



جامعة القاضي عياض
UNIVERSITÉ CADI AYYAD

كلية العلوم
والتقنيات - مراكش
FACULTÉ DES SCIENCES
ET TECHNIQUES - MARRAKECH



L'Office Régional de Mise en Valeur
Agricole du Haouz
Marrakech

Département des Sciences de la Terre

Licence des Sciences et Techniques

Eau & Environnement

Mémoire de projet de fin d'études

Etude de la qualité de l'eau et du sol avant la reconversion à l'irrigation localisée dans la zone de Skhirat

(Sous secteur du périmètre de la Tassaout amont)

Par: **HMIDOUCH Nouhaila & RACHDANE Mariame**

Encadrés par :

Mme. REDDAD Aicha (Faculté des Sciences et Techniques)

M. ESSHAIMI Mouhsine (Office de la Mise en Valeur agricole du Haouz)

Soutenu le 25/06/10 devant la commission d'examen composée de :

Mme. REDDAD Aicha (Faculté des Sciences et Techniques)

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2018--2019

Abréviations

CE : Conductivité électrique

CEC : Capacité d'échange cationique

C01 : Compagne agricole hiver 2017

C02 : Compagne agricole été 2018

DMP : Diamètre moyen pondéral₁₀

DO : Densité optique

ESP : Pourcentage de sodium échangeable

Ha : hectare

MES : Matière en suspension

méq/l : milliéquivalent par litre

MO : Matière organique

ORMVAH : Office régional de mise en valeur agricole du Haouz

PH: Potentiel d'hydrogène

PMH : Petit et Moyen Hydraulique

PMV : Plan Maroc Vert

PNEEI : Programme National d'Economie d'Eau d'Irrigation

Q_x : quintaux égale 100 kg

SAR : Sodium absorption ratio (Coefficient d'absorption du sodium)

Liste des tableaux

Tableau 1 : Répartition des eaux superficielles dans le périmètre de l'Haouz

Tableau 2 : Répartition des eaux souterraine dans le périmètre de l'Haouz

Tableau 3 : Les avantages et les inconvénients de l'irrigation goutte-à-goutte

Tableau4:Les secteurs concernés par la reconversion a l'irrigation localisée

Tableau5:Variation de la production agricole dans la région du Haouz

Tableau6: Les secteurs composants le périmètre de tassaout amont

Tableau 7:Le type d'aménagement du secteur Skhirat

Tableau8:Caractéristiques du réseau d'irrigation de la tassaout amont

Tableau9:Coordonnées Lambert des points de prélèvement du sol dans le périmètre de (Skhirat)

Tableau10:Coordonnées Lambert des points de prélèvement des eaux souterraines dans le périmètre(Skhirat)

Tableau11:Coordonnées Lambert des points de prélèvement des eaux de surface dans le périmètre(Skhirat)

Tableau12:Méthodes d'analyse du bilan ionique de l'eau

Tableau13:Répartition des classes du sol selon leurs teneur en matière organique (DIAEA/DRHA/SEEN(2008))

Tableau14:Classes de stabilités, battance et érosion hydrique en fonction de valeurs de diamètre moyen pondéral après désagrégation (DMP)(Bissonnais Y, le Souder,1995)

Tableau15:Répartition des classes de la salinité des sols selon les normes DIAEA/DRHA/SEEN(2008)

Tableau16:Règles d'interprétation de CEC

Tableau17:Répartition des classes de ph des sols étudiés selon les normes DIAEA/DRHA/SEEN(2008)

Tableau18:Répartition de la qualité globale des eaux de surface pour le paramètre PH (Norme Ministère Energie, Mine Eaux et Environnement)

Tableau19:Risque de salinité des eaux d'irrigation en fonction de la conductivité électrique

Tableau20:Grille d'appréciation de MES de l'eau de surface (Norme Ministère Energie,Mine Eaux et Environnement)

Tableau21:Grille d'évaluation de la qualité des eaux souterraines: salinité (Norme Ministère Energie ,Mine Eaux et Environnement)

Tableau22:Barème d'appréciation de la salinité de l'eau pour l'irrigation. (Normes directive FAO)

Tableau23:Classement des risques de sodicité des eaux selon le SAR

Tableau24:Classification des eaux selon leur pH (Normes de potabilité international)

Liste des images

Image 1 : PH mètre

Image 2 : Conductivimètre

Image 3 : Burette de dosage de Cl

Image 4 : Burette de dosage de HCO₃

Image 5 : Burette de dosage de la matière organique

Image 6: Spectrophotomètre à flamme

Liste des figures

- Figure 1 :** Situation géographique de la plaine du Haouz et réseau hydrographique
- Figure 2 :** Variations piézométriques dans le périmètre de la Tassaout amont
- Figure 3 :** Pluviométrie moyenne en mm (compagne agricole du 01/09au31/08)
- Figure 4 :** Les différents systèmes d'irrigation
- Figure 5 :** Répartition des superficies avec control de l'eau (1989)
- Figure 6 :** Origine de l'eau d'irrigation, maitrise totale /partielle (1989)
- Figure 7 :** Techniques d'irrigation, maitrise totale/partielle (1989)
- Figure 8 :** Cultures irriguées, maitrise totale/partielle (1990)
- Figure9:**Evolution des aménagements en grande hydraulique
- Figure 10 :** Répartition des superficies avec contrôle de l'eau en grande hydraulique et en petite et moyenne hydraulique
- Figure 11:** La situation des périmètres irrigués du Haouz (ORMVAH)
- Figure 12:** Présentation des pourcentages de trois systèmes d'irrigation après et avant le PNEEI. (ORMVAH 2008)
- Figure 13 :** périmètre irrigué par PNEEI
- Figure 14 :** La localisation des sous secteurs de la Tassaout amont dans la plaine du Haouz
- Figure15:**Précipitations moyennes mensuelles du sous secteur Skhirat
- Figure 16:** Température mensuelles, annuelles, maximales, moyennes et minimales du sous secteur Skhirat
- Figure17:**L'évapotranspiration annuelle dans le sous secteur Skhirat
- Figure 18 :** Illustration du secteur Tassaout Amont au nord de la nappe du Haouz
- Figure 19 :** Variation spatiale et temporelle du CEC du sol dans le sous secteur SKHIRAT

Figure 20 : Variation spatiale et temporelle de la stabilité structurale du sol dans le sous secteur SKHIRAT

Figure 21: Variation spatiale et temporelle du taux d'infiltration du sol dans le sous secteur SKHIRAT

Figure 22 : Variation spatiale et temporelle de la densité apparente du sol dans le sous secteur SKHIRAT

Figure 23 : Variation spatiale et temporelle u sol dans le sous secteur SKHIRAT

Figure 24 : Variation spatiale et temporelle la CE du sol dans le sous secteur SKHIRAT

Figure 25 : Variation spatiale et temporelle du pH du le sol dans le sous secteur SKHIRAT

Figure26:Evolution du potentiel (pH) dans le sous secteur SKHIRAT

Figure27:Evolution de la conductivité électrique dans le sous secteur SKHIRAT

Figure28:Evolution du SAR dans le sous secteur SKHIRAT

Figure29: Evolution du MES dans le sous secteur SKHIRAT

Figure30:Evolution d'orthophosphate dans le sous secteur SKHIRAT

Figur31:Evolution de la conductivité électrique dans le sous secteur SKHIRAT durant la campagne agricole 2017/2018

Figure32:Evolution du SAR dans le sous secteur SKHIRAT durant la campagne agricole 2017/2018

Figure33: Evolution du pH dans le sous secteur SKHIRAT durant la campagne agricole 2017/2018

Figure34: Evolution des nitrates dans le sous secteur SKHIRAT durant la campagne agricole 2017/2018

Figure35:Evolution de la teneur en cation des eaux souterraines de la zone Skhirat

Figure 36 : Diagramme de *Riverside*, d'après *US Salinity Laboratory Staff* (1954)

Remerciement

Dans le cadre de ce travail, on présente notre gratitude éternelle et nos sincères remerciements en premier lieu à nos chers parents pour leur soutien et encouragement infinis. Et à leurs sacrifices qu'ils ont consentis durant toutes nos années d'études.

Nous voudrions remercier du fond du cœur toutes celles et ceux qui ont bien voulu apporter leur contribution à la réalisation de ce travail et particulièrement:

Notre encadrant Professeur REDDAD Aicha, pour sa serviabilité, sa modestie, pour son soutien et ses conseils.

Nos professeurs du département des Sciences de la terre de la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech, et aux membres du jury qui ont accepté de juger notre travail, Ainsi tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Nos sincères remerciements sont adressés aussi à toute l'équipe de l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Haouz, En particulier notre encadrant M. Mouhsine ESSHAIMI pour son accueil chaleureux, sa présence, et son encouragement et M. El houssaine AALIANE pour son soutien et conseils au sein du Laboratoire pédologique d'ORMVAH.

Nous n'oublions pas nos amis pour leur soutien et leur encouragement.

A tous merci.

Table des matières

Résumé	1
Introduction générale	2
Chapitre I : Cadre général	4
I. Présentation de l'office régional de la mise en valeur agricole de Haouz	4
1. Présentation de l'ORMVAH.....	5
2. Définition et objectifs de l'ORMVAH	5
3. Organisation de l'ORMVAH	5
II. Zone d'action	7
1. Localisation géographique	7
2. climat de la zone d'étude.....	8
3. Ressources en terres	9
4. Ressources en eau d'irrigation	9
Chapitre II : L'irrigation au Maroc.....	11
I. Généralités sur l'irrigation	12
II. Systèmes et techniques d'irrigation au Maroc	12
III. Irrigation localisée	13
IV. Périmètres d'irrigation au Maroc.....	15
V. Aménagement en petite et moyenne hydraulique.....	17
VI. Périmètres irrigués de l'ORMVAH	19
VII. Projet de la reconversion à l'irrigation localisée	21
1. But et objectif	22
2. Les avantages.....	22
3. Périmètres irrigués concernés par le projet	23
4. Les risques du programme	24
VIII. Campagne agricole 2017/2018	25
Chapitre III : Caractéristiques de la zone d'étude « SKHIRAT »	27
I. Situation de Tassaout Amont	28
II. Présentation du système d'alimentation et d'adduction du périmètre de la Tassaout Amont..	29
III. Présentation du sous secteur : SKHIRAT	30
1. Climat	30
2. Les ressources en eau	33
Chapitre IV : Méthodologie de travail.....	34
I. Prélèvements des échantillons.....	35
1. Techniques d'échantillonnage du sol	35
2. Technique d'échantillonnage des eaux	37
II. Paramètres à analyser.....	39

1. Prétraitement.....	39
2. Méthodes d'analyses des eaux.....	40
3. Méthodes d'analyses des sols.....	43
Chapitre V : Résultats des analyses du secteur de SKHIRAT	45
I. Analyse des paramètres du sol.....	46
II. Analyse des paramètres des eaux de surface	49
III. Analyse des paramètres des eaux souterraines	52
Chapitre VI : Interprétation des résultats	55
I. Analyse des sols.....	56
1. Matière organique (MO)	56
2. Stabilité structurale	57
3. conductivité électrique (CE)	58
4. Capacité d'échange cationique (CEC)	58
5. Potentiel d'hydrogène pH.....	59
II. Analyse des eaux de surfaces.....	59
1. Le potentiel hydrogène (pH)	59
2. La conductivité électrique (CE)	60
3. Le rapport d'adsorption du sodium (SAR)	60
4. La matière en suspension	61
5. Orthophosphate.....	61
III. Analyse des eaux souterraines	62
1. La conductivité électrique (CE)	62
2. Le rapport d'absorption du sodium (SAR)	62
3. Le potentiel d'hydrogène (pH)	63
4. Les nitrates.....	63
5. Les cations	63
Conclusion	64
Référence	65

Résumé

Le périmètre d'irrigation de l'ORMVAH « Tassaout Amont » au secteur SKHIRAT fait partie des périmètres ciblés par le programme national de reconversion de l'irrigation gravitaire à l'irrigation localisée « goutte-à-goutte ». Le plan Maroc vert et le PNEEI ont élaboré un cadre stratégique pour ce passage en offrant des conditions favorables.

L'existence de ce cadre facilite grandement la mise en œuvre de ses principes et modalités au niveau local même si cela implique un apprentissage pour ceux qui vont réaliser les actions sur le terrain et avant tout pour les irrigants eux-mêmes.

Ce passage nécessite un diagnostic global en différents niveaux qui permet de planifier correctement les actions requises de ce dernier.

Les enquêtes menées sur le terrain sont indispensables pour identifier les principales contraintes naturelles, agronomiques, techniques et socio-économiques qui entravent l'économie et la valorisation de l'eau. Ces enquêtes couvrent différents aspects qui sont la disponibilité de l'eau, la qualité du sol et de l'eau.

Cette reconversion à l'irrigation localisée paraît parfaite puisqu'elle va permettre de régler la salinité qui est un peu légère dans les eaux souterraines du secteur de notre étude en assurant la remontée de la nappe et la régulation d'un certain nombre de problèmes tels que :

- La réduction de la perte en eau par évaporation et infiltration
- La réduction de la consommation des fertilisants et de la pollution des nappes
- La maîtrise de la distribution de l'eau

Introduction générale

Introduction

Si la rareté des ressources en eau ou leur limitation est une caractéristique intrinsèque du climat du Maroc, ce phénomène semble connaître une certaine accentuation au cours des dernières décennies. En effet, ces sécheresses sont devenues plus fréquentes au point que leurs effets sur le volume des précipitations, des ruissellements et sur le potentiel mobilisable devient de plus en plus sensible. Cette dernière provoque la diminution du potentiel en eau de surface, la baisse des niveaux des nappes, l'augmentation incessante de la demande en eau potable et agricole à cause de la croissance démographique et les impératifs d'amélioration de la productivité des périmètres irrigués.

Face à ces problèmes la rationalisation de l'utilisation de l'eau d'irrigation est devenue impérative, dans ce contexte le département de l'agriculture a élaboré une stratégie pour l'économie d'eau et sa valorisation en agriculture irriguée. Cette stratégie considère l'amélioration du revenu agricole comme une condition nécessaire pour sa réussite. Elle se base sur l'amélioration du service de l'eau d'irrigation, le renforcement et l'adaptation du système de financement et d'incitation à l'économie de l'eau, l'amélioration de l'aval agricole sous tous ces aspects (organisation, partenariat, contrat de culture ,etc.) et le développement d'un conseil de proximité en matière de conception des systèmes d'irrigation économes d'eau et d'appui à l'amélioration de la productivité.

Pour cela, le Programme National d'Economie d'Eau en Irrigation (PNEEI) s'inscrit dans les mesures transverses du Plan Maroc Vert. C'est un programme très ambitieux qui consiste en la conversion en irrigation localisée de 80 600 ha dans la région de Marrakech – Safi et constitue l'ossature principale du plan d'action transverses du Plan Agricole Régional.

Il consiste d'une part en le développement accéléré d'une agriculture moderne et compétitive à haute valeur ajoutée, et d'autre part en la valorisation des eaux d'irrigation pour la gestion durable des ressources en eau.

Objectif et méthodologie du travail

Notre étude intéresse le sous secteur Skhirat de la plaine du Haouz où l'irrigation est gérée conjointement par trois associations d'agriculteurs et le centre local de l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Haouz (ORMVAH). Au début de chaque saison agricole, ces derniers décident du nombre de tours d'eau et des quantités d'eaux attribuées pour l'irrigation des cultures. Ces quantités dépendent essentiellement de la dotation annuelle accordée et négociée avec l'Agence du Bassin Hydraulique (ABH). La situation se complique si on considère l'hétérogénéité spatiale des dates de semis, la variété et la quantité d'azote utilisée. En effet, une bonne planification de l'eau d'irrigation pourrait éviter à la fois une irrigation excessive, et par conséquent le stress hydrique des cultures.

L'objectif de notre stage est l'étude de la campagne agricole **2017/2018 : au niveau de la région du Haouz** à l'aide des données reçus de l'ORMVAH. Cette étude se devise d'une part en l'analyse globale de la situation référentielle annuelle de cette zone, et d'autre part en l'étude globale de variation des paramètres physico-chimiques des sols durant les campagnes de prélèvement réalisées durant la première et la deuxième campagne (Hiver 2017 et Eté 2018).

Les résultats obtenus dans ce mémoire sont issus des analyses physico-chimiques effectuées au niveau du laboratoire de l'ORMVAH au cours de notre stage.

Ces analyses, qui concernent l'étude physico-chimique du sol (la salinité, la matière organique,...) et de l'eau (le taux d'absorption du sodium, le bilan ionique...), vont être comparées avec des normes de la qualité d'eau d'irrigation afin d'identifier l'état d'irrigation dans le sous secteur SKHIRAT.

Chapitre I : Cadre général

I. Présentation de l'office régional de la mise en valeur agricole de Haouz

1. Définition et objectifs de l'ORMVAH

Un établissement public de développement agricole de la plaine du Haouz, Créé par le décret royal n° 831-66 du 22 Octobre 1966, 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.

Il a pour objectif de :

- Etudier et exécuter les aménagements Hydro Agricoles
- La réalisation des études et exécution des équipements hydro-agricoles et de mise en valeur agricole.
- La promotion de la femme rurale en tant qu'acteur de développement rural.
- La gestion des équipements hydro agricoles et des ressources en eau à usage agricole.
- La vulgarisation des techniques culturales et formation professionnelle.
- Développement de la production végétale et animale.
- La promotion de l'agro-industrie.

2. Organisation de l'ORMVAH

- **Les services techniques**

S.E.Q : Service d'équipement

- Présentation des cahiers de charge pour la passation des marchés d'équipement et de la réhabilitation
- Réception contradictoire des études techniques d'aménagement
- Contrôle des travaux et réception des ouvrages et des travaux effectués

S.G.R.I.D : Service de la Gestion du Réseau d'Irrigation de Drainage

- Exécution du programme d'irrigation élaboré dans le cadre prévisionnel (distribution et maintenance)
- Instruction des requêtes du réseau émanant des irriguant et polices des eaux et l'application des mesures de polices des eaux.

S.E.L : Service d'Élevage

- Organisation et exécution des programmes de lutte contre les maladies contagieuses et parasitaires au cheptel
- Application des mesures de polices sanitaires et vétérinaires.

S.V.O.P : Service de la Vulgarisation et de l'Organisation Professionnelle

- Conseiller les agriculteurs, et les former pour les techniques indiquées dans la conduite de leurs exploitations.
- Organiser les agriculteurs professionnellement en associations ou en coopératives d'une manière audio-visuelles avec des moyens de sensibilisation (visite, voyage, séminaires, foires, ...)

S.P.A : Service de Production Agricole

- Exécution et suivi évaluation des programmes d'action élaborés dans le cadre prévisionnel en matière de production agricole
- Réalisation des études Agro-Economiques.

- **Les services administratifs**

S.M : Service de Matériel

- IL est charge de l'approvisionnement des services en matériel et fournitures.
- tenir la comptabilité matérielle et de réaliser les travaux d'entretien des immeubles et de matériel en liaison avec le SAF. Il gère le parc de matériel agricole et des véhicules de service

Le S.P.P : Service de la Planification et de Programmation

- formuler et évaluer les objectifs à moyen et long terme de l'action de l'Office et la stratégie de son intervention
 - élaboration des programmes et des budgets et ce en assurant le suivi et le contrôle de leur exécution.
- **Le service administratif et financier**
 - Préparation des éléments permette d'assurer la paie du personnel
 - Gestion des affaires juridiques de l'office.
 - Évaluation des besoins des divers services en personnel.

2. Le climat de la zone d'étude

Sur l'ensemble le climat est continental et du type semi-aride, caractérisé par une pluviométrie et une hygrométrie faible (Fig 2), une forte évaporation et des températures moyennes élevées aux écarts mensuels et journaliers importants.

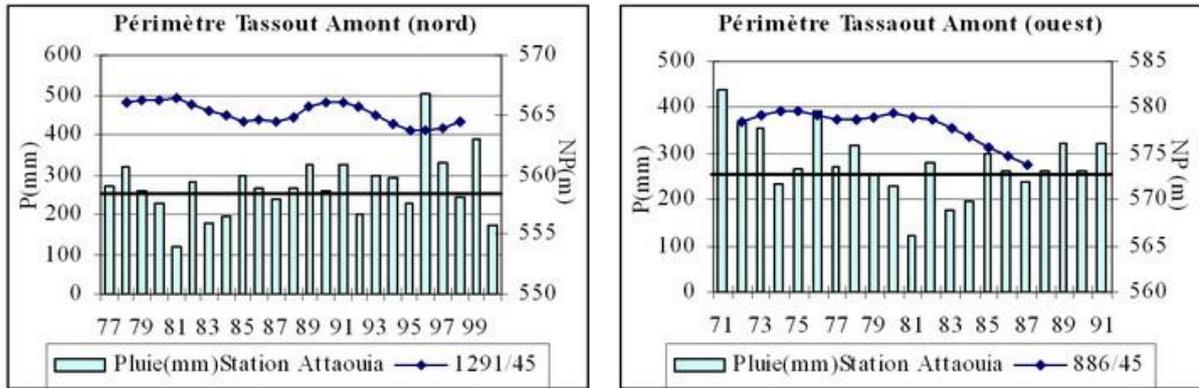


Figure 2:Variation piézométrique dans le périmètre de la Tassaout amont (2005)
www.researchgate.net

Les précipitations dans la zone d'action de l'Office du Haouz sont faibles et caractérisées par une grande variabilité spatio-temporelle. La pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 240 mm à Marrakech et peut atteindre 800 mm sur les sommets de l'Atlas. L'examen de la répartition moyenne des pluies mensuelles montre également l'existence de deux saisons nettement différenciées (Fig 3) :

- D'Octobre à Avril, une saison humide où interviennent la quasi-totalité des épisodes pluvieux, soit près de 80 à 93 % de la pluviométrie annuelle.
- De Mai à Septembre, une saison sèche avec seulement 7 à 17 % de la pluviométrie annuelle.

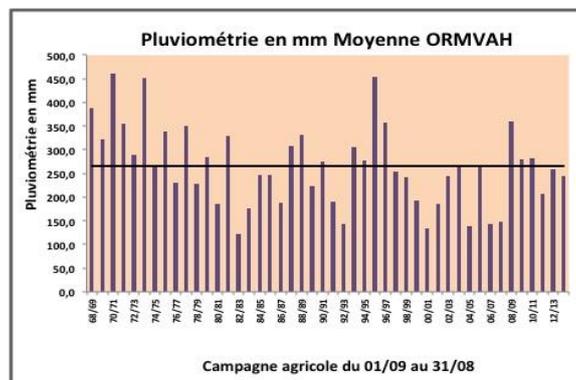


Figure 3:Pluviométrie moyenne en mm (campagne agricole du 01/09au31/08) (2005)
www.researchgate.net

3. Ressources en terres

- Superficie agricole utile = 473.000 Ha

-> Irriguée = 273.000 Ha dont

- Grande hydraulique = 144.600 Ha
- Petite et moyenne hydraulique = 128.400 Ha

-> Bour = 200.000 Ha

- Forêt = 23.200 Ha
- Parcours = 103.700 Ha

4. Ressources en eau d'irrigation

- Les eaux superficielles

Tableau 1: Répartition des eaux superficielles dans le secteur de l'Haouz (ORMVAH)

Périmètre	Superficie (ha)	Dotation Mm ³	Origine	Dotation m ³ /ha
Tassaout Amont	52.000	250	Barrage My Youssef	Secteur moderne : 6000 Secteur Réalimenté : 3000
Tassaout Aval	44.000	280	- Barrage My Youssef : 10 Mm ³ - Barrage Hassan 1er sidi Driss : 20 Mm ³ - Barrage Bin El Ouidane : 235 Mm ³ - Retour à oued (seuil Boualja) : 15 Mm ³	Planté: 7900 Nu : 4900
Haouz central	48.600	338	- Barrage Hassan 1er sidi Driss : 256 Mm ³ - Barrage Lalla Takerkoust : 82 Mm ³	6000 à 8000
TOTAL	144.600	868		

Le réseau hydrographique du Haouz, (Tab.1), 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.

- **Les eaux souterraines**

Tableau 2: Répartition des eaux souterraine dans le périmètre de l'Haouz (ORMVAH)

Haouz central	205 millions m³
Tassaout	65 millions m³
Total	270 millions m³

Le volume mobilisable annuellement à partir de la nappe phréatique (Tab.2) est de 238 Millions de m³. Ces ressources hydrauliques malgré leur abondance restent toutefois au dessous des besoins nécessaires pour satisfaire la demande en eau des cultures sur l'ensemble des terres cultivables.

CHAPITRE II

L'irrigation au Maroc

I. Généralités sur l'irrigation

L'irrigation est l'application de quantités contrôlées d'eau sur les plantes aux intervalles nécessaires. L'irrigation aide à faire pousser des cultures, à maintenir les paysages et à revégétaliser les sols perturbés dans les zones sèches et pendant les périodes de précipitations insuffisantes. L'irrigation a également d'autres utilisations en production végétale, notamment la protection contre le gel, pour empêcher la croissance des mauvaises herbes dans les champs de céréales et pour prévenir la consolidation du sol. En revanche, une agriculture reposant uniquement sur les précipitations directes est appelée agriculture pluviale ou sèche.

- Les systèmes d'irrigation sont également utilisés pour refroidir le bétail, éliminer la poussière, évacuer les eaux usées et dans les mines. L'irrigation est souvent étudiée en même temps que le drainage, qui consiste à éliminer les eaux de surface et les eaux souterraines d'une zone donnée.

II. Systèmes et techniques d'irrigation au Maroc

La meilleure utilisation de l'eau d'irrigation se reflète dans l'approche stratégique du ministère de l'agriculture et les principales recherches objectives des institutions travaillant sur gestion durable de l'irrigation. En relation les programmes de recherche peuvent être résumés comme suit:

- les besoins en eau des cultures
- techniques d'irrigation, en particulier de irrigation surface.
- calendrier d'irrigation
- la qualité du sol et de l'eau, affectée par irrigation et drainage.

Les systèmes d'irrigation qu'on trouve au Maroc sont indiqués dans la figure suivante (Fig.4)

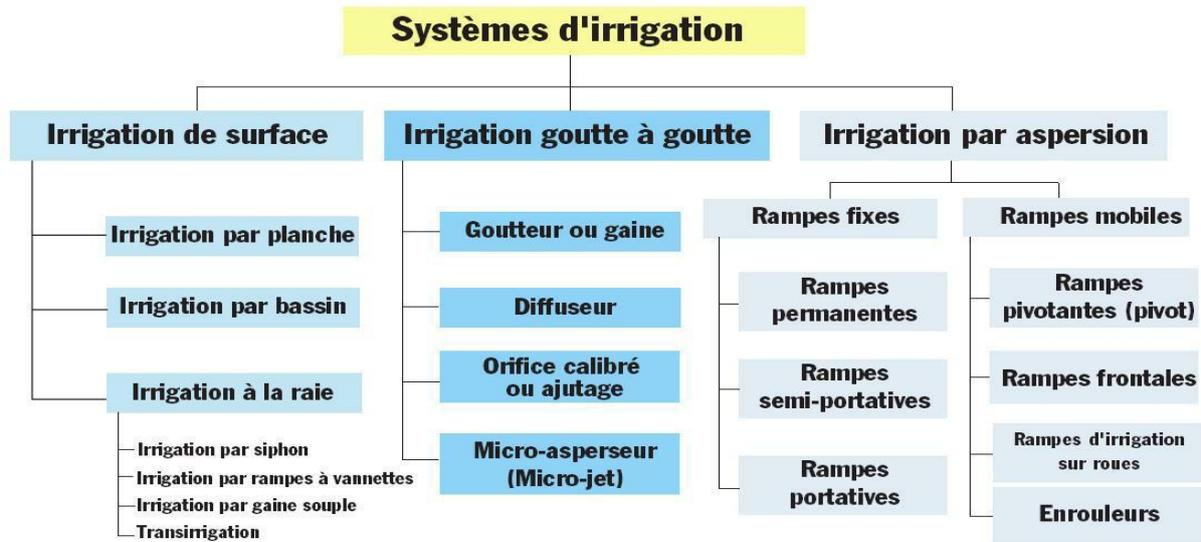


Figure 4: Les différents systèmes d'irrigation (www.agriculturalsystem.net)

III. Irrigation localisée (goutte-à-goutte)

Irrigation localisée également appelée micro-irrigation, irrigation à faible volume, irrigation à faible débit ou irrigation par ruissellement est une méthode d'irrigation avec une pression et un débit plus faible que ceux d'un système de gicleurs traditionnel. Cette irrigation permet d'une part la minimisation de l'évaporation de l'eau et d'autre part l'économie d'eau et des nutriments.

L'objectif est de placer de l'eau directement dans la zone racinaire en permettant à celui-ci de s'écouler lentement au niveau des racines par un réseau de distribution (vannes, tuyaux, tubes...) installé à la surface du sol ou légèrement sous la surface.

A la base de la recherche bibliographique on a résumé les avantages et les inconvénients dans le tableau suivant (tableau 3)

Tableau 3 : Les avantages et les inconvénients de l'irrigation goutte-à-goutte

Les avantages de l'irrigation goutte-à-goutte	Les inconvénients de l'irrigation goutte-à-goutte
<ul style="list-style-type: none"> • La perte d'engrais et de nutriments est minimisée grâce à une application localisée et à une lixiviation réduite. • L'efficacité d'application de l'eau est élevée si elle est gérée correctement. • La mise à niveau sur le terrain n'est pas nécessaire. • Les champs avec des formes irrégulières sont facilement adaptés. • De l'eau non potable recyclée peut être utilisée en toute sécurité. • L'humidité dans la zone racinaire peut être maintenue à la capacité du terrain. • Le type de sol joue un rôle moins important dans la fréquence d'irrigation. • L'érosion des sols est réduite. • La croissance des mauvaises herbes est réduit • Généralement utilisé à une pression inférieure à celle des autres types d'irrigation sous pression, ce qui réduit les coûts énergétiques 	<ul style="list-style-type: none"> • Le soleil peut affecter les tubes utilisés pour l'irrigation goutte à goutte et raccourcir leur durée de vie. • Les risques de dégradation du plastique affectant le contenu du sol et les cultures vivrières. • Si l'eau n'est pas correctement filtrée et que l'équipement n'est pas entretenu correctement, cela peut entraîner un encrassement ou un encrassement biologique. • En cas d'égouttement souterrain, l'irrigateur ne peut pas voir l'eau appliquée. Cela peut amener l'agriculteur à appliquer trop d'eau (efficacité réduite) ou une quantité d'eau insuffisante, ce qui est particulièrement fréquent chez les personnes moins expérimentées en irrigation goutte à goutte.

IV. Périmètres d'irrigation au Maroc

L'irrigation est un secteur stratégique au Maroc. Les superficies avec contrôle de l'eau, soit 1,26 million d'hectares environ, ne représentent que 17% des superficies cultivées, mais 76% du potentiel d'irrigation. La superficie d'irrigation par épandage de crues s'élève à 165 000 ha, le reste étant des périmètres en maîtrise totale/partielle (figure 5), dont deux tiers environ sont irrigués par des eaux de surface (figure 6).

La technique d'irrigation est surtout l'irrigation de surface (figure 7), l'irrigation par aspersion n'étant pratiquée que dans certains aménagements en grande hydraulique. Les principales cultures irriguées sont les céréales (figure8).

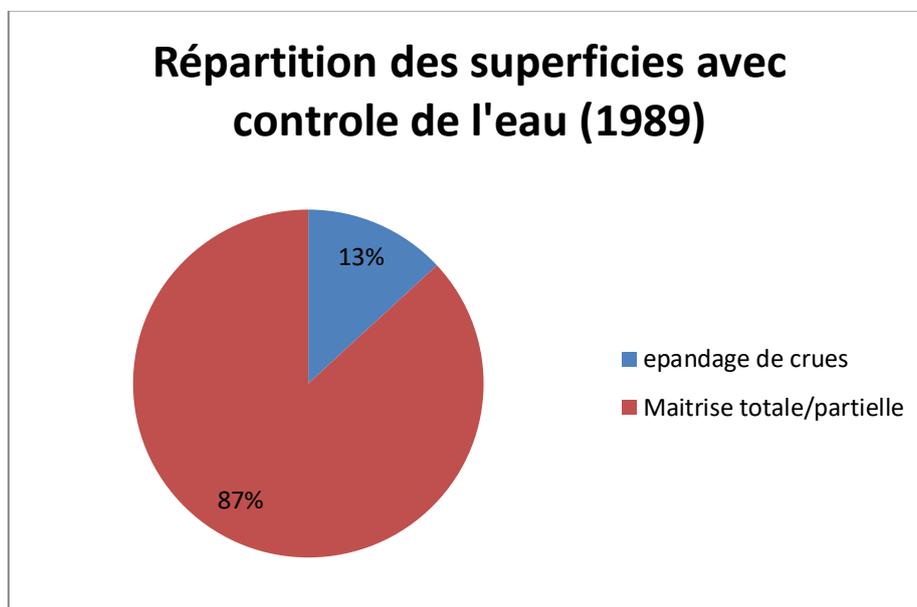


Figure 5 : Répartition des superficies avec contrôle de l'eau (1989)(Food and Agriculture Organization of the United Nations)

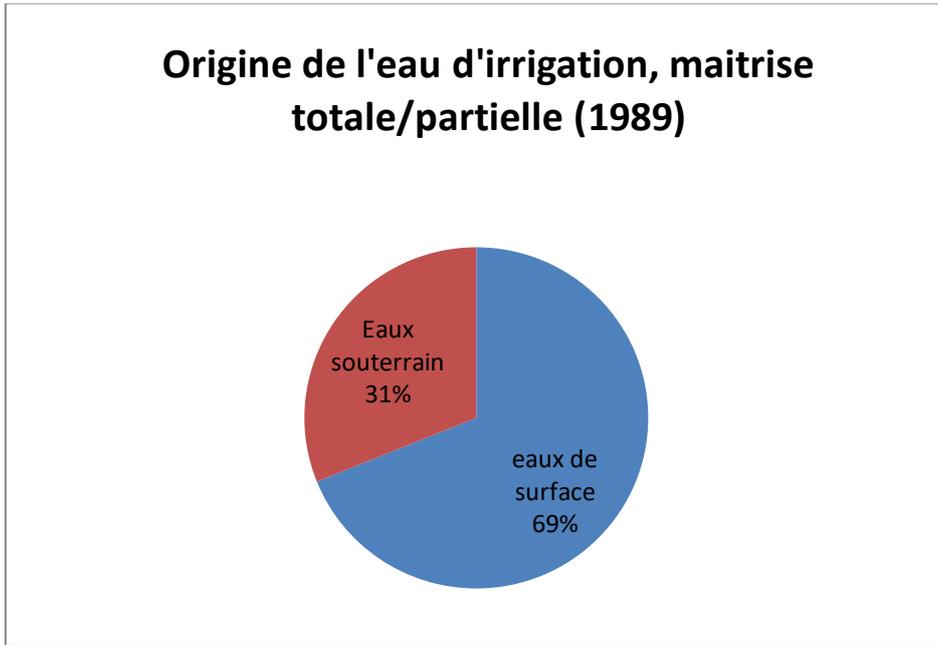


Figure 6 : Origine de l'eau d'irrigation, maitrise totale /partielle (1989) (Food and Agriculture Organization of the United Nations)

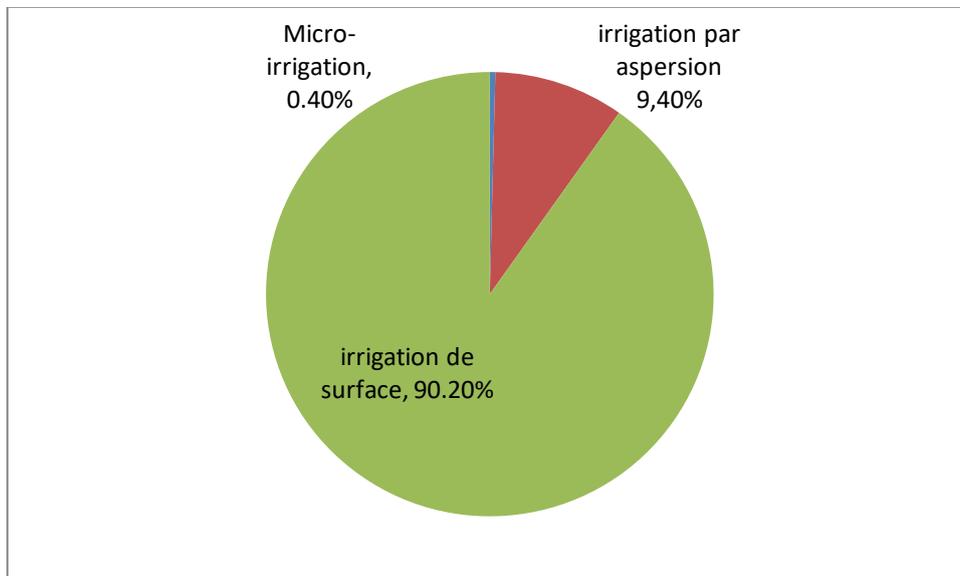


Figure 7 : Techniques d'irrigation, maitrise totale/partielle (1989) (Food and Agriculture Organization of the United Nations)

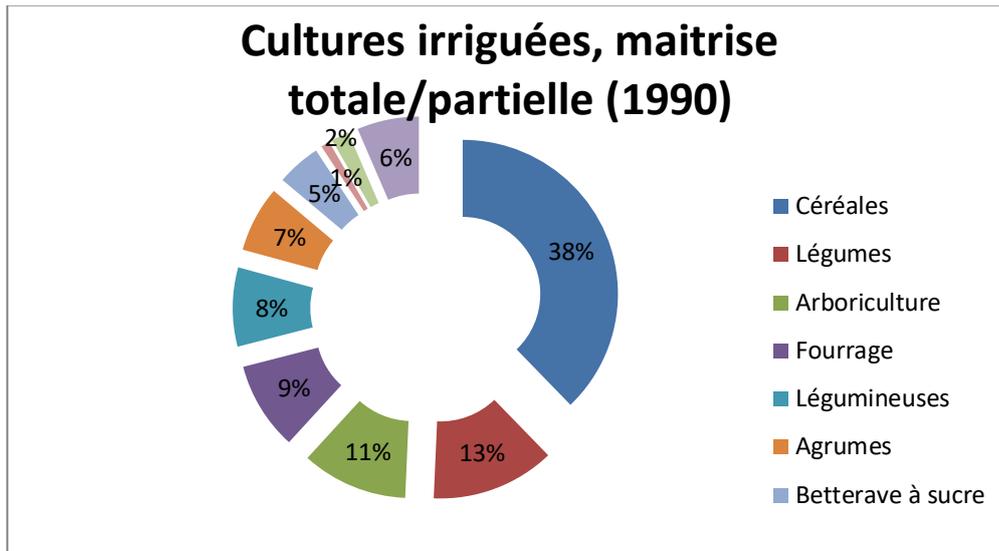


Figure 8: Cultures irriguées, maîtrise totale/partielle (1990) (Food and Agriculture Organization of the United Nations)

V. Aménagement en petite et moyenne hydraulique

La grande hydraulique

Dès les années 60, l'accent a été mis sur la construction de barrages et les aménagements en grande hydraulique, comme le montre la (figure 9). Ces périmètres de grande hydraulique (pour des surfaces supérieures à 30 000 ha) sont gérés de manière décentralisée par les ORMVA, au nombre de neuf, couvrant une superficie totale de 431 650 ha en 1989 et 496 000 ha en 1993. L'aspersion n'est utilisée que sur 23,5% des surfaces irriguées dans les ORMVA.

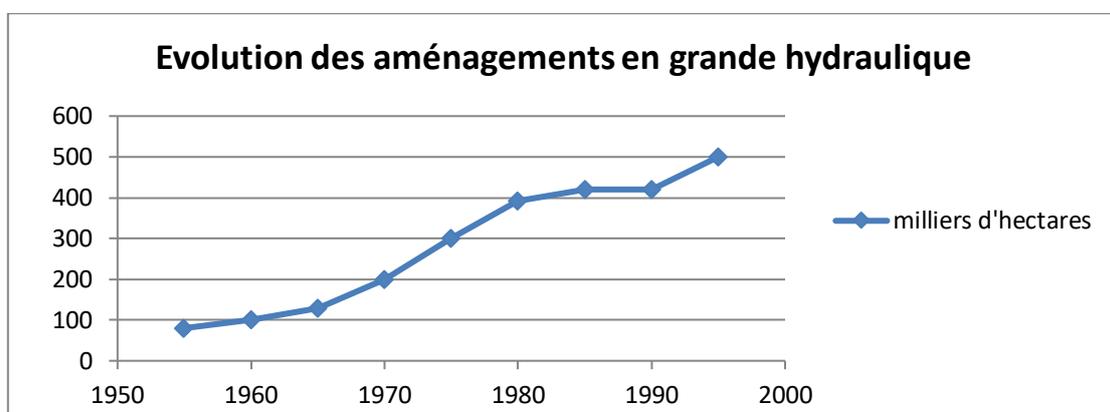


Figure 9 : Evolution des aménagements en grande hydraulique) (Food and Agriculture Organization of the United Nations)

La petite et moyenne hydraulique

Aux superficies de grande hydraulique décrites plus haut, il faut ajouter environ 826 550 ha en petite et moyenne hydraulique (l'irrigation par épandage de crues incluses), dont 416 550 dans les zones gérées par les ORMVA, et le reste en dehors (figure 10). Environ 397 000 ha de ces zones en petite et moyenne hydraulique sont irrigués par des eaux pérennes, 265 000 ha le sont à partir d'eaux saisonnières et 165 000 ha par épandage des crues.

Les périmètres de montagne utilisent le plus souvent l'eau des sources et fonctionnent en distribution gravitaire.

Le principe de la distribution - tant en grande hydraulique qu'en petite et moyenne hydraulique - est le tour d'eau. L'unité de mesure la plus fréquente en gravitaire est constituée par une "main d'eau" correspondant à un débit de 30 l/s. Cette unité sert ainsi de base au dimensionnement des réseaux en grande hydraulique.

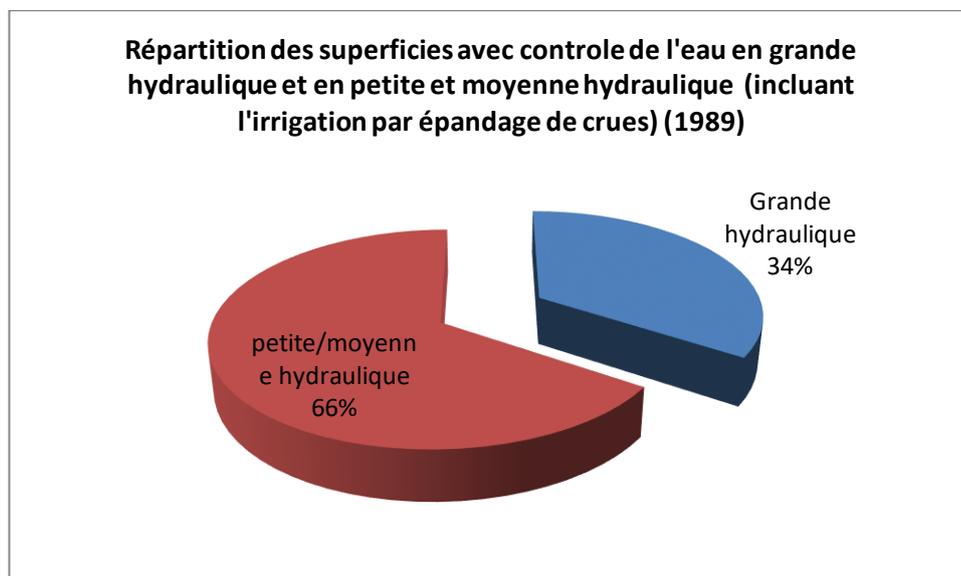


Figure10 : Répartition des superficies avec contrôle de l'eau en grande hydraulique et en petite et moyenne hydraulique) (Food and Agriculture Organization of the United Nations)

La superficie globale concernée par la PMH (petite et moyenne hydraulique) dans la zone d'action de l'ORMVAH est d'environ 128 400Ha.

L'intervention en matière d'aménagement en PMH dans la zone de l'ORMVAH, vise à améliorer l'efficacité de l'infrastructure d'irrigation traditionnelle par l'augmentation des prélèvements d'eau en tête et la réduction des déperditions lors de son transport dans les séguias, ce qui a un effet positif sur l'augmentation des disponibilités d'eau à la parcelle et par conséquent l'amélioration des revenus d'agriculteurs.

Les ressources en eau proviennent essentiellement de dérivation d'eau à partir des oueds, R'dat, Zat, Ourika, Rhéraya, N'Fis dans le bassin hydraulique du Tensift et des affluents de l'oued Tassaout, essentiellement l'Oued Lakder dans le bassin de l'Oum Erbiaa.

L'ORMVAH procède annuellement, dans sa zone d'action, dans les périmètres de PMH situés dans les provinces d'Elkélaa des Sraghnas, Al Haouz, Marrakech, Rehamna, à l'aménagement d'un linéaire non négligeable de séguias traditionnelles.

VI. Périmètres irrigués de l'ORMVAH

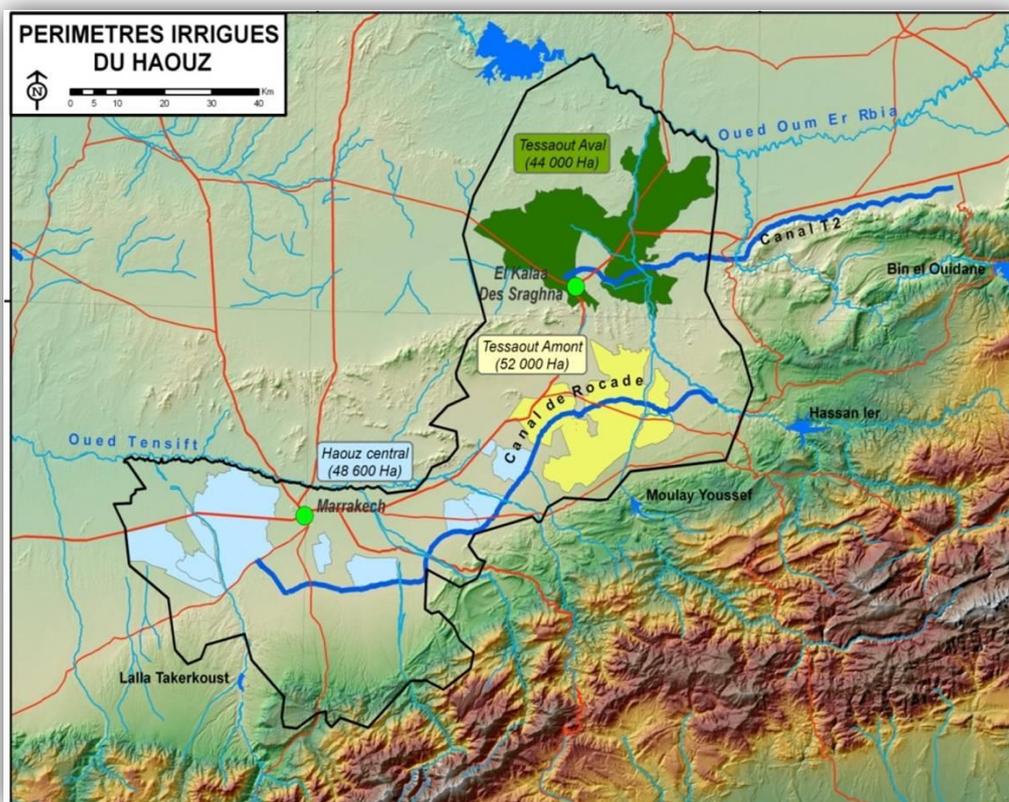


Figure 11 : La situation des périmètres irrigués du Haouz (ligne noire) (ORMVAH 2011)

Les périmètres irrigués du Haouz par l'ORMVAH (Fig.11) comprends : Haouz central, Tessaout amont, Tessaout aval.

Tassaout amont

Le périmètre de la Tassaout amont achevé en 1978, s'étend sur une superficie de 52 000 ha au Haouz oriental, dont 30 000 ha aménagés et 22 000 ha réalimentés à partir des eaux de crues. L'irrigation de ce périmètre est assurée par un volume d'eau de 260 Mm³ mobilisé à partir du barrage Moulay Youssef.

Il comprend 30 000 ha de secteurs équipés d'un aménagement intégral (canaux primaires, secondaires, tertiaires et quaternaires avec aménagement foncier), et 22 000 ha de secteurs réalimentés, et dont les adductions primaires ont été améliorées. Les eaux alimentant la Tassaout amont sont régularisées par le barrage de Moulay Youssef et le barrage de compensation de Timinoutine sur l'Oued Tassaout.

Tassaout aval

La Tassaout-aval couvre une superficie brute d'environ 70 000 ha. Elle est située entre la chaîne des Jbilets au Sud, L'Oum Errebia au Nord, L'oued El Abid à l'Est. Les terres situées à sa limite Ouest sont caractérisés par la salinité. La superficie irriguée est de 44.000 ha. Elle comporte deux unités hydrauliques distinctes : La zone située à l'amont du Canal T2 de 6.500 ha, bénéficiant des eaux des oueds Lakhdar et Tassaout régularisées par les barrages Hassan 1er et Moulay Youssef (46 Mm³ / an), - La zone située à l'Aval du Canal T2 de 37.500 ha, alimentée par le Canal T2 à partir des eaux de Bin El Ouidane (235 Mm³/an). Le canal T2 a une longueur de 90 km et il est dimensionné pour un débit en tête de 11 m³/s. L'équipement de ce périmètre s'est limité aux canaux primaires et secondaires. Le réseau de distribution en aval des prises ainsi que la trame foncière existantes ont été conservés.

Haouz central

On peut distinguer, dans le Haouz central :

- Les périmètres du N'Fis, en rive gauche et en rive droite.
- Les secteurs centraux.

Les secteurs centraux (20000 ha) sont alimentés par le canal de rocade à partir des eaux de l'oued Lakhdar (dotation annuelle brute 144 Mm³).

Son aménagement a été prévu en plusieurs étapes :

- La première tranche d'irrigation, représentant 50 000 ha à aménager, dont une partie (21 000 ha) est actuellement réalisée (N'fis rive droite).
- La seconde tranche d'irrigation prévoit, à plus long terme que 60 000 ha seront irrigués d'une part à partir de nouveaux barrages permettant de régulariser les eaux des Oueds centraux, et d'autre part, pour certains secteurs par pompage dans la nappe.

VII. Projet de la reconversion à l'irrigation localisée : PNEEI « Programme National d'Economie d'Eau en Irrigation »

Le Programme National d'Economie d'Eau en Irrigation (PNEEI) s'inscrit dans les mesures transverses du Plan Maroc Vert. Il vise en effet à atténuer la contrainte hydrique, considérée comme le principal facteur limitant à l'amélioration de la productivité agricole. Ce programme consiste en une conversion massive de l'irrigation de surface et par aspersion à l'irrigation localisée (figure 12), sur une superficie de près de 550.000 ha pendant une période de 10 ans soit un rythme d'équipement moyen de près de 55.000 ha/an.

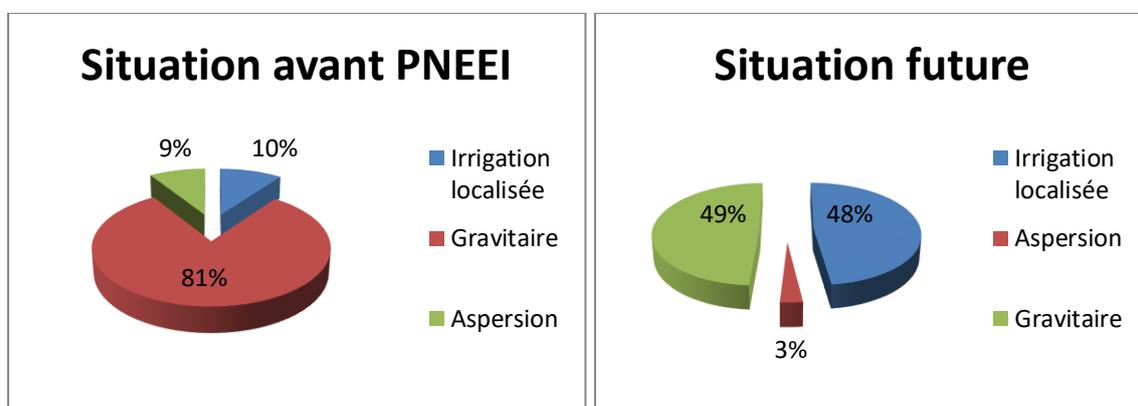


Figure 12 : Présentation des pourcentages de trois systèmes d'irrigation après et avant le PNEEI. (ORMVAH 2008)

Au niveau de la zone d'action de l'ORMVAH ce programme consiste à la conversion en irrigation localisée de 80 600 ha Dans la région de Marrakech –Safi et constitue l'ossature principale du plan d'action transverses du Plan Agricole Régional.

Les principales composantes de ce programme sont

- La modernisation des réseaux d'irrigation (en grande hydraulique)
- L'équipement des exploitations agricoles en irrigation localisée, moyennant les aides financières de l'Etat
- L'appui et l'accompagnement des agriculteurs pour la valorisation de l'eau :
 - ✚ Introduction des systèmes de cultures à haute valeur ajoutée
 - ✚ Agrégation
 - ✚ Recherche, développement, conseil....
 - ✚ Renforcement des capacités (agriculteurs, organisations professionnelles, services techniques...).

1. But et objectif

- Augmentation des revenus des agriculteurs
- Valorisation des eaux d'irrigation
- Gestion durables des ressources en eau
- Diversification, intensification et valorisation de la production agricole dans le cadre du développement des chaînes de production (Oliviers et maraîchage)

Le Programme National d'Economie d'Eau en Irrigation (PNEEI), vise la reconversion aux techniques d'irrigation économes d'eau (irrigation localisée sur une superficie de 550 000 Ha entre 2008 et 2012) d'environ 50% de la superficie totale aménagée au niveau national:

- ✚ 220 000 ha : reconversion collective
- ✚ 330 000 ha : reconversion individuelle

2. Les avantages

- Economie d'eau d'irrigation
- Augmentation de la couverture des besoins agricoles des eaux d'irrigations de 50% à 90%
- Augmentation de la valeur ajoutée de 12 000DH/HA à 25 000DH/HA

3. Périmètres irrigués concernés par le projet

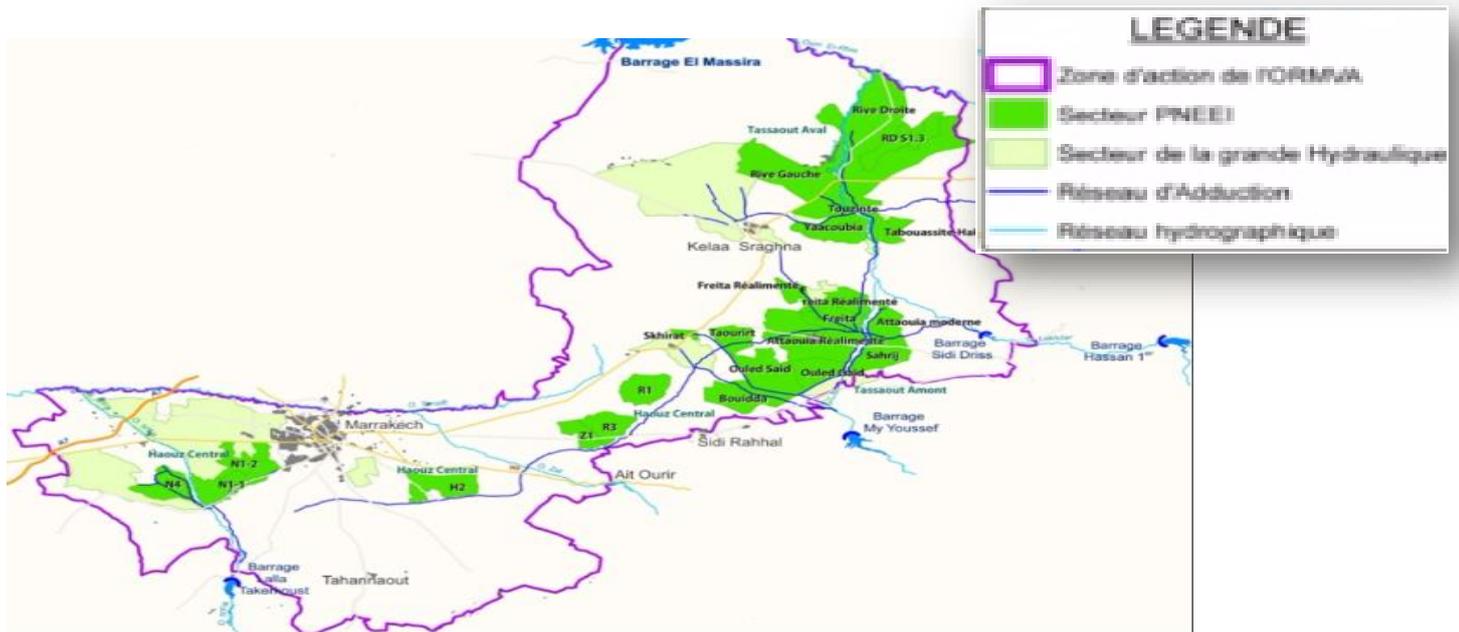


Figure 13 périmètres irrigués de la plaine du Haouz montrant la localisation des terrains (en vert) concernés par le PNEEI dans la zone d'action de l'ORMVAH par (ORMVAH 2011)

Au niveau de l'ORMVAH les secteurs concernés par la reconversion de l'irrigation localisée (Fig.13) (Tab.4) sont mentionnés comme suit:

Tableau 4: Les secteurs concernés par la reconversion à l'irrigation localisée (ORMVAH)

Tranche	Secteurs concernés	Superficie (Ha)
1	Ouled Gaid de la Tessaout Amont, RD-S1-3 de la Tessaout Aval et le N1-2 du Nfis.	10 000
2	Zone Amont T2 de la Tessaout Aval et Ouled Said, Taourirt, Skhirate de la Tessaout Amont.	10 453
3	Sahrij et Bouida de la Tessaout Amont, N1-1 du Nfis.	11 582
4	Freita et Attaouia de la Tessaout Amont, la rive gauche de la Tessaout Aval et le N4 du Nfis.	11 000
5	La rive droite de la Tessaout Aval, R1, R3, Z1 et H2 du Haouz central.	14 065

Composantes du projet

Composante 1 : Amélioration du service de l'eau : en vue d'assurer aux agriculteurs un service d'irrigation répondant aux exigences de l'irrigation localisée à travers la construction ou l'adaptation de réseaux de conduites sous pression et la fourniture de l'eau d'irrigation de manière adaptée aux exigences de l'irrigation localisée (à la demande avec quota annuel).

Composante 2 : Appui aux agriculteurs : en vue d'un meilleur accès aux technologies, au financement et aux marchés et d'une meilleure connaissance de leur nappe à travers des contrats de partenariat, le renforcement de leurs capacités techniques et de gestion et leur sensibilisation à une gestion durable leur nappe.

4. Les risques du programme

- Le problème de la fertigation pour les agriculteurs qui apportent les engrais tout en raisonnant comme dans le cas du gravitaire. L'apport des engrais doit être raisonné différemment dans le gravitaire et le localisée aussi bien en quantité qu'en types de produits.
- Les risques naturels sont causés par les apports d'eau de plus en plus réduits aux barrages.
- Les risques institutionnels pourraient provenir du manque de coordination et de concertation entre les différentes institutions de l'Etat, ainsi que la faiblesse des associations représentant les agriculteurs et les irrigants (AUEA).
- Les risques financiers proviendraient des agriculteurs qui n'arriveraient pas à suivre le rythme des financements exigés par le passage à l'agriculture très intensive et moderne comme c'est le cas en irrigation localisée.
- Les risques techniques concerneraient l'extension des superficies irrigués et l'accroissement de la consommation globale de l'eau.

VIII. Campagne agricole 2017/2018 : au niveau de la région du Haouz

Après une inquiétude concernant l'arrivée tardive des premières précipitations, la campagne agricole 2017-2018 s'est annoncée exceptionnelle et prometteuse à la faveur d'un cumul pluviométrique favorable observé entre Décembre 2017 et Avril 2018 dans plusieurs régions du Maroc dont la région du Haouz.

La campagne 2017-2018 a connu un déroulement favorable, voire exceptionnel, grâce à l'abondance, à la régularité et à la bonne répartition dans l'espace et dans le temps de la pluviométrie observée pendant la période Décembre-Avril, elle concerne particulièrement la culture des céréales comme le blé et l'orge.

Les résultats définitifs de la campagne céréalière 2017-2018 publiées par l'office Régional de la Mise en Valeur Agricole font état d'une récolte exceptionnelle de 103 millions de quintaux: 49,1 millions de quintaux de blé tendre ; 24,2 millions de quintaux de blé dur et 29,2 millions de quintaux d'orge, Une récolte qui dépasse de 7,3% les performances de la campagne précédente.

Cette performance pour la récolte 2017/18 résulte d'un rendement moyen record historique de 22,9 quintaux/hectare en augmentation de 27% par rapport à la campagne précédente et de 7% par rapport à l'année 2014-2015 ayant enregistré la production record de 115 millions de quintaux pour une superficie de 5,37 millions d'ha de céréales , ce rendement est supérieur de 21,5% par rapport à la moyenne des rendements de céréales pendant les bonnes saisons pluviométriques au cours des dix dernières années.

Une comparaison avec la moyenne des bonnes campagnes depuis 2008 a donné les résultats suivants (Tab.5) :

Tableau5:Variation de la production agricole dans la région du Haouz(ORMVAH)

	Blé Dur (Qx/Ha)	Blé Tendre (Qx/Ha)	Orge (Qx/Ha)
Campagne 2017/2018	24,29	25,89	18,24
Bonnes Campagnes	20,94	21,93	14,39
Variation	16%	18%	27%

Ce résultat témoigne de la percée et l'étendue des progrès techniques généralisés au niveau des exploitations agricoles céréalières après 10 années de mise en œuvre du PMV ainsi que les grandes capacités d'intervention développées pendant cette période chez les agriculteurs et la profession agricole. De plus De plus l'utilisation des intrants agricoles et leur disponibilité ainsi que l'utilisation de techniques et de technologies avancées ont permis la valorisation de la goutte de pluie et la protection sanitaire des champs.

Chapitre III

Caractéristiques de la zone d'étude « SKHIRAT »

I. Situation de Tassaout Amont

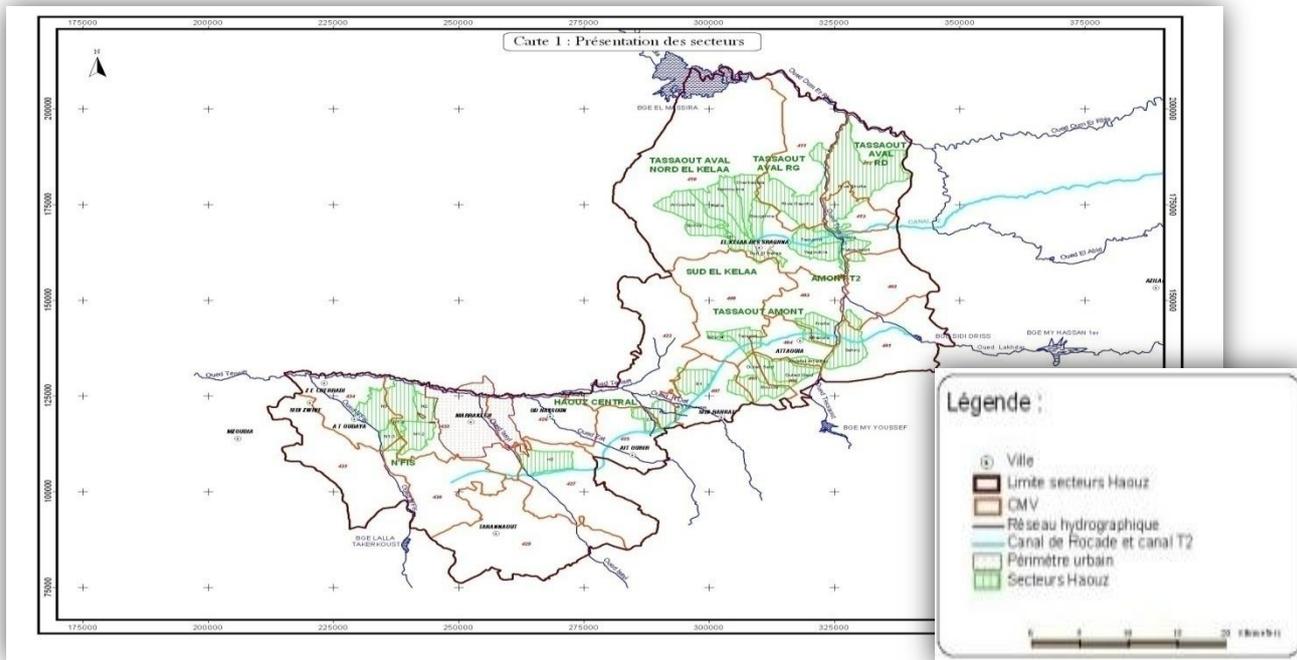


Figure 14: La localisation des sous secteurs de la Tassaout amont dans la plaine du Haouz (ORMMVAH, APS reconversion tassaout amont 2006)

Le périmètre de la Tassaout Amont (Fig.14) est situé à 70 Kilomètres à l’Est de Marrakech, à l’extrémité orientale de la plaine du Haouz. Il s’étend sur une zone délimitée au Nord par les Jbilet, au Sud par le piémont du Haut Atlas, à l’Est par l’Oued Lakhdar et à l’Ouest par la limite du bassin de l’Oued Tensift.

Le périmètre de mise en valeur de la Tassaout Amont s’étend sur une superficie de 52 000 ha, à une altitude de 570 à 740 m. Le périmètre est composé de deux sous secteurs distincts :

Tableau 6: Les secteurs composants le périmètre de tassaout amont(ORMVAH)

Les secteurs traditionnels	Les secteurs modernes
couvrent une superficie de 23 000 ha	équipés en système moderne; ils constituent le premier aménagement de grande hydraulique du Haouz et ont été mis en service entre 1970 et 1978. Ils couvrent une superficie de 29 000 ha.

A l'intérieur de ce périmètre ainsi délimité, il existe huit sous secteurs : Sahrij, Bouida, Oulad Said, Oulad Gaid, Attaouia, Skhirat, Taourirte et Freita. Les canevras d'irrigation principaux constituent les seules limites entre chacune de ces zones situées sur une unité paysagique homogène, seul le secteur Sahrij possède des limites plus naturelles, l'oued Tassaout à l'ouest et groupe calcaire à l'est.

Le sous secteur de notre étude (Skhirat) est consigné dans le tableau suivant (Tab.7) :

Tableau 7:Le type d'aménagement du secteur Skhirat (ORMVAH)

Sous secteur	Type d'aménagement	Date de mise en service
SKHIRAT	Gravitaire remembré	1975

C'est un ancien périmètre dont les terres ont toujours été irriguées d'une manière traditionnelle, à partir d'un canevras de trente séguias dérivées à partir d'Oued Tassaout.

II. Présentation du système d'alimentation et d'adduction du périmètre de la Tassaout Amont

La Tassaout Amont est alimentée par le barrage de Moulay Youssef et le barrage de compensation de Timinoutine sur la Tassaout. Les eaux sont lâchées de ce barrage à la demande et transitent dans le lit mineur de la Tassaout jusqu'au seuil d'Agadir Bou Achiba.

Le barrage d'Agadir Bou Achiba dérive des eaux qui transitent par une galerie de 4,25 Km de longueur et 17 m³/s de débit. Cette galerie débouche dans un ouvrage appelé « point K » constitué d'un bassin de dissipation équipé d'une vanne Amil et d'une batterie de modules à masques alimentant le canal Ouest d'un côté et le canal Est d'un autre.

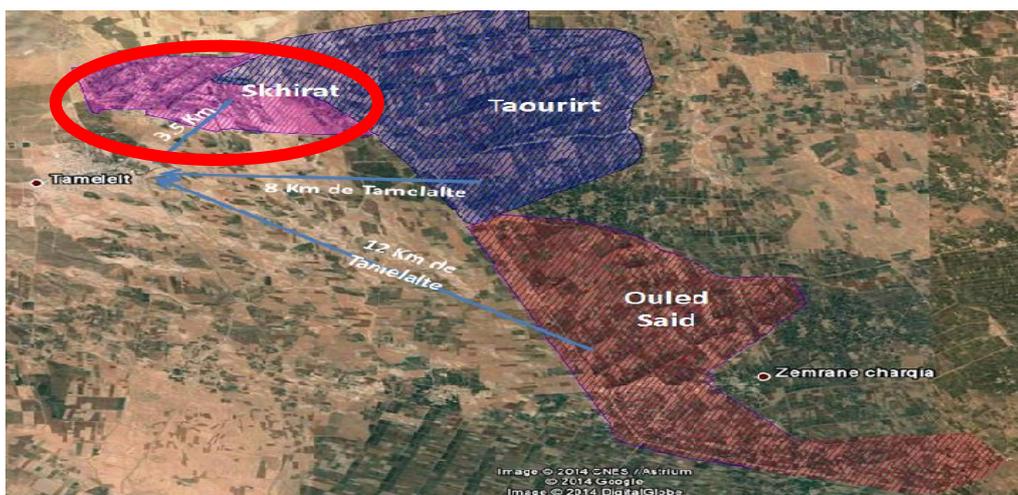
A l'aval du seuil de prise d'Agadir Bou Achiba, la totalité des ouvrages de transport et de distribution des canaux primaires et secondaires est constituée de canaux revêtus et/ou autoportés.

Tableau 8: Caractéristiques du réseau d'irrigation de la tassaout amont (ORMVAH)

Ouvrage	Débit d'équipement (m ³ /s)	Longueur (km)
Galerie	17	4.25
Canaux primaires	–	–
Ouest	8	22.2
Est	11	8.3
Oulad gaid	2	7
Rive gauche	4	9
Rive droite	4.5	11.9
Canaux secondaires	–	170

III. Présentation du sous secteur SKHIRAT

Situation de la zone d'étude (SKHIRAT)(ORMVAH)



Le sous secteurs de SKHIRAT se situe à la rive droite canal Ouest, il est découpé en unités selon le canal secondaire qui l'irrigue. Il a une superficie nette irriguée de 547 ha a été mis en eau en 1975, peut être reconvertie en système d'irrigation localisée pour profiter de la dénivelée offerte par le terrain naturel.

1. Climat

Les données météorologiques adoptées sont celles de la station Attaouia qui se situe à une distance d'environ 20km du périmètre, ces données concernent la période d'observation de 1999 à 2006.

Précipitation

Les précipitations annuelles sont de l'ordre de 270,5 mm. (Fig.15)

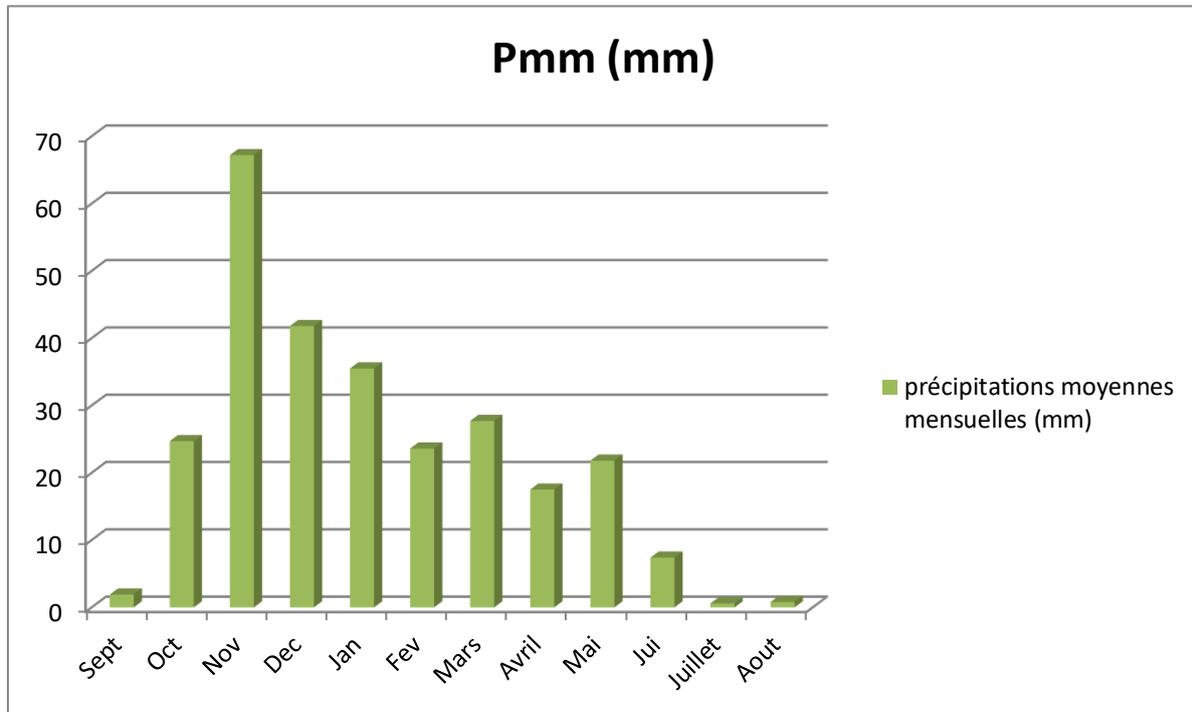


Figure15 :Précipitations moyennes mensuelles du sous secteur Skhirat (1999 à 2006)

Température

La température estivale est élevée avec un maximum de 35,56° C et avec des écarts journaliers et mensuels importants. (Fig.16)

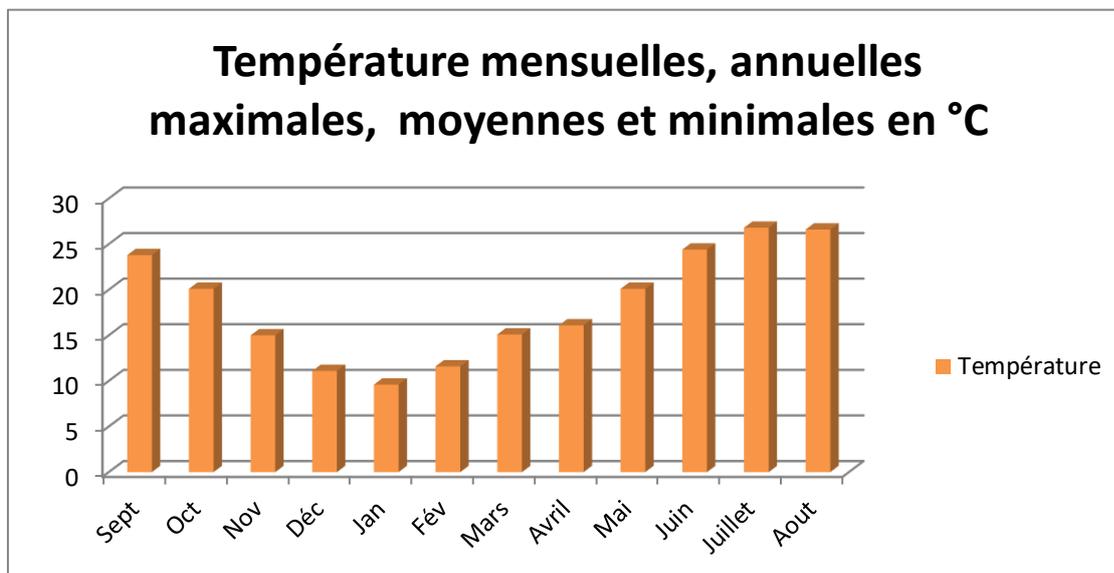


Figure 16: Température mensuelles, annuelles, maximales, moyennes et minimales du sous secteur Skhirat (1999 à 2006)

Evapotranspiration

Les valeurs de l'Evapotranspiration ET_0 , calculées par la formule de Blaney Criddle, sont données dans le diagramme suivant.(Fig.17)

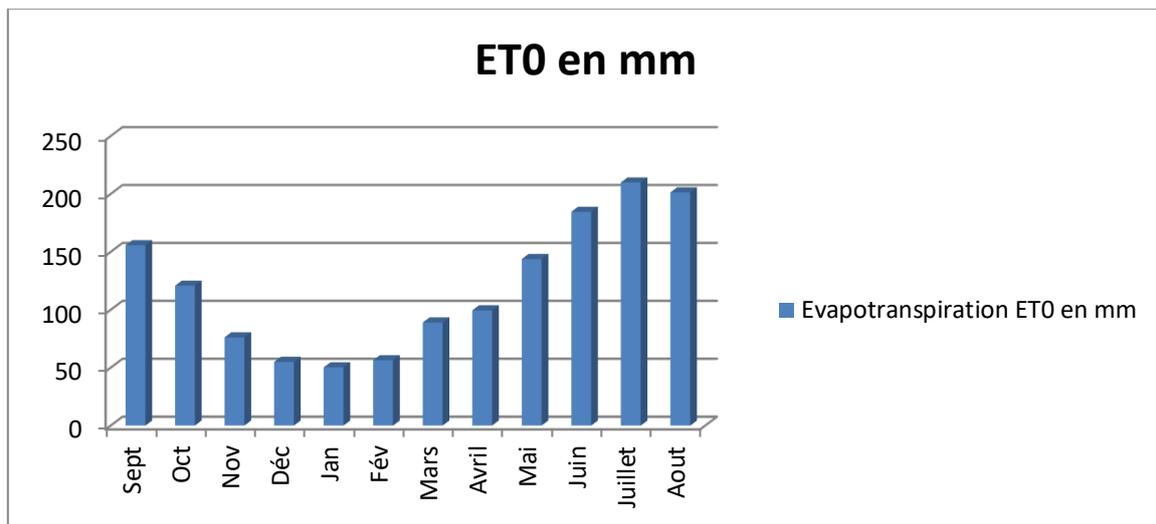


Figure17:L'évapotranspiration annuelle dans le sous secteur Skhirat (1999 à 2006)

L'équation de Blaney-Criddle est une méthode relativement simple pour calculer l'évapotranspiration.

L'équation calcule l'évapotranspiration pour une «culture de référence», qui est considérée comme une herbe verte en croissance active de 8–15 cm de hauteur.

$$\text{Equation : } ET_0 = p \cdot (0,457 \cdot T_{\text{moyen}} + 8.128)$$

Où:

ET_0 est l'évapotranspiration de référence [mm jour⁻¹] (mensuel)

T_{moyenne} est la température quotidienne moyenne [° C] exprimée en $T_{\text{moyenne}} = (T_{\text{max}} + T_{\text{min}}) / 2$

p est le pourcentage moyen quotidien des heures de journée annuelles

2. Les ressources en eau

Ressources en eau de surface

Les eaux alimentant la Tassaout Amont sont régularisées par le barrage de Moulay Youssef et le barrage de compensation de Timinoutine sur la Tassaout. Les eaux sont lâchées de ce barrage à la demande et transitent dans le lit mineur de La Tassaout jusqu'au seuil d'Agadir Bou Achiba. Les eaux dérivées par le barrage d'Agadir Bou Achiba transitent par une galerie de 4,25 Km de longueur et 17 m³/s de débit. Cette galerie débouche dans un ouvrage appelé « point K ».

Ressources en eau souterraines

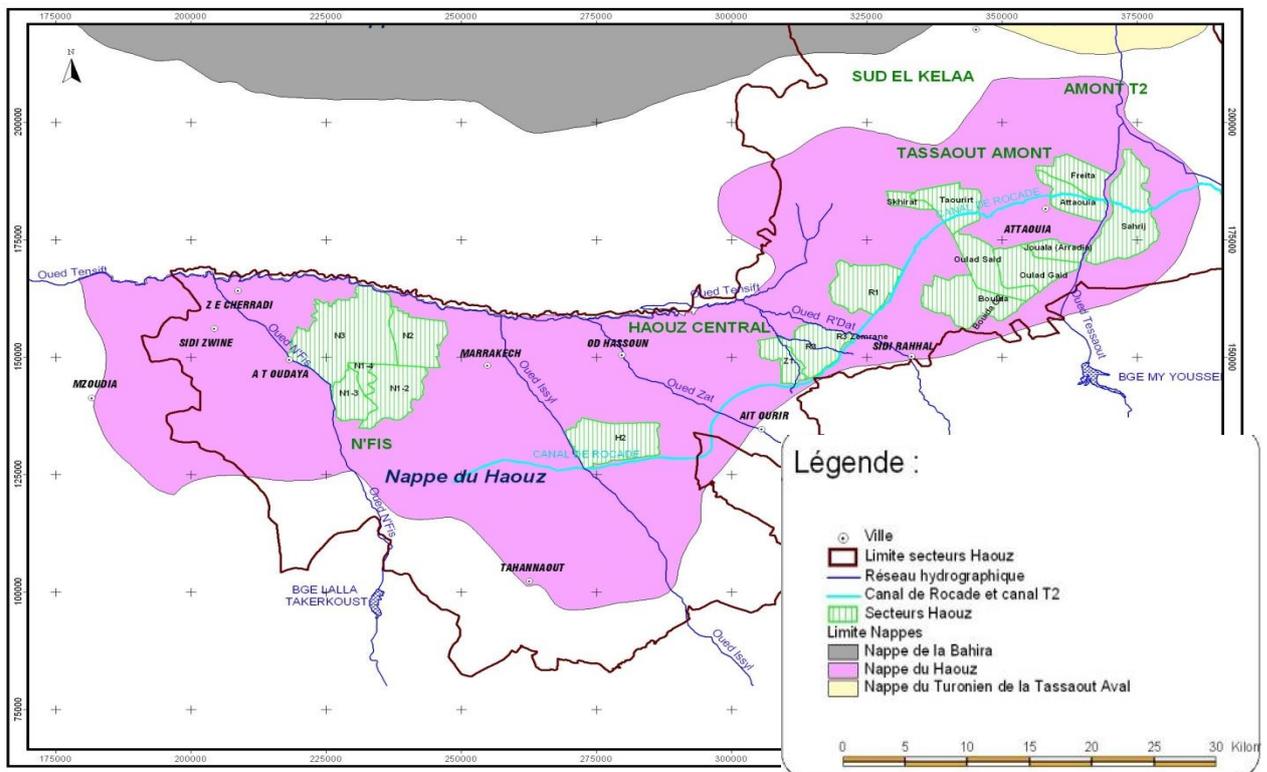


Figure 18 : Illustration du secteur Tassaout Amont au nord de la nappe du Haouz (ORMVAH)

Le secteur est situé sur la nappe du Haouz, qui s'étend entre le piémont du Haut-Atlas au sud et les collines des Jbilets au Nord. Elle est limitée à l'Est par le piémont du Moyen Atlas, au débouché des oueds Lakhder et Tassaout (Fig.18).

La nappe du Haouz compterait au total plus de 16 000 puits et forages dans la zone couverte par la grande hydraulique, le nombre de captages dans le sous secteur SKHIRATE est de l'ordre de 48.

Chapitre IV

Méthodologie de travail

I. Prélèvements des échantillons

L'échantillonnage est l'ensemble du processus ayant pour objet la réalisation d'échantillons représentatifs d'un milieu initial (sols, eaux de surface ou eaux souterraines.)

Le plan d'échantillonnage est réalisé, sur la base de données de terrain, en tenant en considération l'occupation des sols et les types de sol afin d'assurer une représentativité de la région d'étude.

L'objectif d'un échantillonnage est d'être le plus représentatif possible du milieu qu'il est censé représenter donc prélèvements doivent être réalisés dans des conditions optimisées pour éviter la contamination des échantillons entre eux.

1. Techniques d'échantillonnage du sol

Le prélèvement d'un échantillon de sol est souvent la première étape du conseil agronomique en matière de fertilisation ou de l'expertise physique du sol. A cause de la variabilité, tant spatiale que temporelle, des propriétés physiques et chimiques des sols, la qualité du prélèvement est une étape décisive pour la fiabilité du conseil.

En agriculture, comme dans bien d'autres domaines, il est impossible de mesurer une ou plusieurs caractéristiques sur l'ensemble d'un groupe ou d'une parcelle, Pour ces raisons d'homogénéité il est recommandé de subdiviser notre champ selon sa couleur, son orientation de la pente et ses pratiques cultures.

Pour qu'un échantillon soit représentatif, il faut :

- Prélever dans une zone homogène ;
- Prélever toujours à la même saison ;
- Adopter une méthode et la conserver pour les analyses suivantes ;
- Attendre au minimum de 2 à 4 mois après un apport de fumier ou d'engrais

Condition d'échantillonnage

Les prélèvements doivent être réalisés dans des conditions optimisées pour éviter la contamination des échantillons entre eux.

- Utiliser du matériel propre, lavé à l'eau au préalable
- Entre chaque traitement, enlever au maximum la terre restant sur la tarière afin d'éviter la contamination avec le traitement suivant.
- laver le matériel dès lors que l'on change de site de prélèvement (type de sol différent).

Le matériel utilisé

Le matériel nécessaire utilisé pour le prélèvement des échantillons est le suivant :

- Tarière en acier inoxydable pour éviter toute contamination ;
- Seaux pour collecter l'échantillon ;
- Sacs en plastique épais avec les codes des échantillons ;
- Gants de terrain en prévision d'éventuelles ampoules ;
- Sacs supplémentaires + marqueurs indélébiles.

Afin d'étudier une caractérisation à l'échelle verticale, nous avons procédé à un prélèvement à l'aide d'une tarière agricole dans les horizons 0-20 cm, 20-40 cm, et 40-60 cm. En premier lieu, on procède au brossage du périmètre de la zone de prélèvement (environ 1 m²) : cinq points de prélèvement constitueront un échantillon représentatif. Selon, le type du terrain, la tarière est enfoncée verticalement dans les différentes couches du sol à différentes profondeurs pour constituer des échantillons représentatifs à 0-20 cm, à 20-40 cm, et 40-60 cm (Tab.9). Ensuite, les échantillons prélevés sont mis dans les sacs en plastique qui lui sont réservés.

Tableau 9: Coordonnées Lambert des points de prélèvement du sol dans le périmètre de Skhirat (ORMVAH)

N° d'ech	X	Y	Assolement	Nom de l'agriculteur
S.SK40	304697	139173	Olivier	AHMED SAID
S.SK41	302217	140514	Céréales	BOUALAM
S.SK42	302837	141259	Olivier	EL GHANIMI BRIK
S.SK43	302584	140246	Céréales	MRESSLI ABDELAZIZ
S.SK44	302976	141152	Luzerne	DAKHCHUN JILALI
S.SK45	303410	141320	Luzerne	ABDERAHMANE ARIFA
S.SK46	303252	141056	Céréales	AIT CHIB IDRIS
S.SK47	303447	141225	Luzerne	CHBANAT FATIMA
S.SK48	303831	140770	Olivier	HAMID BEN DAHAN
S.SK49	306841	140763	Olivier	AHMED ELHOUCHE
S.SK50	308055	139147	Céréales	ABDELGHANI BELYAZID
S.SK51	303143	140979	Olivier	RAHAL ELHASSNAUI
S.SK52	303140	140981	Luzerne	UTIL ALI
S.SK53	302798	140455	Olivier	BOUWHIDA MOHAMED
S.SK54	282608	151280	Luzerne	ABDELAH BOULHIT

2. Technique d'échantillonnage des eaux

Le prélèvement d'échantillons d'eau est habituellement une partie très importante de la surveillance des eaux destinées à l'irrigation « assurance et contrôle de la qualité des eaux »

Il est primordiale car il conditionne la précision de l'analyse Il doit être de qualité mais également représentatif de ce que l'on veut analyser.

Les échantillons d'eau doivent être dans des récipients propres, afin de s'assurer d'éviter de le contaminer en le manipulant. Rien d'autre que l'échantillon d'eau ne doit, à aucun moment, entrer en contact avec l'intérieur de la bouteille ou du bouchon.

Le matériel utilisé pour l'échantillonnage des eaux est le suivant :

- ✚ Flacon en Polyéthylène et/ou en verre borosilicaté codées.
- ✚ Seau en plastique pour le mélange des échantillons.
- ✚ Gants en latex.
- ✚ Glacières et blocs de glace.
- ✚ Marqueurs indélébiles.

Les eaux souterraines

Un prélèvement effectué sur une eau ayant longtemps stagné n'est pas représentatif de la nappe. En effet, l'eau a subi l'influence du matériau de tubage et des éléments extérieurs (pollution, pluie...). Pour obtenir un échantillon moyen de l'horizon capté, il est nécessaire de pomper suffisamment longtemps pour renouveler l'eau contenue dans le tubage /cuvelage. Si l'ouvrage capte plusieurs horizons aquifères, l'échantillon sera un mélange des différentes eaux, dont les proportions sont directement liées aux transmissivités des différents niveaux. Pour obtenir des échantillons ponctuels à différentes profondeurs (Tab.10), il est possible d'utiliser des récipients lestés et munis d'un système de fermeture actionnable depuis la surface (hydro capteurs). Pour limiter le brassage de l'eau lors de la prise d'échantillon, il est recommandé d'utiliser des hydro capteurs dont le diamètre est très inférieur à celui du forage et de les manipuler avec une extrême lenteur. L'utilisation d'hydro capteurs descendus en positions ouverte permet de les rincer au fur et à mesure de leur descente.

Tableau10:Coordonnées Lambert des points de prélèvement des eaux souterraines dans le périmètre Skhirat (ORMVAH)

N°	X	Y	DOUAR
ECH			
P.S.K 26	305416	139572	SKHIRAT
P.S.K 27	303832	140778	SKHIRAT
0P.S.K 28	303356	140825	SKHIRAT
P.S.K 29	302343	141062	SKHIRAT
P.S.K30	302494	139938	SKHIRAT

Les eaux de surfaces

Les prélèvements (Tab.11) doivent être effectués de façon à éviter au maximum les effets de bords (oxygenation trop près de la surface, mise en suspension des matières solides trop près du fond, eau stagnante trop près des rives...). Il peut être nécessaire de constituer un échantillon « moyen » en mêlant plusieurs prélèvements effectués en divers points d'une section de rivière, afin de mieux connaître la chimie moyenne de l'eau sur une section donnée. En revanche, il est indispensable d'effectuer différents prélèvements dans l'espace et dans le temps et de les traiter séparément pour étudier le fonctionnement d'une mare.

Les flacons d'eaux sont conservés au froid dans une glacière avec des blocs de glace durant la période de transport. Ensuite, ils sont directement envoyés au laboratoire pour analyse où ils sont placés à 4°C dans un réfrigérateur jusqu'au moment de la réalisation de l'essai.

Tableau1:Coordonnées Lambert des points de prélèvement des eaux de surface dans le périmètre Skhirat (ORMVAH)

N° ECH	X	Y	DOUAR
B.SK 9	302464	140810	SKHIRAT
B.SK 10	300740	141500	SKHIRAT

II. Paramètres à analyser

L'analyse des paramètres des échantillons peuvent être effectuée In-Situ (Taux d'infiltration, le pH, la conductivité ...) ou en laboratoire (Matière organique, Bilan ionique...)

1. Prétraitement

Les échantillons subissent un séchage à l'air libre pendant une nuit ou plus, ensuite passent par un tamis de 2mm pour obtenir une terre fine et d'éliminer les particules grossiers (cailloux, débris végétaux, insectes ...).

2. Méthodes d'analyses des eaux

Potentiel d'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 se mesure à l'aide d'un pH mètre (Img.1).



Image 1 : pH mètre

Conductivité électrique (CEC)

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 d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation totale de l'eau. Elle a été mesurée sur le terrain et au laboratoire à l'aide d'un conductivimètre (Img.2).



Image 2 : Conductivimètre

Bilan ionique de l'eau

Le bilan ionique de l'eau est résumé sous forme du tableau suivant (Tab.12) :

Tableau12:Méthodes d'analyse du bilan ionique de l'eau

Espèce à Déterminer	Préparation de la solution	Indicateur coloré	Dosé par	Coloration
Cl « chlore »	✓ 10ml échantillon	Chromate CrO_4^{2-}	AgNO_3	Jaune →rouge brique
Ca^{2+}	✓ 10ml échantillon ✓ 40ml H_2O distillé ✓ 2ml soude « NaOH » (40%)	Murexide « poudre »	EDTA	Rose →Violet
Mg^{2+} « magnésium »	✓ 10ml échantillon ✓ 2ml solution tampon S.T	Eriochrome « NET »	EDTA	Violet →Bleu foncé
HCO_3 « bicarbonate »	✓ 10ml échantillon	Vert Bromo	H_2SO_4 « C=0,02 »	Bleu →Jaune
SO_4^{3-} « sulfate »	✓ 10ml échantillon ✓ 2ml H_2SO_4 + volume de H_2SO_4 trouvé dans le dosage de HCO_3^- Chauffage jusqu'à l'apparition des bulles dans la solution après on ajoute 5ml BaCl_2 après refroidissement on ajoute 10ml de la solution tampon « NH_3 » + 2ml MgCl_2	Eriochrome « NET »	EDTA	Violet →Bleu foncé



Image 3 : Burette de dosage de Cl



Image 4: Burette de dosage de HCO₃

SAR (Sodium absorption ratio)

Exprime l'activité relative des ions de sodium dans les réactions d'échange dans les sols. Cet indice mesure la quantité de sodium (Na) par rapport au calcium (Ca) et au magnésium (Mg) dans l'extrait aqueux d'une pâte de sol saturée. C'est le rapport de la concentration en Na divisée par la racine carrée de la moitié de la concentration en Ca + Mg. Le SAR est défini par l'équation suivante : $SAR = [Na] / \sqrt{([Ca] + [Mg]) / 2}$

Nitrates (NO₃⁻)

Proviennent de la fixation de l'azote atmosphérique et de la décomposition de matière organique par des microorganismes. Ils se forment naturellement par combinaison de l'azote (N) et de l'oxygène (O). La présence d'un excès de nitrates dans l'eau est un indice de pollution d'origine agriculture.

Matière en suspension (MES)

Représente la partie insoluble des matières (organiques et minérales) ainsi que les matières colloïdales dans un litre d'eau analysée. La méthode consiste à déterminer le poids des matières retenues par filtration.

Pesticides

Les substances actives des pesticides et les molécules issues de leur dégradation, appelées métabolites, sont susceptibles de se retrouver dans les différents compartiments de l'environnement (air, sol, eaux, sédiments...). Même si elles ont initialement un rôle de protection des plantes, elles présentent, in fine, par leur migration dans les différents milieux, des dangers plus ou moins importants pour l'homme et les écosystèmes, avec un impact immédiat ou à long terme.

Ortho phosphate

Dans les eaux naturelles et les eaux usées, le phosphore se trouve sous différentes formes de phosphates telles que les ortho phosphates, ou « phosphore réactif », les phosphates hydrolysables et les phosphates organiques, lesquelles peuvent être de forme dissoute ou particulaire. Les ortho phosphates sont les phosphates qui peuvent être dosés sans hydrolyse ou sans digestion oxydante.

3. Méthodes d'analyses des sols

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.

Matière organique

Le dosage du carbone organique dissous (COD) est indirect. 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.(Img.5)

Le carbone total mesuré permet d'estimer le pourcentage en matière organique par la formule

$$\%MO = \%C * 1,724$$



Image 5 : Burette de dosage de la matière organique

Potassium échangeable

On a mesuré la teneur en (K_2O) dans le sol en procédant à la même technique de dosage du potassium par spectrophotométrie.

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 ($NaHCO_3$) à pH de 8.5, la solution obtenue est dosée ainsi par un spectrophotomètre (Img.6)



Image 6 : Spectrophotomètre à flamme

Chapitre V

RESULTATS DES ANALYSES DU SECTEUR DE SKHIRAT

I. Analyse des paramètres du sol

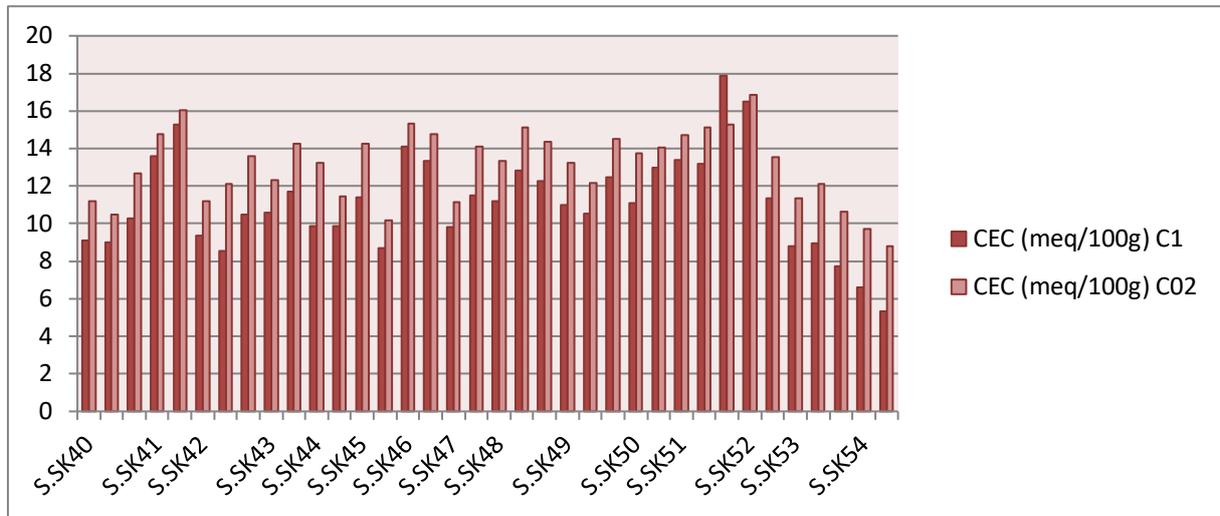


Figure 19 : Variation saisonnière du CEC du sol dans le sous secteur SKHIRAT durant la campagne agricole 2017/2018

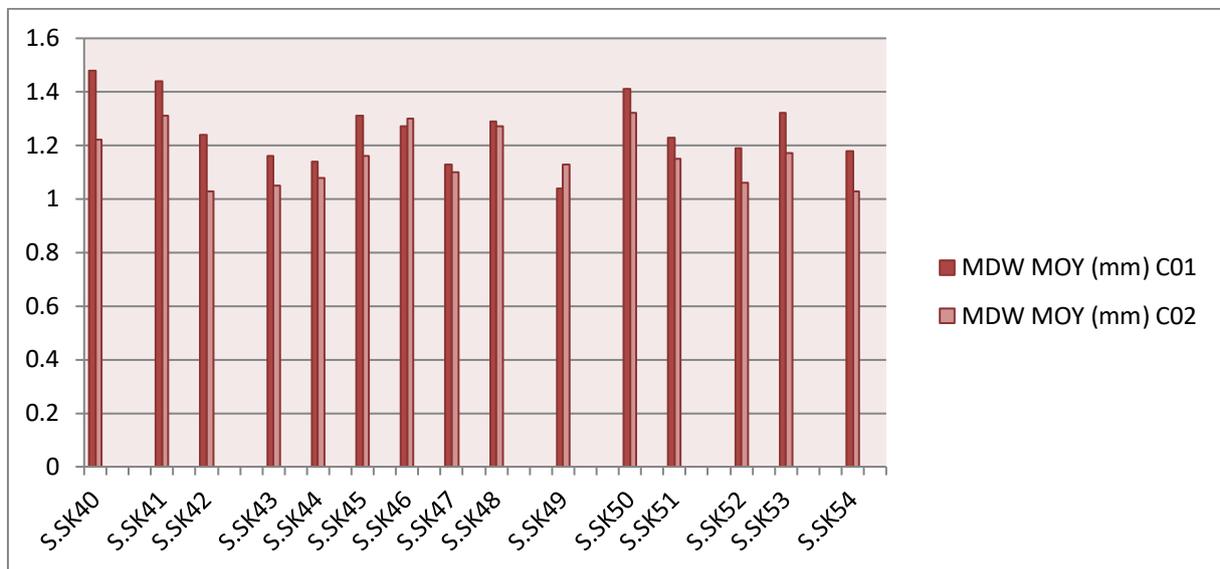


Figure 20 : Variation saisonnière de la stabilité structurale du sol dans le sous secteur SKHIRAT durant la campagne agricole 2017/2018

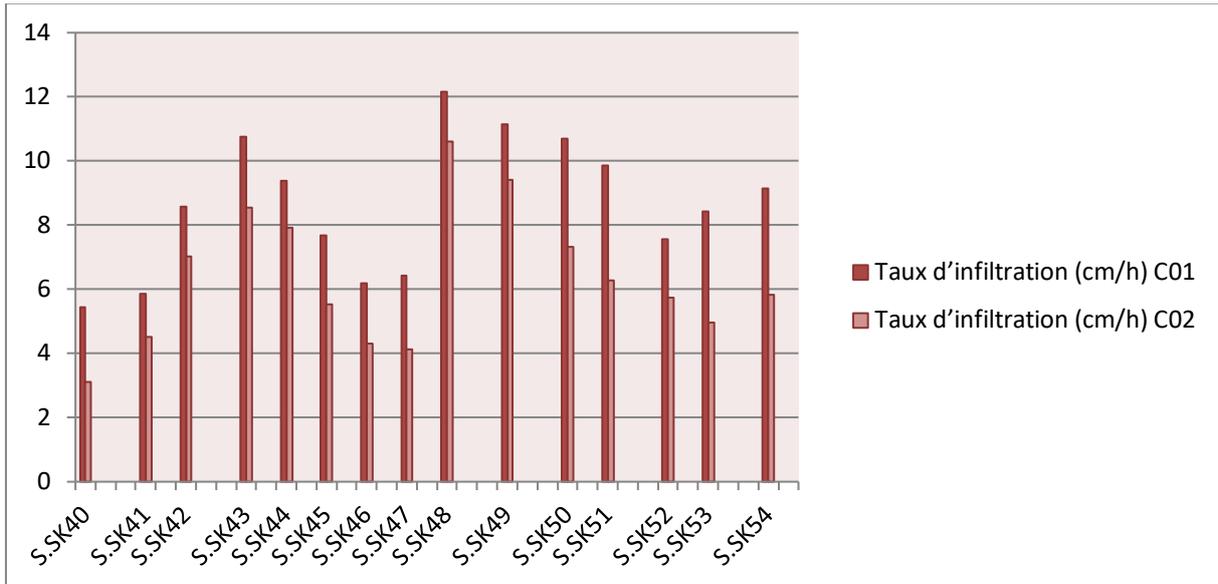


Figure 21 : Variation saisonnière du taux d'infiltration du sol dans le sous secteur SKHIRAT durant la campagne agricole 2017/2018

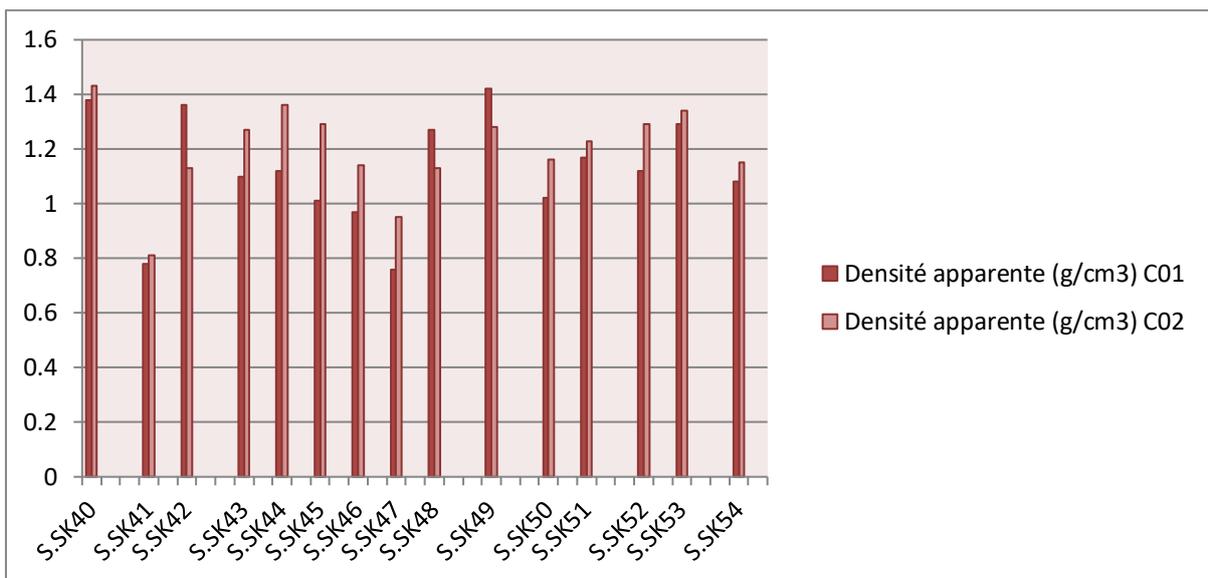


Figure 22 : Variation saisonnière de la densité apparente du sol dans le sous secteur SKHIRAT durant la campagne agricole 2017/2018

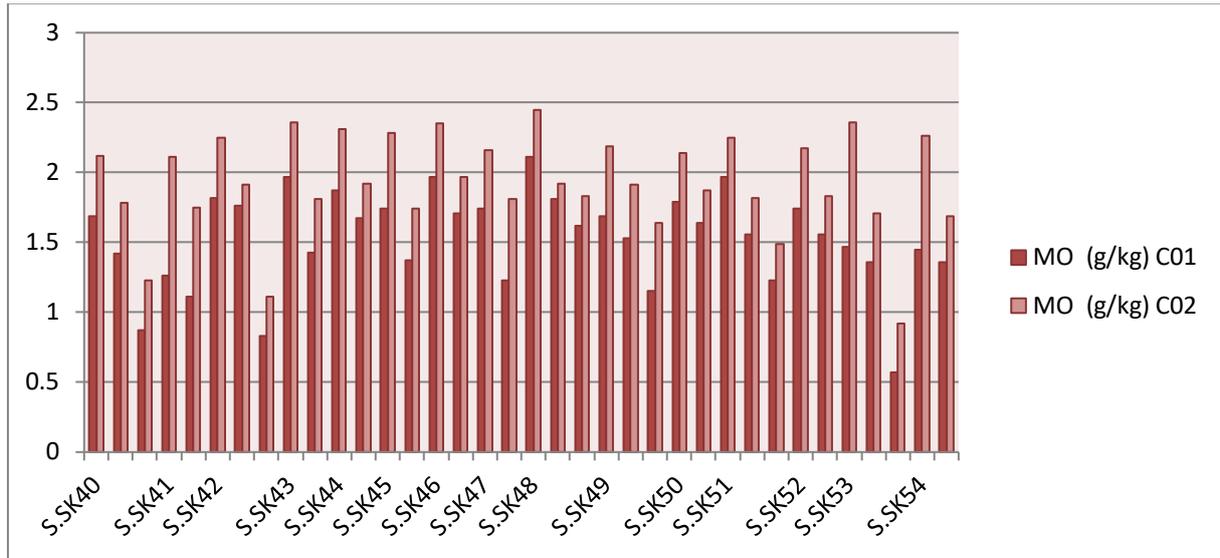


Figure 23 : Variation saisonnière de la matière organique du sol dans le sous secteur SKHIRAT durant la campagne agricole 2017/2018

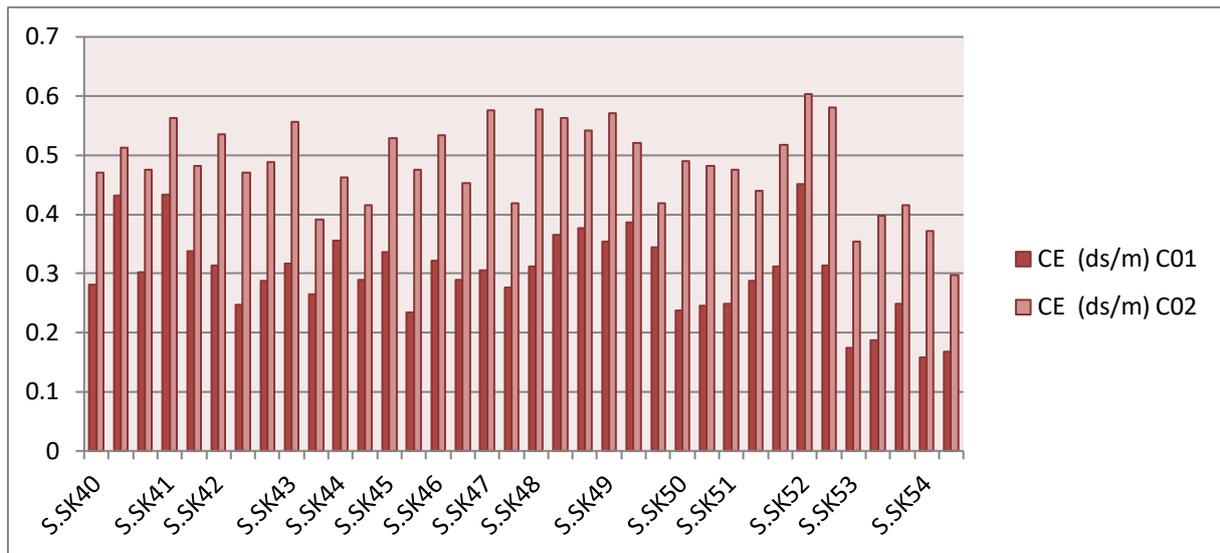


Figure 24: Variation saisonnière la CE du sol dans le sous secteur SKHIRAT durant la campagne agricole 2017/2018

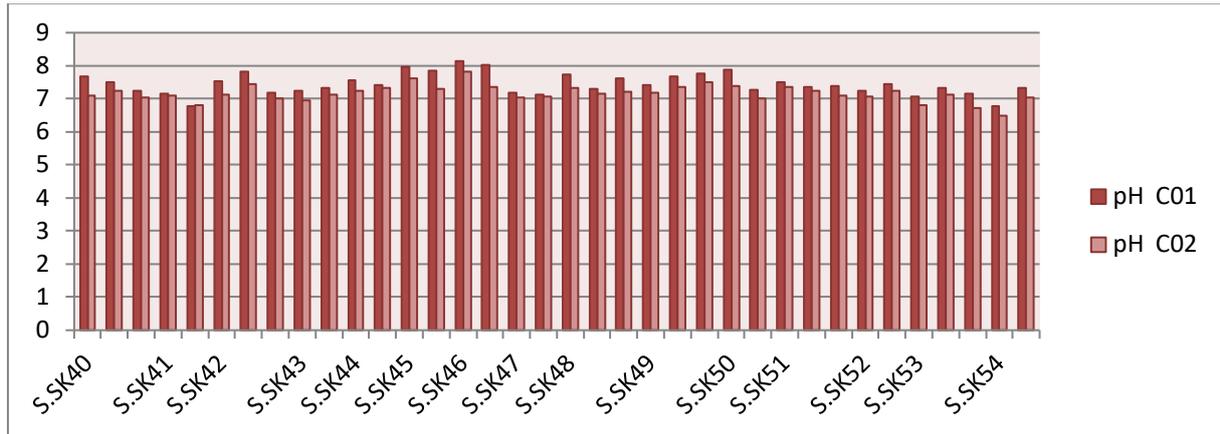


Figure 25: Variation saisonnière du pH du le sol dans le sous secteur SKHIRAT durant la campagne agricole 2017/2018

II. Analyse des paramètres des eaux de surface

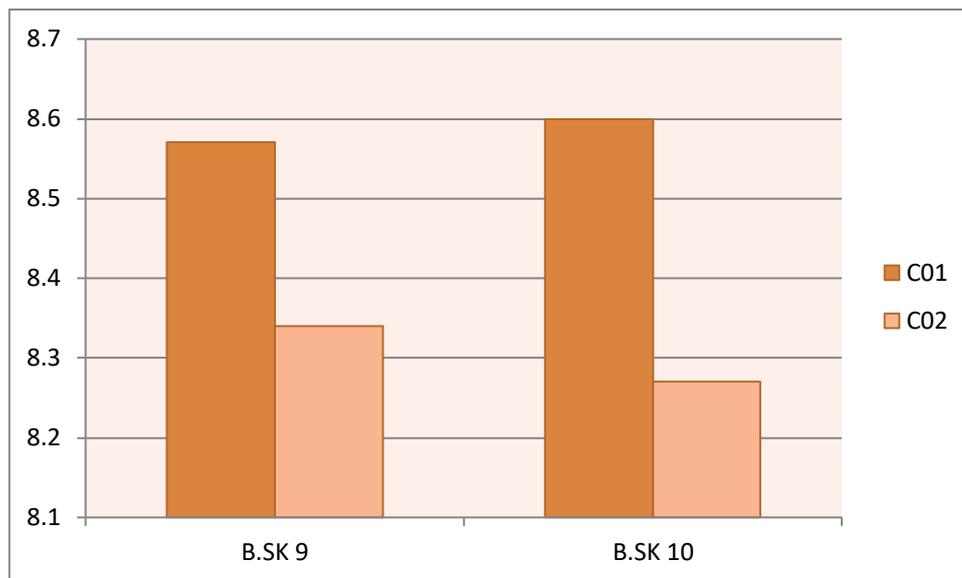


Figure26:Evolution du potentiel (pH) dans le sous secteur SKHIRAT durant la campagne agricole 2017/2018

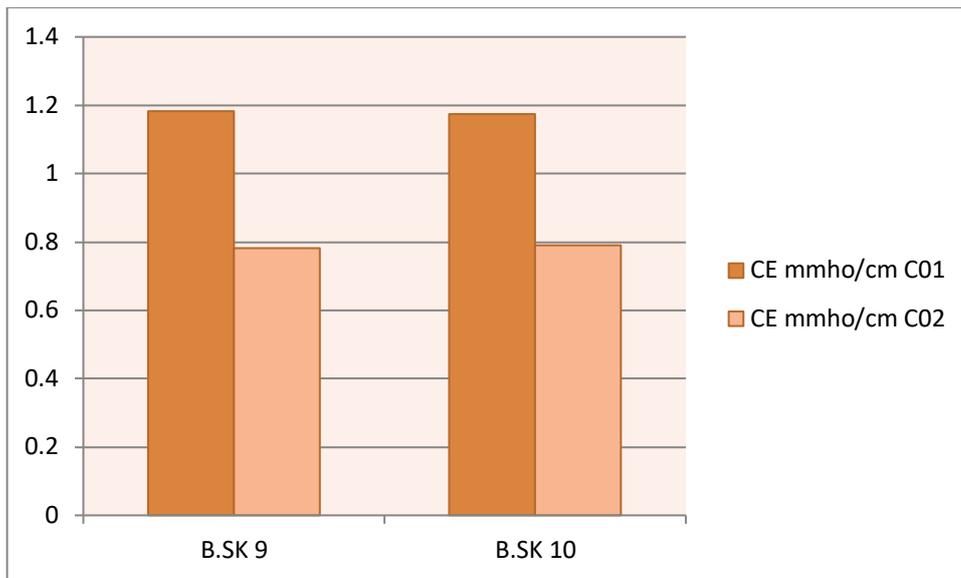


Figure 27 :Evolution de la conductivité électrique dans le sous secteur SKHIRAT durant la campagne agricole 2017/2018

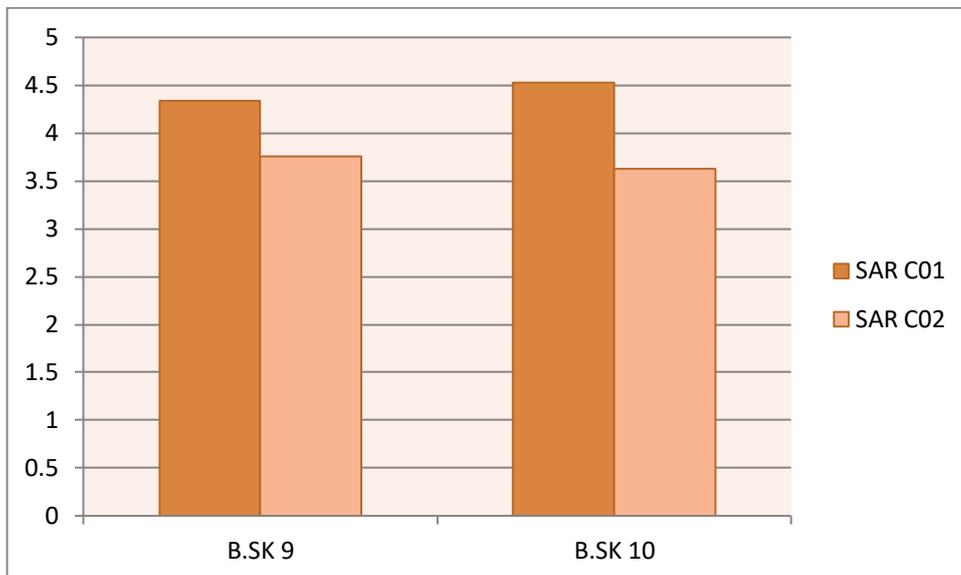


Figure 28 :Evolution du SAR dans le sous secteur SKHIRAT durant la campagne agricole 2017/2018

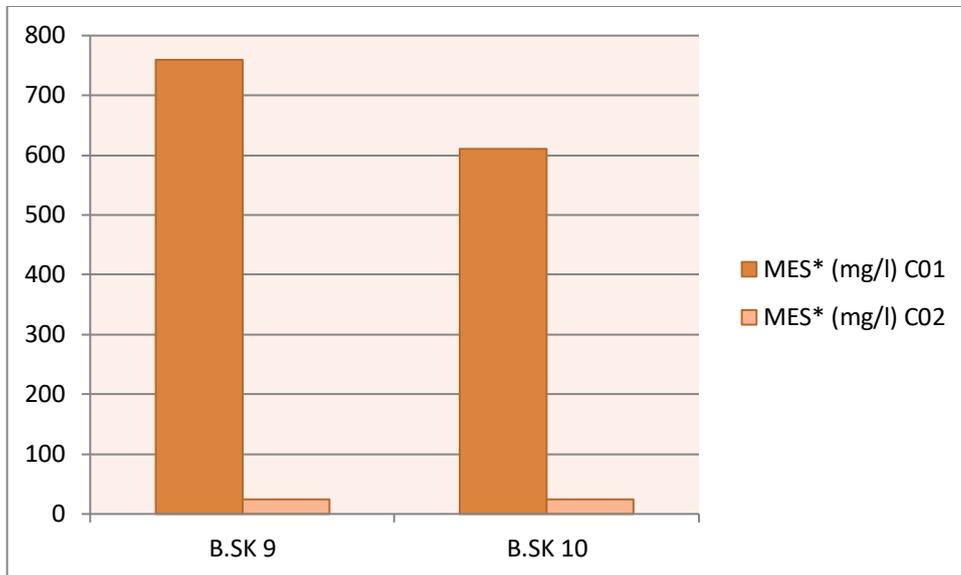


Figure29: Evolution du MES dans le sous secteur SKHIRAT durant la campagne agricole 2017/2018

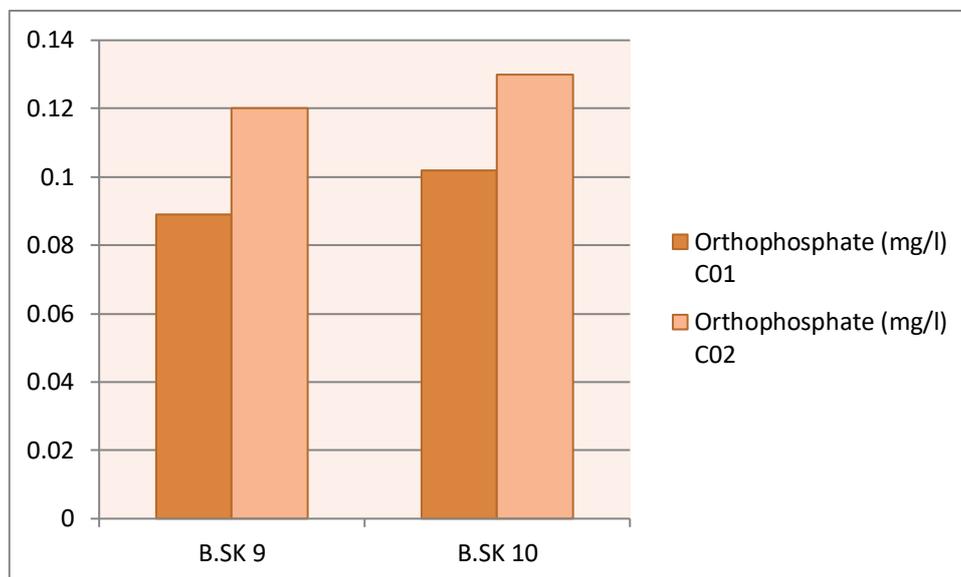


Figure30: Evolution d'orthophosphate dans le sous secteur SKHIRAT durant la campagne agricole 2017/2018

III. Analyse des paramètres des eaux souterraines

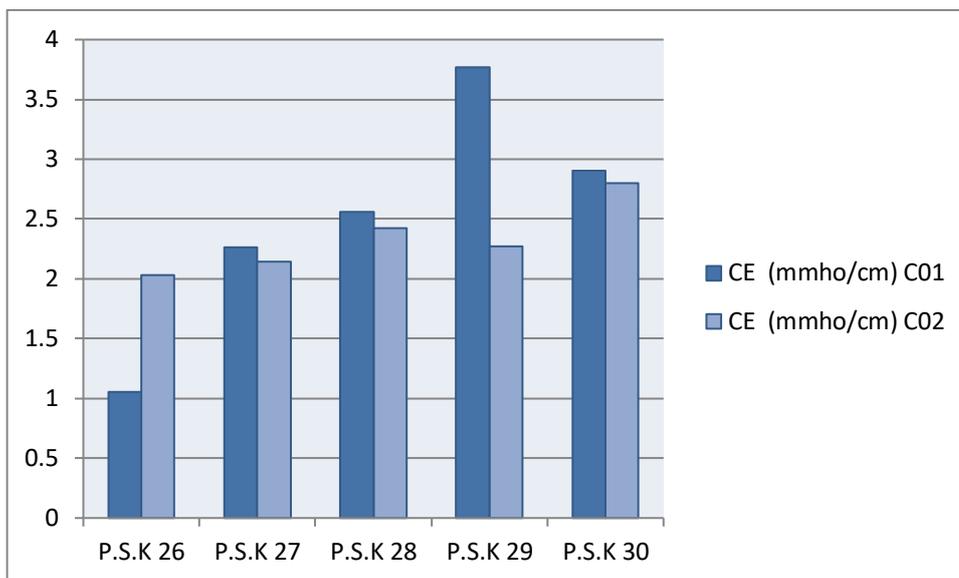


Figure31 :Evolution de la conductivité électrique dans le sous secteur SKHIRAT durant la campagne agricole 2017/2018

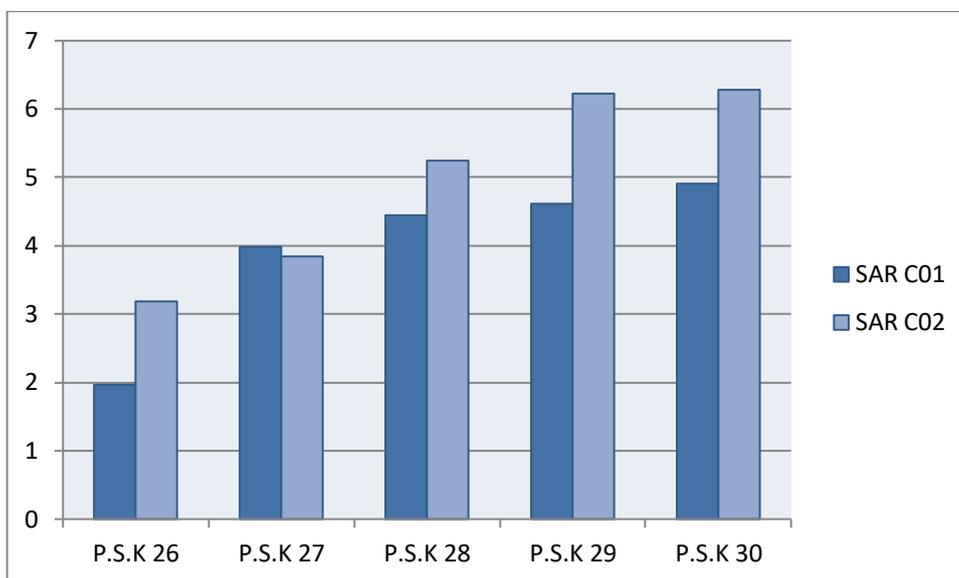


Figure 32 : Evolution du SAR dans le sous secteur SKHIRAT durant la campagne agricole 2017/2018

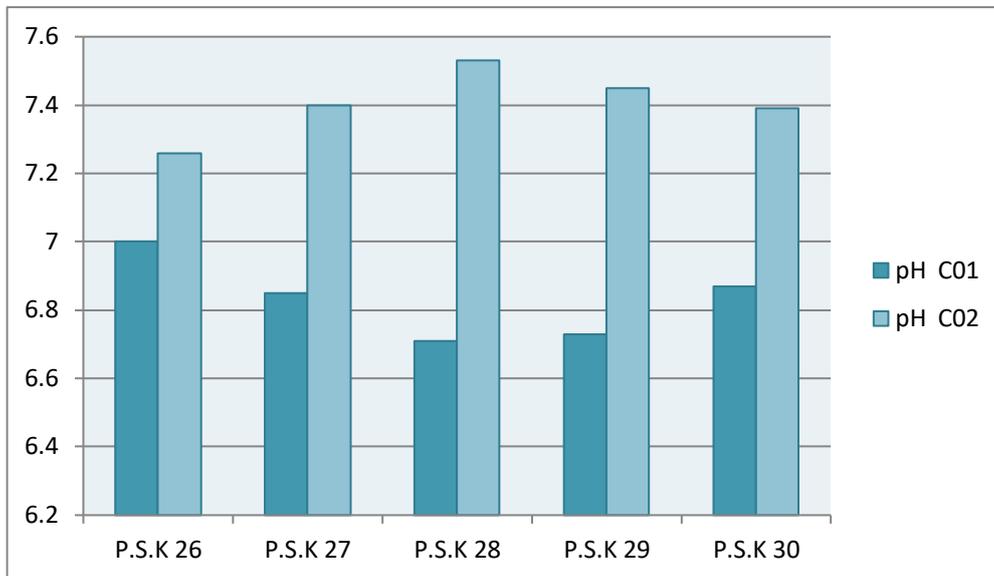


Figure33: Evolution du pH dans le sous secteur SKHIRAT durant la campagne agricole 2017/2018

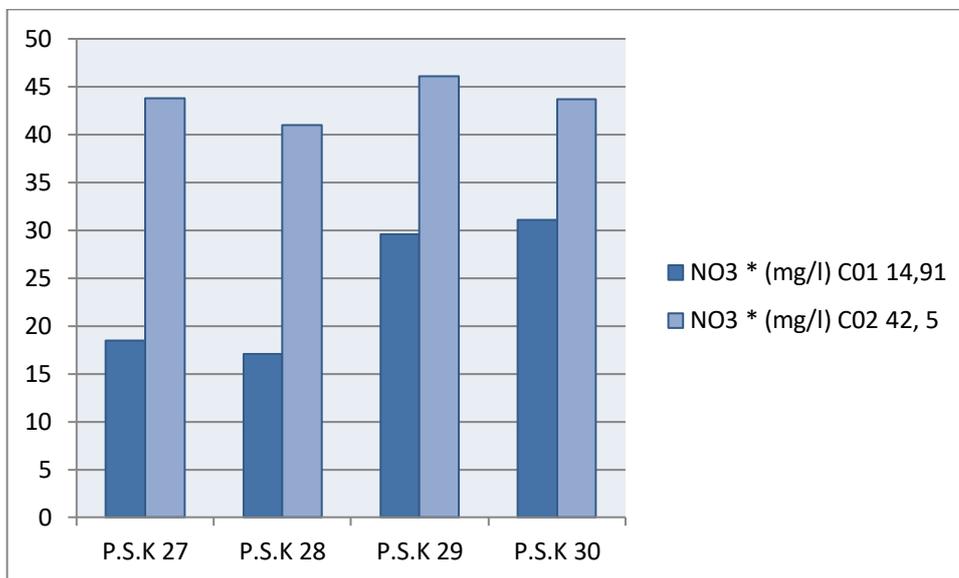


Figure 34: Evolution des nitrates dans le sous secteur SKHIRAT durant la campagne agricole 2017/2018

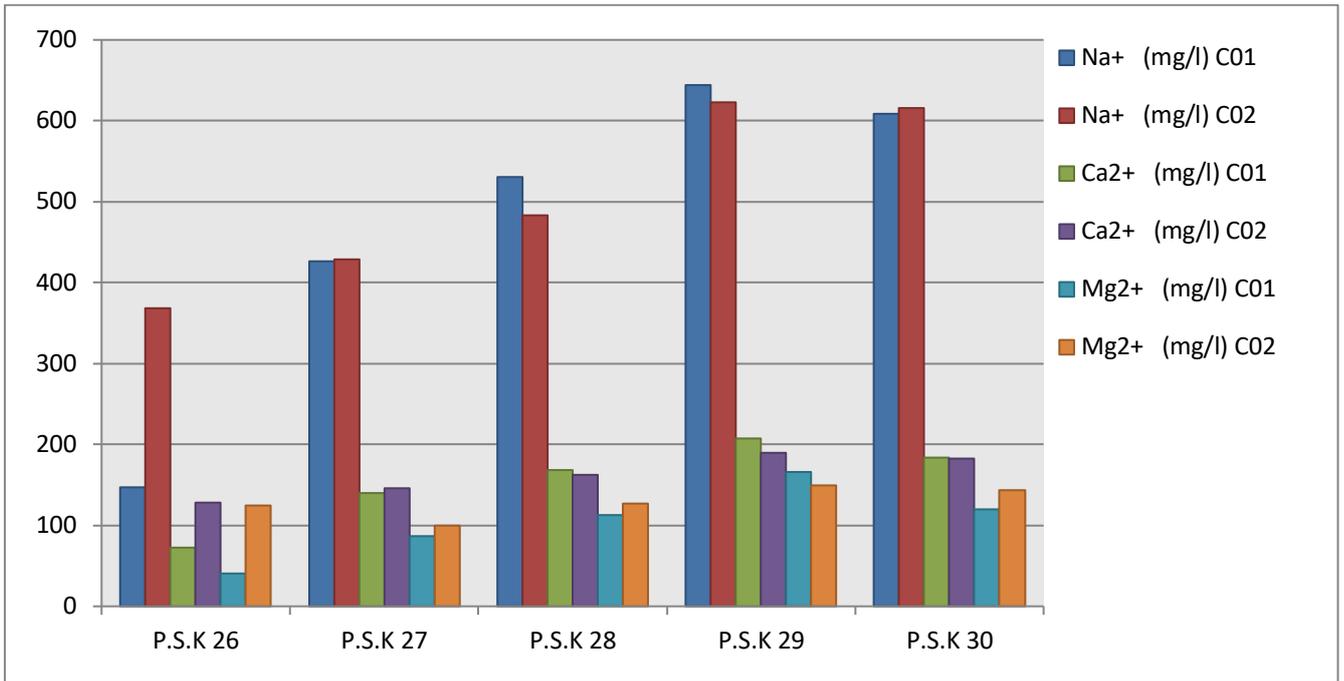


Figure35 :Evolution de la teneur en cation des eaux souterraines de la zone Skhirat

Chapitre VI

Interprétation des résultats

I. Analyse des sols**1. Matière organique (MO)****Tableau13: Répartition des classes du sol selon leurs teneur en matière organique (DIAEA/DRHA/SEEN(2008))**

Classe MO en (g/kg)	Teneur en argile		
	<10 %	10 à 30 %	>30%
<1,5	Faible	Faible	Faible
1,5 à 2	Moyen	Faible	Faible
2 à 2,5	Elevé	Moyen	Faible
2,5 à 3	Elevé	Elevé	Moyen
>3	Elevé	Elevé	Elevé

Selon la classification de l'association des fabricants d'engrais de Québec (1987) (Tab.13), tous les échantillons sont classés dans les sols pauvres pour l'horizon de profondeur c'est peut être dû à la texture limoneuse des sols, alors que pour l'horizon de surface 83% des échantillons prélevés sont caractérisés par des sols pauvre en matière humique. Mais, avec l'apport de fumier le sol a montré une augmentation significative du taux de la matière organique, les valeurs obtenues durant la campagne été pour les trois périmètres sont moyens, elles varient de 2 à 2,5 g/kg pour les trois secteurs.

2. Stabilité structurale

Tableau14: Classes de stabilités, battance et érosion hydrique en fonction de valeurs de diamètre moyen pondéral après désagrégation (DMP)(Bissonnais Y, le Souder,1995)

DMP en mm	Stabilité	Battance	Ruissellement et érosion diffuse
< 0,4	Très instable	Systématique	Risque important et permanent en toutes conditions topographiques
0,4 – 0,8	Instable	Très fréquente	Risque fréquent en toutes situations
0,8 – 1,3	Moyennement stable	fréquente	Risque variable en fonction des paramètres climatiques et topographiques
1,3 – 2	Stable	Occasionnelle	Risque limité
>2	Très stable	Très rare	Risque très faible

La stabilité structurale de la zone d'étude a été mesurée par la méthode de Bissonnais, qui propose une classification qui donne le lien entre le DMP et la stabilité des agrégats, les sensibilités à la battance et à l'érosion hydrique (Tableau 14).

Les résultats des mesures de la stabilité structurale montrent qu'on a des sols moyennement stables ($0.8 < \text{DMP} < 1.3$) et présentent des risques variables de ruissellement en fonction des paramètres climatiques et topographiques et des risques fréquents de battance.

L'abondance des sols à structure lumineuse dans le périmètre du tassaout amont peut causer des problèmes de battance et de tassement donc il est nécessaire de bêcher le sol régulièrement et de former une quantité importante de la MO pour protéger les liaisons entre particules de sol.

3. conductivité électrique (CE)

Tableau15: Répartition des classes de la salinité des sols selon les normes DIAEA/DRHA/SEEN(2008)

Classe du sol	CE (dS/m)
Non salin	<4
Peu salin	4 – 8
Salin	8 – 16
Fortement salin	16 – 32
Très fortement salin	>32

Les résultats obtenus montrent une différence importante entre la campagne d'été et celle d'hiver, les valeurs enregistrées durant la campagne d'été ont augmenté significativement vu que le sol est bien chargé de sels et d'ions apportés par les engrais et les intrants chimiques. Mais en générales les valeurs pour les deux campagnes sont inférieure a 4 indiquant une classe du sol non salin (Tab.15) donc le périmètre étudié n'est pas touché par les risques de salinisation des sols.

4. Capacité d'échange cationique (CEC)

Tableau16: Règles d'interprétation de CEC étudiés selon les normes DIAEA/DRHA/SEEN (2008)

Classe du sol	CEC (méq/100g)
Très faible	<5
Faible	5 – 12
Moyenne	12 – 25
Elevée	25 – 40
Très élevée	>40

Les résultats obtenus présentent des valeurs varient entre 5 et 20méq/100g avec une différence moyenne entre la campagne d'été et la campagne d'hiver ces valeurs diminuent durant la saison pluviale et augmentent durant la saison sèche. Mais généralement les sols sont classés comme des sols faibles en CEC selon le tableau au dessus (Tab.16).

5. Potentiel d'hydrogène pH

Tableau17: Répartition des classes de pH des sols étudiés selon les normes DIAEA/DRHA/SEEN(2008)

Classe du pH	Interprétation
<6	Acide
6 – 6,5	Faiblement acide
6,5 – 7,3	Neutre
7,3 – 7,8	Faiblement basique
7,8 – 8,5	Moyennement basique
8,5 – 9	Tendance alcaline
>9	Très alcaline

Les résultats obtenus montrent des pH entre 6.52 et 8.43 donc d'après le tableau ci-dessus (Tab.17) la majorité des sols admettent des pH neutre à moyennement basique avec une légère diminution de pH pour la campagne d'été.

II. Analyse des eaux de surfaces

1. Le potentiel hydrogène (pH)

Le pH des eaux superficielles dans le sous secteur SKHIRAT, durant les deux campagnes agricoles « hiver/été », montre des valeurs légèrement basiques à basiques, comprises entre 8,27 à 8,6 d'après le tableau au dessous (Tab.18).

Tableau18: Répartition de la qualité globale des eaux de surface pour le paramètre PH
(Norme Ministère Energie, Mine Eaux et Environnement)

Qualité	Excellente	Moyenne	Mauvaise
Ph	6,5-8,5	8,5-9,2	3,5-6,5 et 9,3-10

2. La conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique, comprise entre 0,8 à 1,2 mmho/cm, montre un risque légers dans les eaux de surface dans le secteur de SKHIRAT (Tab.19) affectant la salinisation du sol dans cette région vue que le taux de salinité entre dans la valeur limite de la qualité des eaux de surface destinées à l'irrigation

Tableau19: Risque de salinité des eaux d'irrigation en fonction de la conductivité électrique (Norme Ministère Energie, Mine Eaux et Environnement)

Risque	Total dissous (mg/l)	CE mmhos/cm
Nul	<500	<0,75
Légers	500-1000	0,75-1,5
Modéré	1000-2000	1,5-3
Sévère	>2000	>3

3. Le rapport d'adsorption du sodium (SAR)

Le taux d'absorption du sodium dans les eaux de surface dans SKHIRAT montre un risque léger à modéré (SAR compris entre 3,5 à 5), ce risque concerne la réduction en taux d'infiltration (manque d'eau pour la récolte lorsque le sol devient dur) ; cela nécessite une attention particulière pour les récoltes sensibles. (Fig.36)

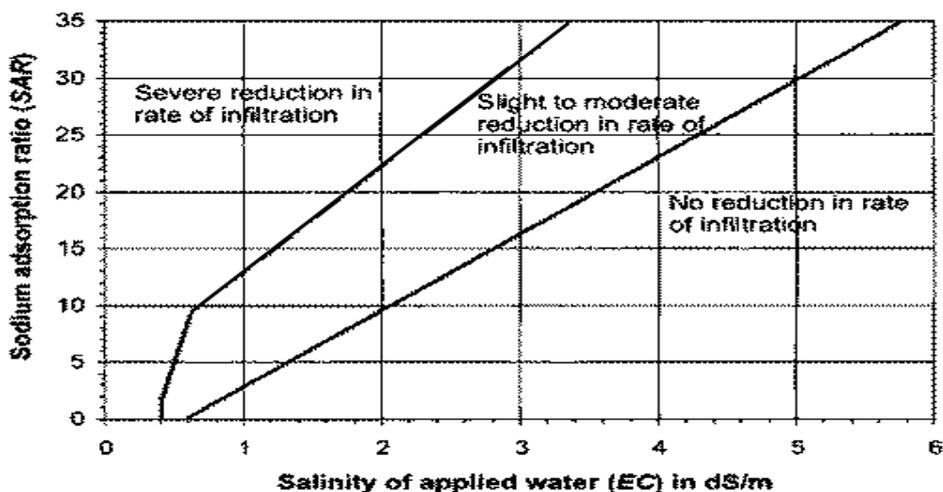


Figure 36 : Diagramme de Riverside, d'après US Salinity Laboratory Staff (1954) (www.lenntech.fr)

4. La matière en suspension

La variation de la charge en matière en suspension ne montre pas une grande différence entre les deux échantillons (B.SK9 et B.SK10) par contre elle diffère entre les deux saisons ; En saison sèche, le taux de MES est faible inférieur 50mg/l, Selon la grille au-dessous les eaux sont de qualité excellentes. (Tab.20)

En saison humides, le taux de MES augmente, l'eau est classée de qualité moyenne.

Tableau20:Grille d'appréciation de MES de l'eau de surface (Norme Ministère Energie, Mine Eaux et Environnement)

Appréciation	Excellente	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très Mauvaise
MES (mg/l)	<50	50-200	200-1000	1000-2000	2000-10000

5. Orthophosphate

L'analyse en orthophosphate des deux échantillons (B.SK9 et B.SK10) montre des valeurs varient entre 0,08 à 0,14 (inférieur à 0,2) ; Ces eaux ne présentent aucun risque de pollution par les orthophosphate.

III. Analyse des eaux souterraines

1. La conductivité électrique (CE)

Les valeurs de la CE des eaux souterraines dans le sous secteur SKHIRAT ont une moyenne de 2,7 mmhos/cm ; Ces eaux montrent une qualité moyenne et un taux de salinité un peu élevé ce qui présentent des restrictions modérées pour l'irrigation d'après les tableaux ci-dessous (Tab.21) (Tab.22).

Tableau21:Grille d'évaluation de la qualité des eaux souterraines: salinité (Norme Ministère Energie ,Mine Eaux et Environnement)

Qualité	Excellente	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
CE (mmhos/cm)	0,1-0,75	0,75-1,3	1,3-2,7	2,7-3	3-7

Tableau22:Barème d'appréciation de la salinité de l'eau pour l'irrigation. (Normes directive FAO)

Salinité	Aucune restriction pour l'irrigation	Restriction modérée	Forte restriction
CE (mmhos/cm)	<0,75	0,75-3	> 3

2. Le rapport d'absorption du sodium (SAR)

Durant les deux campagnes agricoles et pour tous les échantillons les valeurs du SAR sont inférieurs à 10 ce qui montre un risque faible de sodicité.(Tab.23)

Tableau23:Classement des risques de sodicité des eaux selon le SAR (FAO)

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

3. Le potentiel d'hydrogène (pH)

La majorité des eaux ont des pH compris entre 7 à 7,5 sauf les échantillons (P.S.K27) (P.S.K28) (P.S.K29) et (P.SK30) en campagne été, qui ont des pH compris entre 6,5 à 7

Malgré cette différence, les eaux sont faiblement alcalines ce qui est le cas pour la majorité des eaux souterraines comme le tableau suivant montre (Tab.24)

Tableau24: Classification 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

4. Les nitrates

La teneur en nitrates des eaux souterraines du sous secteur SKHIRAT est légèrement élevée, comprise entre 20 à 45mg/l ce qui est fable à la valeur limite 50mg/l (Annexe2)

5. Les cations

La concentration des cations illustrée dans les résultats précédents, montre le cation le plus abondant dans les échantillons, au cours des deux campagnes, est le sodium Na^+ ;

Le sodium vari entre 150 à 620 mg/l ce qui n'est pas normale puisque les eaux souterraines ont normalement une teneur en sodium allant de 6 à 130 mg/L

Cette abondance peut être liée à la présence de minéraux sodiques dans le voisinage qui peut causer des concentrations beaucoup plus élevées ou due au sol de Salinisation trop élevée.

Conclusion

L'objectif de notre travail est de faire une étude globale des sols et des eaux dans le secteur Skhirat qui fait partie de Tensift l'Haouz dans le but de la rationalisation de l'utilisation des eaux d'irrigation et l'amélioration du service de l'eau d'irrigation. Ce ci nécessite la mise en œuvre de systèmes collectifs d'irrigation localisée et l'apport d'appui aux agriculteurs pour un meilleur accès à la technologie et l'amélioration du rendement agricole.

Le passage de l'irrigation gravitaire à l'irrigation localisée permettra dans l'ensemble une optimisation de la consommation des eaux d'irrigation et l'obtention de rendements agricoles satisfaisants.

Les analyses des échantillons du sol ont permis de tracer les grandes lignes de la fertilité du sol, son comportement et son activité afin de déterminer l'état de la qualité pédologique de la zone étudiée. Les sols se caractérisent par un PH neutre à moyennement basique, absence de salinité surtout pour la campagne hiver où on n'a pas des charges apportés par les engrais et les produits chimiques, une stabilité moyenne et un faible pourcentage en matière organique.

De même pour les eaux, les analyses révèlent des résultats satisfaisants avec un léger risque d'augmentation de MES pour la saison humide. Cela nécessite la construction d'une station de filtration des eaux d'irrigation au niveau de la zone d'étude pour minimiser le passage des particules qui peuvent éventuellement boucher les goutteurs.

Ce stage réalisé au laboratoire de l'Office Régionale de Mise en Valeur Agricole de Haouz a été une expérience importante et enrichissante. Il nous a permis de prendre contact avec le monde du travail et de mettre en pratique nos connaissances scientifiques acquises tout au long de notre formation.

Références

Bibliographie

- **Abbott, J.S.** 1991. Micro-Irrigation World Wide Usage. *ICID. Bulletin.*
- **Ait Kadi M.,** 1995. La maîtrise des demandes en eau dans les grands périmètres irrigués. *Spécificités des grands aménagements hydro-agricoles au Maroc.* Séminaire national sur la gestion participative de l'irrigation dans le Royaume du Maroc. 10 p
- **Estefan G., Sommer R., et Ryan J.** Methods of Soil, Plant, and Water Analysis. *A manual for the West Asia and North Africa region,* International center for agricultural research in the dry areas : 2013, 3^{ème} édition, p.20-133
- **Kleiche-Dray M.,** 2007. The Office Régional de Mise en Valeur du Haouz Archives: Testimonies of modern irrigation introduction in the twentieth century Morocco. *IWHA 2007 Pasts and Futures of Water,* Tampere, 13-17 june.
- **ORMVAH.** Etude de l'impact de l'aménagement hydro-agricole sur l'environnement dans les secteurs d'irrigation. *Phase III – analyse des répercussions sur l'environnement.* 2015 : compagnie d'aménagement agricole et de développement industriel-RABAT
- **ORMVAH.** Etude de l'impact de l'aménagement hydro-agricole sur l'environnement dans les secteurs d'irrigation. *Phase II – description de l'environnement.* 2011 : compagnie d'aménagement agricole et de développement industriel-RABAT
- **ORMVAH.** Etude de faisabilité de la reconversion à l'irrigation localisée. *APS reconversion Tessaout Amont.* 2008 : compagnie d'aménagement agricole et de développement industriel-RABAT
- **Simonneaux V., Lepage M., Helson D., Metral J., Thomas S., Duchemin B., Cherkaoui M., Kharrou H., Berjami B., Chehbouni A.,** 2009. Estimation spatialisée de l'évapotranspiration des cultures irriguées par télédétection : application à la gestion de l'irrigation dans la plaine du Haouz (Marrakech, Maroc). *Sécheresse,* vol. 20, n° 1, janvier-février-mars 2009, p. 123-130.

webographie

- <https://www.naio-technologies.com/irrigation-determinez-besoins-eau-cultures-stocks-deau-disponibles/>
- <https://www.lenntech.fr/applications/irrigation/sar/irrigation/sar-risque-pour-eau-irrigation.htm>
- http://www.eau-tensift.net/fileadmin/user_files/pdf/publications/3_Irrigation.pdf
- <http://tpe-agriculture-france-mali.e-monsite.com/pages/1-exploitation-des-sols/irrigation.html>
- https://www.agrimaroc.net/bulletins/btta_81.pdf
- <http://www.fao.org/3/V8260B/V8260B15.htm>

Annexes

ANNEXE 1 : TABLEAUX DES RESULTATS

N° d'ech	Horizon (cm)	Taux d'infiltration (cm/h)		MDW MOY (mm)		Densité apparente (g/cm ³)		MO (g/kg)		pH		CE (ds/m)	
		C01	C02	C01	C02	C01	C02	C01	C02	C01	C02	C01	C02
		S.SK40	0 - 20	5,45	3,12	1,48	1,22	1,38	1,43	1,69	2,12	7,68	7,11
	20 - 40							1,42	1,78	7,51	7,23	0,431	0,512
	40 - 60							0,87	1,23	7,24	7,04	0,302	0,476
S.SK41	0 - 20	5,87	4,52	1,44	1,31	0,78	0,81	1,26	2,11	7,16	7,1	0,433	0,563
	20 - 40							1,11	1,75	6,77	6,81	0,338	0,482
S.SK42	0 - 20	8,57	7,02	1,24	1,03	1,36	1,13	1,82	2,25	7,52	7,13	0,314	0,536
	20 - 40							1,76	1,91	7,82	7,45	0,247	0,471
	40 - 60							0,83	1,11	7,18	7,02	0,287	0,489
S.SK43	0 - 20	10,75	8,55	1,16	1,05	1,1	1,27	1,97	2,36	7,24	6,94	0,317	0,556
	20 - 40							1,43	1,81	7,32	7,13	0,265	0,391
S.SK44	0 - 20	9,37	7,93	1,14	1,08	1,12	1,36	1,87	2,31	7,55	7,23	0,355	0,462
	20 - 40							1,67	1,92	7,41	7,34	0,29	0,415
S.SK45	0 - 20	7,69	5,54	1,31	1,16	1,01	1,29	1,74	2,28	7,98	7,61	0,336	0,529
	20 - 40							1,37	1,74	7,85	7,29	0,234	0,476
S.SK46	0 - 20	6,18	4,32	1,27	1,3	0,97	1,14	1,97	2,35	8,13	7,82	0,321	0,533
	20 - 40							1,71	1,97	8,02	7,35	0,289	0,452
S.SK47	0 - 20	6,44	4,13	1,13	1,1	0,76	0,95	1,74	2,16	7,19	7,03	0,305	0,576
	20 - 40							1,23	1,81	7,12	7,07	0,276	0,418
S.SK48	0 - 20	12,17	10,62	1,29	1,27	1,27	1,13	2,11	2,45	7,74	7,33	0,312	0,577
	20 - 40							1,81	1,92	7,29	7,15	0,366	0,563
	40 - 60							1,62	1,83	7,63	7,21	0,376	0,542
S.SK49	0 - 20	11,13	9,42	1,04	1,13	1,42	1,28	1,69	2,19	7,42	7,19	0,354	0,571
	20 - 40							1,53	1,91	7,69	7,36	0,387	0,52
	40 - 60							1,15	1,64	7,76	7,51	0,345	0,419
S.SK50	0 - 20	10,7	7,33	1,41	1,32	1,02	1,16	1,79	2,14	7,87	7,4	0,238	0,49
	20 - 40							1,64	1,87	7,27	7,01	0,245	0,482
S.SK51	0 - 20	9,85	6,29	1,23	1,15	1,17	1,23	1,97	2,25	7,51	7,36	0,249	0,475
	20 - 40							1,56	1,82	7,37	7,23	0,287	0,439
	40 - 60							1,23	1,49	7,40	7,11	0,312	0,518
S.SK52	0 - 20	7,55	5,73	1,19	1,06	1,12	1,29	1,74	2,17	7,24	7,07	0,451	0,603
	20 - 40							1,56	1,83	7,45	7,24	0,314	0,581
S.SK53	0 - 20	8,42	4,96	1,32	1,17	1,29	1,34	1,47	2,36	7,08	6,81	0,175	0,354
	20 - 40							1,36	1,71	7,34	7,13	0,188	0,397
	40 - 60							0,57	0,92	7,16	6,71	0,249	0,415
S.SK54	0 - 20	9,15	5,84	1,18	1,03	1,08	1,15	1,45	2,26	6,77	6,5	0,158	0,372
	20 - 40							1,36	1,69	7,32	7,04	0,167	0,298

N° d'ech	Horizon (cm)	CEC (meq/100g)		ESP (%)	
		C1	C02	C01	C02
S.SK40	0 - 20	9,08	11,19	1,76	3,35
	20 - 40	8,99	10,46	2,11	1,42
	40 - 60	10,28	12,67	2,43	1,72
S.SK41	0 - 20	13,58	14,78	1,99	2,13
	20 - 40	15,26	16,06	1,18	5,41
S.SK42	0 - 20	9,34	11,17	4,82	5,35
	20 - 40	8,54	12,13	2,93	2,51
	40 - 60	10,47	13,61	3,92	2,34
S.SK43	0 - 20	10,58	12,34	6,33	2,93
	20 - 40	11,72	14,27	6,31	4,89
S.SK44	0 - 20	9,89	13,25	2,33	3,54
	20 - 40	9,85	11,43	4,97	4,52
S.SK45	0 - 20	11,41	14,27	6,22	4,67
	20 - 40	8,68	10,15	1,96	4,02
S.SK46	0 - 20	14,10	15,3	2,34	1,69
	20 - 40	13,35	14,79	1,72	1,78
S.SK47	0 - 20	9,81	11,12	5,81	2,40
	20 - 40	11,49	14,08	3,83	4,30
S.SK48	0 - 20	11,21	13,34	7,85	5,75
	20 - 40	12,83	15,14	6,63	4,02
	40 - 60	12,25	14,38	7,51	2,87
S.SK49	0 - 20	11,00	13,25	10,18	5,16
	20 - 40	10,52	12,18	11,69	7,03

	40 – 60	12,49	14,51	10,89	2,72
S.SK50	0 – 20	11,09	13,73	7,03	4,00
	20 – 40	12,96	14,07	4,94	2,80
S.SK51	0 – 20	13,40	14,7	1,19	3,42
	20 – 40	13,20	15,1	1,14	3,67
	40 – 60	17,88	15,27	1,29	1,89
S.SK52	0 – 20	16,52	16,86	1,03	2,98
	20 – 40	11,36	13,54	1,85	3,35
S.SK53	0 – 20	8,78	11,37	2,05	1,42
	20 – 40	8,97	12,12	2,79	1,72
	40 – 60	7,75	10,63	4,77	2,13
S.SK54	0 – 20	6,60	9,74	8,33	5,41
	20 – 40	5,34	8,78	3,18	5,35

Tableau 1 : Synthèse des résultats des analyses des sols des campagnes HIVER 2017 et ETE 2018 dans le secteur SKHIRAT.

N° ECH	X	Y	DOUAR	Niveau piézométrique (m)	pH		NO3* (mg/l)		Pesticides (µg/l)	
					C01	C02	C01	C02	C01	C02
P.S.K 26	305416	139572	SKHIRA T	57 m	7	7,26	14,91	42,5	-	-
P.S.K 27	303832	140778	SKHIRA T	29 m	6,85	7,40	18,48	43,81	0,05	0,13
P.S.K 28	303356	140825	SKHIRA T	37 m	6,71	7,53	17,10	41,03	-	-
P.S.K 29	302343	141062	SKHIRA T	38 m	6,73	7,45	29,61	46,09	-	-
P.S.K 30	302494	139938	SKHIRA T	42 m	6,87	7,39	31,05	43,7	-	-

N° ECH	X	Y	DOUAR	Niveau piézométrique (m)	CE (mmho/cm)		Na+ (meq/l)		Ca2+ (meq/l)		Mg2+ (meq/l)		SAR	
					C01	C02	C01	C02	C01	C02	C01	C02	C01	C02
P.S.K 26	305416	139572	SKHIRA T	57 m	1,053	2,03	3,69	9,21	3,6	6,4	3,4	10,4	1,97	3,18
P.S.K 27	303832	140778	SKHIRA T	29 m	2,26	2,14	10,65	10,73	7	7,3	7,2	8,3	3,99	3,84
P.S.K 28	303356	140825	SKHIRA T	37 m	2,56	2,42	13,26	12,08	8,397	8,10	9,4	10,6	4,44	5,25
P.S.K 29	302343	141062	SKHIRA T	38 m	3,77	2,27	16,09	15,56	10,39	9,51	13,8	12,5	4,62	6,22
P.S.K 30	302494	139938	SKHIRA T	42 m	2,9	2,8	15,22	15,39	9,19	9,12	10	12	4,91	6,28

Tableau 2 : Synthèse des résultats des analyses des eaux souterraines des campagnes HIVER 2017 et ETE 2018 dans le secteur SKHIRAT.

N° ECH	X	Y	pH	CE		Na ⁺		Ca ²⁺		Mg ²⁺		SAR		MES*		Orthophosphate		
				mmho/cm		(meq/l)		(meq/l)		(meq/l)		(mg/l)		(mg/l)				
				C01	C02	C01	C02	C01	C02	C01	C02	C01	C02	C01	C02	C01	C02	
B.SK 9	302464	140810	8,57	8,34	1,182	0,783	6,95	5,91	3,2	3,27	2	1,66	4,34	3,76	760	25	0,089	0,12
B.SK 10	300740	141500	8,6	8,27	1,173	0,791	7,17	5,75	2,81	3,39	2,2	1,62	4,53	3,63	610	24	0,102	0,13

Tableau 3: Synthèse des résultats des analyses des eaux superficielles des campagnes HIVER 2017 et ETE 2018 dans le secteur SKHIRAT.

ANNEXE2 : GRILLE D’EVALUATION DE LA QUALITE DES EAUX DESTINEES A L’IRRIGATION

Paramètres	Valeurs limites
PARAMETRES BACTERIOLOGIQUES (1)	
Coliformes fécaux	1000/100 ml
Salmonelle	Absence dans 5 l
Vibron colérique	Absence dans 450 ml
PARAMETRES PARASITOLOGIQUES (2)	
Parasites pathogènes	Absence
Œufs, kystes de parasites	Absence
Larves d’Ankylostomides	Absence
Fluococercaires de schistosome hoematoblum	Absence
PARAMETRES TOXIQUES (3)	
Mercure (Hg) en mg/l	0,001
Cadmium (Cd) en mg/l	0,01
Arsenic (As) en mg/l	0,1
Chrome total (Cr) en mg/l	1
Plomb (Pb) en mg/l	5
Cuivre (Cu) en mg/l	2
Zinc (Zn) en mg/l	2
Sélénium (Se) en mg/l	0,02
Fluor (F) en mg/l	1
Cyanures (CN) en mg/l	1
Phénols en mg/l	3
Aluminium (Al) en mg/l	5
Béryllium (Be) en mg/l	0,1
Cobalt (Co) en mg/l	0,5
Fer (Fe) en mg/l	5
Lithium (Li) en mg/l	2,5
Manganèse (Mn) en mg/l	0,2
Molybdène (Mo) en mg/l	0,01
Nickel (Ni) en mg/l	2
Vanadium (V) en mg/l	0,1

ANNEXE3:PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES**1-Salinité**

Salinité totale (STD) en mg/l	7680
Conductivité électrique (CE) en mS/cm à 25°C	12
Infiltration	
Le SAR = 0-3 et CE =	<0,2
Le SAR = 3-6 et CE =	<0,3
Le SAR = 6-12 et CE =	<0,5
Le SAR = 12-20 et CE =	<1,3
Le SAR = 20-40 et CE =	<3

2-Ions toxiques (affectant les cultures sensibles)

Sodium (Na) en mg/l	
Irrigation en surface (SAR)	69
Irrigation par aspersion	9
Chlorure (Cl) en mg/l	
Irrigation en surface	350
Irrigation par aspersion	15
Bore (B) en mg/l	
	3

3-Effets divers (affectant les cultures sensibles)

Température (°C)	35
Ph	6,5 à 8,4
Matières en suspension en mg/l	
Irrigation gravitaires	200
Irrigation par aspersion localisée	100
Azote nitrique (N-NO ₃ -) en mg/l	30
Bicarbonate (HCO ₃ -) [irrigation par aspersion] en mg/l	518
Sulfates (SO ₄ ²⁻) en mg/l	250

			CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3	CLASSE 4	CLASSE 5
	Paramètres	Unités	Excellente	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
Organoleptiques			0				
1	Couleur (échelle Pt)	mg Pt/L	<20	20-50	50-100	100-200	>200
2	Odeur (dilu à 25° C)		<3	3-10	10-20	>20	-
Physico-chimiques							
3	Température	°C	<20	20-25	25-30	30-35	>35
4	PH		6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-9,2	<6,5ou>9,2	<6,5ou>9,2
5	Conductivité à 20° C	us/cm	<750	750-1300	1300-2700	2700-3000	>3000
6	Chlorures (Cl-)	mg/l	<200	200-300	300-750	750-1000	>1000
7	Sulfates (SO4-)	mg/l	<100	100-200	200-250	250-400	>400
8	MES	mg/l	<50	50-200	200-1000	1000-2000	>2000
9	O2 dissous	mg/l	>7	7-5	5-3	3-1	<1
10	DBO 5	mg/l	<3	3-5	5-10	10-25	>25
11	DCO	mg/l	<30	30-35	35-40	40-80	>80
12	Oxydabilité KMnO4	mg/l	≤2	2-5	5-10	>10	-
Substances Indésirables							
13	Nitrates (NO3-)	mg/l	≤10	10-25	25-50	>50	-
14	NTK	mgN/l	≤1	1-2	2-3	>3	-
15	Ammonium	mgNH4/l	≤0,1	0,1-0,5	0,5-2	2-8	>8
16	Baryum	mg/l	≤0,1	0,1-0,7	0,7-1	>1	-
17	Phosphates (PO4- -)	mg/l	≤0,2	0,2-0,5	0,5-1	1-5	>5

**ANNEXE 4 : GRILLE DE LA QUALITE DES EAUX
PUBLIE AU B.O**