



Université Cadi Ayyad, Faculté des Sciences et Techniques

Laboratoire Géoressources, Unité de recherche Associée CNRST (URAC 42).

LICENCE-ES SCIENCES ET TECHNIQUES

« Eau & Environnement »

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES :

L'impact de la modernisation agricole sur le sol et la nappe

Dans la zone N1-4 (Région du Haouz).

Elaboré par :

Noura LKEBIR.

Soufyane SABIR.

Encadrés par :

Mr. A. RHOJJATI (FSTG).

Mr. F. SEGUIR (ORMVAH).

Soutenu le 28/06/2011 devant la commission d'examen composée de :

Pr. A. RHOJJATI (FST, Marrakech)

Pr. B. IGMOLLAN (FST, Marrakech)

Pr. K. ELHARIRI (FST, Marrakech)

Mr. F. SEGUIR (ORMVAH)

Année universitaire 2010-2011

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 notre ami Abdellah Rachad, pour son aide et son sacrifice.

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

Remerciements

On remercie en premier lieu Monsieur A. RHOJJATI, notre encadrant à la faculté des Sciences et Techniques, pour ses soutiens, ses conseils, ses corrections et sa patience.

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

Nos remerciements sont destinés aux membres du jury, Madame K. EL HARIRI et Monsieur B. IGMOULLAN, pour avoir acceptés de juger notre travail.

Au terme de gratitude et de respect nous tenons à remercier les personnes suivantes :

- Monsieur B. EL MAHBOUL et toute son équipe au sein de la station météorologique de Sâada, pour leur chaleureux accueil, leur disponibilité et leur encouragement.
- Monsieur A. MORENO, et son équipage : Monsieur H. AALIANE et Madame N. NEHFAZ, au sein du Laboratoire pédologique d'ORMVAH, pour leurs soutiens et conseils afin de mener à bien nos analyses chimiques.
- Monsieur R. HAKKOU, professeur à la faculté des sciences et Techniques de Marrakech, département de la chimie, pour la réalisation des analyses chimiques au sein du Laboratoire du département.
- Monsieur M. ELYASSAMI et Monsieur A. AOUBID, techniciens agricoles au sein des Domaines Sâada pour leurs accueils chaleureux et pour leur disponibilité et engagement envers nous.
- Aux professeurs : Messieurs M. SAIDI, A. BACHNOU, M. AGOUSSIN, A. BENKEDOUR, L. DAOUDI et Madame K. EL HARIRI pour leur conseil, orientation et disposition.

Par ailleurs, la réalisation de ce travail n'aurait pas été possible sans le soutien moral et effectif de nos familles. On remercie donc nos parents pour leur appui et leur soutien durant toutes nos années d'étude.

On remercie également toute personne qui a aidé de manière directe ou indirecte à la réalisation de ce mémoire.

Nos amis et nos frères pour leur encouragement et leur soutien moral. Nous leur exprimons toutes nos vifs remerciements.

Sommaire

Chapitre I : Présentation générale du secteur d'étude : le Haouz central et le périmètre N1-4 : 7

Introduction :	8
I. Caractéristiques du Haouz Central :	9
Introduction : Présentation de l'office et de sa zone d'action:	9
I.1. Localisation géographique:	10
I.2. La Géologie générale et lithologie:	11
I.3. Cadre hydrologique et hydrogéologique :	12
I.3.1. Les eaux de surfaces :	12
I.3.2. Les eaux souterraines :	13
I.4 Facteurs climatiques, végétale, et type du sol dans Haouz Central :	14
I. 4. 1. Le climat :	14
I. 4. 2. Le couvert végétal :	15
I. 4. 3. Pédologie :	15
II. Caractéristiques du périmètre N1-4 :	16
II. 1. Description du périmètre et situation géographique :	16
II.2. Conditions climatiques dans le périmètre N1-4 :	18
II.2.1. Les précipitations :	18
II.2.2. La température :	18
III. La modernisation agricole dans le périmètre N1-4 :	19
III.1. Les aménagements hydriques adaptés dans le secteur :	19
III.2. L'utilisation des fertilisants :	21
Chapitre II : MATERIELS ET METHODOLOGIES D'ANALYSE.	22
I. Introduction :	23
II. Méthodologie :	23

II-1- Techniques d'échantillonnage des eaux :.....	23
II.2.1. Le potentiel hydrogène de l'eau (pH) :.....	24
II.2.2. Potentiel d'oxydoréduction (Eh) :.....	24
II.2.3. La conductivité électrique (CE) :.....	24
II.2.4. Le taux du sel (NaCl) :.....	24
II.2.5. La turbidité :.....	25
II.2.6. Les chlorures :.....	25
II.2.7. Les bicarbonates et carbonates (l'alcalinité) :.....	26
II.2.8. Les sulfates :	26
Etalonnage de l'appareil :	26
La mesure des échantillons :.....	27
II.2.9. Les nitrates :.....	27
II.3. Techniques d'échantillonnage du sol :.....	28
II.4. Mode opératoire des analyses effectuées sur les échantillons du sol :	28
II.4.1. La conductivité électrique :.....	28
II.4.2. Le pH du sol :.....	29
II.4.3. Calcaire total (CaCO ₃) :	29
II.4.4. Dosages des phosphores assimilables (P ₂ O ₅) :	30
1) L'extraction :.....	30
2) Dosage au spectrophotomètre :	31
II.4.4. Matière organique (Carbone total) :.....	32
L'oxydation :	32
Le dosage :.....	32
Chapitre III : Discussions et interprétations des Résultats :	33
I. Introduction :	34
II- Résultats qualitatifs des eaux :.....	34

II.1. Conductivité électrique :	34
II.2. Le potentiel hydrogène (pH) :	35
II.3. La turbidité de l'eau :	36
II.4. Le potentiel d'oxydoréduction (Eh) :	36
II.5. Les nitrates :	37
II.6. Les bicarbonates et les chlorures :	38
II.7. Les Sulfates et le sel (NaCl) :	39
III. Evolution quantitative des eaux :	40
IV. Résultats qualitatifs au niveau du sol :	41
IV.1. Conductivité électrique :	41
IV.2. PH de sol :	42
IV.3. Calcaire total :	44
IV.4. Matière organique :	45
IV.5. Phosphore assimilable :	47
IV. Conclusion générale :	48
Recommandations :	49
Annexes	50
Bibliographie et webographie :	61

Chapitre I :

**Présentation générale du secteur
d'étude : le Haouz central et le
périmètre N1-4.**

Introduction :

Dans le contexte mondial actuel, caractérisé par le besoin d'assurer une sécurité alimentaire, à toute la population de la planète, l'Afrique se trouve en première place. D'après le 4^{ème} rapport du GIEC (IPCC, 2007), le continent africain serait le plus touché par la sécheresse à l'échelle mondiale. En effet, les changements climatiques sont la principale cause de ce bouleversement planétaire. La hausse des températures sur la planète serait le résultat de tous les agissements négatifs des humains. Les émissions dans l'atmosphère de différents polluants parmi lesquels les produits utilisés en agriculture prennent une grande part entraînent des effets de serre responsable entre autres la pénurie des eaux douces.

Les pays en voie de développement sont les plus touchés par ces aléas climatiques en raison de leur pauvreté. Cette situation a pour conséquence l'installation de la famine, la pauvreté, la hausse des prix des produits alimentaires, etc.

Le Maroc par sa politique de construction des barrages entamés depuis plus de quatre décennies arrive à lutter en arrivant à subvenir à ses besoins en termes d'autosuffisances alimentaires. Pour atténuer l'impact de la sécheresse et les faibles précipitations annuelles, les eaux de ces retenues sont utilisées dans différents secteurs et différentes régions du Maroc pour irriguer les parcelles agricoles.

Dans ce contexte une nouvelle politique s'impose au Maroc en termes de stratégie agricole par la mise à niveau, la restructuration et la redéfinition des missions. Dans cette perspective de nouvelles techniques d'aménagements et innovations ont été élaborées et ce, pour rendre l'agriculture le principal moteur de croissance de l'économie nationale dans les 10 à 15 prochaines années. Ceci avec des retombées importantes en termes de croissance du PIB, de création d'emplois, d'exportation et de lutte contre la pauvreté.

La modernisation du secteur était (en vue du développement mondial et national) une démarche inévitable pour permettre au Maroc d'assurer sa sécurité alimentaire et de contribuer dans sa croissance économique. Mais, cette modernisation agricole n'est pas sans effets néfastes sur les différents éléments de la biosphère. Par conséquent il est tout à fait nécessaire et vital de faire un suivi et des contrôles réguliers tout au long de l'année notamment pour les eaux (profondes et de surfaces) et les sols. Sans ces conditions la dégradation de l'environnement peut avoir lieu sur les différents plans : modifications et dommages de la biodiversité, dégradation des sols, altérations des ressources hydriques, etc. Mais avec une bonne gestion les agriculteurs peuvent gérer ces ressources naturelles, et peuvent donc en assurer la préservation à long terme. Malheureusement, aujourd'hui, la

difficulté est que la demande en agriculture de la société risque d'aller plus vite que la capacité d'adaptation de l'environnement.

Dans ce contexte, le présent travail essaie d'apporter quelques éléments de réponses concernant l'état de santé de la région de Saada vis-à-vis de la modernisation agricole. Le choix du secteur étudié a été porté sur le secteur N1-4. Ce secteur connaît une importante modernisation agricole, et en verra si cette modernisation est d'autant plus importante que la préservation des ressources naturelles, la sécheresse, l'érosion, la perte de la fertilité des sols, la gestion et maîtrise de l'eau, qui sont actuellement imposés comme des enjeux majeurs auxquels cette zone agricole doit y faire face.

I. Caractéristiques du Haouz Central :

Introduction : Présentation de l'office et de sa zone d'action:

L'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Haouz (ORMVAH), est un établissement public créé en 1966, doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière. Il est placé sous la tutelle du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime. Dans le cadre de la politique agricole adoptée par le gouvernement du Royaume du Maroc, l'ORMVA du Haouz est chargé de promouvoir le développement agricole dans sa zone d'action qui s'étend sur : 1) La wilaya de Marrakech : préfecture de Marrakech, et la province du Haouz, 2) La province d'El Kella des Sraghna, 3) La province d'Azilal et 4) La province de Rhamna.

La zone d'action, couvre une superficie globale de 663 000 ha, dont la superficie agricole utile est 473000 ha (Bour 200000 ha et irriguée 273000 ha). La zone irriguée est de deux types : grande hydraulique, et petite et moyenne hydraulique. A ce titre, l'ORMVA du Haouz met ses moyens humains et matériels et l'ensemble de ses connaissances à la disposition des investisseurs intéressés par le secteur agricole sa tâche se résume à :

- La contribution au développement rural, et à la promotion de l'agro-industrie,
- La gestion et la réalisation des équipements hydro-agricoles,
- La vulgarisation des bonnes pratiques culturales, la formation professionnelle, l'organisation et l'encadrement des agriculteurs, La mise en valeur agricole, et au développement de la production végétale et animale.

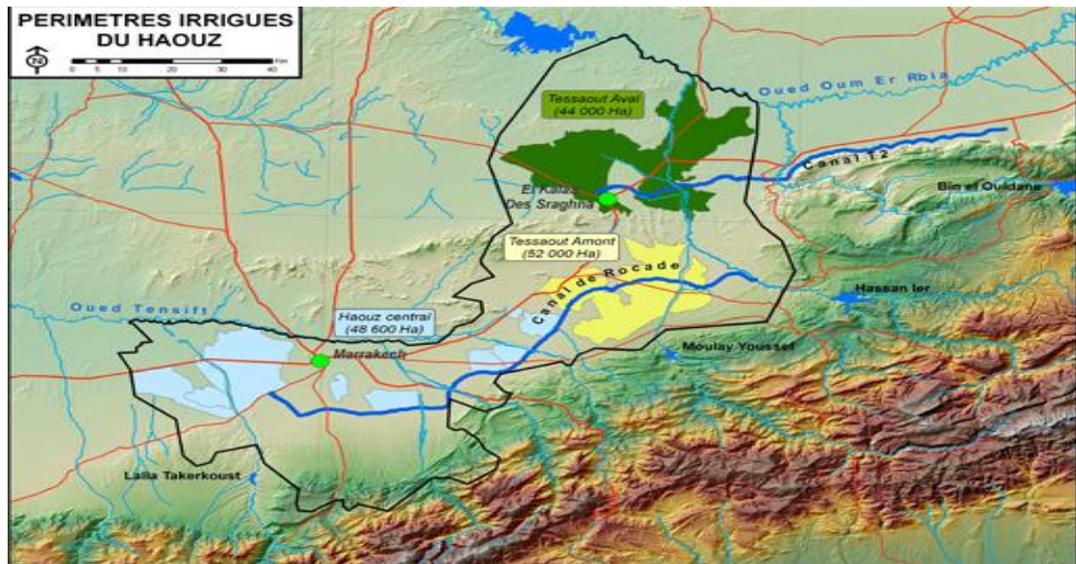


Fig. I. 1 : Les périmètres irrigués dans le Haouz, et la zone d'action de L'ORMVAH (D'après ORMVAH)

I.1. Localisation géographique:

Le Haouz central est un vaste couloir sous forme de plaines, de superficie estimée à 48600 ha. Il est délimité au nord par les Jbillets, au sud par les chaînes montagneuses du Haut Atlas, et par Oued R'Dat à l'est et Oued N'fis à l'ouest (Abourida 2007). (Fig. I.2). Son allongement est en parallèle avec le couloir synclinal de la Bahira orientée Est Ouest.

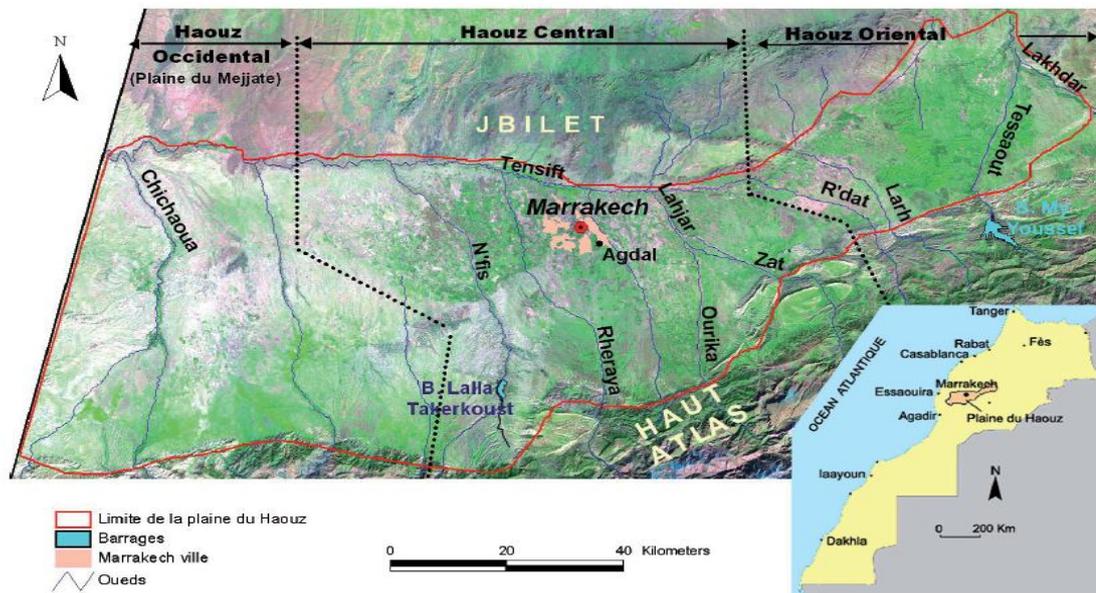


Fig. I. 2 : Situation géographique du Haouz Central (Landsat, TM 2007).

I.2. La Géologie générale et lithologie:

Le Haouz est un vaste bassin d'effondrement, entre le Haut Atlas au sud et les Jbilet au nord, hérité par des mouvements tectoniques tertiaires. Cet affaissement est dû au plissement Atlasique qui a par ailleurs surélevé la chaîne des Jbilet.

Du bas vers le haut on rencontre les formations géologiques suivantes (Fig. I. 3):

- Le socle formé par des schistes et des quartzites d'âge Primaire. Ces formations apparaissent le long d'Oued Tensift caractérisé par une faible profondeur vers le nord.
- Des formations silto-argileuse et calcaire-marneuses d'âge Jurassique.
- Des formations marneuses, gréseuses et conglomérats plus au moins cimentés d'âge miocène.
- Des formations d'âge Quaternaire reposent sur les formations précédentes et affleurent sur des grandes étendues. Ces formations se sont formées par des apports issus d'érosion de la chaîne Atlasique. Elles sont constituées essentiellement par des limons croûteux, calcaire avec des marnes gréseuses, argile et conglomérat.
- Les formations d'âge Quaternaire reposent sur les formations précédentes et affleurent sur de grandes étendues. Ces formations se sont formées par des apports issus de l'érosion de la chaîne atlasique. Elles sont constituées essentiellement par des limons croûteux, calcaire avec des marnes gréseuses, argile et conglomérat.
- Les formations d'âge Quaternaire sont remaniés avec les formations pliocène, à l'amont de la plaine où on rencontre des cailloutis qui formes les cônes de déjection actuels, tandis que à l'aval il ya dépôt des sédiments limoneux. (Fig. I.4).

Le passage de la plaine vers les hauts sommets se fait graduellement. La pente, très faible et régulière de l'ordre de 1% dans la plaine, s'infléchit brusquement pour atteindre progressivement des valeurs très élevées.

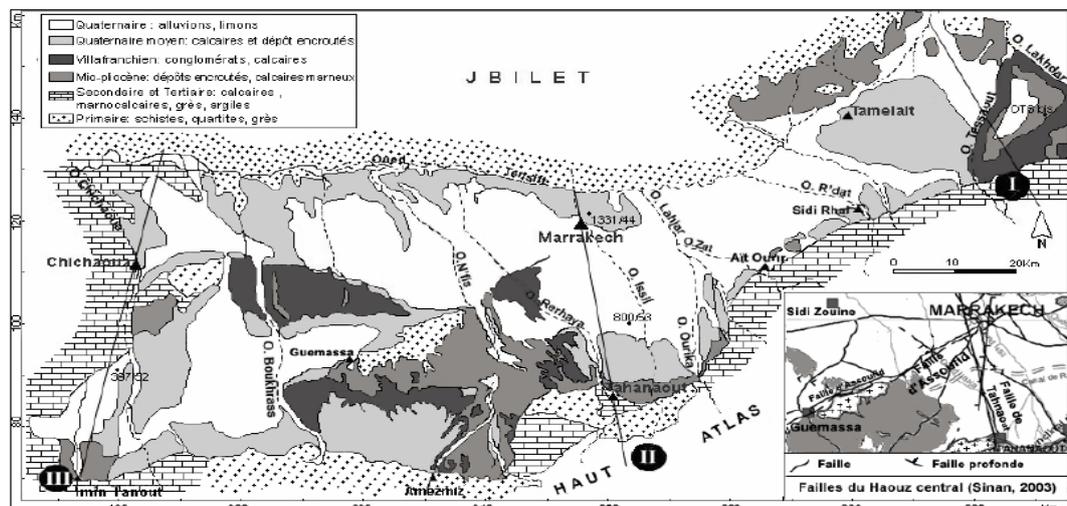


Fig. I. 3: Carte géologique simplifiée du Haouz (D'après la carte 1/500000 de Marrakech).

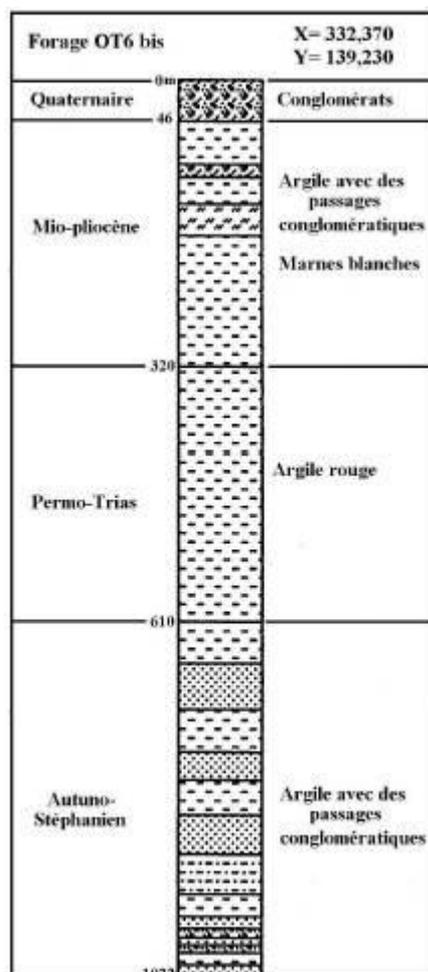


Fig. I.4 : Coupe lithologique du forage minier OT6 bis (Sinan, 2000).

I.3. Cadre hydrologique et hydrogéologique :

I.3.1. Les eaux de surfaces :

Le réseau hydrographique du Haouz est constitué de l'ensemble des Oueds issus du Haut Atlas qui débouchent dans l'Oued Tensift. Ce dernier orienté vers l'Ouest joue un rôle de collecteur des eaux de surfaces (Fig. I.5).

La majorité des ces oueds causent des dégâts importants au moment des crues (cas des oueds Issil, N'fis, et Zat) (AGRINTER 2010).

Cependant la zone du Haouz central connaît des aménagements hydro-agricoles en vue d'alimenter la ville de Marrakech en eau potable, et d'assurer l'irrigation des terrains agricoles via différents canaux et Seguia.

La construction du canal de la Rocade (longueur de 118 km avec un débit moyen de 20 m³/s), a permis de dévier 350 Mm³ d'eau d'Oued Lakhdar (bassin d'Oum Rbia) vers le Haouz central. La surélévation du barrage Lala Takerkoust sur Oued N'fis en 1980 a porté le volume régularisé à 85 Mm³ destiné aussi à l'irrigation (ORMVAH).

Dans cette zone on peut remarquer l'existence de 3 types de Saguia destinés à l'irrigation tout au long du Oued N'fis :

- L'hypothèque constante : ce sont des Saguia qui reçoivent souvent leur eau d'une façon continue, et dans le débit moyen est de 1150 l/s.
- Le 1^{er} rang : ce sont des Saguia qui bénéficient de l'eau au cours des lâchers programmés par l'office.
- Le 2^{ème} rang : ce sont des Saguia qui fonctionnent seulement au moment des crues (ORMVAH 1985).

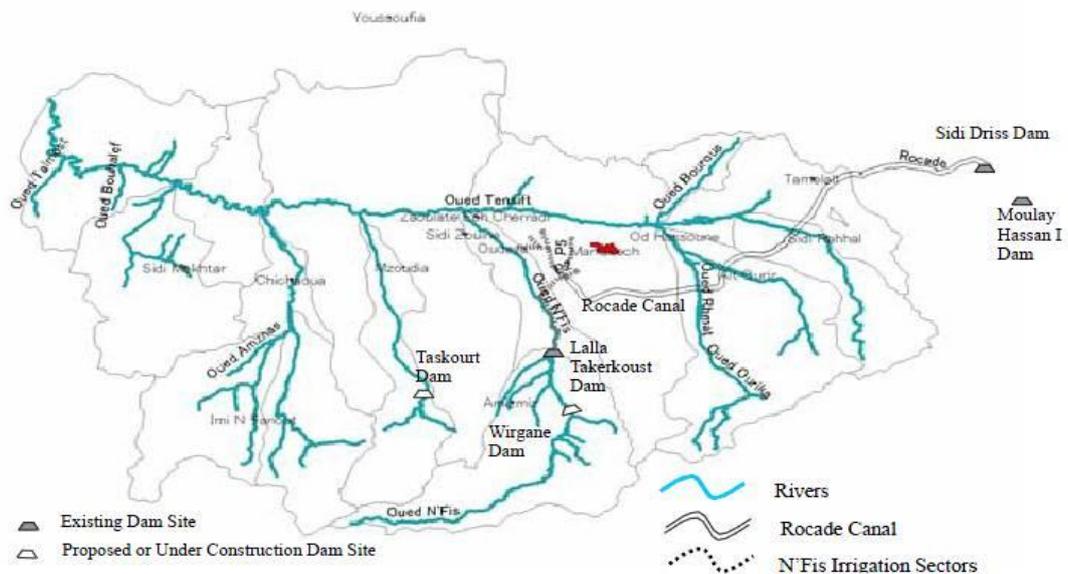


Fig. I.5 : Carte hydrologique des affluents d'Oued Tensift (JICA.ABHT.2006).

I.3.2. Les eaux souterraines :

Dans la plaine du Haouz, on peut distinguer trois nappes superposées qui sont :

- Une nappe libre de profondeur allant de 10 m au Nord à 80 m au Sud avec un débit de 30 l/s.
- Une 2^{ème} nappe d'une profondeur moyenne de 300 m avec un débit plus faible.
- Une 3^{ème} nappe très profonde (dépassé 500 m) et de débit assez négligeable.

Dans ce travail, nous nous intéressons à la 1^{ère} nappe qui est la nappe phréatique du Haouz considéré comme l'une des plus grande nappe du Maroc. Sa superficie est de 6000 m² (Latitude : Nord 32°, Longitude : Est 8°), elle est alimentée principalement par l'infiltration des Oueds, les pertes des Seguias dans les zones irrigués traditionnellement et par infiltration des eaux de pluies à travers les formations jurassiques (calcaire et dolomie) du Haut Atlas. (AGRINTER 2010).

Cette nappe fournis, au Haouz central, un volume mobilisable annuel estimé à 173 Mm³ destiné à l'irrigation des périmètres agricoles (Fig. I.6).

Cependant, cette nappe souffre de problème de baisse de niveau piézométrique ces dernières années suite à la sécheresse et à l'important volume pompé au niveau des sites de pompage estimé à environ 10162 unité dans toute la plaine du Haouz (RESING.2006)

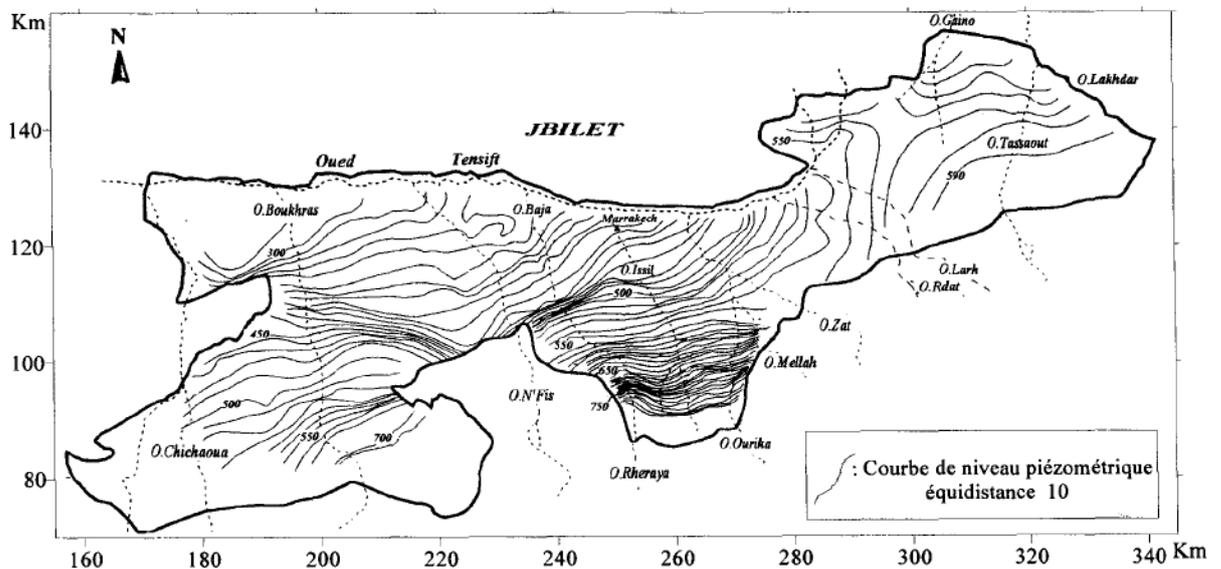


Fig. I.6.: Carte du niveau piézométrique de la nappe du Haouz (Abourida 2007).

I.4 Facteurs climatiques, végétale, et type du sol dans Haouz Central :

I. 4. 1. Le climat :

Le climat du Haouz central similaire à celui de la plaine du Haouz, est un climat chaud et sec de type continental, classé aride à semi aride. Généralement il est caractérisé par :

- Des pluies faibles et variables avec une moyenne annuelle de l'ordre de 250 mm, pour une moyenne annuelle de 40 jours de pluie,
- Une température moyennement élevée, avec d'importants écarts journaliers et mensuels. La moyenne maximale (mois de Juillet) est de l'ordre de 37°C, et la moyenne minimale (mois de Janvier) est de l'ordre de 4°C,
- L'humidité de l'air est moyenne à faible, elle est de l'ordre de 40% en hiver, et peut tendre vers 0% au moment d'arrivées des masses d'airs provenant de sud (Sirocco) et de l'est (Chergui),
- La hauteur évaporée est importante, elle est estimée à 2300 mm/an,
- La région connaît parfois des tombés de grêle mais c'est assez rare : moyenne annuelle de 1 j/an (maximum 5 j/an) (AGRINTER. 2010).

I. 4. 2. Le couvert végétal :

Au niveau du Haouz central, l'arboriculture fruitière et olivère est prédominante car elle représente presque 69 % des cultures. L'olivier occupe la première place avec une superficie de 20700 ha, suivi de l'abricotier, les agrumes et les pommiers. Les céréales occupent une superficie de 4410 ha, cela représente presque 15 % des terres cultivées. Cette culture est prédominée par le blé tendre, le blé dur, l'orge et le maïs.

Les cultures maraichères occupent environ 1887 ha soit 3% de la superficie totale du Haouz central. Elle est dominée par les fèves, les pommes de terre, le melon, les petits poids, les courgettes, les vignes et les tomates (AGRINTER 2010).

Le reste des sols cultivables est occupés par les cultures fourragères telles que la luzerne qui représente 13% des cultures de la région. (Fig. I. 7).

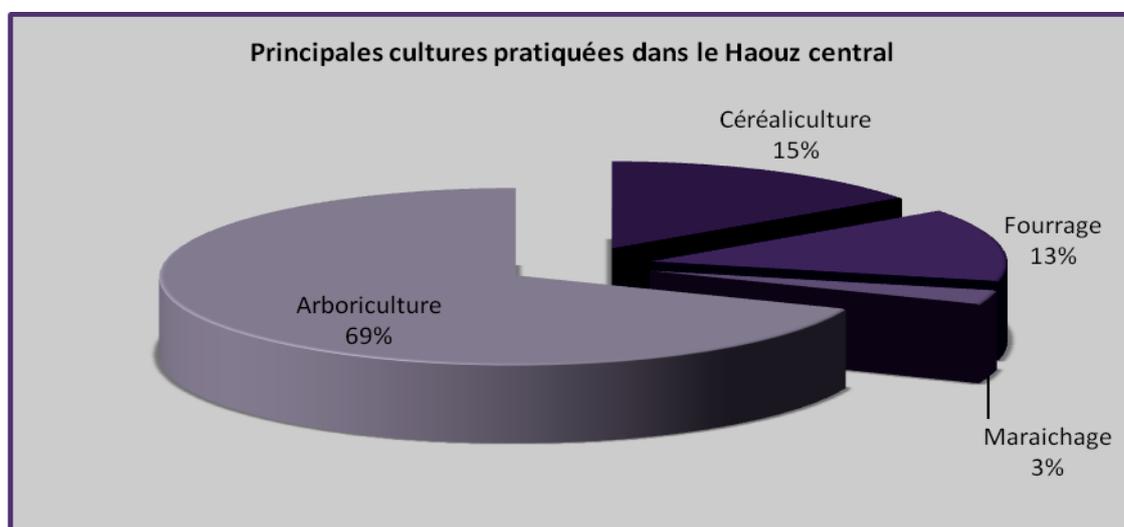


Fig. I. 7 : Graphe des principales cultures pratiquées dans le Haouz Central.

I. 4. 3. Pédologie :

La dernière étude pédologique fut 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 (Fig. I. 8).

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

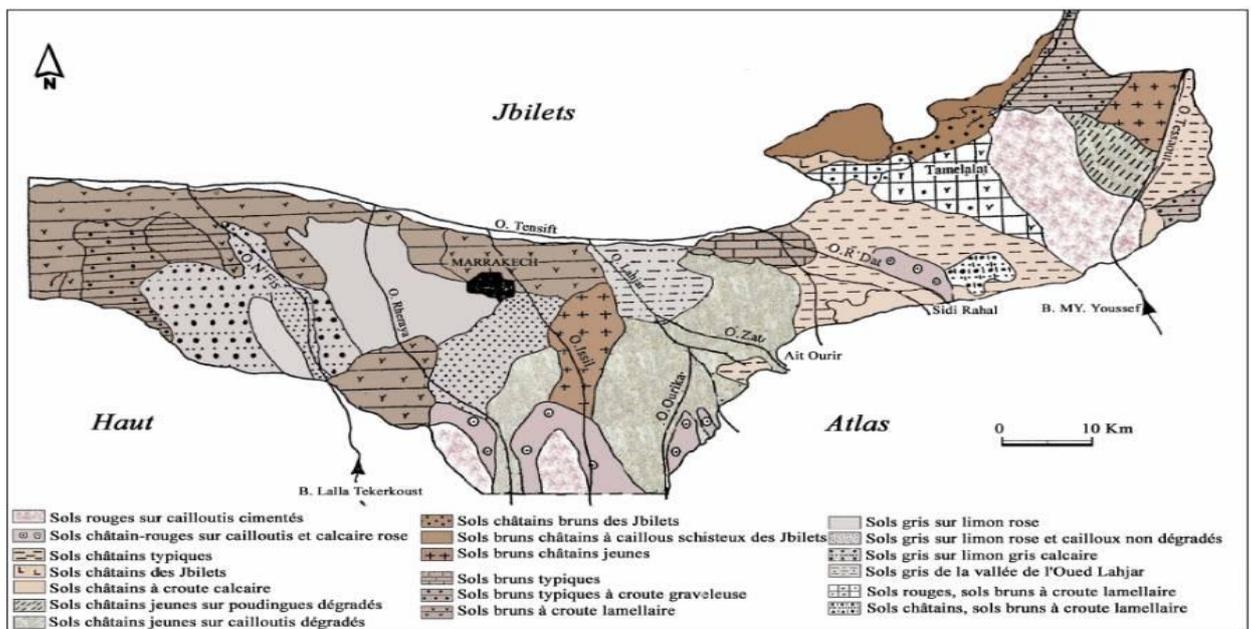


Fig. I. 8 : Carte pédologique du Haouz de Marrakech (Direction de l'agriculture du commerce et des forêts 1951).

II. Caractéristiques du périmètre N1-4 :

II. 1. Description du périmètre et situation géographique :

Le périmètre N1-4 est un secteur purement agricole depuis le temps colonial. Il est situé à 18km à l'ouest de la ville de Marrakech sur le coté gauche de la route nationale n°8 (Fig. I.9).

Ce secteur appartient administrativement à la commune de Saada, c'est un secteur qui a connu depuis l'an 2005 une adaptation moderne dans ses aménagements agricoles, dans le cadre de l'installation et de l'investissement de plusieurs grands investisseurs tels que les domaines agricoles et la société Agrohealth sarl.

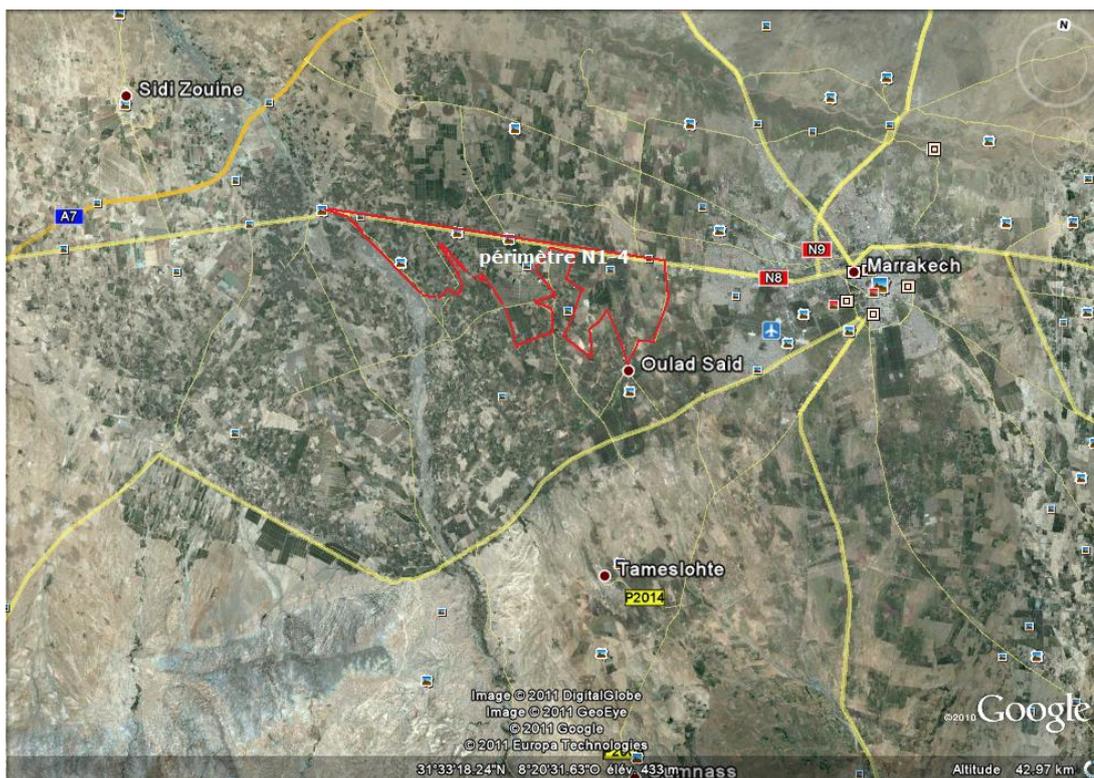


Fig. I. 9 : Image satellite localisant le périmètre N1-4 (Google Earth).

La superficie nette du secteur est estimée à 2860 ha, ce périmètre est subdivisé en 11 parcelles irrégulières réparties de la manière suivante (Tab. I. 1) :

Parcelles :	Domaine Loudaya (ex.SODEA 9007)	Domaine Saada (ex.COMAGRI)	Agrohealth (ex.SODEA 9006)	Domaine EL-Bahja (ex.SODEA 9021 et SODEA 9005)		C.F.1287
Superficie nette en ha :	164	123	226	398		182
Parcelle :	C.F.1287	C.F.9105	Haja	Lotissement Rosine	Lotissement Sidi Chikh	El Raft
Superficie nette en ha :	180	67	392	160	440	528

Tab. I. 1 : Répartition selon les superficies des parcelles constituant le périmètre N1-4.

II.2. Conditions climatiques dans le périmètre N1-4

II.2.1. Les précipitations

Le mois le plus pluvieux pendant les 5 dernières années, est le mois de février suivi par novembre et janvier, avec une hauteur maximale de 54 mm (Fig. I. 10). Par contre on remarque que le mois de juin n'a pas enregistré aucune précipitation. On peut dire que la répartition intra-annuelle des précipitations montre l'existence de deux saisons pluviométriques bien distinctes ; une saison pluviale humide qui s'étend de novembre à mars, et une saison pluviale sèche qui s'étend d'avril à septembre.

Généralement les précipitations dans le secteur sont irrégulières est moyennement faible se qui confirme la nature aride à semi aride de la région.

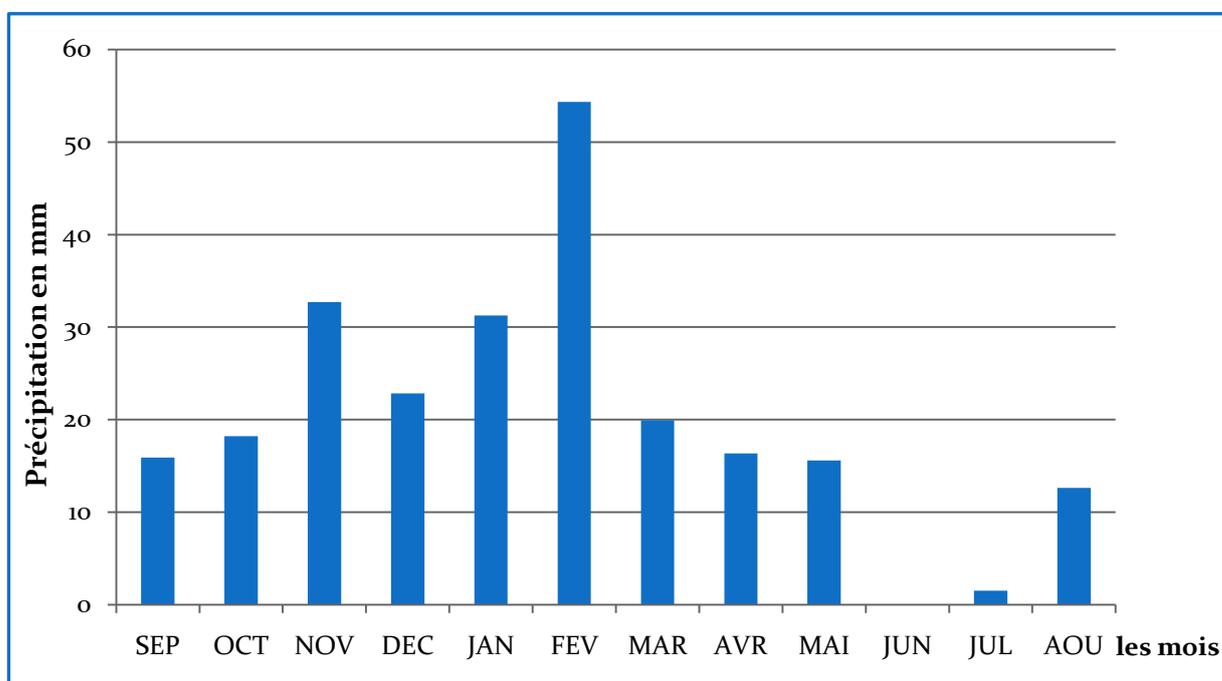


Fig. I. 10 : Variation des précipitations moyennes à la station du Domaine Saada de l'année 2007 à 2011.

II.2.2. La température :

Les variations de la température mensuelle montrent qu'il y a une différence intra-annuelle bien distincte entre l'hiver et l'été. Il y a existence de deux saisons, une froide avec une température pouvant atteindre parfois -2°C , et une chaude ou la température peut atteindre 44°C (Fig. I. 11).

Cet écart thermique important entre les températures maximales et minimales, prouve que le climat de ce secteur est de types continental.

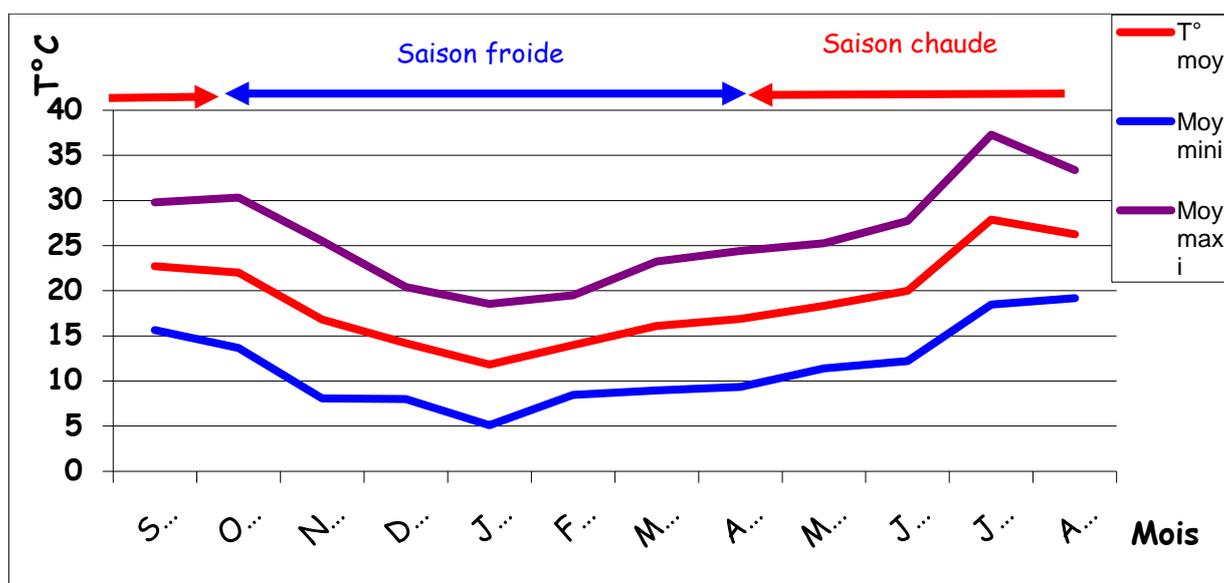


Fig. I. 11 : Variation mensuelle de température à la station du Domaine Saada pendant l'année 2009-2010.

III. La modernisation agricole dans le périmètre N1-4 :

Comme on vient de voir dans les paragraphes précédents, les conditions climatiques semi-arides du secteur et la nature du sol limoneuse et moyennement pauvre en matière organique naturelle, a imposé aux agences agricoles de revoir les techniques adaptées dans certains secteurs agricoles sensibles et qui souffre des problèmes de stress hydrique surtout dans les années de sécheresse.

C'est dans ce cadre que les grands agriculteurs du secteur N1-4, ont (depuis le lancement des programmes nationaux de modernisation du secteur agricole comme le plan Maroc vert ou bien le plan de la reconvention des méthodes d'irrigation) été les premiers à adapter les nouvelles techniques agricoles afin d'améliorer le rendement de leur terrain et d'économiser les besoins en eau nécessaire à l'irrigation.

Dans le paragraphe suivant, on mettra la lumière sur 2 types de modernisations qui seront l'objet de ce travail à savoir les aménagements hydriques et l'utilisation des fertilisants.

III.1. Les aménagements hydriques adaptés dans le secteur

Le secteur N1-4 est irrigué souvent par des forages, surtout dans la saison sèche ou les eaux de surfaces sont rares. Ces eaux de surface ont été aménagées dans des canalisations souterraines, depuis les chambres de pompage.

A l'arrivée dans les parcelles, les eaux de surfaces sont délibérées en borne contrôlé par l'office. Les dotations variantes d'une saison à une autre, restent insuffisantes pour l'irrigation de tout le secteur.

Ces eaux surfaciques sont issues de 2 origines (Fig. I. 12):

- les eaux mobilisées du sous bassin d'Oum Rbia par le biais du canal de Rocade, qui est dévié par la suite en deux principaux canaux d'irrigation souterraine. Ces derniers sont également déviés dans des canaux plus petits et ainsi de suite. Ce réseau complexe du système d'irrigation fini dans des points de prise d'eau au niveau des parcelles via des bornes,
- la mobilisation de l'eau libérée du barrage Lalla Takerkoust, suit le même système de transfert que précédemment.

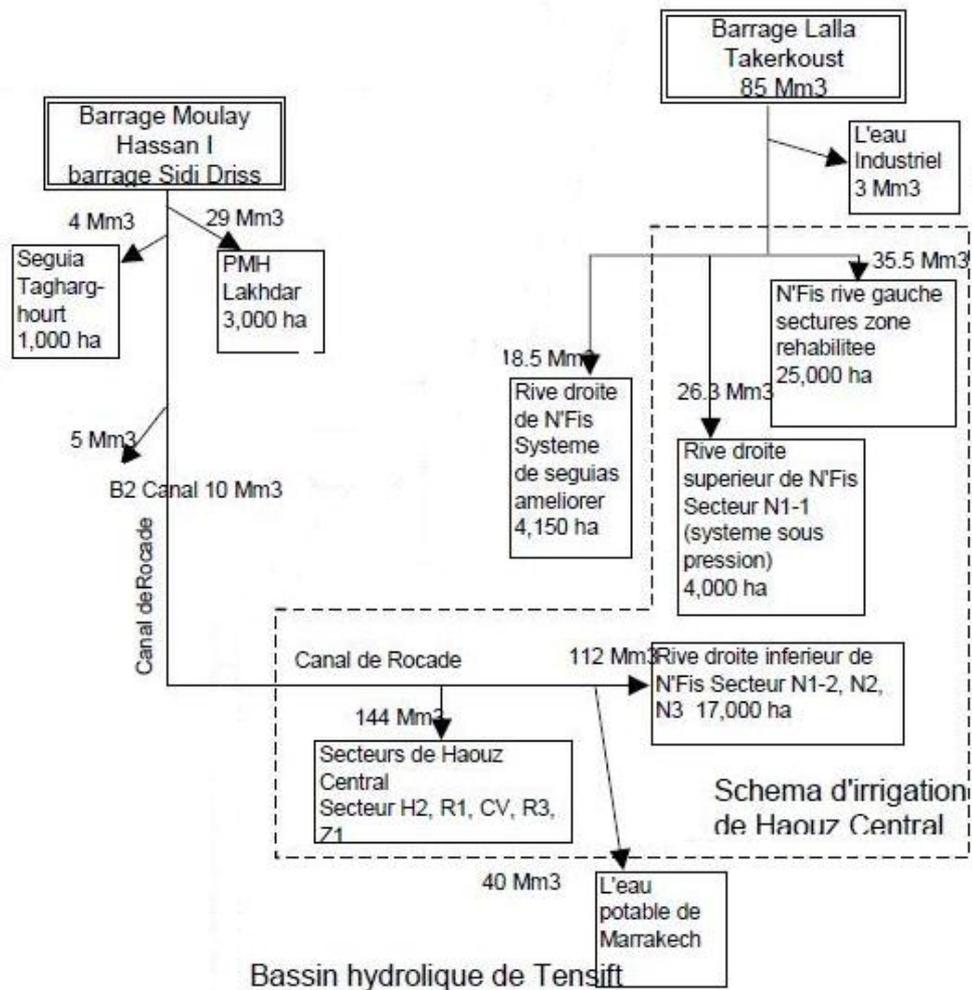


Fig. I. 12 : La répartition des ressources en eaux surfaciques par périmètre dans la zone du Haouz central (ORMVAH 2006, modifié).

Dans les parcelles, les agriculteurs ont adopté des systèmes de stockage des eaux de surface (généralement turbides), afin de favoriser leur décantation dans des bassins. Cette étape est très importante car elle permet de clarifier les eaux afin d'éviter le colmatage au niveau du réseau de pompage par les argiles et silts en suspension dans les eaux. Cependant, on procède au pompage des eaux claires destinées à l'irrigation rationnelle et économique par le système du goutte à goutte.

Pour les eaux souterraine ils sont directement véhiculée dans le système d'irrigation localisé, car ils n'ont pas besoin de décantation.

III.2. L'utilisation des fertilisants

La fertilisation est un processus indispensable dans l'agriculture afin d'obtenir une croissance optimale des plantations. Plusieurs études sur différentes régions du Maroc surtout dans les régions à agriculture intensifiée comme Tadla, Doukkala et El-Gharb, ont montré que l'utilisation de ces fertilisants entraîne des pollutions à différentes échelles (Revue H.T.E.N°23, 2002).

La nécessité de la fertilisation au niveau des parcelles évolue selon le type du sol, les conditions climatiques et le type de plantations.

Généralement le besoin nutritionnel des plantes reste le même car c'est la quantité qui diffère, mais les plantes ont besoin de certains éléments nutritifs indispensables à leurs croissance tels que: Azote, potassium, phosphore, magnésium, calcium, acide aminée, etc. (Wikipédia).

Dans les parcelles visitées, on avait remarqué la présence d'une unité de filtration des eaux, où il y a intégration des fertilisants dans les pompes d'injection des eaux du système d'irrigation. Alors l'irrigation et la fertilisation vont simultanément selon le besoin nutritionnelle des plantes et du sol.

Chapitre II :

MATERIELS ET METHODOLOGIES D'ANALYSE.

I. Introduction

La modernisation agricole avec toutes les disciplines de la science et des nouvelles technologies qu'elle fait intervenir, à prouver récemment qu'elle avait des côtés néfastes pour l'environnement agricole, et qu'elle peut être la cause directe de plusieurs problématiques telles que : la pollution des nappes souterraines et la dégradation précoce des sols cultivables.

Dans ce présent chapitre, on portera notre étude sur des analyses effectuées sur des échantillons d'eau et du sol prélevés dans différents points du secteur N1-4, en plus des analyses déjà faite dans toute la région de Saada, ces données permettront d'évaluer le taux de contamination, s'elle existe des ressources hydriques souterraines et des sols.

Ces analyses chimiques (eau & sol) auront pour objectif d'évaluer l'impact de la modernisation du secteur N1-4 sur la nappe phréatique du secteur et sur l'état chimique de sol.

II. Méthodologie

II-1- Techniques d'échantillonnage des eaux

L'échantillonnage est une étape primordiale, car il conditionne la pertinence de l'analyse des eaux. Il doit être de qualité et également représentatif.

Pour l'échantillonnage des eaux de surface (dans notre cas il s'agit des bornes d'irrigation), on laisse couler l'eau pendant au moins une durée de 15 min, avant de remplir les bouteilles.

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

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

Afin d'avoir des données représentatives et fiables du secteur étudié, la répartition des points d'échantillonnage étaient en premier lieu selon la disponibilité des points de prise d'eau, et en deuxième lieu selon la répartition des échantillons sur la globalité des sites modernisées. En plus de quelque point de prise d'eau sensible proche du secteur comme le centre médicale Loudaya et le lycée Allal Ben Abdullah.

Les analyses décrites dans ce rapport on été réalisées au Laboratoire de pédologie, d'eau et des plantes de L'ORMVAH et dans le Laboratoire de la chimie, des matériaux et l'environnement au sein du département de chimie de la faculté des sciences et techniques.

II.2.1. 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 ce pH, on procède de la manière suivante :

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

II.2.2. Potentiel d'oxydoréduction (Eh)

Le potentiel d'oxydoréduction permet de mesurer la capacité d'une eau à s'oxyder/se réduire en présence/absence d'oxygène. Elle est exprimée en mV. A l'aide du même appareil de mesure, c'est-à-dire le pH-mètre, on mesure le potentiel redox en lisant la valeur donnée ainsi que la température.

II.2.3. La conductivité électrique (CE)

Elle permet de connaître la minéralisation totale d'une eau, elle est mesurée à l'aide d'un conductimètre et exprimée en $\mu S/cm$. Le protocole adopté est le suivant :

- On place dans un bécher de 100 ml une quantité suffisante de l'échantillon.
- On place ensuite l'électrode du conductimètre dans le bécher, et on lit la valeur donné par l'appareil tout en agitant à l'aide d'un agitateur magnétique.

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

II.2.4. Le taux du sel (NaCl)

La détermination le taux du NaCl permet de connaître rapidement le taux du sel (salinité des eaux) sous forme dissoute dans l'eau, elle est exprimée en mg/l. A l'aide du même conductimètre, on choisit seulement la fonction de la mesure du taux du sel et l'appareil donnera la valeur de la concentration du NaCl.



Phot. II. 1. : Photographie du conductimètre utilisé dans la mesure du taux de sel.

II.2.5. La turbidité

L'objectif de mesure de la conductivité est de connaître si l'eau contient des particules en suspension, notamment colloïdales tels que les argiles, les limons, les grains de silice, la matière organique, etc. L'appréciation de l'abondance de ces particules mesure le degré de turbidité, qui est exprimée en NTU. La technique de mesure de ce paramètre est décrite ci-dessous :

- On commence tout d'abord par l'étalonnage de l'appareil avec de l'eau distillée qui prend la valeur 0, et ensuite par l'eau standardisée qui prend la valeur 40,
- On remplit les flacons par les échantillons et on les place dans le turbidimètre, et on lit la valeur affichée dans le petit écran.



Phot. II. 2 : photographie du turbidimètre optique utilisé dans cette étude.

II.2.6. Les chlorures

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

- On remplit l'erlenmeyer par 25 ml d'eau au moment du titrage.
- On remplit la burette par 25 ml de la solution de nitrate d'argent (AgNO_3) à $N=1/10$.

- On ajoute 3 à 4 gouttes de chromate de potassium (KCrO_4) à 10% sur l'eau qu'on veut titrer, la couleur deviendra jaune, on agite bien avant de commencer le titrage.

- On ouvre la burette en laissant les nitrates d'argent s'écouler lentement on agitant bien, on arrête la titration quand la solution prend une couleur rougeâtre.

Les teneurs en chlorure sont obtenues par la formule suivante :

$$[\text{Cl}^-] = V_{\text{versé}} * 142$$

II.2.7. Les bicarbonates et carbonates (l'alcalinité)

L'alcalinité correspond à la capacité d'une eau à accepter ou à consommer les protons H^+ , elle est essentiellement due à la concentration importante des ions : $[\text{HCO}_3^-]$, $[\text{OH}^-]$, et $[\text{CO}_3^{2-}]$ dans l'eau (CO_3^{2-} se trouve dans un milieu basique dont le $\text{pH} \geq 8.5$). La technique utilisée pour la mesure de ces carbonates est la suivante :

- On met la solution d'acide sulfurique H_2SO_4 dans une burette,
- On prélève par la suite à l'aide d'une fiole jaugée, 50 ml d'échantillons qu'on place dans un bécher,
- On place l'électrode d'un pH-mètre dans le bécher, et on commence le dosage,
- On détermine le point du virage quand le pH atteint 4.5.

L'alcalinité des échantillons d'eau est déterminée par la formule suivante, permettant de corriger certaines imperfections :

$$[\text{HCO}_3^-] = (V_{\text{versé}} * \text{Normalité de l'acide} * 50000) / V_{\text{ech}}$$

II.2.8. Les sulfates

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

1) Etalonnage de l'appareil

- Dans une série de fioles jaugées de 50 ml, on prépare un essai témoin de nombre de 7 solutions d'étalons dans les concentrations en NaSO_4 (solution d'étalon), sont : 0 ; 1 ; 3 ; 5 ; 7 ; 9 et 10, et on termine jusqu'au 50 ml par de l'eau distillée.

- On agite bien les étalons, et on les laisse se reposer pendant 15 min, puis on remplit les cuves et on les dose en spectrophotométrie, à la longueur d'onde de 650 nm.



Phot. II. 3 : photographie du spectrophotomètre à flamme.

2) La mesure des échantillons

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

- On ajoute 1 ml de l'acide chlorhydrique, et 5 ml de la solution de chlorure de baryum stabilisant (nommée TWAAN 20).

- On agite bien et on laisse les échantillons reposer au moins 15 min, après le repos on remplit les cuves et on les dose comme pour les étalons à l'aide d'un spectrophotomètre.

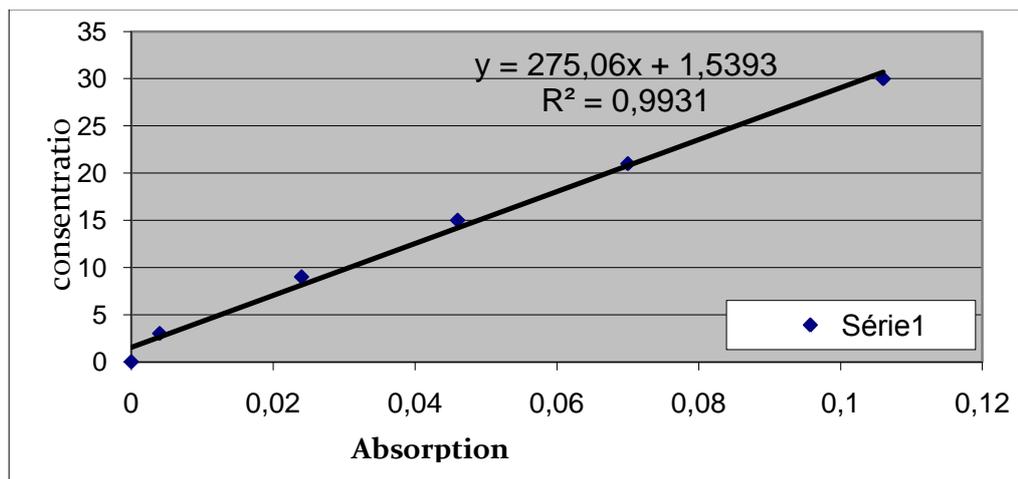


Fig. II. 1 : Courbe d'étalonnage des sulfates.

II.2.9. Les nitrates

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

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

- Ensuite on place l'échantillon dans une autre cuve, et on rajoute un stabilisant « Nitrate Chromotropic powder pack », après agitation on attend pendant 5 min pour que la réaction soit terminée,

- Avant de procéder à la mesure des échantillons, il faut mesurer en premier le blanc afin de stabiliser l'appareil.

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

II.3. Techniques d'échantillonnage du sol

Comme pour les eaux, le sol aussi a été prélevé selon un protocole d'échantillonnage bien défini. Ces échantillons doivent être représentatifs et bien répartis sur toute la zone d'étude. Les sols analysés sont prélevés dans des parcelles irriguées par les eaux déjà décrites précédemment.

Les échantillons ont été prélevés dans tout le secteur selon un parcours ayant la forme de la lettre Z. Au niveau de chaque station les prélèvements ont été effectués en surface (0-20 cm) et en profondeur (20-40). 28 échantillons ont été prélevés à l'aide d'une Tarière agricole, en prenant en considération de laisser l'espace d'un mètre entre les troncs d'arbres.

Après avoir mélangé l'horizon dans un seau, on verse l'échantillon d'horizon dans un sachet en plastique et on nomme l'échantillon et son horizon.

II.4. Mode opératoire des analyses effectuées sur les échantillons du sol

Avant de procéder à l'analyse, les échantillons doivent subir impérativement un traitement préalable. Ce prétraitement consiste à laisser sécher les échantillons à l'air libre pendant une nuit ou plus. Les échantillons sont ensuite tamisés par un tamis dont la maille est de 2 mm afin d'obtenir une terre fine d'une part et de se débarrasser de toute matière grossière (cailloux, débris végétaux, insectes, etc.) d'autre part.

II.4.1. La conductivité électrique

La conductivité électrique a été mesurée à l'aide d'un conductimètre comme dans le cas des eaux mais avec un protocole différent. Cette conductivité (mS/cm) exprime la capacité d'un sol mis en solution à se faire traverser par un courant électrique. La mesure de ce paramètre nécessite une petite préparation décrite ci-dessous :

- On pèse 10 g de terre qu'on met dans un flacon, puis on ajoute 50 ml d'eau distillée (rapport de 1/5), l'ensemble est mélangé à l'aide d'un agitateur mécanique pendant 20 min.

- Après 20 min d'agitation, on mesure la conductivité à l'aide d'un conductimètre en prenant en considération la température du mélange eau-sol.

Pour calculer la minéralisation totale du sol, on multiplie la valeur donnée par le conductimètre par 3,2. La valeur obtenue est la quantité du sel contenue dans 10 g de sol, et elle sera exprimée en gramme (g).

II.4.2. Le pH du sol

L'activité chimique des ions hydrogènes (H^+) doit être déterminée, afin d'avoir une idée sur l'acidité ou l'alcalinité du sol. On la détermine souvent par la méthode potentiométrique à l'aide d'un pH-mètre. La technique utilisée à cet effet est la suivante :

- On pèse 20g du sol et on le place dans un bécher de 100 ml, puis on ajoute 50 ml d'eau distillée,

- On remue bien la suspension, puis on laisse la solution se reposer, à une température de 20 à 25 °C pendant 16 heures (une nuit),

- Après une nuit de repos, on mesure à l'aide d'un pH-mètre le pH de la solution tout en agitant la suspension avec une barre magnétique.



Phot. II. 4 : photographie montrant le pH-mètre utilisé.

II.4.3. Calcaire total ($CaCO_3$)

L'objectif est de déterminer à l'aide d'un acide fort (HCl), le volume de CO_2 dégagé, ce dernier est proportionnel à la quantité de carbonate de calcium. ($CaCO_3$) contenu dans le sol. Ces carbonates sont déterminés selon le mode opératoire suivant :

- On pèse 1g de terre qu'on met dans un erlenmeyer.

- On verse 5 ml de HCl dans un flacon en polyéthylène qu'on met dans l'erenmeyer, on raccorde l'erenmeyer au calcimètre Bernard puis on agite.

- Tout en agitant, le volume d'eau coloré contenu dans le calcimètre baisse, une fois stabilisé on note sa valeur.

La valeur lue sur le tube gradué du calcimètre est remportée sur un tableau qui représente la quantité de CaCO_3 contenu dans le sol en fonction du CO_2 dégagé au cours de l'expérience et pour ce faire on doit obligatoirement prendre en considération la température.



Phot. II. 5 : photographie du calcimètre Bernard utilisé pour le dosage des carbonates.

II.4.4. dosages des phosphores assimilables (P_2O_5)

Afin d'évaluer le besoin nutritif des plantes, il est indispensable de déterminer le taux du phosphore assimilable contenu dans le sol. Le dosage du phosphore est effectué par la méthode d'Olsen, qui consiste à l'extraction d'une solution à partir du sol à l'aide de l'hydrogénocarbonate de sodium (NaHCO_3) à pH de 8.5. La solution obtenue est dosée comme suivant avec un spectromètre selon deux étapes :

1) L'extraction

- On pèse 5g de terre et on la met dans un flacon d'agitation,
- On ajoute 100 ml d'hydrogénocarbonate de sodium (NaHCO_3) à pH=8.5 et une cuillère de charbon actif, et on laisse la préparation s'agiter pendant 30 min,
- Ensuite après 30 min on filtre la solution, on prenant compte qu'elle doit être limpide, sinon on rajoute le charbon actif.

2) Dosage au spectrophotomètre

▪ Préparation de la courbe d'étalonnage

○ Dans des fioles jaugées de 50 ml, on distribue les volumes suivants : 0 ; 2,5 ; 5 ; 7,5 ; 10 ; 15 et 20 ml de la préparation de la solution fille de phosphore (obtenue par dissolution de 0.439 g de KH_2PO_4 dans 1 l d'eau).

○ On ajoute 5 ml de la solution d'acide ascorbique dans les fioles jaugées et on complète à 50 ml avec l'eau distillée. Cette gamme correspond à des concentrations en phosphore de : 0 ; 0,005 ; 0,1-0,15 ; 0,2 ; 0,3 et 0,4 ppm, avec quoi l'appareil sera étalonné.

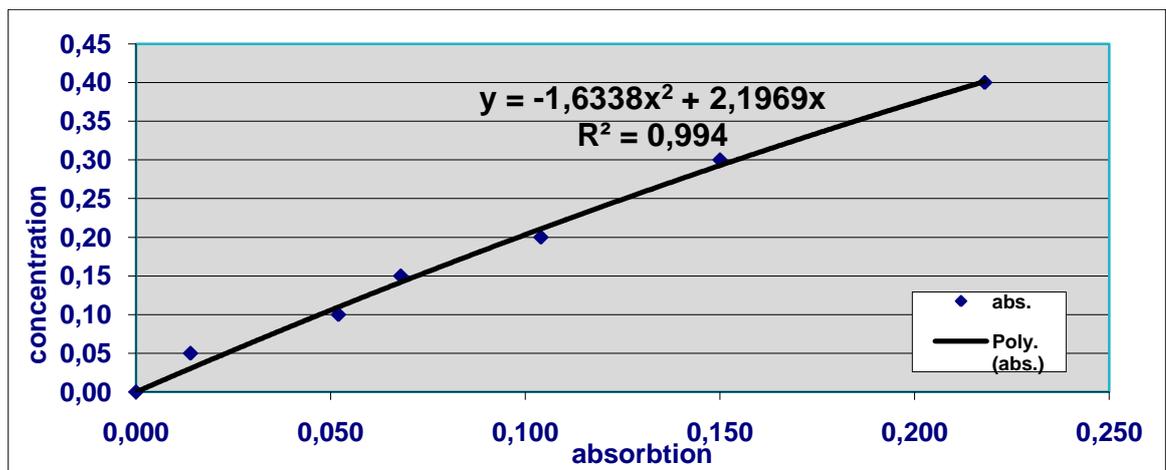


Fig. II. 2 : courbe d'étalonnage du phosphore.

▪ Les échantillons

○ Dans des fioles jaugées de 50 ml, on introduit un volume adéquat (de 1 à 5 ml) des filtrats obtenus après extraction, sans oublier de faire un témoin de NaHCO_3 ,

○ On ajoute 5 ml de la solution d'acide ascorbique et 30 ml d'eau distillée,

○ Agiter de temps en temps jusqu'à dégagement complet du CO_2 et on complète à 50 ml avec de l'eau distillée,

○ On mesure la densité optique 30 minutes après l'addition de la solution d'acide ascorbique (la longueur d'onde utilisée est 812 nm).

$$\text{P}_2\text{O}_5 \% = (\text{lecture sur la courbe} * 2,29 * 100) / \text{Vol. Prélevé.}$$

II.4.4. Matières organique (Carbone total)

On dosant la teneur en carbone contenu dans le sol, on connaîtra la nature et la richesse en matière organique qu'il contient. Pour cela on fait agir sur le sol dans des conditions bien définies une

quantité connue d'un corps oxydant est on dose ensuite l'excès inutilisé qui nous donnera le taux de cette matière organique. La détermination des teneurs en matière organique s'effectue suivant deux étapes :

1) L'oxydation

- On pèse 2 g du sol, et on les place dans un erlenmeyer.
- On ajoute 10 ml de la solution de bichromates de potassium (K_2CrO_7) à 1N, et 20 ml de l'acide sulfurique (H_2SO_4).
- On agite les échantillons pendant une minute, et on les laisse pendant 30 min pour s'oxyder, ensuite on stop la réaction par l'ajout de 100 ml d'eau distillée et on laisse les échantillons au repos pendant une nuit.

2) Le dosage

- On prélève 25 ml de la solution surnageant et on la met dans un erlenmeyer, on ajoute 2 ml de fluorure de sodium (NaF) à 3% et 3 gouttes de chlorhydrate de diphénylamine.
- On verse la solution du sel de Mohr dans une burette de 50 ml, et on dose l'excès de bichromates, le dosage est effectué quand la solution vire du bleu au vert, on dose aussi un témoin qui contient l'eau distillée et les 2 ml de NaF.

On calcule tout d'abord la différence entre le volume témoin de NaF et le volume versé. Cette valeur est ensuite multipliée par 3,9 et divisé par le volume témoin qui est multiplié lui aussi par 2 g.

Le pourcentage de la matière organique est obtenu en multipliant la valeur trouvée par 1,724.

$$V_{\text{Diff}} = V_T - V_v \quad C\% = (V_{\text{Diff}} * 3,9) / (V_T * 2) \quad \text{MO}\% = C\% * 1,724$$

Chapitre III :

Discussions et interprétations des Résultats

I. Introduction :

Afin qu'on puisse donner une idée générale de l'état de la qualité des ressources hydriques (surfactive et souterraine), et de l'état de la qualité pédologique du secteur N1-4, et à cause de l'insuffisance des données historiques dans cette zone, nous avons essayé de faire une approche comparative entre les résultats d'analyse d'eau avec les normes de potabilité. Pour le sol on comparera les résultats trouvés avec celle de l'étude S.C.E.T.Maroc 1977. Ensuite on conclura en globalisant l'état de la qualité des deux éléments au niveau du secteur étudié.

II. Résultats qualitatifs des eaux

II.1. Conductivité électrique

Tous les échantillons (au nombre de 14) ont été prélevés en profondeur, excepté les échantillons n° 3, 6 et 12 qui sont prélevés en surface. Les eaux de surface montrent en général une conductivité légèrement faible à moyenne (pour l'échantillon n° 12).

Pour les eaux souterraines, les échantillons 1, 2, 7, 9, 10 et 11 montrent une conductivité (et minéralisation totale) faible. Les échantillons 4, 5, 8, 13 et 14 représentent une conductivité (et minéralisation totale) moyenne.

Le graphique ci-dessous (Fig. III. 1), montre que les valeurs de la conductivité électrique évoluent de la même façon que celles de la minéralisation. Il y a une parfaite corrélation entre ces deux paramètres. Cette corrélation est tout à fait prévue car c'est grâce à la conductivité qu'on détermine la minéralisation.

Puisque la conductivité permet d'avoir une idée sur la minéralisation totale des eaux, on pourra dire que les eaux souterraines du secteur n'ont pas été contaminées par les produits utilisés dans l'activité agricole car les eaux de la nappe sont de bonne qualité et leur minéralisation ne dépasse pas 1g/l (d'après le tableau des résultats et risque de salinisation-annexe, Tab. III. 1).

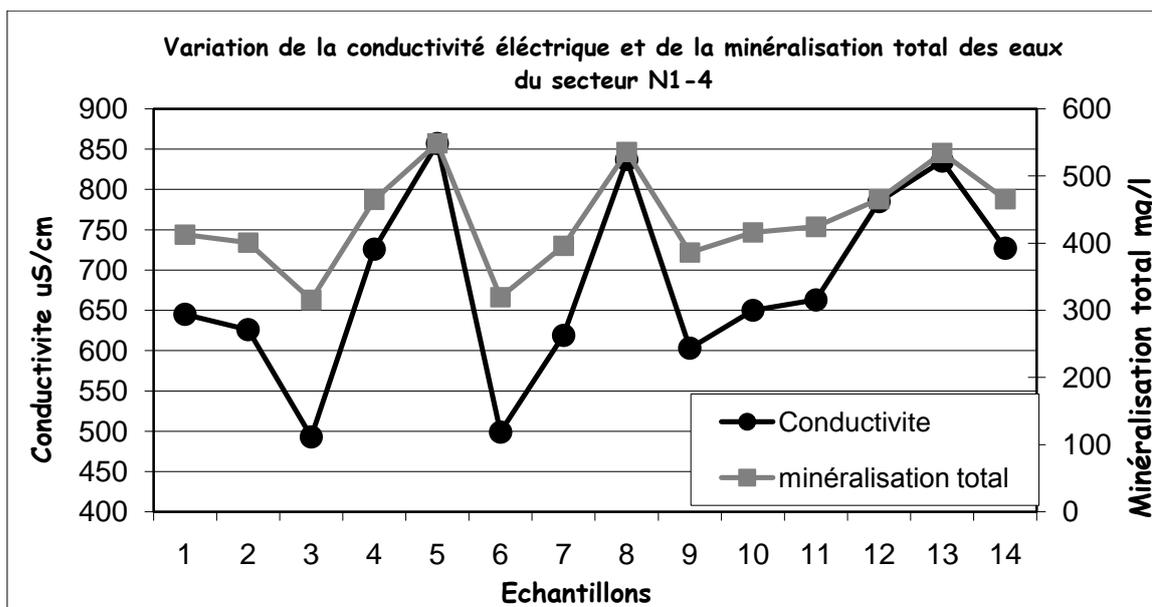


Fig. III. 1 : Variation de la conductivité électrique et de la minéralisation des eaux du secteur N1-4.

II.2. Le potentiel hydrogène (pH)

Le pH des eaux du secteur montrent des valeurs comprises entre 7 et 8. Les échantillons 3, 6 et 7 présentent un pH plus élevé que les autres échantillons.

On se basant sur le tableau des classifications des eaux selon leur pH (Annexe, Tab. III. 2), on peut conclure que les échantillons ont un pH faiblement alcalin (échantillons 3, 6 et 7) à alcalin (pour les échantillons qui restent).

On peut dire que les eaux de la zone ont un pH qui est de nature neutre, à faiblement alcaline.

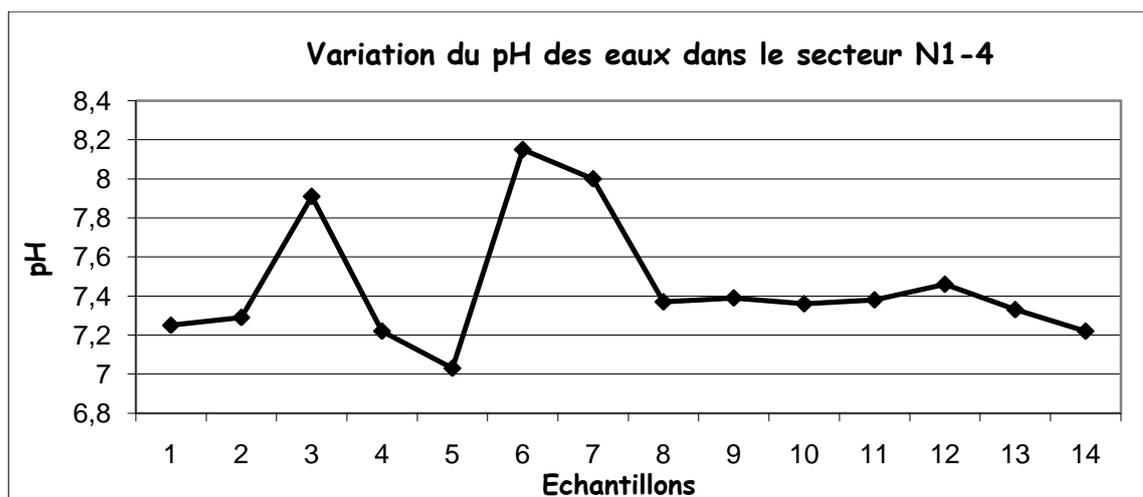


Fig. III. 2 : Variation du potentiel hydrogène (pH) des eaux du secteur N1-4.

II.3. La turbidité de l'eau

Les eaux des échantillons n°6 et 12 présentent une turbidité comprise entre 40 et 50 NTU, alors que le n°3 révèle une turbidité légèrement faible autour de 20 NTU (d'après le tableau des classes de turbidité usuelle-Annexe, Tab. III.3). Les eaux des deux premiers échantillons rentrent donc dans la gamme des eaux troubles. Alors que le n° 3 est considéré comme étant une eau légèrement trouble. Ces valeurs sont normales puisque ces eaux de surfaces proviennent des eaux accumulées au niveau des barrages. Ces eaux sont à l'origine issues de drainage à partir de l'ensemble du bassin versant et donc très riches en charge sédimentaire notamment des particules en suspension.

Par contre les eaux souterraines sont des eaux claires car leur turbidité est quasiment nulle excepté l'échantillon n°9 une turbidité autour de 20 NTU. Cette valeur est inattendue car les eaux souterraines sont généralement claires et donc une turbidité presque nulle. Cette valeur élevée de cet échantillon est à priori erronée en raison d'un mauvais échantillonnage.

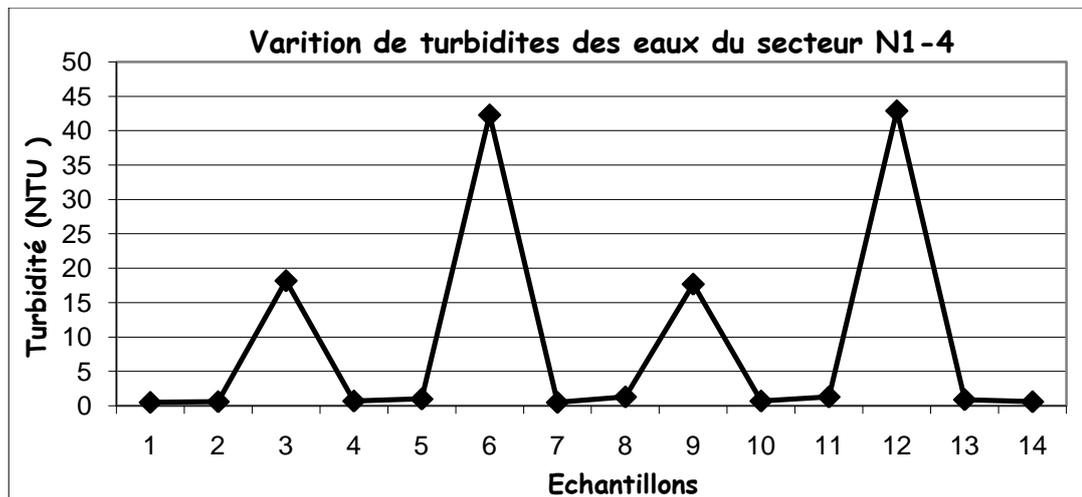


Fig. III. 3 : Variation de la turbidité des eaux dans le secteur N1-4.

II.4. Le potentiel d'oxydoréduction (Eh)

D'après le graphique (Fig. III. 4) si dessous, montre des valeurs positives du potentiel d'oxydoréduction. Donc les eaux analysées sont de nature oxydante.

Les eaux de surface (échantillons n° :3,6 et 12) montrent un potentiel d'oxydoréduction moins important que les eaux souterraines, qui ont des valeurs importantes (195 mV pour l'échantillon n°1 et 195 mV pour l'échantillon n° 10) c'est due à l'état des eaux souterraine piégé dans un aquifère (milieu réducteur), qui favorise l'oxydation de ses eaux..

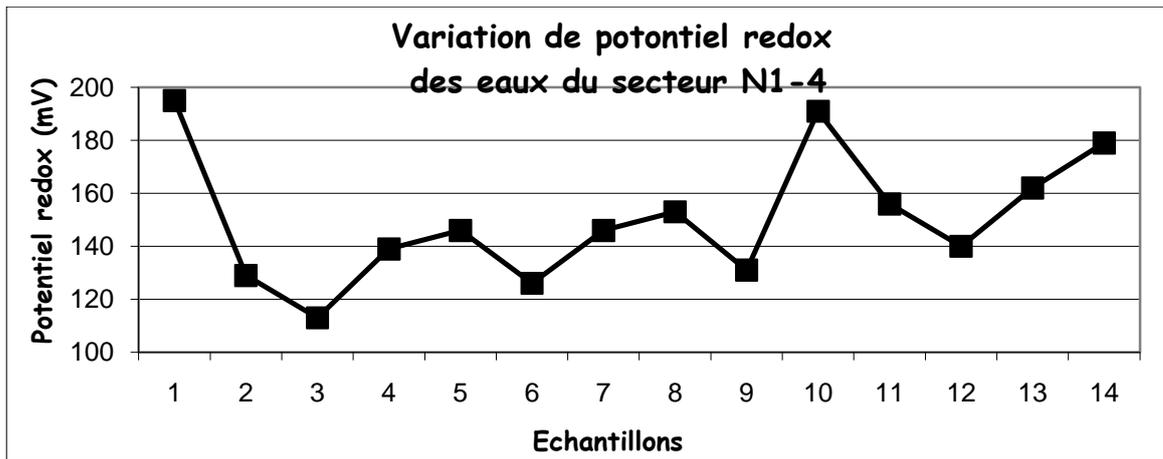


Fig. III. 4 : Variation du potentiel d'oxydoréduction des eaux dans le secteur N1-4.

II.5. Les nitrates

Pour les eaux de surface les échantillons n°3 et n°12 sont de bonne qualité (10-25mg/l), par contre l'échantillon n° 6 révèle une valeur qui se trouve à la limite des normes tolérées pour les eaux potables c'est-à-dire 50 mg/l (D'après le tableau des normes des nitrates dans les eaux de surface et souterraines-Annexe, Tab. III.4).

Concernant les échantillons des eaux souterraines 63% des échantillons sont d'excellentes qualités et les autres sont de bonne qualité.

Les eaux en profondeur pompées directement de la nappe phréatique de secteur N1-4 présentent des teneurs faibles en nitrates traduisant la bonne qualité des eaux et donc un état sain de l'aquifère qui n'est pas touchée par l'intensification d'épandage des engrais. On peut dire que la modernisation agricole adoptée dans la région apporte ses fruits vis-à-vis de l'environnement qui est de bonne qualité dans ce secteur. Le seul Echantillon mais de surface (n° 6) qui présente une valeur à la limite de la norme s'explique par une contamination des eaux le long du parcours depuis le barrage Lalla Takerkoust jusqu'à la région de Saada où se trouve les parcelles utilisées pour l'agriculture.

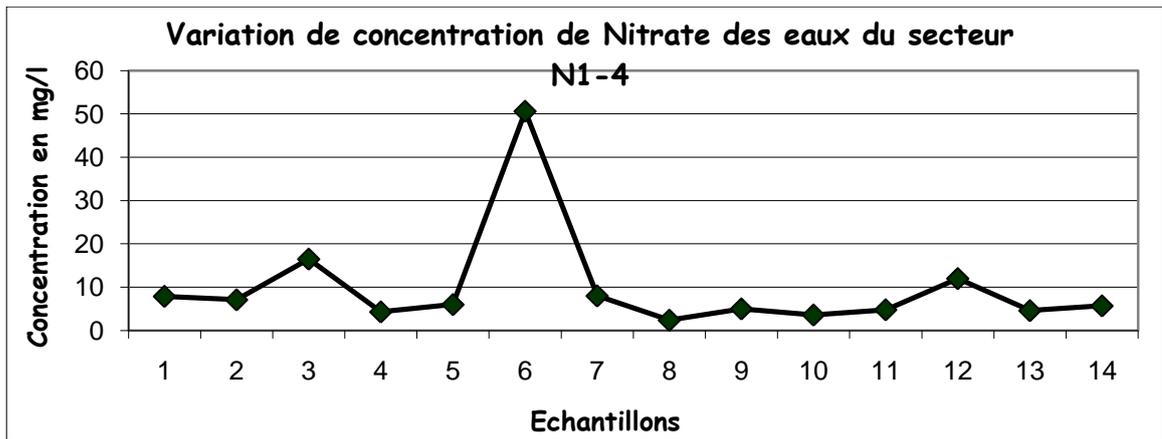


Fig. III. 5 : Variation des nitrates dans les eaux dans le secteur N1-4.

II.6. Les bicarbonates et les chlorures

Les échantillons de surfaces notamment le n°3 et 6 présentent des teneurs de chlorures les plus faibles de l'ensemble du secteur. L'échantillon n°12 présente par contre une valeur relativement élevée 213 mg/l.

Concernant les concentrations en bicarbonates, les échantillons de surface présentent des valeurs relativement élevées par rapport à celles des eaux de profondeurs. Ces teneurs sont à priori logiques car les eaux arrivant dans les parcelles sont collectées auparavant dans le barrage Lalla Takerkoust. Ce lac artificiel, est doté d'un bassin versant d'une grande superficie avec certainement des affleurements carbonatés. La dissolution de ces derniers, entraîne la formation de différents ions carbonatés qui arrivent dans le barrage et par conséquent les parcelles irriguées.

Il est important de souligner que tous les échantillons de surface respectent les normes de potabilité dont les valeurs ne dépassent pas le seuil de 300 mg/l.

Les eaux souterraines présentent des concentrations en chlorures faible par rapport à celles des bicarbonates. Les teneurs en Chlorures ne dépassent pas 200 mg/l excepté pour les échantillons n°13 et 14 dont les valeurs sont autour de 300 et 250 mg/l respectivement.

Les teneurs en bicarbonates dans les eaux souterraines sont comprise entre 150 et 300 mg/l, d'ailleurs homogène par rapport à celles des chlorures.

Ces teneurs en bicarbonates des eaux de profondeur relativement similaires à celles des eaux de surface, seraient liées à la même nature pétrographique de l'encaissant (conglomérats Quaternaire) et des roches en affleurement dans le bassin versant du barrage.

Les teneurs en chlorures dans les eaux de surface présentent des valeurs variantes (l'échantillon n°3 et 6 présente des valeurs faibles par rapport à l'échantillon n°12)

Pour les eaux souterraines, les valeurs des chlorures varient entre 71mg/l (échantillon n°9) et 298 mg/l (échantillon n°13). L'écart des teneurs en chlorures entre les échantillons d'eaux souterraines (est probablement due à la nature salifère de l'encaissant).

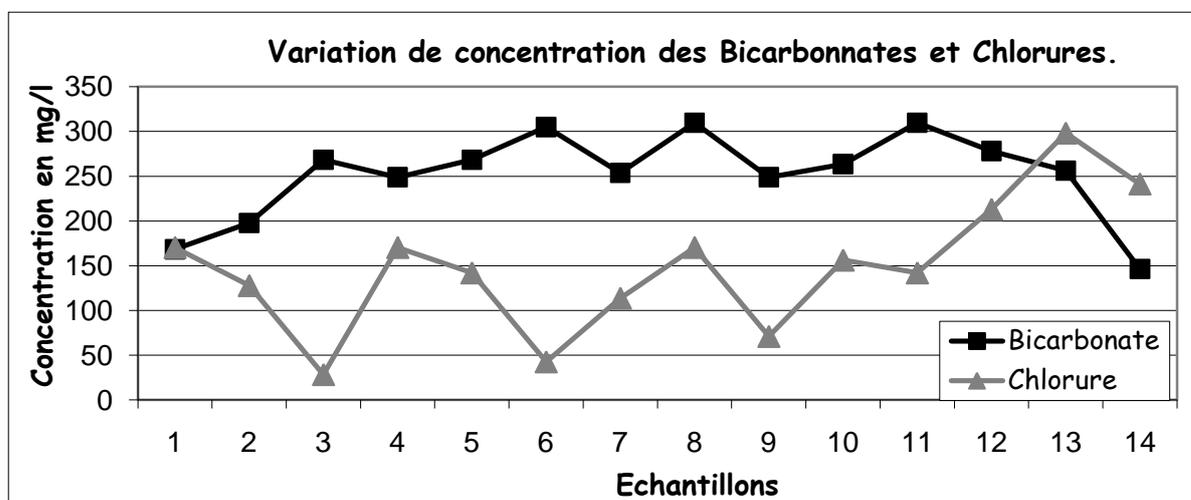


Fig. III. 6 : Les chlorures et des bicarbonates des eaux du secteur N1-4.

II.7. Les Sulfates et le sel (NaCl)

Les concentrations en sulfates des eaux de surface sont relativement plus élevées que celles des eaux souterraines, notamment pour l'échantillon n°12 (1200 mg/l). Cet échantillon présente une concentration six fois plus élevée que les normes de potabilité des eaux fixées à 200 mg/l.

En fait, cet échantillon concerne des eaux qui arrivent de très loin, plus précisément le Barrage Hassan I dont la superficie de son bassin versant est très importante. Le drainage des différents produits (pesticides, engrais, etc.), utilisés par les agriculteurs arrivent dans le barrage sous formes dissoutes. La source de la contamination est certainement les eaux collectées au niveau du barrage.

Les concentrations en sel sont relativement similaires pour les eaux de surface et de profondeur. Les teneurs varient au tour d'une moyenne de 400 mg/l.

La présence des sels dans ces eaux est probablement due à la nature salifère des formations d'âge crétacé.

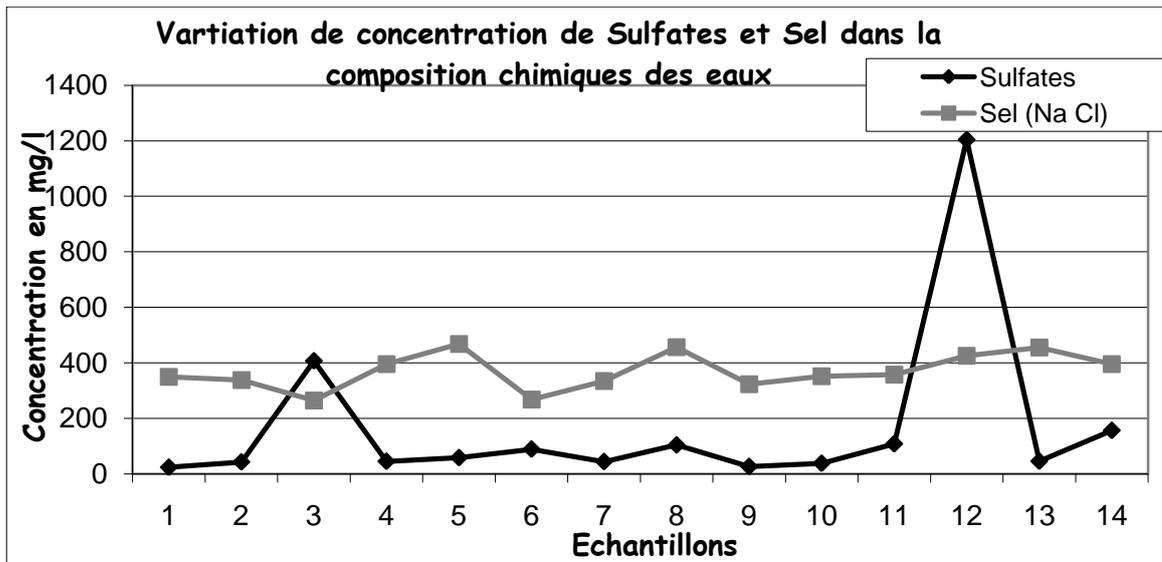


Fig. III.7 : Variation des sulfates et du sel (NaCl) des eaux du secteur N1-4.

III. Evolution quantitative des eaux

D'après la carte d'écart piézométrique de la nappe du Haouz réalisée entre 2001 et 2006, (RESING, ABHT), s'avère que la nappe phréatique avait connu un rabattement entre 0 et 6 mètre (Fig. III. 8).

Cette diminution du niveau piézométrique dans un écart de 4 ans, est due au régime d'irrigation gravitaire qu'a connu le secteur avant 2005. Ce sur-pompage des eaux accompagné par une mauvaise gestion des ressources hydrique sont la conséquence de l'état actuel de l'aquifère.

Le rabattement de la nappe phréatique serait probablement lié aussi aux conditions climatiques à l'échelle mondiale et plus particulièrement dans la région de Tensift Haouz. Cette région se caractérise par un climat aride à semi-aride et donc une pluviométrie réduite.

A cause de l'insuffisance des données récentes sur l'état de cette nappe après l'adaptation du programme national de la reconversion des méthodes d'irrigation dans le secteur N1-4, on espère (grâce au mode d'irrigation localisé) que le niveau piézométrique se stabilisera dans les années à venir.

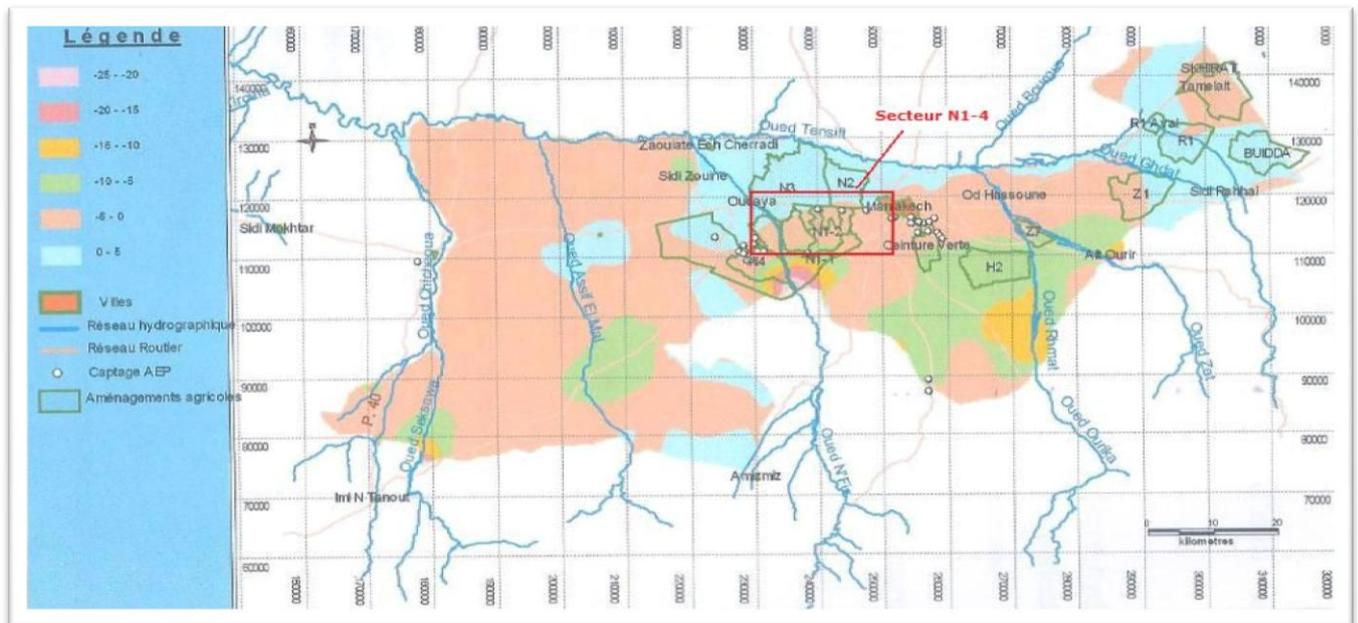


Fig. III. 8 : Carte Ecart piézométrique de la nappe du Haouz calculé entre 2001 et 2006 (RESING, ABHT).

IV. Résultats qualitatifs au niveau du sol

IV.1. Conductivité électrique

La conductivité électrique donne une idée générale sur la salinité du sol. Les valeurs obtenues varient entre 0,18 mS/cm (0,58g/l) et 2,05 mS/cm (6,65g/l) avec une moyenne de l'ordre de 0,68mS/cm (2,16 g/l).

Ces valeurs permettent de classer le sol dans la classe non saline d'après la classification de l'organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). Ce résultat est attendu puisque ce sol est irrigué par des eaux qui sont de salinité faible.

La conductivité (et la minéralisation) mesuré dans ce même secteur en 1977, était beaucoup plus faible (entre 0,08 mS/cm et 1,26mS/cm avec une valeur moyenne de 0,39 mS/cm) que celle d'aujourd'hui. Les valeurs se sont doublées sur une période de 36 ans. Cette évolution est certainement lente mais tend vers une pollution qui commence à s'installer dans le secteur étudié. Cette salinité est probablement due à l'utilisation des engrais qui se sont accumulés au cours des années successives.

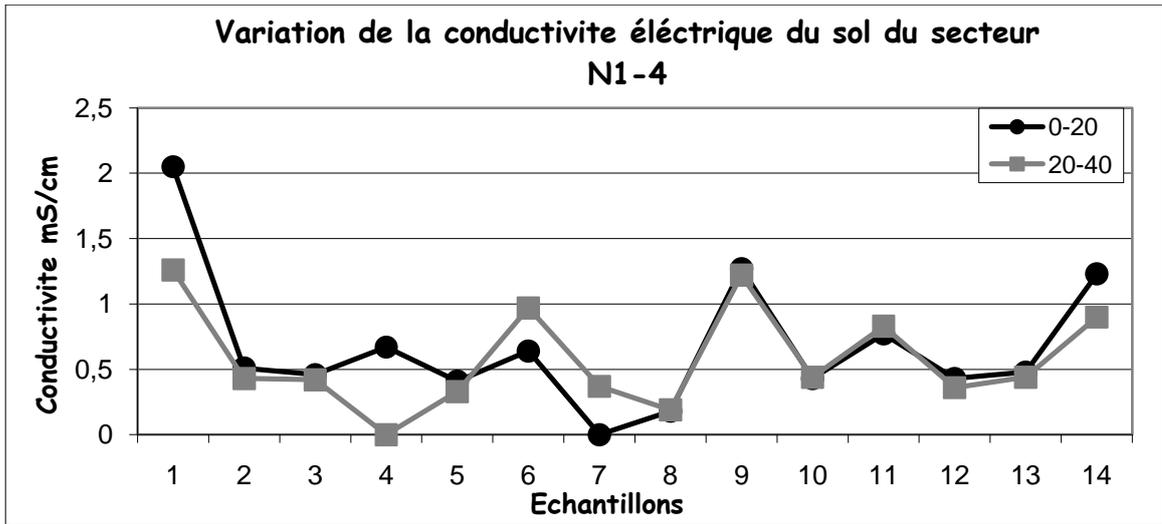


Fig.III. 9 : Variation de la conductivité électrique du sol de secteur N1-4.

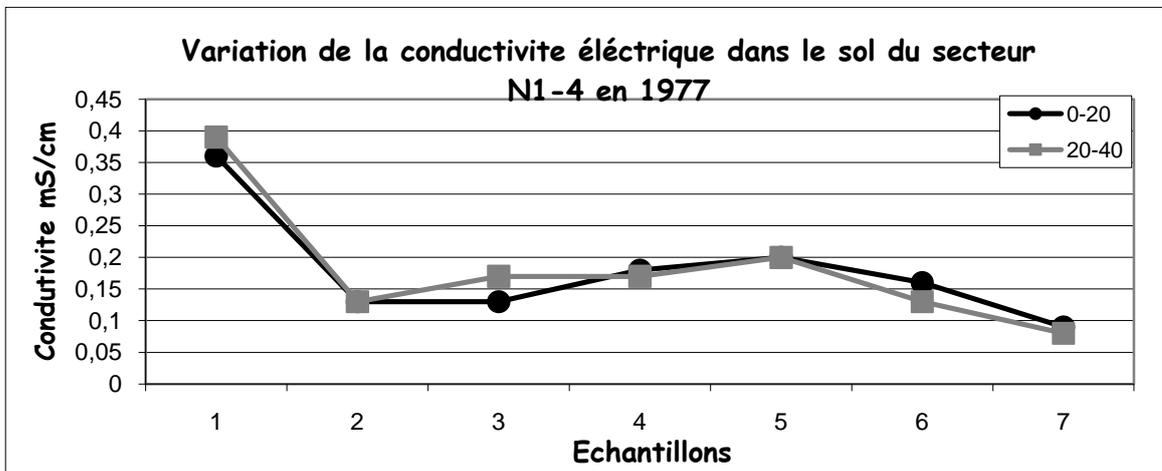


Fig.III. 10 : Variation de la conductivité électrique du sol de secteur N1-4 (S.C.E.T.Maroc 1977).

IV.2.pH de sol :

Les prélèvements du sol ont été faits au niveau de deux horizons : 0-20 cm et 20-40 cm. Le pH de tous ces échantillons révèlent des valeurs variant entre 7,01 et 8,9 avec une valeur moyenne de l'ordre de 7,5 (Fig.III.11). Le pH des deux horizons montre des valeurs quasiment similaires. En fait, ces valeurs sont normales car les sols agricoles présentent généralement un pH compris entre 4 et 9.

D'après le tableau du statut acido-basique des sols agricoles (annexe Tab. III. 5), on peut classer les sols selon 2 groupes : les sols peu alcalin ($7 < \text{pH} < 7,5$), et les sols alcalin basique ($\text{pH} > 7,5$). Le sol du secteur étudié est qualifié comme étant un sol faiblement alcalin car tous les échantillons présentent un pH compris entre 7 et 7,5.

Par ailleurs, les valeurs du pH obtenus en 1977 montrent que le sol présente un faciès alcalin car les valeurs sont comprises entre 8 et 8,4 avec une moyenne de 8,24.

La comparaison des valeurs obtenues dans cette étude et celles obtenues en 1977 montre clairement une diminution du pH dans le sol du secteur. Autrement dit, l'acidité a augmenté au cours de cette période. Cette augmentation de l'acidité est vraisemblablement due à l'intensification d'épandages des engrais généralement riches en produits chimiques d'un pH acides.

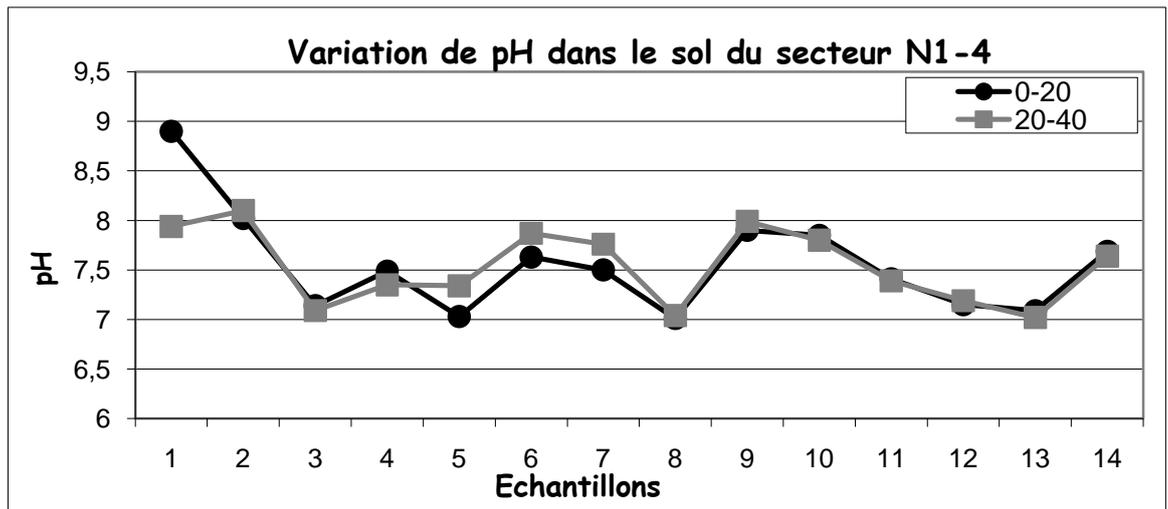


Fig. III. 11 : La variation du pH du sol dans le secteur N1-4.

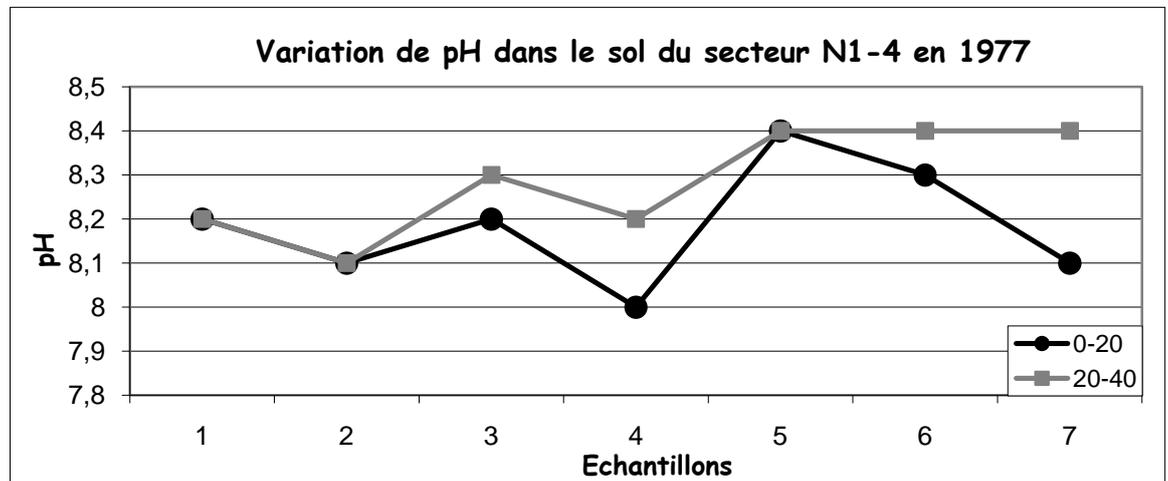


Fig. III. 12: Variation du pH du sol de secteur N1-4 (S.C.E.T.Maroc 1977).

IV.3. Calcaire total :

Le calcaire total est l'un des composants hérités du sol. Sa présence confère au sol des caractéristiques spécifiques en termes de comportement physique et chimique et influe sur son activité biologique. Par contre, son absence totale a pour conséquence une acidification progressive du sol, plus ou moins rapide suivant le contexte pédoclimatique.

Dans nos analyses les valeurs obtenues sont comprises entre 3,6% et 12,20% avec une valeur moyenne de l'ordre 6,46%, d'après le tableau du laboratoire agronomique de Normandie (LANO) (Annexe, Tab. III.6) on peut classer les sols dans le cadre du sol non calcaire (dont leur pourcentage est inférieur à 5%) et sol faiblement calcaire (dont le pourcentage est compris entre 5% et 12,5%.)

Pour les valeurs de secteur en 1977, montre un intervalle de variation entre 2,4 % et 24,4% dont la valeur moyenne est de l'ordre de 9,78%.

On constate alors une diminution du taux de calcaire dans le sol, liée probablement à deux raisons : la première est l'influence de l'activité de l'Homme sur ce sol (utilisations des produits agricoles : fertilisants, pesticides, etc.), la deuxième est probablement due à la localisation des points d'échantillon dans le secteur, qui n'a pas respecté la même dispersion adaptée en 1977.

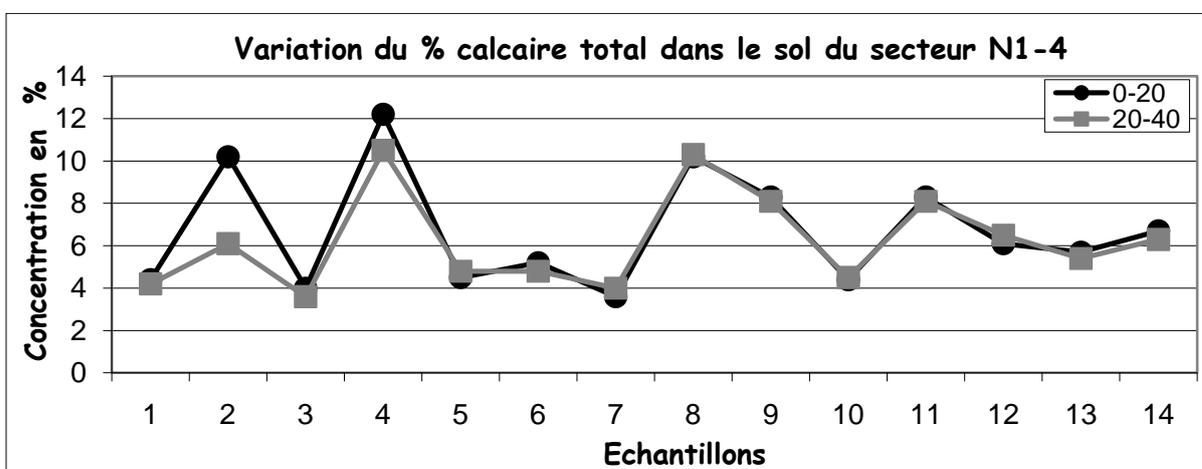


Fig. III. 13 : Variation du pourcentage de calcaire total dans le sol de secteur N1-4.

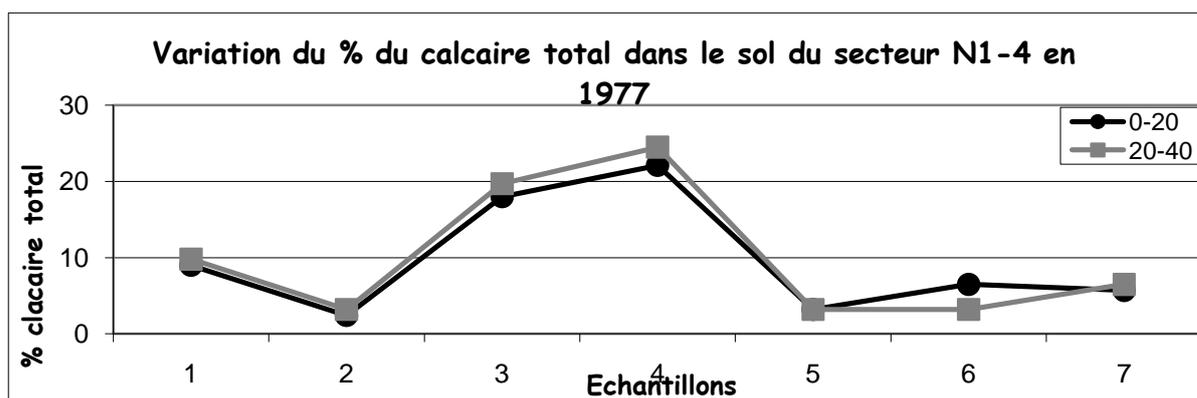


Fig. III. 14 : Variation du pourcentage de calcaire total dans le sol de secteur N1-4 (S.C.E.T.Maroc 1977).

IV.4.Matière organique :

La matière organique stable du sol (humus) est issue de la décomposition progressive des résidus de culture, des végétaux, des animaux et autres organismes biologiques vivants dans le sol (acariens,

champignons, microfaune, microflore, etc.). Elle joue un rôle important dans les fonctionnements physique, chimique et biologique du sol.

Un sol bien pourvu en matière organique offrira un milieu bien plus favorable au développement des cultures et moins sensible aux aléas climatiques.

D'après les valeurs des analyses (Fig. III. 15), on peut regrouper les sols selon 4 groupes (d'après la classification des sols selon leur teneur en % de matière organique annexe Tab. III. 7).

- ✓ 7% des échantillons du sol sont très pauvre en matière organique.
- ✓ 14% des sols pauvre en matière organique.
- ✓ 22% des sols bien pourvu en matière organique.
- ✓ 57% des sols ont des teneurs élevées en matière organique.

Pour les valeurs de l'historique (Fig. III. 16), le sol était très pauvre en matière organique. Donc le secteur a connu une augmentation au niveau du pourcentage de la matière organique contenu dans le sol. Cette augmentation est due probablement à la diversité de type d'agriculture d'une année à une autre.

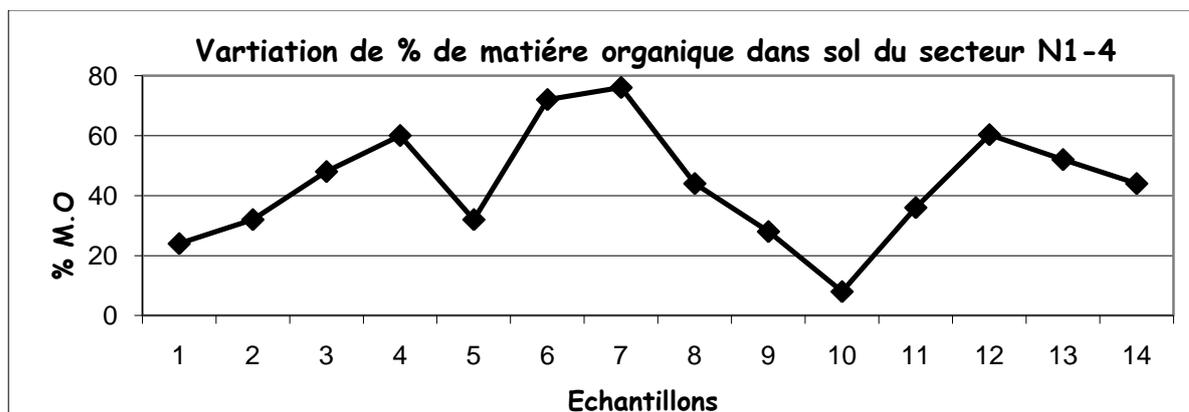


Fig. III. 15 : Variation de la % matière organique du sol de secteur N1-4.

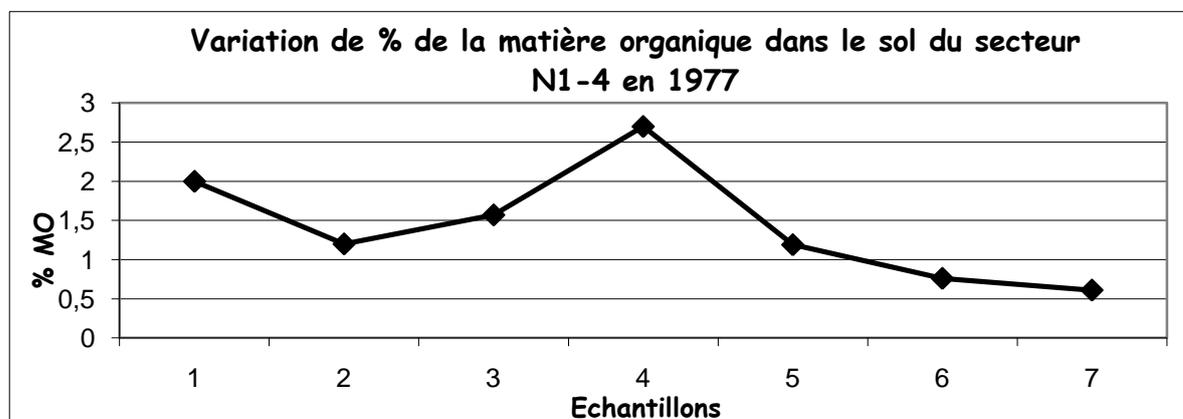


Fig. III. 16 : Variation du pourcentage de la matière organique du sol dans secteur N1-4 (S.C.E.T.Maroc 1977).

IV.5.Phosphore assimilable :

Le phosphore est un des éléments mineurs de la composition chimique du sol, mais il est considéré comme élément indispensable à la croissance et au développement des végétaux. Connaître la teneur du sol en phosphore assimilable est indispensable pour optimiser le plan agronomique et économique, la fertilisation complémentaire en fonction des besoins du sol et des cultures et maintenir durablement sa fertilité phosphatée.

C'est un élément peu présent à l'état naturel dans les sols du Maroc, à part quelques exceptions (S.C.E.T.Maroc 1977).

En ce qui concerne nos analyses (Fig. III. 17), celle-ci montrent que le sol du secteur a des valeurs comprises entre 0,13 ‰ et 0,27‰ par contre pour les données de 1977, elles sont comprises entre 0,092‰ et 0,146‰.

Alors on peut apercevoir une augmentation des teneurs en phosphores assimilable depuis 1977 jusqu'au moment des prélèvements, cet augmentation peut être expliquée par l'intensification d'épandages des engrais généralement riche en phosphore.

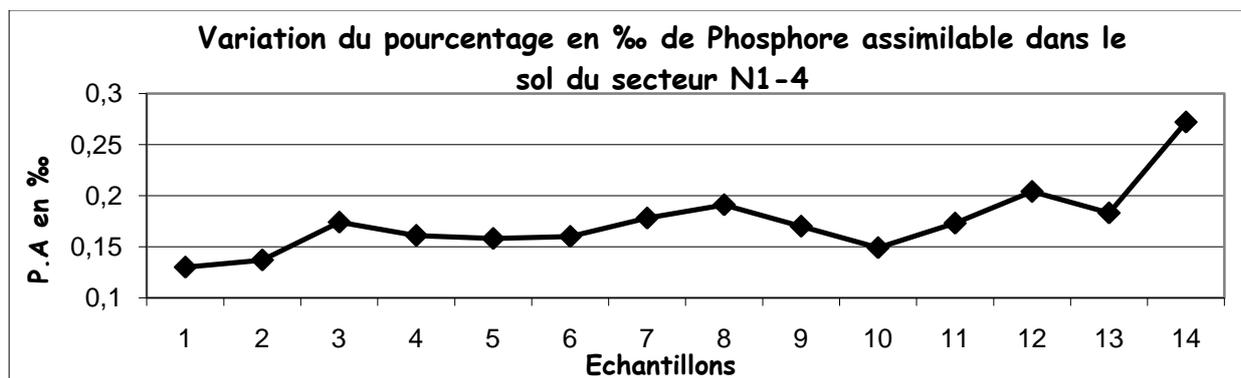


Fig. III. 17 : Variation du ‰ phosphore assimilable du sol de secteur N1-4.

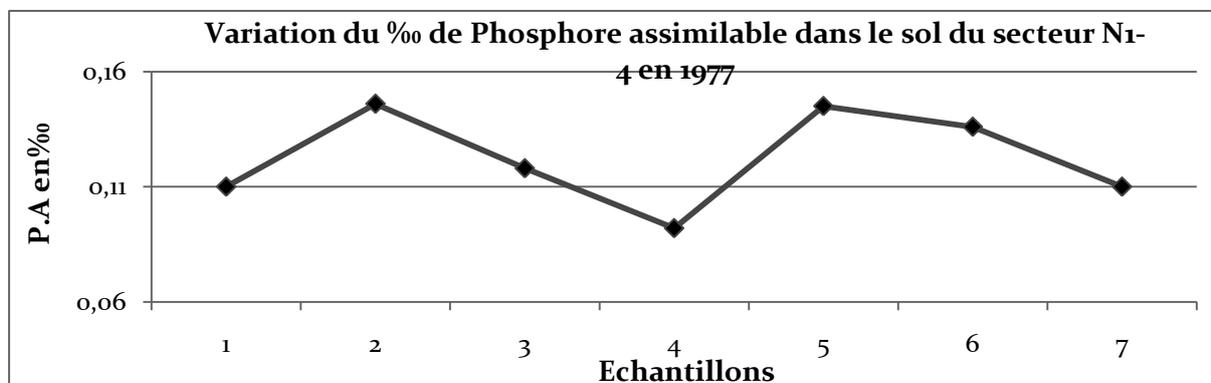


Fig. III. 18 : Variation de la ‰ phosphore assimilable du sol de secteur N1-4 (S.C.E.T.Maroc 1977).

Conclusion générale

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 N1-4. Ce secteur fait partie de la région Tensift El Haouz, situé à 18 km à l'ouest de la ville de Marrakech, appartient administrativement à la zone de Sâada est connu d'une part par sa grande nappe phréatique et d'autre part, par les faibles précipitations annuelles.

Pour mener à bien notre travail, une série d'analyses chimiques a été réalisée sur les sols et sur les eaux profondes (issues de l'aquifère) ainsi que les eaux de surfaces. Plusieurs paramètres chimiques ont été déterminés en utilisant différentes approches. Ces paramètres nous ont permis d'apporter des éléments de réponse à nos questions qui consiste à déterminer la qualité aussi bien des eaux (surfaces, profondes) que des sols.

Rappelons ici que les eaux de surface qui irriguent le secteur N1-4 arrivent de deux retenues de barrages Hassan 1^{er} et Lalla Takerkoust. La chimie de ces eaux prélevées au niveau des parcelles d'irrigations n'a révélé aucune contamination chimique par l'activité agricole. Sauf pour la borne n°105 (échantillon n° 6) dont les eaux sont issues du Barrage Lala Takerkoust qu'on soupçonne qu'elles soient contaminées tout au long de son trajet par l'activité agricole des secteurs qui se trouvent en amont.

Les paramètres analytiques obtenus de la chimie des eaux souterraines montrent que la nappe n'était pas exposée à une contamination chimique par l'activité agricole pratiquée dans le secteur (engrais, pesticides, etc). L'état sain de l'aquifère serait favorisé par deux raisons :1) la nature argilo-marneuse des formations aquifère a stoppé l'infiltration et a limité la contamination, 2) le système d'irrigation actuel adapté dans le secteur depuis l'an 2005 est un système localisé (goutte à goutte) et ne permet pas la perte de grande quantité d'eau dans l'infiltration.

Le 2^{ème} volet étudié dans ce travail pour répondre à l'objectif fixé au départ concerne une étude géochimique du sol à deux niveaux correspondants à l'horizon 0-20 et 20-40. En raison de la technique d'irrigation (goutte à goutte) adoptée dans le secteur N1-4 et vu l'état sain de l'aquifère, on pourrait dire que tous les éléments apportés via les eaux où les engrais restent bloqués au niveau du sol. Par conséquent la géochimie des sols pourrait nous donner une estimation et une idée sûre concernant l'impact de la modernisation agricole. Différentes observations ont été ainsi relevées au niveau des résultats géochimiques :

- la conductivité électrique de sol a augmenté sur une période de 36 ans, et donc la salinité de sol aussi,
- Le pH des sols a fortement diminué traduisant l'augmentation de l'acidité du sol,
- Le taux du calcaire total a diminué dans les sols,
- Les teneurs en matière organique ont augmenté d'une manière remarquable et ont atteint un niveau élevé après modernisation du secteur,
- Les teneurs en phosphore ont augmenté également dans les sols.

Finalement, on peut dire aisément que l'évolution de ces paramètres analytiques est tout à fait homogène et cohérente, elle est en faveur d'un impact direct de la modernisation agricole sur le secteur N1-4.

Recommandations

Pour recommandation et afin de limité la pollution (qui est a son stade primaire) des eaux de la nappe phréatique, et du sol on conseille :

- ✓ Création des points de suivi de qualité des eaux souterraines dans le secteur, avec l'adaptation d'un programme de contrôle périodique de qualités des eaux et du sol (Projet d'observatoire décrit dans l'étude AGRINTER 2010).
- ✓ L'utilisation des produits biologiques dans la fertilisation du sol.
- ✓ Création d'une station de prétraitement à l'amont des barrages afin d'éliminer les matières en suspension présentent naturellement dans les eaux de surfaces.
- ✓ Trouver d'autres ressources hydriques afin de limiter la baisse du niveau piézométrique de la nappe, tel que l'utilisation des eaux usées traité dans l'irrigation.
- ✓ Réalisation d'un programme de recharge artificielle de la nappe du Haouz.

Annexes

ANNEXE 1 :

Normes internationale et nationale.

Risque	Minéralisation Total en (mg /l) :	Conductivité en uS/cm
Nul	< 500	< 750
Légers	500 - 1000	750 - 1500
Modéré	1000 – 2000	1500 - 3000
Sévère	> 2000	> 3000

Tab. III. 1 : Résultats et risque de salinisation des eaux
(<http://www.lennotech.fr/francais/irrigation/salinite-risque-irrigation.htm>)

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

Tab. III. 2 : Classifications des eaux selon leur pH (Normes de potabilité International).

NTU < 5	Eau claire
5 < NTU < 30	Eau légèrement trouble
NTU > 50	Eau trouble

Tab. III.3 : Classes de turbidité usuelles (Normes de potabilité International).

	Eau de surface	Eau souterraine
Excellente	<10	<5
Bonne	10-25	5-25
Moyenne	25-50	25-50
Mauvaise	>50	50-100
Très mauvaise	-	>100

Tab. III.4 : Normes des nitrates dans les eaux de surface et souterraines (Normes de potabilité adapté au Maroc).

	VALEUR DU pH	STATUT ACIDO-BASIQUE
	pH ≤ 5,5	Sol très acide
	5,5 < pH ≤ 6,0	Sol acide
	6,0 < pH ≤ 6,5	Sol peu acide
	6,5 < pH ≤ 7,0	Sol neutre
	7,0 < pH ≤ 7,5	Sol peu alcalin (peu basique)
	pH > 7,5	Sol alcalin (basique)

Tab.III.5. : Classification du sol d'après les valeurs de pH (LANO).

TAUX DE CaCO ₃ TOTAL A L'ANALYSE	QUALIFICATION DU SOL
CaCO ₃ T ≤ 5%	SOL NON CALCAIRE
5 < CaCO ₃ T ≤ 12,5%	SOL FAIBLEMENT CALCAIRE
12,5 < CaCO ₃ T ≤ 25%	SOL MODEREMENT CALCAIRE
25 < CaCO ₃ T ≤ 50%	SOL FORTEMENT CALCAIRE
CaCO ₃ T > 50%	SOL TRES FORTEMENT CALCAIRE

Tab. III. 6 : Classification du sol selon leur teneur en % de calcaire total (LANO).

TENEUR EN MO	INTERPRETATION	
MO < 14 ‰	Sol très pauvre en matière organique	
14 ‰ ≤ MO < 20 ‰	Sol pauvre en matière organique	
20 ‰ ≤ MO < 30 ‰	Argile < 22%	Sol bien pourvu en matière organique
	22% < ARG.<30% (Ou teneur en argile inconnue)	Sol moyennement pourvu en matière organique
	Argile > 30%	Sol pauvre en matière organique
30 ‰ ≤ MO < 40 ‰	Sol bien pourvu en matière organique	
MO ≥ 40 ‰	Teneur élevée en matière organique	

(Source : programme d'interprétation LANO/CA de Basse Normandie)

Tab. III. 7. : Classification du sol selon leur teneur en % de matière organique (LANO).

ANNEXE 2 :

Tableaux des résultats d'analyse.

N° D'échantillon :	Sa Nature :	X :	Y :	Conductivité :		pH :	Potentiel redox (en mV) :	Turbidité (en NTU):	Chlorure en mg/l:	Bicarbonate en mg/l:	Sel (Na Cl) en mg/l:	Nitrate en mg/l :	Sulfates en mg/l :
				uS/cm	Mg/l								
1	Souterraine	31,6257°	-8,07728°	645	412.80	7.25	195	0.5	170.4	168.36	349	7.9	23.42
2	Souterraine	31,8586°	-8,16881°	626	400.64	7.29	129	0.6	127.8	197.64	338	7.1	42.68
3	Surfacique (borne n° 98) :	31.7186°	-8.26480°	493	315.53	7.91	113	18.2	28.4	268.40	264	16.5	407
4	Souterraine	31,6260°	-8,07725°	726	464.64	7.22	139	0.7	170.4	248.88	395	4.3	44.88
5	Souterraine	31.6159°	-8.16884°	857	548.48	7.03	146	1.0	142.0	268.40	468	6.0	58.08
6	Surfacique (borne n° 105) :	31.6259°	-8.07726°	499	319.36	8.15	126	42.3	42.6	305.00	268	50.6	88.8
7	Souterraine	31.6151°	-8.16887°	619	396.16	8.00	146	0.5	113.6	253.76	334	8.0	43.78
8	Souterraine	31.8531°	-8.16810°	837	535.68	7.37	153	1.3	170.4	309.88	457	2.4	103.95
9	Souterraine	31,8588°	-8,16886°	603	385.92	7.39	131	17.7	71.0	248.88	323	5.0	26.18
10	Souterraine	31.6264°	-8.07783°	650	416.00	7.36	191	0.7	156.2	263.52	352	3.6	37.72
11	Souterraine	31.6874°	-8.11489°	663	424.32	7.38	156	1.3	142.0	309.88	358	4.8	108.05
12	Surfacique (borne n° 102) :	31.6257°	-8.07724°	785	465.28	7.46	140	42.9	213.0	278.16	425	12.0	1204.5
13	Souterraine	31.6298°	-8.07798°	835	534.40	7.33	162	0.9	298.2	256.20	455	4.6	45.42
14	souterraine	31,6253°	-8,07721°	727	465.28	7.22	179	0.6	241.4	146.40	395	5.7	156.2

Tableau 1 : Résultats des analyses des échantillons des eaux prélevés du périmètre N1-4.

N° D'échantillon :	Sa profondeur :	X :	Y :	Conductivité :		pH :	Calcaire :		Phosphores- en ‰:	Matière organique en % :
				mS/cm	g/l		%	g/l		
1	0-20	31.73388°	8.39944°	2,05	6,56	8,9	4,4	0,29	0,130	24,01
	20-40			1,26	4,03	7,94	4,2	0,17	-	-
2	0-20	31.70000°	8.163055°	0,51	1,63	8,02	10,2	0,17	0,137	32,01
	20-40			0,43	1,38	8,10	6,1	0,08	-	-
3	0-20	31.69388°	8.235277°	0,46	1,47	7,14	4,0	0,06	0,174	48,02
	20-40			0,42	1,34	7,09	3,6	0,05	-	-
4	0-20	31.71138°	8.262500°	0,67	2,14	7,49	12,2	0,25	0,161	60,03
	20-40			0,59	1,79	7,35	10,5	0,19	-	-
5	0-20	31.73555°	8.225000°	0,41	1,31	7,03	4,5	0,06	0,158	32,01
	20-40			0,33	1,06	7,34	4,8	0,05	-	-
6	0-20	31.74972°	8.223888°	0,64	2,05	7,63	5,2	0,11	0,160	72,03
	20-40			0,97	3,10	7,87	4,8	0,15	-	-
7	0-20	31.73333°	8.171944°	0,42	1,34	7,50	3,6	0,05	0,178	76,04
	20-40			0,37	1,84	7,76	4,0	0,07	-	-
8	0-20	31.79166°	8.284444°	0,18	0,58	7,01	10,2	0,06	0,191	44,02
	20-40			0,19	0,61	7,04	10,3	0,06	-	-
9	0-20	31.76250°	8.313611°	1,27	4,06	7,90	8,3	0,34	0,170	28,015
	20-40			1,22	3,90	7,99	8,1	0,32	-	-
10	0-20	31.75527°	8.291111°	0,43	1,38	7,85	4,4	0,06	0,149	8,004
	20-40			0,44	1,41	7,80	4,5	0,06	-	-
11	0-20	31.74000°	8.256944°	0,77	2,46	7,41	8,3	0,21	0,173	36,01
	20-40			0,83	2,66	7,39	8,1	0,22	-	-
12	0-20	31.78333°	8.261666°	0,43	1,38	7,15	6,1	0,08	0,204	60,32
	20-40			0,36	1,15	7,19	6,5	0,07	-	-
13	0-20	31.80305°	8.282777°	0,48	1,54	7,09	5,7	0,09	0,183	52,02
	20-40			0,44	1,41	7,02	5,4	0,08	-	-
14	0-20	31.82250°	8.253055°	1,23	3,94	7,69	6,7	0,25	0,272	44,02
	20-40			0,90	2,88	7,64	6,3	0,19	-	-

Tableau 2 : Résultats des analyses des échantillons du sol prélevés du périmètre N1-4.

ANNEXE 3 :

Fiche technique des parcelles modernisées.

I. Fiche technique de la parcelle SODEA 9006 :

Visitée : le 24 / 05 /2011

Coordonnées : X : 31,68583°

Y : -8,3775°

Z : 390 m

Superficie : 245 ha (226 ha cultivable).

En propriété de : AGROHEALTH SARL. (Famille AQLLAL).

Type d'agriculture : Olivier (Oliveraie ancienne centenaire sur 30 ha; oliveraie moderne (Arbequina, Arbossana) sur 215 ha (soit un total de 245 Ha)).

Production : de 9 à 10 Tonne par Hectare.

L'état de modernisation : très bonne

Depuis : 2005

- **Matérielles :**

- ✓ Equipement total pour l'irrigation localisée (goute à goutte).
- ✓ Utilisation des filtres à pression pour filtrer les eaux d'irrigation.
- ✓ Irrigation intégrée avec la fertilisation.
- ✓ Présence des citernes de stock des fertilisants aux nombres de 4 d'une capacité de 8 tonnes chacune.
- ✓ Présence d'un bassin couvert pour stocke de l'eau d'un volume 46 mille m3 qui sert aussi à la décantation des eaux de la borne.
- ✓ Equipement électronique par système d'alerte par téléphone en cas de panne.

- **Droit d'Irrigation :**

Selon l'état de la disponibilité des eaux de surface (barrage Lala Takerkoust et Canal de Rocado), l'eau est disponible presque toute l'année mais assez rare dans la saison sèche.

- Nombre de forages : 5 puits d'exploitation de niveau piézométrique de 250 m (à part un puits qui est à 245 m).
- Nombre de borne : une seule, la borne n° :83, d'un débit moyen de 30l/s.
- Les produits fertilisants (engrais):

Fréquence : Selon le besoin de la parcelle.

Type : Amino-nitrate, Nitrate de calcium, Sulfate potasse, Les acides aminés, engrais complexe Fer, Zinc, et autre minéraux.

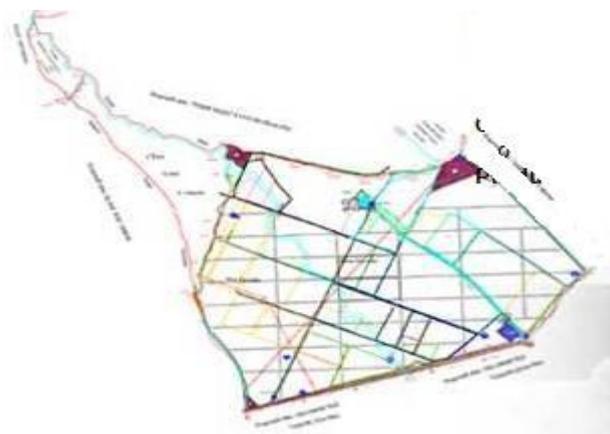


Fig. 2 : Plan général de la parcelle SODEA 9006

II. Fiche technique de la parcelle Comagri :

Visitée le : 19 / 05 /2011

Coordonnées : X : 31,85861°

Y : -8,16883 °

Z : 412 m.

Superficie : 123 ha.

En propriété de : Domaine Saada (Mr.Benanni Smires).

Type d'agriculture : Pêchers, Agrume (Clémentine, oranger, Navel, Robin, Nour).

L'état de modernisation : bonne.

Depuis : 1993

- **Matérielles :**

- ✓ Equipement total pour l'irrigation localisé (goute à goutte).
- ✓ Utilisation des filtres à pression pour filtrer les eaux d'irrigation.
- ✓ Irrigation intégrer avec la fertilisation.
- ✓ Présence d'une station météorologique in situ.
- ✓ Présence de deux bassins pour l'assemblage, décantation et filtration des eaux, l'un d'eu est souterrain et le deuxième est à l'air libre.

- **Droit d'Irrigation :**

Selon l'état de la disponibilité des eaux de surface donnée selon une dotation bien défini à L'ORMVAH (eau de surface prévenante du barrage Lala Takerkoust et Canal de Rocade), l'eau est disponible presque toute l'année mais assez rare dans la saison sèche. Mais généralement le domaine exploite 8000 m³/ha/an.

- **Durée de l'irrigation :**

En saison froide 30 min/j/parcelle.

En saison Chaude de 3 à 4 h/j/parcelle.

- Nombre de forages : 4 puits d'exploitation de niveau piézométrique d'environ 262 m.
- Nombre de borne : une seule, la borne n° :98, d'un débit moyen de 30l/s.
- Les produits fertilisants (engrais):

Fréquence : Selon le besoin de la parcelle, mais une fertilisation intense est appliquée dans la saison du printemps (du mois Février à Mai)

Type et quantité:

Amino-nitrate.....400 Kg/ha.

Nitrate de calcium.....200 Kg/ha.

Sulfate90 Kg/ha.

Potasse250 Kg/ha.

Les acides aminés.....6 Kg/ha

Fer, Zinc, et autre minéraux....12 Kg/ha.

III. Fiche technique des parcelles 9005 & 9021 :

Visité le : 21 / 05 /2011

Coordonnées : X : 31,6252°
Y : -8,07722°
Z : 441 m

Superficie : 355 ha (pour 9021) et 43 ha (pour 9005).

En propriété de : Domaine Agricole El-Bahja.

Type d'agriculture : Pêchers, Agrumes, Vignes, Nectarines, Oliviers, Roses.

L'état de modernisation : Bonne,

Depuis : 2005 (ce domaine est exploitable depuis 1913
mais de manière traditionnelle).

- **Matérielles :**

- ✓ Equipement total pour l'irrigation localisé (goute à goutte).
- ✓ Utilisation des filtres à pression pour filtrer les eaux d'irrigation.
- ✓ Irrigation intégrer avec la fertilisation.
- ✓ Présence des filets protecteurs contre les grêles et les grêlons.
- ✓ Présence d'un bassin pour l'assemblage, décantation et filtration des eaux d'un volume de 83 mille m³.

- **Droit d'Irrigation :**

Selon l'état de la disponibilité des eaux de surface (barrage Lala Takerkoust et Canal de Rocade), l'eau est disponible presque toute l'année mais assez rare dans la saison sèche.

- **Nombre de forages :** 2 puits d'exploitation de niveau piézométrique du premier est 301 m et le deuxième son niveau est de 291m, ce dernier à un débit moyen de 20 l/s.
- **Nombre de borne :** deux borne : la borne n° :183, et la borne N° :705, chacune d'un débit de 30l/s.
- **Durée de l'irrigation :** de 1 à 4 h/j selon le besoin de la plantation.
- **Les produits fertilisants (engrais):**

Fréquence : Selon le besoin de la parcelle.

Type : Amino-nitrate,

Nitrate de calcium.

Sulfate potasse.

Les acides aminés.

Engrais complexe.

Fer, Zinc, et autre minéraux.



Phot. 1 : Les citernes de stock des fertilisants.



Phot. 2 : Equipements de pompage et de filtrage d'eau du bassin.



Phot. 3: Bassin couvert de décantation des eaux.



Phot.4 : Equipement de pompage d'eau.



Phot.5 : Système d'irrigation localisé (goute à goutte).



Phot.6 : Station climatique de la parcelle.

Quelques photos montrant l'état de modernisation de parcelles étudiées.

ANNEXE 4 :

Liste des Figures :

- Fig. I. 1:** Les périmètres irrigués dans le Haouz, et la zone d'action de L'ORMVAH (D'après ORMVAH).
- Fig. I. 2 :** Situation géographique du Haouz Central (Landsat, TM 2007).
- Fig. I. 3 :** Carte géologique simplifiée du Haouz (D'après la carte 1/500000 de Marrakech).
- Fig. I. 4 :** Coupe lithologique du forage minier OT6 bis (Sinan 2000).
- Fig. I. 5 :** Carte hydrologique des affluents d'Oued Tensift (JICA.ABHT.2006).
- Fig. I. 6 :** Carte du niveau piézométrique de la nappe du Haouz (Abourida 2007).
- Fig. I. 7 :** Principales cultures pratiquées dans le Haouz Central.
- Fig. I. 8:** Carte pédologique du Haouz de Marrakech (Direction de l'agriculture du commerce et des forêts 1951).
- Fig. I. 9 :** Image satellite localisant le périmètre N1-4 (Google Earth).
- Fig. I. 10 :** Variation des précipitations moyennes à la station du Domaine Saada de l'année 2007 à 2011.
- Fig. I. 11 :** Variation mensuelle de température à la station du Domaine Saada pendant l'année 2009-2010.
- Fig. I. 12 :** La répartition des ressources en eaux surfaciques par périmètre dans la zone du Haouz central (ORMVAH 2006, modifié).
- Fig. II. 1 :** Courbe d'étalonnage des sulfates.
- Fig. II. 2 :** courbe d'étalonnage du phosphore.
- Fig. III. 1 :** Variation de la conductivité électrique et de la minéralisation des eaux du secteur N1-4.
- Fig. III .2 :** Variation du potentiel hydrogène (pH) des eaux du secteur N1-4.
- Fig. III. 3 :** Variation de la turbidité des eaux dans le secteur N1-4.
- Fig. III. 4 :** Variation du potentiel d'oxydoréduction des eaux dans le secteur N1-4.
- Fig. III. 5 :** Variation des nitrates dans les eaux dans le secteur N1-4.
- Fig. III. 6 :** Les chlorures et des bicarbonates des eaux du secteur N1-4.
- Fig. III. 7 :** Variation des sulfates et du sel (NaCl) des eaux du secteur N1-4.
- Fig. III. 8 :** Carte Ecart piézométrique de la nappe du Haouz calculé en m entre 2001 et 2006 (RESING, ABHT).
- Fig.III. 9 :** Variation de la conductivité électrique du sol de secteur N1-4.
- Fig.III. 10 :** Variation de la conductivité électrique du sol de secteur N1-4 (S.C.E.T.Maroc 1977).
- Fig. III. 11 :** Variation du pH du sol dans le secteur N1-4.
- Fig. III. 12 :** Variation du pH du sol de secteur N1-4 (S.C.E.T. Maroc 1977).

Fig. III. 13 : Variation du pourcentage de calcaire total dans le sol de secteur N1-4.

Fig. III. 14 : Variation du pourcentage de calcaire total dans le sol de secteur N1-4 (S.C.E.T.Maroc 1977).

Fig. III. 15 : Variation de la % matière organique du sol de secteur N1-4.

Fig. III. 16 : Variation du pourcentage de la matière organique du sol dans secteur N1-4 (S.C.E.T.Maroc 1977).

Fig. III. 17 : Variation du ‰ phosphore assimilable du sol de secteur N1-4.

Fig. III. 18 : Variation de la ‰ phosphore assimilable du sol de secteur N1-4 (S.C.E.T.Maroc 1977).

Liste des tableaux:

Tab. I. 1 : Répartition selon les superficies des parcelles constituant le périmètre N1-4.

Tab. III. 1 : Résultats et risque de salinisation des eaux.

Tab. III. 2 : Classifications des eaux selon leur pH.

Tab. III. 3 : Classes de turbidité usuelles.

Tab. III. 4 : Normes des nitrates dans les eaux de surface et souterraines.

Tab. III. 5 : Tableau de classification du sol d'après les valeurs de pH.

Tab. III. 6 : Classification du sol selon leur teneur en % de calcaire total (LANO).

Tab. III. 7 : Classification du sol selon leur teneur en % de matière organique (LANO).

Tableau 1 : Résultats des analyses des échantillons des eaux prélevés du périmètre N1-4.

Tableau 2 : Résultats des analyses des échantillons du sol prélevés du périmètre N1-4.

Liste des photos:

Phot. II. 1 : Photographie du conductimètre utilisé dans la mesure du taux de sel.

Phot. II. 2 : photographie du turbidimètre optique utilisé dans cette étude.

Phot. II. 3 : photographie du spectrophotomètre à flamme.

Phot. II. 4 : photographie montrant le pH-mètre utilisé.

Phot. II. 5 : photographie du calcimètre Bernard utilisé pour le dosage des carbonates.

Phot. 1 : Les citernes de stock des fertilisants.

Phot. 2 : Equipements de pompage et de filtrage d'eau du bassin.

Phot. 3 : Bassin couvert de décantation des eaux.

Phot.4 : Equipement de pompage d'eau.

Phot.5 : Système d'irrigation localisé (goute à goutte).

Phot.6 : Station climatique de la parcelle.

BIBLIOGRAPHIE ET WEBOGRAPHIE :

- **Abourida A.**, 2007 : Approche hydrogéologique de la nappe du Haouz (Maroc) par Télédétection. Isotopie. SIG et Modélisation. Thèse Université Cadi Ayyad-Faculté des sciences Semlalia.
- **AGRINTER SARL**, 2010 : Etude et contrôle de l'impact de l'irrigation sur les ressources naturelles dans les périmètres de grande hydraulique du périmètre du Haouz. Mission I et II.
- **B.SOUDI, M. AGBANI, F. Id AHMAD**, 2002. Situation actuelle de la pollution des eaux souterraines dans le périmètre irrigué des DOUKKALA. Revue H. T. E. n° 123.
- **Berrouch H.**, 2011 : Etude de la qualité des eaux d'irrigation et du sol dans le périmètre de Sâada (Région du Haouz). Mémoire de LST, Université Cadi Ayyad-Faculté des sciences et techniques.
- **Debbarh A., Badraoui M.**, 2002. Vers une maîtrise des impacts environnementaux de l'irrigation. Actes de l'atelier du PCSI, 28-29 mai 2002, Montpellier, France,
- **J.RODIER, B.LEGUBE, N.MERLET et COLL.**, 2009. L'analyse de l'eau. Dunod 9^{ème} édition .1579 pages.
- **Mannani I.**, 2010 : Caractérisation physico-chimique du sol de quelque Dayas de la forêt de Benslimane. Mémoire de LST, Université Cadi Ayyad-Faculté des sciences et techniques.
- **ORMVAH, 1985** : Etude socio-économique du périmètre de N'fis. Schéma de distribution des eaux d'irrigation.
- **Pacific consultants international, Japon**, 2006 : Etude de plan de gestion intégrée des ressources en eau dans la plaine du Haouz Royaume du Maroc. Rapport d'état d'avancement n°1.
- **RESING, ABHT**, 2006 : Etude de gestion des principales nappes de la région hydraulique du Tensift. Mission 2 : Définition et mise en œuvre des scénarios de développement des ressources en eaux souterraines dans le bassin de Tensift.
- **S.C.E.T. MAROC**, 1977 : Cartographie détaillée des sols au 1/50000^{ème}, dans le Haouz central: 3^{ème} et 4^{ème} tranche, secteur N1, N2 et N3. Rapport général.
- **Sinan M. 2000** : Méthodologie d'identification, d'évaluation et de protection des ressources en eaux des aquifères régionaux par couplage et SIG, de la géophysique et de la géostatistique. Application à l'acquièrre du Haouz de Marrakech (Maroc). Thèse Université Mohammed V. Rabat, Maroc.

Webographie

<http://www.lano.asso.fr/web/terres.html>

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

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Fertilisation>

www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_fr.pdf