



Faculté des sciences et
Techniques –Marrakech



Office régional de la mise en
valeur agricole

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE

Licence Sciences et Techniques

Option : Eau et Environnement

Mémoire de fin d'études

**Performance de l'irrigation localisée et son impact
sur le sol dans le périmètre de N'fis**

réalisé par :

EL OUAHABI Khadija

BENJELLOUN Salma

Encadré par :

Mr. DAOUDI (FSTG)

Mr. HAKIM (ORMVAH)

Soutenu le 24 juin 2013

2012-2013

Dédicace

A nos parents

Aucune dédicace ne serait exprimé à juste valeur tout l'amour, le respect et le dévouement que nous portons envers eux.

A nos enseignants & professeurs

Pour leur patience, dévouement et sacrifice.

A nos frères & amis

A citer un grand remerciement et gratitude envers nos frères et amis.

**Et à tous ceux qui ont rendu ce rapport
finalement réalisable.**

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. Lahcen DAOUDI, Professeur à la faculté des sciences et techniques Marrakech, département des sciences de la terre 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. Mohammed Hakim KHARROU pour son encadrement exemplaire, sa compréhension et son humanité.

Nous remercions également Mr. A. MORENO, et son équipe, au sein du Laboratoire pédologique d'ORMVAH, pour leurs soutiens et conseils afin de mener à bien nos analyses chimiques.

Nous exprimons nos gratitude à Mr. M. SAIDI Professeur à la faculté des sciences et techniques Marrakech, département des sciences de la terre qui, malgré ses occupations, nous a bénéficié de ses conseils.

Nos remerciements vont à Mr. AIT ADDI Professeur à la faculté des sciences et techniques Marrakech, département des sciences de la terre d'avoir accepté de juger ce travail.

Sommaire

INTRODUCTION	6
Partie I : Présentations générales.....	7
I- Présentation de l'office régionale de mise en valeur agricole de Haouz.....	7
I-1- Présentation Générale	7
I-2- Zone d'action de l'ORMVAH	7
I-2-1- Situation géographique	7
I-2-2 - Caractéristiques climatiques.....	8
I-2-3-Ressources en eau d'irrigation	9
II-L'irrigation au Maroc.....	9
II-1- Différentes techniques d'irrigation au Maroc	9
II-1-1- Irrigation gravitaire	9
II-1-2- Irrigation par aspersion.....	10
II-1-3 -Irrigation localisée	11
II-2- Réseau du système d'irrigation goutte à goutte	13
II- 2-1- Station de tête	13
II- 2-2- Canalisation.....	13
II-2-3- Vannes et manomètres.....	13
II-2-4- Organes de distribution	14
Partie II : Domaine et méthode d'étude	15
I - Caractéristiques de la zone d'étude.....	15
I -1-Découpage du secteur N'fis	15
I-2- Situation géographique.....	16
I-3-Contexte Climatique	18
I-4-Contexte géomorphologique.....	20
I-4 -1-Cadre géologique	20
I-4 -2-cadre morphologique	20
I-4 -3- Cadre pédologique.....	21
I-5- Occupation du sol	21
II- Méthodologie de travail.....	22
II -1 -Technique d'échantillonnage.....	22
II-2 - Méthode de mesure du coefficient d'uniformité	24

II -3 Méthodes d'analyse des eaux.....	24
II-3-1-Potentiel Hydrogène (pH).....	24
II-3-2- conductivité électrique.....	24
II -3-3-Bilan ionique de l'eau.....	25
II -4 -Méthodes d'analyse du sol.....	27
II -4-1-Calcaire total.....	28
II -4-2- Matière organique.....	28
II -4-3- Potassium échangeable.....	28
II -4-4- Phosphore assimilable.....	28
Partie III : Résultats obtenus et interprétations.....	29
I- Contrôle du débit de distribution.....	29
I -1- Utilité du coefficient d'uniformité.....	29
I -2- Quelques exemples de calculs du coefficient d'uniformité.....	29
II- Résultats des analyses des eaux et interprétations.....	30
II- 1-Faciès chimiques des eaux.....	31
II -2- Conductivité électrique et sels dissous.....	31
II-3- Potentiel Hydrogène.....	32
II -4-Taux de sodium adsorption SAR et la dureté totale.....	33
II -5-Les sulfates et les bicarbonates.....	35
II-6- Chlorures et sodium.....	35
III-Résultats des analyses du sol et interprétations.....	36
III-1-Structure du sol.....	36
III-2-Texture du Sol.....	36
III-3-Teneur en eau.....	38
III-4-Caractéristiques chimiques.....	38
III-4-1- Potentiel hydrogène.....	38
III-4-2-Conductivité électrique.....	39
III-4-3-Calcaire total.....	41
III-4-4-Matière organique.....	42
III-4-5-Potassium échangeable.....	43
III-4-6-Phosphore assimilable.....	45
Conclusion générale.....	48
BIBLIOGRAPHIE.....	51

INTRODUCTION

Les ressources en eau au Maroc sont potentiellement limitées, la gestion de la demande en eau notamment en agriculture, représente un potentiel considérable face à une ressource limitée et dont les coûts de mobilisation sont élevés. En agriculture, l'utilisation de l'eau doit faire face non seulement à une ressource limitée, mais également à une concurrence de la part des autres secteurs, à savoir, l'eau potable et l'industrie, généralement plus productives ou socialement prioritaires, l'irrigation qui utilise actuellement près de 85% des ressources en eau mobilisées et qui continuera à l'avenir à être le plus grand consommateur de l'eau, est appelée à produire plus avec moins d'eau. Dans cette perspective l'économie d'eau dans le secteur d'irrigation constitue une opportunité pour assurer un développement durable de ce secteur et une nécessité pour ne pas hypothéquer la sécurité alimentaire du pays.

Face à ce problème et à la sécheresse récurrente qui sévit au Maroc, l'utilisation rationnelle et efficiente de l'eau en agriculture s'impose, un des outils qui permet cette efficacité est le goutte à goutte ou l'irrigation localisée. En effet, ce système d'irrigation permet une économie d'eau de l'ordre de 50 % par rapport à l'irrigation gravitaire, aussi par le biais de la fertigation, ce système localisé garantit une production élevée et de bonne qualité et tend vers une utilisation efficiente des engrais dans la technique de la fertigation et par là une réduction des risques de pollution de la nappe phréatique. Par ailleurs les avantages de ce type d'irrigation sont multiples :

- L'économie en eau 50 à 70% par rapport au gravitaire.
- La réduction de la pollution de la nappe phréatique par les engrais.
- La Possibilité d'exploitation des terrains à topographie et configuration irrégulières.

L'objectif de notre étude est de mettre en évidence l'efficacité de l'irrigation localisée dans deux aspects : quantitatif (homogénéité d'arrosage), et qualitatif (impact sur le sol). Le secteur choisi pour cette étude est le périmètre de N'fis .Ce travail est réalisé en collaboration entre la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech et l'Office Régionale de Mise en Valeur Agricole du Haouz.

Pour aboutir à notre objectif, nous avons étudié et analysé des échantillons d'eau et du sol au sein du laboratoire de pédologie de l'ORMVAH. le présent mémoire est subdivisé en trois parties : la première partie est surtout bibliographique, consacrée à la présentation de l'organisme d'accueil et aux généralités sur l'irrigation. Dans la deuxième partie, nous avons présenté la zone d'étude et la méthodologie de travail. Enfin, la dernière partie est consacrée à la présentation des résultats et aux interprétations.

Partie I : PRESENTATIONS GENERALES

I- Présentation de l'office régionale de mise en valeur agricole de Haouz

I-1-Présentation Générale

L'office Régionale de Mise en Valeur Agricole du Haouz a été créé, par le décret royal n° 831-66 du 22 octobre 1966, pour gérer la plaine du Haouz (Maroc). L'ORMVAH est un établissement public doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière, Il est sous la tutelle du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime. L'ORMVAH a plusieurs missions telles que :

- Réalisation des études et exécution des équipements hydro-agricoles et de mise en valeur agricole.
- Gestion des équipements hydro agricoles et des ressources en eau à usage agricole.
- Vulgarisation des techniques culturales et formation professionnelle.
- Développement de la production végétale et animale.
- Promotion de l'agro-industrie.

I-2- Zone d'action de l'ORMVAH

I-2-1 Situation géographique

La zone d'action de l'ORMVAH est limitée à l'Est par l'oued Labid, à l'Ouest par le N'fis, au Sud par le piémont du Haut Atlas et au Nord par les oueds Tensift et Oum Rabiaa (figure1). Elle s'étend sur une superficie de 663 000 Ha (dont 473 000 Ha de superficie agricole utile).

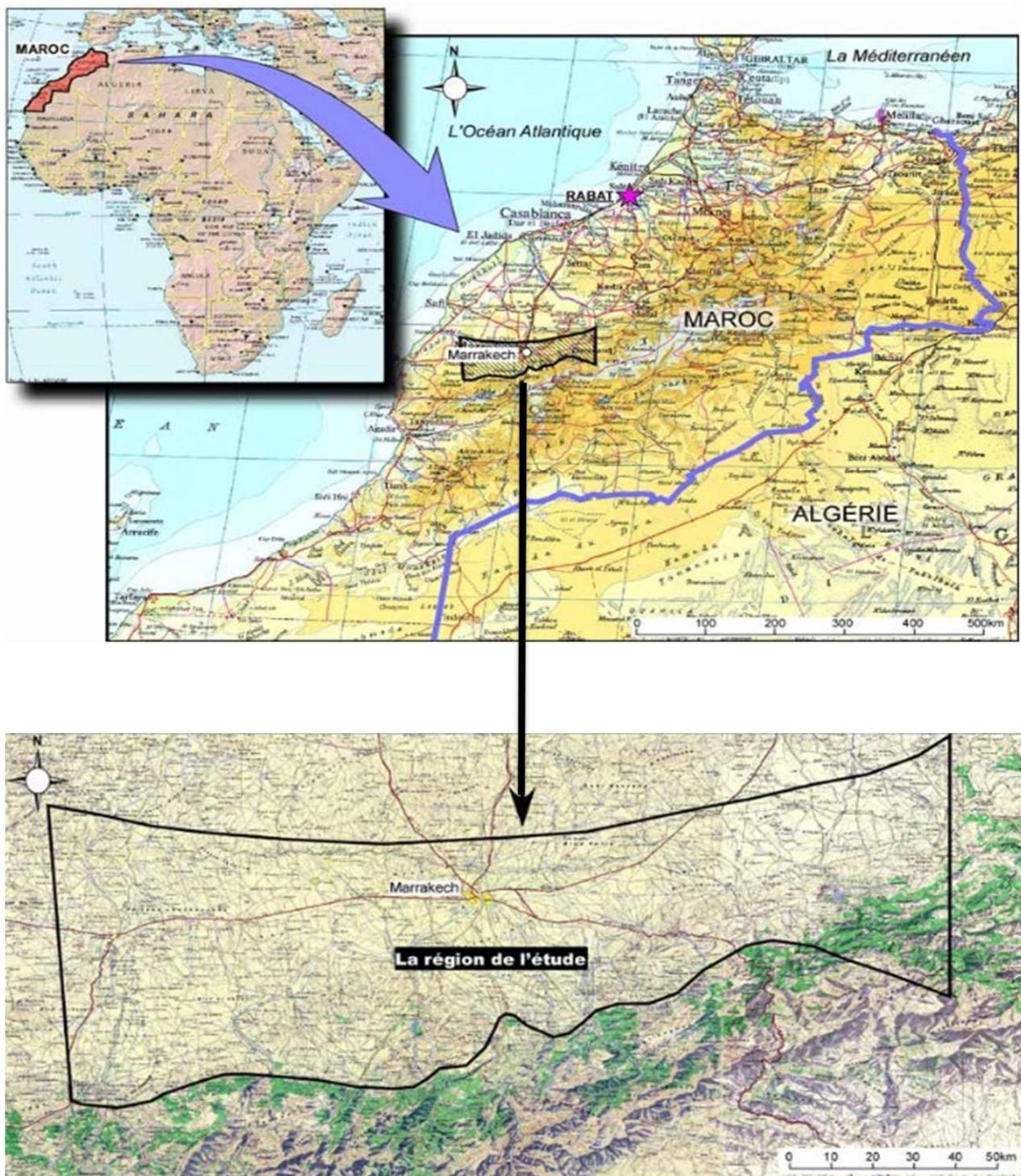


Figure1 : Zone d'action de l'ORMVAH. (JICA et al, 2007)

I-2-2 Caractéristiques climatiques

La zone d'action de l'ORMVAH est caractérisée par un climat contraignant avec des températures estivales très élevées (37°C) et hivernales basses (5°C), une faible pluviométrie (moyenne de 240 mm/an), de faibles degrés d'humidité, ainsi qu'une évaporation importante (2400 mm/an). Telles sont les caractéristiques principales du climat semi-aride du Haouz qui, sans maîtrise de l'eau, rend aléatoire toute amélioration et diversification de la production agricole.

I-2-3- Ressources en eau d'irrigation

Le réseau hydrographique du Haouz est composé d'une multitude de cours d'eau qui s'organise en deux systèmes : les affluents de l'Oum Er Rabiaa et ceux du Tensift qui reçoivent en rive gauche tous les oueds du Haouz central. Ces cours d'eau sont régularisés par trois grands barrages : Lalla Takerkoust, Moulay Youssef et Moulay Hassan Premier et aussi le barrage de Yaakoub Mansour, en plus les eaux souterraines de 270 millions m³, 205 millions m³ pour le Haouz central et 65 millions m³ pour Tassaout.

II-L'irrigation au Maroc

Les efforts consentis par l'état et par les agriculteurs depuis les années 1960 pour développer l'agriculture irriguée, ont permis d'atteindre le million d'hectares irrigué avant la fin du dernier siècle. La superficie irriguée actuellement est un peu plus de 1.45 millions d'ha répartie comme suit : 47 % en grande hydraulique (les eaux des grands barrages) , 23 % en petite et moyenne hydraulique (source, oued, barrage) et 30 % en irrigation privée (les eaux de puits) .Le Maroc dispose actuellement d'un important patrimoine hydro-agricole et jouit d'une place importante à l'échelle internationale en matière de la politique de gestion de l'eau notamment en agriculture. (ANAFIDE)

II-1- Différentes techniques d'irrigation au Maroc

II-1-1 Irrigation gravitaire

L'irrigation gravitaire est l'opération consistant à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour en augmenter la production, et permettre leur développement normal en cas du déficit d'eau induit par un déficit pluviométrique, un drainage excessif ou une baisse de la nappe, en particulier dans les zones arides, l'écoulement de l'eau se fait selon la pente naturelle du sol, s'il peut être fait appel à des ouvrages de type siphon, aucune force extérieure n'est utilisée pour amener l'eau aux endroits désirés (*Figure 2*).

Il y a trois types d'irrigation gravitaire :

- l'irrigation par planche
- l'irrigation par bassin
- l'irrigation à la raie qui est divisée aussi en quatre types :

Par siphon ; par gaines souples ; par rampe à vannettes ; transirrigation.



Figure 2 : Photos illustrant l'irrigation de surface

L'irrigation de surface présente plus d'inconvénients que d'avantages :

Les avantages :

- coût d'investissement faible à la parcelle pour l'agriculteur.
- pas d'apport énergétique extérieur.
- alimentation des nappes phréatiques.

Les inconvénients :

- temps de main d'œuvre pour la répartition et la surveillance importante.
- pertes d'eau importantes
- nécessite un terrain plat ou un nivellement.
- faible efficacité.
- pollution possible par déversement.

II-1-2 Irrigation par aspersion

L'irrigation par aspersion reproduit le phénomène naturel de la pluie, en maîtrisant l'intensité et la hauteur de la précipitation, cette technique nécessite des conditions de pression moyenne à forte (de 3 à 6 bars à la buse). Au niveau de l'asperseur, pièce maîtresse du dispositif, une buse crée un jet et l'oriente vers la cuillère, le bras mobile est activé par le jet, le ressort de rappel provoque le retour du bras mobile et assure ainsi la rotation de l'asperseur (Figure3).



Figure 3 : Photo illustrant l'irrigation par aspersion

II-1-3 Irrigation localisée

L'irrigation localisée ou micro-irrigation (*Figure4*) consiste à apporter l'eau sur une partie du sol seulement par petites doses fréquentes. A la limite, la compensation de l'évapotranspiration se fait quotidiennement et l'eau est apportée par des distributeurs, ce qui crée dans le sol des zones humides appelées « bulbes d'arrosage ou d'humidification ».

Plusieurs techniques sont développées :

- l'irrigation localisée par goutteurs : le goutte à goutte.
- l'irrigation localisée par rampes perforées fixes.
- l'irrigation localisée par diffusion (micro jet, microdiffuseur).



Figure4 : Photo illustrant l'irrigation localisée

L'irrigation localisée présente plus d'avantages que d'inconvénients, le tableau 1 illustre les avantages et les inconvénients de ce type d'irrigation.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - L'économie en eau 50 à 70% par rapport au gravitaire et 30% par rapport à l'aspersion. - La réduction de la pollution de la nappe phréatique par les engrais ainsi qu'une économie en engrais. - Facilite l'exploitation des sols très légers filtrant à forte percolation et des sols lourds fissurant en été. - La Possibilité d'exploitation des terrains à topographie et configuration irrégulières. - L'accès facile aux parcelles pour la réalisation des différentes opérations culturales. - L'augmentation du rendement de l'ordre de 20 à 40%, et une amélioration de la qualité des produits. 	<ul style="list-style-type: none"> - La difficulté de la gestion de l'irrigation localisée, qui exige une technicité élevée. - Le risque d'un dessèchement rapide des plantes en cas d'arrêt spontané et prolongé de l'apport d'eau. - Le cout d'installation d'équipement et de matériel d'irrigation est plus élevé. - Le risque de colmatage ou de bouchage du distributeur constituant l'inconvénient majeur de ce système.

Tableau 1 : avantages et inconvénients de l'irrigation localisée

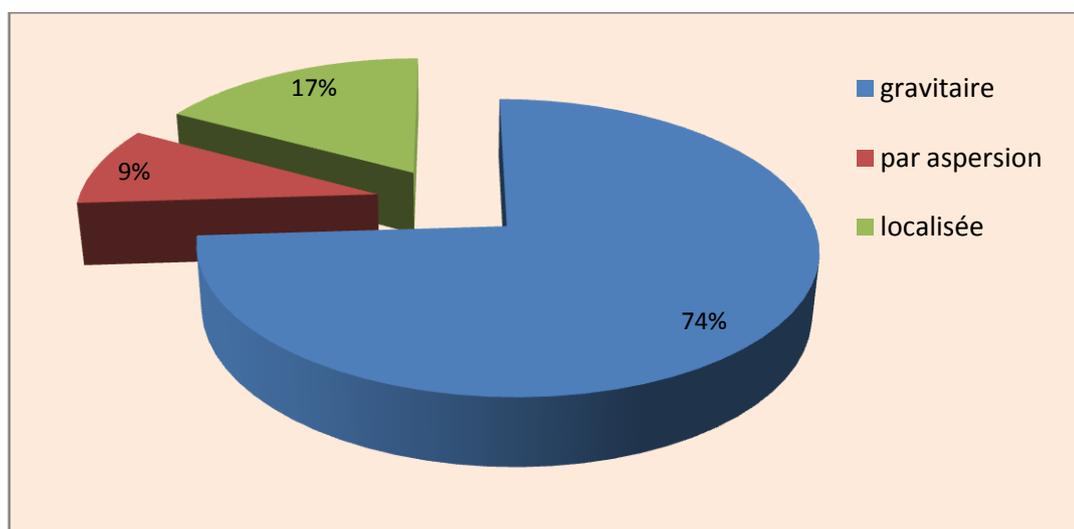


Figure 5 : Occupation des techniques d'irrigation au Maroc (ORMVAH 2008)

II-2- Réseau du système d'irrigation goutte à goutte

II- 2-1- Station de tête

Le rôle de cette station est l'obtention d'une eau propre en vue d'éviter le colmatage des distributeurs et l'injection des engrais ; le choix des filtres et de leurs séquences dépend de la qualité de l'eau, son origine et la taille des particules à filtrer.

Hydrocyclone

C'est un séparateur de particules peut être placé à l'entrée de la station de tête juste après la source d'eau.

Filtre à sable

Ce matériel est composé d'une cuve à pression contenant des couches de sables de différents calibres, il est utilisé principalement pour les eaux superficielles.

Filtre à tamis

Le principe consiste à faire passer l'eau à travers un élément filtrant arrêtant les particules en suspension, il est installé à l'aval du filtre hydrocyclone et /ou du filtre à sable pour la filtration des eaux souterraines.

Injecteurs d'engrais

La pratique de l'irrigation fertilisante consiste à injecter dans l'eau, les engrais et d'autres produits tels que l'eau de javel, sulfates de fer et l'acide nitrique...

II- 2-2- Canalisation

Son rôle est d'acheminer l'eau filtrée de l'unité de tête à la parcelle de destination, elle est composée de tuyaux fixes en PVC et PE :

- Conduites principales et secondaires
- Porte rampes
- Rampes

II-2-3- Vannes et manomètres

Au niveau du réseau de distribution, les vannes permettent le passage de l'eau de la conduite d'amené au poste d'arrosage et commande l'irrigation d'un secteur, ainsi les manomètres sont des appareils indispensables au fonctionnement du réseau d'irrigation localisée, indiquant la pression à l'entrée et à la sortie des filtres et des secteurs d'irrigation à différents endroits.

II-2-4- Organes de distribution

En irrigation localisée, on distingue comme organes de distribution : les goutteurs, les mini-diffuseurs, les gaines et les ajutages calibré

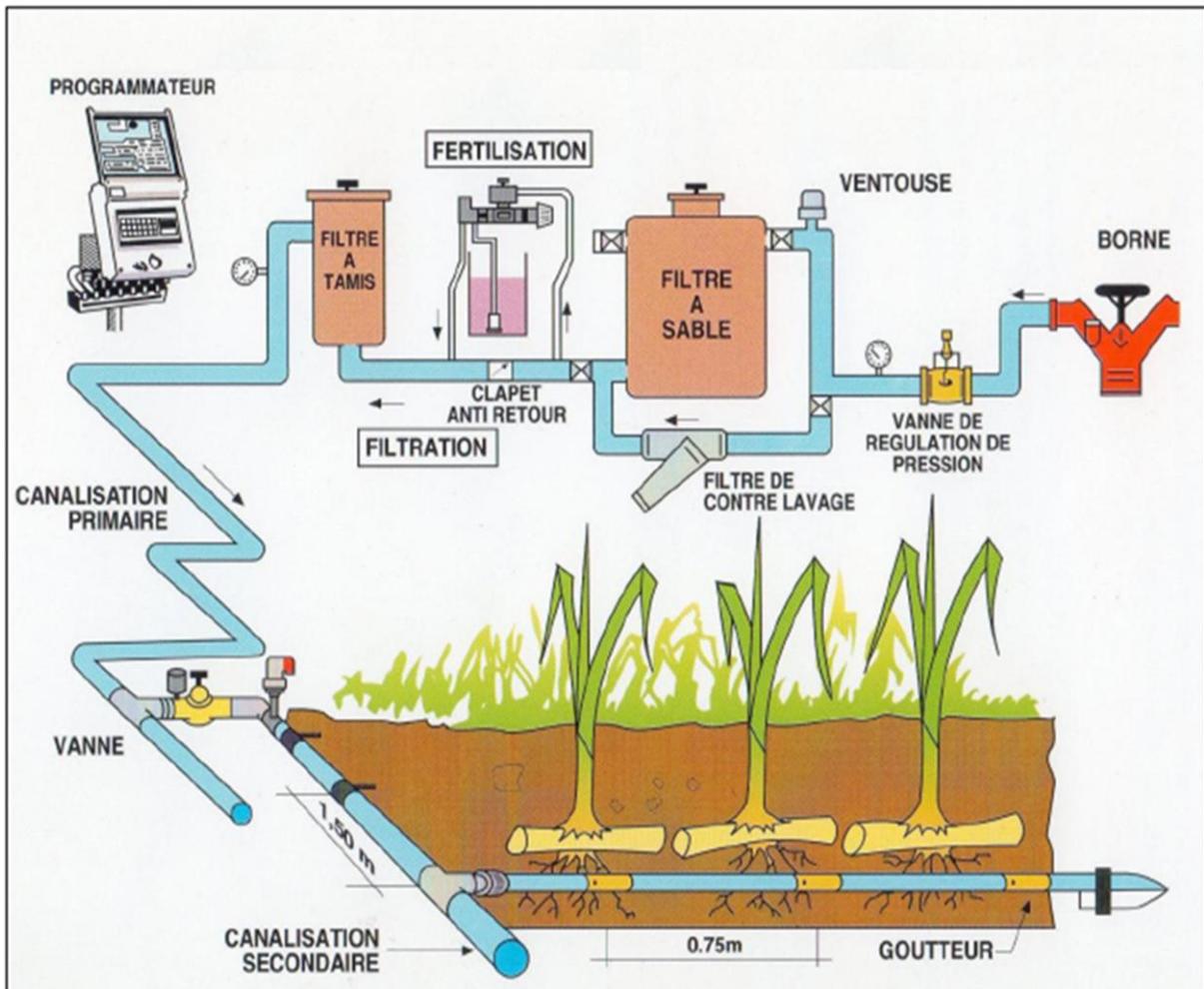


Figure 6 : Schéma d'une installation d'un Réseau d'irrigation goutte à goutte

Partie II : DOMAINE ET METHODES D'ETUDE

I - Caractéristiques de la zone d'étude

I -1 Découpage du secteur N'fis

Le secteur N'fis présente une superficie de 60000 ha ; il est découpé en trois sous secteurs d'irrigation parmi lesquels notre secteur d'étude, Ce secteur a une superficie de 2830 ha équipée par les systèmes d'irrigation sous pression et gravitaire non remembré et qui son mis en service en 1991.

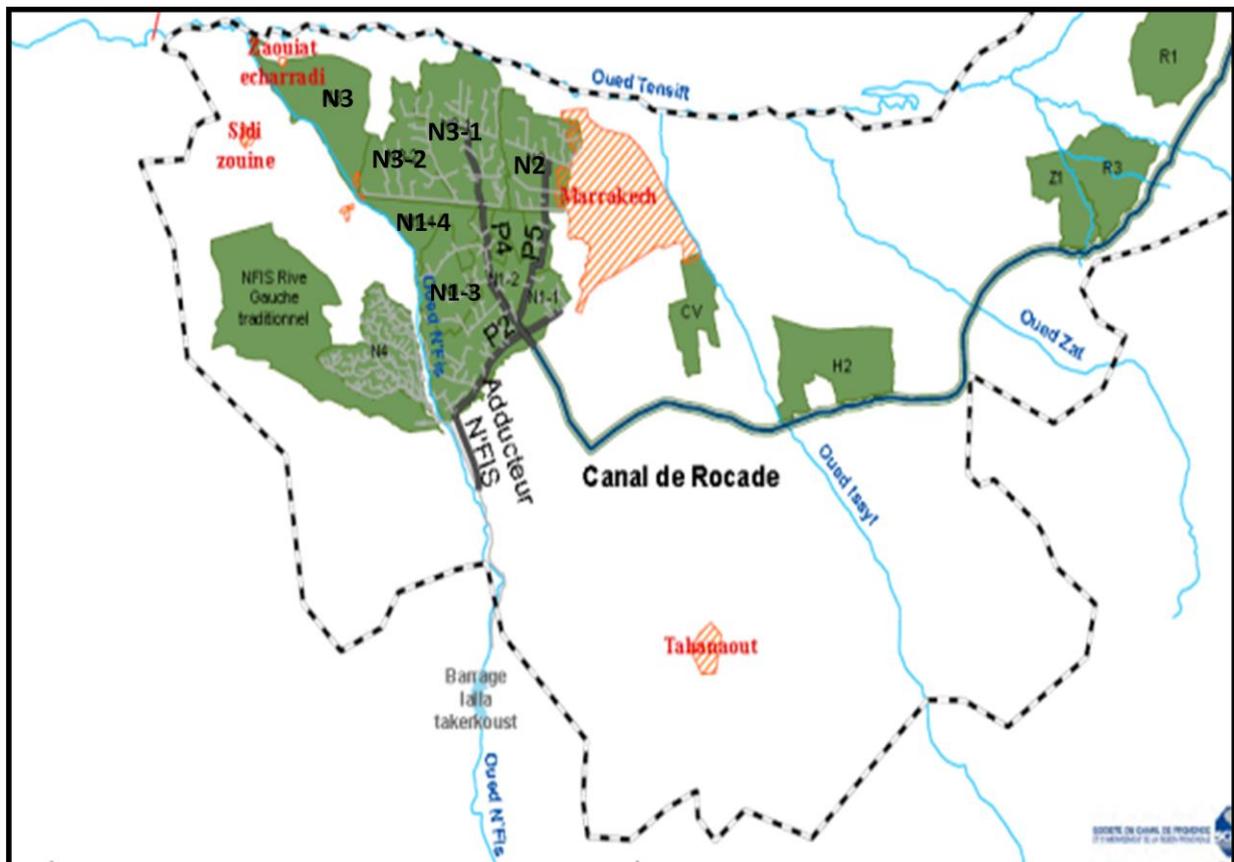


Figure 7 : Carte des secteurs de N'fis rive droite

Secteur	Sous-secteur	Superficie équipée (ha)	Type d'aménagement	Date de la mise en service
N'fis rive droite	N 2	3150	Sous pression avec prédominance de gravitaire non remembré	1991
	N 1-4	2150		
	N 1-3	1970		
	N 1-2	2830		
	N 3	6000		

Tableau 2 : les sous-secteurs de N'fis rive droite

I-2 Situation géographique

Le secteur d'étude se situe à l'ouest de Marrakech, il fait partie du périmètre de N'fis qui est situé sur la rive droite de l'Oued N'fis dans le Haouz central. C'est une plaine délimitée au Nord par l'oued Tensift, et à l'Est et par l'oued Issyl,Zat et R'dat. (Figure 8)

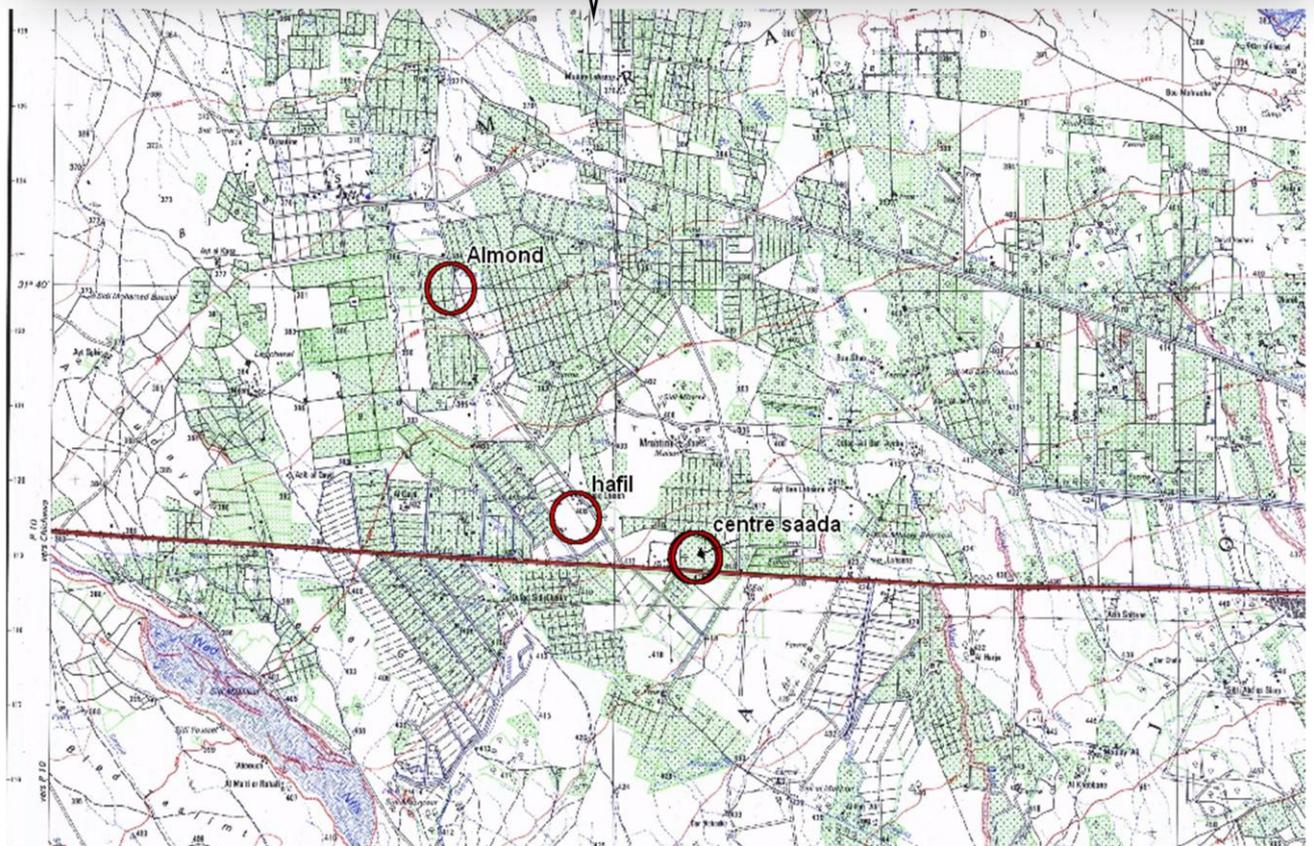
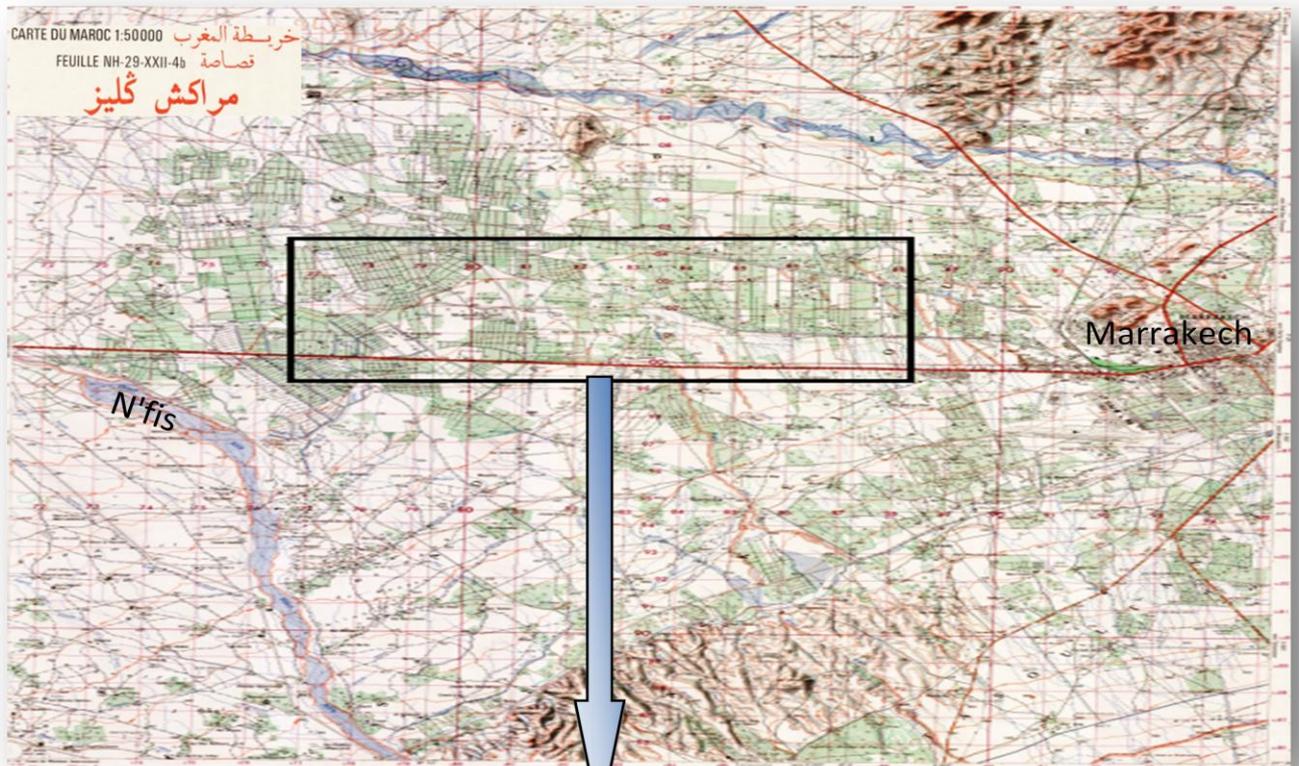


Figure 8 : Carte de localisation de la zone d'étude par rapport à Marrakech

(Les Cercles rouges représentent les fermes étudiées : 1-Almond ; 2-Hafil,3 Centre saada)

I-3-Contexte Climatique

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 183,52mm, la température moyenne annuelle est de l'ordre de 19,22° et l'évapotranspiration moyenne annuelle est 1413,61 mm.

Les données climatiques (précipitations, température, évapotranspiration) 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.

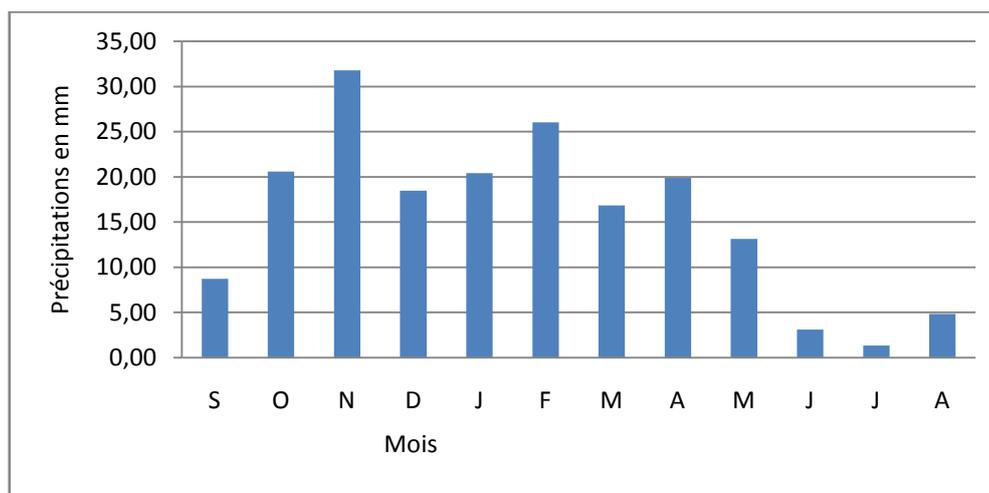


Figure 9 : Variation des précipitations moyennes mensuelle à la station de Saada (années 2002 à 2012) (voir tableau détaillé en Annexe)

La répartition des précipitations montre l'existence de deux saisons pluviométriques distinctes (Figure 9) : une saison sèche et une saison humide avec des précipitations maximales au mois de novembre de l'ordre de 31,80 mm.

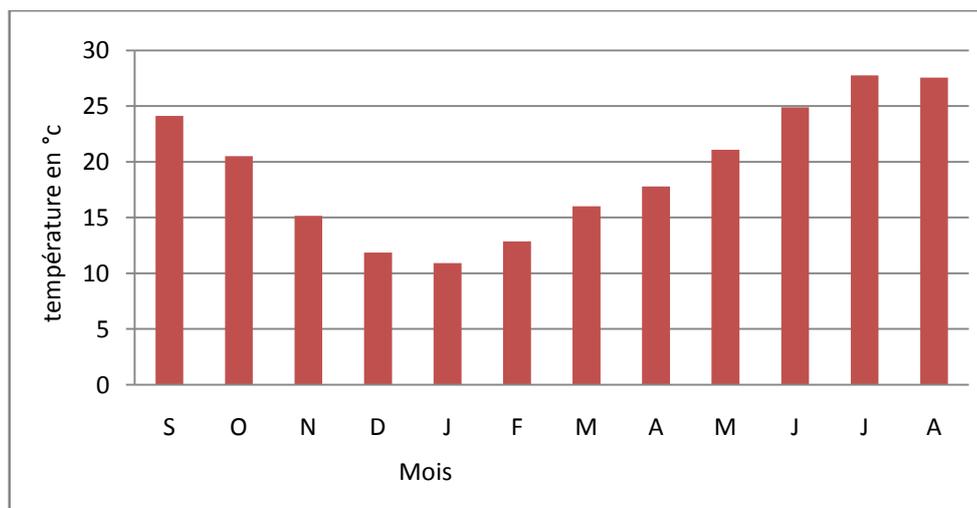


Figure 10 : Variation des températures moyennes mensuelle à la station de Saada de (années 2002 à 2012) (voir tableau détaillé sur Annexe)

Les variations des températures mensuelles (Figure 10) permettent de constater qu'il y a deux saisons, une saison chaude et une autre froide, la température maximale est enregistrée au cours du mois de Juillet et la température minimale est enregistrée au mois de Janvier.

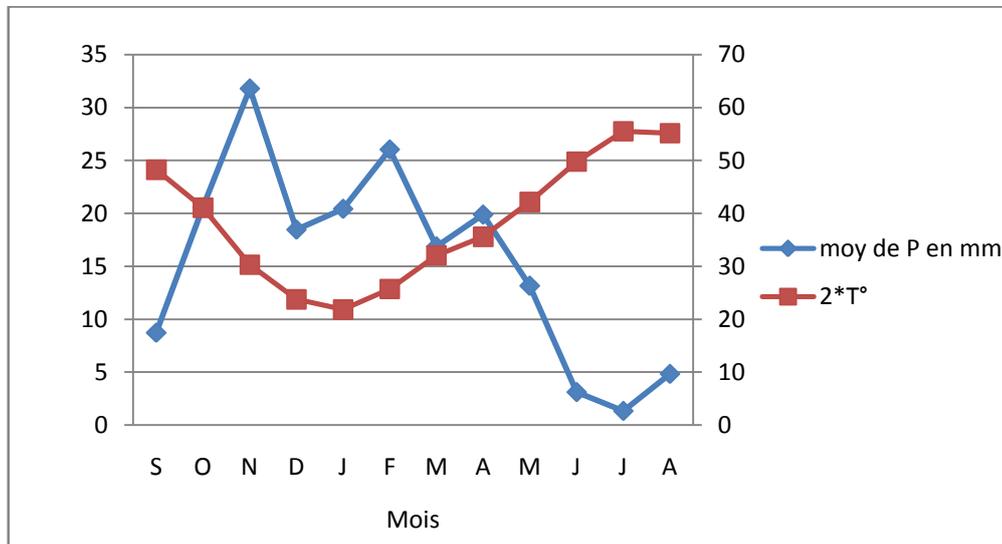


Figure 11 : Diagramme ombrothermique de la zone d'étude

Le diagramme (Figure 11) montre deux périodes : une période sèche et chaude et une autre humide et froide. La température et l'évapotranspiration se évoluent simultanément au cours de l'année (Figure 12).

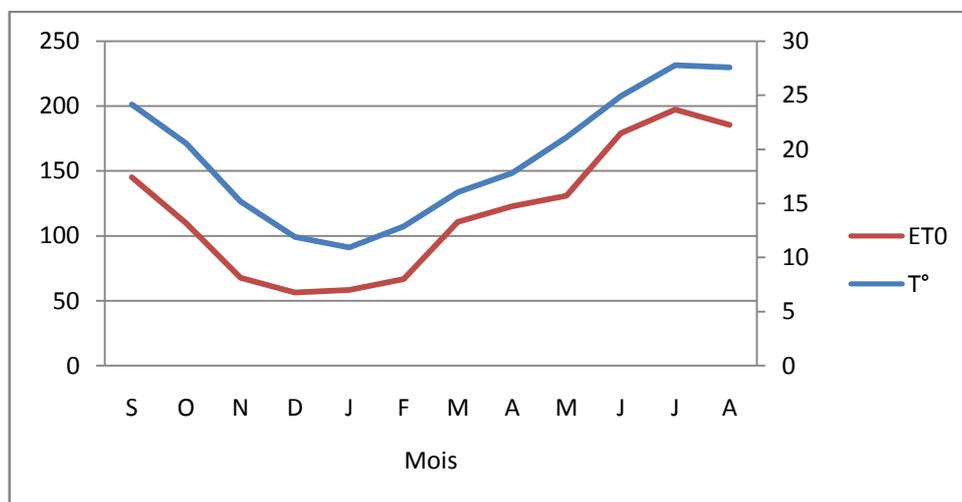


Figure 12 : Variation de la température et de l'évapotranspiration (années 2002 à 2012) (voir tableau détaillé sur Annexe)

I-4 Contexte géomorphologique

I-4 -1-Cadre géologique

Le bassin versant de N'fis se compose essentiellement d'un socle primaire affecté par l'orogénèse hercynienne dont la couverture est d'âge secondaire et tertiaire. Il se divise en deux parties :

- Domaine de la chaîne atlasique qui se compose de chaînes intercontinentales longues et étroites à formations mésozoïques qui reposent sur le socle hercynien ou précambrien.
- Plaine du Haouz qui est un bassin de sédimentation dans lequel se sont accumulées au Néogène et au Quaternaire des formations détritiques continentales et fluviatiles issues du démantèlement de la chaîne atlasique.

La morphologie du bassin versant de N'fis est due non seulement aux événements tectoniques mais aussi à la nature lithologique hétérogène, il se compose de trois formations :

- Une formation calcaire perméable du Jurassique Crétacé et Eocène.
- Une formation marno-gréseuse souvent salifère du Permo-trias qui est souvent très peu perméable.
- Une formation métamorphique ou éruptive du primaire et du précambrien imperméable.

On note que dans l'ensemble, les faciès imperméables restent prédominants dans la partie active du bassin, quant à la plaine du Haouz, elle est constituée en surface d'alluvions du quaternaire récents et sur sa frange sud du quaternaire moyen et ancien. Ce sont des formations perméables qui ne permettent pas le ruissellement conséquent (Source ABHT).

I-4 -2-cadre morphologique

La morphologie du bassin versant du N'fis est diversifiée par l'effet de multiples mouvements tectoniques et de l'érosion affectant cette structure géologique, on y observe :

- Des sommets et des crêtes.
- Des plateaux disséqués en collines.
- Des dépressions.
- Des vallées étroites et profondes de plus de 500 m pouvant atteindre jusqu'à 1500 à 2000 m
- Des niveaux de terrasses alluviales étagées ou emboîtées qui peuvent atteindre une centaine de mètres de hauteur du talus.
- Un contraste brutal entre les plans horizontaux des hauts lieux et les versants.

I-4-3- Cadre pédologique

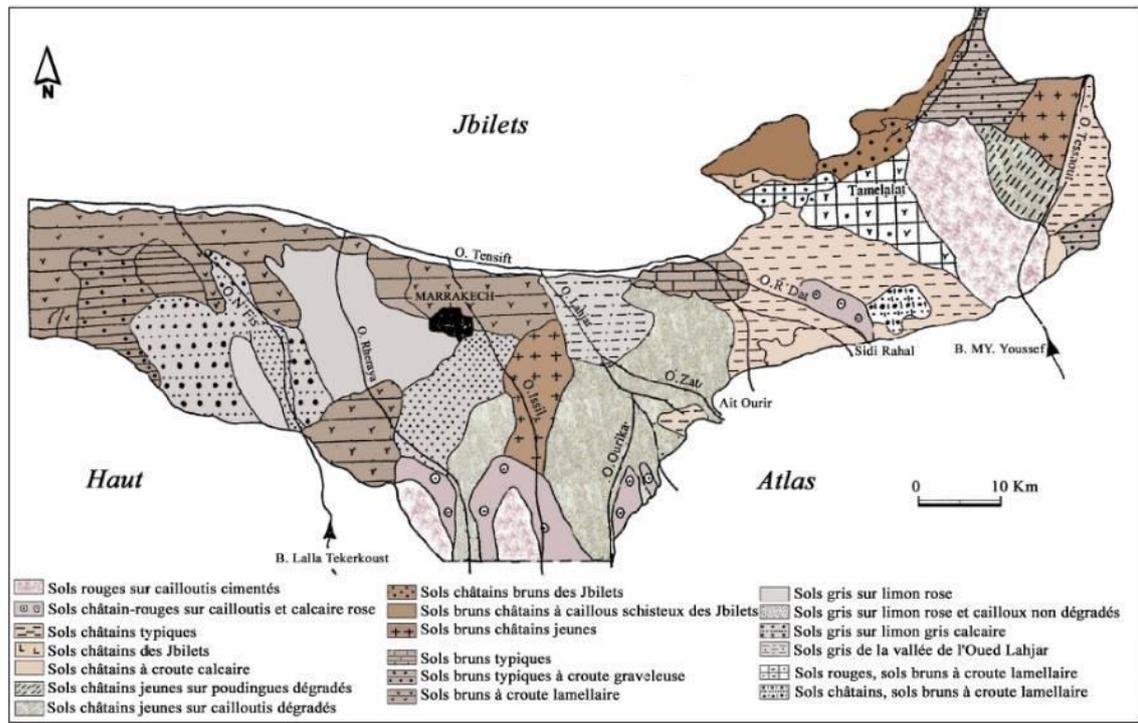


Figure 13 : carte pédologique de la zone de l'oued N'fis (d'après J. CONCARET)

Au niveau de toute la plaine du Haouz, nous avons quatre types de sol de différente nature : Rouge, gris, Châtain et bruns. Leur texture est généralement limono-argileuse, limoneuse et limono-sableuse (figure13)

Dans le Haouz central, le sol est constitué essentiellement par : des sables fins, des limons roses et des argiles rouges. Ils sont généralement pauvres en matière organique naturelle surtout dans les terrains cultivés.

I-5- Occupation du sol

En situation actuelle, l'occupation des sols cultivables du secteur se présente comme suit (Figure14): 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% de la superficie du secteur. Les cultures annuelles occupent 24% des surfaces avec 56% de céréales, 30% des cultures fourragères et 13% des cultures maraichères (ORMVAH, 2010a).

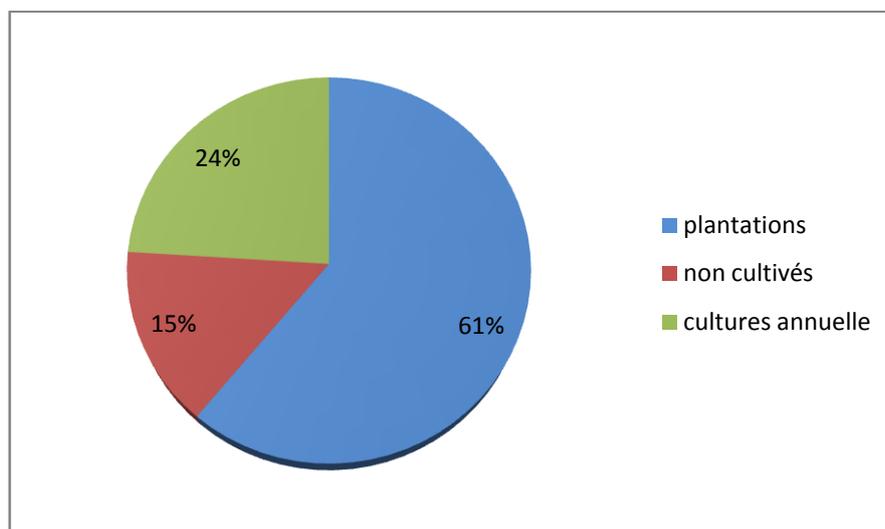
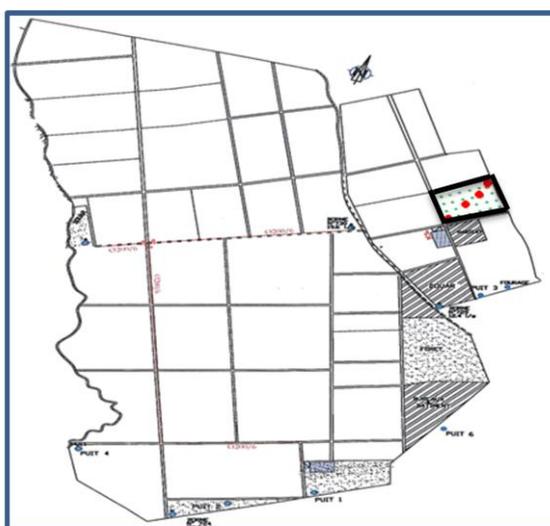


Figure 14: Occupation du sol dans le secteur d'étude (ORMVAH, 2010)

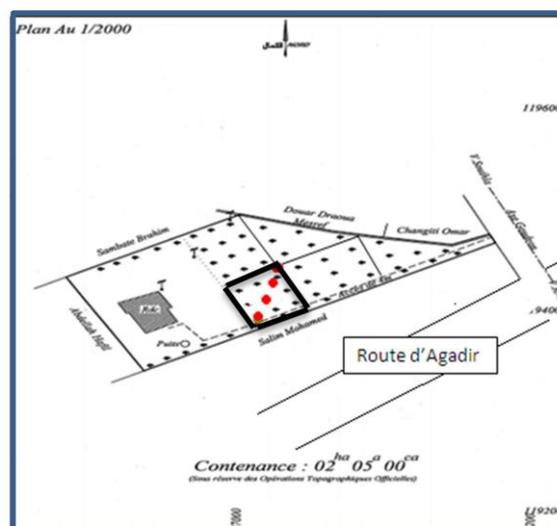
II- Méthodologie de travail

II -1 Technique d'échantillonnage

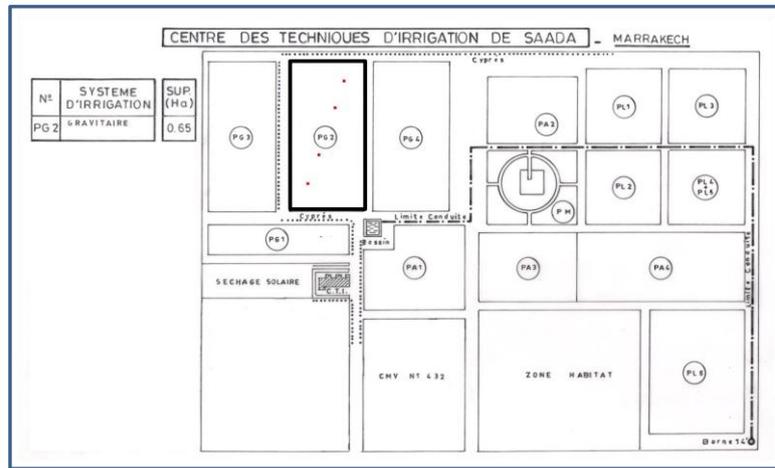
Dans le but de déterminer l'impact de la qualité des eaux destinées à l'irrigation goutte à goutte fertilisante sur le colmatage des organes de distribution et sur la qualité du sol, nous avons choisi trois parcelles de différentes fermes (Figure 15).



A-parcelle goutte à goutte moderne Almond



B-parcelle goutte à goutte simple Hafil



C : parcelle gravitaire centre Saada

Figure 15 : Localisation des parcelles d'échantillonnage dans les fermes (A, B, C)

Au total, 4 échantillons d'eau et 15 de sol ont été prélevés ; les échantillons d'eau et de sols prélevés ont été mis dans des bouteilles et des sacs en plastique bien fermés et nommés par des codes, Les échantillons analysés ont été répartis comme suit :

Parcelle Almond (figure 15-A) irriguée par le goutte à goutte moderne durant 7ans

- Prélèvement de 2 échantillons d'eau : de puits, et une eau mixte (mélange de l'eau du puits et du borne dans un bassin).

- Echantillonnage du sol : Afin d'étudier une caractérisation à l'échelle verticale, nous avons procédé à un prélèvement en diagonale (les points rouges,figure 15) de la parcelle à l'aide d'une tarière agricole dans les horizons 0-20 cm , 20-40 cm et 40-60 cm près du bulbe d'humidification ainsi que d'autres à la périphérie du bulbe , soit un total de 6 échantillons du sol ont été prélevés.

Parcelle Hafil (figure 15-B) irriguée par la même technique depuis une année mais qui est simple

- Un seul échantillon a été prélevé ; il s'agit de l'eau de puits
- Pour le sol, on a adopté la même procédure de prélèvement que celle utilisée dans la première parcelle.

Parcelle au centre Saada (figure 15-C): parcelle témoin irriguée par le système gravitaire en utilisant l'eau de borne.

- un échantillon d'eau prélevé à partir d'un bassin.
- Prélèvement de 3 échantillons de sol selon les profondeurs 0-20, 20-40 et 40-60cm.

II-2 - Méthode de mesure de coefficient d'uniformité

Pour mesurer le coefficient d'uniformité, on installe un récipient sous le goutteur qui sera contrôlé, le temps nécessaire pour qu'un goutteur débite une quantité d'eau mesurée par éprouvette, est déterminée par un chronomètre. Ainsi connaissant le volume d'eau délivré dans un temps donné, on détermine le débit du goutteur (l /h).

Les goutteurs qui seront contrôlés sont pris sur au moins 4 rampes : la première, la dernière ainsi que les rampes situées au 1/3 et au 2/3 de la longueur du porte rampe. Sur une même rampe on choisira le premier et le dernier goutteur ainsi que les goutteurs placés au 1/3 et 2/3 de la longueur de la rampe (figure 16).

$$CU = (\text{La moyenne de 4 débits min/ La moyenne de 16 débits}) * 100$$

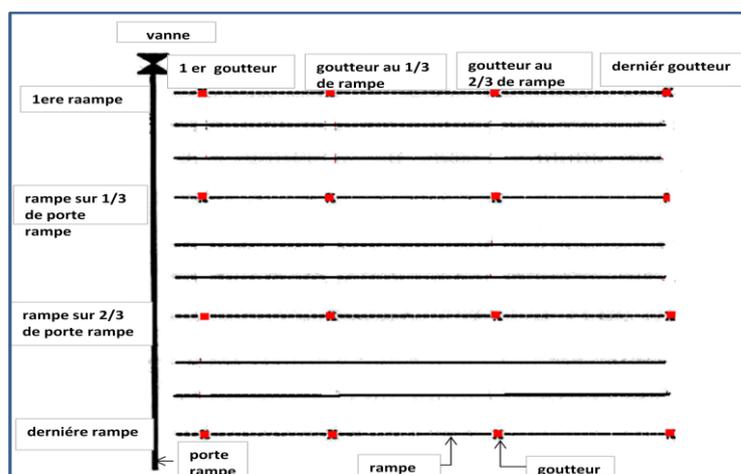


Figure 16 : Schéma illustrant les points de mesure du débit dans la parcelle

II -3 Méthodes d'analyse des eaux

II-3-1-Potentiel Hydrogène (pH)

Le potentiel hydrogène (ou pH) mesure l'activité chimique des ions d'hydrogène (H+) en solution, il représente une mesure de l'acidité ou de l'alcalinité d'une eau. Il est mesuré à l'aide d'un pH-mètre (figure 20-B) étalonné par des solutions tampon de pH 7 et pH 9.

II-3-2- conductivité électrique

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes, elle permet d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau et par suite donner une idée sur la minéralisation totale d'une eau, cette mesure a été effectuée à l'aide d'un conductivimètre (figure 20-A) étalonné par une solution KCl (0,01 N).

II -3-3-Bilan ionique de l'eau

L'analyse chimique des eaux d'irrigation permettra d'évaluer la concentration des sels dissous par le dosage volumétrique de ces ions (les chlorures, les bicarbonates, les carbonates, le calcium, le magnésium et les sulfates) et par Spectrophotomètre à flamme pour le sodium et le potassium.

Les chlorures

Le dosage des ions Cl^- se fait par une solution titrée de nitrate d'argent (AgNO_3 , 0.02N) en présence de chromate de potassium (KCrO_4), Les chlorures vont se précipiter sous forme de chlorure d'Argent (AgCl). (figure 17-A).

Calcium

Le dosage du calcium se fait par complexométrie en présence de la soude (NaOH), le murexide comme indicateur coloré et nous titrons par l'acide éthylène diamine tétra acétique (E.D.T.A.) (figure 19-A).

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 (figure 19-A).

Carbonates et bicarbonates

Le dosage des HCO_3^- se fait par acidimétrie à l'aide d'une solution d'acide sulfurique H_2SO_4 à 0.02N en présence de l'indicateur coloré le vert de Bromocrésol dans la solution des carbonates (figure 17-B).

Sulfates

Après l'ébullition et en présence des chlorures de baryum (BaCl_2), les ions SO_4^{2-} sont titrés par un complexon (E.D.T.A).

Potassium et sodium

Le dosage se fait par un spectrophotomètre à flamme (figure 18-A) dont le principe se base sur la décomposition des atomes Na^+ et K^+ lors de leur 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.



A



B

Figure 17 : Photos illustrant les burettes de dosage de Cl^- (A) et HCO_3^- (B)

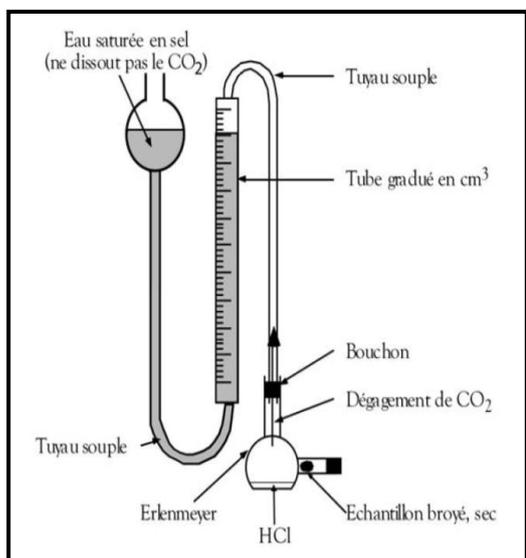


A



B

Figure 18 : Photos illustrant le spectrophotomètre à flamme(A) et le complexe de dosage de calcium et de magnésium(B)



A

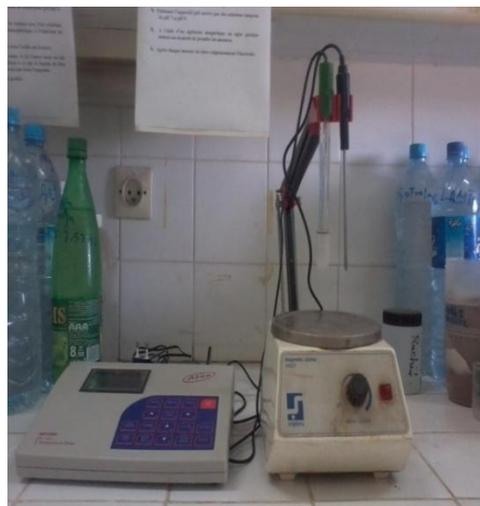


B

Figure 19 : Schéma du Calcimètre de Bernard (A) et burette de dosage de la matière organique (B)



A



B

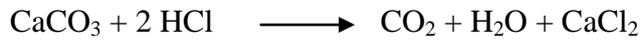
Figure 20: photos illustrant le conductivimètre (A) et le pH-mètre (B)

II -4 -Méthodes d'analyse du sol

La technique d'analyse du sol a été initialisée par son assèchement et tamisage par un tamis de l'ordre de 2mm, par suite, nous avons procédé à la détermination de la texture, à la mesure de la conductivité électrique, pH, calcaire total, matière organique, phosphore et potassium.

II -4-1-Calcaire total

La détermination du pourcentage de calcaire dans les sols prélevés a été faite par la mesure de la teneur en carbonates de calcium, le dosage de ces derniers est basé sur l'attaque par l'acide chlorhydrique (HCl) dilué d'une masse donnée d'un échantillon, à pression et température constantes, en utilisant le calcimètre de Bernard (figure19-A).



II -4-2- matière organique

Le dosage du carbone organique dissous (COD) est indirecte. Les méthodes sont basées sur l'oxydation de la matière organique, la concentration en COD étant déterminée soit en mesurant la quantité de CO₂ produit, soit en déterminant la quantité d'oxygène consommée par la réaction d'oxydation (figure19-B).

II -4-3- Potassium échangeable

On a mesuré la teneur en (K₂O) dans le sol en procédant à la même technique de dosage du potassium par spectrophotométrie (figure 18-A).

II -4-4- Phosphore assimilable

Le dosage du phosphore est effectué par la méthode d'Olsen, qui consiste à l'extraction d'une solution à partir du sol à l'aide des bicarbonates de sodium (NaHCO₃) à pH de 8.5, la solution obtenue est dosée ainsi par un spectrophotomètre (figure18-A).

Partie III : RESULTATS OBTENUS ET INTERPRETATIONS

I- Contrôle du débit de distribution

I -1- Utilité de coefficient d'uniformité

Dans le but d'assurer un bon fonctionnement d'un réseau d'irrigation localisée, on doit contrôler les débits des distributeurs en mesurant l'uniformité de leurs débits. Cette approche pourra indiquer par exemple une baisse du débit d'un goutteur, qui pourra s'expliquer soit par une baisse de pression dans le réseau, soit par un colmatage. On admet qu'il est souhaitable d'avoir un coefficient d'uniformité $CU > 94 \%$. (voir le premier chapitre de la deuxième partie).

- $CU > 90$ excellente uniformité
- $80 < CU < 90$ uniformité satisfaisante
- $70 < CU < 80$ uniformité médiocre
- $CU < 70$ mauvaise uniformité (colmatage)

I -2- Quelques exemples de calculs de coefficient d'uniformité

- *parcelle Almond : goutte à goutte moderne*

Mesures de débit (l/h)	Rampes			
	première rampe	1/3 de rampes	2/3 de rampes	Dernière rampe
Distributeurs				
premier	3,84	3,84	4,08	3,84
1/3	3,48	3,6	4,8	3,96
2/3	4,44	3,48	4,2	3,6
Dernier	3,84	3,72	3,84	3,84

Tableau 3 : mesure des débits dans la parcelle d'Almond

Nombre de rampes : 35/porte rampe

Nombre de distributeurs : 21goutteurs/rampe

La moyenne des débits : somme de débits /16= 3,9 l/h

Quartile inférieur : somme des débits minimaux/4=3,54 l/h

$$CU = (3,54 / 3,9) * 100 = 90,76\%$$

$CU > 90\%$ \implies bonne filtration ; ce qui montre une bonne gestion de l'irrigation localisée.

- *Parcelle Hafil goutte à goutte simple*

Mesures des débits (l/h)	Rampes			
	première rampe	1/3 de rampes	2/3 de rampes	Dernière rampe
1^{ier}	19,2	12,6	18	10,2
1/3	18,6	19,2	17,4	6
2/3	20,4	18,6	17,4	17,4
Dernier	19,2	18,6	16,8	21,6

Tableau 4: mesure des débits dans la parcelle de Hafil

Nombre de rampes : 7 rampes/porte rampe

Nombre de distributeurs : 5 goutteurs/rampe

La moyenne des débits : somme de débits /16=16,95 l/h

Quartile inférieur : somme des débits minimaux/4=11,4 l/h

$$CU = (11,4 / 16,95) * 100 = 67\%$$

$CU < 70\%$ \implies filtration inefficace ; ce qui peut être due au colmatage des organes de distributions à cause de la qualité physico-chimique des eaux d'irrigation.

En conclusion, les résultats obtenus pour le coefficient d'uniformité permettent de déduire que ce paramètre est majeur dans la détermination de la qualité de l'installation du système d'irrigation localisée qui exige une technicité élevée pour assurer l'homogénéité des débits d'arrosage dans l'ensemble de la parcelle.

II- Résultats des analyses de l'eau et interprétation

Dans le but d'apprécier l'état de la qualité d'eau destinée à l'irrigation et de définir la situation de la qualité de sol dans la zone étudiée, nous avons fait des analyses de ce deux éléments afin de les comparer avec les normes de validité (voir tableau en Annexe).

II- 1-Faciès chimiques des eaux

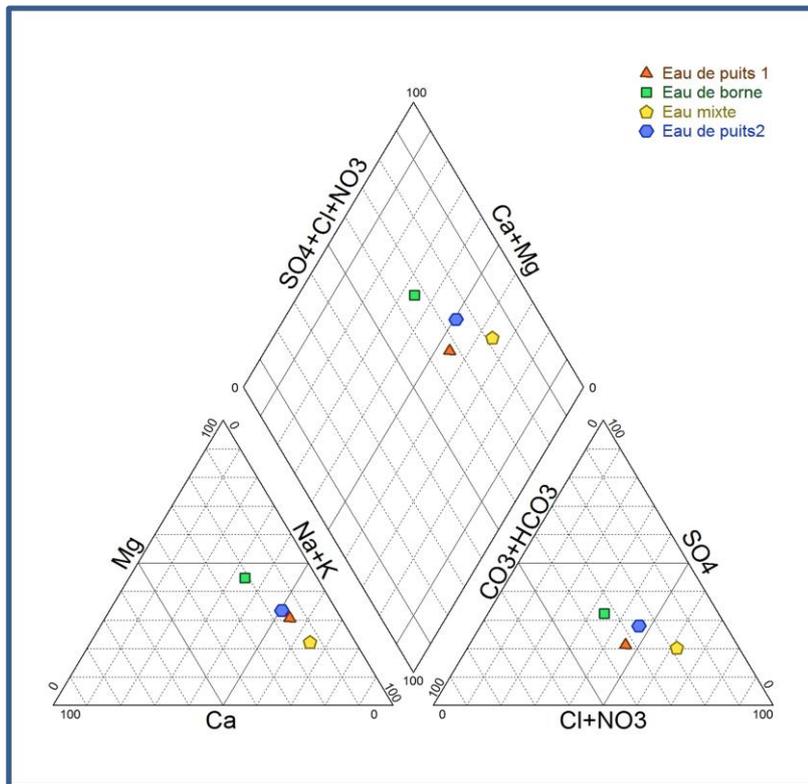


Figure 21 : Diagramme de piper illustrant les faciès chimiques des eaux (d'après piper)

Le diagramme de piper (Figure 21) montre que les eaux se divisent en deux faciès : un faciès chloruré sodique potassique sulfaté (eau de puits 1 et 2, eau mixte) dont les sulfates, les chlorures, le sodium et le potassium sont en teneur et un faciès chloruré et sulfato calcique et magnésique (eau de borne) avec des teneur élevées en chlorures, sulfates, calcium et magnésium.

II -2- conductivité électrique et sels dissous

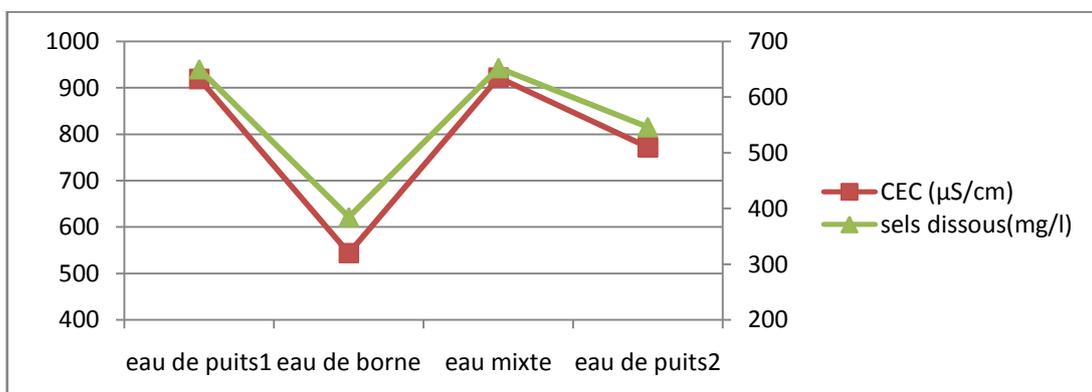


Figure22 : variation de la conductivité électrique et les sels dissous dans les eaux

Risque	Minéralisation Total en (mg /l)	Conductivité en $\mu\text{s/cm}$
Nul	< 500	< 750
Légers	500 - 1000	750 – 1500
Modéré	1000-2000	1500-3000
Sévère	> 2000	>3000

Tableau 5 : Normes nationale et internationale de CEC et salinité des eaux

(<http://www.lenntech.fr/francais/irrigation/salinite-risque-irrigation.htm>)

Le graphe (figure22), montrent que les valeurs de la conductivité électrique évoluent de la même façon que celles de la salinité. Il y a une parfaite corrélation entre ces deux paramètres. La conductivité électrique est comprise entre 544 et 922 $\mu\text{s/cm}$ (sels dissous entre 384,7 et 652 mg /l), on remarque aussi une différence de la conductivité entre le puits1 et 2 .

D'après les normes on constate qu'on a des eaux à risque de salinisation Léger (eau de puits 1,2 et eau mixte) et des eaux à risque nul (eau de borne). Cette richesse en sels dissous dans l'eau mixte 652mg/l est due à l'utilisation abondante de 60% de l'eau de puits 1 dans l'irrigation de la parcelle Almond .

II-3- potentiel Hydrogène

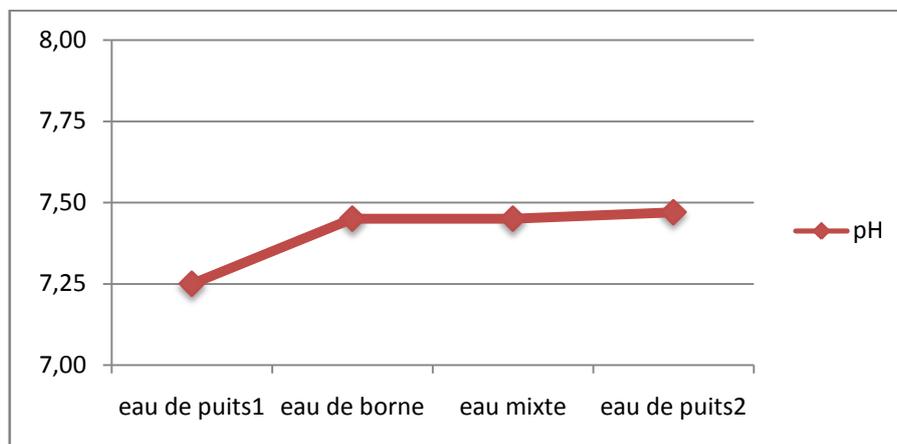


Figure 23 : courbe illustrant la variation du potentiel hydrogène des eaux

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.

Tableau 6 : Classifications des eaux selon leur pH (Normes de potabilité International)

D'après le graphe (figure23), on note que le pH des eaux varie entre 7,25 et 7,50.

En se basant sur le tableau (6), on peut conclure que les eaux ont un pH neutre à faiblement alcalin.

II -4-taux de sodium adsorption SAR et la dureté totale

- SAR

La présence d'ions sodium dans l'eau affecte la perméabilité des sols et pose des problèmes d'infiltration, ceci est dû au fait que le sodium présent dans le sol en forme échangeable remplace les calcium et les magnésium adsorbés sur les argiles du sol et cause la dispersion des particules dans le sol .

Le SAR est défini par la relation suivante : $SAR = [Na] / \sqrt{([Ca] + [Mg])/2}$

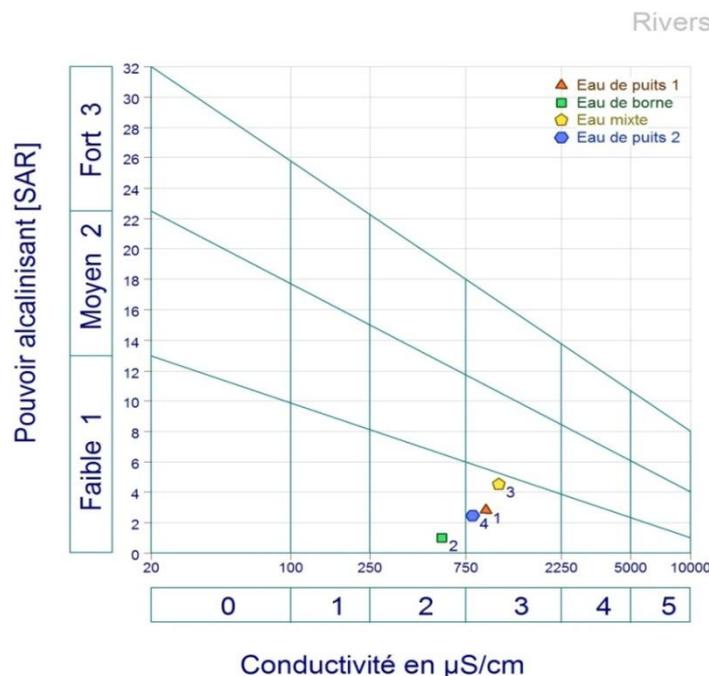


Figure 24 : Qualité des eaux étudiées d'après le Diagramme de Riverside

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

Tableau 7 : Normes de SAR
(<http://hydram.epfl.ch/docs/Irrigation-basic.pdf>)

Les eaux étudiées sont très peu alcalinisantes, d'après le diagramme de Riverside, on remarque que les eaux exploitées dans ce secteur sont caractérisées par une bonne qualité vu la faible teneur en Sodium et la conductivité moyenne, on note deux classes d'après le diagramme de Riverside (figure 24).

- C2-S1 pour l'eau de borne convenant aux plantes qui ont une légère tolérance au sel.
- C3-S1 pour les eaux de puits et l'eau mixte convenant aux plantes ayant une bonne tolérance au sel.

-La dureté totale TH

$$TH = (Ca + Mg) * 5$$

Les échantillons	Dureté °F	Caractérisation
eau de puits1	15	DURE
eau de borne	12,5	DOUCE
eau mixte	16	DURE
eau de puits2	15,5	DURE

Tableau 8 : Dureté des eaux étudiées

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

Tableau 9 : Classification de la dureté utilisée au Maroc (Ouyse, 2005)

Les eaux de la zone d'étude se classent dans la catégorie des eaux douce à légèrement dure, ce qui est peut être expliquer par la présence des formations géologiques de nature calcaire altérées par ces eaux.

II -5- sulfates et bicarbonates

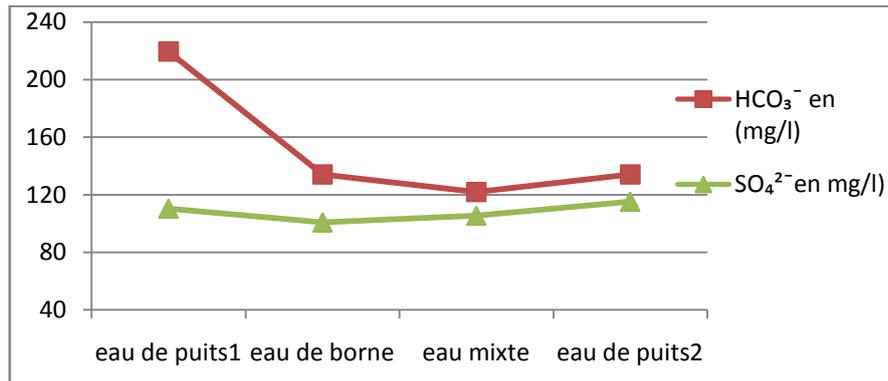


Figure 25: variation de la concentration des sulfates et bicarbonates dans les eaux

D'après le graphe (figure 25), on remarque dans toutes les eaux des concentrations similaires en HCO_3^- d'une moyenne de l'ordre de 130,1 mg/l sauf dans le puits 1 qui a une concentration élevée (219,6 mg/l) ce qui est peut être influencé par des formations carbonatées, ainsi pour les sulfates, on enregistre des teneurs voisines de l'ordre de 108 mg/l probablement dues à l'oxydation des minerais de sulfates ou aux formations schisteuses et qui peut provoquer un colmatage de canalisation.

II-6- chlorure et sodium

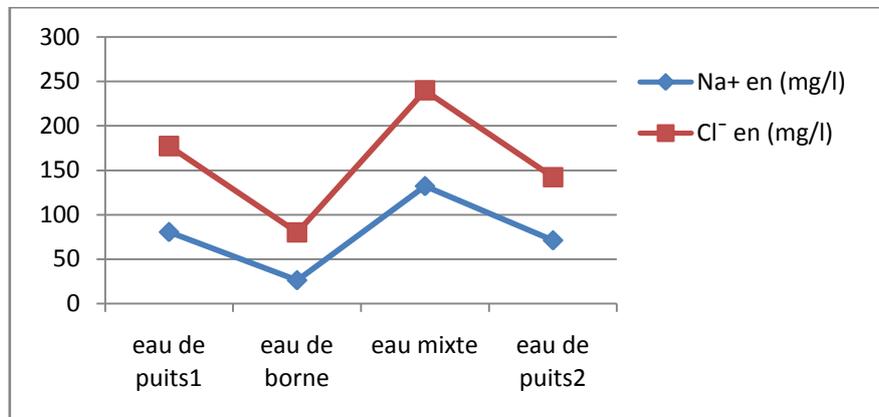


Figure 26: variation de la concentration des chlorures et du sodium dans les eaux

Le sodium et les chlorures varient simultanément mais on remarque que les concentrations des chlorures sont plus élevées que celles du sodium, la présence de ces deux éléments dans l'eau peut indiquer l'existence des formations salifères altérées par l'eau.

III -Résultats des analyses de sol et interprétations

L'irrigation fertilisante consiste en une bonne gestion des apports d'engrais et d'amendements; globalement, la fertigation s'entend comme l'action de fertiliser le sol par injection des engrais dans les eaux destinées à l'irrigation localisée visant à maintenir et augmenter la fertilité d'un sol pour placer les plantes cultivées dans les meilleures conditions d'alimentation, et pour minimiser les pertes des engrais par lessivage qui entraîne une pollution de la nappe phréatique. Afin d'apprécier l'impact de ce type d'irrigation sur le sol, nous avons d'abord étudié les caractéristiques du sol.

III-1-Structure du sol

Le sol au secteur d'étude est constitué par des éléments (sables,limons et argiles) avec des pourcentages différents dont les limons sont les plus abondants, il est moyennement pourvu en matière organique et riche en calcaire.



Figure27 : les différents horizons de sol

III-2-Texture du Sol

L'analyse granulométrique des éléments constitutifs des sols étudiés permet d'aboutir aux résultats suivants (Tableau10).

Parcelle	Argile(%)	Limon fin(%)	Limon grossier(%)	Sable fin(%)	Sable grossier(%)
Almond	29.5	21.4	19.2	18.3	11.6
Hafil	32.1	20.3	21.9	15.4	10.2
Centre Saada	28.6	23.1	21.9	16.5	9.9

Tableau10 : Granulométrie des sols dans les parcelles(ORMVAH)

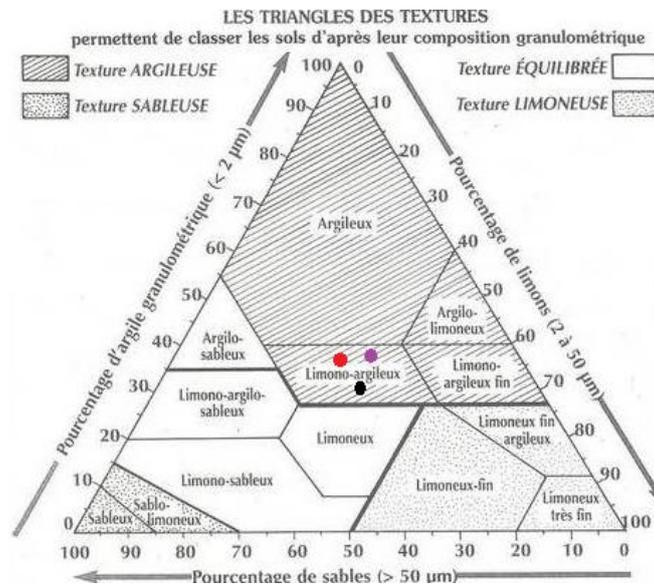


Figure28 : Classification texturale des sols étudiés (d'après JAMAGNE)

D'après le triangle des textures (Figure28) 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 latérale (Figure29), contrairement aux sols sableux qui sont caractérisés par un bulbe étroit et allongé.

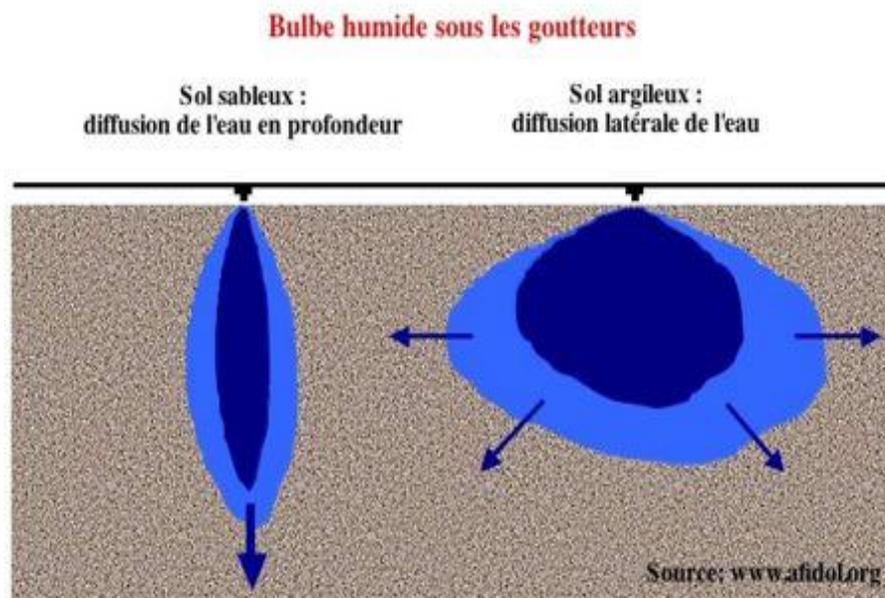


Figure29 : Schéma illustrant le bulbe d'humidification (afidol)

III-3-Teneur en eau

L'eau est retenue dans le sol dans les pores et par interaction avec les minéraux argileux principalement, la quantité d'eau retenue à un endroit et à un moment donnés dépend de plusieurs facteurs tels que la nature des constituants, la structure du sol et les agents climatiques (précipitations et température...).

$$\text{teneur en eau} = (\text{poids humide/poids sec}) * 100$$

Echantillon (0-20cm)H1	Poids total en (g)	Poids sec en (g)	Poids humide en (g)	Teneur en eau en %
Parcelle Almond	34,95	30,13	4,81	16
Parcelle Hafil	43,21	36,83	6,36	17
Parcelle centre Saada (3 jours après l'irrigation)	34,33	28,6	5,75	20

Tableau11 : Résultats de la teneur en eau des différents sols

Les résultats de la teneur en eau dans le sol montrent qu'il y a un écart entre les parcelles irriguées par la goutte à goutte et la parcelle irriguée par le gravitaire vu sa teneur en eau élevée (20%) en tenant compte qu'elle est irriguée trois jours avant. Donc on peut dire que le système gravitaire gaspille l'eau en grande quantité ; cette eau se fixe sur les particules du sol en entraînant l'asphyxie des plantes, ou bien par sa percolation en profondeur risquant de polluer la nappe phréatique.

III-4-Caractéristiques chimiques

III-4-1- Potentiel hydrogène

Nos échantillons du sol ont un pH moyennement alcalin à alcalin. Cette alcalinité provient essentiellement de la composition chimique des roches et matériaux d'origine du sol, qui, s'il possède beaucoup de bases, peut servir de « tampon » à cette tendance en réinjectant des cations dans le sol. On remarque une étroite relation entre la pluie annuelle et le pH, plus la pluie est importante, plus le sol est acide et puisque notre site d'étude a un climat sec avec moins de précipitations, cela explique en partie l'alcalinité du sol.

Classe	Interprétation
5-6,5	Très acide
6,5-7,3	Neutre
7,3-7,8	Légèrement alcalin (basique)
7,8-8,5	Moyennement alcalin (basique)
8,5-9	Alcalin (basique)
>9	Très alcalin (basique)

*Tableau 12 : Les classes du pH
(SCET Maroc, Marché 66-75ORH)*

III-4-2- conductivité électrique

La représentation graphique (figure 30 A, B) montre une différence entre la conductivité à la périphérie du bulbe et celle au bulbe dont les maximum sont respectivement (1,05 et 0,53 mmho/cm) enregistrés dans l'horizon 1. Ceci reflète son enrichissement en sels dissous, ainsi, la conductivité dans les deux zones diminue jusqu'à atteindre les valeurs (0,29 et 0,59 mmho/cm) dans l'horizon 3.

Dans cette parcelle, la quantité des sels dissous est moyenne dont la conductivité est d'une moyenne de 0,48mmho/cm sur tout le profil au niveau de la périphérie du bulbe, par contre dans le bulbe, la conductivité est faible (0,15 mmho/cm).

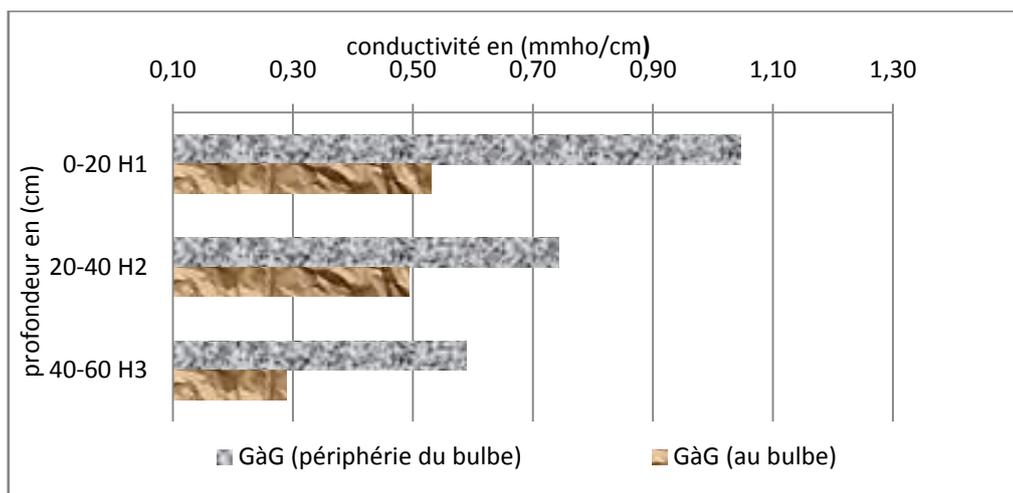
En faisant une comparaison entre les variations de la conductivité dans les deux parcelles du goutte à goutte, on remarque que la conductivité est remarquable à la périphérie du bulbe par rapport au niveau du bulbe ce qui nous permet de classer les sols de la périphérie riche en sels dissous par rapport aux sols au niveau du bulbe.

Cet excès de salinité et surtout à la surface au niveau de la périphérie s'applique également à un déficit en eau suivi par une forte évaporation qui est provoqué par l'accumulation des sels.

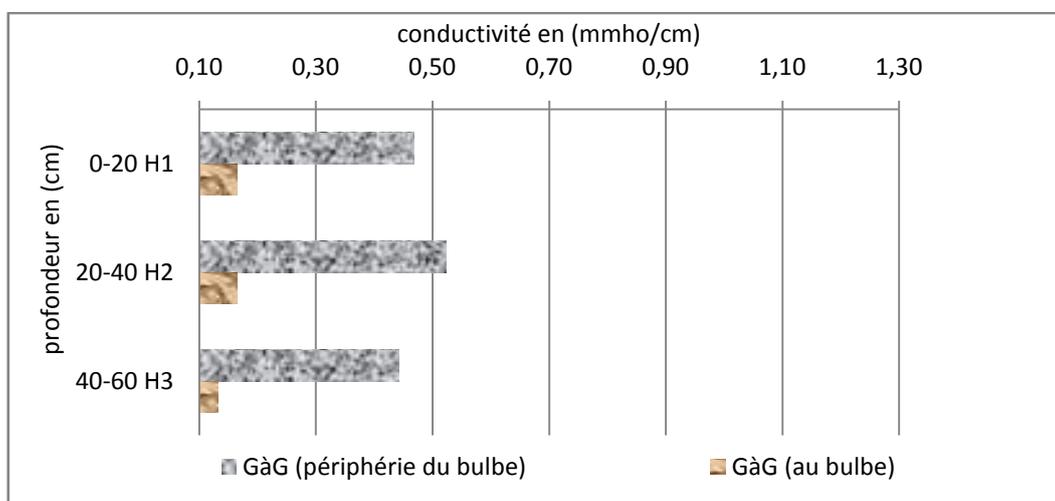
On enregistre sur le graphe(figure30-C) une augmentation brusque de la valeur de la conductivité en profondeur (40-60cm) 1,12mmho/cm ce qui permet de classer ce sol dans les zones riches en sels dissous.

Cette abondance décrit nettement une forte infiltration des sels en profondeur et c'est forcément le résultat du débit et de la fréquence élevés des eaux d'irrigation riches en sels dissous.

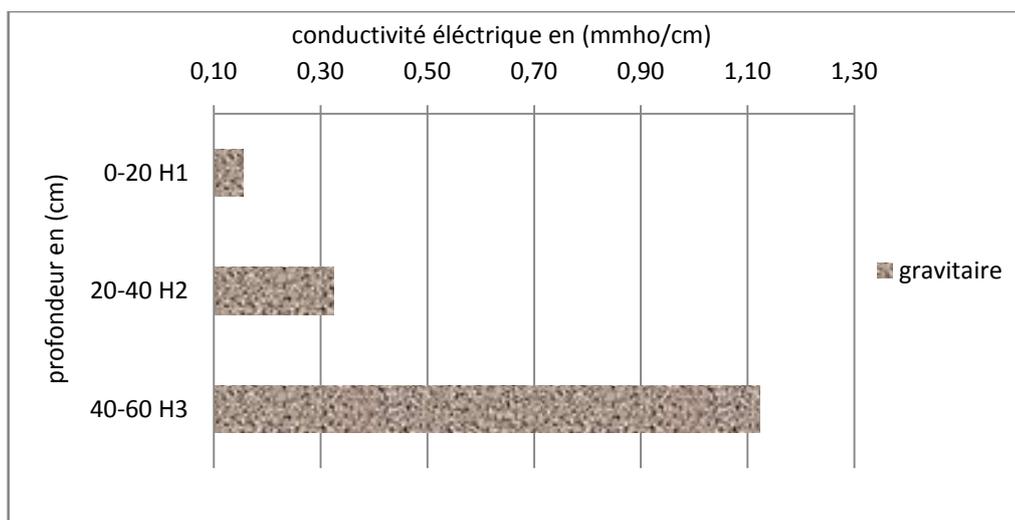
En conclusion, les résultats de la conductivité électrique permettent de déduire que l'irrigation goutte à goutte réduit relativement la pollution de la nappe par l'infiltration des sels dissous au contraire au système gravitaire, pourtant elle cause l'augmentation de l'apport de sels dans le sol.



A - parcelle Almond



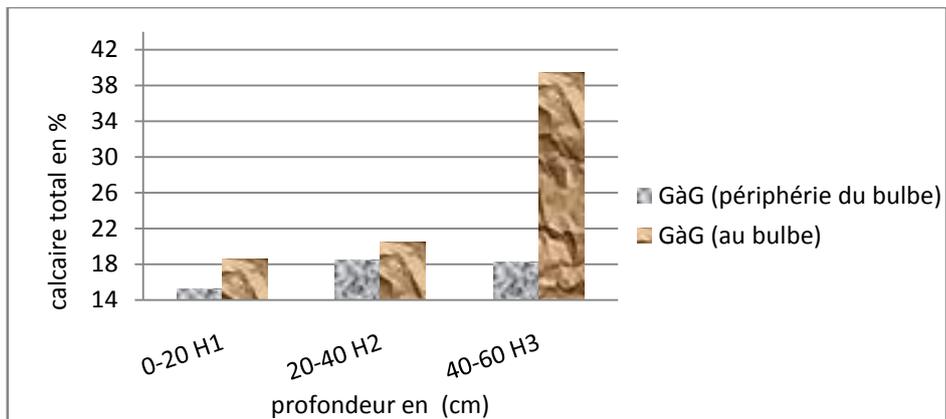
B-parcelle Hafil



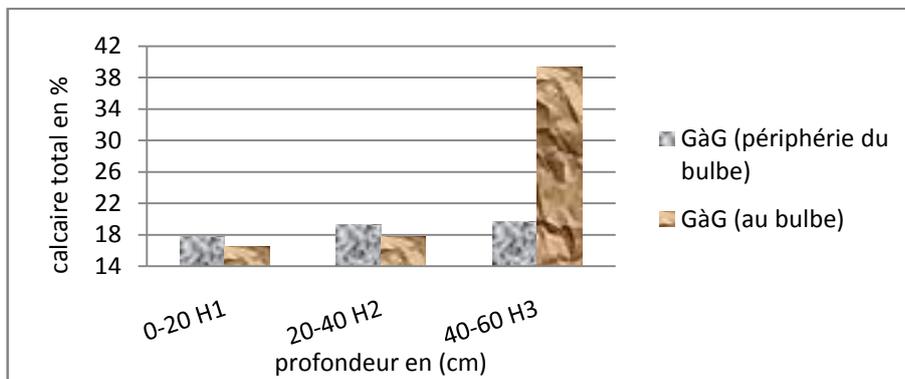
C- parcelle centre Saada

Figure 30: Variation de la conductivité électrique en fonction de la profondeur

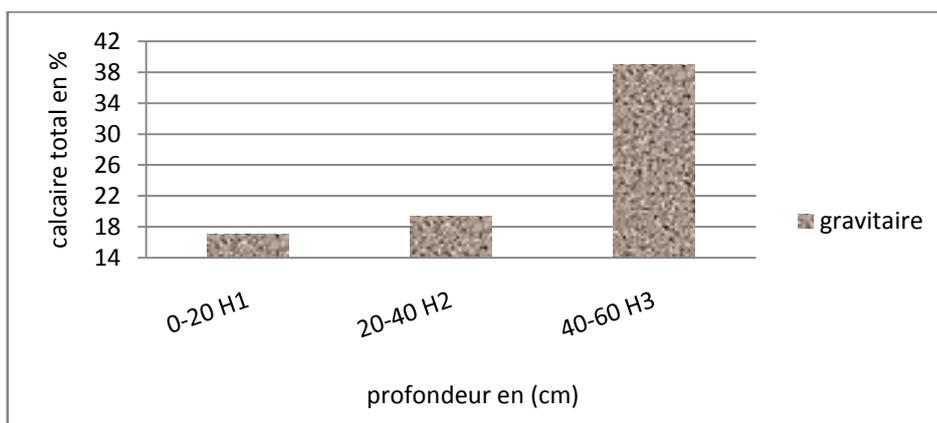
III-4-3- calcaire total



A- parcelle Almond



B-parcelle Hafil



C-parcelle centre Saada

figure 31 : Variation du taux de calcaire total en fonction de la profondeur (A, B, C)

Dans les deux parcelles du goutte à goutte, on remarque une augmentation brusque du taux de calcaire total à la profondeur (40-60cm) au niveau du bulbe d'humidification d'une moyenne de l'ordre de 39,35% ,aussi , la parcelle irriguée par le gravitaire, enregistre les mêmes variations que celles du goutte à goutte dans le bulbe ,cette richesse est due à la percolation des eaux drainant le calcaire vers la profondeur, par contre à la périphérie du bulbe où l'infiltration est faible ,on note une diminution du taux de calcaire au niveau des 3 horizons.

Calcaire total (%)	
Classe	Interprétation
<5	Très faible
5-12	Faible
12-25	Moyenne
25-40	Elevée
>40	Très élevée

Tableau 13:normes du calcaire total

(Management, Ingénierie de Développement, de Formation et Agri-Consulting, 2009)

III-4-4-Matière organique

La matière organique constitue des réserves d'éléments nutritifs qui seront progressivement mises à la disposition des plantes, grâce à leurs propriétés d'adsorption, les composés organiques jouent un rôle essentiel dans l'immobilisation et/ou la transformation d'un certain nombre de fertilisants (azote, phosphore...) et de micropolluants (rôle de filtre environnemental). En plus à l'amélioration de la rétention de l'eau et la structure des sols, la fraction organique du sol représente également un important réservoir de carbone, dont les variations jouent positivement ou négativement sur les niveaux du CO₂ atmosphérique. La variation de la couleur du sol vers le clair montre le décroissement régulier de la matière organique avec la profondeur.

Parcelle	% de M.O	Interprétations
Almond	1,84	Sol moyennement pourvu
Hafil	1,24	Sol pauvre
centre Saada	2,08	sol moyennement pourvu

Tableau14 : Teneur moyenne de la matière organique dans la parcelle

Richesse en Matière organique %	
Classe	Interprétation
< 0,7	Très pauvre
0,7-1 ,5	Pauvre
1,5-3	Moyennement pourvu
3-6	Riche
>6	Très riche

Tableau15 : Norme de la matière organique

(Management, Ingénierie de Développement, de Formation et Agri-Consulting, 2009)

D'après les analyses on constate que la parcelle d'Almond et centre Saada sont plus riches en matière organique que la parcelle de Hafil, cela est peut être expliquer par l'utilisation de fumier.

III-4-5- potassium échangeable

Le potassium échangeable joue un rôle important dans différentes fonctions cellulaires de la plante telles que la synthèse des sucres et des protéines, turgescence des tissus, augmentation de la résistance à la déshydratation et transfert des substances minérales et organiques dans les différents organes de l'arbre.

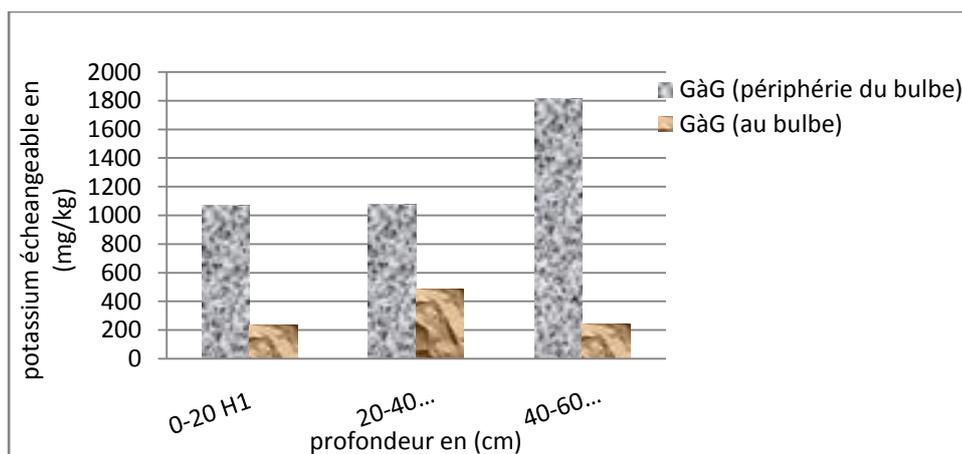
Une déficience en cet élément se traduit par une nécrose des bordures des feuilles montrée par une réduction de la coloration, ainsi que son excès dans le sol entraîne une diminution en calcium et magnésium (agrimaroc).

D'après le graphe de la figure23-A, on note que la teneur en K_2O est assez élevée dans la périphérie du bulbe en atteignant une valeur de 1818 mg/kg de sol dans l'horizon 3, par contre, dans le bulbe on observe une dégradation de la quantité du K_2O avec une valeur maximale dans le deuxième horizon de 489,24 mg/kg ce qui permet de classer cette parcelle dans les zones riches en potassium, cette richesse est peut être due à la salinité élevée de l'eau mixte (652mg/l) ou à un excès dans l'apport des engrais potassiques, ou bien à la teneur en argile qui a tendance combiner avec la matière organique pour former le complexe adsorbant du sol permettant la fixation des éléments nutritifs chargés positivement.

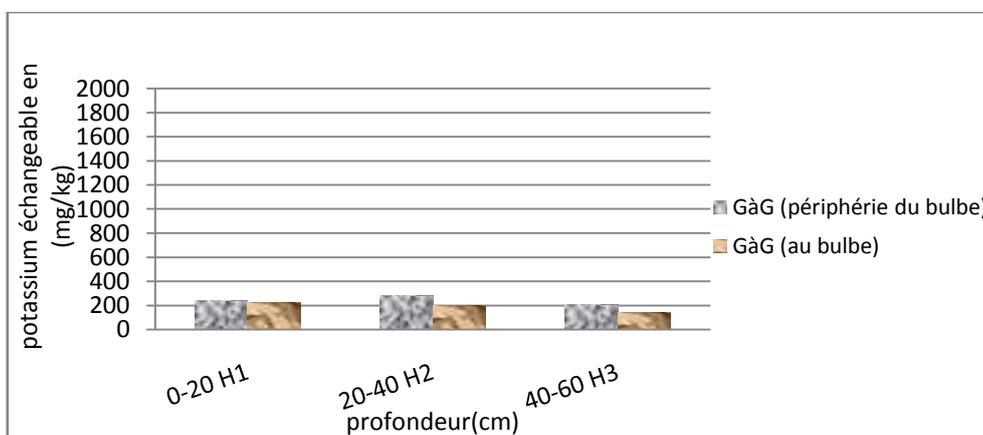
On observe sur le graphe (figure 32) des teneurs moyennes à riches de K_2O dans le sol qui varient entre 203,74 à 286,76mg/kg qui peuvent être lié à la concentration du potassium(3,74 méq/l) dans l'eau d'irrigation, ainsi dans l'horizon 3 dans le bulbe, on marque une pauvreté en K_2O qui est probablement du à l'absence de la fertilisation.

Classe	Interprétation
Très riche	>400
Riche	250-400
Moyennement pourvu	250-150
Pauvre	50-150
Très pauvre	<50

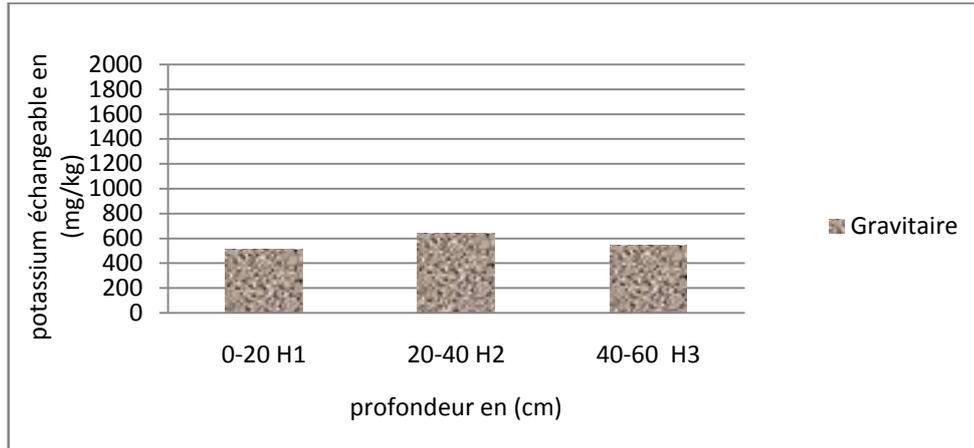
Tableau 16 : Norme du potassium échangeable du sol (SCET Maroc, Marché 66-75ORH)



A- parcelle Almond



B-parcelle Hafil



C- parcelle centre Saada

Figure 32 : variation du potassium échangeable en fonction de la profondeur (A, B, C)

Le graphe ci-dessus montre des valeurs élevées en potassium échangeable (>400mg/kg) ce qui permet de classer ce sol dans les zones riches en K₂O, cette abondance est peut être liée à un grand apport d’engrais potassiques ou à la concentration importante du k⁺ dans l’eau d’irrigation.

III-4-6-Phosphore assimilable

Le phosphore assimilable est un élément mineur dans la composition du sol, il est considéré comme élément indispensable à la croissance et au développement des végétaux. Connaître la teneur du sol en phosphore assimilable est indispensable pour optimiser le plan agronomique et économique, la fertilisation complémentaire en fonction des besoins du sol et des cultures et maintenir durablement sa fertilité phosphatée. C’est un élément peu présent à l’état naturel dans les sols du Maroc. (S .C .E .T.Maroc1977)

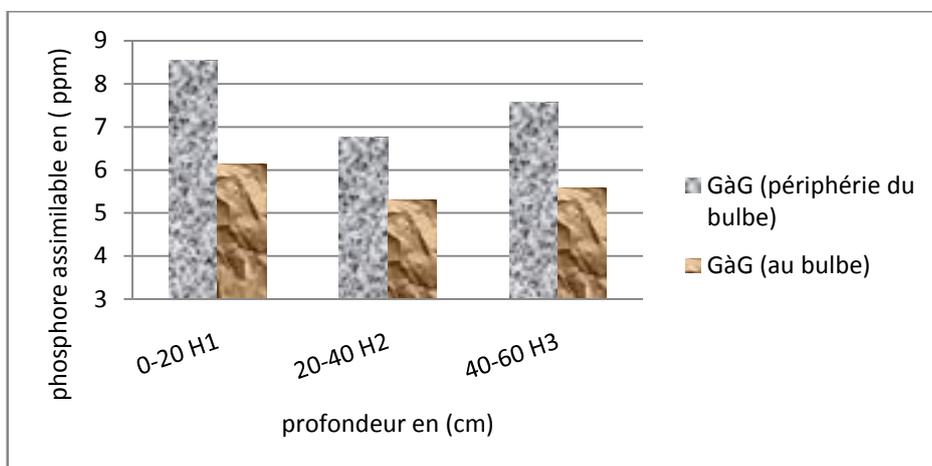
Richesse en phosphore assimilable (ppm)	
Classe	Interprétation
<5	Très pauvre
5-10	Pauvre
10-15	Moyennement pourvu
15-25	Riche
>25	Très riche

Tableau17: Normes du phosphore assimilable

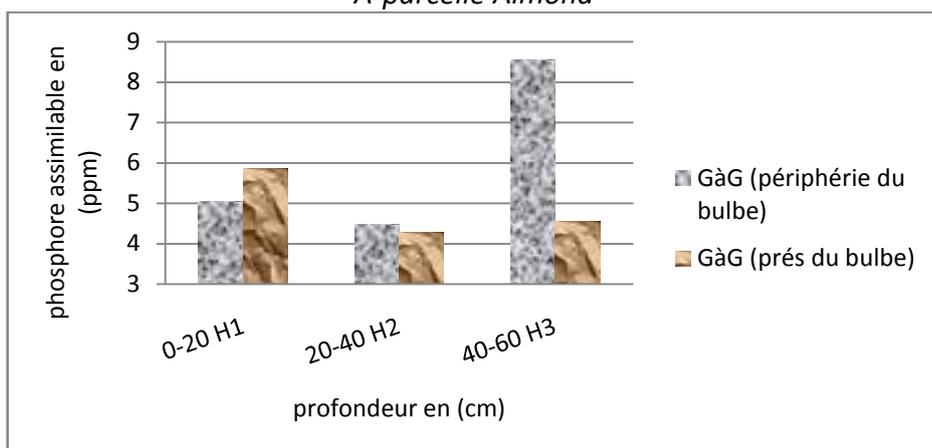
(Management, Ingénierie de Développement, de Formation et Agri-Consulting, 2009)

Les représentations graphiques (figure33- A, B) montrent des teneurs faibles en phosphore assimilable (8,54 ppm) accumulées dans l'horizon1, ainsi, sa quantité dans les autres horizons est aussi plus faible, ce qui permet de classer ce sol dans une zone pauvre en phosphore.

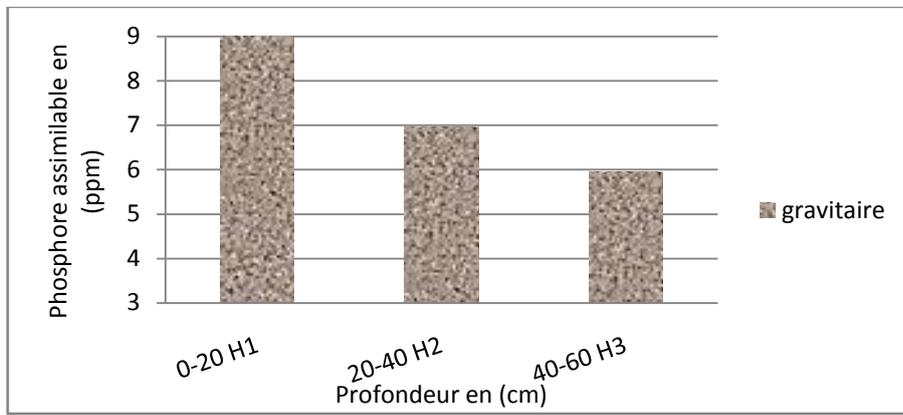
Cette valeur enregistrée au niveau du premier horizon est due à la présence de la matière organique dans le sol qui se complexe avec le phosphore afin de le rendre immobilisable. Dans cette parcelle, la teneur en phosphore est plus importante dans l'horizon 3 (8,54 ppm) que dans les autres horizons (5,86 et 4,28ppm), ce qui est expliqué par le lessivage du phosphore résultant de la pauvreté de la matière organique en surface du sol.



A-parcelle Almond



B-parcelle Hafil



C-parcelle centre Saada

Figure33 : variation du phosphore assimilable en fonction de la profondeur (A ,B,C)

Conclusion général

Notre objectif sur lequel cette étude fut réalisée est d'évaluer l'homogénéité d'arrosage qui demande une grande technicité de gestion, et l'impact de l'irrigation localisée sur la qualité de sol agricole dans le périmètre N'fis qui fait partie de Tensift l'Haouz.

Pour mener à bien notre objectif, une série de mesures et d'analyses chimiques ont été réalisées sur les sols et sur les eaux d'irrigation. Rappelons ici que les eaux qui irriguent la région Saada sont des eaux souterraines et des eaux de surface qui arrivent du barrage Hassan 1er. La qualité physico-chimique de ces eaux détermine l'importance des risques de colmatage du matériel d'arrosage, dans notre cas ces eaux sont plus au moins de bonne qualité, l'hétérogénéité d'arrosage dans la parcelle de Hafil due à la mauvaise gestion du système d'irrigation qui aboutit au colmatage des organes de distribution, par contre la parcelle d'Almond ayant un coefficient d'uniformité supérieure à 90%, grâce à la surveillance journalière.

L'étude du sol a pour but de mesurer les effets du mode d'irrigation localisée sur l'évolution des propriétés physico-chimiques du sol, ce qui aboutit à la formation de deux zones (au bulbe et à la périphérie de bulbe) avec des caractéristiques chimiques différentes où on remarque l'accumulation des sels à la périphérie de bulbe sous forme d'une croûte autour du bulbe. Cette accumulation s'accroît avec le taux d'évaporation et l'excès d'apport en engrais ce qui est remarquable dans la parcelle d'Almond qui adopte cette technique d'irrigation depuis 7ans, par contre dans la parcelle Hafil (1ans) où on remarque un déficit en sels due à l'absence de la fertilisation, d'autre part la parcelle centre Saada irriguée par le gravitaire caractérisée par une infiltration importante des sels en profondeur ce qui introduit la pollution de la nappe phréatique.

En conclusion, la pratique du mode d'irrigation localisée dans le secteur d'étude n'est pas encore effective car malgré la technicité et la bonne gestion, son impact sur le sol reste un problème gênant sur la fertilité du sol à long terme.

Liste des figures

Figure 1 : la zone d'action de l'ORMVAH (JICA, al 2007)

Figure 2 : photo illustrant l'irrigation de surface

Figure 3 : photo illustrant l'irrigation par aspersion

Figure 4 : photo illustrant l'irrigation localisée

Figure 5 : occupation des techniques d'irrigation au Maroc (ORMVAH, 2008)

Figure 6 : réseau d'irrigation goutte à goutte

Figure 7 : carte des secteurs de N'fis rive droite

Figure 8 : carte de localisation de la zone d'étude par rapport à Marrakech

Figure 9 : variation des précipitations moyennes mensuelles à la station Saada de l'année 2002 à 2012

Figure 10 : variation des températures moyennes mensuelles à la station Saada de l'année 2002 à 2012

Figure 11 : diagramme ombrothermique de la zone d'étude

Figure 12 : variation de la température et de l'évapotranspiration de l'année (2002 à 2012)

Figure 13 : carte pédologique de la zone de l'oued N'fis (J.CONCARET)

Figure 14 : occupation du sol dans le secteur d'étude (ORMVAH ,2010a)

Figure 15 : localisation des parcelles d'échantillonnage dans les fermes (A, B, C)

Figure 16 : schéma illustrant les points de mesure du débit dans la parcelle

Figure 17 : photos illustrant les burettes de dosage

Figure 18 : photos illustrant le spectrophotomètre à flamme (A) et le complexe de dosage du Calcium et Magnésium (B)

Figure 19 : schéma du calcimètre de Bernard (A) et burette de dosage de la matière organique (B)

Figure 20 : figure illustrant le conductivimètre(A) et le PH-mètre (B)

Figure 21 : diagramme de piper illustrant les faciès chimiques des eaux

Figure 22 : variation de la conductivité électrique et sels dissous

Figure 23 : variation du potentiel hydrogène des eaux

Figure 24 : qualité des eaux étudiées d'après Riverside

Figure 25 : variation de la concentration des sulfates et des bicarbonates dans les eaux

Figure 26 : variation de la concentration des chlorures et du sodium dans les eaux

Figure 27 : différents horizons du sol

Figure 28 : classification texturales des sols étudiés

Figure 29 : schéma illustrant le bulbe d'humidification

Figure 30 : variation de la conductivité électrique en fonction de la profondeur (A, B, C)

Figure 31 : variation du calcaire total en fonction de la profondeur (A, B, C)

Figure 32 : variation du potassium échangeable en fonction de la profondeur (A, B, C)

Figure 33 : variation du phosphore assimilable en fonction de la profondeur (A, B, C)

Liste des tableaux

Tableau 1 : avantages et inconvénients de l'irrigation localisée

Tableau 2 : les sous secteurs de N'fis rive droite

Tableau 3 : mesure des débits dans la parcelle d'Almond

Tableau 4 : mesure des débits dans la parcelle de Hafil

Tableau 5 : les normes nationale et internationale de CEC et salinité des eaux

Tableau6 : classifications des eaux selon leur PH (normes de potabilité international)

Tableau7 : normes de sodium adsorption rapport

Tableau 8 : dureté des eaux étudiées

Tableau9 : classification de la dureté utilisée au Maroc (Ouysse ,2005)

Tableau10 : granulométrie des sols (ORMVAH)

Tableau11 : teneur en eau

Tableau12 : classes du Potentiel hydrogène

Tableau13 : normes du calcaire total

Tableau14 : Teneur moyenne de la matière organique dans la parcelle

Tableau15 : normes de la matière organique

Tableau16 : normes du potassium échangeable du sol (SCET Maroc)

Tableau17 : normes du phosphore assimilable

BIBLIOGRAPHIE

- **Dr.HASSANE ELATTIR** -MANUEL PRATIQUE DU GOUTTE A GOUTTE EN MARRAICHAGE
- **ORMVAH** (mars 1996) -LE MELON PRECOCE CONDUIT SOUS ABRI-SERRE (mars 1996)
Session de formation du personnel de vulgarisation de l'office régional de mise en valeur agricole du Haouz.
- **ORMVAH** (novembre 2000) TECHNIQUE D'IRRIGATION ET D'ECONOMIE D'EAU;
PILOTAGE DE L'IRRIGATION, Session de formation du personnel de vulgarisation de l'office régional de mise en valeur agricole du Haouz.
- **BELKHERCHACH F. ET LOUQMANE H.** (2011) la reconversion de l'irrigation gravitaire à l'irrigation localisée dans le périmètre de Haouz, avantages et inconvénients, cas du périmètre de N'fis secteur N1-2. Mémoire de fin d'études de
- **BERROUCH H.** (2011) : Etude de la qualité des eaux d'irrigation et du sol dans le périmètre de Saada
- OUYESS, 2005
- Management, Ingénierie de Développement, de Formation et Agri-Consulting, 2009.
- SCET Maroc, Marché 66-75ORH

Sites web consults :

- <http://www.lenntech.fr/francais/irrigation/salinite-risque-irrigation.htm>
- <http://hydram.epfl.ch/docs/Irrigation-basic.pdf>
- <http://www.cartographie.ird.fr/sphaera/images/telechargement/02314.pdf>

ANNEXE



Filtre à sable



mesure de débit du goutteur



Bassin d'accumulation couvert d'une géomembrane



filtration des extraits de sol pour



Tarière utilisée pour le prélèvement du sol

Tableau :moyenne de temperature de station Saada (années 2002 à 2012)

TEMPERATURE

Les mois	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
J	12,94	10,03	10,96	9,37	9,27	11,2	12,24	9,69	12	12,12	10,12
F	14,71	11,77	13,79	10,81	11,7	13,8	14,87	13,12	14,55	12,3	10,05
M	15,87	17,00	14,88	16,85	15,80	15,7	16,20	15,89	16,56	14,68	16,9
A	17,09	17,25	16,82	18,53	18,6	16,1	20,07	16,88	19,43	19,31	15,6
M	20,11	22,31	19,56	22,19	22,0	20,2	19,50	22,73	20,08	21,55	21,7
J	23,33	25,13	26,39	26,52	23,2	23,4	25,17	25,02	22,69	27,06	26,1
J	25,71	28,19	27,92	26,86	28,3	28,59	27,23	29,25	28,25	26,77	28,4
A	24,65	28,22	27,63	27,79	26,9	26,31	27,55	27,21	29,64	27,625	29,8
S	23,61	25,80	25,25	24,30	25,0	22,79	23,08	22,34	25,37	24,022	23,8
O	21,99	19,43	20,87	20,88	21,04	20,3	17,89	22,3	19,63	20,923	20,6
N	15,95	14,62	14,38	14,77	16,9	15,446	12,467	17,05	15,21	14,36	15,6
D	13,70	11,98	10,24	11,20	10,4	11,94	10,41	13,95	14,94	10,99	10,9
moYENNE ANNUELLE	19,14	19,31	19,06	19,17	19,09	18,81	18,89	19,62	19,86	19,31	19,12

Tableau :moyenne de precipitation de station Saada (années 2002 à 2012)

PRECIPITATION en mm

Les mois	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	moyenne mensuelle
J	0,10	4,10	0,70	0,80	68,30	2,70	17,50	33,10	59,6	15,70	22,1	20,43
F	2,50	6,10	23,40	18,00	37,1	35,5	21,50	86,00	52,20	3,60	0,60	26,05
M	35,80	28,50	24,60	24,30	0,50	0,60	0,40	49,30	0	16,60	4,80	16,85
A	44,40	49,40	9,40	0,20	30,80	14,80	3,00	0,20	0,7	43,30	22,50	19,88
M	18,60	29,90	15,30	0,00	5,1	7,90	15,50	0,00	0,30	52,00	0	13,15
J	0,00	3,90	6,80	0,80	5,10	0,00	0,60	4,1	1,80	7,20	3,90	3,11
J	0,00	0,00	4,60	0,10	9,70	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,33
A	1,20	26,50	0,40	0,50	0,00	5,80	0,00	1,40	17,20	0,00	0,1	4,83
S	2,70	0,40	0,30	4,60	0,3	0,00	28,50	35,50	1,70	0,90	21,1	8,73
O	1,80	22,00	37,80	26,10	15,00	15,3	31,10	9,40	8,9	21,00	38	20,58
N	73,60	57,10	12,60	11	16,70	38,50	46,30	2,70	38,30	49,7	3,3	31,80
D	14,30	29,70	18,10	26,60	9,00	10,80	20,10	39,30	15,80	1		18,47
moy ANNUELLE	195,00	257,60	154,00	113,00	197,60	132,10	184,50	261,00	196,50	211,00	116,40	183,52

Tableau : moyenne de l'évapotranspiration de station Saada (années 2002 à 2012)

les mois	ET0 en mm										
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
J	64,12	71,82	58,47	64,84	44,236	62,326	67,15	47,27	53,328	69,997	36,08
F	84,98	98,13	77,41	65,95	53,693	70,203	72,44	62,88	46,171	84,191	15,622
M	114,72	132,45	106,41	108,05	119,433	125,663	119,42	90,13		111,57	79,416
A	112,09	161,37	110,82	142,45	121,372	119,468	165,28	113,25	42,672	134,094	126,895
M	153,06	193,14	78,13	162,49	154,386	175,381	161,964	31,621	146,107	124,515	58,689
J	159,80	183,19	185,73	170,68	159,197	189,22	210,414	158,957	152,358	195,854	202,695
J	187,30	180,62	194,23	184,62	200,388	221,183	209,276	202,431	172,651	199,877	216,199
A	158,80	194,54	172,72	199,08	188,447	179,069	196,643	171,976	182,289	184,057	211,734
S	141,47	171,45	143,48	162,15	152,115	137,586	125,209	114,621	145,07	145,943	155,371
O	115,99	111,24	105,48	100,508	118,186	112,36	93,27	115,633	106,527	117,757	108,517
N	80,03	97,11	68,66	70,163	68,946	84,958	64,491	81,983	73,004	37,258	16,505
D	66,68	62,96	48,91	55,57	61,039	63,234	51,47	57,702	63,697	31,443	
Moy annuelle	1 439,02	1 658	1 350,43	1 486,53	1 441,44	1 540,65	1 1 537	1 248,45	1 183,87	1 436,56	1 227,72

Tableaux : résultats des analyses des eaux

	K+		Na+		Ca2+		Mg2+		Cl⁻		HCO₃⁻		SO₄²⁻	
	mg/l	méq/l	mg/l	méq/l	mg/l	méq/l	mg/l	méq/l	mg/l	méq/l	mg/l	méq/l	mg/l	méq/l
eau de puits1	2,11	0,05	80,41	3,5	20	1	24,2	2	177	5	219,6	3,6	110,4	2,3
eau de borne	6,46	0,17	26,1	1,14	16	0,8	20,57	1,7	79,88	2,25	134,2	2,2	100,8	2,1
eau mixte	3,1	0,08	132,18	5,75	24	1,2	24,2	2	239,63	6,75	122	2	105,6	2,2
eau de puits2	3,74	0,1	71,06	3,09	20	1	25,41	2,1	142	4	134,2	2,2	115,2	2,4

	pH	CEC (µS/cm)	CEC (mmol/cm)	sels dissous mg/l
eau de puits1	7,25	919	1,02	649,9
eau de borne	7,45	544	0,60	384,7
eau mixte	7,45	922	1,02	652
eau de puits2	7,47	772	0,85	546

Tableau : La gamme étalonne de potassium et sodium

gamme étalonne (k+)	%
H2O	0
5ppm	25,3
10ppm	46,7
15ppm	64,9
20ppm	80,5
25ppm	100

gamme étalonne (Na+)	%
H2O	0
5ppm	35,2
10ppm	58
15ppm	71
20ppm	85,8
25ppm	100

Tableau :les resultats des analyses de sol

parcelle	échantillon	Profondeur (cm)	CEC (mS/cm)	CEC (mmho/cm)	sels dissous (g/kg)	carbonate de calcium %	Phosphore assimilable (ppm)	Potassium échangeable (mg/kg)	Ph	% du Carbone
almond	périphérie du bulbe	0-20 H1	0,95	1,05	3,35	15,3	8,54	1070,63	8,1	1,441
		20-40 H2	0,67	0,74	2,38	18,5	6,77	1079,51	8,24	
		40-60 H3	0,53	0,59	1,89	18,2	7,57	1818	8,48	
	au bulbe	0-20H1	0,48	0,53	1,70	18,6	6,13	238,15	8,6	2,241
		20-40H2	0,45	0,49	1,58	20,5	5,31	489,24	8,6	
		40-60H3	0,26	0,29	0,93	39,4	5,58	245,45	8,72	
hafil	périphérie du bulbe	0-20H1	0,42	0,47	1,50	17,7	5,03	242,52	8,4	1,201
		20-40H2	0,47	0,52	1,68	19,3	4,47	286,76	8,45	
		40-60H3	0,40	0,44	1,42	19,7	8,54	208,61	8,6	
	au bulbe	0-20H1	0,15	0,16	0,53	16,5	5,86	224,48	8,7	1,281
		20-40H2	0,15	0,16	0,53	17,7	4,28	203,74	8,5	
		40-60H3	0,12	0,13	0,42	39,3	4,56	139,99	8,8	
CENTRE SAADA	gravitaire	0-20H1	0,14	0,16	0,50	17	9,14	510,14	8,68	2,081
		20-40H2	0,29	0,32	1,04	19,3	6,95	640,49	8,42	
		40-60H3	1,02	1,12	3,59	39	5,95	544,33	8,27	

