

Mémoire de fin d'étude

**Département des sciences de la terre
Licence en sciences et techniques
Eau et environnement**

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

Soutenu : Le 25 juin 2019

Réalisé par : BACHAR Leila & AJEBAR Chaimae

Devant le jury composé de :

**Pr A. TOUIL : FST- MARRAKECH, Encadrant
Mr. M. ESSHAIMI : ORMVAH, Co-Encadrant
Pr A. RHOJJATI : FST- MARRAKECH, Examineur**

Dédicace

A nos parents

Q' une dédicace ne serait exprimé à juste valeur tout l'amour,
le respect et le dévouement qu'on leur porte.

A nos enseignants et professeurs

Pour leur patience, dévouement et leur sacrifice.

A nos amis et frères

Un grand remerciement et une éternelle gratitude à leur égard.

A tout ceux qui ont rendu ce travail finalement réalisable

Remerciement

A l'issue de ce stage, on exprime mes sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué à sa réalisation.

*Un grand merci à notre encadrant **Mr A. TOUIL**, qui a toujours éclairé notre travail avec ses précieuses recommandations en sacrifiant beaucoup de son temps, et de ses efforts.*

*Nous adressons nos profonds remerciements à Monsieur **M. ESSHAIMI**, notre encadrant à l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Haouz, pour son temps, son encadrement, et ses conseils.*

*Monsieur **H. AALIANE** et **N. NEHHAZ** au sein du laboratoire pédologique d'ORMVAH pour leurs soutiens et conseils afin de mener à bien notre analyses chimiques.*

notre remerciements vont à notre professeurs à la faculté des sciences et techniques MARRAKECH, département des sciences de la terre d'avoir accepté de juger ce travail.

notre chaleureux remerciements vont également à nos chers parents pour leur soutien et encouragement. Ainsi qu'à notre collègues et notre amis pour leur solidarité.

Merci enfin à toutes les personnes du département de géologie de la FST de Marrakech et aux personnels de l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Haouz.

Table des matières

Dédicace.....	1
Remerciement.....	2
Liste des figures.....	5
Liste des tableaux.....	6
Liste des abréviations.....	8
Introduction.....	9
Chapitre I : cadre général de secteur d'étude.....	11
I. Présentation de l'ORMVAH.....	12
1. Missions de l'ORMVAH.....	12
2. Structure de l'ORMVAH.....	12
3. Zone d'action de l'ORMVAH.....	13
3.1. Caractéristique géographique.....	13
3.2. Caractéristique climatique.....	14
3.3. Ressources naturelles.....	14
Chapitre II : l'irrigation au Maroc.....	17
I. Situation de l'irrigation au Maroc.....	18
1. La Grande Hydraulique (GH).....	19
2. La petite et moyenne hydraulique (PMH).....	19
3. L'irrigation privée (IP).....	19
II. Les différentes techniques d'irrigation.....	20
1. La technique d'irrigation gravitaire.....	20
2. L'irrigation par aspersion.....	24
3. L'irrigation par goutte à goutte.....	25
III. Les impacts des systèmes d'irrigation.....	26
1. L'irrigation gravitaire.....	26
2. L'irrigation par aspersion.....	27
3. L'irrigation par goutte à goutte.....	27
IV. Caractéristiques des périmètres d'irrigation à l'ORMVAH.....	28
1. Périmètre de la Tassaout Amont.....	28
2. Périmètre de la Tassaout Aval.....	28
Chapitre III : Le périmètre irrigué de Tassaout amont et secteur de TAOURIRT.....	30
I. Les sous-secteurs d'irrigation de la Tassaout amont.....	34
II. Présentation de la zone d'étude.....	35
1. Situation géographique.....	35

2.	Le climat	36
3.	Ressources en eau	38
4.	La géologie de la zone d'étude	40
5.	Occupation du sol	41
III.	Situation actuelle de l'irrigation du Tassaout amont secteur Taourirt.....	41
1.	Présentation du système d'alimentation et d'adduction du périmètre de la Tessaout Amont	41
IV.	Projet de la reconversion à l'irrigation localisée	42
1.	Le Programme National d'Economie d'Eau d'Irrigation (PNEEI).....	42
2.	Les contraintes liées au projet de reconversion à l'irrigation localisée	44
	Chapitre IV : analyse des eaux et des sols du secteur de TAOURIRT	45
I	Analyse des eaux et des sols	46
1.	Analyses du sol.....	47
2.	Méthodologie de travail	47
2.	Analyse des eaux.....	51
II.	Interprétation des résultats des analyses des sols	52
1.	Le potentiel Hydrogène (pH).....	52
2.	Salinité des sols par conductivité électrique.....	53
3.	La matière organique	54
III.	Interprétation des résultats des eaux souterraines.....	55
1.	Potentiel d'hydrogène	55
2.	La conductivité électrique.....	56
3.	Nitrate.....	58
IV.	Interprétation des résultats des eaux de surface.....	60
1.	Potentiel d'hydrogène	60
2.	La conductivité électrique :	60
3.	La matière en suspension.....	61
4.	Le bilan ionique :	62
	Conclusion.....	64
	Bibliographie.....	65
	Webographie.....	67
	Annexes	68

Liste des figures

Figure 1: Position géographique et périmètre irrigués du Haouz	13
Figure 2: Schéma des ressources en terre dans la zone d'action de l'ORMVAH	15
Figure 3: Carte du niveau piézométrique de la nappe du Haouz (Abourida 2007)	16
Figure 4: Développement de l'irrigation au Maroc (ANAFID 2011).....	18
Figure 5 : Les différents systèmes d'irrigation	20
Figure 6: Irrigation par planche (AZOUGGAGH 2001).....	21
Figure 7: Irrigation par bassin (AZOUGGAGH 2001)	21
Figure 8: Irrigation par siphon (AZOUGGAGH 2001).....	22
Figure 9: Photo et schéma d'irrigation par rampe à vannettes (AZOUGGAGH 2001).....	23
Figure 10: Photo et schéma d'irrigation par gaine souple (AZOUGGAGH 2001).....	23
Figure 11: Schéma de la transirrigation (AZOUGGAGH 2001)	24
Figure 12: Irrigation par aspersion (AZOUGGAGH 2001)	25
Figure 13: Irrigation par goutte à goutte (AZOUGGAGH 2001)	26
Figure 14: Carte de localisation de TAOURIRT par rapport au Tassaout amont	35
Figure 15: Précipitations annuelles à la station de SIDI RAHAL de 1967 à 2016	36
Figure 16: Précipitations moyennes mensuelles (mm) à la station de SIDI RAHAL	37
Figure 17: Précipitations saisonnières à la station SIDI RAHAL	37
Figure 18: Variation mensuelle des températures à la station du ATTAOUIA (ORMVAH 2006)	38
Figure 19: Variation mensuelle des évapotranspirations à la station de ATTAOUIA (ORMVAH 2006)	38
Figure 20: Carte de la nappe Haouz qui alimente le Tassaout amont (ORMVAH 2010)	40
Figure 21: Carte géologique de la plaine d'El Haouz de Marrakech	40
Figure 22: Occupation des plantations dans la région du Tassaout amont.....	41
Figure 23: Coordonnées Lambert des points de prélèvements des échantillons du sol dans le périmètre de TAOURIRT	46
Figure 24: Coordonnées Lambert des points de prélèvements des eaux souterraines dans le périmètre de TAOURIRT	46
Figure 25: Coordonnées Lambert des points de prélèvements des eaux de surface sur le périmètre de TAOURIRT	47
Figure 26: L'importance de la matière organique sur le sol.....	50
Figure 27: Variation spatiale du pH des sol dans le secteur de TAOURIRT	52
Figure 28: Variation spatiale de la CE du sol dans le secteur de TAOURIRT	53
Figure 29: Variation des sels solubles dans le sol	54
Figure 30: Variation spatiale de la matière organique du secteur de TAOURIRT	55
Figure 31: Variation spatiale du pH des eaux souterraines dans le secteur de TAOURIRT	56
Figure 32: Variation spatiale de la CE des eaux dans le secteur De TAOURIRT	57
Figure 33: Variation spatiale des sels solubles des eaux souterraines.....	57
Figure 34: Variation spatiale des nitrates des eaux dans le secteur de TAOURIRT	58
Figure 35: Teneur des ions dans l'eau des eaux souterraines.....	59
Figure 36: Variation spatiale du pH des eaux dans le secteur de TAOURIRT	60
Figure 37: Variation spatiale de la conductivité des eaux dans le secteur de TAOURIRT	61
Figure 38: Variation spatiale de MES des eaux dans le secteur de TAOURIRT	62
Figure 39: Teneurs des ions des eaux superficielles.....	63

Liste des tableaux

Tableau 1: structure de l'ORMVAH.....	12
Tableau 2: La situation actuelle de la répartition des superficies irriguées selon le mode d'irrigation .	19
Tableau 3: Les avantages et inconvénients de l'irrigation gravitaire.....	26
Tableau 4: Les avantages et les inconvénients de l'irrigation par aspersion.....	27
Tableau 5: Les avantages et les inconvénients de l'irrigation par goutte à goutte.....	28
Tableau 6: Les surfaces des périmètres irrigués par l'ORMVAH	29
Tableau 7: Découpage des sous-secteurs de Tassaout amont par superficie en ha (ORMVAH).....	34
Tableau 8: Les apports annuels du barrage d'alimentation (ORMVAH 2008)	39
Tableau 9: Préparation des échantillons d'eau pour la titration des ions	51
Tableau 10: Le potentiel d'hydrogène des sols.....	52
Tableau 11: Conductivité électrique et sels solubles du sol	53
Tableau 12: La matière organique du sol	54
Tableau 13: Le potentiel d'hydrogène de l'eau souterraines.....	55
Tableau 14: Conductivité électrique et sels solubles des eaux	56
Tableau 15: Variation spatiale de Nitrate des eaux dans le secteur De TAOURIRT	58
Tableau 16: La teneur en eau des eaux souterraines	59
Tableau 17: Potentiel d'hydrogène des eaux superficielles	60
Tableau 18: Conductivité électrique des eaux superficielles.....	61
Tableau 19: La matière en suspension des eaux superficielles	62
Tableau 20: La teneur en eau des eaux superficielles	63

Liste des photos

Photo 1 : outil de prélèvement (Tarière)

Photo 2 : les 3 horizons du prélèvement du sol.... 48

Liste des abréviations

ANAFID : Association national des améliorations foncières de l'irrigation et du drainage.

CMV : Centre de Mise en Valeur.

CE : Conductivité électrique.

DO : Densité optique.

EDTA : Éthylène diamine tétra acétique.

MES : Matière en suspension.

MO : Matière organique.

ORMVAH : Office Régional de Mise en Valeur Agricole.

pH : Potentiel d'hydrogène.

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

Introduction

L'irrigation agricole est une technique artificielle utilisée sur des terres agricoles, dans le but d'augmenter leurs rendements, surtout quand il y a un manque ou une insuffisance d'eau de pluie. En outre, l'agriculture irriguée consomme environ 70% des ressources mondiales en eau.

L'irrigation permet d'optimiser les rendements des terres agricoles, par contre elle nécessite l'utilisation de grandes quantités d'eau, à travers l'apport de l'eau nécessaire à une forte croissance. L'irrigation est combinée la plupart du temps à un apport d'intrants chimiques (fertilisants...).

Cette technique vise à couvrir le manque d'eau d'origine naturelle (pluie ou nappe phréatique), surtout dans les zones désertiques ou au climat très sec, dans lesquelles les précipitations sont rares.

Au Maroc, l'agriculture consomme entre 80 et 90% des ressources en eau. Les données disponibles montrent que les performances des systèmes d'irrigation actuels sont restées faibles à très moyennes. Les pertes en eau à la parcelle sont de l'ordre de 30 à 40%, en particulier les pertes par percolation. Aussi, l'uniformité des irrigations reste faible, ce qui influe négativement sur la production. La maîtrise de l'utilisation de l'eau d'irrigation devient donc urgente et nécessaire. C'est la raison pour laquelle les offices régionaux de mise en valeur agricoles prennent leurs rôles dans la gestion des eaux d'irrigation, tel que l'ORMVAH.

Cette dernière permet de réaménager la région de TASSEOUT (province El Haouz) qui est notre secteur d'étude afin de rationaliser l'utilisation des eaux d'irrigation, tout en donnant priorité aux zones à irrigation gravitaire. Il faut rappeler que **l'irrigation gravitaire** est une technique ancienne qui est la plus utilisée dans les périmètres irrigués du Maroc. Cette technique utilise énormément d'eau, d'autant plus qu'une grande partie se perd par évaporation. Ainsi, **la reconversion de l'irrigation gravitaire à l'irrigation localisée** devient une priorité nationale en raison de faibles précipitations ces dernières décennies.

L'irrigation localisée, est une technique plus efficace que les agriculteurs ont accueilli favorablement, parce que c'est la méthode la plus fiable qui contribue à une gestion efficace de l'eau et une augmentation du rendement de la récolte.

Le présent travail a pour objectif d'étudier la qualité de l'eau et du sol de la zone de TAOURIRT faisant partie du secteur de TASSEOUT afin de déterminer l'impact de l'irrigation goutte à goutte.

Pour mener à bien nos objectifs, l'étude s'est déroulée en 4 étapes :

- La première étape une étude bibliographique permettant une synthèse de données géographique, géologique et climatologique de la plaine du Haouz oriental.
- La deuxième porte sur le travail sur de terrain et vise à faire le maximum de prélèvements d'eau et de sol. Cette étape à été conduite avec la collaboration de l'ORMVAH.
- La troisième étape est consacrée aux travaux de laboratoire à ORMVAH de Marrakech. Les échantillons prélevés d'eau et du sol sont soumis à une série d'analyses physicochimiques.
- La dernière étape est consacrée à la présentation et l'interprétation des résultats.

Chapitre I : cadre général de secteur d'étude

I. Présentation de l'ORMVAH

L'office régional de la mise en valeur agricole est 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.

1. Missions de l'ORMVAH

Parmi les Missions de l'ORMVAH, on peut citer :

- 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.

2. Structure de l'ORMVAH

L'ORMVAH est composé principalement de deux structures ayant des activités au niveau du siège via différents types de service et sur terrain (tableau 1).

Au niveau du siège	Au niveau du terrain
<ul style="list-style-type: none">• Service des équipements hydro agricoles (SEHA).• Service de la gestion du réseau d'irrigation et de drainage (SGRID).• Service de la production agricole (SPA).• Service de l'élevage (SE).• Service de la vulgarisation et de l'organisation professionnelle (SVOP).• Service de la programmation de la planification (SPP).• Service administratif et financier (SAF).• Service du matériel (SM).• Cellule d'audit interne.	<ul style="list-style-type: none">• 2 Coordinations (Haouz Central et Tessaout).• 21 Centres et sous centres de mise en valeur agricole.• 3 Subdivisions agricoles.• 3 Subdivisions de gestion du réseau d'irrigation.• 2 Centres de gestion et télécontrôle du canal de Rocade et du canal T2.• 4 Secteurs de développement de l'élevage.• 1 Centre des techniques d'irrigation.

Tableau 1: structure de l'ORMVAH

3. Zone d'action de l'ORMVAH

3.1. Caractéristique géographique

La zone d'action de l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Haouz, s'étend sur la Wilaya de Marrakech, la province d'El Keleaa des Sraghna, ainsi que sur 10 km² environ de la Province d'Azilal, a une superficie totale de près de 7 000 km². Les terres agricoles représentent environ les deux tiers de cette superficie (470000ha). Les terres irriguées (310 000ha environ) sont réparties en deux grandes zones, le Haouz central au Sud-ouest, et la Tassaout (Amont et Aval) au Nord-Est (Figure1).

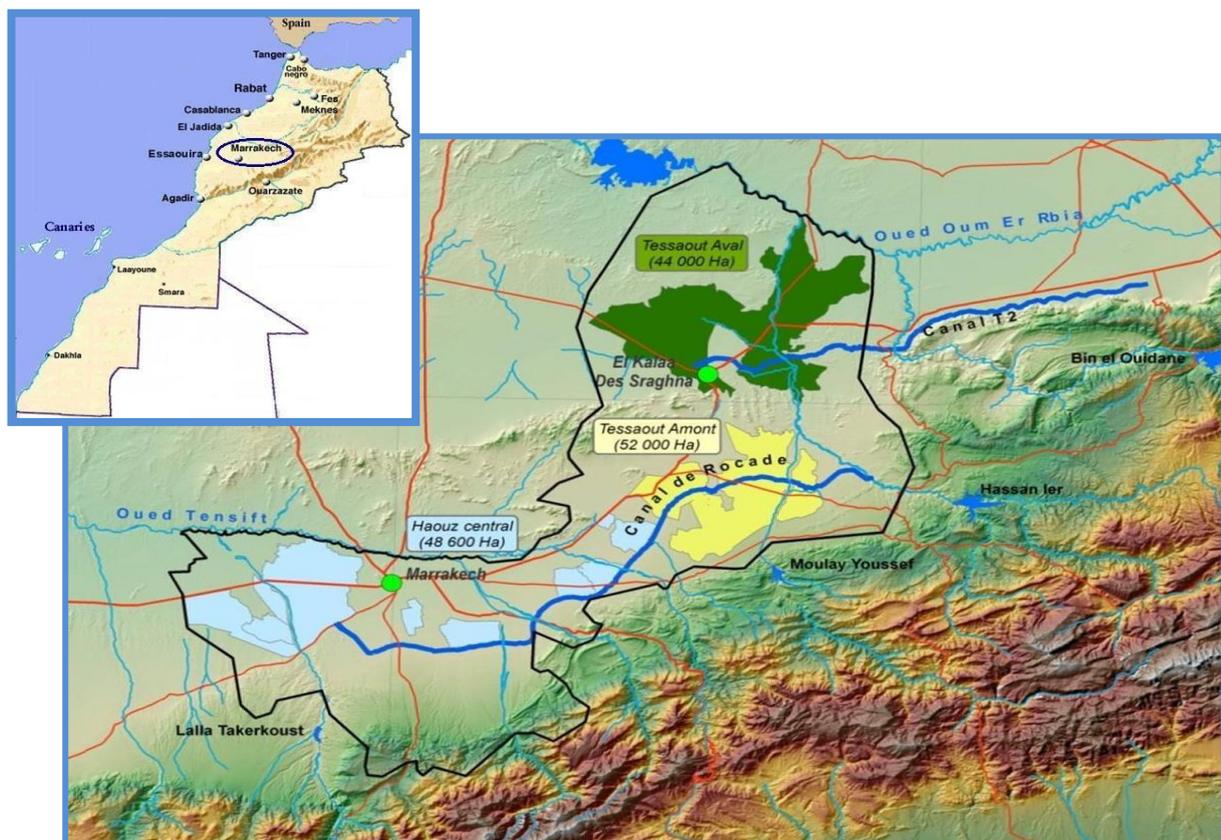


Figure 1: Position géographique et périmètre irrigués du Haouz

3.2. Caractéristique climatique

Le climat méditerranéen du Haouz, chaud et sec, de type continental, est classé à la limite du semi-aride et aride.

Il est caractérisé par :

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

3.3. Ressources naturelles

➤ *Les ressources en terre et pédologie :*

L'ORMVAH exploite une surface totale de 6630000ha, avec une superficie utile pour l'agriculture d'ordre de 473000 ha, dont la partie irriguée atteint 273000 ha (GI=144600ha, PMI =128400 ha), et une superficie assez importante de l'ordre de 533900ha occupée par des forêts, des Bruns et des Parcours.

Une dernière étude pédologique a été réalisée en 1951, au niveau de toute la plaine du Haouz. Elle a révélé la présence de quatre types de sol de différente nature : Rouge, gris, Châtain et bruns. Leur texture est généralement limono-argileuse, limoneuse et limono- sableuse.

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 (Figure 2).

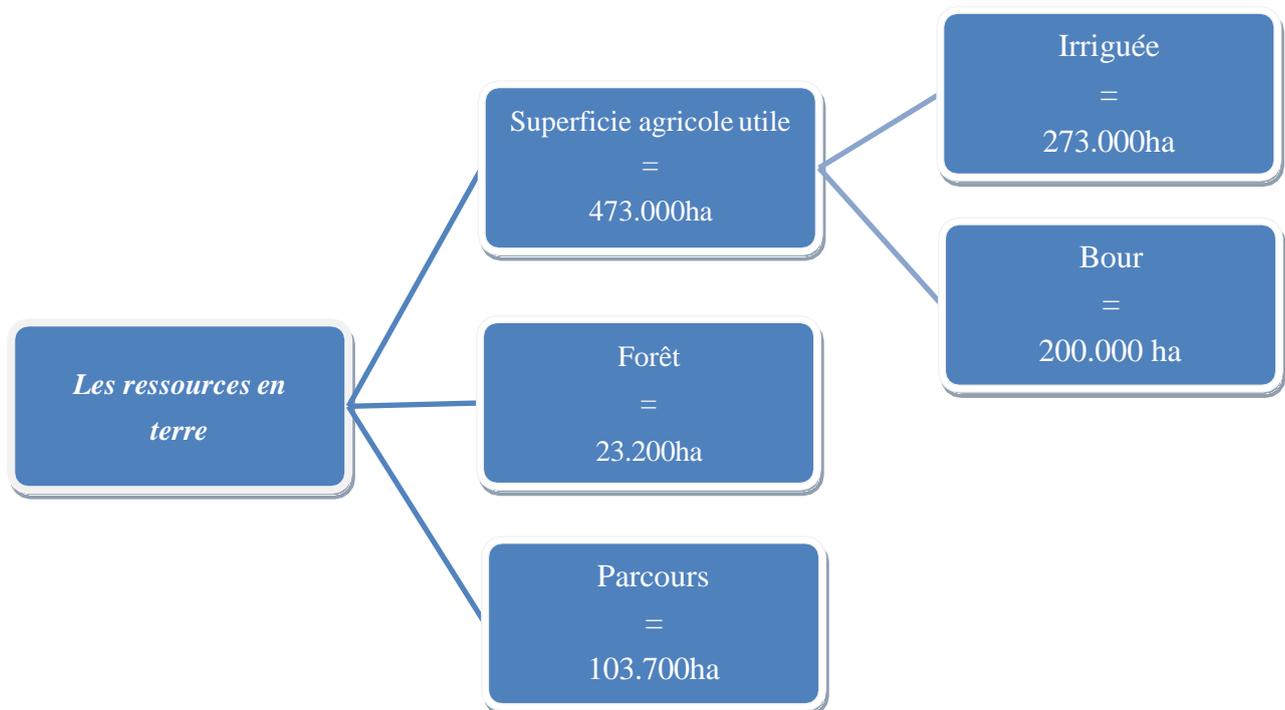


Figure 2 : Schéma des ressources en terre dans la zone d'action de l'ORMVAH

➤ **Les ressources en eau :**

Les ressources en eau mobilisées pour l'irrigation sont constituées essentiellement :

▪ **Des eaux superficielles :**

Le réseau hydrographique du Haouz est composé d'une multitude de cours d'eau qui s'organisent en deux systèmes : les affluents de l'Oum Er Rabiaa et ceux du Tensift. Celui-ci reçoit 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 en dernier lieu par le barrage de Yaakoub Mansour (ORMVAH 2010).

▪ Des eaux souterraines :

La quantité globale des eaux souterraines occupe un volume important de 270 millions m³ et est répartie sur deux zones : celle de Tassaout (65 millions m³) et celle du Haouz central (205 millions m³). Ce dernier est caractérisé par trois nappes :

- ❖ La nappe de la Tassaout aval
- ❖ La nappe de la Bahira
- ❖ La nappe du Haouz

Ce qui nous intéresse est la nappe phréatique du Haouz parce qu'elle englobe tout le Haouz Central et une grande partie du Tassaout amont. Elle est considérée comme l'une des plus grandes nappes du Maroc. Sa superficie est de 6000 km² (Latitude : Nord 32°, Longitude : Est 8°). Elle est alimentée principalement par l'infiltration des Oueds, les pertes des Seguias dans les zones irriguées traditionnellement et par infiltration des eaux de pluies à travers les formations jurassiques (calcaire et dolomie) du Haut Atlas.

Cette nappe fournit au Haouz central, un volume mobilisable annuel estimé à 173 Mm³ destiné à l'irrigation des périmètres agricoles.

Cependant, cette nappe souffre du problème de baisse du niveau piézométrique ces dernières années, suite à la sécheresse et à la surexploitation de la nappe d'environ 10162 unités dans toute la plaine du Haouz. (RESING, 2006). (Figure3)

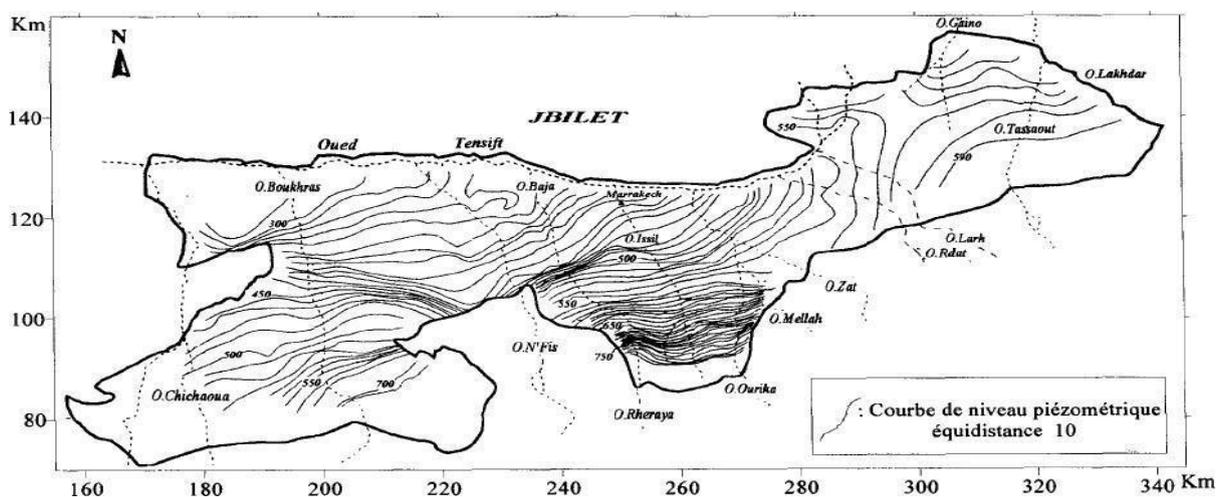


Figure 3: Carte du niveau piézométrique de la nappe du Haouz (Abourida 2007)

Chapitre II : l'irrigation au Maroc

I. Situation de l'irrigation au Maroc

Les efforts consentis par l'Etat et par les agriculteurs depuis les années 1960 pour développer l'agriculture irriguée, ont permis d'atteindre le million d'hectares irrigués 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, 23% en petite et moyenne hydraulique et 30% en irrigation privée. Le Maroc dispose actuellement d'un important patrimoine hydro agricole et jouit d'une place importante à l'échelle internationale en matière de politique de gestion de l'eau notamment en agriculture.

En outre, au Maroc, l'agriculture consomme entre 80 et 90% des ressources en eau. Les performances des systèmes d'irrigation actuelles sont restées faibles à très moyennes. Les pertes en eau à la parcelle sont de l'ordre de 30 à 40%, en particulier les pertes par percolation. Aussi, l'uniformité des irrigations reste-t-elle faible. Ce qui influe négativement sur la production. La maîtrise de l'utilisation de l'eau d'irrigation devient donc urgente et vitale (Figure 4).

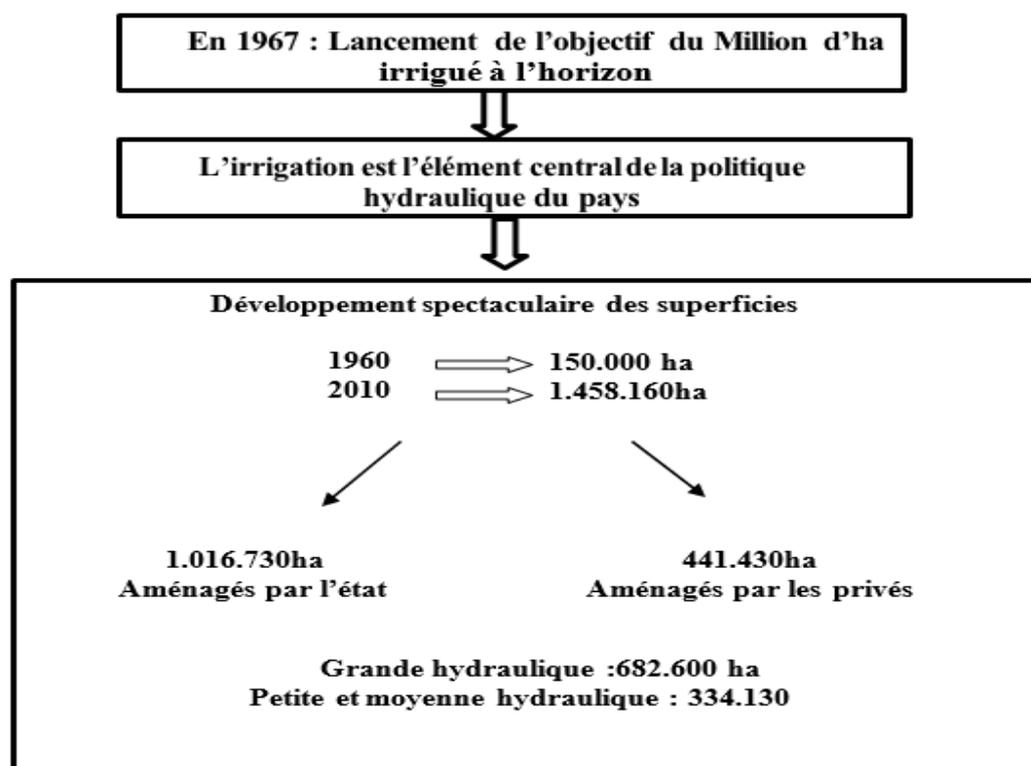


Figure 4 : Développement de l'irrigation au Maroc (ANAFID 2011)

La situation actuelle de la répartition des superficies irriguées selon le mode d'irrigation (tableau 2) :

Irrigation de surface	1.078.922 ha	74 %
Irrigation par aspersion	129.632 ha	9 %
Localisée	249.605 ha	17%

Tableau 2: La situation actuelle de la répartition des superficies irriguées selon le mode d'irrigation

La politique d'intervention de l'Etat dans le secteur de l'agriculture irriguée se présente sous forme de trois types d'irrigation représentant 3 sous- secteurs :

1. La Grande Hydraulique (GH)

Le grand hydraulique est caractérisé par des ouvrages de mobilisation des eaux importantes (barrages, canaux, adducteurs, réseaux) qui permettent un contrôle de l'eau et imposent un aménagement et une gestion coordonnés des ressources sur de vastes ensembles.

2. La petite et moyenne hydraulique (PMH)

La PMH comprend tous les périmètres irrigués de taille petite à moyenne répartis sur la totalité du territoire national et alimentés par des ressources en eau plus ou moins régulières, allant des épandages des eaux de crues, jusqu'aux périmètres alimentés par des ressources en eau pérennes (source, dérivation d'oued, barrage...).

3. L'irrigation privée (IP)

Elle comprend tous les aménagements individuels pour l'irrigation réalisés à l'initiative privée des agriculteurs, pouvant aller d'un aménagement rudimentaire à partir d'un puits pour irriguer parfois moins d'un hectare à un aménagement moderne de grande taille de plusieurs centaines d'hectares.

II. Les différentes techniques d'irrigation

On peut citer plusieurs types de techniques d'irrigation, comme suit : (Figure5)

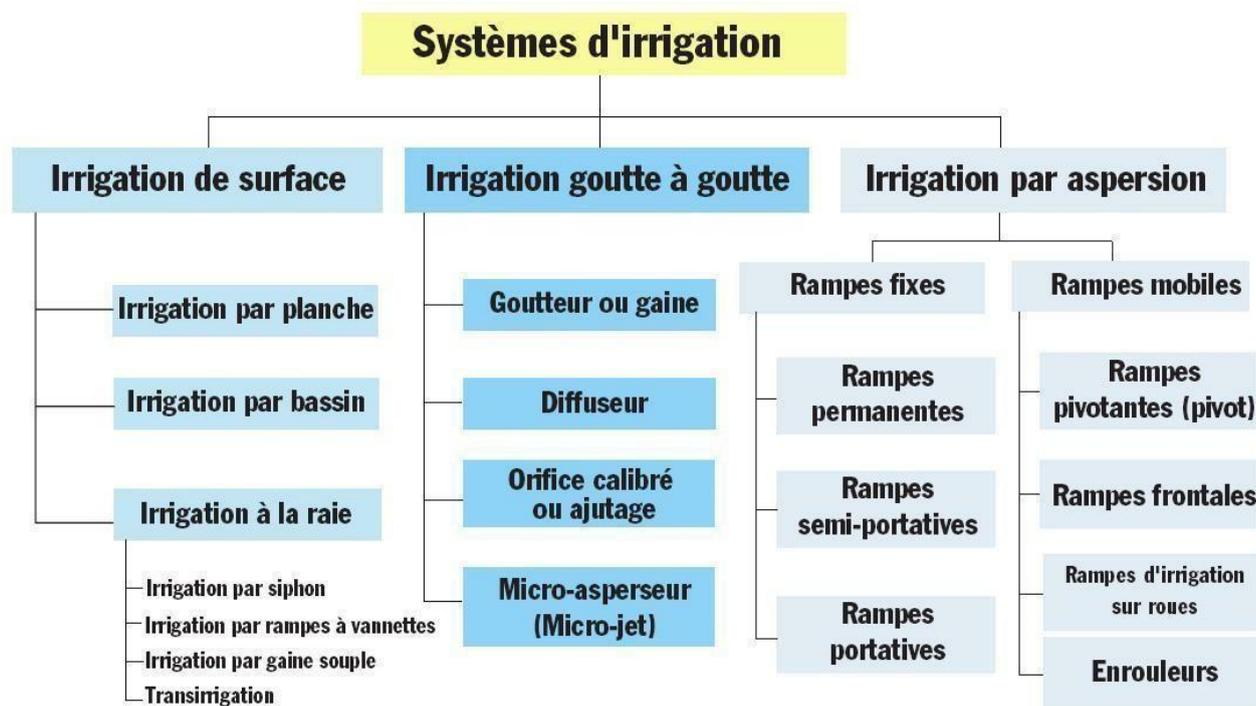


Figure 5 : Les différents systèmes d'irrigation

1. La technique d'irrigation gravitaire

Ce système consiste à répartir l'eau sur la parcelle cultivée par ruissellement sur le sol dans les sillons ou en nappe ou encore par submersion contrôlée. Ce type d'irrigation utilise énormément d'eau, d'autant plus qu'une grande partie se perd par évaporation.

C'est le mode le plus utilisé dans les périmètres irrigués dans le monde, au Maroc plus de 93% de la superficie de la grande hydraulique est irriguée par une technique traditionnelle appelée « Robta ».

- **Les types d'irrigation gravitaire** : Dans l'irrigation gravitaire, il y a plusieurs types d'irrigation dont les trois suivants sont les plus connus : l'irrigation à la raie, l'irrigation par planche ainsi que l'irrigation par bassin.

- L'irrigation par planche :

C'est l'apport d'eau par ruissellement sur des longues parcelles en pente et rectangulaire inclinée de 0,2 à 3% avec des conditions de drainage à l'extrémité basse du

champ. Les planches sont disposées dans le sens de la plus grande pente Cette méthode est de loin la plus difficile car il faut ajuster le débit d'irrigation de chaque planche avec toutes les autres variables. (Figure 6)



Figure 6: Irrigation par planche (AZOUGGAGH 2001)

- *L'irrigation par bassin :*

C'est la plus connue dans l'irrigation gravitaire. Sa pratique sur un sol nivelé (pente 0,1 à 1%) ainsi que la simplicité de l'opération, qui consiste à remplir le bassin, font que cette technique est fréquemment utilisée. Dans plusieurs régions du Maroc, la taille des bassins est de 40 à 50 m² et cette technique est connue sous le nom "Robta". Cette dernière occasionne une perte importante de superficie, due au nombre important de cloisonnements. (Figure7)



Figure 7 : Irrigation par bassin (AZOUGGAGH 2001)

- ***L'irrigation à la raie :***

Il s'agit des raies de taille est variables. Elles peuvent être placées dans le sens de la pente ou selon les courbes de niveau. L'irrigation à la raie permet de gérer l'eau avec plus de flexibilité. Le débit unitaire est considérablement réduit et cette technique peut être pratiquée avec des pentes allant jusqu'à 12% si les raies sont placées selon les courbes de niveau avec un débit dimensionné pour être non érosif. Si les raies ne sont pas disposées selon les courbes de niveau, la pente maximale recommandée est de 3% ou moins. Cette technique peut exister selon différents mécanismes parmi ces derniers on cite : l'irrigation par siphon, par rampe à vannettes, par gaine souple par trans-irrigation et Le système californien.

- ***Irrigation par siphon :***

Ce type d'irrigation est d'un intérêt certain car il permet d'éviter la construction d'une "séguia" d'amenée, et donc tous les travaux liés à la distribution. Il permet également de réduire l'érosion du sol à la tête de la raie. Par ailleurs, l'irrigation par siphon permet une bonne répartition de l'eau et présente un avantage du fait que l'investissement est faible (Figure 8).

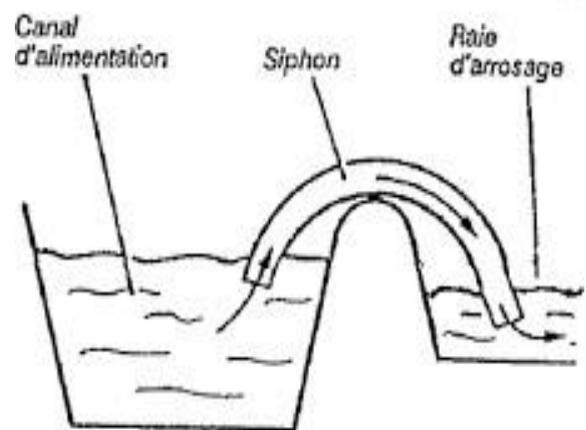


Figure 8 : Irrigation par siphon (AZOUGGAGH 2001)

- ***Irrigation par rampe à vannettes :***

Ce type de matériel correspond mieux aux cultures irriguées à la raie et qui nécessitent peu d'interventions sur la parcelle. L'avantage réside dans la possibilité de réglage du débit par des vannettes coulissantes ; qui offrent des positions d'ouverture de 25, 50, 75 et 100% (Figure 9).

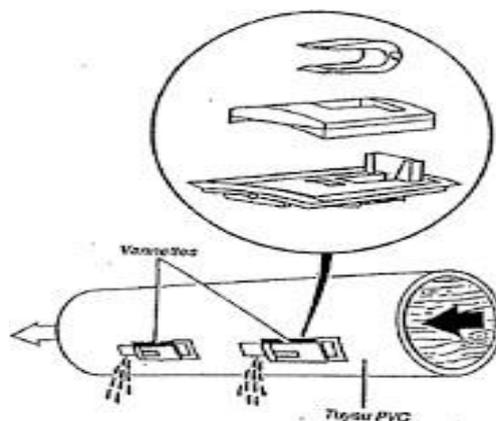


Figure 9 : Photo et schéma d'irrigation par rampe à vannettes (AZOUGGAGH 2001)

- Irrigation par gaine souple :

Ce type d'irrigation, ayant une charge de 0,4 à 1 m, convient mieux pour un sol relativement plat. Les débits de dérivation sont de l'ordre de 2 l/s. Les gaines sont facilement installées sur le terrain et demandent un investissement modeste.

Les gaines ne peuvent en aucun cas être utilisées pour élever l'eau et leurs extrémités restent ouvertes sous peine de destruction par une surpression. Les extrémités doivent donc être posées sur des objets d'une hauteur d'environ 1m (Figure 10).

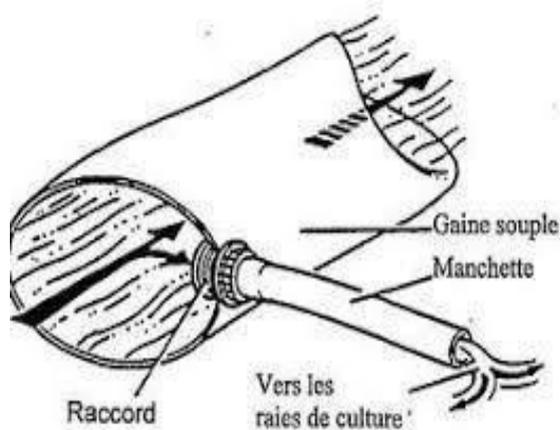


Figure 10 : Photo et schéma d'irrigation par gaine souple (AZOUGGAGH 2001)

- Transirrigation :

La transirrigation de surface ou souterraine convient parfaitement à l'irrigation de la raie. Une conduite en PVC rigide de diamètre 250 mm et d'épaisseur 4,9 mm est installée suivant une inclinaison régulière variant entre 0,25 et 0,6 % sur laquelle sont percés des orifices bien alignés et formant un angle de 30° par rapport à la verticale. Le diamètre des orifices est fonction du débit. L'ensemble du système n'est pas sous

pression mais la charge au niveau de chaque orifice est créée par le déplacement d'un piston placé à l'intérieur de la conduite (Figure 11).

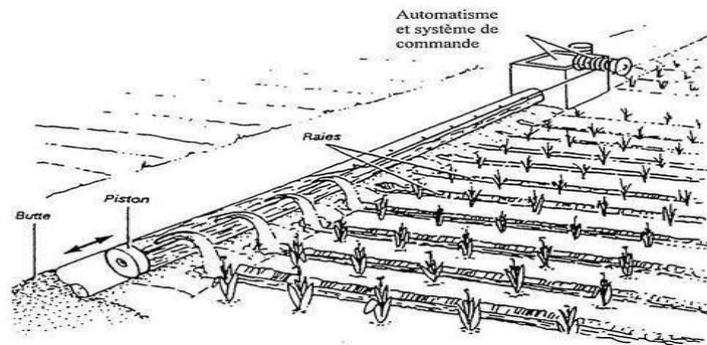


Figure 11: Schéma de la transirrigation (AZOUGGAGH 2001)

2. L'irrigation par aspersion

La technique d'irrigation par aspersion est conçue sur le modèle de la pluie naturelle. L'eau est refoulée sous pression dans un réseau de conduites, ensuite elle est diffusée par des asperseurs rotatifs sous la forme d'une pluie artificielle.

➤ Il existe deux grandes catégories d'arrosage par aspersion en fonction du matériel utilisé :

- Les rampes mobiles
- Les rampes fixes

Avec l'aspersion, l'eau d'irrigation est amenée aux plantes sous forme de pluie artificielle, grâce à l'utilisation d'appareils d'aspersion alimentés en eau sous pression.

➤ L'irrigation par aspersion est recommandée dans les cas suivants :

- Sols de faible profondeur, ne pouvant être correctement nivelés pour une irrigation de surface, tout en conservant une profondeur suffisante.
- Sols trop perméables, qui ne permettent pas une répartition uniforme de l'eau dans le cadre d'une irrigation avec ruissellement en surface.
- Terrains à pente irrégulière avec microrelief accidenté, ne permettant pas l'établissement d'une desserte gravitaire à surface libre (Figure 12).



Figure 12 : Irrigation par aspersion (AZOUGGAGH 2001)

3. L'irrigation par goutte à goutte

L'irrigation goutte à goutte consiste à apporter régulièrement et de façon localisée au niveau des racines, la juste quantité d'eau dont la plante a besoin. Les plus utilisés sont les goutteurs intégrés, les boutons et de moins en moins les goutteurs en ligne. Ces trois types de goutteurs sont des organes de distribution, dont la conception particulière permet de délivrer l'eau à faible débit, dans des conditions de régime turbulent. Ces différents goutteurs existent sous une forme autorégulant.

Un système d'irrigation goutte à goutte comprend :

- Une pompe.
- Un système de filtration.
- Un indicateur de débit.
- Un ou plusieurs régulateurs de pression.
- Des tuyaux d'alimentation principale pour pouvoir rouler par-dessus.
- Des tuyaux d'alimentation secondaires.
- Des tuyaux perforés (ou des tuyaux avec goutteurs).
- Une unité d'injection pour la fertigation qui peut être ajoutée car des engrais utilisables en agriculture biologique pour la fertigation sont maintenant disponibles.
- Des raccords qui permettent de réparer une fuite (Figure13).



Figure 13 : Irrigation par goutte à goutte (AZOUGGAGH 2001)

Les types d’irrigation par goutte à goutte :

- ❖ Irrigation par goutteurs ou gaine.
- ❖ Irrigation par diffuseur.
- ❖ Irrigation par orifice calibré.
- ❖ Irrigation par micro asperseur ou micro jet.

III. Les impacts des systèmes d’irrigation

Les avantages et les inconvénients de chaque type d’irrigation sont résumés sous forme de tableaux (tableaux 3,4 et 5).

1. L’irrigation gravitaire

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Les coûts d’investissement sont souvent relativement faibles. • Les besoins énergétiques sont faibles ou nuls. • Techniques sont anciennes, bien connues éprouvées et sont insensibles au vent. • Contribution à l’alimentation des nappes phréatiques. 	<ul style="list-style-type: none"> • Besoin en main d’œuvre important. • Techniques inadaptées sur des sols filtrants, pertes d’eau (et parfois des vols) dans les canaux selon la nature du sol. • Nécessité d’un terrain plat ou un nivellement • Pollution possible par déversement.

Tableau 3: Les avantages et inconvénients de l’irrigation gravitaire

2. L'irrigation par aspersion

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">• Tout nivellement de sol est supprimé.• La seule méthode permettant d'arroser convenablement, les sols trop perméables pour être irrigués par ruissellement.• Elle permet un dosage précis, d'où une économie d'eau.• L'eau pulvérisée est plus oxygénée.• L'arrosage antigel est possible.• Economie de main d'œuvre	<ul style="list-style-type: none">• Le coût élevé des installations.• La mauvaise répartition de l'eau dans les régions ventées• Le mouillage des feuilles.• Développement des mauvaises herbes.

Tableau 4: Les avantages et les inconvénients de l'irrigation par aspersion

3. L'irrigation par goutte à goutte

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">• Contrôle précis des quantités d'eau apportées : à condition que l'installation soit bien dimensionnée.• Insensibilité au vent.• La distribution dans le champ est uniforme, L'eau est apportée directement à l'endroit nécessaire, au niveau des racines.• Possibilité d'apporter et fractionner.• Les engrais directement par le réseau d'irrigation.	<ul style="list-style-type: none">• Coût initial plus élevé.• Nécessité de filtrer l'eau pour minimiser le risque de colmatage.• Prise en compte limitée des pluies.• Traitement préventif contre l'intrusion des racines à l'intérieur des goutteurs.

Tableau 5: Les avantages et les inconvénients de l'irrigation par goutte à goutte

IV. Caractéristiques des périmètres d'irrigation à l'ORMVAH

La zone d'action de l'ORMVAH dispose de trois grands périmètres irrigués :

1. Périmètre de la Tassaout Amont

Le périmètre de la Tassaout amont est le premier des aménagements de "grande hydraulique" moderne du Haouz, et ses secteurs ont été mis en service entre 1969 et 1978. Il représente 52000 ha, irrigués à partir de l'eau de l'oued Tassaout, régularisé par le barrage Moulay Youssef (250 millions de m³/an). 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. Des prélèvements sont effectués en cours par des séguias. L'irrigation dans la Tassaout amont est à 100% gravitaire.

Le mode d'irrigation pratiqué par les agriculteurs est appelé localement la « Robta ». Ce mode consiste à laisser déborder la séguias, l'eau avance et inonde la parcelle. Cette méthode engendre la dégradation du nivellement et un gaspillage d'eau qui à son tour aboutit à un mauvais drainage qui cause la salinisation et l'alcalinisation des sols.

2. Périmètre de la Tassaout Aval

Le périmètre de la Tassaout aval est situé dans la province d'EL Kalaa des Sraghna, de part et d'autre de l'oued Tassaout. Il s'étale sur une superficie brute de 72000Ha du 44000Ha aménagés et irrigués gravitairement.

La Tassaout aval est subdivisée en deux unités hydrauliques :

- La zone située à l'amont du canal T2 (6500ha) bénéficie de l'eau des oueds Lakhdar et Tassaout, régularisés par les barrages Hassan premier et Moulay Youssef (46millions de m³/an).
- La zone à l'aval du canal T2 (37500ha) est alimentée par un transfert via le canal GM du Tadla et le canal T2de l'eau de l'oued EL Abid régularisé à Bin El Ouidane

(235millions de m³/an).

3. Périmètre du Haouz central

On peut distinguer, dans le Haouz central :

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

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) Tableau 6.

Périmètre	Superficie en (Ha)	Nombre de clients	Lin. réseaux D'irrigation en (km)
Haouz Central	48600	10000	1000
Tassaout Amont	52000	19500	950
Tassaout Aval	44000	33000	520
Total	<u>144600</u>	<u>62500</u>	<u>2470</u>

Tableau 6: Les surfaces des périmètres irrigués par l'ORMVAH

Chapitre III : Le périmètre irrigué de Tassaout amont et secteur de TAOURIRT

I. Les sous-secteurs d'irrigation de la Tassaout amont

Le périmètre de la Tassaout Amont est situé 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. Il se situe à 70 Kilomètres à l'Est de Marrakech.

Le secteur Tassaout amont qui présente une superficie équipée de 28925ha est découpé en 9 sous- secteurs hydrauliques ou d'irrigation, parmi eux notre secteur d'étude taourirt, qui a une superficie équipée de 2423 ha par un système d'irrigation « gravitaire remembré » et qui est mis en service depuis 1976 (Tableau 7).

Secteurs	Sous-secteurs	Superficie équipée (ha)	Type d'aménagement	Date de mise en service
Tassaout amon	SAHRIJ	6639	Gravitaire remembré	1970
	ATTAOUIA	3528		1973- 1977
	JOUALA	1314		1972
	FREITA	3211		1972- 1977
	OULED GAID	3888		1977
	BOUIDA	4490		1973
	OULED SAID	2906		1975
	SKHIRAT	526		1975
	<u>TAOURIRT</u>	<u>2423</u>		<u>1976</u>
	TOTAL	28925		

Tableau 7 : Découpage des sous-secteurs de Tassaout amont par superficie en ha (ORMVAH)

II. Présentation de la zone d'étude

1. Situation géographique

Le secteur d'étude de taourirt est un secteur de projet de conversion de système d'irrigation, faisant partie de la zone irriguée du périmètre de Tassaout amont.

Se situe à environ 59,86 km de la ville du Marrakech à la longitude 7 25' et la latitude 51 50' province Kalaat Sraghna région Marrakech Safi.

La Tassaout amont bénéficie d'un volume d'eau annuel de 250 millions de m³, prélevé gravitairement à partir de l'Oued Tassaout. Ce volume est régularisé par le barrage Moulay Youssef (Figure 14).

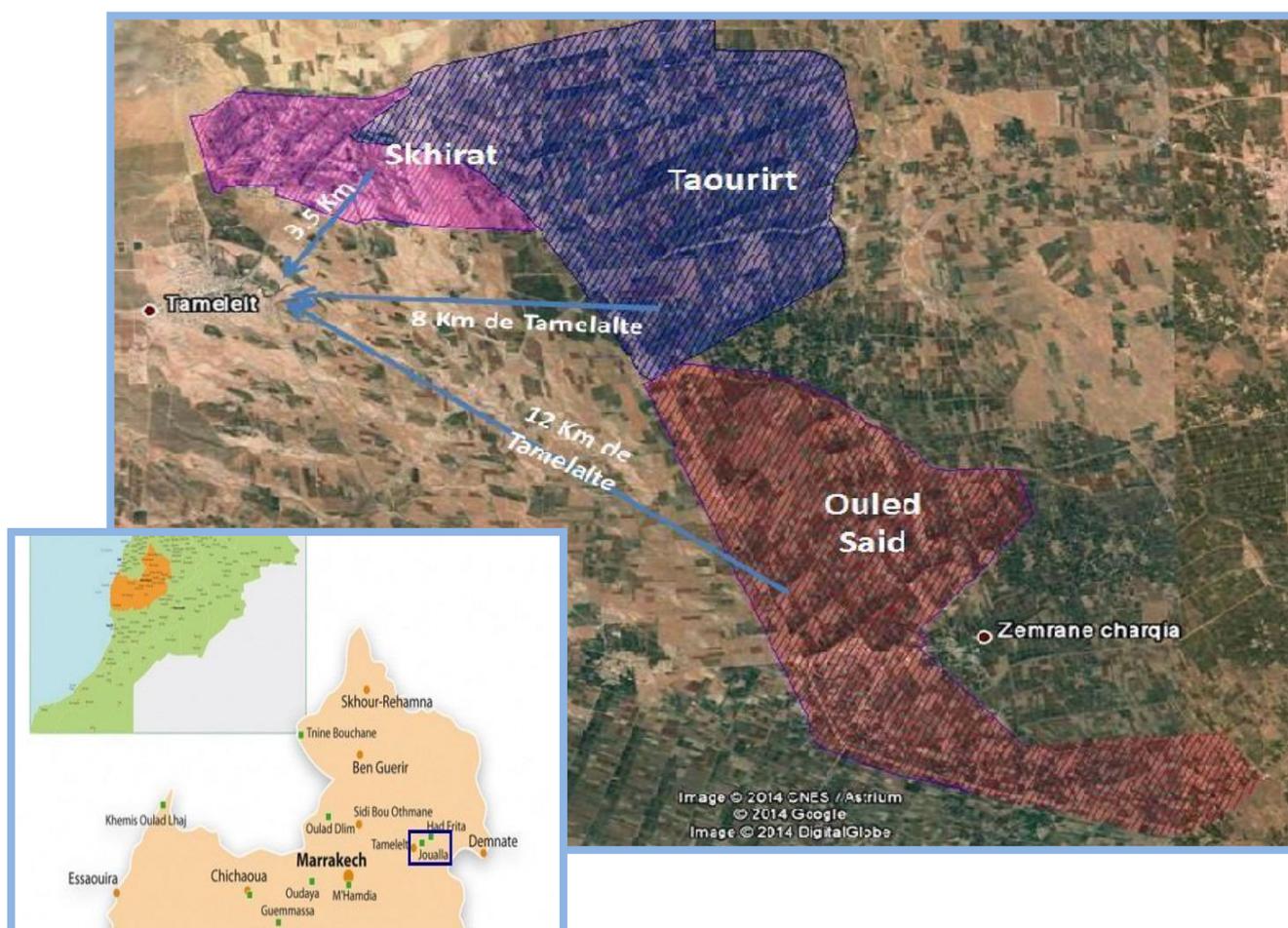


Figure 14: Carte de localisation de TAOURIRT par rapport au Tassaout amont

2. Le climat

➤ La précipitation

Le climat du secteur Tassaout amont est de type continental, classée à la limite du semi- aride et de l'aride. La précipitation : Les données météorologiques adoptées sont celles de la station Sidi Rahal, ces données concernent la période d'observation de 1967 à 2016.

La figure présente les variations des précipitations de l'année 1967 à 2016. On constate une répartition annuelle irrégulière des précipitations, on a des années sèches (exemple :1991-1992) et des autres années humides (exemple :1995-1996). Les précipitations annuelles moyennes sont de l'ordre de 270,5 mm (Figure 15).

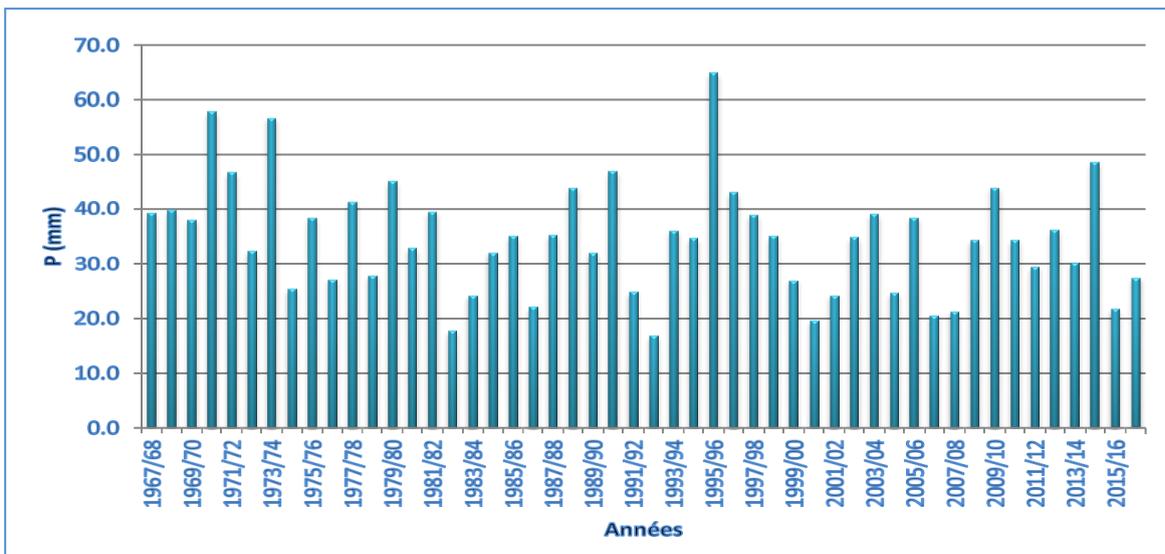


Figure 15 : Précipitations annuelles à la station de SIDI RAHAL de 1967 à 2016

La variation mensuelle des précipitations à la station de Sidi Rahal présente un maximum aux mois de novembre (50,6mm), de mars (48,5mm) et de janvier (45,2mm). On a deux périodes pluviométriques, La 1 ère période présente une saison humide qui dure pendant 7 mois du mois octobre au mois avril. Avec une moyenne des précipitations mensuelles de 42,47mm, la 2eme période est beaucoup plus sèche avec une moyenne de précipitations 10,44mm pour les mois de mai à septembre.

L'histogramme présent une série monomodale avec un maximum de 50,6 mm dans le mois de novembre (Figure 16).

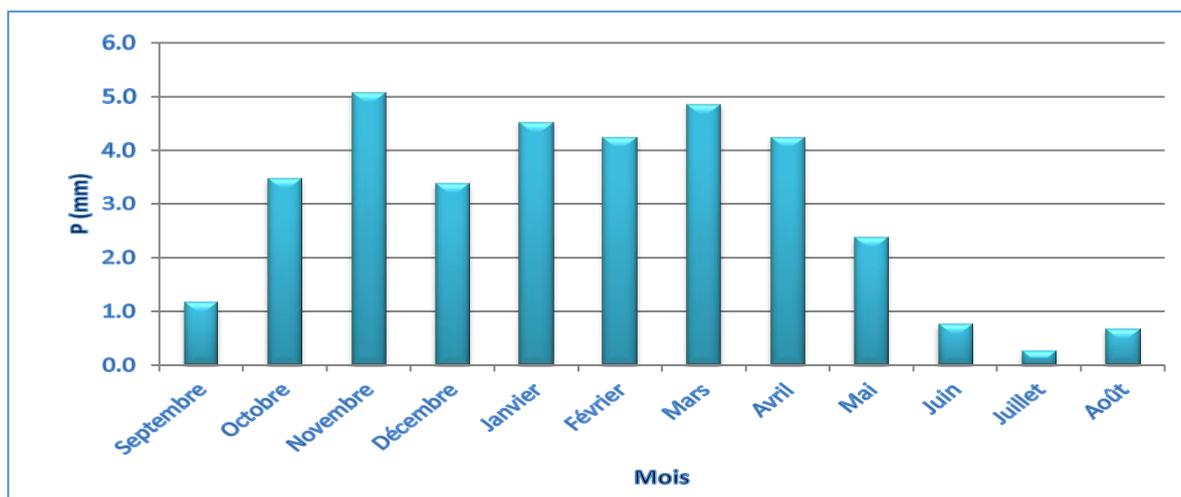


Figure 16: Précipitations moyennes mensuelles (mm) à la station de SIDI RAHAL

La figure présente les variations des précipitations saisonnières. On constate que la période hivernale et la période printanière sont caractérisées par une grande précipitation, alors que la période d’automne est moyennement grande, par contre la période d’été est une période très sèche (Figure 17).

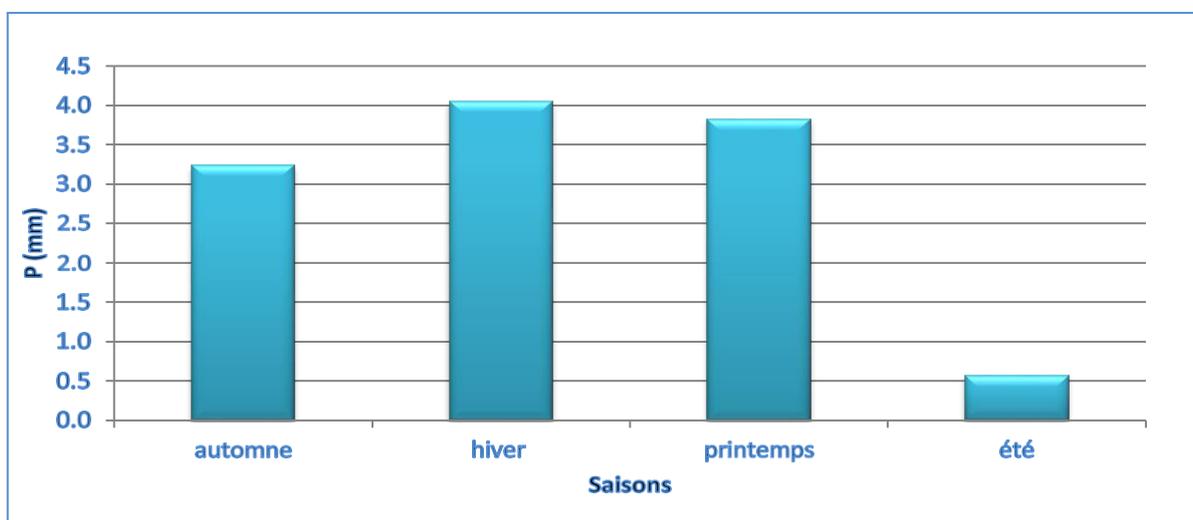


Figure 17 : Précipitations saisonnières à la station SIDI RAHAL

➤ **La température :**

Sur le plan thermique, les températures estivales sont assez élevées avec une moyenne de 25,9° C pendant les mois de juin, juillet et août, et celles de la saison hivernale sont assez basses (10,8 °C en moyenne pour les mois de décembre, janvier et février). Les amplitudes thermiques sont très élevées 17,2° C : le mois le plus frais est de 9,6°C en janvier et le mois le plus chaud est de 26,8 en juillet. Les écarts thermiques journaliers sont également importants. Ceci illustre un climat à tendance continentale (Figure18).

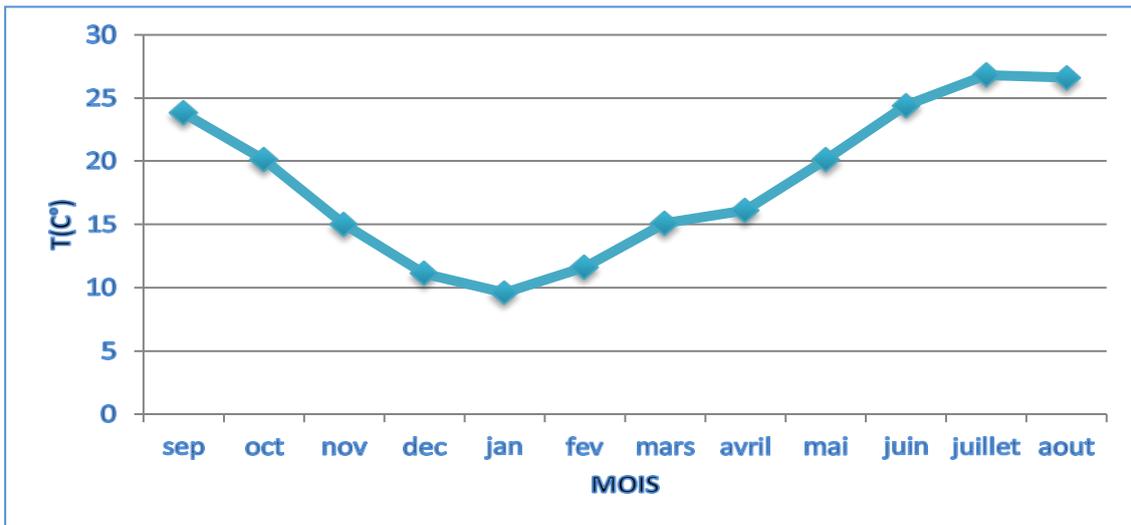


Figure 18: Variation mensuelle des températures à la station du ATTAOUIA (ORMVAH 2006)

➤ **Evapotranspiration :**

Au niveau de l'évapotranspiration le mois le plus chaud subit une grande évapotranspiration (juillet 209,9mm), le mois le plus froid (janvier) subit une faible évapotranspiration 50,3 mm. (Figure 19)

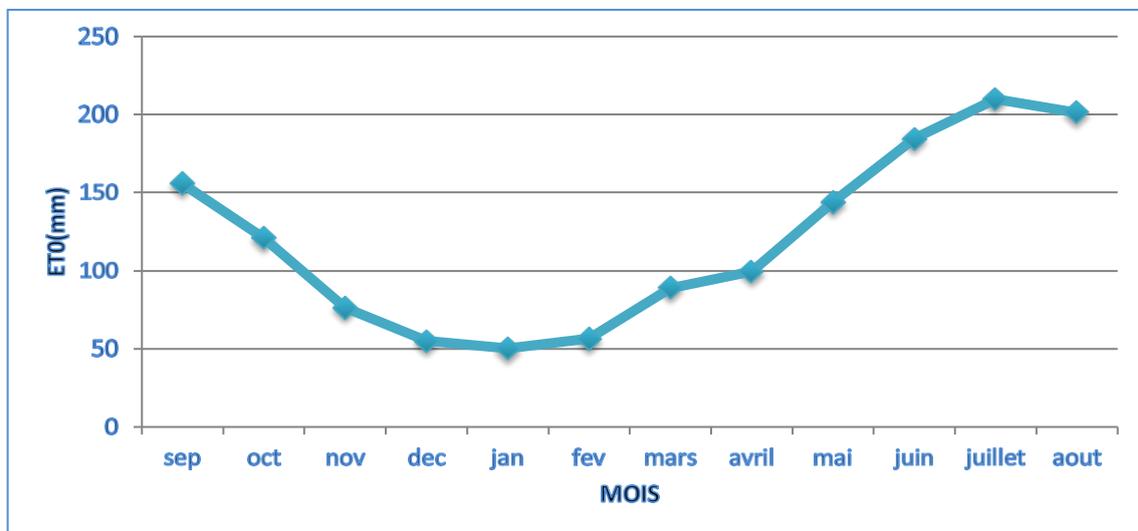


Figure 19: Variation mensuelle des évapotranspirations à la station de ATTAOUIA (ORMVAH 2006)

3. Ressources en eau

➤ **Ressources en eau de surface**

Notre secteur, alimenté par Le bassin versant de l'oued Tassaout, au droit du barrage Moulay Youssef, a une superficie de 1441 Km². L'ouvrage de stockage sur l'oued Tassaout est le barrage Moulay Youssef. Cette digue en enrochement atteint 100 m de haut ; la retenue, d'un volume régularisé de 240 Mm³ /an, permet la mise en valeur de

30000 ha de terres et fournit 60 Gwh/an pour les villes de Marrakech et d'Ouarzazate. Le barrage a été mis en eau en 1970. Le barrage Timinoutine, situé à 2 Km en aval de Moulay Youssef, permet une compensation inter – mensuelle des lâchers de l'usine hydroélectrique pour limiter les débits aux besoins agricoles. Les travaux de ce barrage ont été achevés à la fin de 1979. Ces ressources en eau de surface accusent une variation progressive au cours de l'année selon les apports annuels du barrage d'alimentation. Les apports au niveau du barrage My Youssef Timinoutine se présentent comme suit : (Tableau8)

Barrage	Superficie BV (km ²)	Apports 1941-2006 Mm ³ /an	Apports 1980-2006 Mm ³ /an	% diminution
Barrage My Youssef Timinoutine	1441	286	205	23

Tableau 8 : Les apports annuels du barrage d'alimentation (ORMVAH 2008)

Les apports naturels annuels ont connu une diminution sur le bassin versant du barrage My Youssef. Elle est d'ailleurs généralisée sur tout le bassin d'Oum Er Rbia, suite à la diminution des précipitations pluviométriques. En effet la comparaison entre les apports des précipitations sur tout le bassin d'Oum Er Rbia entre 1940-2006 et celle de 1980-2006 montre elle aussi une diminution de 23%.

➤ ***Ressources en eau souterraines (Hydrogéologie)***

Le secteur est situé sur la nappe du Haouz, qui s'étend entre le piémont du Haut – Atlas au sud et les collines des Jbilet au Nord. Elle est limitée à l'est par le piémont du Moyen Atlas, au débouché des oueds Lakhdar et Tassaout. Comme l'illustre la carte ci-dessous, le secteur de Tassaout amont se situe au nord de la nappe du Haouz (Figure 20).

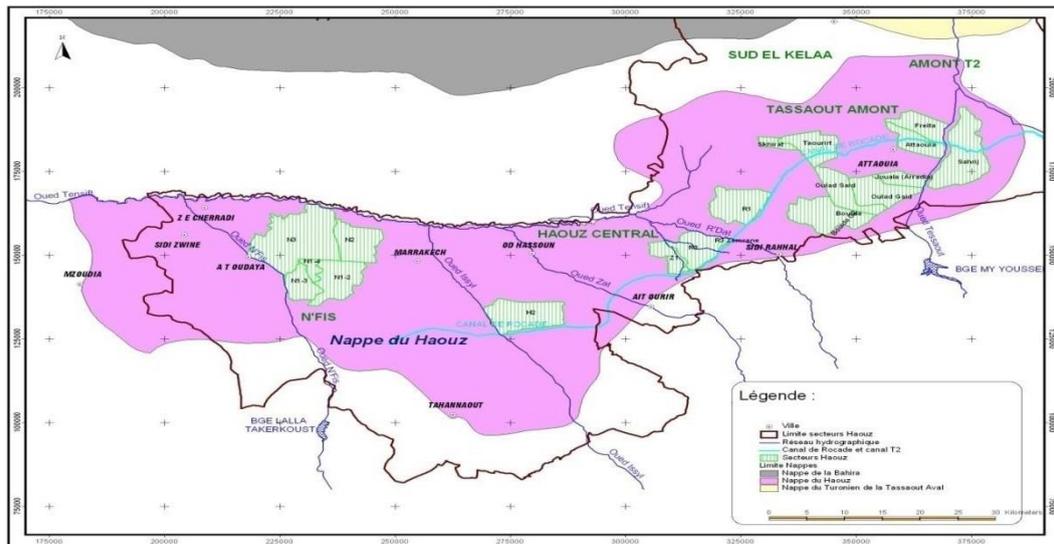


Figure 20 : Carte de la nappe Haouz qui alimente le Tassaout amont (ORMVAH 2010)

4. La géologie de la zone d'étude

La région de TAOURIRT, fait partie de la plaine EL Haouz. Plus précisément EL Haouz oriental.

La plaine EL Haouz est située entre le Haut Atlas au sud et au nord Jbilet, entre ces deux le socle primaire a été arasé pendant le secondaire et déformé par les premiers mouvements atlasiques.

Les mouvements tectoniques tertiaires ont provoqué un fossé entre l'Atlas et les Jbilet par suite d'un jeu de fractures et de flexures.

Elle est constituée des produits de l'érosion des montagnes du Haut Atlas par les torrents. Ces alluvions torrentielles sont constituées de cailloutis et de graviers et limons. Ce qui exprime l'abondance de sols à structure limoneuse du périmètre de TESSAOUT AMONT (Figure21).

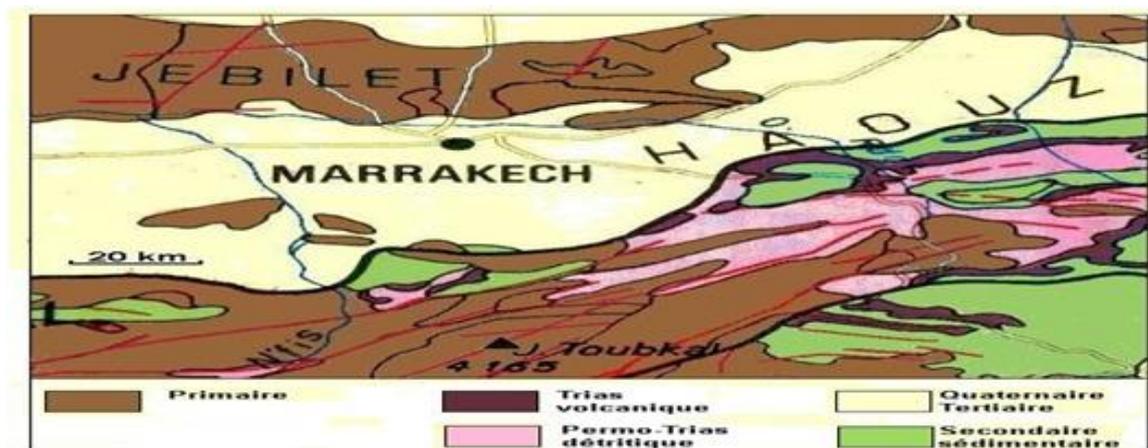


Figure 21: Carte géologique de la plaine d'El Haouz de Marrakech

5. Occupation du sol

L'occupation du sol en situation actuelle au niveau des sous-secteurs de la Tassaout amont, telle qu'elle ressort des enquêtes auprès des CMV, est présentée dans la figure ci-dessous :

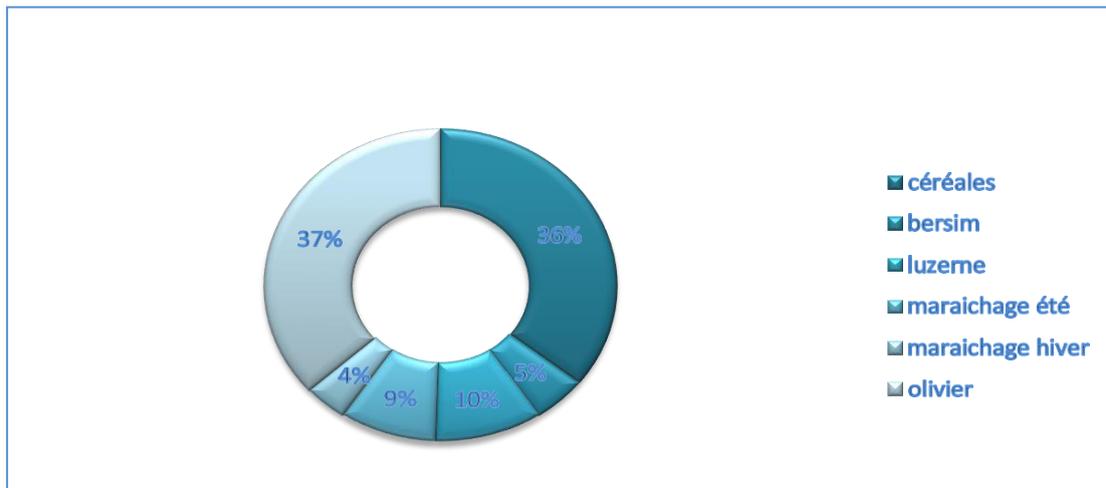


Figure 22: Occupation des plantations dans la région du Tassaout amont

D'après cette figure, on constate que la pratique de la culture d'olivier connaît une importance dans ces secteurs, c'est ainsi qu'il occupe 37% de l'occupation totale, suivie par les céréales 36%.

III. Situation actuelle de l'irrigation du Tassaout amont secteur Taourirt

Le mode de l'irrigation le plus répandu dans le secteur est le système traditionnel de la « Robta » qui est considéré comme étant le mode d'irrigation gravitaire le moins efficace en termes d'utilisation des terres et de l'eau.

En outre, dans le contexte du Haouz et des réseaux gravitaires en général, la distribution de l'eau se fait selon un tour d'eau bien défini, qui ne laisse pas beaucoup de liberté à l'irrigant qui dispose d'une courte durée pour irriguer ses parcelles.

La présente étude concerne l'étude de reconversion des secteurs gravitaires en irrigation localisée va permettre après aménagement l'économie d'eau.

1. Présentation du système d'alimentation et d'adduction du périmètre de la Tessaout Amont

Les eaux alimentant la Tessaout Amont sont régularisées par le barrage de Moulay Youssef et le barrage de compensation de Timinoutine sur la Tessaout. Les eaux sont

lâchées de ce barrage à la demande et transitent dans le lit mineur de La Tessaout jusqu'au seuil d'Agadir Bou Achiba. Des prélèvements sont effectués en cours par une trentaine de séguias alimentant des périmètres de PMH. Les débits prélevés sont très difficiles à évaluer et donnent lieu à des incertitudes quant au débit entrant dans le périmètre de la Tessaout Amont.

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 » 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 auto-portés.

2. Dotation du secteur en eau

La dotation est la quantité d'eau d'irrigation fixée par ha (m³ /ha), elle est subdivisée en deux types : La dotation théorique pour les secteurs de la Tessaout Amont est de l'ordre de 6000 m³/ha.

➤ *Dotation réelle :*

La dotation réelle est la quantité d'eau d'irrigation fixée en m³ par ha. Cette dotation est régularisée par l'ORMVAH, elles seront examinées sur la base de l'historique de fourniture en eau des secteurs au cours des années 2001-2010 dans le secteur Tassaout amont. La dotation moyenne calculée est de l'ordre de **4500 m³/ha**.

IV. Projet de la reconversion à l'irrigation localisée

1. Le Programme National d'Economie d'Eau d'Irrigation (PNEEI)

Le cadre stratégique :

Le PNEEI s'inscrit dans le cadre du Plan Maroc Vert 2008-2022 qui marque la volonté politique de faire de l'agriculture un moteur de la croissance de l'économie nationale. Le PNEEI a été initié pour permettre au secteur de l'agriculture irriguée de faire face à la raréfaction des ressources en eau et de valoriser au mieux les ressources en eau limitée du pays. PNEEI s'inscrit dans les priorités de la stratégie secteur de l'eau 2009-2030. Il marque la volonté des pouvoirs publics d'accorder plus d'intérêt à la

gestion de la demande comme axe stratégique du développement intégré et durable du secteur de l'eau.

Objectifs du PNEEI :

Les objectifs de ce programme sont subdivisés en :

➤ ***Objectifs à terme :***

Augmentation de la valorisation de l'eau (doubler la valeur ajoutée par m³ d'eau).

➤ ***Objectifs intermédiaires :***

Modernisation des réseaux collectifs d'irrigation portant sur une superficie de 395.000 ha en 15 ans pour faciliter la reconversion aux techniques d'irrigation économes en eau (réseaux basse pression, densification de réseaux sous pression, aménagement de bassins ...).

Reconversion et équipement en irrigation localisée d'une superficie de 555.000ha par an dans les périmètres de grand hydraulique et dans les zones d'irrigation individuelle privée. Promotion des cultures à forte valeur ajoutée et valorisation des productions agricoles.

Effets attendus du PNEEI :

- Taux de rentabilité économique (22.4 %) et financière (18.4%).
- Doublement de la valeur ajoutée par m³ d'eau (2.6Dh/ m³ à 5.6 Dh/m³).
- Gestion plus efficiente et durable des ressources en eau souterraine.
- Economie d'eau de 20 à 50 % et augmentation des rendements des cultures de 10 à 100%.
- Economie et valorisation de près de 1.000 Mm³ /an.
- Augmentation des revenus des agricultures, ce qui entraîne :
 - Amélioration des conditions de vie dans les zones de conversion, en général,
 - Dans les périmètres du GH, amélioration des recouvrements des redevances d'eau, possibilité d'augmentation des tarifs de l'eau et réduction des transferts budgétaires.
- Augmentation de la production agricole nationale et des exportations agricoles.
- L'économie et la valorisation de l'eau est un levier important pour la création d'emplois notamment pour les cadres.
- Protection des ressources en eau et de l'environnement.

2. Les contraintes liées au projet de reconversion à l'irrigation localisée

La reconversion à l'irrigation localisée est un projet de modernisation des systèmes d'irrigation dans le but d'économiser l'eau destinée à l'irrigation et améliorer les rendements agricoles.

Dans la région du Haouz central, une première tranche du projet est déjà réalisée sur le sous-secteur N°1-2 et Ouled Gaid avec le financement de la banque mondiale.

Cependant, ce projet a connu au cours de sa réalisation certaines contraintes :

- Le grand problème qui se pose à l'irrigation localisée est la qualité de l'eau destinée à l'irrigation, qui provoque le bouchage des installations du système. La dotation en eau du secteur N 1-2 sera accordée à partir des volumes régularisés au niveau du complexe hydraulique Hassan premier et Sidi Driss via le canal de rocade.

Cette eau présente une turbidité forte, en particulier au moment des crues. En période des crues la charge en MES est en moyenne de 4g/l, ceci est dû principalement à la qualité des apports intermédiaires du barrage Sidi Driss d'une part, et aux divers rejets liquides et solides sur tout le trajet du canal.

- 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.

Chapitre IV : analyse des eaux et des sols du secteur de TAOURIRT

I Analyse des eaux et des sols

Pendant la période du stage, on a effectué un ensemble d'analyse physicochimiques sur 6 échantillons d'eau d'irrigation et 3 échantillons du sol appartenant à notre zone d'étude « TAOURIRT » prélevés de différents sites (Figure 23, 24 et 25).



Figure 23: Coordonnées Lambert des points de prélèvements des échantillons du sol dans le périmètre de TAOURIRT (2018)



Figure 24: Coordonnées Lambert des points de prélèvements des eaux souterraines dans le périmètre de TAOURIRT (2018)



Figure 25: Coordonnées Lambert des points de prélèvements des eaux de surface sur le périmètre de TAOURIRT(2018)

1. Analyses du sol

Les analyses sont effectuées dans le laboratoire de pédologie d'ORMVAH afin de déterminer les paramètres physicochimiques du sol. En fonction des résultats des analyses, le laboratoire propose des conseils en fonction du système de culture dans l'objectif d'une gestion optimisée et soutenable des sols, des cultures et de l'environnement ainsi que l'impact de l'irrigation sur le sol.

2. Méthodologie de travail

➤ Echantillonnage :

Le prélèvement des échantillons s'effectue à l'aide d'une tarière agricole dans tout le secteur selon un parcours ayant une forme de la lettre Z. Au niveau de chaque station les prélèvements ont été effectués en surface (0-20 cm) et profondeur (20-40 cm) en prenant en considération de laisser l'espace d'un mètre entre les troncs d'arbres. Après avoir mélangé l'horizon dans un sol, on verse l'horizon dans un sachet en plastique et on nomme l'échantillon ainsi que son horizon (Photo 1 et 2).



Photo 1 : outil de prélèvement (Tarière)



Photo 2 : les 3 horizons du prélèvement du sol

➤ **Séchage :**

Après avoir préparé les échantillons, on fait le séchage à l'air ambiante, ils nécessitent 2 à 5 jours. Après séchage, on enlève les particules grossières à savoir les graviers, les débris de roches et de végétaux.

➤ **Le broyage et tamisage :**

L'objectif du tamisage et du broyage est d'homogénéiser l'échantillon en la taille des grains, à fin d'obtenir un sol fin. Le tamisage s'effectue à l'aide d'un tamis de 2 mm de maille ; puis on procède à un empotage des échantillons et des prélèvements de sous-échantillons à des fins d'analytiques.

➤ **Salinité du sol par conductivité électrique :**

La conductivité électrique (CE) nous permet de mesurer la charge en sels soluble dans le sol. La salinité globale du sol est déterminée par la mesure de la (CE) qui est exprimée en ds/m, à une température de 25 °C.

Mode opératoire :

- On pèse 10 g de terre qu'on verse dans un flacon d'agitation,
- Puis on ajoute 50 ml d'eau distillée,
- Agiter pendant 20 min par l'agitateur mécanique,
- Le conductimètre doit toujours être étalonné.

➤ **pH du sol :**

Pour déterminer l'acidité et l'alcalinité des sols, il faut mesurer son pH. Le potentiel d'hydrogène contrôle de nombreux processus chimiques qui se déroulent dans le sol. En principe la valeur du pH du sol agricole est comprise entre 4 à 9.

• **Les causes influençant le pH du sol :**

-**La précipitation :** l'eau de pluie à un pH légèrement acide de 5,7 et ceci est dû à une réaction avec le carbone dans l'atmosphère qui forme l'acide carbonique, alors que les sols acides se trouvent plus fréquemment dans la zone de forte précipitation.

- **L'utilisation d'engrais :** le processus de libération des protons dans le sol qui augmente l'acidité se font par l'utilisation des engrais à base d'ammonium qui réagissent dans le sol pour former le nitrate sous l'effet de nitrification.

• **Mode opératoire :**

- On pèse 10g de terre tamisée à 2 mm dans des béchers de 30ml. On y ajoute 25ml d'eau distillée.
- A l'aide d'une baguette en verre on malaxe de temps en temps pendant 4h.
- On étalonne l'appareil (pH mètre) par des solutions tampons de pH 7 et pH 9.
- A l'aide d'un agitateur magnétique, on agite quelques minutes et au même temps on prend les mesures.
- Après chaque mesure, on rince soigneusement l'électrode.

➤ **La matière organique (MO) :**

La matière organique se compose de débris végétaux et animaux et représente en général 1 à 10% de la masse du sol. Sa mesure consiste à déterminer la teneur en carbone des sols par oxydation par voie humide.

• **L'importance de la matière organique dans le sol :**

La (MO) a une forte capacité de rétention de l'eau et permet donc d'augmenter la réserve en eau du sol. Elle contribue à l'agrégation du sol et donc à sa macroporosité et par conséquent à une bonne structure, bon fonctionnement racinaire des plantes et une bonne filtration et du drainage de l'eau.

La (MO) influence la couleur du sol qui prend une couleur de plus en plus sombre en fonction de la teneur en MO (Figure 26).

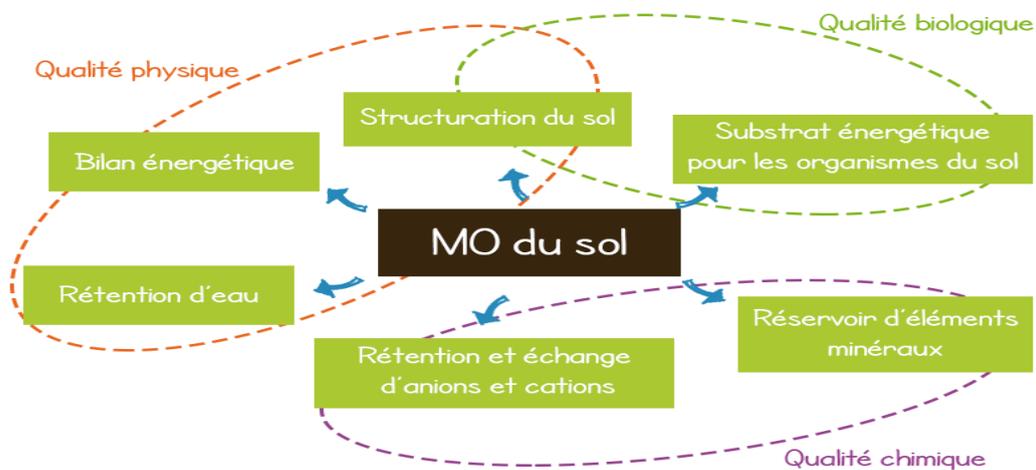


Figure 26 : L'importance de la matière organique sur le sol

- **Le mode opératoire :**

On pèse (0,5 g à 2 g) de la terre tamisée selon la richesse de la matière organique dans des erlenmeyers de 250 ml.

- **Oxydation :**

- + 10ml de $K_2Cr_2O_7$, 1N par une éprouvette ou pipette de 10ml.
- +20ml de H_2SO_4 concentré.
- On agite 1min en évitant de disperser l'échantillon sur les parois de l'erlenmeyer.
- On abandonne 30min pour laisser l'oxydation de se développer.
- On ajoute 100ml d'eau distillée pour stopper la réaction et on laisse décanter.

- **Dosage :**

- On prélève 25 ml de la solution ;
- On ajoute 5 g de NaF (une cuillère) ;
- On ajoute 3 gouttes de chlorhydrate de diphénylamine ;
- On verse la solution de sel de Mohr dans une burette et on titre l'excès de bicromate.

2. Analyse des eaux

➤ Conductivité :

La conductivité électrique est la capacité avec laquelle se fait le passage du courant électrique. Ce transport des charges passage se fait principalement par les ions contenus dans l'eau. Elle permet 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 conductimètre.

➤ Mesure du pH :

Le pH influence la forme et la disponibilité des éléments nutritifs dans l'eau d'irrigation. Le pH de l'eau d'irrigation devrait se situer entre 5,5 et 6,5 car la solubilité de la plupart des micro-éléments est optimale.

➤ 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.

➤ Nitrate :

L'azote est un nutriment qui stimule la croissance des végétaux. En revanche, sa présence en quantité excessive perturbe la production ou retarde la maturation des cultures. L'azote contenu dans l'eau d'irrigation joue le même rôle que celui des engrais ; les doses excessives posent des problèmes tous comme les excédents d'engrais.

➤ 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 (Tableau 9).

Espèce à déterminer	Préparation de la solution	Indicateur coloré	Dosé par
Calcium (Ca ²⁺)	- 10 ml d'échantillon - 40 ml H ₂ O distillée - 2ml de soude «NaOH»40%	Murexide « Poudre »	EDTA
Magnésium (Mg ²⁺)	- 10ml d'échantillon - 2 ml solution tampon	Erichrome « NET »	EDTA

Tableau 9 : Préparation des échantillons d'eau pour la titration des ions

II. Interprétation des résultats des analyses des sols

1. Le potentiel Hydrogène (pH)

Le pH des trois horizons 0-20 cm, 20-40 cm et 40-60 cm, de chaque point de prélèvement de notre secteur montre des valeurs moyennement satisfaisantes selon les normes d'analyse du sol.

Le sol de la zone étudiée, admet des pH basiques, les résultats de l'analyse varient de 6,51 à 8,11 avec une valeur moyenne de 7,42. (Tableau 10, Figure 27)

Cette alcalinité provient essentiellement de la composition chimique des roches et matériaux du sol.

Plus que la pluie est importante, plus que le sol est acide et l'alcalinité de ce sol est expliqué par la période dépourvue de précipitation (Annexe1).

	Ph		
	0-20cm	20-40cm	40-60cm
S.T 27	7,51	7,5	
S.T 32	6,51	7,3	7,38
S.T37	7,31	8,11	7,79

Tableau 10 : Le potentiel d'hydrogène des sols

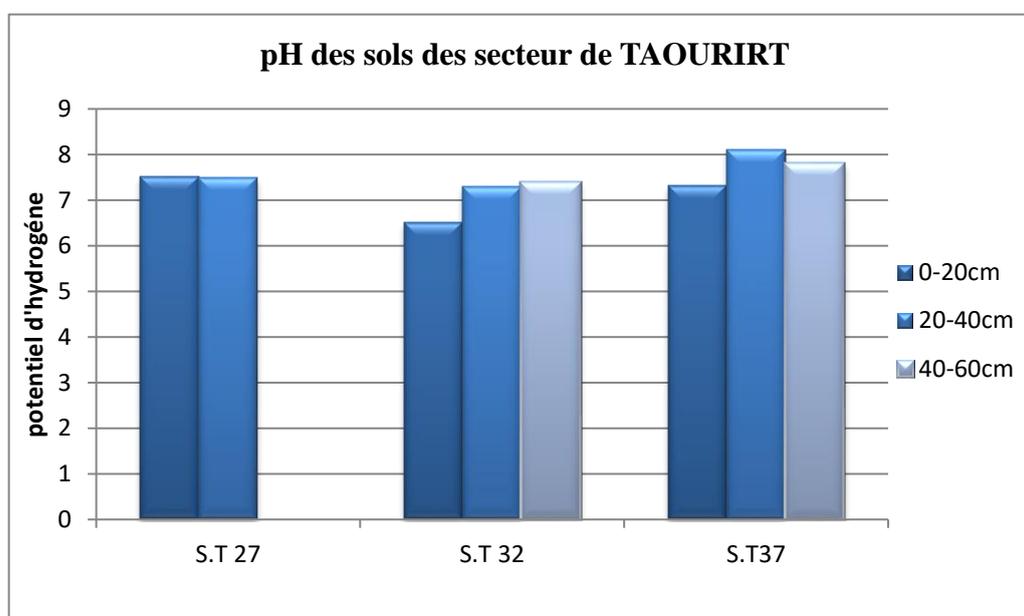


Figure 27 : Variation spatiale du pH des sol dans le secteur de TAOURIRT

2. Salinité des sols par conductivité électrique

Dans La région de TAOURIRT, les résultats obtenus de la conductivité électrique dans la parcelle échantillonnée varient entre $180\mu\text{S}/\text{Cm}$ et $471\mu\text{S}/\text{Cm}$.

D'après les normes d'appréciations de la conductivité électrique du sol, ces échantillons sont non salins (annexe2), à l'exception des échantillons prélevés au niveau des sites 32 et 37 de profondeur 0-20cm qui sont moyennement chargés par des sels et des ions qui sont probablement apportés avec les engrais. La conductivité diminue globalement avec la profondeur (Tableau 11, Figure 28).

	Profondeur (cm)	Conductivité électrique		Sels solubles (g/l)
		dS/m	$\mu\text{S}/\text{Cm}$	
S.T27	0-20	0,298	289	1,053
	20-40	0,312	312	1,103
	40-60	-----	-----	-----
S.T32	0-20	0,46	460	1,626
	20-40	0,29	290	1,025
	40-60	0,21	210	0,742
S.T37	0-20	0,471	471	1,665
	20-40	0,25	250	0,884
	40-60	0,18	180	0,636

Tableau 11 : Conductivité électrique et sels solubles du sol

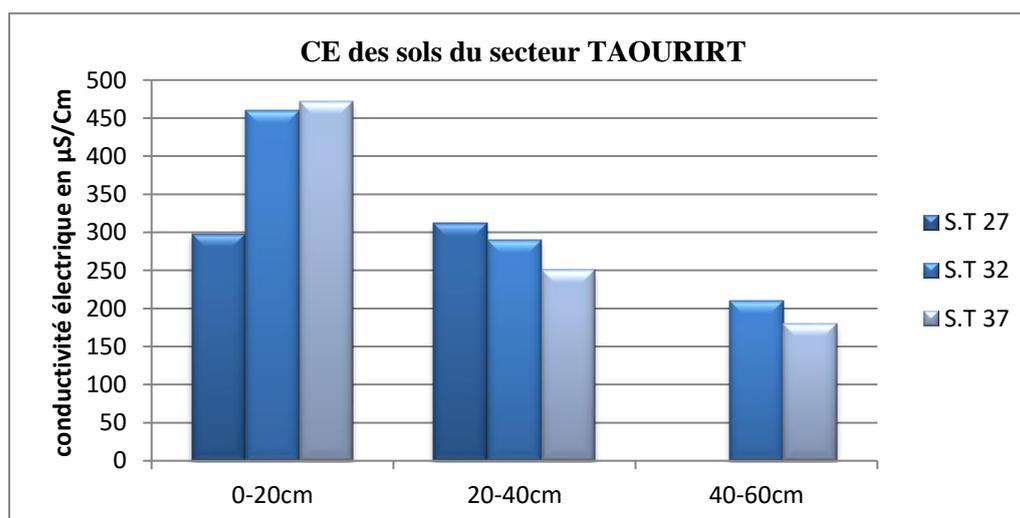


Figure 28 : Variation spatiale de la CE du sol dans le secteur de TAOURIRT

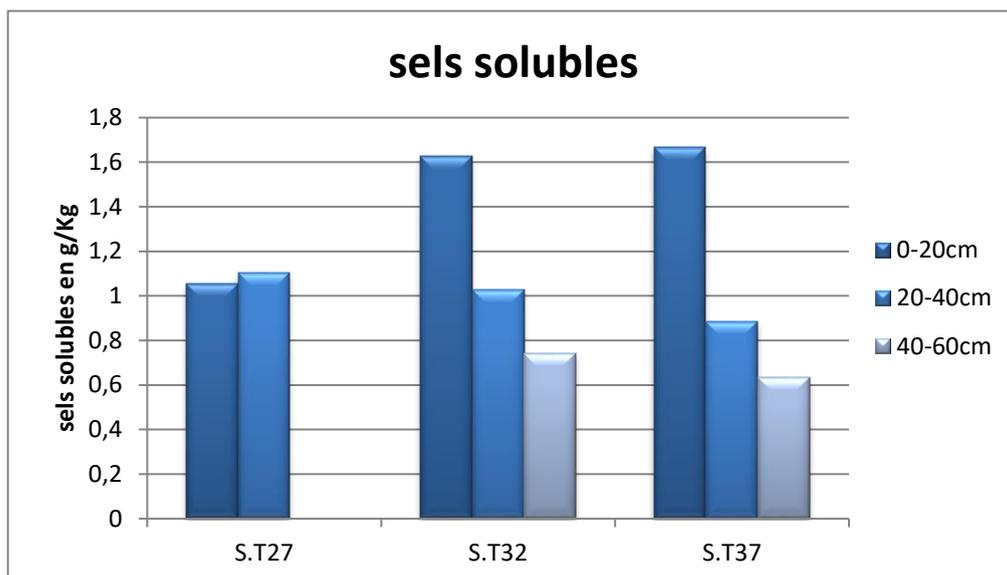


Figure 29: Variation des sels solubles dans le sol

3. La matière organique

Les valeurs obtenues de la teneur en matière organique pour notre secteur d'étude sont moyennes et atteignent un maximum de 2,46 g/kg. Ceci peut être expliqué par plusieurs facteurs :

- **La nature du sol :** par exemple au niveau de site 32 et 37 (0-20cm), le sol a une structure fine donc il tend à retenir plus de MO. Il retient mieux les éléments nutritifs et l'eau, par contre les sols grossiers sont mieux aérés et la présence d'oxygène entraîne une décomposition plus rapide de la MO.
- **L'hydrologie du sol :** plus un sol est humide, moins il y'a d'oxygène disponible pour que la matière organique se décompose, si bien qu'elle s'accumule.
- **L'utilisation de fumier :** avec l'apport de fumier, le sol est caractérisé par une augmentation du taux de La MO (Tableau 12, Figure 30), voir annexe3.

	MO		
	0-20cm	20-40cm	40-60cm
S.T 27	2,15	2,37	
S.T 32	2,46	1,78	1,51
S.T 37	2,42	1,73	0,55

Tableau 12: La matière organique du sol

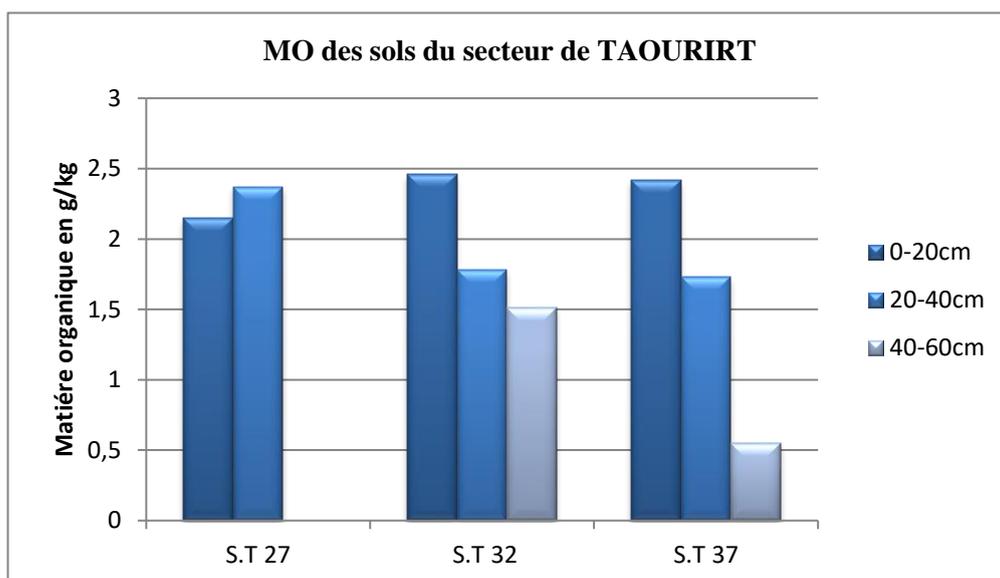


Figure 30 : Variation spatiale de la matière organique du secteur de TAOURIRT

III. Interprétation des résultats des eaux souterraines

1. Potentiel d'hydrogène

Les eaux souterraines du TAOURIRT présentent un pH faiblement alcalin, compris entre 7,31 et 7,49.

Les résultats du pH des eaux souterraines de la zone d'étude sont conformes aux normes de la qualité des eaux destinées à l'irrigation (pH compris entre 6,5-8,4) Voir annexe 4

	Ph
P18	7,4
P20	7,49
P24	7,31

Tableau 13: Le potentiel d'hydrogène de l'eau souterraines

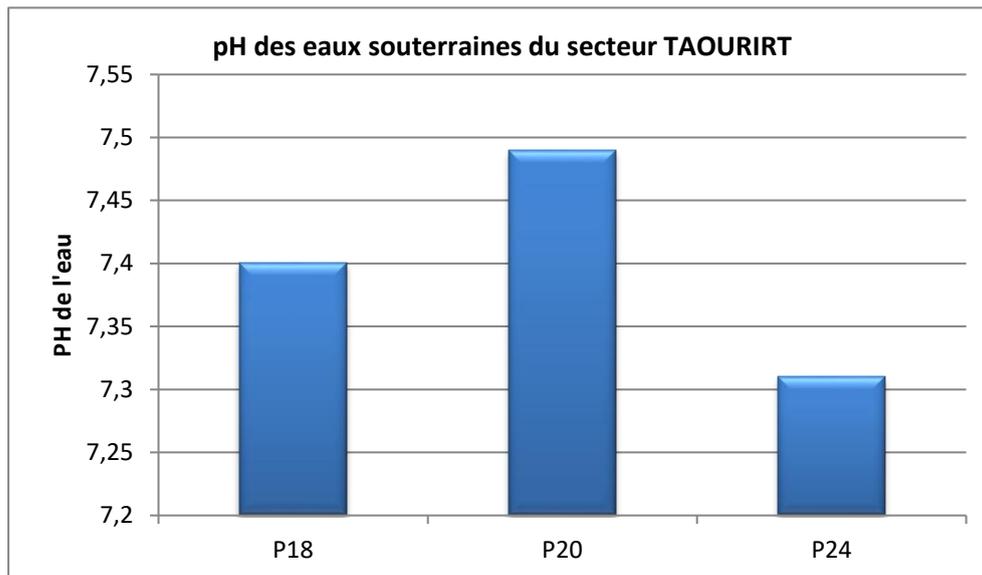


Figure 31 : Variation spatiale du pH des eaux souterraines dans le secteur de TAOURIRT

2. La conductivité électrique

La mesure de la conductivité électrique permet d'apprécier la quantité de sels dissous, elle fournit des indications sur la minéralisation.

Dans le secteur de TAOURIRT, la CE varie de 1140 $\mu\text{s}/\text{cm}$ à 1260 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (Tableau 14, Figure 32).

Les valeurs enregistrées de la CE des eaux souterraines de la zone étudiée sont conformes aux valeurs recommandées par les normes de la qualité des eaux destinées à l'irrigation (1200 $\mu\text{s}/\text{cm}$). Voir annexe 4

On constate que le P20 est plus conductible, cela est peut-être expliqué probablement par l'interaction Roche/Eau ou par un temps de séjour long.

	Memos/cm	$\mu\text{S}/\text{cm}$	g/l
P18	1,254	1254	0,886
P20	1,261	1261	0,891
P24	1,142	1142	0,807

Tableau 14: Conductivité électrique et sels solubles des eaux

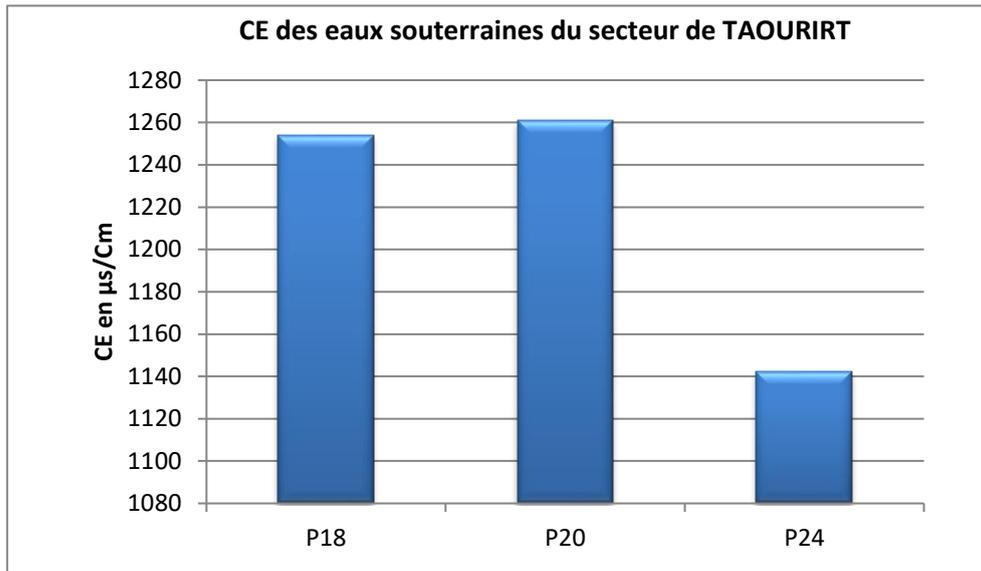


Figure 32: Variation spatiale de la CE des eaux dans le secteur De TAOURIRT

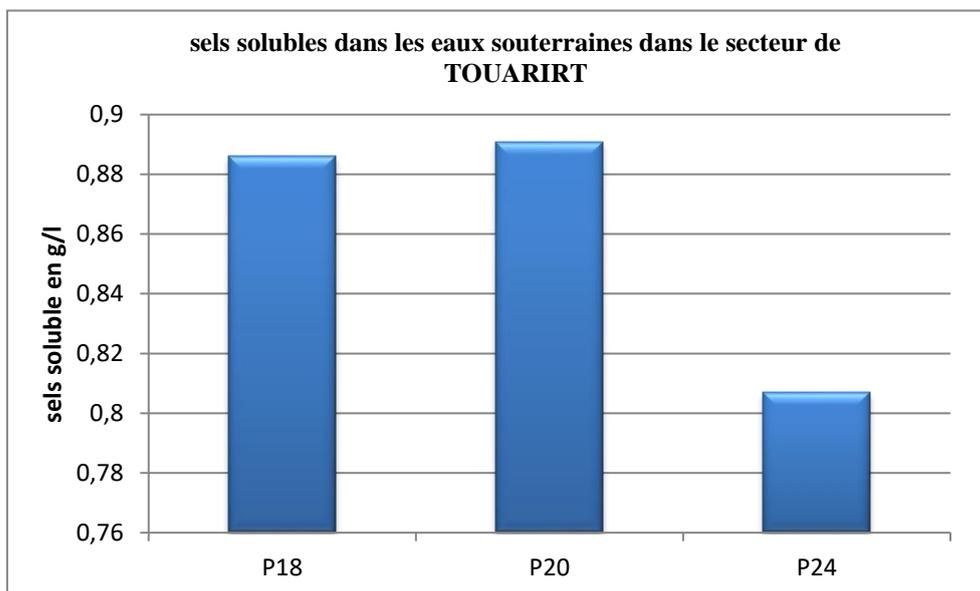


Figure 33: Variation spatiale des sels solubles des eaux souterraines

On remarque qu'il y'a une relation entre la salinité et conductivité, les valeurs de la conductivité varient parallèlement avec celles de la salinité, cette corrélation exprime une relation entre les deux paramètres (la conductivité augmente en fonction de la salinité).

3. Nitrate

Dans le secteur de TAOURIRT la concentration en nitrate dans les eaux souterraines varie entre 18,71mg/l et 23,64mg /l. (Tableau 15, Figure 34).

On remarque que les concentrations enregistrées sont conformes aux valeurs des normes de la qualité des eaux destinées à l'irrigation (Annexe 4).

Les puits 20 et 24 sont bien riches en nitrate par rapport au puits 18, cela est probablement due à la fixation de l'azote atmosphérique et de la décomposition de la MO par des microorganismes. Il se forme naturellement par combinaison de l'azote(N) et de l'oxygène. La présence d'un excès de nitrate dans l'eau est un indice de pollution d'origine agricole (engrais).

	Nitrate(mg/l)
P18	18,71
P20	22,81
P24	23,64

Tableau 15: Variation spatiale de Nitrate des eaux dans le secteur De TAOURIRT

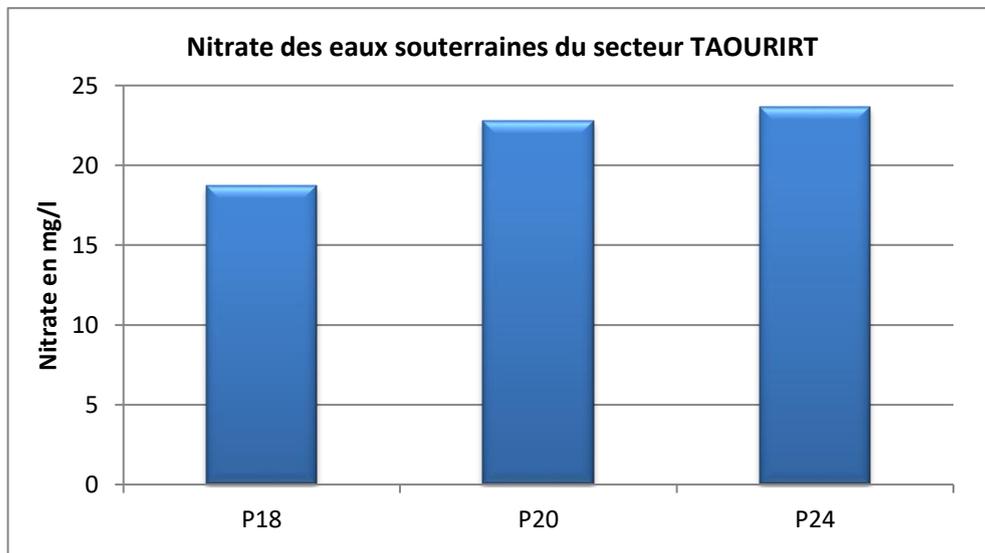


Figure 34: Variation spatiale des nitrates des eaux dans le secteur de TAOURIRT

➤ **Bilans ioniques :**

La teneur en magnésium de la zone étudiée varie entre 43,74mg/l et 46,17mg/l, ainsi que la teneur en calcium est comprise entre 92,43mg/l et 96,24mg/l.

Les résultats du bilan ionique des eaux souterraines de TAOURIRT respectent les normes de la qualité des eaux destinés à l'irrigation (Annexe4).

Ceci peut être due à un temps de séjour long ou bien à un échange Eau/Roche

Voir tableau 16, figure 35.

	Bilan ionique			
	Meq/l		Mg/l	
	Ca ²⁺	Mg ⁺⁺	Ca ²⁺	Mg ⁺⁺
P18	4,61	3,6	92,43	43,74
P20	4,72	3,8	94,63	46,17
P24	4,8	3,6	96,24	43,74

Tableau 16 : La teneur en eau des eaux souterraines

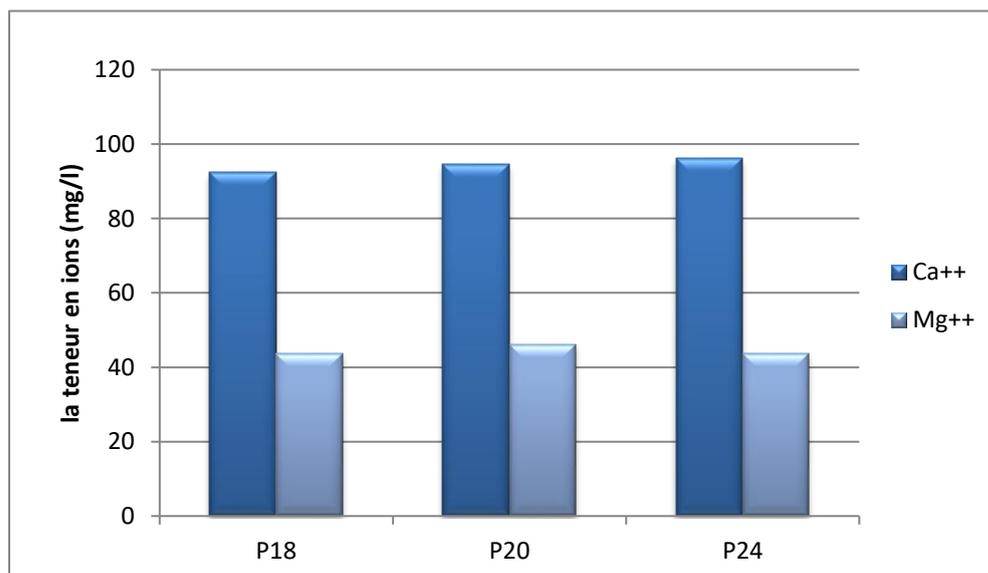


Figure 35 : Teneur des ions dans l'eau des eaux souterraines

IV. Interprétation des résultats des eaux de surface

1. Potentiel d'hydrogène

Le pH des eaux de surface dans les points de prélèvement désignés de la zone d'étude est caractérisé par un pH légèrement basique varie entre 8,13 et 8,24. (tableau 17, figure36). Toutefois, les valeurs obtenues sont adéquates avec la grille de la qualité des eaux (Annexe 6).

	PH
B.T 6	8,13
B.T 7	8,25
B.T8	8,22

Tableau 17: Potentiel d'hydrogène des eaux superficielles

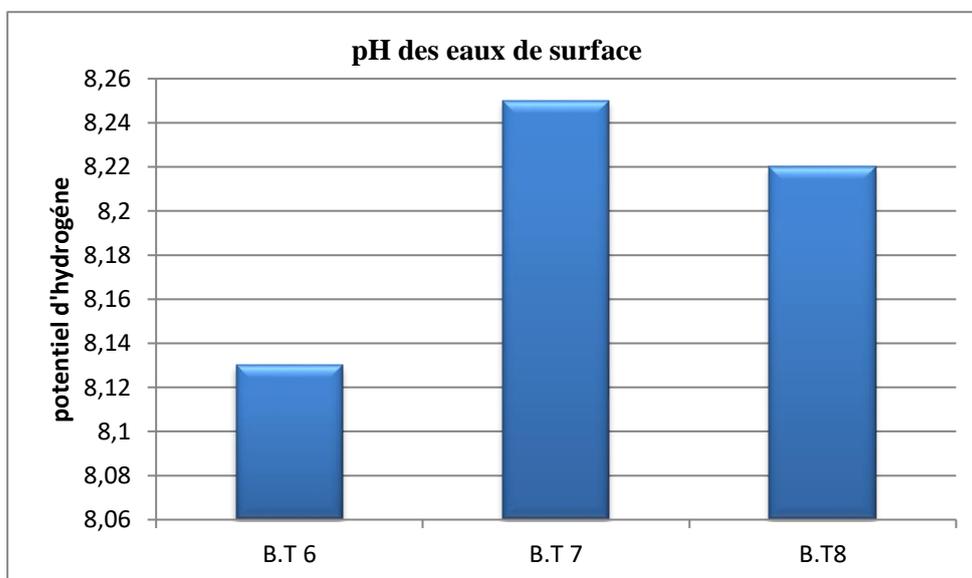


Figure 36 : Variation spatiale du pH des eaux dans le secteur de TAOURIRT

2. La conductivité électrique :

Les valeurs de la CE de la zone d'étude oscillent dans les environs de 700 μ s/cm, donc les eaux sont bonnes, car ils entrent dans les valeurs limites de la qualité des eaux destinées à l'irrigation (Annexe 6).

On remarque que la CE est plus importante au niveau de l'eau de B. T 7, ceci est probablement due à l'évaporation vu la surface de contact Eau /Air (Tableau18, figure37).

	CE ($\mu\text{s/cm}$)
B.T6	769
B.T7	777
B.T8	771

Tableau 18 : Conductivité électrique des eaux superficielles

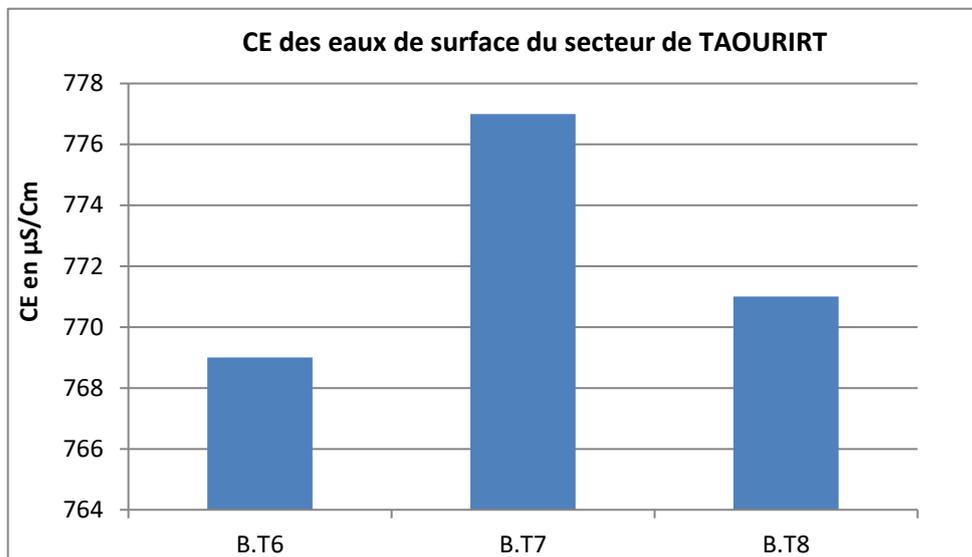


Figure 37 : Variation spatiale de la conductivité des eaux dans le secteur de TAOURIRT

3. La matière en suspension

Les valeurs de la matière en suspension dans les échantillons d'eau prélevés varient entre 21mg/l et 22,5mg/l. (Tableau 19, figure 38)

On remarque l'eau de B.T8 contient beaucoup de MES, ceci est expliqué par plusieurs raisons à savoir :

- Elle est en liaison avec les précipitations.
- Elle est apportée par les dépôts atmosphériques.
- L'érosion de la couche superficielle des sols sous l'action dynamique de l'eau de l'eau de pluie.

Les valeurs obtenues sont considérées excellentes et conformes aux normes nationales. Voir annexe 6

	MES
B.T6	21
B.T7	20
B.T8	22,5

Tableau 19: La matière en suspension des eaux superficielles

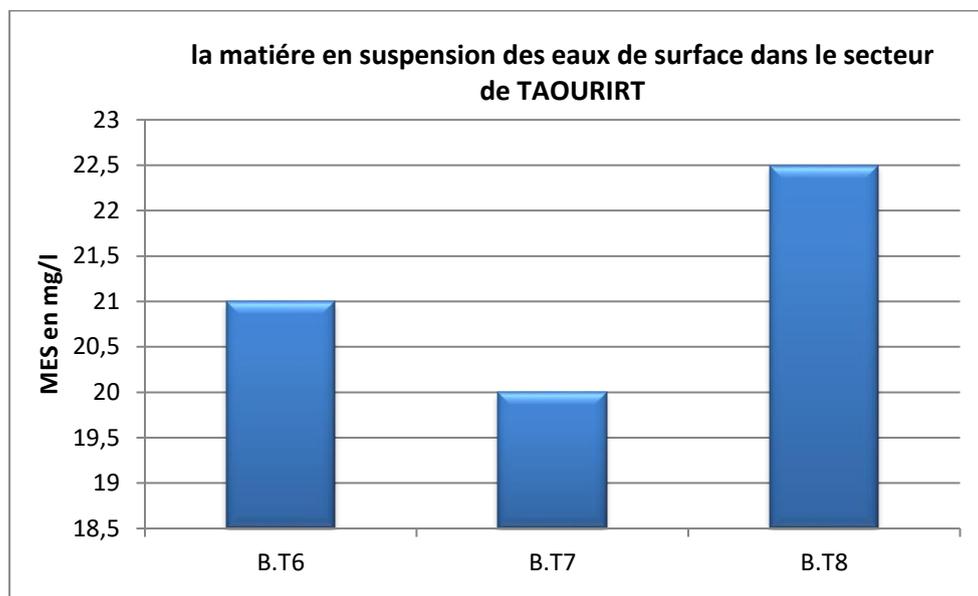


Figure 38: Variation spatiale de MES des eaux dans le secteur de TAOURIRT

4. Le bilan ionique :

La teneur en calcium de la zone étudiée varie de 59,54 mg/l à 61,15 mg/l, ainsi que la teneur en magnésium est comprise entre 32,07 mg/l et 33,04 mg/l. (Tableau20, figure39)

Les résultats du bilan ionique des surfaces de TAOURIRT respectent les normes de la qualité des eau destinés à l'irrigation.

	Bilan ionique (mg/l)	
	Ca ²⁺	Mg ²⁺
B.T6	60,35	32,8
B.T7	59,54	32,07
B.T8	61,15	33,04

Tableau 20: La teneur en eau des eaux superficielles

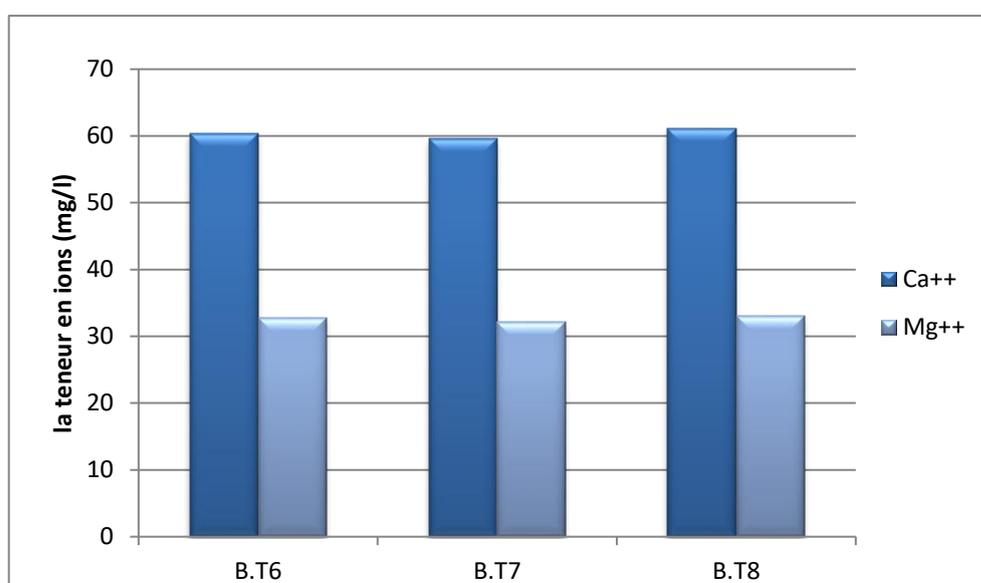


Figure 39: Teneurs des ions des eaux superficielles

Conclusion

Dans le cadre des travaux de modernisation de l'agriculture dans les périmètres irrigués, les autorités marocaines ont lancé un programme national d'économie d'eau d'irrigation, qui a pour objectif d'une reconversion d'irrigation gravitaire à l'irrigation localisée, avec l'intervention de l'ORMVAH dans ce projet.

Afin de produire plus, avec une bonne qualité, en économisant moins d'eau d'une part, et d'autre part, l'amélioration des revenus, en évoluant la rentabilité financière des investissements.

Le sous-secteur de TAOURIRT qu'est l'objectif de notre étude, fait partie des secteurs ciblés par ce programme national de reconversion, c'est une zone de 2324 hectares dont l'aménagement a été mis en service depuis 1976.

Les résultats d'analyse des sols et des eaux d'irrigation qui ont été réalisés sont résumés comme suit : Trois types d'eau et de sol ont été distingués :

Pour les eaux souterraines : la conductivité électrique inférieure à 1,3 mmhos/cm elles sont légèrement salines, ce sont des eaux de bonne qualité pour l'irrigation, concernant les valeurs du potentiel d'Hydrogène sont légèrement alcalins, comprises entre 7,31 et 7,49. Cependant que la concentration en nitrate est inférieure à 30mg/l, elle varie entre 18,71mg/l à 23,64mg /l, et une excellente teneur en magnésium et en calcium.

Pour les eaux superficielles : le pH des eaux de surface dans notre périmètre d'étude est caractérisé par un pH légèrement basique tandis que, les valeurs de la conductivité électrique ne dépassent pas 0,7mmhos/cm.

Les valeurs acquises de la matière en suspension sont considérées excellentes, comprises entre 21mg/l et 22,5mg/l et d'un bilan ionique qui respecte les normes.

Pour le sol : le sol étudié admet des pH moyennement basiques, les résultats de conductivité montrent que ce sol est non salin, ainsi que la teneur en matière organique est moyenne.

L'ensemble des résultats des paramètres étudiés ci-dessus sont adéquats avec la grille de la qualité des eaux et des sols destinés à l'irrigation ainsi qu'ils feront l'objet d'un suivi après la mise en goutte à goutte des parcelles choisies pour constituer le réseau optimisé.

Bibliographie

- **ABOURIDA A. (2007).** “ Approche hydrogéologique de la nappe du Haouz (Maroc) par télédétection, isotopie, SIG et modélisation” Thèse de doctorat. Université Cadi Ayyad Faculté des sciences Semlalia. Marrakech, 146 p.
- **AZOUGGAGH M. (2001).** “ Matériel d’irrigation : choix, utilisation et entretien”. Bulletin de Transfert de Technologie en Agriculture, 6p.
- **COCHET A., HAZAN R. et MONITION L. (1965).** “ le Haouz de Marrakech bassin représentatif d’une zone au contact d’une haute chaîne montagneuse : le haut atlas de climat subhumide”. Service des ressources en Eau, Rabat, pp 564-569.
- **EL FRIGUIGUI H. (2018).** “ présentation de laboratoire pour la réalisation de campagnes d’analyses été et hiver de caractérisation des paramètres environnementaux au niveau de la zone de reconversion à l’irrigation localisée dans le périmètre du Haouz”. Rapport ORMVAH définitif été 2018 secteur TAOURIRT, 54p.
- **EL HALI A. (2015).** “ L’impact de l’irrigation sous pression sur le sol et sur l’eau dans le secteur N’Fis N4 Région de l’Oudaya”, Mémoire de fin d’études, Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech, 81p.
- **KABBAJ D. et EL MOSTAGE L. (2012).** “ Le projet de la reconversion collective de l’irrigation gravitaire à l’irrigation localisée au Maroc - Périmètre de Tassaout Amont, secteur d’Oulad Gaïd”. Etude préliminaire. Mémoire de fin d’étude de licence, Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech, 65p.
- **ORMVAH, (2018).** “Etude de faisabilité de la reconversion à l’irrigation localisée dans les périmètres irrigués des Haouz” Rapport interne, 159p.

- **ORMVAH**, (2008). “ Etude de faisabilité de la reconversion à l’irrigation localisée dans les périmètres irrigués du Haouz : sélection des secteurs favorables diagnostic technique et socioéconomique”. Rapport CAADI, groupe ONA, 126p.

- **ORMVAH**, (2010). “Projet de modernisation de l’agriculture irriguée dans le bassin de l’Oum Er Rbia : établissement des études des projets d’exécution pour la reconversion des systèmes d’irrigation existants dans les périmètres du Haouz”. Sous N 1-2, Oulad Gaïd et Rive DROITE S 1- 3, Note explicative. Rapport CID, 26p.

Webographie

- https://fr.wikipedia.org/wiki/Analyse_de_sol#Utilisations,_objectif
- <https://www.aquaportail.com/definition-7851-ph-du-sol.html>
- <https://www.supagro.fr/resspepites/processusecologiques/co/ImportanceMOS.html>
- http://www.occitanie.chambreagriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Occitanie/GuidePO_Tome1_chapitre_2.pdf
- https://www.u-picardie.fr/beauchamp/Maroc/GEOL_MRKCH.html

Annexes

Les normes d'interprétation des sols

Annexe 1 : Normes d'interprétation du pH

Classe	Interprétation
4.4 à 5.0	Très fortement acide
5.0 à 5.5	Fortement acide
5.5 à 6.0	Moyennement acide
6.0 à 6.5	Faiblement acide
6.5 à 7.3	Neutre
7.3 à 7.8	Faiblement basique
7.8 à 8.5	Moyennement basique
8.5 à 9.0	Tendance alcaline
> 9.0	Très alcaline

Annexe 2 : Normes d'interprétation de la CE

Classe (dS/m)	Interprétation
< 0.4	Non salé
0.4 à 0.8	Moyennement salé
0.8 à 1.6	Salé
1.6 à 3.2	Très salé
> 3.2	Excessivement salé

Annexe 3 : Normes d'interprétation de la MO

Classe	Interprétation
<0,7	Très pauvre
0,7-1,5	Pauvre
1,5-3	Moyennement pauvre
3-6	Riche
>6	Très riche

Les normes d'interprétation des eaux

Annexe 4 : Grille d'évaluation de la qualité des eaux souterraines

	Excellente	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
NO ₃ - (mg/l)	<10	10 – 25	25 - 50	>50	-
CE (µS/cm)	100 – 750	750 – 1300	1300 - 2700	2700 - 3000	3000 - 7000
pH	6,5 – 8,5	-	8,5 – 9,2	3-6 ou 9,2-10	-
Ca ²⁺ (mg/l)	31 - 160			< 32 ou >160	
Mg ²⁺ (mg/l)	<50	50 – 75	75 - 100	100 - 400	>400

Annexe 5 : Classification des eaux selon le pH

Classe	Interprétation
PH<5	Acidité forte
PH=7	Neutre
7<PH<8	Faible Alcalinité
PH>8	Alcalinité forte

Annexe 6 : Normes d'interprétation de la MES et la CE et pH des eaux de surface

CLASSE	Excellente	Bonne	Moyenne	Mauvaise
MES (mg/l)	<50	50-200	200-1000	1000-2000
pH	6,5-8,5	-	8,5-9,2	3,5-6,5 et 9,2-10
CE	<750	750-1300	1300-2700	>2700

