



Département des Sciences de la Terre
Licence Sciences et Techniques
«EAU ET ENVIRONNEMENT»



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

**Impact de la reconversion du système
d'irrigation gravitaire en localisée
Sur le sol et la nappe**

Réalisé par :

Driss BRAIM & Hebatallah DAGHASH

Soutenu : le 9 juin 2016 devant

Devant le jury composé de :

Mr. Brahim IGMOU LAN : (FST- Marrakech), Encadrant

Mme Nadia KHAMLI : (FST- Marrakech), Examinatrice

Mr. Abdessamad MORENO : (ORMVAH), Encadrant

dédicace

A nos parents

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

A nos enseignants & professeurs

Pour leur patience, dévouement et sacrifice

A nos amis & frères

A citer un grand remerciement et gratitude envers nos amis pour leur aide

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

Remerciement

Avant tout, nous remercions Dieu, le tout puissant, de nous avoir donné le courage, la patience et la chance d'étudier et de suivre Le chemin de la science.

*Nous adressons nos vifs remerciements à notre professeur encadrant Monsieur **Brahim IGMOU LAN** à la Faculté des Sciences et Techniques Marrakech pour ses soutiens, conseils et sa patience.*

*Nous adressons nos remerciements les plus sincères à notre encadrant à l'Office Régional de la Mise en Valeur Agricole du Haouz Monsieur **Abdessamad Moreno** pour son temps, son encadrement et ses conseils.*

On exprime notre profonde gratitude aux doctorants à la Faculté des Sciences et Techniques Marrakech département des sciences de la terre qui, malgré leur occupation nous ont bénéficiés de leur aide.

*Nos vifs remerciements s'adressent également à notre professeur à la Faculté des Sciences et Techniques Marrakech département des sciences de la terre **Nadia KHAMLI** pour avoir accepté de juger ce travail.*

Nous remercions aussi les membres de nos familles qui n'ont jamais hésité à nous offrir le meilleur d'eux-mêmes.

Sommaire :

I.	Introduction générale	9
I-1.	Introduction	9
I-2.	Présentation de l'ORMVAH	10
I-2-a.	Zone d'action.....	10
I-2-b.	Les périmètres irrigués de l'ORMVAH :	11
I-3.	LE PNEEI.....	12
I-4.	Présentation du milieu physique :.....	13
I-4-a.	Cadre géologique.....	14
I-4-b.	géologie du Haouz central (secteur N°fis).....	15
I-4-c.	Climat	15
I-4-d.	hydrogéologie.....	16
I-4-e.	Les types des sols dans la région :	18
I-4-f.	L'irrigation dans le secteur N°fis N1-2 :	19
II.	Méthodologie de travail :	21
II-1.	Echantillonnage des eaux :	21
II-2.	Méthodologie d'analyse des eaux.....	22
II-3.	Technique d'échantillonnage des sols :	27
II-4.	Méthode d'analyse des sols :	27
III.	Résultats analyses eaux et sols.....	30
III-1.	Analyse des eaux.....	30
III-1-a.	Eau de surface.....	30
III-1-b.	Eaux souterraines.....	30
III-2.	Analyse des sols	32
IV.	Interprétation.....	36
IV-1.	eaux souterraines.....	36
IV-2.	les eaux de surface :	40
IV-3.	Les sols.....	45
V.	Conclusion générale.....	52

LISTE DES FIGURES

Figure1 : Carte de situation du Haouz et zone d'action de l'ORMVAH (JICA, al, 2007).....	13
Figure2 : Carte géologique du bassin Haouz-Mejjate de Marrakech (programme AGIRE diagnostic du bassin Haouz-Mejjate 2016)	14
Figure3 : Coupe géologique au niveau de la plaine Haouz (Ambroggi et Thuile, 1952).	15
.....	16
Figure4 : Evolution de la pluviométrie annuelle du secteur N'fis Marrakech enregistrés par les stations Lala takerkoust et Imin El Hmam (1971-2012)	16
Figure5 : Carte du Réseau hydrographique et répartitions des stations limnimétriques au niveau du bassin Haouz-Mejjate d'après l'ABHT-ABHOER, 2014	17
Figure6 : Carte du Réseau de mesure piézométrique dans le bassin du Haouz-Mejjate, illustrant une baisse de la nappe du Haouz Marrakech (ABHT).....	18
.....	19
Figure7 : Carte pédologique du bassin Haouz-Mejjate de Marrakech (ABHT).	19
Figure8 : Carte de situation des sites de prélèvements du sol et des eaux d'étude de référence et d'étude actuelle dans le secteur N'fis N1-2 Marrakech	21
Figure 9 : Le pH-mètre.....	22
Figure10 : le Conductimètre.....	23
Figure11 : L'appareil de dosage des chlorures	24
Figure12 : Dosage du Calcium, Magnésium et Sulfates par l'EDTA.....	25
Figure 13 : Burette permettant le dosage des bicarbonates	26
Figure14 : Le Spectrophotomètre à flamme	26
Figure15 : La centrifugeuse.....	28
Figure16 : Variation du potentiel hydrogène (pH) des eaux souterraines du secteur N1-2 Marrakech.....	36
Figure17 : Variation de la conductivité électrique et de la minéralisation totale des eaux souterraines du secteur N'fis N1-2 Marrakech	36
Figure18 : Concentrations du chlore et du Sulfate des eaux souterraines dans le secteur Nfis N1-2 Marrakech	37
Figure19 : Concentration des cations dans les eaux souterraines du secteur N'fis N1-2 Marrakech.....	38
Figure 20 : Variation du SAR des eaux souterraines du secteur N'fis N1-2 Marrakech	39
Figure 21 : Histogramme du PH des eaux de surface du secteur N'fis N 1-2 Marrakech	40
Figure22 : Histogramme de la conductivité électrique des eaux de surface des sites N4 et N14 du secteur N'fis N1-2 El Haouz Marrakech	41
Figure23 : Concentrations des anions des eaux de surface du secteur N'fis N1-2 Marrakech	42
Figure 24 : Concentrations des cations des eaux de surface du secteur N'fis N1-2 Marrakech	43
Figure 25 : Variation du SAR des eaux superficielles du secteur N'fis N1-2 Marrakech	44
.....	45
Figure 26 : Histogramme de la conductivité des sols dans le secteur N'fis N1-2 Marrakech .	45
Figure 27 : Courbes de la CE et la CE à la pâte saturée des échantillons de sol du secteur N'fis N1-2 Marrakech	46
Figure28 : Histogramme des PH des sols dans le secteur N'fis N1-2 Marrakech	47
Figure29 : Histogramme de la variation de la M.O des échantillons de surface (profondeur0-20 cm) Du secteur N'fis N1-2 Marrakech.....	48

LISTE DES TABLEAUX

Tableau1 : variation de PH.....	30
Tableau2 : variation de la conductivité électrique	30
Tableau3 : Bilan ionique et SAR des eaux de surface du secteur N°fis N 1-2 Marrakech	30
Tableau4 : PH des eaux souterraines du secteur N°fis N1-2 Marrakech	30
Tableau6 : Bilan ionique des eaux souterraines du secteur N°fis N1-2 Marrakech.....	31
Tableau5 : Conductivité électrique des eaux souterraines du secteur N°fis N1-2 Marrakech .	31
Tableau7 : Paramètre de dureté totale des eaux souterraines du secteur N°fis N1-2 Marrakech	31
Tableau 8 : PH des échantillons du sol du secteur N°fis N1-2 Marrakech	32
Tableau9 : la conductivité des échantillons à différente profondeurs au secteur N°fis N1-2 Marrakech.....	33
Tableau10 : CE et CE de la pâte saturée des sols du secteur N°fis N1-2 Marrakech.....	33
Tableau11 : Variation de la MO des échantillons de sol du secteur N°fis N1-2 Marrakech....	34
Tableau12 : les normes de qualité du sulfate et chlore.....	37
Tableau13 : Barème d'appréciation du SAR des eaux d'irrigation :	39
Tableau14 : Classification de la dureté utilisée au Maroc (Ouyse, 2005)	40
Tableau15 : d'appréciation de la qualité globale des eaux de surface : paramètre PH	40
Tableau16: grille d'évaluation de la qualité des eaux superficielles.....	41
(Normes Ministère Energie, Mines Eaux et Environnement)	41
Tableau17 : Normes d'appréciation de la salinité de l'eau d'irrigation (Directive FAO pour la qualité des eaux d'irrigation).....	42
Tableau18 : Normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation	42
Tableau19 : Normes d'appréciation de la conductivité électrique du sol à la pâte saturée	46
Tableau20 : Norme de la matière organique (Management, Ingénierie de Développement, de Formation et Agri-Consulting, 2009).....	48

LISTE DES ABREVIATIONS

ORMVAH : Office de Mise en Valeur Agricole du Haouz

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

BIRD : Banque International de R et Développement

ABHT : Agence de Bassin Hydraulique de Tensift

BAD : Banque Africaine de Développement

PAGIRE : Programme d'Aménagement Intégré des Ressources en Eau

LABOMAG : Laboratoire Marocaine d'Agriculture

PH : Potentiel Hydrogène

CE : Conductivité électrique

EDTA : Acide Ethylène Diamine Tétra Acétique

MO : Matière Organique

Chapitre 1 :

Introduction générale

I. Introduction générale

I-1. Introduction

Les ressources hydriques disponibles au Maroc demeurent très limitées d'une part, et les réserves souterraines sont surexploitées d'autre part, d'où la nécessité de faire face à la raréfaction de ces ressources et d'adopter les moyens et les mesures adéquats pour une valorisation optimale des ressources en eau. Dans cette perspective, de nouvelles techniques d'aménagements et innovations ont été élaborées et ce, pour gérer d'une manière rationnelle les infrastructures hydro-agricoles.

Cela se traduit nettement dans notre secteur d'étude (N°fis N1-2) où le développement économique est basé fondamentalement sur l'agriculture reposant sur une mobilisation importante des ressources en eau.

Dans ce cadre, l'Office Régionale de Mise en Valeur Agricole du Haouz a engagé un ambitieux projet de reconversion du mode d'irrigation traditionnelle en irrigation localisée pour le secteur N°fis N1-2 qui s'inscrit dans le Plan National d'Economie d'Eau d'Irrigation (PNEEI). Le programme est financé par la Banque International de Reconstitution et de Développement (BIRD), qui vise la modernisation l'amélioration des techniques de l'irrigation, l'appui aux agriculteurs et leurs partenaires.

Le présent travail a pour objectif d'étudier l'impact de la reconversion de l'irrigation gravitaire en localisée sur le sol et la nappe dans la zone N°fis N1-2, et qui est réalisé en collaboration entre la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech et l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Haouz.

Le présent mémoire est subdivisé en 5 chapitres :

- Le premier chapitre portera sur la bibliographie de la plaine du Haouz et la présentation de l'organisme d'accueil.
- Le deuxième concernera la méthodologie et les différents matériels utilisés dans les analyses d'eau et sol.
- Le troisième va donner les résultats obtenus.
- Le quatrième montrera les interprétations liées aux paramètres mesurés.
- Le cinquième donnera une conclusion générale

I-2. Présentation de l'ORMVAH

Ce présent travail a été effectué à l'Office Régional de la Mise en Valeur Agricole du Haouz (ORMVAH).

L'ORMVAH a été créé, par le décret royal n° 831-66 du 22 octobre 1966, pour gérer la plaine du Haouz (Maroc). Cet établissement public a une autonomie administrative et financière sous le contrôle du ministère de l'Agriculture. L'ORMVAH a plusieurs missions telles que :

- La construction, l'entretien et la gestion des équipements d'irrigation et les projets agricoles,
- le développement agricole et rural et l'encadrement de la mise en valeur agricole,
- la réalisation des études et des aménagements hydro-agricoles,
- l'amélioration des techniques culturales et la production animale,
- l'aide et la formation des agriculteurs et des membres du personnel et de développer la formation,
- la gestion, avec d'autres institutions régionales, de l'eau disponible dans les barrages locaux ou externes et celles des nappes phréatiques peu profondes utilisées comme ressources en eaux complémentaires.

I-2-a. Zone d'action

La zone d'action de l'Office du Haouz s'étend sur une superficie totale de 663.000ha. Cette zone est limitée à l'Est par l'Oued El Abid, à l'Ouest par le bassin du N'Fis, au Sud par Le périmètre du Haut Atlas et au Nord par les Oueds Tensift et Oum Rbiaa. Cette zone couvre :

- La wilaya de Marrakech où la zone de l'office s'étend sur une superficie de 277.000 ha et englobe la préfecture de Marrakech et la province d'Al Haouz,
- La province d'El Kelaa des Sraghna et Rhamna sur une superficie de 385.000 ha,
- La province d'Azilal sur une superficie de 1000 ha.

Milieu physique :

La zone d'action de l'ORMVAH est caractérisée par un climat contraignant avec des températures estivales très élevée (37°C) et hivernales basse (5°C), une faible pluviométrie, (moyenne de 240 mm/an), des faibles degrés d'humidité (hygrométrie, de l'ordre de 40 %), ainsi que pour une évaporation importante (2400 mm /an) (L'ORMVAH,).

Telles sont les caractéristiques principales du climat semi-aride du Haouz qui, sans maîtrise de l'eau, rend aléatoire toute amélioration et diversification de la production agricole.

I-2-b. Les périmètres irrigués de l'ORMVAH :

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

✚ Périmètre de la Tessaout amont :

Le périmètre de la Tessaout 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 km à l'Est de Marrakech. C'est un ancien périmètre dont les terres ont toujours été irriguées d'une manière traditionnelle, à partir de trente séguis dérivés à partir d'Oued Tessaout (L'ORMVAH, 2008). Les eaux alimentant la Tessaout amont sont régularisées par le barrage de Moulay Youssef et le barrage de compensation de Timinoutine sur l'Oued Tessaout. Des prélèvements sont effectués en cours par des séguis.

L'irrigation dans la Tessaout 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 séguis, 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.

✚ Périmètre de la Tessaout aval :

Le périmètre de la Tessaout aval est situé dans la province d'El Kelaa des Sraghna, de part et d'autre de l'Oued Tessaout, il s'étale sur une superficie brute de 72.000 ha dont 44.000 ha aménagés et irrigués gravitairement. La Tessaout aval est subdivisée en deux unités hydrauliques : la zone située à l'amont du canal T2 (6500 ha), qui bénéficie de l'eau des Oueds Lakhdar et Tessaout régularisés par les barrages Hassan premier et Moulay Youssef (46M m³/an) et la zone située à l'aval du canal T2 (37.361 ha) qui est alimentée par un transfert via le canal GM du Tadla et le canal T2 de l'eau de l'Oued El Abid régularisé à Bin El Ouidan (235 Mm³/an). L'équipement de ce périmètre est limité aux canaux primaires etc... secondaires. (L'ORMVAH, 2008)

✚ Périmètre d'El Haouz central :

On peut distinguer dans le Haouz central : les périmètres du N'Fis, en rive gauche et en rive droite d'une part et les secteurs centraux d'autre part.

Périmètre de N'fis

Le périmètre de N'fis correspond à la zone Ouest du grand périmètre du Haouz et s'étend sur les parties planes des bassins d'Oued N'fis et Bahja qui sont les affluents d'Oued Tensift.

Le N'fis rive droite peut être divisé en trois unités distinctes (L'ORMVAH, 2008) :

- Secteurs traditionnels réalimentés, bénéficiant de 18,5 Mm³ des eaux de Lalla Takerkoust.
- Secteurs équipés de réseau sous pression, d'où la mise en pression est gravitaire bénéficiant 28Mm³ des eaux de Lalla Takerkoust.
- Secteurs équipés de réseau sous pression, bénéficiant 112 Mm³ des eaux de l'Oued Lakhdar.
- Secteur N4 (rive gauche de N'fis).

Secteurs centraux

Ils sont tous situés dans la plaine du Haouz et alimentés gravitairement par des prises sur la rive droite du canal de rocade. Les ressources en eau affectés à ces secteurs sont l'eau de l'oued N'fis régularisé par le barrage Lalla Takerkoust et l'eau de l'Oued Lakhdar par le barrage Moulay Hassan premier transportée par le canal de rocade.

I-3. LE PNEEI

Le PNEEI s'inscrit dans le cadre du plan Maroc vert qui marque la volonté politique de faire de l'agriculture un pilier 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 au pays.

DEFIS ET OBJECTIFS

Défis de l'agriculture irriguée

- ✓ Augmentation de la valorisation de l'eau tout au long de la chaîne de valeur (plus de production et plus de valeur ajoutée par m³ d'eau et de manière durable).
- ✓ Contribuer à offrir des conditions de vie décentes aux ruraux (plus de revenu et plus d'emplois).
- ✓ Contribuer à l'aménagement du territoire (création des pôles de développement locaux et régionaux, maintien de la biodiversité, des paysages, équilibre villes/campagnes etc.).

Objectif 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 395.00 ha en 15 ans pour faciliter la reconversion aux techniques d'irrigation économes en eau réseaux basse pression, densification des réseaux sous pression, aménagement des bassins, ...);
- ✚ Reconversion et équipement en irrigation localisée d'une superficie de 555.000 ha par an dans les périmètres de grande hydraulique et dans les zones d'irrigation individuelles privé ;
- ✚ Promotion des cultures à forte valeur ajoutée et valorisation des productions agricoles.

Avant le projet de reconversion le système d'irrigation gravitaire était le plus dominant (70%) par rapport à l'aspersion et le localisé. Le PNEEI vise à faire augmenter le taux de l'irrigation localisée en atteignant un pourcentage de 48%, en outre, diminuer le taux d'irrigation gravitaire.

Contexte du travail

Notre projet sous le thème de l'impact de la reconversion du système d'irrigation gravitaire en localisée va concerner le secteur N°fis N1-2 qui se situe dans le Haouz central.

I-4. Présentation du milieu physique :

Le Haouz s'étend d'une superficie de 6000 km², il est situé entre la chaîne atlasique au sud et les Jbilet au nord, la plaine el Haouz est caractérisée par une morphologie plane et monotone, subdivisée en 3 parties :

- Haouz oriental
- Haouz Central (secteur N°fis)
- Haouz occidental ou Mejjat

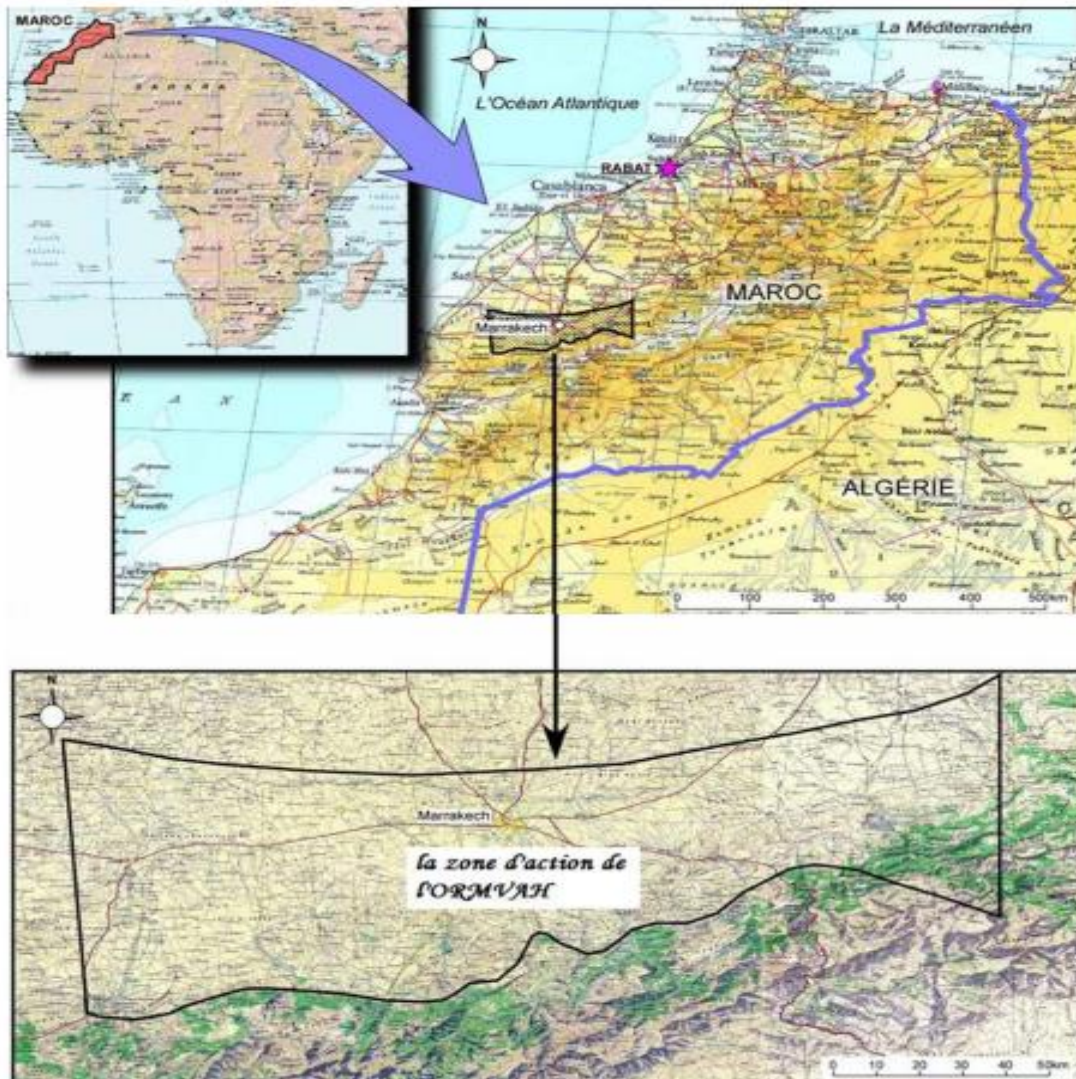


Figure1 : Carte de situation du Haouz et zone d'action de l'ORMVAH (JICA, al, 2007

I-4-a. Cadre géologique

La plaine el Haouz est issue du démantèlement de la chaîne atlasique, ces accumulations recouvrant les formations primaires, secondaires, et tertiaires, toutes ces formations sont observées au niveau du Haouz (Moukhchane 1983), ces formations sont subdivisées en socle et couverture.

- Socle primaire ou hercynien :

Constitué de grés, schistes, argiles, et calcaire

- Couverture secondaire et paléogène :

Elle est formée par : Permo-trias, jurassique, le crétacée, Eocène,

- Le néogène et le quaternaire :
Mio-pliocène, le Plio-villafranchien.

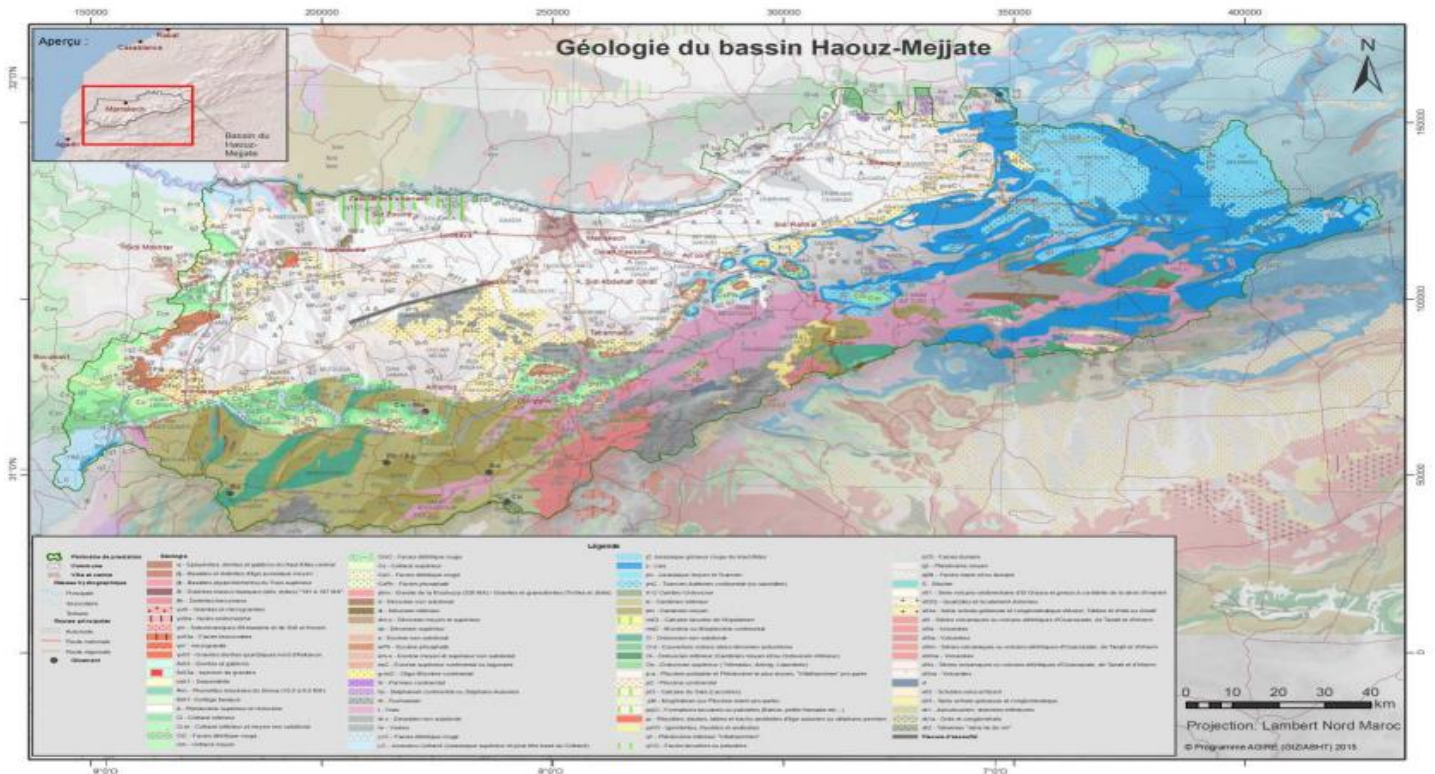


Figure2 : Carte géologique du bassin Haouz-Mejjate de Marrakech (programme AGIRE diagnostic du bassin Haouz-Mejjate 2016)

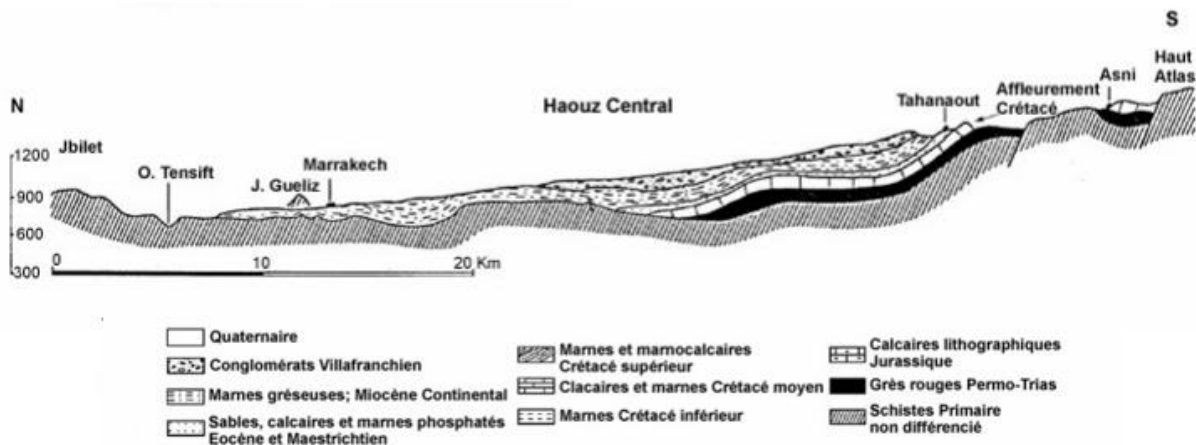


Figure 3 : Coupe géologique au niveau de la plaine Haouz (Ambroggi et Thuile, 1952).

I-4-b. géologie du Haouz central (secteur N'fis)

La zone de la plaine de N'fis est dominée par les formations quaternaires (Holocène et Pléistocène) qui font partie du bassin sédimentaire couvrant tout le bassin du Haouz-Mejjate d'origine tectonique dans lequel se sont accumulés au Tertiaire et au Quaternaire d'abondantes formations détritiques continentales et fluviales, issues du démantèlement des chaînes Atlasiques.

Au niveau de cette plaine, on note l'affleurement de quelques petites fenêtres des formations Miocène ou Miopliocène continental.

Dans le Haouz central, le socle primaire est constitué de séries schisteuses modelées par l'orogénèse hercynienne. Les couvertures secondaires et paléogènes sont déposés en discordance sur une topographie irrégulière. Certains dépôts ont un caractère continental, fruit de la désagrégation mécanique des roches et d'un court transport par gravité, d'autres dépôts ont subi un transport par l'eau, charriés par un réseau hydrographique au régime torrentiel.

I-4-c. Climat

Le climat du secteur d'étude est de type continental méditerranéen, chaud et sec, classé à la limite du semi-aride à l'aride, Les données climatiques sont enregistrées par des stations d'observations intitulées lalla Takerkoust et Imine El Hamam situées près de la zone d'étude :

Température

Pendant les périodes 1980 et 2000 On remarque l'existence de deux saisons, une chaude et sèche et l'autre froide et légèrement tempérée, avec une température maximale de 45°C pendant la saison chaude, et pendant la saison froide et légèrement tempérée les stations ont enregistrées des valeurs entre -3°C et -8°C (A.Abourida).

Précipitations

Les précipitations dans la zone d'étude sont enregistrées par les deux stations lala takerkoust et Imin El Hamam , Les précipitations dans la zone d'étude sont enregistrées par les deux stations lala takerkoust et Imin El Hamam situées à la proximité de l'Oued N'fis.

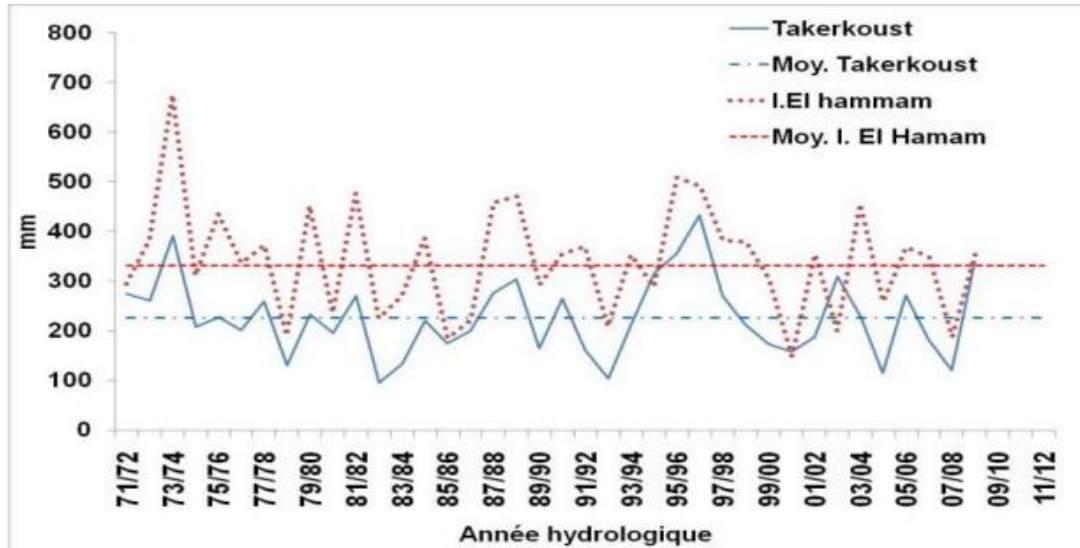


Figure4 : Evolution de la pluviométrie annuelle du secteur N'fis Marrakech enregistrés par les stations Lala takerkoust et Imin El Hmam (1971-2012)

D'après les données des stations météorologiques, on remarque l'existence de deux périodes caractéristiques :

- Une Période humide allant du mois d'Octobre à Avril où on a 84% de la pluviométrie annuelle.
- Une période sèche allant de Mai à Septembre avec 17% de la pluviométrie annuelle.

La moyenne annuelle est de l'ordre de 226 mm au sein de la station Lalla Takerkoust et de l'ordre de 331 mm au sein de la station Imin El Hamam,

a) Station lala takerkoust : Max= 443 mm (96/97)

Min= 95 mm (82/83)

b) Station Imin El Hamam : Max= 675 mm (73/74)

Min= 149 mm (2000/2001)

Par ailleurs, il est important de préciser que ce secteur connaît des irrégularités intra et inter annuelles concernant les précipitations.

I-4-d. hydrogéologie

Les ressources en eau du bassin de Tensift :

Le bassin de Tensift bénéficie d'un transfert d'eau de l'ordre de 300 Mm³ à partir du bassin de l'oum Erbia, destinée à l'alimentation en eau de la ville de Marrakech et à l'irrigation dans le Haouz central.

Les oueds importants du bassin de Tensift prennent tous naissance dans le haut Atlas. La surface du bassin peut être subdivisée en deux sous zones :

* La sous zone du cours moyen du Tensift et ses affluents de la rive gauche qui constituent la partie active du bassin.

* La zone du Bas Tensift qui englobe le cours aval de l'oued Tensift et le bassin de l'oued Chichaoua.

On cite les principaux affluents du oued Tensift sont : Oued N'fis, Rdat, Zat, Ourika, et Rheraya.

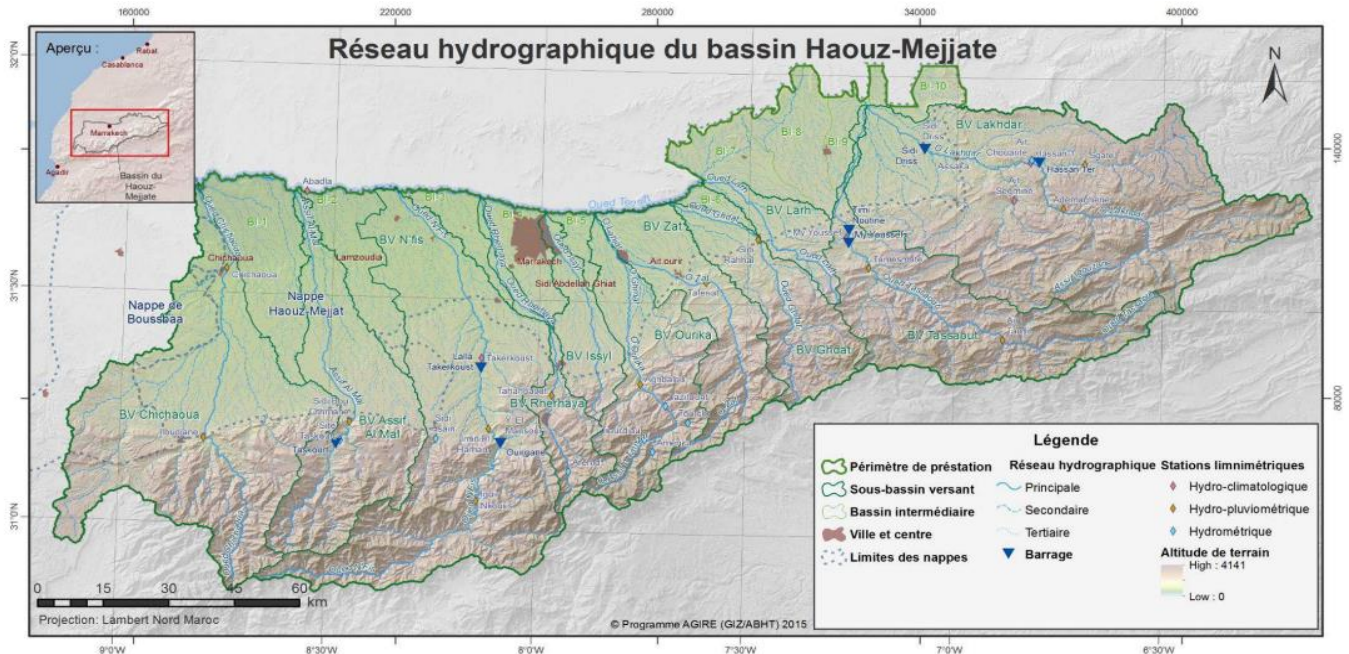


Figure5 : Carte du Réseau hydrographique et répartitions des stations limnimétriques au niveau du bassin Haouz-Mejjate d'après l'ABHT-ABHOER, 2014

La nappe du Haouz

La nappe du Haouz s'étend sur 6 859 Km², c'est la nappe la plus productive de la région et la plus exploitée.

La surface libre de la nappe s'établit en moyenne à 25m sous le niveau du sol mais dans les zones où l'eau est exploitée intensivement, la surface libre de la nappe s'établit aux environs de 45m.

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

La piézométrie de la zone est caractérisée par un écoulement général du Sud vers le Nord-Ouest en direction de l'oued Tensift. Les gradients hydrauliques sont forts compris entre 2 à 4% au Sud de la plaine et sont plus faibles vers le Nord.

« L'effet des pompages a provoqué des baisses au niveau de l'ensemble de la nappe de l'ordre de 20 Mètres en moyenne et qui atteignent 60 mètres au niveau des périmètres agricoles du N'Fis et du Haouz Oriental » selon le programme AGIRE 2016, Diagnostic du bassin Haouz-Mejjate de Marrakech.

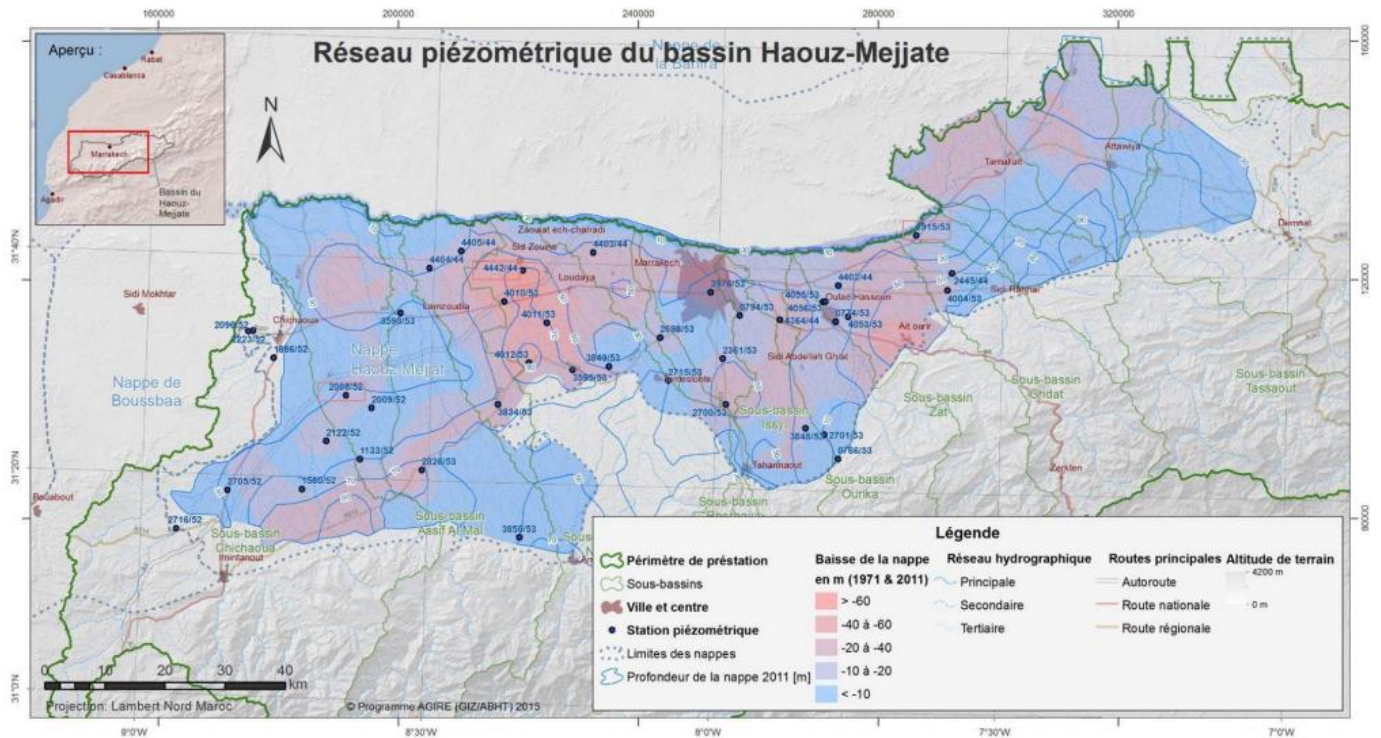


Figure6 : Carte du Réseau de mesure piézométrique dans le bassin du Haouz-Mejjate, illustrant une baisse de la nappe du Haouz Marrakech (ABHT)

I-4-e. Les types des sols dans la région :

Les sols sur les secteurs de N'fis N1-2 sont individualisés principalement sur des limons roses et des limons gris calcaires. Au niveau du secteur N'fis les matériaux parentaux des sols proviennent des apports alluviaux torrentiels récents des cours d'eau.

Les sols dominants distingués sur la rive droite du N'fis sont constitués de complexe de sols peu évolués d'apport alluviaux modaux et des sols isohumiques à complexe saturés, siérozems modaux. (Carte pédologique ORMVAH).

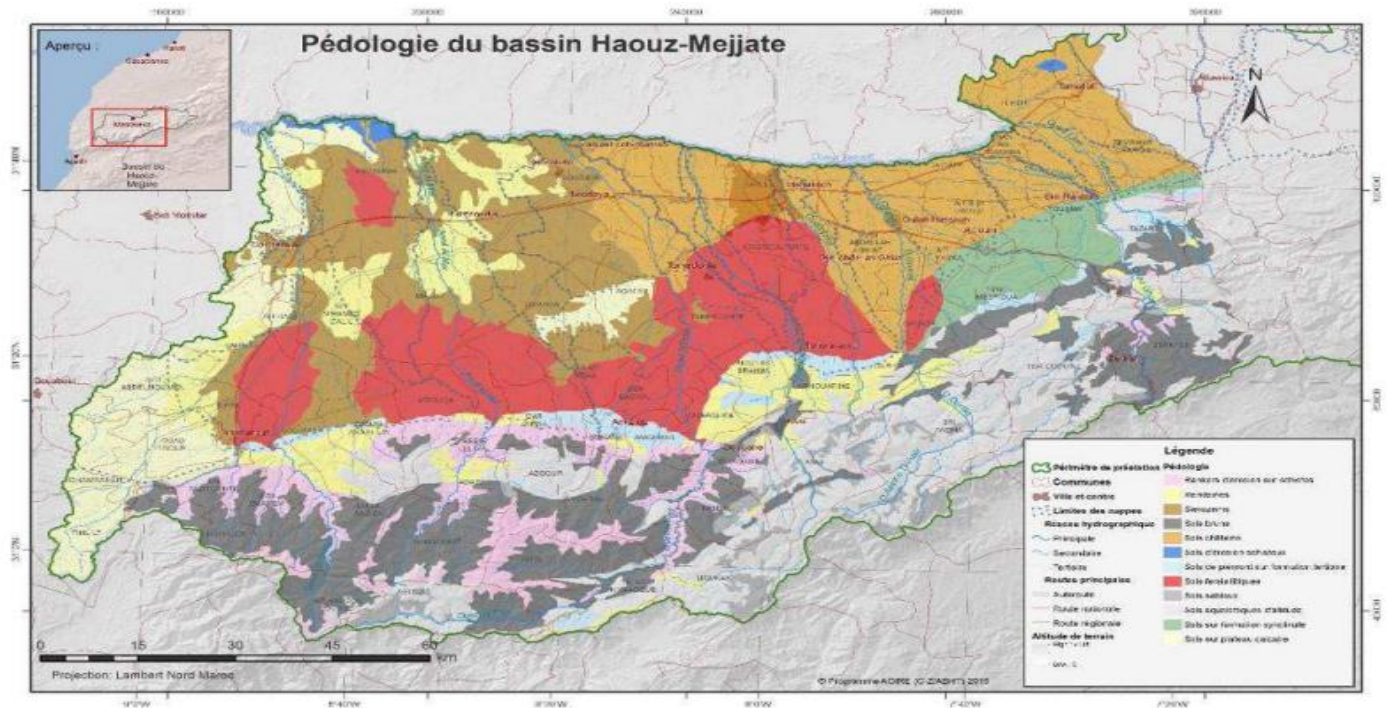


Figure7 : Carte pédologique du bassin Haouz-Mejjate de Marrakech (ABHT).

I-4-f. L'irrigation dans le secteur N'fis N1-2 :

L'irrigation dans le secteur N'fis reposait principalement sur le système gravitaire qui est une technique ancestrale consistant à arroser les cultures en faisant ruisseler l'eau à la surface du sol. Cependant, ce système représente plusieurs inconvénients non seulement liés au gaspillage de l'eau mais encore liés à la faible efficacité de cette technique. Le secteur N'fis a connu un passage de l'irrigation gravitaire en localisée afin d'adopter des techniques économiques de l'eau, augmenter le rendement, améliorer la qualité des produits en plus d'introduire des nouvelles cultures, et tout cela se réalisera par l'adoption de certains plans de modernisation subventionnés par l'état. Les principaux bailleurs de fonds de cette reconversion sont la Banque Africaine de Développement (BAD) et la Banque Internationale de Reconstitution et de Développement (BIRD).

Chapitre 2 :

Matériels et Méthodologie D'analyse d'eaux et sols

II. Méthodologie de travail :

Afin de déterminer la qualité des eaux et du sol, nous avons réalisé une campagne d'échantillonnage au cours du mois d'Avril 2016 sur la base d'une étude de référence réalisée par le Laboratoire Marocain d'Agriculture (Labomag) et qui est connu à l'échelle nationale on a procédé comme suit : 23 échantillons des sols, 6 échantillons des eaux souterraines et 2 échantillons des eaux de surface répertoriés et spatialisés sur la carte suivante :



Figure8 : Carte de situation des sites de prélèvements du sol et des eaux d'étude de référence et d'étude actuelle dans le secteur N'fis N1-2 Marrakech

Phase terrain :

II-1. Echantillonnage des eaux :

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

Les échantillons des eaux souterraines ont été prélevés à partir des puits et forages d'exploitation et les eaux superficielles à partir des canaux d'irrigation.

Ces échantillons prélevés sont récupérés dans des bouteilles en plastique bien fermées, codées et nommées et qui sont conservées par la suite dans une glacière jusqu'au moment de l'analyse.

Les paramètres retenus pour la caractérisation des eaux sont les suivants :

paramètres		
PH	CE	compositions cationiques : HCO_3^- , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Na^+ et K^+

Phase laboratoire :

Dans le but de caractériser et déterminer la qualité des eaux dans la zone de reconversion du système d'irrigation gravitaire en système localisé, nous avons réalisé des analyses physico-chimiques des eaux au sein du laboratoire de pédologie de l'ORMVAH du Haouz.

II-2. Méthodologie d'analyse des eaux

Le potentiel hydrogène de l'eau (PH) :

Il permet de mesurer l'activité chimique des ions hydrogènes (H^+) et donne une idée sur l'acidité ou l'alcalinité d'une eau à l'aide d'un appareil de mesure qui est le pH-mètre.

Pour mesurer le Ph on opère de la manière suivante :

On place une quantité suffisante d'eau à analyser dans un bécher de 100 ml,

On étalonne le pH-mètre à l'aide des solutions tampon de $\text{pH}=4$, $\text{pH}=7$ et $\text{pH}=10$,

Ensuite on rince abondamment l'électrode avec de l'eau distillée avant de commencer la mesure des échantillons,

On place l'électrode dans le bécher et on lit la valeur affichée sur l'appareil.

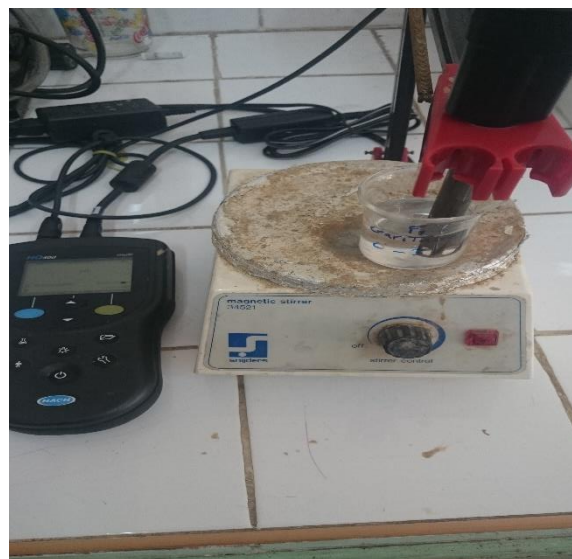


Figure 9 : Le pH-mètre

La conductivité électrique (CE) :

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes, elle permet d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau et par suite donner une idée sur la minéralisation totale d'une eau, Elle a été réalisée sur au laboratoire à l'aide d'un conductimètre selon la méthode suivante :

On place l'eau dans un bécher de 100ml,

On étalonne le conductimètre par une solution KCl (0.01),

Par la suite on met l'électrode dans le bécher et on lie la valeur affichée sur l'appareil.



Figure10 : le Conductimètre

Bilan ionique de l'eau :

L'analyse chimique des eaux se fait par le dosage volumétrique pour les chlorures, les bicarbonates, les sulfates, le calcium et le magnésium) et par Spectrophotométrie à flamme pour le sodium et le potassium.

Les chlorures :

les ions Cl^- sont dosés par une solution titrée de nitrate d'argent (AgNO_3 , 0.02N) en présence de chromate de potassium (KCrO_4). Les chlorures vont se précipiter sous forme de chlorure d'Argent (AgCl).

Le protocole utilisé est le suivant :

On pipette 10 ml de l'échantillon de l'eau qu'on place dans un erlenmeyer,

On ajuste la burette remplie par la solution de Nitrates d'argent (AgNO_3),

On rajoute à l'eau ensuite 3 gouttes de chromate de potassium ($KCrO_4$), la couleur de la solution devient jaune,
Enfin, on verse $AgNO_3$ contenu dans la burette jusqu'au virage (l'obtention d'une couleur rouge brique).

Calcul: $mg /L = V(AgNO_3) * 5 * 35,5$



Figure 11 : L'appareil de dosage des chlorures

Le calcium :

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

Le protocole adopté est le suivant :

On place dans un erlenmeyer 10ml de l'échantillon de l'eau, 40 ml de l'eau distillée et 2ml de la soude,

On ajuste la burette remplie par EDTA (l'acide éthylène diamine tétra acétique),

On rajoute à la solution l'indicateur coloré : murexide,

Enfin, on effectue le titrage par l' EDTA qu'on arrête à l'obtention d'une couleur violet.

Calcul : Soit n (mL) le volume d'EDTA ajouté (0,02N)
 $m\text{éq} (Ca^{2+}/L) = n \text{ (mL)} * 0,02 * 0,1 * 1000 = 2n$
 $mg (Ca^{2+}/L) = 2n * 20$

Le magnésium :

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

Le protocole est le suivant :

On place dans un erlenmeyer 10 ml de l'échantillon de l'eau et 10 ml de la solution tampon,
 On ajuste la burette remplie par l'EDTA
 On rajoute à la solution l'erichrome NET,
 On verse l'EDTA jusqu'à l'obtention d'une couleur bleue foncée.

Calcul : Soit N (mL) le volume d'EDTA (0,02N) versé.
 $\text{méq (Mg}^{2+} / \text{l)} = ((N-n) \cdot 0,02 / 10) \cdot 1000 = 2(N-n)$
 $\text{mg (Mg}^{2+} / \text{l)} = 2(N-n) \cdot 24$

Les sulfates :

Le protocole adopté est le suivant :

- On place dans un erlenmeyer 10ml de l'échantillon de l'eau, 2ml de H₂SO₄ + le volume trouvé dans le dosage des bicarbonates,
- On place la solution sur la plaque chauffante,
- Après l'ébullition on ajoute 5ml de BaCl₂,
- Après le refroidissement de la solution on ajoute 10ml de la solution tampon NH₃ et 2ml de MgCl₂,
- On rajoute à la solution 3 gouttes de l'Erichrome NET et on effectue le titrage des SO₄²⁻ par l'EDTA.



Figure12 : Dosage du Calcium, Magnésium et Sulfates par l'EDTA

Les bicarbonates :

Le dosage des HCO₃ se fait par acidimétrie à l'aide d'une solution d'acide sulfurique H₂SO₄ à 0.02N. L'indicateur coloré utilisé est le vert de Bromocrésol qui donne une couleur bleue.

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

S'il n y a pas de carbonates :

$$\text{méq (HCO}_3^- \text{)/L} = N \text{ (mL)} \cdot 0,02 \cdot 1000 \cdot 0,1 = N \text{ (mL)} \cdot 2 \cdot 61 \text{ (mg/L)}$$



Figure 13 : Burette permettant le dosage des bicarbonates

Sodium et potassium :

Le dosage du sodium et potassium se base sur la méthode de spectrophotométrie à flamme. Son principe se base sur la dissociation des atomes pendant leur passage dans la flamme, et qui émettent de l'énergie à leur excitation. Chaque élément va émettre une longueur d'onde bien précise qui sera détectée par des filtres optiques de chaque élément. Le principe consiste à réaliser une courbe d'étalonnage de l'élément à doser avec des concentrations connues, puis évaporer dans la flamme du photomètre l'eau à analyser et déterminer la teneur du Na⁺ ou K⁺ en connaissant la longueur d'onde d'absorption de chaque élément.



Figure14 : Le Spectrophotomètre à flamme

Phase terrain :

II-3. Technique d'échantillonnage des sols :

Les analyses des sols ont pour objectif de les caractériser avant la reconversion du système d'irrigation gravitaire en système localisé. Les prélèvements sont réalisés sous différentes cultures à l'aide d'une tarière agricole en tenant compte de leur profondeur d'enracinement. En total 23 échantillons de sol ont été prélevés.

Les échantillons de sols portent sur 2 horizons concernant les cultures annuelles de céréales, les profondeurs prélevées sont de 0-20cm et 20-40cm. Ils portent sur 3 horizons concernant les plantations arboricoles telles que les oliviers, agrumes et abricotiers, les prélèvements sont de 0-20cm, 20-40cm et 40-60cm.

Phase laboratoire :

II-4. Méthode d'analyse des sols :

Avant de procéder aux analyses des échantillons, ils ont été séchés à l'air libre ensuite ils ont été tamisés par des tamis de 2mm dans le but de se débarrasser de toute matière grossière tels que les cailloux, débris de végétaux et insectes, t d'obtenir une terre fine.

Les analyses portent sur les paramètres suivants : pH, EC, EC pâte saturée et la MO.

Le pH du sol :

Le pH du sol a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre et ceci pour déterminer l'alcalinité ou l'acidité du sol. Le mode opératoire est le suivant :

- On pèse 10g de terre dans 1 bécher de 100ml et on ajoute 25ml d'eau distillée,
- A l'aide d'une baguette en verre on agite de temps en temps pendant 4 heures,
- On étalonne le pH-mètre par des solutions tampons (pH 4 pH7 et pH9),
- On place l'électrode dans le bécher et on lit la valeur affichée sur l'appareil.

La conductivité électrique de l'extrait 1/5 :

La conductivité électrique exprime la capacité d'un sol à se faire traverser par un courant électrique, elle a été mesurée à l'aide d'un conductivimètre, selon la méthode suivante :

- On pèse 10g de terre et on les verse dans un flacon d'agitation, puis on ajoute 50ml d'eau distillée,
- On agite pendant 20min. On étalonne le conductivimètre par une solution KCL 0.01N. Après chaque mesure on rince soigneusement l'électrode.

Formule :

La 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.

On la détermine selon la méthode suivante :

- Oxydation :

On pèse 2 g du sol, et on les place dans un erlenmeyer de 250 ml, avec 10ml de K₂Cr₂O₇ 1N et 20 ml d'H₂SO₄ concentré,

On laisse la solution 30 min pour que l'oxydation se développe,

On stop la réaction en ajoutant 100 ml d'eau distillée,

- Dosage :

On prélève 25 ml de la solution surnageant et on la place dans un erlenmeyer, on ajoute 5 g de NaF et 3 gouttes de chlorhydrate de diphénylamine,

On verse la solution de Mohr dans une burette et on titre l'excès de bichromate.

Formule de calcul :

$$\% \text{ M.O} = 3,9 * (V_t - V_e) / (m * V_t) = \text{Carbone}(\%) * (1,724)$$

3,9 : nombre de mg de carbone par ml de bichromate

V_t : Volume de titre de témoin(4,2 pour notre étude)

V_e : volume de titre de l'échantillon en ml

m : Masse de la prise d'essai du sol en gramme (2 gramme pour notre étude).

La conductivité électrique à la pâte saturée :

Pour calculer ce paramètre on a choisi les échantillons qui présentent les CE les plus élevées et qu'on cite :

N de profondeur 0-20 cm ,N1 de profondeur 0-20 cm ,N1 de profondeur 20-40 cm et N15 de profondeur 40-60 cm

Elle se mesure comme suit :

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



Figure15 : La centrifugeuse

Chapitre 3 :

Résultats analyses eaux et sols

III. Résultats analyses eaux et sols

III-1. Analyse des eaux

III-1-a. Eau de surface

Tableau1 : variation de PH

Echantillon	PH
N4	8,06
N14	8,16

Tableau2 : variation de la conductivité électrique

Echantillon	Conductivité électrique	CE en mmhos/cm
N4	361 micros siemens/cm	0,398905
N14	366 micros siemens/cm	0,40443

Tableau3 : Bilan ionique et SAR des eaux de surface du secteur N'fis N 1-2 Marrakech

Echantillon	Cl-	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	K ⁺	Na ⁺	SAR
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L			Méq/l
N4	71	24	16,94	183	52,8	2,3	30,9	0,71
N14	88,75	28	20,57	183	105,6	2,3	32,7	0,69

III-1-b. Eaux souterraines

1) Le paramètre PH

Tableau4 : PH des eaux souterraines du secteur N'fis N1-2 Marrakech

Echantillon	PH
N	7,52
N1	7,54
N6	7,27
N7	7,69
N8	7,19
N15	7,5

2) Conductivité électrique

Tableau5 : Conductivité électrique des eaux souterraines du secteur N'fis N1-2 Marrakech

Echantillon	Conductivité électrique	CE en mmhos/cm
N	773 micros siemens/cm	0,854
N1	537 micros siemens/cm	0,593
N6	579 micros siemens/cm	0,640
N7	584 micros siemens/cm	0,645
N8	563 micros siemens/cm	0,622
N15	739 micros siemens/cm	0,817

3) Bilan ionique

Tableau6 : Bilan ionique des eaux souterraines du secteur N'fis N1-2 Marrakech

Echantillon	Ca2+	K+	Na+	Mg2+	HCO3-	SO4-	Cl-	SAR
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	Méq/l
N	70,9	3	122,6	2,42	268,4	28,8	159,75	2,68
N1	38,8	1,9	75,5	14,52	244	81,6	168,63	1,64
N6	37	2,1	62,6	8,47	268,4	86,4	159,75	1,59
N7	34,3	2,2	56,1	8,15	280,6	110,4	177,5	1,47
N8	36,7	1,9	50,8	15,73	244	67,2	159,75	1,09
N15	66,7	2	96,3	20,57	280,6	120	248,5	1,55

4) Dureté totale TH des eaux de la nappe :

Tableau7 : Paramètre de dureté totale des eaux souterraines du secteur N'fis N1-2 Marrakech

Echantillon	TH en ° F	Appréciation
N	18.7	Dure
N1	15.75	Dure
N6	12.75	Douce
N7	11.9	Douce
N8	15.7	Dure
N15	25.2	Dure

III-2. Analyse des sols

1) Le paramètre PH

Tableau 8 : PH des échantillons du sol du secteur N'fis N1-2 Marrakech

Echantillon	Profondeurs (cm)	PH
N	0-20cm	8,15
	20-40cm	7,72
	40-60cm	8,19
N1	0-20cm	8,3
	20-40cm	8,18
N4	0-20cm	8,14
	20-40cm	8,04
N6	0-20cm	8,07
	20-40cm	8,04
N7	0-20cm	7,7
	20-40cm	7,96
	40-60cm	7,95
N8	0-20cm	7,74
	20-40cm	7,36
	40-60cm	7,96
N9	0-20cm	8,12
	20-40cm	8,11
N14	0-20cm	7,96
	20-40cm	7,92
	40-60cm	8,06
N15	0-20cm	8,01
	20-40cm	8,12
	40-60cm	8,09

2) La conductivité électrique

Tableau9 : la conductivité des échantillons à différente profondeurs au secteur N'fis N1-2 Marrakech

Echantillon	Profondeurs (cm)	Conductivité électrique en $\mu\text{S}/\text{cm}$
N	0-20cm	151
	20-40cm	146
	40-60cm	108,6
N1	0-20cm	154
	20-40cm	237
N4	0-20cm	80,5
	20-40cm	75
N6	0-20cm	94,2
	20-40cm	96
N7	0-20cm	98,5
	20-40cm	77,8
N8	0-20cm	96,4
	20-40cm	135
	40-60cm	80,5
N9	0-20cm	85,5
	20-40cm	80,5
N14	0-20cm	94,4
	20-40cm	84,8
	40-60cm	70,4
N15	0-20cm	103,7
	20-40cm	109,6
	40-60cm	174

Tableau10 : CE et CE de la pâte saturée des sols du secteur N'fis N1-2 Marrakech

Echantillon	profondeur	jus	CE En	CE de la pâte saturée	CE en miliSiemens /cm	CE de la pâte en mmhos/cm
N1	20-40cm	15	237	2330	2,33	2,57
N15	40-60cm	22	174	958	0,958	1,06
N1	0-20cm	13,25	154	1010,5	1,0105	1,12
N	0-20cm	22	151	1061	1,061	1,17

Tableau11 : Variation de la MO des échantillons de sol du secteur N'fis N1-2 Marrakech

Echantillon	Profondeur (cm)	Volume équivalent de MO	MO en %
N	0-20cm	2,35	1,48
N1	0-20cm	4,55	0,56
N4	0-20cm	2,25	1,56
N6	0-20cm	2,75	1,16
N7	0-20cm	3	0,96
N8	0-20cm	2,85	1,08
N9	0-20cm	2,5	1,36
N14	0-20cm	2	1,76
N15	0-20cm	1,9	1,84

Chapitre 4 :

Interprétation

IV. Interprétation

Cette partie a pour objectif de caractériser les eaux destinées à l'irrigation et définir la qualité pédologique du secteur N'fis N1-2 dans le but de les comparer avec les normes de validité en vigueur.

IV-1. eaux souterraines

PH :

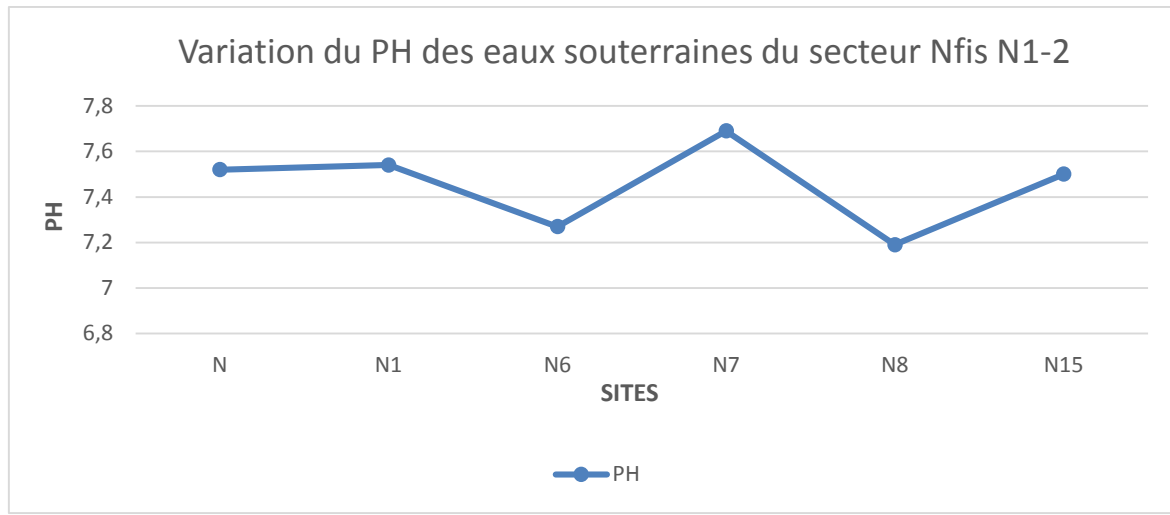


Figure16 : Variation du potentiel hydrogène (pH) des eaux souterraines du secteur N1-2 Marrakech.

D'après la fig.16, le pH des eaux souterraines varie entre 7,19 et 7,69 donc ces eaux ont un pH neutre à faiblement alcalin.

Et selon la norme d'aptitude à l'irrigation qui est fixée entre PH=6,5-8,4. De là, ces valeurs correspondent à des limites normales pour les eaux aptes pour l'irrigation.

Conductivité électrique :

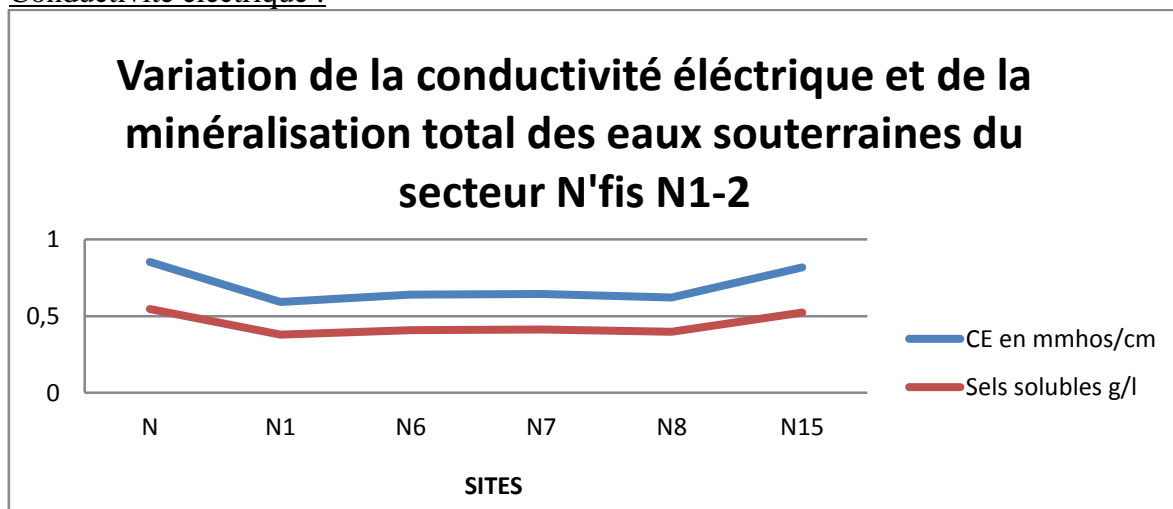


Figure17 : Variation de la conductivité électrique et de la minéralisation totale des eaux souterraines du secteur N'fis N1-2 Marrakech

La conductivité électrique des eaux souterraines varie entre 0,593 et 0,854 mmhos/cm avec une moyenne de 0,695 mmhos/cm, tandis que les sels dissous sont compris entre 0.380 g/L et 0.547 g/L. Ces eaux ne sont donc pas salées.

D'après le graphe ci-dessus, on constate une corrélation entre l'évolution des valeurs de la conductivité électrique et des sels solubles et ceci est dû en effet que la conductivité détermine le degré de minéralisation totale des eaux.

On déduit encore d'une part que les eaux souterraines analysées dans le secteur N'fis N1-2 sont d'une qualité Bonne à Excellente, et d'autre part que ces eaux sont aptes pour l'irrigation puisque les puits et forages affichent des CE inférieures à 3 mmhos/cm qui est le seuil de restriction sévère. Par ailleurs, les eaux de la nappe sont d'une bonne qualité donc ils n'ont pas été contaminés par les produits agricoles.

Les anions :

Les sulfates et les chlorures :

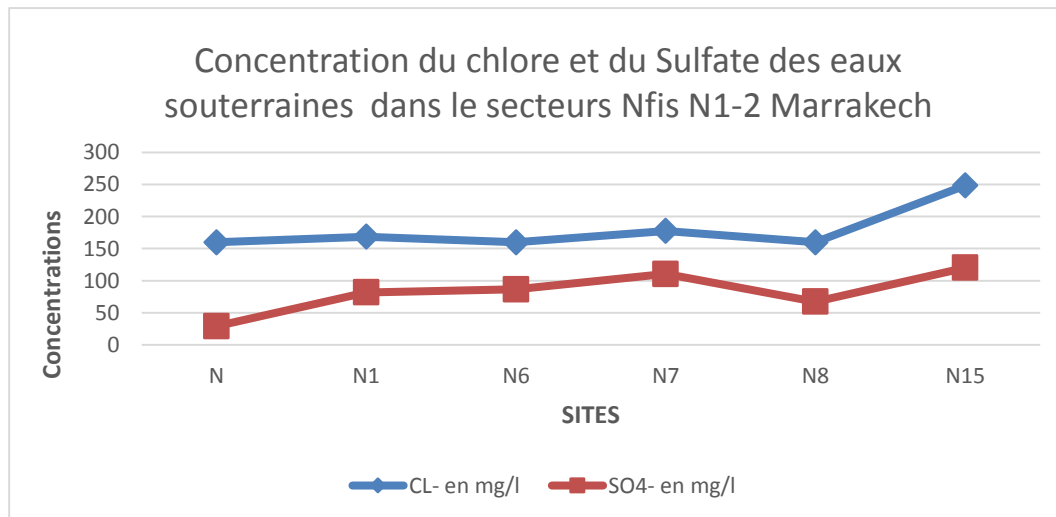


Figure18 : Concentrations du chlore et du Sulfate des eaux souterraines dans le secteur Nfis N1-2 Marrakech

Tableau12 : les normes de qualité du sulfate et chlore

classe de qualité	de Excellente	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
SO4 (mg/l)	1-100	100-200	200-250	250-400	400-2000
Cl- (mg/l)	9-200	200-300	300-750	750-1000	1000-8000

D'après le graphe (fig.18) ci-dessus, les concentrations du chlore dans les eaux souterraines concernées par l'étude sont comprises entre **159,75 et 177,5** mg/L, donc ces eaux sont dans la classe de qualité excellente (9-200 mg/l) sauf le site N15 ayant une concentration qui dépasse 200mg/L et qui est de bonne qualité. Il est nécessaire de dire que la contamination par les

engrais agricoles qui en est la cause de cette valeur élevée des chlorures dans ce dernier site (N15).

En outre, on constate d'après le même graphe que le taux des sulfates est très faible ne dépassant pas 200 mg/L, de là, ces eaux correspondent à une Excellente qualité.

Il est important de souligner que ces ions dans les eaux souterraines proviennent de l'infiltration des pluies et sont contrôlées par le contact eau-roche.

Les cations :

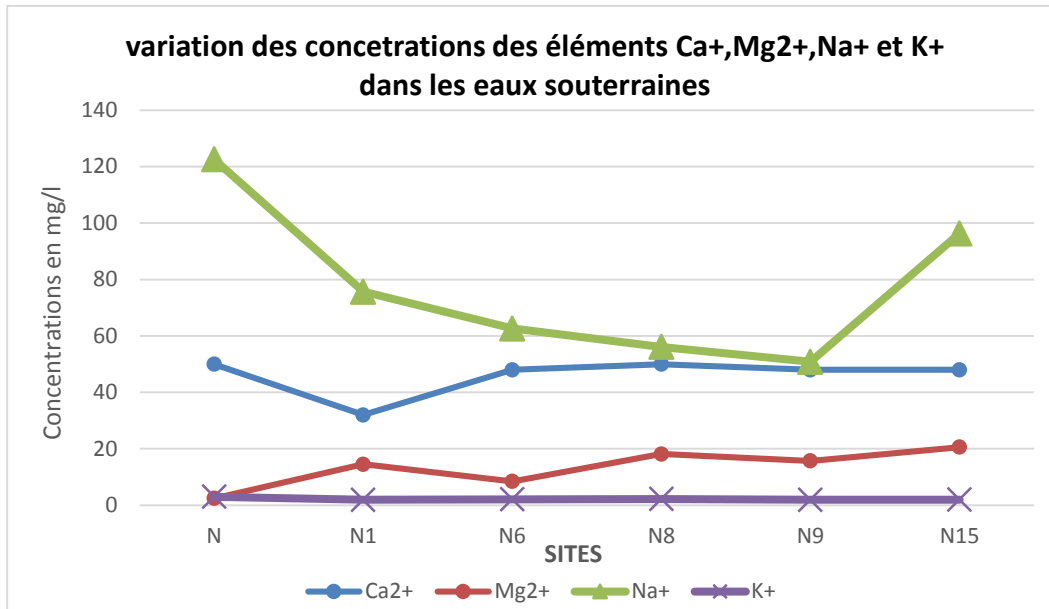


Figure19 : Concentration des cations dans les eaux souterraines du secteur N'fis N1-2 Marrakech

Les concentrations des cations montrent que le cation le plus abondant par rapport à l'ensemble des cations est le sodium qui présente des concentrations qui varient entre 50.8 mg/L et 122.6 mg/L avec une moyenne de 77.35 mg/L. Cette hausse des teneurs de sodium est due probablement à la lixiviation des formations géologiques contenant le Sodium ou à la parvenue d'eaux salées dans les nappes aquifères.

Le calcium s'affiche par des concentrations relativement élevées (en moyenne 47.4 mg/L), et ceci en raison des formations de calcaires existantes au Mio-pliocène.

Le magnésium se caractérise par des concentrations moyennes variantes autour de 13.31 mg/L, et cela peut être expliqué essentiellement par la décomposition des ions ferromagnésiens présents dans les roches de la région.

Quant au potassium, il se développe en très faibles concentrations ne dépassant pas 3 mg/L.

Taux d'adsorption de sodium SAR et dureté totale TH :
SAR : taux d'absorption de sodium

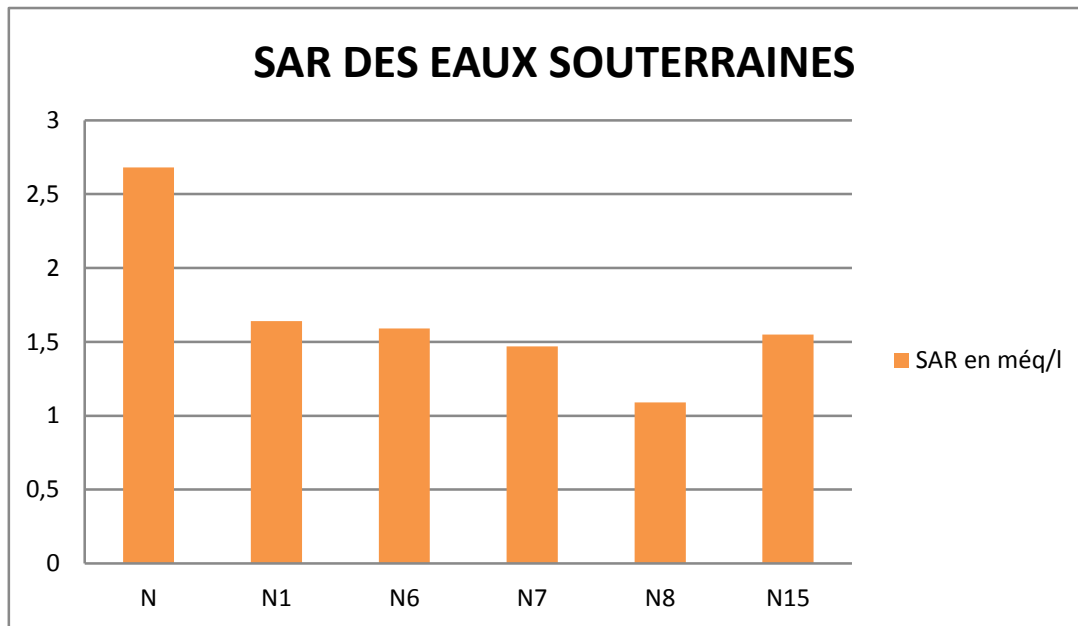


Figure 20 : Variation du SAR des eaux souterraines du secteur N'fis N1-2 Marrakech

Tableau13 : Barème d'appréciation du SAR des eaux d'irrigation :

Appréciation pour l'irrigation	Aucun risque pour les cultures	Risque moyen à modéré	Risque élevé
SAR en méq/L	<3	3-9	>9

Le SAR exprime l'activité relative des ions de Sodium dans les réactions d'échange dans les sols. Cet indice mesure la concentration relative du sodium par rapport au calcium et magnésium.

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

Une grande quantité d'ions sodium dans l'eau affecte la perméabilité des sols et pose des problèmes d'infiltration. Ceci est dû au fait que le sodium présent dans le sol en forme échangeable remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur les argiles de sol et cause la dispersion des particules dans le sol. Cette dispersion a comme conséquence l'altération des agrégats des sols, le sol devient alors dur réduisant ainsi les vitesses d'infiltration de l'eau et d'air.

On peut noter d'après la figure ci-dessus que tous les échantillons ont un SAR inférieur à 3mg/L, de ce fait, les eaux de ce secteur ne présentent aucun risque pour l'irrigation.

Tableau14 : Classification de la dureté utilisée au Maroc (Ouyse, 2005)

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

La dureté d'une eau exprime sa concentration en sels de calcium et de magnésium, elle résulte de son contact avec les formations rocheuses lors de son passage dans le sous-sol. Elle varie donc en fonction de la nature de celui-ci et de la région d'où provient l'eau. Elle s'exprime selon la formule suivante :



Les eaux de cette zone appartiennent à la série des eaux douces à légèrement dures en d'autres termes une eau est dite dure lorsqu'elle est fortement chargée en ions Ca^{2+} et Mg^{2+} , à l'inverse elle est dite douce lorsqu'elle contient peu de ces ions, et ceci peut être justifié par l'altération des formations calcaires par ces eaux.

IV-2. les eaux de surface :

PH :

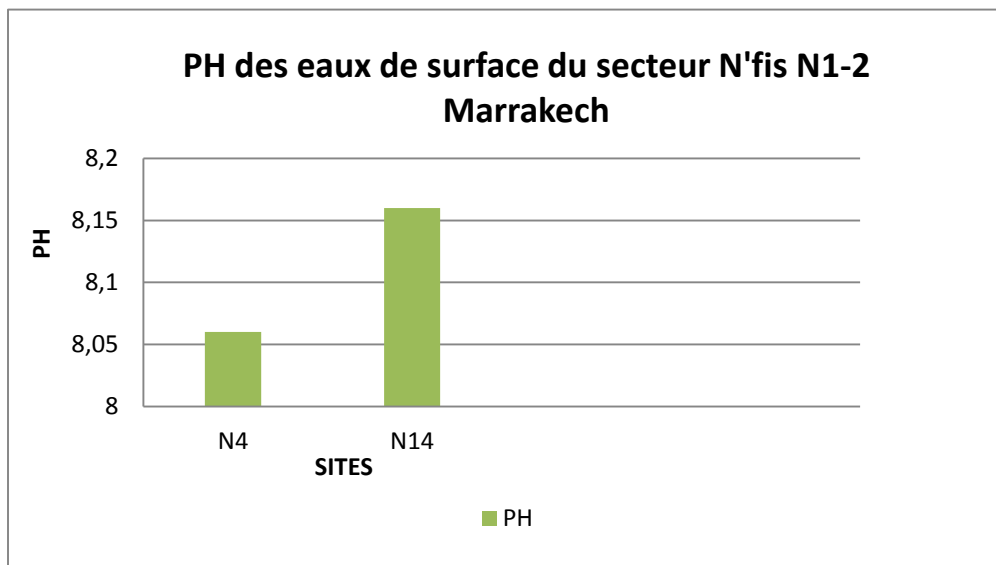


Figure 21 : Histogramme du PH des eaux de surface du secteur N'fis N 1-2 Marrakech

Tableau15 : d'appréciation de la qualité globale des eaux de surface : paramètre PH

Classe de qualité	excellente	moyenne	mauvaise
PH	6,5-8,5	8,5-9,2	3,5-6,5 et 9,2-10

La figure (8) montre que le PH des eaux de N4 et N14 est de qualité excellente comprise entre 6.5-8,5.

Le pH est dans la gamme normale d'eaux aptes à l'irrigation.

Conductivité électrique :

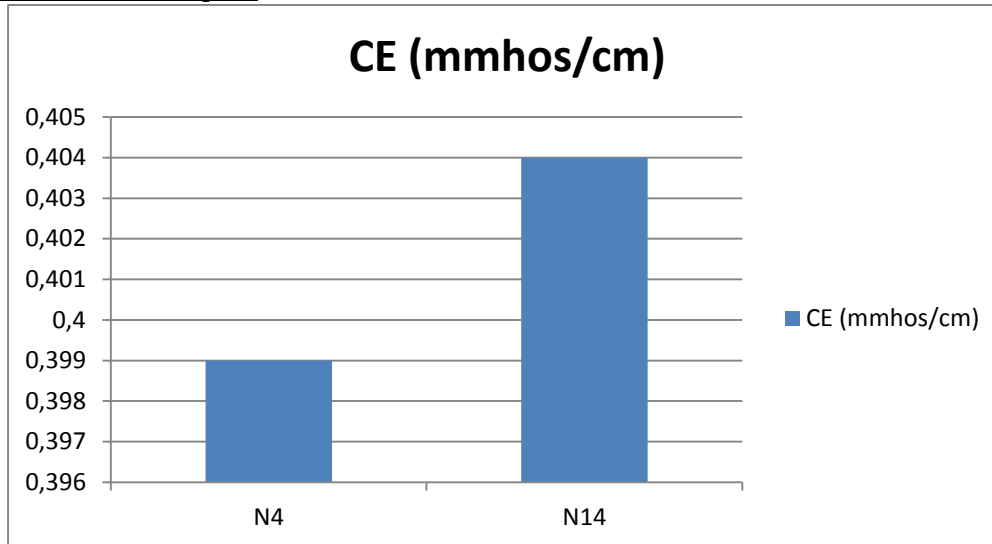


Figure22 : Histogramme de la conductivité électrique des eaux de surface des sites N4 et N14 du secteur N'fis N1-2 El Haouz Marrakech

- **Appréciation globale de la qualité du paramètre conductivité**

Tableau16 : grille d'évaluation de la qualité des eaux superficielles (Normes Ministère Energie, Mines Eaux et Environnement)

classe de qualité	de Excellente	bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
CE (mmhos/cm)	0,1-0,75	0,75-1,3	1,3-2,7	2,7-3	3,0-7,0

D'après le graphe, les valeurs de la conductivité électrique sont faibles et la salinité des eaux superficielles est également faible. Selon la grille d'appréciation des Eaux superficielles, les eaux de surface sont classées en qualité Excellente pour le paramètre conductivité électrique.

- Aptitude à l'irrigation :**

Tableau17 : Normes d'appréciation de la salinité de l'eau d'irrigation (Directive FAO pour la qualité des eaux d'irrigation)

salinité	aucune restriction pour l'irrigation	restriction modérée	forte restriction pour l'irrigation
CE (mmhos/cm)	< 0,75	0,75 à 3,0	> 3

Puisque les conductivités électriques des eaux de surface sont inférieures à 0,75 mmhos/cm donc les eaux de surface ne présentent aucune restriction pour l'irrigation.

Les Anions :

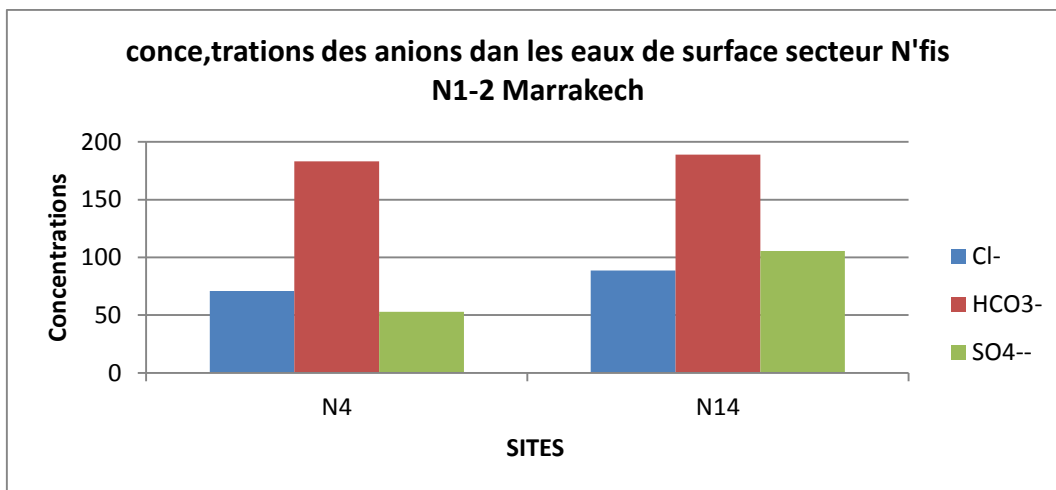


Figure23 : Concentrations des anions des eaux de surface du secteur N'fis N1-2 Marrakech

Tableau18 : Normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation

Paramètres	Valeurs limites	
Na	irrigation en surface SAR	69
	Irrigation en aspersion mg/l	9 mg/l
Cl	irrigation surface	360 mg/l
	aspersion	105 mg/l
HCO3 (mg/l)	irrigation aspersion	518 mg/l
SO4 (mg/l)	Irrigation aspersion	250 mg/l

Les sulfates et chlorures ont presque les mêmes concentrations, il faut mentionner que tous les ions respectent les normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation (tableau18).

Les cations :

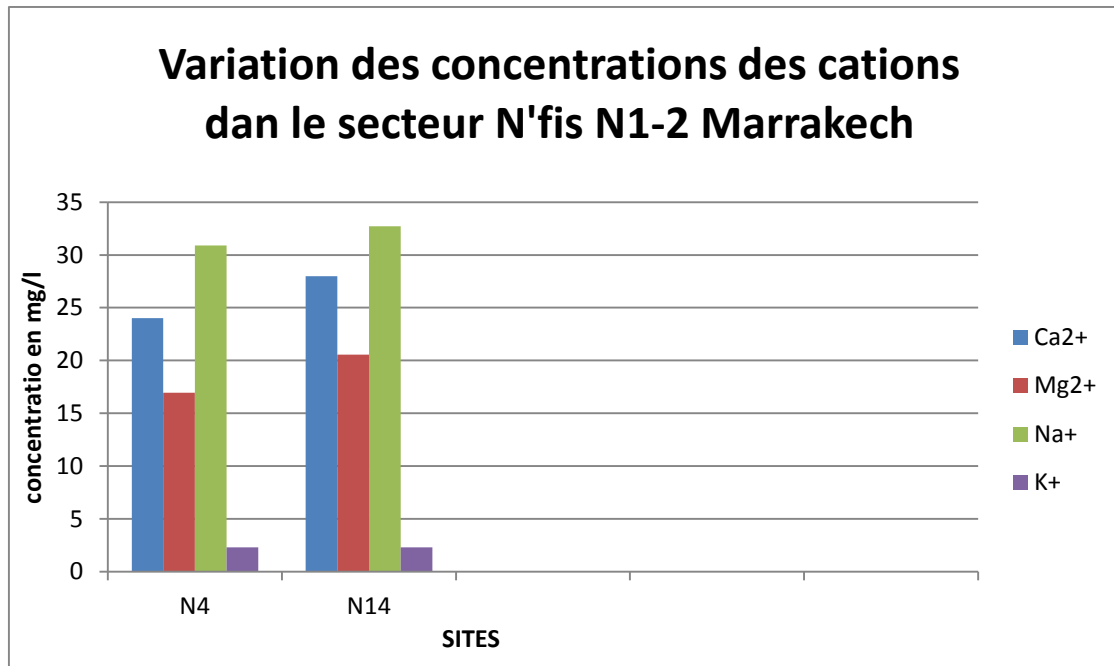


Figure 24 : Concentrations des cations des eaux de surface du secteur N'fis N1-2 Marrakech

Selon la **figure 24**, on observe que le sodium se caractérise par les plus hautes concentrations, et d'après le **tableau18**, les teneurs en sodium dépassent la valeur limite pour l'irrigation par Aspersion qui est de 9 mg/l, et par suite, ceci interviendra sur la perméabilité du sol et l'infiltration de l'eau.

Le calcium et le magnésium présentent des concentrations relativement moyennes par rapport à la concentration totale des cations, avec une moyenne de 26 mg/L concernant le calcium et une moyenne de 18.75 mg/L concernant le magnésium.

La concentration en potassium présente une légère diminution sur l'ensemble des concentrations des cations.

SAR des eaux de surface

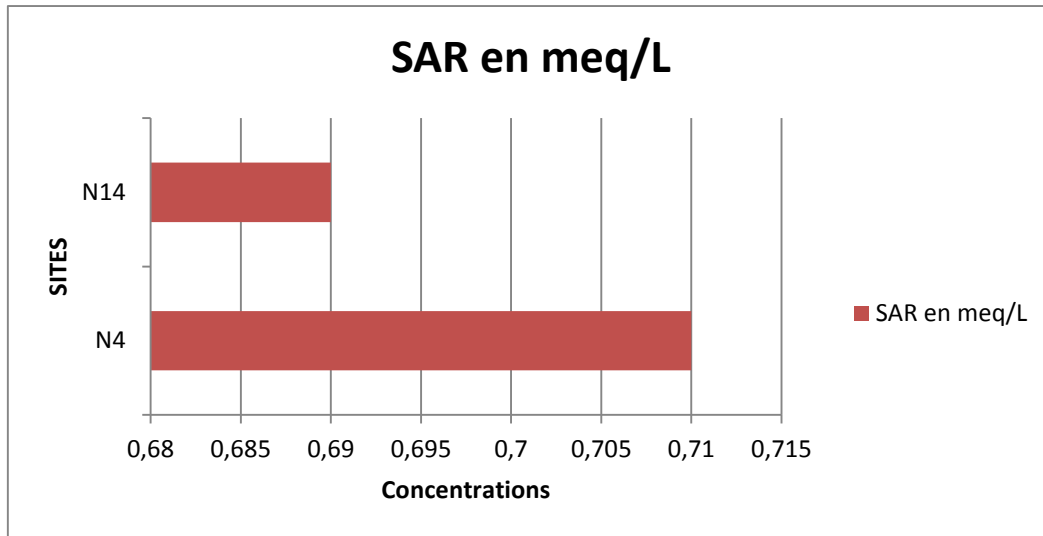


Figure 25 : Variation du SAR des eaux superficielles du secteur N'fis N1-2 Marrakech

D'après le graphe ci-dessus, le SAR des eaux de surface est très faible en outre, inférieur à 1 méq/L, en conséquence les eaux superficielles ne présentent aucun risque pour l'irrigation des cultures selon la grille d'évaluation tableau 11.

IV-3. Les sols

1) Graphe Conductivité électrique

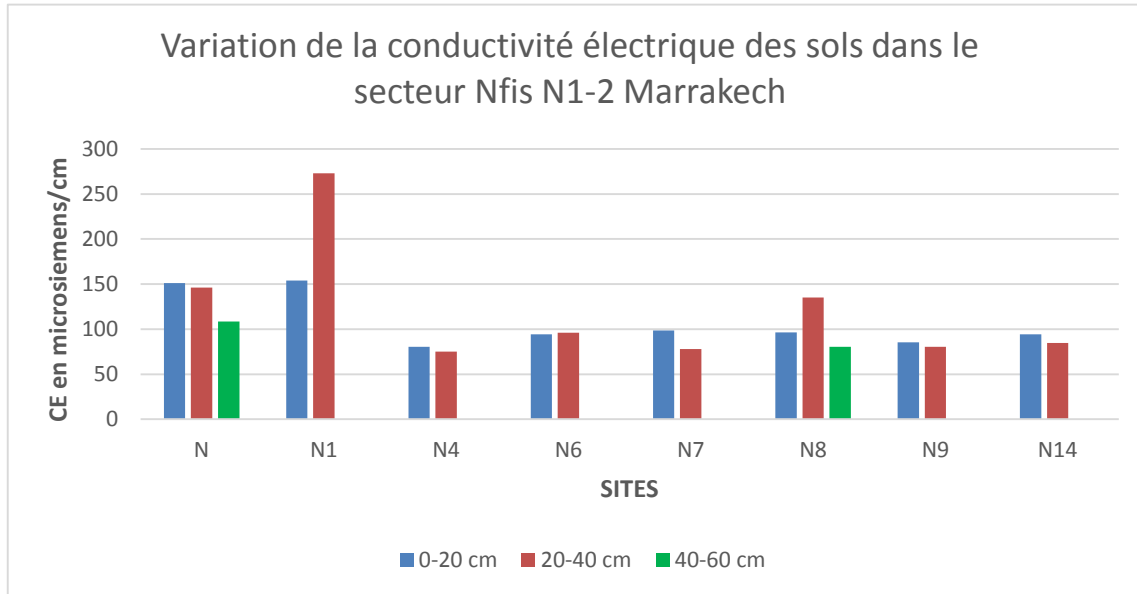


Figure 26 : Histogramme de la conductivité des sols dans le secteur N'fis N1-2 Marrakech

La conductivité des échantillons de profondeur 0-20 cm présente des valeurs se situant entre 80,5 μ S/cm et 151 μ S/cm.

Pour les horizons 20-40 cm ont des valeurs comprises entre 75 μ S/cm et 237 μ S/cm et finalement les horizons les plus profonds 40-60 cm on des teneurs de 80,5 μ S/cm et 108,6 μ S/cm pour les sites N8 et N.

On remarque que le site N1 présente des valeurs élevées de la conductivité électrique pour les deux horizons 0-20 cm et 20-40 cm ce qui nous renseigne sur sa forte salinité par rapport aux autres sites et ça est dû probablement à un excès d'engrais utilisés

La variation de la CE est à cause de : la profondeur, le taux d'argile et la porosité.

Il est impératif de signaler que si la CE augmente il faut adapter les apports d'engrais et les produits phytosanitaires en fonction des plantes.

La CE à la pâte saturée

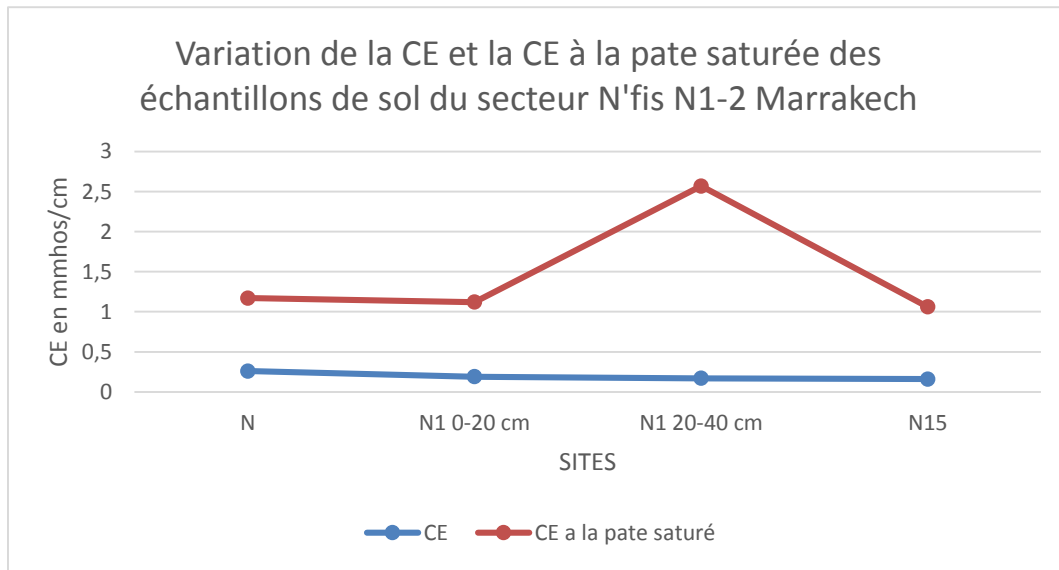


Figure 27 : Courbes de la CE et la CE à la pâte saturée des échantillons de sol du secteur N'fis N1-2 Marrakech

La mesure de la conductivité électrique traduit la concentration de sels solubles contenus dans le milieu et permet ainsi de donner une estimation de la salinité du sol.

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

Certains sels sont nocifs ou toxiques pour les plantes quand ils sont en grande quantité dans la solution du sol à titre d'exemple le Bore, Sodium et Chlorures.

En tant que la CE à la pâte saturée mesure la salinité dans la zone des racines à la capacité au champ, elle permet également une estimation de la quantité de sels et de la pression osmotique de la solution du sol.

La teneur en sel (ppm) = EC × 640.

La pression osmotique de la solution PO (atm) = 0.63 × EC.

Tableau19 : Normes d'appréciation de la conductivité électrique du sol à la pâte saturée

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

Les résultats obtenus montrent que les sols ont une CE comprise entre 0.072 mmhos/cm et 0.261 mmhos/cm et une CE à la pâte saturée comprise entre 1,06 mmhos/cm et 2,57 mmhos/cm.

On déduit alors que les échantillons de sol analysés dans le secteur ne sont pas salés.

Le paramètre PH

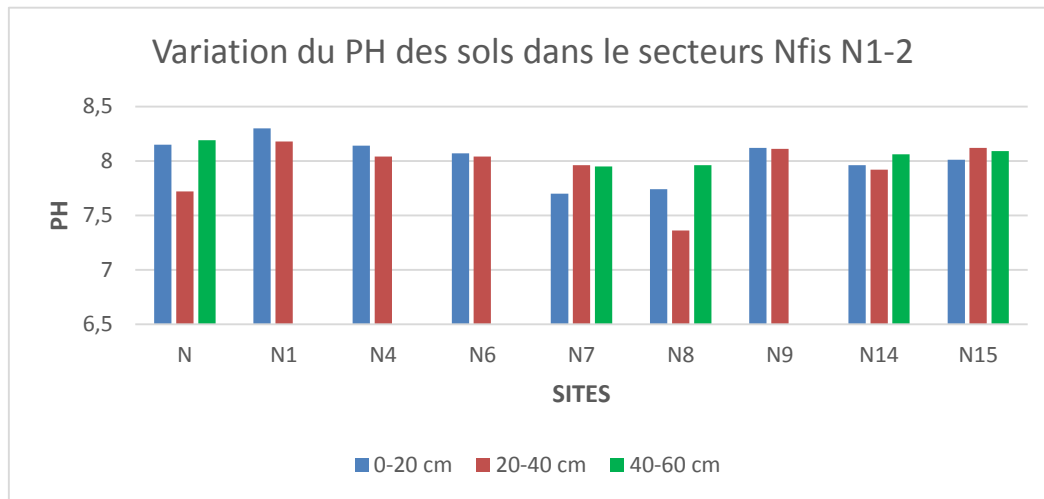


Figure28 : Histogramme des PH des sols dans le secteur N'fis N1-2 Marrakech

On remarque que le PH des échantillons varie entre 7,7 et 8,3 pour les horizons 0-20 cm Et pour les horizons 20-40 cm on a des valeurs allant de 7,36 à 8,18 ainsi pour les autres horizons les plus profonds le PH prend des valeurs se positionnant entre 7,96 et 8,19 moyennement alcalin, cette alcalinité est causé par les deux éléments calcium et magnésium, d'ailleurs, il n'y a aucune corrélation entre la variation du pH en fonction de la profondeur. L'ensemble des valeurs PH des échantillons marque une faible basicité, en général ce sont des PH proches de la neutralité qui optimisent la disponibilité des éléments minéraux. En outre les sites qui présentent des valeurs de PH un peu élevées entraînent la réduction de la disponibilité du phosphore et de certains oligo-éléments (fer, manganèse, bore, cuivre, et zinc).

Matière organique

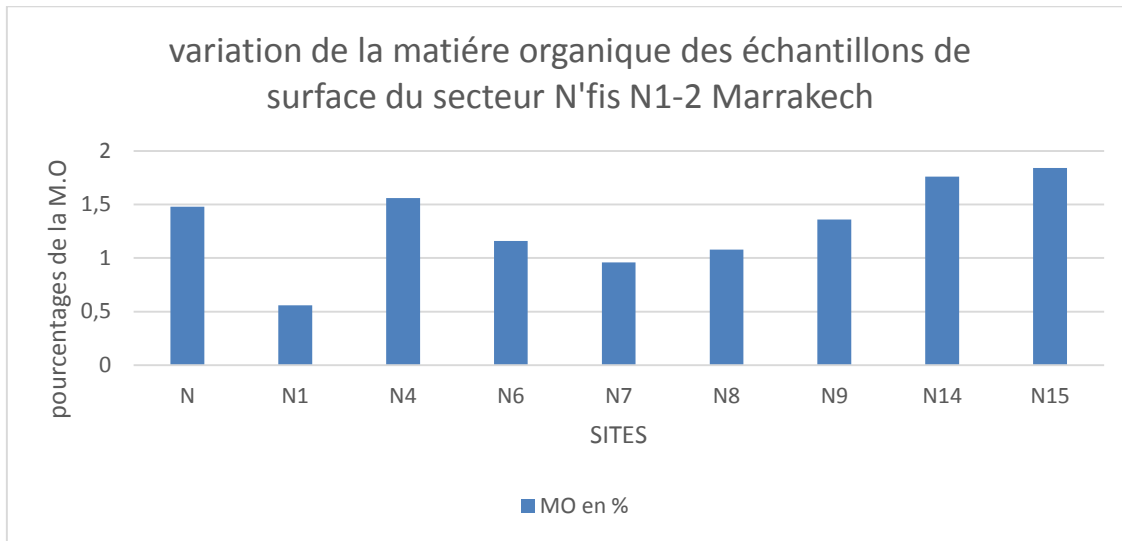


Figure29 : Histogramme de la variation de la M.O des échantillons de surface (profondeur 0-20 cm) Du secteur N'fis N1-2 Marrakech

Tableau20 : Norme de la matière organique (Management, Ingénierie de Développement, de Formation et Agri-Consulting, 2009)

Richesse en matière organique en %	
Classe	Interprétation
< 0.7	Très pauvre
0.7 – 1.5	Pauvre
1.5 – 3	Moyennement pourvu
3 – 6	Riche
>6	Très riche

La MO c'est l'ensemble des constituants organiques des sols (végétale, animal, microbiens), elle assure plusieurs fonctions parmi lesquelles : rétention d'eau, agrégation des particules sol, réserve d'éléments nutritifs, amélioration de la structure, elle varie selon le CO₂ atmosphérique, et elle diminue de façon régulière avec la profondeur.

On remarque d'après la figure28, que les sols sont majoritairement pauvres à moyennement pourvus en matière organique, sauf le site N1 qui se distingue par le plus faible pourcentage en matière organique.

Comparaison avec l'état de référence

Eaux

Eaux souterraines

L'état de référence des eaux souterraines est caractérisé par :

Tableau 21 : Taux de variation de l'état de référence des eaux souterraines :

Paramètres	Marge de variation
pH	De 7 à 7.6
CE	De 0.9 mmhos/cm à 1.8 mmhos/cm
SAR	De 1.14 meq/L à 3.89 meq/L
Na⁺	De 48.83 mg/L à 201.17 mg/L
K⁺	De 0.16 mg/L à 3.41 mg/L
Mg²⁺	De 20.74 mg/L à 51.28 mg/L
Ca²⁺	De 81 mg/L à 139.7 mg/L
Cl⁻	De 99.33 mg/L à 317.64 mg/L
SO₄²⁻	De 41.49 mg/L à 161.98 mg/L

Comparativement à l'étude de référence faite par Labomag, on constate q'on n'a pas de changement significatif sur l'ensemble des paramètres mesurés. En somme, les eaux souterraines sont aptes pour l'irrigation et ne sont pas contaminées par les produits agricoles.

Eaux de surface

Tableau 22 : Variation des différents paramètres de l'état de référence des eaux superficielles :

Paramètres	Marge de variation
pH	De 8.02 à 8.47
CE	De 0.52 mmhos/cm à 0.6 mmhos/cm
SAR	De 0.42 meq/L à 0.94 meq/L
Na⁺	De 14.62 mg/L à 30.5 mg /L
K⁺	0.87 mg/L à 1.87 mg/L
Mg²⁺	De 17.13 mg/L à 26.47 mg/L
Ca²⁺	De 50.2 mg/L à 57.35 mg/L
Cl⁻	De 21.21 mg/L à 36.34 mg/L
SO₄²⁻	De 50.47 mg/L à 152.09 mg/L
HCO₃⁻	De 167.8 mg/L à 206.84 mg/L

En comparaison avec l'état de référence, on observe que les résultats sont presque similaires, les eaux de surface ne présentent pas de risque de salinisation des terres, en plus, ne présentent pas de dangers d'alcalinisation.

Tableau 23 : Variation des différents paramètres de l'état de référence des sols

Paramètre	Marge de variation
pH	De 8.2 à 9
CE	De 0.5 mmhos/cm à 2 mmhos/cm
MO	De 0.23% à 2.84%
CE à la pâte saturée	De 0.5 mmhos/cm à 7.2 mmhos/cm

Comparativement à l'état de référence, on ne note pas de variation remarquable concernant le pH, quant à la matière organique on observe une légère diminution qui est due à l'appauvrissement en complexes argilo-humique dans les sols de ce secteur, en outre, on remarque que les conductivités électriques étaient élevées à l'état de référence, par contre, les dernières analyses ne présentent pas de hautes valeurs de conductivité électrique et ceci pourrait être causé par les périodes de pluies récentes et particulièrement aux changements climatiques.

Chapitre 4 :

CONCLUSION GENERALE

V. CONCLUSION GENERALE

Notre objectif sur lequel cette étude fut réalisée est d'évaluer l'impact de la modernisation agricole sur la nappe et le sol dans la région de Saada et plus précisément le secteur N1-2. Ce secteur est situé sur la bordure orientale du Haouz centrale dans le périmètre irrigué de N'fis. Le secteur est irrigué par les eaux provenant du barrage Lalla Takerkoust sur l'Oued N'fis. Ce périmètre situé près de Marrakech comporte de nombreuses propriétés aménagées en système d'irrigation localisée sur les plantations arboricoles et les cultures maraichères. La zone concernée par le programme de reconversion en irrigation localisée couvre une superficie de 1936 ha.

Pour mener à bien notre travail, nous avons réalisé un ensemble d'analyses chimiques sur les sols et sur les eaux souterraines et superficielles. Plusieurs paramètres chimiques ont été déterminés en adoptant différentes approches. Ces paramètres nous ont permis d'apporter des éléments de réponse à nos questions qui consistent à déterminer la qualité non seulement des eaux mais encore des sols.

Les analyses obtenues des eaux montrent que les eaux d'irrigation du secteur N'fis sont spécifiées par un pH neutre à faiblement alcalin, une CE faible, le Na⁺ est marqué par les plus hautes concentrations traduisant ainsi l'existence des formations salifères altérées par l'eau, tandis que le calcium et magnésium présentent des moyennes concentrations, en plus des chlorures et sulfates et potassium qui sont marqués par les plus faibles concentrations en somme les eaux sont aptes pour l'irrigation et respectent les normes de qualité des eaux.

Quant aux analyses des sols qui visent à déterminer l'état de la qualité pédologique de la zone étudiée, les sols se caractérisent par un pH moyennement alcalin, une conductivité électrique faible de surcroît les sols sont définis par un appauvrissement en matière organique dû à un appauvrissement en complexes argilo-humique.

Le projet de la reconversion est en retard dans le secteur N'fis N1-2 faute de l'engagement des agriculteurs à ce projet, par ailleurs, l'approche adoptée n'a pas tenu compte de l'adhésion et de l'application sur terrain des différentes phases du projet, en d'autres termes, depuis la conception jusqu'à l'accomplissement dans le secteur, c'est pourquoi on a une distorsion entre le programme et sa réalisation qu'on espère connaîtra une solution durable afin de la modernisation de l'agriculture marocaine d'une manière optimale et pourquoi pas s'élancer vers la compétitivité internationale.

Solutions

- ✓ S'assurer d'un bon drainage souterrain
- ✓ La bonne gestion des ressources hydriques
- ✓ Trouver d'autres ressources pour limiter la baisse du niveau de la nappe, à titre de proposition l'utilisation des eaux usées traitées dans l'irrigation.

Bibliographie

- ABOURIDA.A. (2007). *Approche hydrogéologique de la nappe du Haouz (Maroc) par télédétection, isotopie, SIG et modélisation* . Marrakech.
- hamza, B. (2011). *Etude de la qualité des eaux d'irrigation et du sol dans le périmètre de saâda* . Marrakech.
- Labomag. (2014). *prestations de laboratoire pour a réalisation de campagnes d'analyses de caractérisation de référence des paramètres environnementaux au niveau de la zone de reconversion à l'irrigation localisée dans le périmètre du Haouz* . Casablanca.
- labomag. (2014). *prestations de laboratoire pour la réalisation de campagnes d'analyses de caractérisation de référence des paramètres environnementaux au niveau de la zone de reconversion à l'irrigation localisée dans le périmètre du Haouz (Fiche d'enquête)*. casablanca .
- labomag. (2014). *préstations de laboratoire pour la réalisation de campagnes d'analyses de caractérisation de référence des paramètres environnementaux au niveau de la zone de reconversion à l'irrigation localisée dans le périmètre du Haouz (Résultats des analyses des eau*. casablanca.
- PAGIRE. (2015). *Diagnostic bassin Haouz-Mejjate*. Marrakech.

Webographie

<http://www.certifiedorganic.bc.ca/rcbtoa/services/soil-testing-services.html>

agriculture-de-conservation.com/sites/agriculture.../sol-bretagne.pdf

www.languedocroussillon.chambagri.fr.../Tome1_chapt2.pdf

Annexes

Grille simplifiée pour l'évaluation de la qualité globale des eaux souterraines :

Alt N°	Classe de qualité		Excellene	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
	Indice		100-0	80-60	60-40	40-20	20-0
1	Température						
	T°	°C	0-20	20-25	25-30	30-35	35-40
2	Acidification						
	pH		6.5-8.5		8.5-9.2	3-6.5 et 9.2-10	
3	Matières azotées						
	Oxydabilité KMNO4	mg/L	0-2	2-5	5-10	10-50	
	AmmoniumNH4	mg NH4	0-0.1	0.1-0.5	0.5-2	2-8	8-50
4	Nitrates						
	Nitrates (NO3-)	mg/L	<10	10-25	25-50	>50	
5	M.phosphorées						
	Orthophosphates (PO4 ³⁻)	mg/L	0-0.2	0.2-0.5	0.5-1	1-5	5-20
	P.total (PT)	mg/L	0-0.1	0.1-0.3	0.3-0.5	0.5-3	3-50
6	Minéralisation						
	CE 20°C	µs/cm	100-750	750-1300	1300-2700	2700-3000	3000-7000
	Cl ⁻	mg/L	9-200	200-300	300-750	750-1000	1000-6000
	SO4 ⁻	mg/L	1-100	100-200	200-250	250-400	400-2000
	Ca ²⁺	mg/L	31-160			<32ou>160	
	Mg ²⁺	mg/L	<50	50-75	75-100	100-400	>400
	Na ⁺	mg/L	<200			>200	
7	Microorganismes						
	C. fécaux	/100ml	0-20	20-2000	200-20000	20000-50000	

Grille simplifiée pour l'évaluation de la qualité globale des eaux de rivières :

AL T N°	Classe de qualité		Excellente	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
	Indice		100-80	80-60	60-40	40-20	20-0
1	Température						
	Température	°C	0-20	20-25	25-30	30-35	35-40
2	Acidification						
	pH		6.5-8.5		8.5-9.2	3-6.5 et 9.2-10	
3	MO et oxydables						
	DBO ₅	mg O ₂ / L	0.5-3	3-5	5-10	10-25	25-1000
	DCO	mg O ₂ / L	1.5-30	30-35	35-40	40-80	80-2000
	NTK	mg N/ L	<1	1-2	2-3	>3	
	Ammonium	mg NH 4	0-0.1	0.1-0.5	0.5-2	2-8	8-50
4	M.phosphorées						
	Orthophosphates	mg/ L	0-0.2	0.2-0.5	0.5-1	1-5	5-20
	P.total (PT)	mg/ L	0-0.1	0.1-0.3	0.3-0.5	0.5-3	3-25
5	Minéralisation						
	CE 20°C	µs/ cm	100-750	750- 1300	1300-2700	2700-3000	3000-7000
6	M en suspension						
	MES	mg/ L	<50	50-200	200-1000	1000-2000	2000- 10000
7	Microorganismes						
	C. fécaux	/100 ml	0-20	20- 2000	2000- 20000	20000- 50000	

Tableau : résultats analyses sols du secteur N'fis N1-2 Marrakech

Echantillons	profondeurs (m)	Conductivité électrique	CE à la pâte saturée en mmhos/cm	MO en %
N	0-20cm	151	1,17	1,48
	20-40cm	146		
	40-60cm	108,6		
N1	0-20cm	154	1,17	0,56
	20-40cm	237	2,57	
N4	0-20cm	80,5		1,56
	20-40cm	75		
N6	0-20cm	94,2		0,96
	20-40cm	96		
N7	0-20cm	98,5		1,08
	20-40cm	77,8		
N8	0-20cm	96,4		1,36
	20-40cm	135		
	40-60cm	80,5		
N9	0-20cm	85,5		1,76
	20-40cm	80,5		
N14	0-20cm	94,4		1,84
	20-40cm	84,8		
	40-60cm	70,4		
N15	0-20cm	103,7		
	20-40cm	109,6		
	40-60cm	174	1,06	