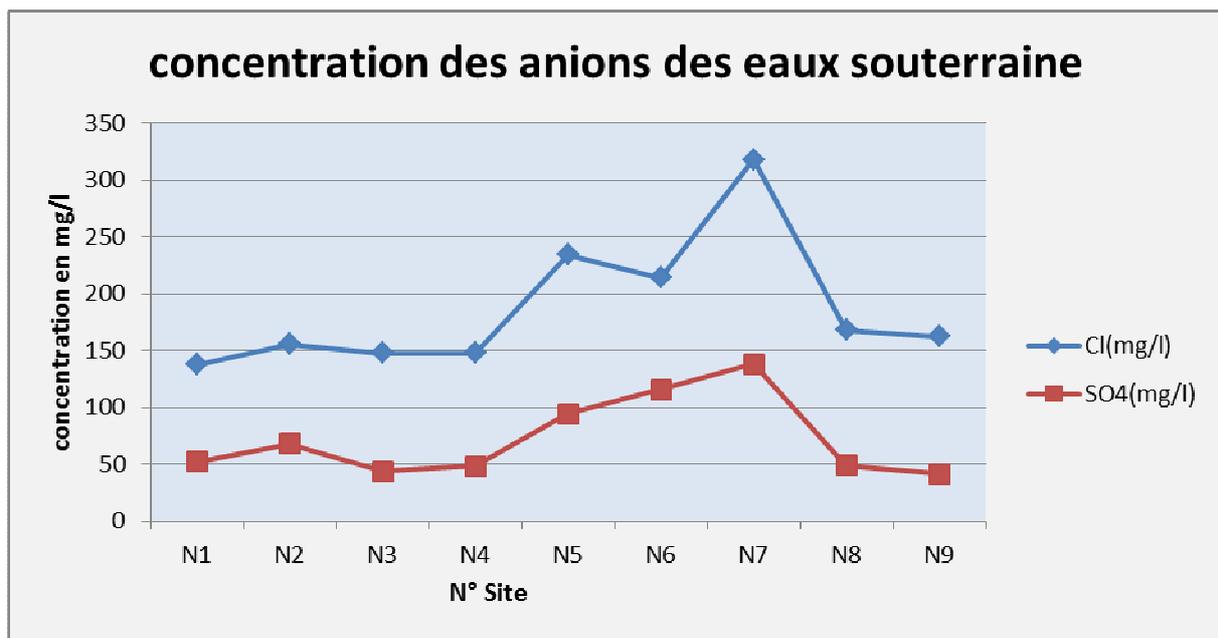
Classe de qualité	Excellente	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
NO3 (mg/l)	<10	10-25	25-50	>50	

La teneur en nitrates des eaux souterraines dans notre secteur est comprise entre 11.78 mg/l et 27.3 mg/l. Le taux de pollution en nitrates dans ces eaux reste faible par rapport au seuil qui est de 50 mg/l.

D'après la (Fig.9) .Les eaux en profondeur pompées directement de la nappe phréatique de secteur N'fis N1-2 présentent de faibles teneurs en nitrates traduisant l'état sain de l'aquifère qui n'est donc pas touchée par l'intensification d'épandage des engrais.

#### 1.4 Les éléments majeurs :

##### A. Les anions

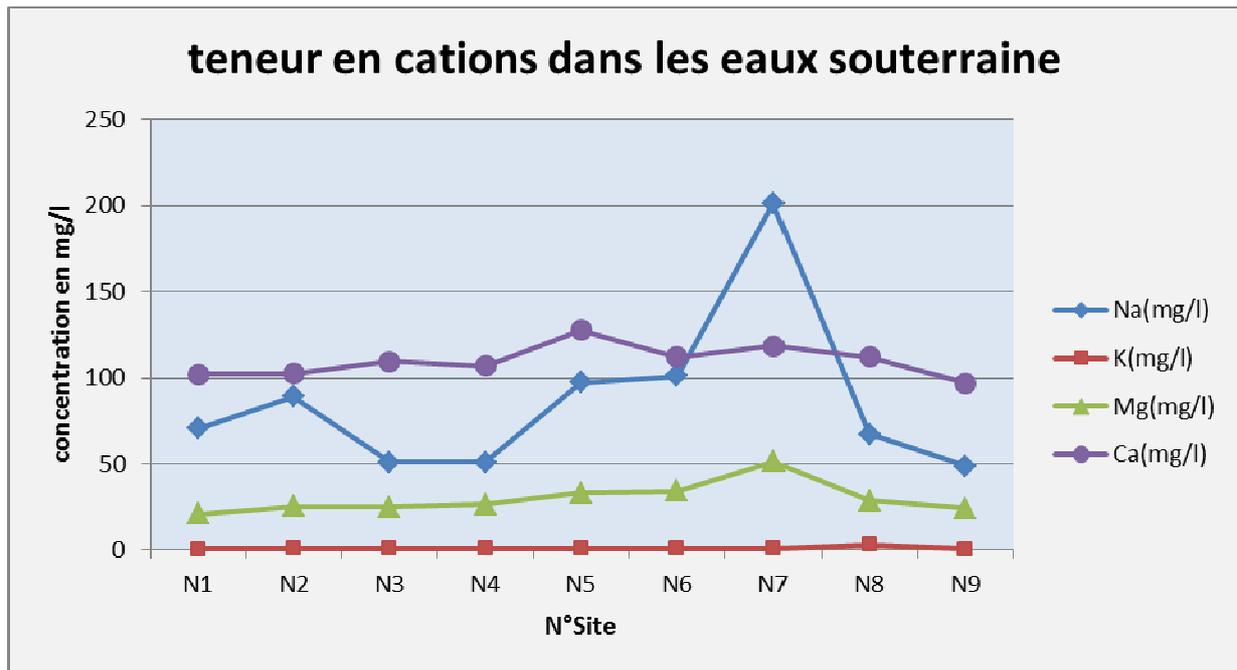


**Figure.10 : Concentrations des anions des eaux souterraines**

Les résultats des analyses (Annexe, Tab. 1) montre des concentrations faible a moyenne de chlorure qui sont inférieurs à 200mg/l. excepté pour le site N7, qui affiche un taux de chlorures de 230mg/l. On remarque aussi le faible teneur en sulfate qui est inférieure à 200 mg/l dans tous les sites analysée. L'origine de ces ions dans les eaux souterraine est contrôlée par le contact eau- roche et aussi par les eaux de pluie qui s'infiltrent.

Pour le site N7 qui présente une valeur élevée de chlorure dû vraisemblablement à une contamination par les engrais agricoles utilisés pour l'agriculture (KCl principalement)

### B. les cations :



**Figure .11: Concentrations des cations des eaux souterraines.**

Les concentrations des cations illustrées par la figure 11, montre que le cation relativement le plus abondant dans tous les sites fût est le calcium, excepté le site n°7 où le cation le plus abondant fût le sodium.

Le calcium présente des concentrations qui varient entre 96.8 mg/l et 127.75 mg/l. Cet enrichissement en calcium est dû vraisemblablement à la présence de formations de calcaires d'âge mi pliocène.

Le Magnésium montre des concentrations relativement moyennes par rapport à la concentration totale des cations, cela indique que les ions  $Mg^{2+}$  sont issues de la décomposition des minéraux ferro-magnésiens présentes dans les roches de la région, suivi par le sodium, Ce dernier se trouve dans les eaux de la nappe en faible teneur sauf dans le site n°7

cette augmentation du vraisemblablement à la lixiviation des formations géologiques contenant de sodium ou la venue d'eaux salées dans les nappes aquifères. Alors que le potassium est très faible avec des teneurs qui ne dépassent pas 3 mg/l. (annexe. Tab.2).

## **2. Classification des eaux :**

### **2.1 Faciès chimique :**

Afin de déterminer le faciès chimique des eaux d'irrigation utilisées dans le secteur N°fis N1-2, on a utilisé le diagramme de Piper et Schöeller Berkalloff.

Le diagramme de piper montre que les eaux du secteur présentent un faciès chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne ce sont des eaux calci-magnésienne

Le diagramme de Schöeller Berkalloff montre clairement que les eaux présentent le même groupe, avec des concentrations en ions pareils.

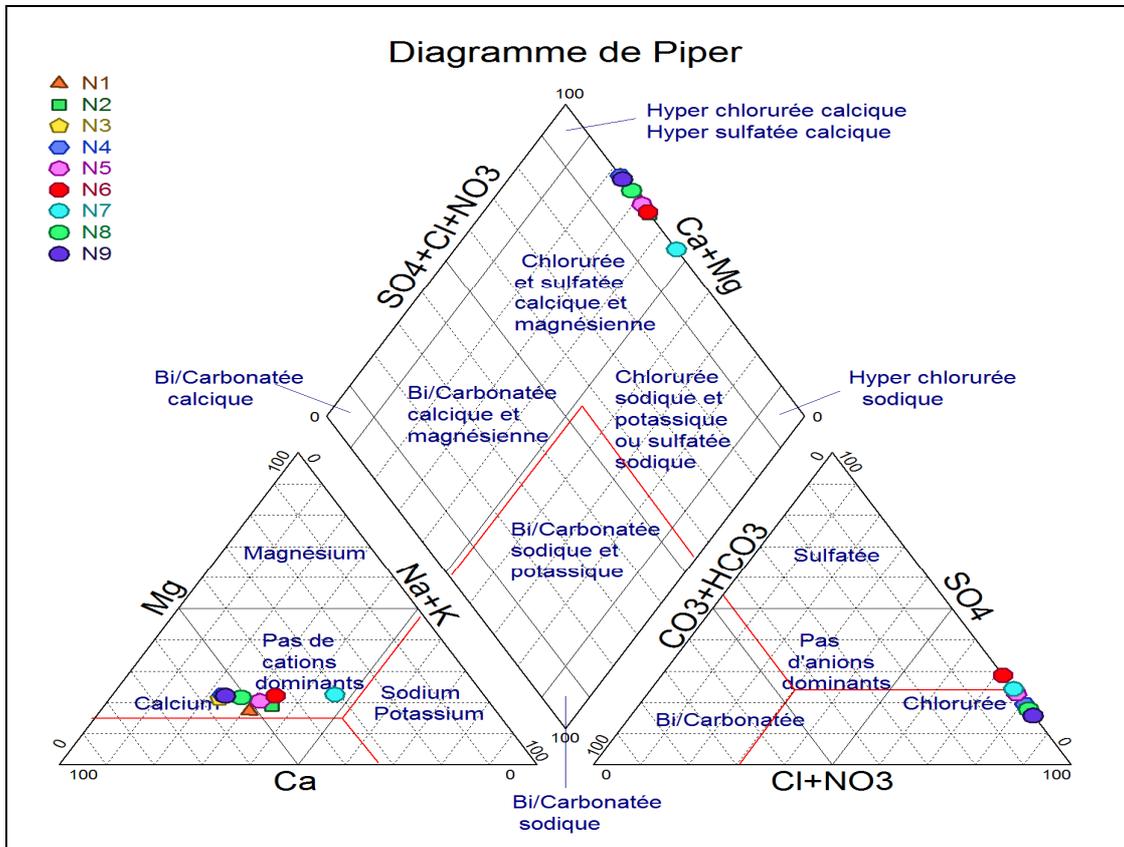


Figure. 12 : Diagramme de Piper des eaux souterraines



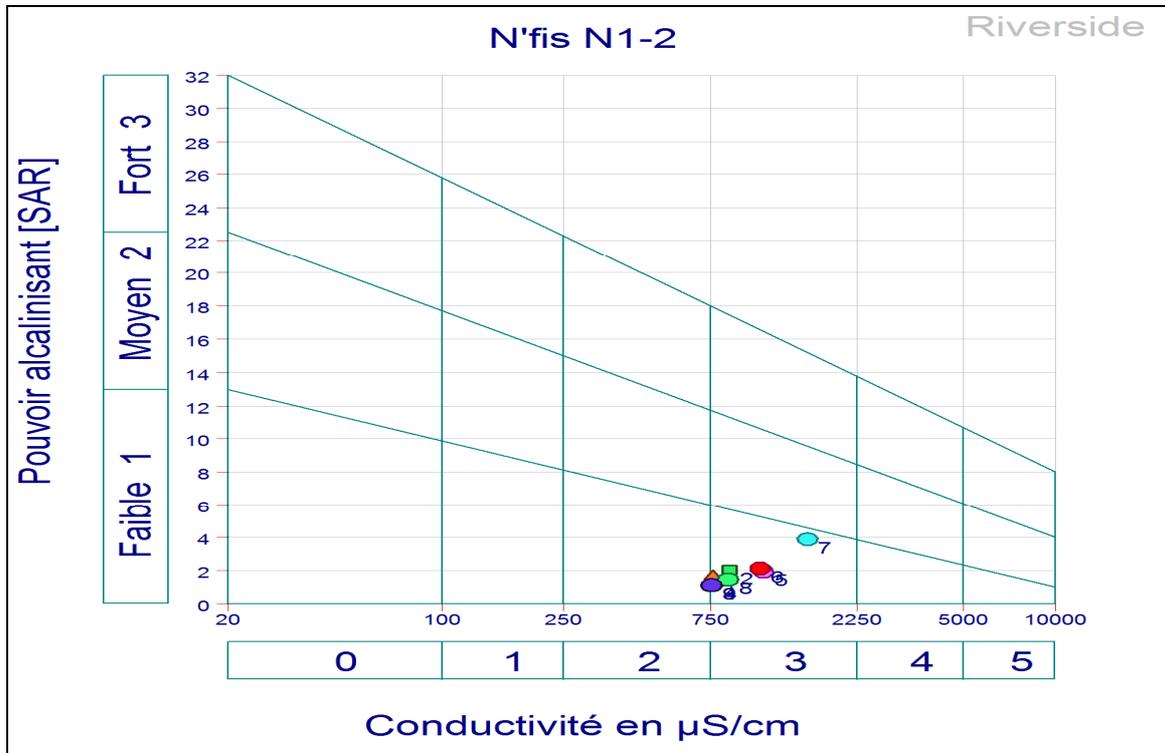


Figure.14 : Qualité des eaux étudiées d’après le Diagramme de Riverside

Tableau 5 : Normes de SAR

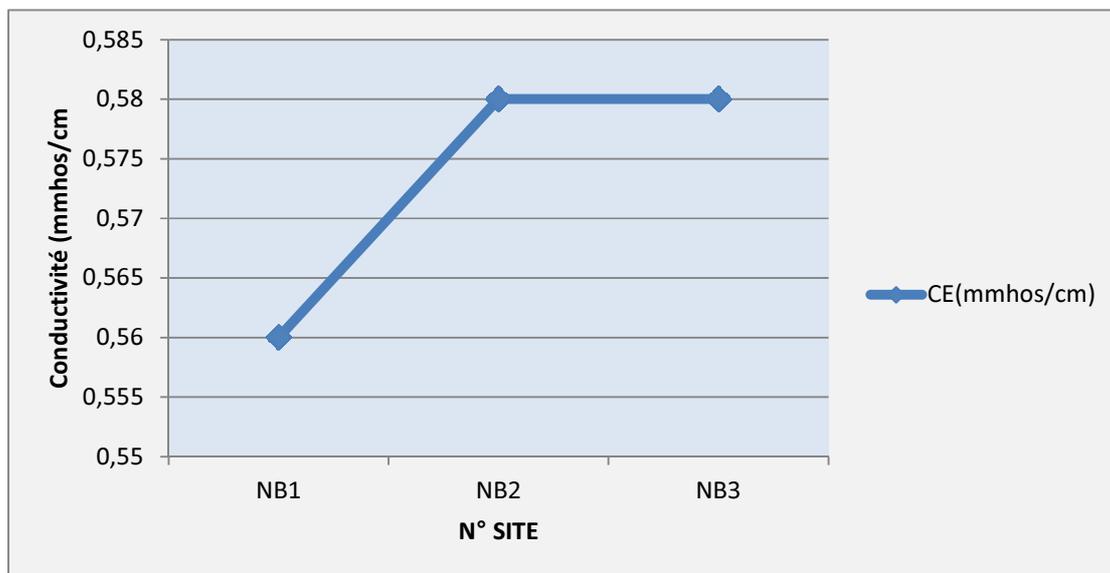
(<http://hydram.epfl.ch/docs/Irrigation-basic.pdf>)

SAR	Risque
<10	Faible
10<SAR<18	Moyen
10<SAR<18	Elevé
>26	Très élevé

Les points d’eaux échantillonnés dans le secteur de Saâda sont très peu alcalinisantes. D’après le diagramme de Riverside (Fig.14), on remarque que les eaux exploitées dans ce secteur se placent dans la classe C3-S1, cette dernière est caractérisée par une qualité une bonne qualité vu la faible teneur en Sodium et la conductivité moyenne.

### 3. Résultats d'analyses des eaux de surface :

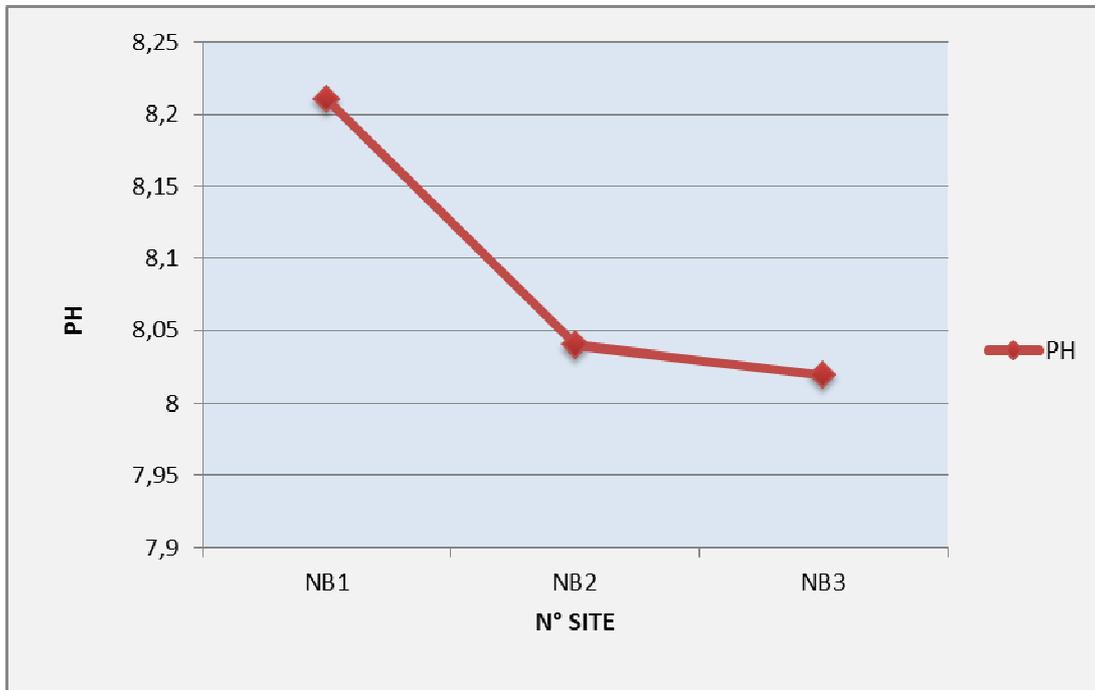
#### 3.1 Conductivité électrique :



**Figure.15 : variation de la conductivité électrique des eaux de surface.**

La (figure 15) montre que les valeurs de la conductivité électrique des eaux de surface est faible ne dépasse pas 0.6mmhos/cm sur les trois sites donc la salinité de ces eaux est très faible et ne présente aucune restriction pour l'irrigation.

#### 3.2 Le potentiel hydrogène (pH) :



**Figure.16 : courbe illustrant la variation du potentiel hydrogène des eaux de surface**

**Tableau.6 : appréciation de la qualité globale des eaux de surface pour le paramètre PH (Norme Ministère Energie, Mine Eaux et Environnement).**

Classe de qualité	Excellente	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvais e
PH	6.5-8.5		8.5-9.2	3.5-6.5 et 9.3-10	

D'après (la figure 16) le PH de l'eau dans les canaux d'irrigation est compris entre 8.02 et 8.21, le PH est dans la gamme normale d'eau apte à l'irrigation la norme est fixée entre 6.5-8.5

D'après le tableau 5 les eaux de surface sont dans la classe excellente pour le paramètre PH

### 3.3 Teneur en Nitrates :

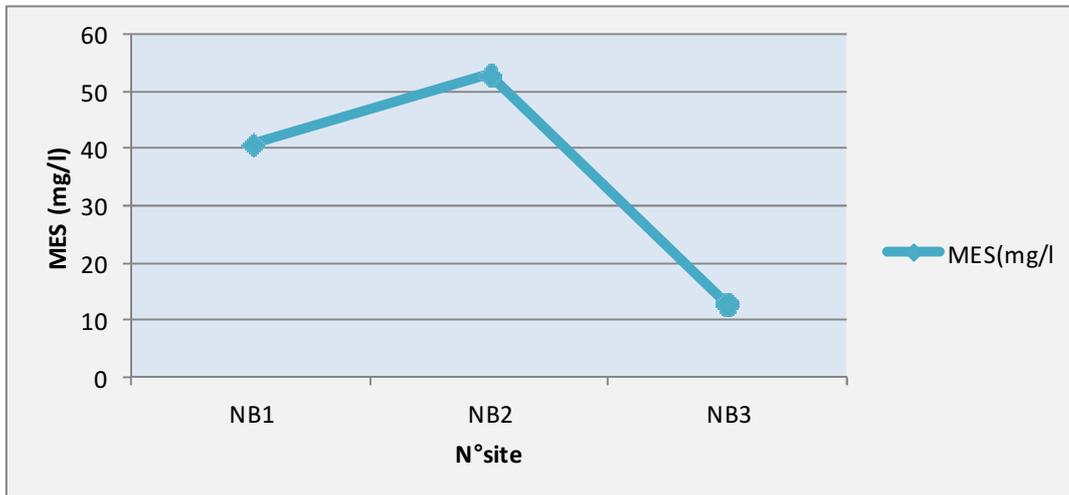


**Figure.17 : variation des Nitrates dans les eaux de surface**

D'après la figure 17 les teneurs en nitrates dans les eaux de surface est faible. Elles sont inférieures à 10mg/l sur tous les sites, les eaux sont de qualité excellente pour le paramètre nitrates dans la grille d'appréciation de la qualité.

La teneur en nitrates est inférieure au seuil de qualité des eaux destinées à l'irrigation (valeur limite d'eau d'irrigation fixée est d'environ 133mg/l) (normes de la qualité des eaux d'irrigation BO n° 5062).

### 3.4 Matière en suspension :



**Figure.18 : courbe illustrant la variation de matière en suspension dans les eaux de surface**

**Tableau.7 : grille d'appréciation de MES de l'eau de surface  
(Norme Ministère Energie, Mine Eaux et Environnement)**

Classe de qualité	Excellente	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
MES (mg/l)	<50	50-200	200-1000	1000-2000	2000-10000

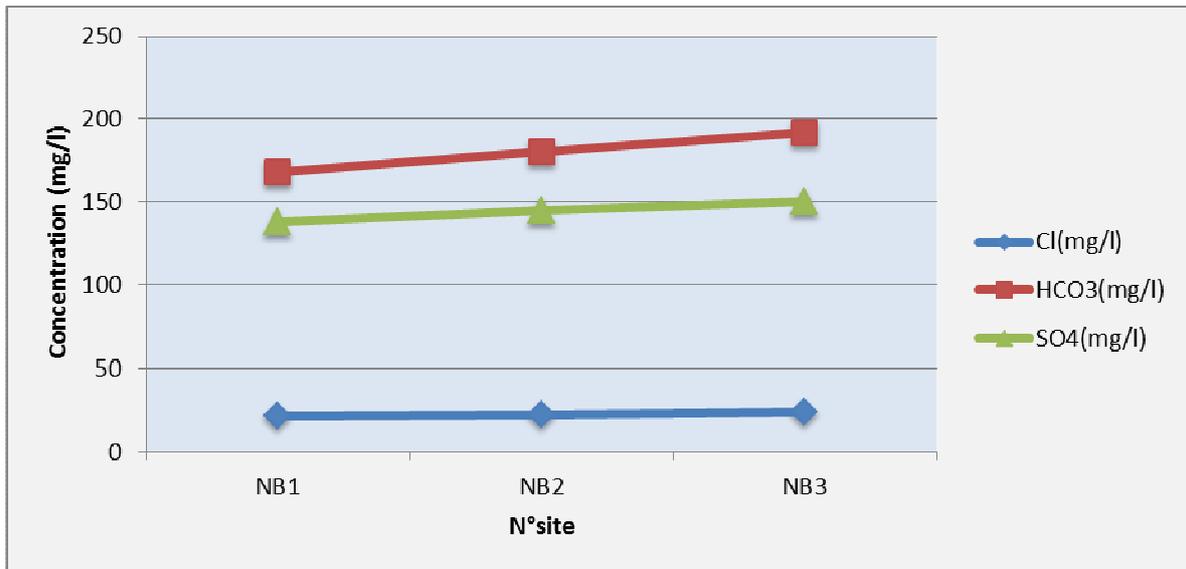
Les eaux dans les canaux contiennent peu de matière en suspension (figure.18), la charge en matière en suspension varie de 13 mg/l à 67 mg/l.

L'eau au niveau du site NB2 est de qualité bonne avec un MES de 67mg/l. les autres sites affichent des taux inférieure à 50 mg/l : les eaux sont de qualité excellente pour ce paramètre dans la grille de qualité des eaux de surface.

Le taux de MES sur les différents sites ne présente aucune contrainte pour l'irrigation gravitaire et localisé.

### 3.5 Les éléments majeurs :

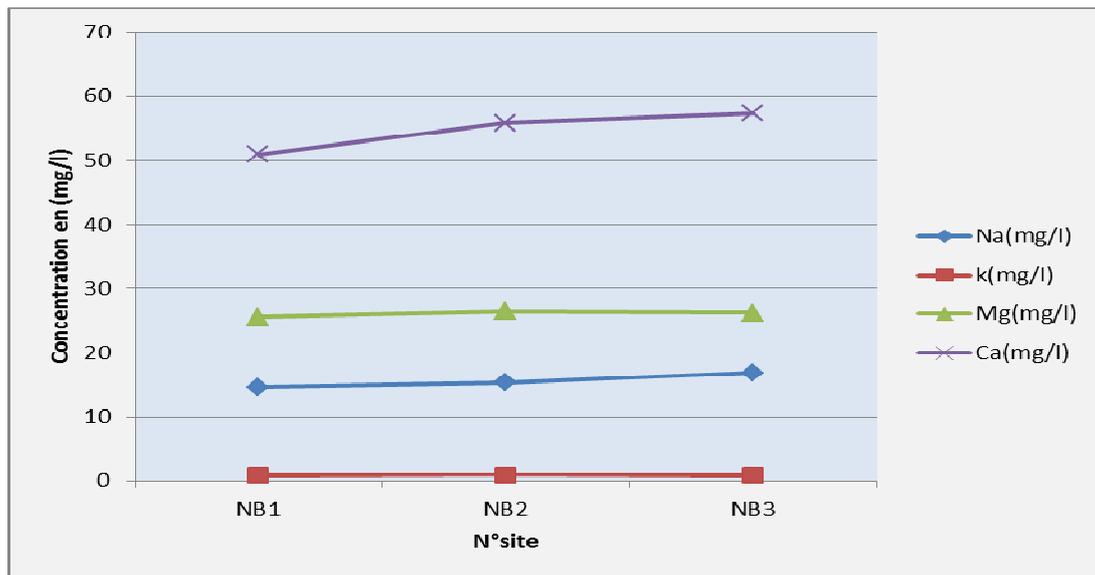
#### A. Les anions :



**Figure.19 : Concentrations des anions des eaux de surface**

Les résultats des analyses (Annexe, Tab. 1) montre une concentration élevée de bicarbonate qui varie entre 167.8 mg/l et 192.2 mg/l Le diagramme de concentrations des anions confirme cette augmentation par rapport aux autres anions. On peut dire que cette augmentation du a la dissolution des formations carbonaté, les chlorures et les sulfates ont des teneurs assez proches et légèrement élevés. (fig. 19)

#### B. les cations :



**Figure .20 : Concentrations des cations des eaux de surface.**

Les concentrations des cations sont illustrées par la figure 20 qui montre que le cation le plus abondant sur tous les sites par rapport aux autres cations est le calcium. Les teneurs en calcium et en magnésium enregistrées au niveau de l'eau de la surface utilisée en irrigation varient respectivement de 50mg/l à 57 mg/l et de 25,62 à 26 ,5 mg/l.

Le potassium, considéré comme un élément bénéfique pour les plantes, présente des teneurs faibles entre 0,89 mg/l et 0,94 mg/l.

Le taux de sodium dans les eaux de surface dépasse la valeur limite pour l'irrigation par aspersion qui est de 9 mg/l, il a un effet sur la perméabilité du sol et l'infiltration de l'eau.

#### 4. Classification des eaux de surface :

##### 4.1 Faciès chimique :

Pour la détermination de faciès chimique on utilise le diagramme de piper. L'analyse de ce diagramme montre que les eaux de surface présente un faciès chloruré, sulfaté calcique et magnésien.

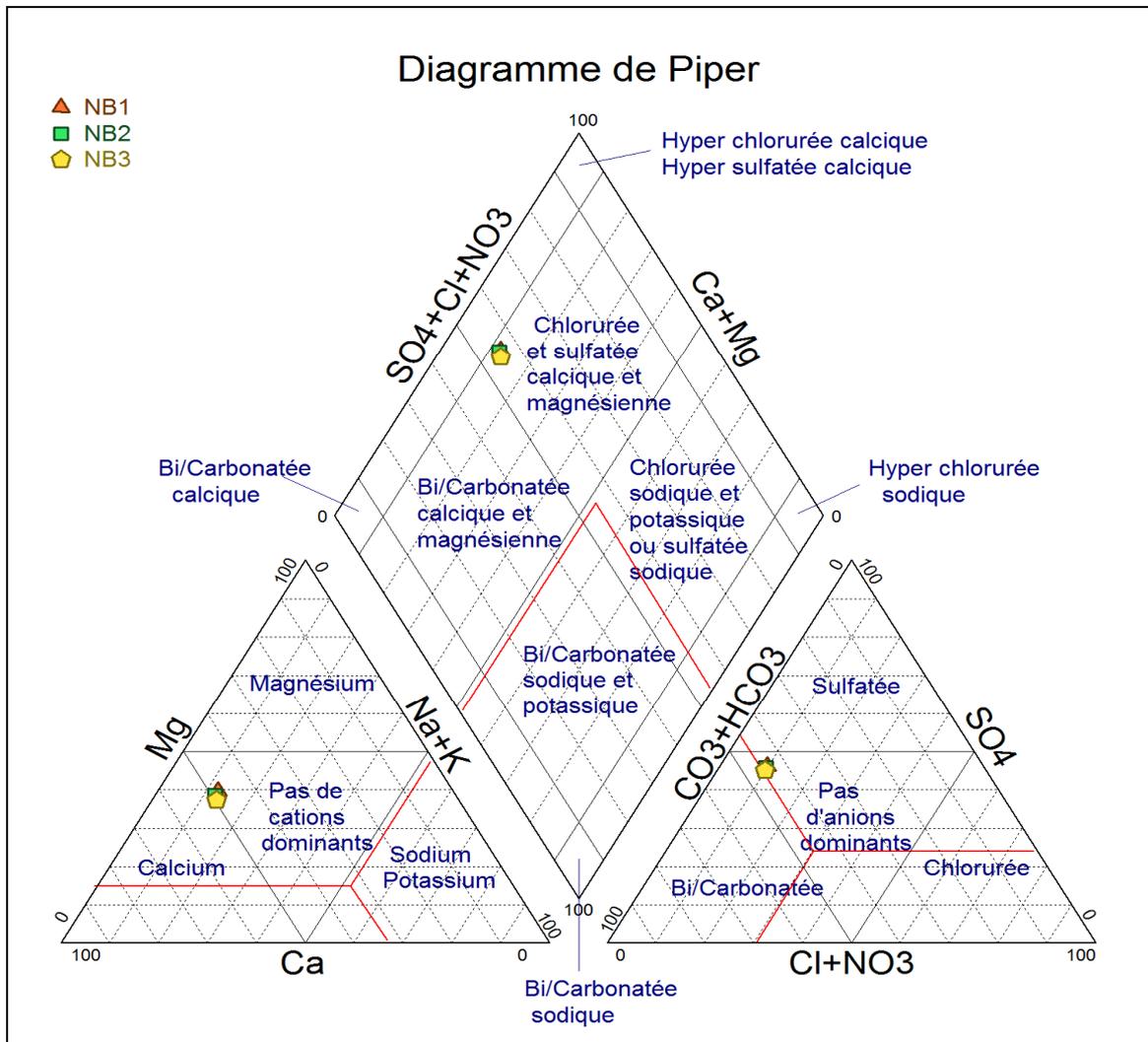


Figure.21 : diagramme de piper des eaux de surface

4.2 Taux de sodium adsorption SAR :

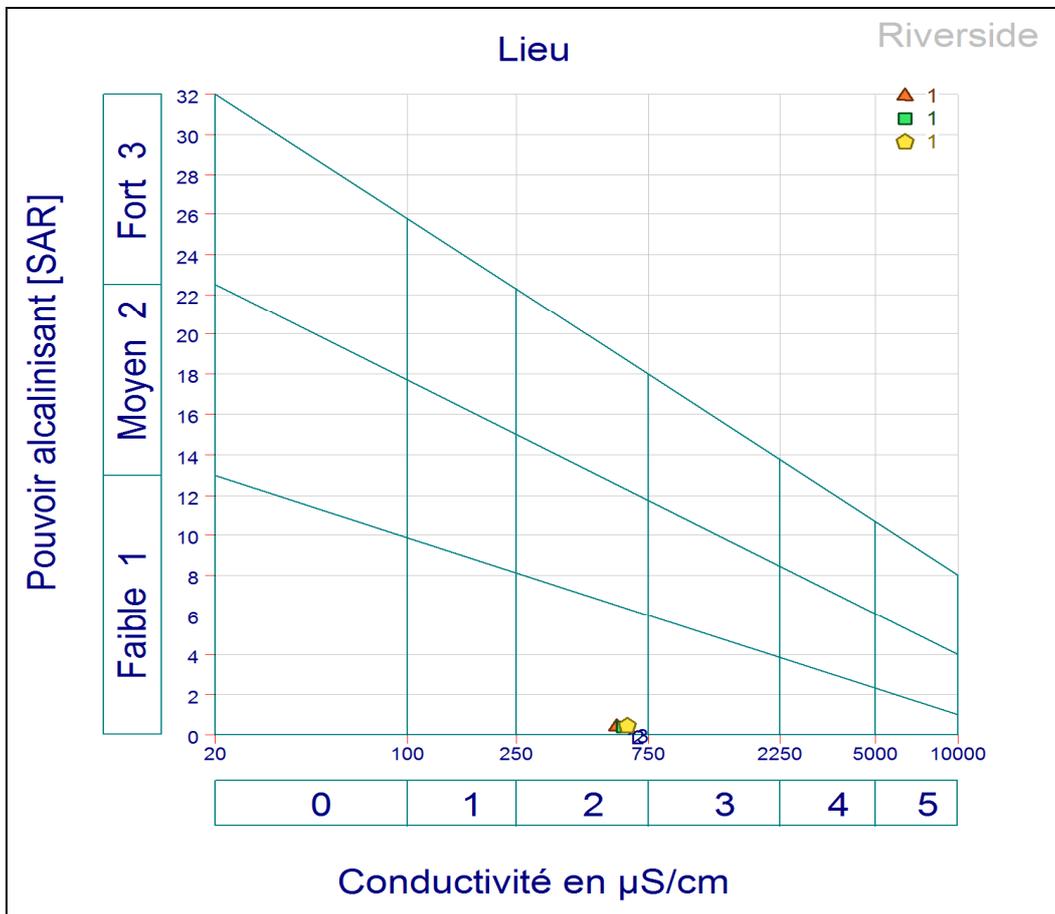


Figure.22 : Qualité des eaux étudiées d'après le Diagramme de Riverside.

Le SAR des eaux de surface est très faible. Les eaux exploitées dans ce secteur se placent dans la classe C2-S1, cette dernière est caractérisée par une bonne qualité vu la faible teneur en Sodium et la conductivité moyenne.

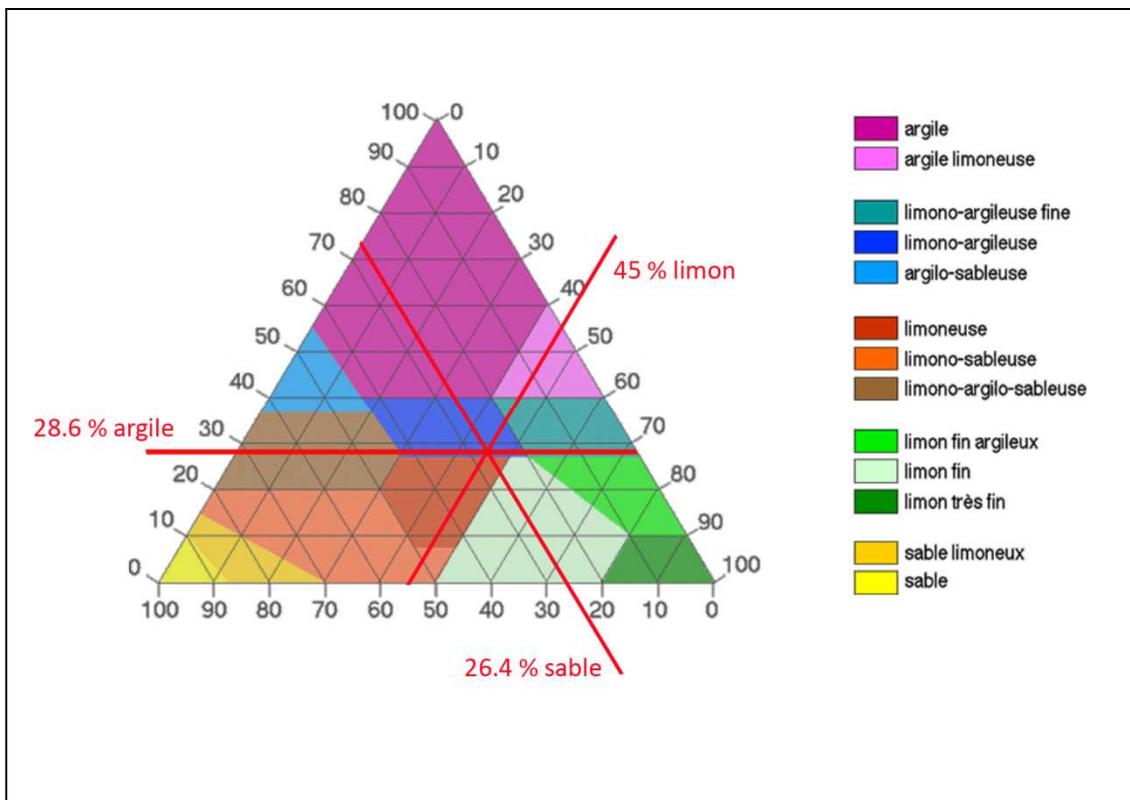
## 5. Résultats qualitatifs du sol :

### 5.1 Texture du Sol :

L'analyse granulométrique des éléments constitutifs des sols étudiés permet d'aboutir aux résultats suivants (tableau.7).

**Tableau.8 : Granulométrie du sol (ORMOVAH)**

Parcelle	Argile(%)	Limon fin(%)	Limon grossier(%)	Sable fin(%)	Sable grossier(%)
Centre Saada	28.6	23.1	21.9	16.5	9.9



**Figure.23 : classification textural du sol étudié**

D'après le triangle des textures (Figure 23) on constate que les sols de la zone d'étude ont une texture limono-argileuse qui ont une perméabilité moyenne de l'ordre de 0,8 cm/h. Ce type de sol est caractérisé par un bulbe d'humidification à extension latéral.

### 5.2 Conductivité électrique :

La mesure de la conductivité électrique, traduit la concentration de sels soluble contenus dans le milieu. Elle donne une estimation de la salinité du sol.

Une conductivité électrique élevée indique une forte concentration en sels dans la solution du sol ce qui augmente la pression osmotique dans la zone racinaire et entraîne une incapacité des racines à absorber l'eau.

La conductivité électrique à la pâte saturée mesure la salinité dans la zone des racines à la capacité au champ. Elle permet également une estimation de la quantité de sels et la pression osmotique de la solution du sol.

La teneur en sel (ppm) =  $EC \times 640$ .

La pression osmotique de la solution PO (atm) =  $0.63 \times EC$ .

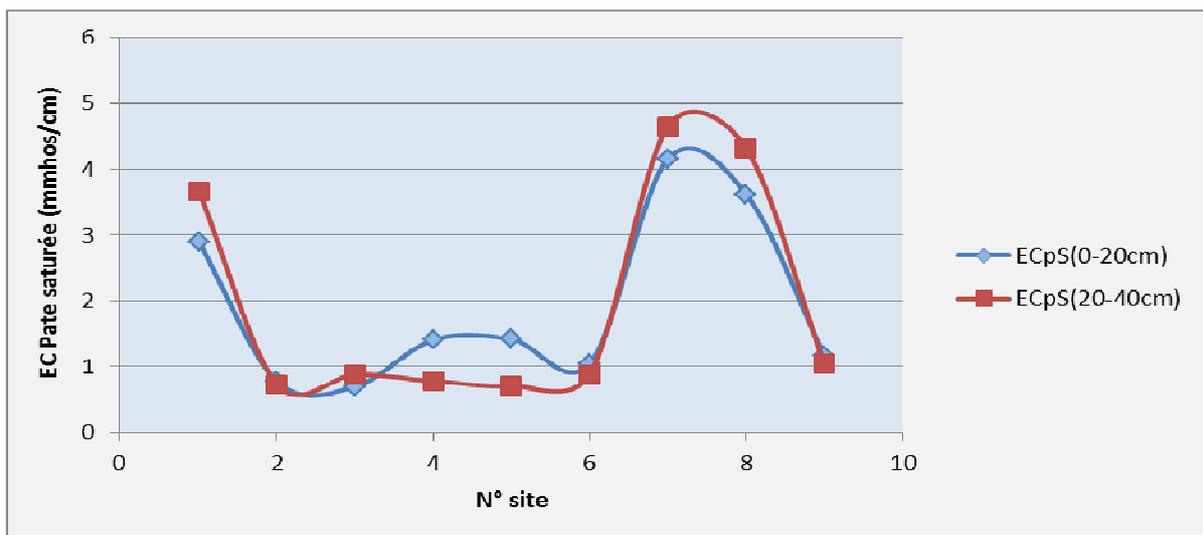


Figure.24: évolution de la conductivité électrique des sols par horizon.

**Tableau .9: Norme d'appréciation de la conductivité électrique du sol à la pâte saturée.**

Conductivité électrique à la pâte saturée (mmhos/cm)	Appréciation
<4	Sol non salé
4 – 8	Sol moyennement salé
8 - 16	Sol salé
16 – 32	Sol très salé
>32	Sol excessivement salé

La figure 24 montre que la conductivité électrique sur l'ensemble des échantillons de sols analysés dans le secteur varie de 0,7 et 4,65 mmhos/cm.

Sur l'ensemble des sites analysés, deux sites sont moyennement salé avec une conductivité qui dépasse 4 mmhos/cm. Cette salinité affecte les deux horizons de surface des sols elle sera lié à des irrigations récentes avec des eaux saumâtre. Les autres sites ne sont pas salé leur conductivité varie entre 0.7 et 1.42 mmhos/cm.

### 5.3 Taux de sodium échangeable (ESP) :

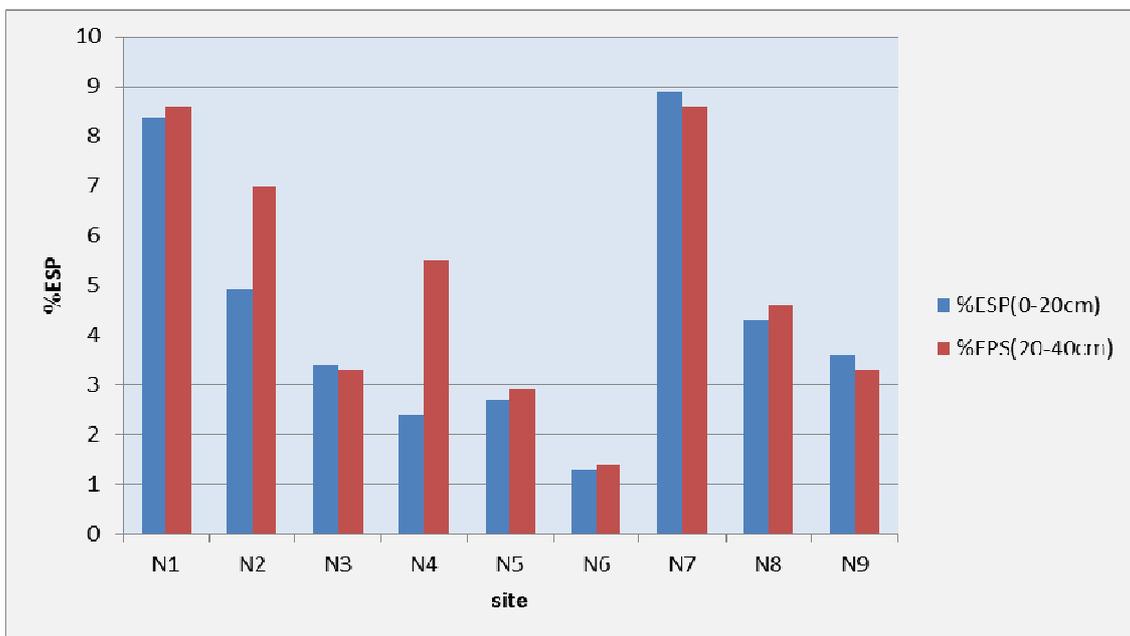
Il est déterminé par le rapport  $(Na * 100) / (\text{somme des cations})$

Na : concentration du sodium en meq/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.8) 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.

**Tableau.10 : Normes d'appréciation de l'alcalinité des sols.  
(Norme Ministère Energie, Mine Eaux et Environnement).**

% ESP	Classification
<6	Sol non sodique
6 – 10	Sol faiblement sodique
10 - 15	Sol sodique
15- 25	Sol fortement sodique
>25	Sol très fortement sodique



**Figure.25 : variation de l'ESP dans les sols.**

Les valeurs calculés de l'ESP sont représentés dans l'annexe, tableau 3, d'après ces résultats ont a obtenu la figure 25 qui montre que tous les échantillons prélevés ont ESP inférieur à 10% ce qui montre que le sol de la zone d'étude est faiblement sodique

#### 5.4 Perméabilité des sols par méthode double anneaux :

**Tableau.11 : résultats des mesures de perméabilité**

Site	Perméabilité muntz (cm/h)
N1	0.20
N2	0.14
N3	0.29
N4	0.30
N5	0.59
N6	0.22
N7	0.74
N8	0.44
N9	0.45

Vitesse d'infiltration : cm/h	Irrigation gravitaire
$k < 0.5$	Très faible
$0.5 < k < 1$	Faible
$1 < k < 10$	Excellente à bonne
$10 < k < 20$	Bonne
$k > 20$	Elevée

**Tableau.12 : appréciation de la vitesse d'infiltration**

D'après les résultats, la vitesse d'infiltration est faible dans le sol, elle est en moyenne de 0.5 cm /h dans les horizons.

En irrigation gravitaires ces sols nécessitent une amélioration de la porosité du sol par des labours et de la fumure organique pour favoriser l'infiltration.

## 6. Synthèse

### **Qualité des eaux d'irrigation :**

Les ressources en eaux d'irrigation utilisées sur le secteur sont aptes pour l'irrigation. La salinité est faible à modéré et le SAR est faible.

Les eaux de surface ne présentent pas de risque de salinisation des sols. La salinité est très faible

Les eaux souterraines présentent des risques moyens de salinisation des terres nécessitent des lessivages périodique pour éliminer les sels de la zone des racines.

### **Qualité des sols :**

---

La perméabilité des sols est faible. La majorité des sols ont une mauvaise stabilité structurale. Il faut améliorer la structure du sol par fumure organique et travailler le sol en profondeur pour améliorer la perméabilité du sol. Il faut assurer une perméabilité suffisante des sols pour permettre un lessivage des sels et un bon développement des racines.

## CONCLUSION GENERALE

Le secteur N'fis N1-2 est situé sur la bordure orientale du Haouz centrale dans le périmètre irrigué de N'fis. Le secteur est irrigué par les eaux provenant du barrage Lala Takerkoust sur l'oued de N'fis. Ce périmètre situé près de Marrakech comporte de nombreuses propriétés aménagées en système d'irrigation localisée sur des plantations arboricoles (agrumes, abricotier, olivier) et les cultures maraichère. La zone concernée par le programme de reconversion en irrigation localisée couvre une superficie de 1936 ha.

Les sols du secteur N'fis N1-2 sont en grande partie développés sur des matériaux détritiques d'apport récent, les sols sont profonds avec un taux d'argiles compris entre 20 et 40 %.

La conductivité électrique des sols à la pâte saturée est variable, une grande partie des sols n'est pas salée, la conductivité ne dépasse pas 4 mmhos/cm. On distingue cependant des plages de sols salés avec des conductivités électriques qui dépassent 4mmhos/cm et des sols sodiques avec un  $ESP > 10$

Les sols sont peut perméable et de stabilité structurales d'une grande partie des terres médiocre à instable.

Les eaux d'irrigation du périmètre étudié se caractérisent par un pH légèrement alcalins à alcalin. Selon la conductivité électrique les eaux est moyennement salé avec des restrictions modérées pour l'irrigation, la conductivité varie de 0,99 à 1.8 mmhos/cm.

Le résultat des analyses chimiques des eaux montre une concentration élevée des chlorures suivi 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 Miopliocène, 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.

L'utilisation des diagrammes, Piper et Schöeller Berkloff 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.

### **Recommandations**

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

- ✓ La bonne gestion des ressources en eaux.
- ✓ S'assurer d'un bon drainage souterrain : Si une couche indurée restreint le mouvement de l'eau à travers la zone racinaire (cas d'eau saline).
- ✓ L'utilisation des produits biologiques dans la fertilisation du sol.
- ✓ Un labour profond pour l'amélioration des sols sodiques.
- ✓ Surveiller la qualité des eaux et des sols d'une façon périodique.

## LISTE DES ABREVIATIONS

**ORMVAH** : Office Régional de la Mise en Valeur d'Agriculture du Haouz.

**LABOMAG** : Laboratoire Marocain d'agriculture.

**SAU** : Superficie Agricole Utile.

**PH** : Potentiel Hydrogène.

**SAR** : Sodium Absorption Ratio (coefficient d'absorption du sodium)

**E.D.T.A** : Ethylène Diamine Tétra- Acétique

**MES** : Matière en Suspension

**ESP** : Taux de Sodium Echangeable

**FAO** : Food and agriculture organisation

## LISTE DES FIGURES

**Figure 1** : localisation du périmètre N'fis N1-2 (Tiré de Razoki, 2000)

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

**Figure 3** : carte pédologique du Haouz de Marrakech (direction de l'agriculture, du commerce et des forêts 1951).

**Figure 4** : variation des précipitations moyennes mensuelles à la station de Saâda (année 2009 à 2013).

**Figure 5** : occupation du sol dans le secteur d'étude (ORMVAH ,2010).

**Figure 6** : position des points d'eaux souterraines.

**Figure 7** : variation de la conductivité électrique et les sels dissous dans les eaux.

**Figure 8** : courbe illustrant la variation du potentiel hydrogène des eaux.

**Figure 9** : variation des nitrates dans les eaux souterraines.

**Figure 10** : concentration des anions souterrains.

**Figure 11** : concentration des cations des eaux souterraines.

**Figure 12** : diagramme de piper des eaux souterraines.

**Figure 13** : diagramme de Scholler Berkaloff : l'évolution des différents paramètres chimiques.

**Figure 14** : qualité des eaux étudiées d'après le diagramme Riverside.

**Figure 15** : variation de la conductivité électrique des eaux de surface.

**Figure 16** : courbe illustrant la variation du potentiel hydrogène des eaux de surface.

**Figure 17** : variation des nitrates dans les eaux de surface.

**Figure 18** : courbe illustrant la variation de la matière en suspension dans les eaux de surface.

**Figure 19** : concentration des anions dans les eaux de surface.

**Figure 20** : concentration des cations dans les eaux de surface.

**Figure 21** : diagramme de piper des eaux de surface.

**Figure 22** : qualité des eaux étudiées d'après le diagramme de Riverside.

**Figure 23** : classification textural du sol étudié.

**Figure 24** : évolution de la conductivité électrique des sols par horizon.

**Figure 25** : variation de l'ESP dans les sols.

**Figure 26** : schéma de l'essai double anneaux (source : CETE Nord-Picardie, guide chaussée réservoir 2002).

## LISTE DES TABLEAUX

**Tableau 1 :** Grille d'évaluation de la qualité des eaux souterraines : salinité (Norme Ministère Energie, Mine Eaux et Environnement).

**Tableau 2 :** Barème d'appréciation de la salinité de l'eau pour l'irrigation (Normes directive FAO).

**Tableau 3 :** Classification des eaux selon leur PH (Normes de probabilité international).

**Tableau 4 :** barème d'évaluation de la qualité des eaux souterraines pour le paramètre NO3 (Norme Ministère Energie, Mine Eaux et Environnement)

**Tableau 5 :** Normes de SAR (<http://hydram.epfl.ch/docs/Irrigation-basic.pdf>)

**Tableau 6 :** appréciation de la qualité globale des eaux de surface pour le paramètre PH (Norme Ministère Energie, Mine Eaux et Environnement).

**Tableau 7 :** Tableau.6 : grille d'appréciation de MES de l'eau de surface (Norme Ministère Energie, Mine Eaux et Environnement).

**Tableau 8 :** Tableau.8 : Granulométrie du sol (ORMOVAH).

**Tableau 9 :** Norme d'appréciation de la conductivité électrique du sol à la pâte saturée. (Norme Ministère Energie, Mine Eaux et Environnement).

**Tableau 10 :** Normes d'appréciation de l'alcalinité des sols. (Norme Ministère Energie, Mine Eaux et Environnement).

**Tableau.11 :** résultats des mesures de perméabilité.

**Tableau.12 :** appréciation de la vitesse d'infiltration.

## LISTE DES PHOTOS

**Photo 1** : PH mètre.

**Photo 2** : conductimètre.

**Photo 3** : Burette de dosage  $\text{Cl}^-$ .

**Photo 4** : complexon de dosage de calcium et magnésium.

**Photo 5** : spectrophotomètre à flamme.

## BIBLIOGRAPHIE

- **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.
- **BERROUCH H.** (2011) : Etude de la qualité des eaux d'irrigation et du sol dans le périmètre de Saada. Mémoire de fin d'études
- **BENJELLON S. ET ELOUAHABI K.** (2013) : performance de l'irrigation localisée et son impact sur le sol du périmètre de N'Fis. Mémoire de fin d'études
- **ORMOVAH** (2013) : Etude de la qualité des eaux d'irrigation des secteurs concernés par le projet de reconversion des systèmes d'irrigation existants à l'irrigation localisé, Rapport interne, Marrakech, 3p,
- **ORMAVAH** (2010) : Etude de la qualité des eaux d'irrigation des secteurs concernés par le projet de reconversion des systèmes d'irrigation existants à l'irrigation localisé, Rapport interne, Marrakech, 8p.
- **RAZOUKI B., ERROUANC S. ET ELHB A.** (2000) : Piézométrie et optimisation du réseau de contrôle de la nappe plioquaternaire du Haouz. /Juil.
- **EI OUMLOUKI K.** (2014) : Étude de la qualité physico-chimique des eaux et des sols de la région Souss Massa, (Cas de périmètre Issen), Maroc.
- **ABOURIDA A., RAZOUKI B. ET ERROUANE S.** (2003) : Impact de l'irrigation sur la piézométrie du secteur N'fis au Haouz Central de Marrakech(Maroc)
- **Direction de l'Agriculture, du Commerce et des Forêts** (1951) : rapport interne
- **Jackson** (1965) : technique d'analyse du sol.

## WEBOGRAPHIE

- [http://www.water.gov.ma/index.cfm?gen=true&id=13&ID\\_PAGE=30](http://www.water.gov.ma/index.cfm?gen=true&id=13&ID_PAGE=30)
- <http://www.lenntech.fr/francais/irrigation/salinite-risque-irrigation.htm>
- [www.eau-tensift.net/fileadmin/userfiles/pdf/publication/3-irrigation.pdf](http://www.eau-tensift.net/fileadmin/userfiles/pdf/publication/3-irrigation.pdf)
- [http://servicesurbains.lillemetropole.fr/public/doc/eauxPluviales/02\\_Guide\\_Partie\\_2.pdf](http://servicesurbains.lillemetropole.fr/public/doc/eauxPluviales/02_Guide_Partie_2.pdf)
- <http://www.lenntech.fr/francais/irrigation/salinite-risque-irrigation.htm>
- <http://www.agrireseau.qc.ca/legumeschamp/documents/texte%20final.pdf>
- <http://www.afriquescience.info/docannexe.php?id=3016>

## ANNEXE

Tableau : moyenne de précipitation de station Saada (2009 à 2013)

### PRECIPITATION en mm

Les mois	2009	2010	2011	2012	2013	Moyenne mensuelle
<b>J</b>	33.1	59.6	15.7	22.1	0	130.5
<b>F</b>	86	52.2	3.6	0.6	5.4	147.8
<b>M</b>	49.3	0	16.6	4.8	32.1	102.8
<b>A</b>	0.2	0.7	43.3	22.5	14	80.7
<b>.M</b>	0	0.3	52	0	5.6	57.9
<b>J</b>	4.1	1.8	7.2	3.9	0.1	17.1
<b>J</b>	0	0	0	0	1.6	1.6
<b>A</b>	1.4	17.2	0	0.1	1.5	20.2
<b>S</b>	35.5	1.7	0.9	21.1	5.5	64.7
<b>O</b>	0.4	8.9	21	38	35	103.3
<b>N</b>	2.7	38.3	49.7	26.3	24.3	141.3
<b>D</b>	39.3	15.8	1	4.5	20.1	80.7
<b>Moyenne annuelle</b>	261	196.5	211	116.4	145.2	930.1

Site	PH	sel dissous	CE	Na (mg/l)	K (mg/l)	Mg (mg/l)	Ca (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)
N1	7,3	0,90	0,99	70,44	0,66	20,74	102	137,54	51,98
N2	7,36	0,98	1,08	88,91	0,79	25,39	102,55	155,77	67,66
N3	7,4	0,87	0,96	50,81	0,87	25,12	109,5	147,51	43,66
N4	7,36	0,89	0,98	50,81	0,88	26,6	106,95	147,51	48,36
N5	7,21	1,21	1,34	97,27	1,07	33,04	127,75	233,99	94,19
N6	7,62	1,19	1,32	100,93	0,85	34,42	112	214,08	115,48
N7	7,61	1,63	1,8	201,17	0,72	51,28	118,25	317,64	138,4
N8	7,31	0,96	1,06	67,38	3	28,66	112,25	167,94	48,97
N9	7,37	0,88	0,97	48,83	0,63	24,14	96,8	162,29	41,49

**Tableaux : résultats des analyses des eaux souterraines**

**Tableaux : résultats des analyses des eaux de surface**

Sites	Conductivité (mmhos/cm)	PH	Na (mg/l)	K (mg/l)	Mg (mg/l)	Ca (mg/l)	Hco <sub>3</sub> (mg/l)	Cl (mg/l)	So <sub>4</sub> (mg/l)
NB1	0,56	8,21	14062	0,89	25,62	50,95	167,8	21,21	138
NB2	0,58	8,04	15,36	0,94	26,5	55,8	180	22,19	144,85
NB3	0,58	8,02	16,87	0,87	26,2	57,35	192,2	23,94	150,64

**Résultats des  
sols**

Sites	Profondeur (cm)	conductivité (mmhos/cm)
N1	0-20	2,9
	20-40	3,67
N2	0-20	0,78
	20-40	0,73
N3	0-20	0,7
	20-40	0,88
N4	0-20	1,41
	20-40	0,78
N5	0-20	1,42
	20-40	0,71
N6	0-20	1,05
	20-40	0,89
N7	0-20	4,16
	20-40	4,65
N8	0-20	3,62
	20-40	4,32
N9	0-20	1,17
	20-40	1,04

**analyses des**