



Université Cadi Ayyad
Faculté des Sciences
et Techniques Marrakech



Office régional de Mise en
Valeur Agricole du Haouz-
Marrakech

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE

Licence es Sciences et Techniques

Option : Eau et Environnement

Mémoire de fin d'études

L'impact de l'irrigation sous pression sur le sol et sur l'eau dans le secteur N'Fis N4 -Région de l'Oudaya-

Réalisé par :
El HALI Aouatif

Encadrés par :
- **Mr. SAIDI M. M.** (FSTG)
- **Mr. SGHIR F.** (ORMVAH)

Soutenu le 20/02/2015 devant la commission d'examen composée de :

-**Pr. BOURGEOINI Y.** (Enseignante chercheur à la FSTG-Marrakech)
-**Pr. SAIDI M. M.** (Enseignant chercheur à la FSTG-Marrakech)

Dédicace

A mes parents

Qu'aucune dédicace ne serait exprimé à juste valeur tout l'amour, le respect et le
dévouement que je leur porte.

A mes enseignants & professeurs

Pour leur patience, leur dévouement et leur sacrifice.

A mes amis & frères

Un grand remerciement et une éternelle gratitude à leur égard.

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

Remerciements

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

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

*J'adresse mes profonds remerciements à Monsieur **J. SGHIR**, mon encadrant à l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Haouz, pour son temps, son encadrement, et ses conseils.*

*Je remercie également Mr **A. BENKEDOUR** qui a facilité ma tâche.*

*Monsieur **A. MORENO**, et son équipe au sein du Laboratoire pédologique d'ORMVAH, pour leurs soutiens et conseils afin de mener à bien mes analyses chimiques.*

*Monsieur **A.AGOUGIL** et toute son équipe au sein de l'annexe de l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Haouz a **L'OUDAYA** pour leur chaleureux accueil, leur disponibilité et leur encouragement.*

*Mes tendres sentiments vont à mes chers parents Mm. **EL KENZI Malika** et Mr. **EL HALI Ahmed** pour leurs soutien et encouragements. Ainsi qu'à mes amis pour leur solidarité.*

Et enfin à toutes les personnes du département de géologie de la FST de Marrakech et au personnel de l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Haouz.

Sommaire

Chapitre 1 : CADRE GENERAL

I.Présentation de L'Office Régional de la Mise en Valeur Agricole du Haouz (ORMVAH):.....	14
I.1- Structure de l'ORMVAH :	14
I.2- Situation géographique:.....	15
I.3- Caractéristiques climatiques :.....	16
I.4- Les ressources naturelles :.....	16
I.4.1- les ressources en terre et pédologie :.....	16
I.4.2- Ressources en eau :.....	17
II.L'irrigation au Maroc.....	18
II.1 -Situation de l'irrigation au Maroc :.....	18
II.2- L'intervention de l'état dans les 3 types d'irrigation au Maroc :	20
II.2.1- La Grande Hydraulique (GH) :.....	20
II.2.2- La petite et moyenne hydraulique (PMH) :.....	21
II.2.3- L'irrigation privée (IP) :.....	21
II.3- Les différentes techniques d'irrigation :.....	22
II.3.1 -l'irrigation gravitaire :.....	23
II.3.2 - l'irrigation par aspersion :.....	26
II.3.3 - l'irrigation par goutte à goutte :.....	27
II.4 -Caractéristiques des périmètres d'irrigation à l'ORMVAH :.....	28
II.4.1 - Périmètre de la Tassaout Amont :.....	28
II.4.2 - Périmètre de la Tassaout Aval :.....	29
II.4.3 - Périmètre du Haouz central :.....	29

Chapitre2: Le Périmètre irrigué de N’Fis et du secteur N’Fis N-4

I - Découpage de sous- secteur d’irrigation du Haouz central :.....	30
II - Situation de la zone d’étude.....	31
II.1 - Situation géographique	31
II.2 - Contexte Climatique.....	33
II.3 - Cadre géologique :	33
II.4 - Cadre morphologique :.....	35
II.5 - Cadre pédologique	35

Chapitre 3: Analyse des eaux et des sols du secteur N’Fis N4 et interprétations

I-Méthodes d’analyse du sol :.....	36
I.1 - L’échantillonnage.....	36
I.1.1 - Le dispositif de prélèvement :.....	37
I.1.2 - Le protocole d’échantillonnage :.....	37
I.2 - La Texture des sols :.....	40
I.3 - Salinité des sols par conductivité électrique :	41
I.4 - pH des sols :.....	42
I.5 - Taux de potasse assimilable dans les sols :.....	42
I.6 - Taux de phosphore assimilable dans les sols :.....	43
I.7 - Taux de la matière organique dans les sols :.....	45
I.7 - Taux de calcaire total dans les sols :	45
I.8 - La couleur du sol :.....	46
II - Résultats des analyses des sols et interprétations :.....	47
II.1 - La couleur du sol :.....	47

II.2- La Texture des sols :	47
II.3 - Salinité des sols par conductivité électrique :	48
II.4 - pH des sols :	50
II.5 - Taux de potasse assimilable dans les sols :	51
II.6 - Taux de phosphore assimilable dans les sols :	52
II.7- Taux de la matière organique dans les sols :	54
II.8 - Taux de calcaire total dans les sols :	55
III - Analyse des eaux :	57
III.1 - Méthodes d'analyse des eaux:	57
III.1.1 - Les analyses in-situ :	57
III.1.1.1 – Température :	57
III.1.1.2 – Conductivité :	57
III.1.2 - Analyses au laboratoire :	58
III.1.2.1 - conductivité électrique :	58
III.1.2.2 - Bilan ionique de l'eau :	58
III.2 - Résultats des analyses des eaux et interprétations :	61
III.2.1 - Résultats des analyses des eaux souterraines :	61
III.2.1.1 - Les analyses in-situ :	61
III.2.1.2 - Les analyses au laboratoire :	62
III.2.1.2.1 - Salinité et conductivité électrique des eaux souterraines : ..	62
□ Conductivité électrique des eaux souterraines :	62
III.2.1.2.2 - le pH des eaux souterraines :	63
III.2.1.2.3 - Le Bilan ionique :	64
III.2.2- Résultats des analyses des eaux de surface :	69
III.2.2.1 - Les analyses in-situ :	69
III.2.2.2 - Les analyses au laboratoire :	69

III.2.2.2.1 - la Salinité et la conductivité électrique des eaux de surface :	69
III.2.2.2.2 - pH des eaux de surface :.....	71
III.2.2.2.3 - Le bilan ionique des eaux de surface :	71
Annexe.....	79
Bibliographie.....	81

Liste des figures :

Figure 1 : Hiérarchie de l'Office Régional de la Mise en Valeur Agricole (ORMVAH)	15
Figure 2 : carte de la position géographique et périmètres irriguée du Haouz (ANCFCC& NOVEC) modifiée.....	16
Figure 3: Carte pédologique du Haouz de Marrakech (Direction de l'Agriculture, du Commerce et des Forêts 1951).....	17
Figure 4: Carte du niveau piézométrique de la nappe du Haouz (Abourida, 2007).	18
Figure 5: développement de l'irrigation au Maroc. (ANAFID 2011)	19
Figure 6: exemple d'ouvrages de la grande hydraulique.....	21
Figure 7: les différents systèmes d'irrigation.	23
Figure 8: Schéma et photo de l'irrigation par siphon. (Azouggagh, 2001).....	24
Figure 9: Photo et schéma de rampe à vannettes (Azouggagh, 2001).....	25
Figure 10: schéma et photo du gain souple. (Azouggagh, 2001)	25
Figure 11: Schéma de la transirrigation	26
Figure 12: l'irrigation par aspersion.....	26
Figure 13: Schéma d'un réseau d'irrigation goutte à goutte.....	27
Figure 14: Schéma générale d'un réseau d'irrigation localisée.....	28
Figure 15: Les différents types d'irrigation par goutte à goutte	28
Figure 16: Carte des secteurs de N'fis.....	31
Figure 17: situation géographique de la zone d'étude-N'Fis N4-	32
Figure 18: Variation des précipitations moyennes mensuelle à la station d'Oudaya (années 1968 à 2014) (voir tableau détaillé en Annexe)	33
Figure 19: Carte géologique du bassin versant de l'Oued N'Fis (Extraite de la carte géologique de Marrakech au 1/500 000)	34
Figure 20: Occupation du sol au niveau du secteur du N'Fis N4.....	35
Figure 21 : Sites de prélèvement des échantillons de sol (secteur N'Fis N4)	36
Figure 22: Outil de prélèvement des échantillons de sol-Tarière-.....	37
Figure 23: les trois horizons des prélèvements des échantillons de sol.....	38
Figure 24: la conservation et le stockage des échantillons de sol.	38
Figure 25: Numérotation des échantillons de sol	39
Figure 26: Séchage des échantillons de sol à l'air ambiant.....	39
Figure 27: broyage et tamisage des échantillons de sol à 2 mm.....	39
Figure 28: les sous-échantillons des sols.....	40
Figure 29: la balance électronique	39
Figure 30: l'agitateur mécanique.....	41
Figure 31: le conductimètre.....	42
Figure 32: les flacons d'agitation	42
Figure 33: le photomètre a flamme	40
Figure 34: la gamme d'étalonnage (K).....	43
Figure 35: filtration des échantillons.....	43
Figure 36: l'acide ascorbique	44
Figure 37: le spectromètre a flamme	44
Figure 38: le calcimètre de Bernard	46
Figure 39: le code Munsell.....	46
Figure 40: variation de la conductivité électrique des horizons de sols	49

Figure 41: variations des sels solubles dans les sols	50
Figure 42: variation du pH des sols.....	51
Figure 43:variations du potasse assimilable dans les sols	52
Figure 44 : variation du phosphore assimilable dans les sols.....	53
Figure 45:variations de la matière organique dans les sols	54
Figure 46: variations du taux de calcaire total dans les sols.....	56
Figure 47: mesure de la température de l'aire	54
Figure 48: mesure de température de l'eau	57
Figure 49: Mesure de la conductivité électrique de l'eau.....	58
Figure 50: les échantillons de l'eau prélevée	58
Figure 51:Chromate de potassium.....	59
Figure 52: éthylène diamine tétra acétique (E.D.T.A.)	59
Figure 53:l'indicateur coloré (le NET).....	59
Figure 54:l'ajout de l'indicateur coloré(le vert de Bromocrésol).....	60
Figure 55:l'ajout des chlorures de baryum.....	60
Figure 56:le dosage du sodium et potassium par le photomètre a flamme.....	60
Figure 57 : Sites de prélèvement des échantillons des eaux souterraines	61
Figure 58: variations des teneurs en sels solubles des eaux souterraines prélevées	62
Figure 59: variations de la conductivité électrique des eaux souterraines prélevées	62
Figure 60: corrélation linéaire (sels solubles/conductivité électrique)	63
Figure 61: variations du potentiel d'hydrogène des eaux souterraines	64
Figure 62: variations des teneurs en sulfates et bicarbonates dans les eaux souterraines	65
Figure 63: variations des teneurs en chlorures et sodium dans les eaux souterraines	65
Figure 64: variations des teneurs en magnésium et calcium dans les eaux souterraines.....	66
Figure 65: La projection des Facies chimiques des eaux souterraines dans le diagramme de Piper.....	67
Figure 66: La projection des Facies chimiques des eaux souterraines dans le diagramme de Schoeller Berkaloff.....	68
Figure 67: le puits de chute	66
Figure 68: bassins 513.....	69
Figure 69: variations des teneurs en sels solubles des eaux de surface	70
Figure 70: variation de la conductivité électrique des eaux de surface prélevées	70
Figure 71: variation du pH des eaux de surface prélevées	71
Figure 72: variations des teneurs en sulfates et bicarbonates dans les eaux de surface	72
Figure 73 : variations des teneurs en chlorure et sodium dans les eaux de surface.....	72
Figure 74: variations des teneurs en magnésium et calcium dans les eaux de surface.....	73
Figure 75:facies des eaux de surface-diagramme de Piper-	74
Figure 76: facies des eaux de surface-diagramme de Schoeller Berkaloff.....	75

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Structure de l'ORMVAH	15
Tableau 2: La situation actuelle de la répartition des superficies irriguées (ORMVAH)	20
Tableau 3: Ressources en eau affectées aux périmètres irrigués du Haouz (PDAIRE)	22
Tableau 4: périmètres d'irrigation à l'ORMVAH.....	30
Tableau 5: les sous-secteurs de N°fis rive droite et rive gauche	31
Tableau 6: Sites et profondeurs de prélèvement des échantillons de sols	38
Tableau 7:Variation des couleurs des horizons des sols.....	47
Tableau 8:la texture des horizons des sols	48
Tableau 9: la conductivité électrique des horizons des sols	48
Tableau 10: les sels solubles dans les horizons des sols	48
Tableau 11: le potentiel d'hydrogène des sols	50
Tableau 12: Les classes du pH (SCET Maroc, Marché 66-75ORH).....	51
Tableau 13: Résultats analyses K ₂ O en (ppm).....	52
Tableau 14 : Norme du potassium assimilable du sol (SCET Maroc, Marché 66-75ORH)	52
Tableau 15:le phosphore assimilable dans les sols.....	53
Tableau 16: Normes du phosphore assimilable (Management, Ingénierie de Développement, de Formation et Agri-Consulting, 2009).....	53
Tableau 17:le taux de la matière organique dans les horizons des sols.....	54
Tableau 18: Norme de la matière organique (Management, Ingénierie de Développement, de Formation et Agri-Consulting, 2009).....	55
Tableau 19:le % du calcaire total dans les horizons des sols	56
Tableau 20: normes du calcaire total (Management, Ingénierie de Développement, de Formation et Agri-Consulting, 2009)	56
Tableau 21: résultats des analyses de la température et la conductivité électriques des eaux souterraines.....	61
Tableau 22: variations de la conductivité électrique et des sels solubles des eaux souterraines.....	62
Tableau 23: Grille d'évaluation de la qualité des eaux souterraines (Normes Ministère Energie, Mines Eaux et environnement).....	63
Tableau 24: Barème d'appréciation de la salinité de l'eau pour l'irrigation. (Normes Directives FAO)	63
Tableau 25: Résultats du pH des eaux souterraines prélevées	63
Tableau 26:le bilan ionique des eaux souterraines	64
Tableau 27: Grille d'évaluation de la qualité globale des paramètres de minéralisation des eaux souterraines :(normes ministère Energie, Mines, Eaux, Environnement)	64
Tableau 28: Les résultats des analyses de la température et la conductivité électrique des eaux de surface (in situ).....	69
Tableau 29 : Résultats des analyses de la conductivité électrique et la salinité des eaux de surface (au laboratoire)	69
Tableau 30: Normes d'appréciation de la salinité de l'eau d'irrigation (Directives FAO pour la qualité des eaux d'irrigation).....	70
Tableau 31: Grille d'évaluation de la qualité des eaux superficielles(Normes Ministère Energie, Mines Eaux et Environnement).....	70
Tableau 32: le pH des eaux de surface prélevées	71

Tableau 33: Appréciation de la Qualité globale des eaux de surface : paramètre pH.....	71
Tableau 34:le bilan ionique des eaux de surface	71
Tableau 35: Normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation	72

Liste des abréviations

ORMVAH : Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Haouz

GH : Grande Hydraulique

PMH : Petite et Moyenne Hydraulique

IP : Irrigation Privée

pH : Potentiel Hydrogène

Als : Argile Limono-sableux

Al : Argile Limoneux

Las : Limon argilo-sableux

LA : Limon Argileux

AEP : Alimentation en Eau Potable

AEI : Alimentation en Eau Industrielle

Introduction générale

La demande en eau se fait ressentir de part le monde vu l'explosion démographique infernale d'une part et l'industrialisation de certains secteurs socio-économiques (telle l'agriculture...) d'autre part.

L'agriculture consomme entre 80 et 90 % des ressources en eau. Aussi est-il urgent principalement au Maroc, en ce qui concerne l'agriculture de rationaliser l'utilisation de l'eau tout en améliorant les performances des systèmes d'irrigation actuels qui sont restés faibles à très moyens. Ce qu'effectivement l'état a entrepris en améliorant le réseau d'irrigation et les opérations foncières notamment le nivellement. Ces différentes opérations ont été prises en charge par les Offices Régionaux de Mise en Valeur Agricole tel que l'ORMVAH.

L'alimentation du secteur d'étude (N'Fis N4) était assurée par l'Oued N'Fis et régularisée par le barrage Lala Takerkoust, dont l'irrigation pratiquée durant cette période est l'irrigation gravitaire (Seguias traditionnelles permanentes, seguias du premier rang et seguias du deuxième rang).

Vu les changements climatiques tels que les précipitations très variables dont la plupart des valeurs étaient au dessous de la moyenne 250 mm/an, la diminution des débits au niveau du barrage à partir de l'année 1996 dont le débit moyen annuel ne dépasse pas $6 \text{ m}^3/\text{s}$, et la demande évaporatoire généralement supérieure à la moyenne $5,8 \text{ Mm}^3/\text{an}$. Ainsi les problèmes liés à la gestion du barrage lala Takerkoust, tant que les fuites qui atteint une valeur maximale de 6 M m^3 à partir de l'année 1997 et le problème de l'envasement. Une surélévation de 9 m à était mise en exécution pour augmenter la capacité du barrage de 70 M m^3 au 85 M m^3 distribuée selon la dotation suivante :

- 3 M m^3 pour AEI ;
- 13 M m^3 pour AEP ;
- 36 M m^3 pour l'irrigation des secteurs situés en rive droite de N'Fis ;
- 23 M m^3 pour l'irrigation du secteur N4 (secteur d'étude).

La nouvelle situation permettait à l'ORMVAH de réaménager notre secteur d'étude en tenant compte des nouveaux apports afin de rationaliser l'utilisation des eaux d'irrigation,

tout en donnant la priorité en premier lieu à l'irrigation gravitaire et en second lieu à d'autres méthodes d'irrigation et notamment l'irrigation par aspersion et l'irrigation localisée (goutte à goutte) dont l'objectif est d'économiser et de réduire les grandes demandes en eau (plus de 50%) et d'augmenter les rendements.

Le présent travail a pour objectif d'étudier la qualité de l'eau et du sol de la zone de N'fis N4 afin de déterminer l'impact de l'irrigation sous pression notamment l'irrigation goutte à goutte sur ces derniers, ce qui nécessite une étude multidisciplinaire à savoir la géologie, la climatologie, l'hydrologie, l'hydrogéologie, l'hydrochimie de l'eau...

Pour mener à bien nos objectifs, l'étude s'est déroulée en 3 étapes :

- La première s'est basée sur une bibliographie exhaustive de la plaine du Haouz Central. Les informations ont été rassemblées d'après plusieurs ouvrages, articles et organismes ;
- La deuxième a concerné le travail sur le terrain et vise à faire le maximum de prélèvements d'eau et du sol. Cette étape a été conduite avec la collaboration de l'ORMVAH, et vise à faire le maximum de prélèvements d'eau et du sol ;
- La troisième étape est réalisée au laboratoire de l'ORMVAH de Marrakech. Les échantillons prélevés d'eau et du sol sont soumis à une série d'analyses physicochimiques ;
- La dernière étape était l'évaluation de l'impact de l'irrigation sous pression sur le sol et sur l'eau dans le secteur d'étude.

Chapitre 1 : CADRE GENERAL

Ce présent travail a été effectué à l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Haouz (ORMVAH), service de Gestion des Réseaux d'Irrigation et de Drainage, en collaboration avec le laboratoire (ORMVAH).

I. Présentation de L'Office Régional de la Mise en Valeur Agricole du Haouz (ORMVAH):

Créé par le décret royal n°831-66 du 22 Octobre 1966, L'ORMVAH est un établissement public doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière et il est sous la tutelle du Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural et des Pêches Maritimes.

Parmi ses attributions, on peut citer :

- Les études et l'exécution des équipements hydro agricoles et de mise en valeur agricole ;
- La gestion des équipements hydro agricoles et des ressources en eau à usage agricole ;
- La vulgarisation des techniques culturales et la formation professionnelle ;
- Le développement de la production végétale et animale ainsi que la protection de la santé animale.

I.1- Structure de l'ORMVAH :

L'ORMVAH est composé principalement de deux structures représentées dans le tableau suivant :

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

Tableau 1 : Structure de l'ORMVAH

Mon stage s'est déroulé dans le service de Gestion des Réseaux d'irrigation et de Drainage. la structure de ce dernier est représentée dans l'organigramme suivant:

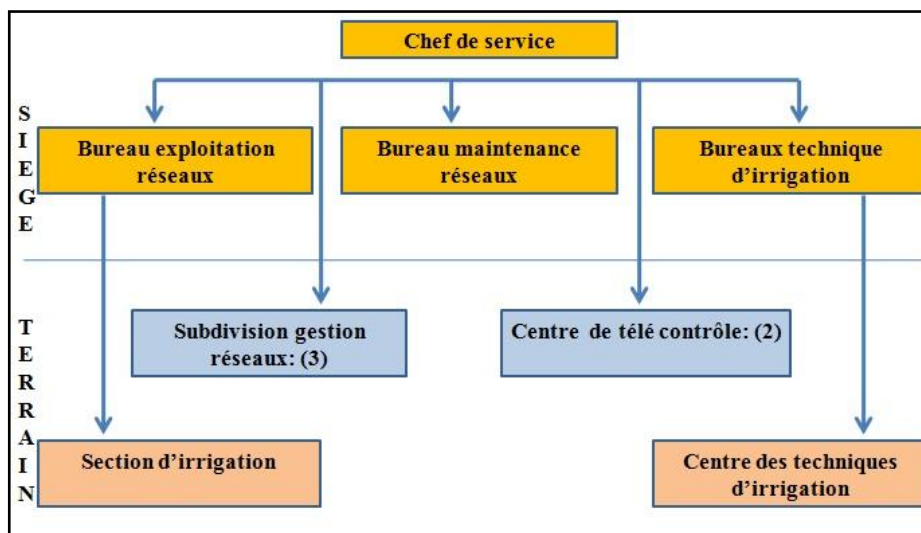


Figure 1 : Hiérarchie de l'Office Régional de la Mise en Valeur Agricole (ORMVAH)

I.2- Situation géographique:

La zone d'action de l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Haouz s'étend sur la Wilaya de Marrakech, la province d'El Keleaa de Sraghna, ainsi que sur 10 km² environ de la Province d'Azilal, a une superficie totale de près de 7 000 km² (fig.2). Les terres agricoles représentent environ les deux tiers de cette superficie (470 000 ha). Les terres irriguées (310 000ha environ) sont réparties en deux grandes zones, le Haouz central au Sud-ouest, et la Tassaout (Amont et Aval) au Nord-Est.

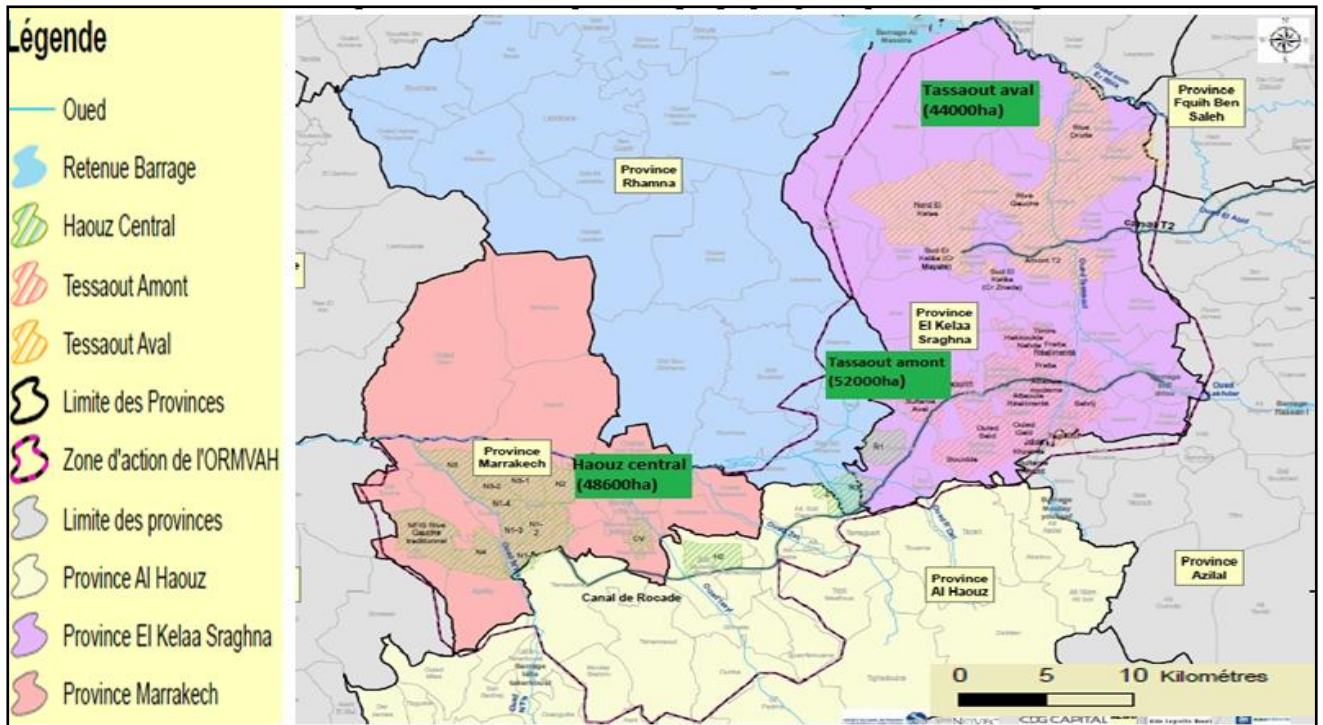


Figure 2 : carte de la position géographique et périmètres irriguée du Haouz (ANCFCC& NOVEC) modifiée

I.3- Caractéristiques climatiques :

Le climat méditerranéen du Haouz, chaud et sec, de type continental, est classé à la limite du semi-aride et de l'aride. Il est caractérisé par :

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

I.4- Les ressources naturelles :

I.4.1- les ressources en terre et pédologie :

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

La plaine du Haouz présente quatre types de sol de différente nature : Rouge, gris, Châtain et brun. Leur texture est généralement limono-argileuse, limoneuse et limono-sableuse (Fig.3).

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

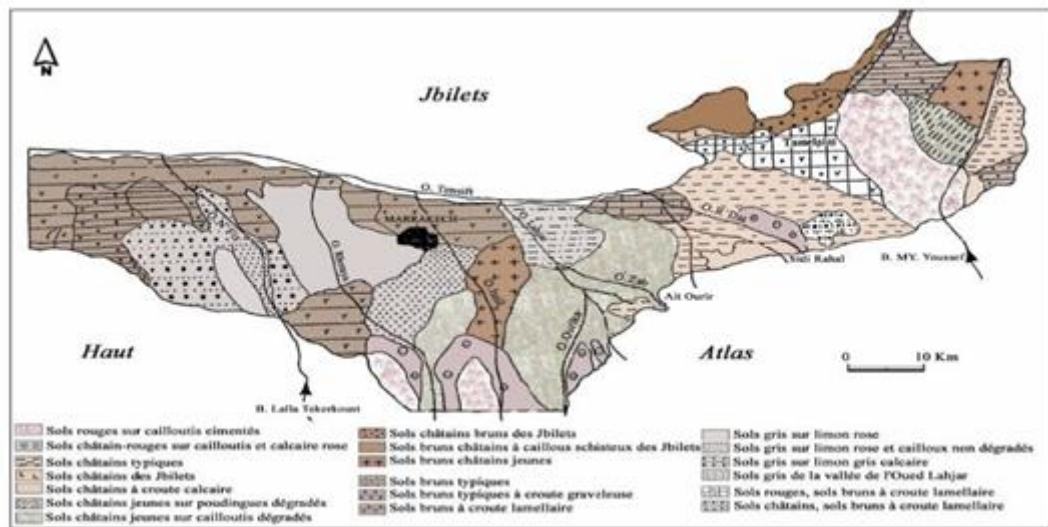


Figure 3: Carte pédologique du Haouz de Marrakech (Direction de l'Agriculture, du Commerce et des Forêts 1951)

I.4.2- Ressources en eau :

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

- Des eaux superficielles :

Le réseau hydrographique du Haouz est composé d'une multitude de cours d'eau qui s'organisent en deux systèmes : les affluents de l'Oum Er Rabiaa et ceux du Tensift. Celui-ci reçoit en rive gauche tous les oueds du Haouz central. Ces cours d'eau sont régularisés par trois grands barrages : LallaTakerkoust, Moulay Youssef et Moulay Hassan Premier et en dernier lieu par le barrage de Yaakoub Mansour (ORMVAH 2010).

- Des eaux souterraines :

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

- La nappe de la Tassaout aval ;
- La nappe de la Bahira ;
- La nappe du Haouz.

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

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

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

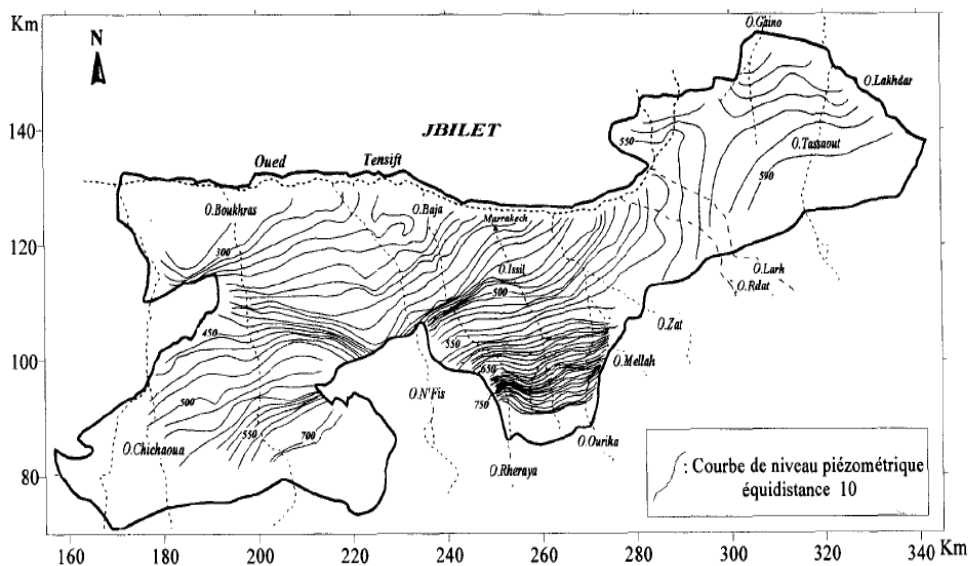


Figure 4: Carte du niveau piézométrique de la nappe du Haouz (Abourida, 2007).

II. L'irrigation au Maroc

II.1 -Situation de l'irrigation au Maroc :

Les efforts consentis par l'Etat et par les agriculteurs depuis les années 1960 pour développer l'agriculture irriguée, ont permis d'atteindre le million d'hectares irrigués avant la fin du dernier siècle. La superficie irriguée actuellement est un peu plus de 1,45 millions d'ha répartie comme suit : 47% en grande hydraulique, 23% en petite et moyenne hydraulique et 30% en irrigation privée. Le Maroc dispose actuellement d'un important patrimoine hydro

agricole et jouit d'une place importante à l'échelle internationale en matière de politique de gestion de l'eau notamment en agriculture.

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

Le développement de l'irrigation au Maroc se résume comme suit :

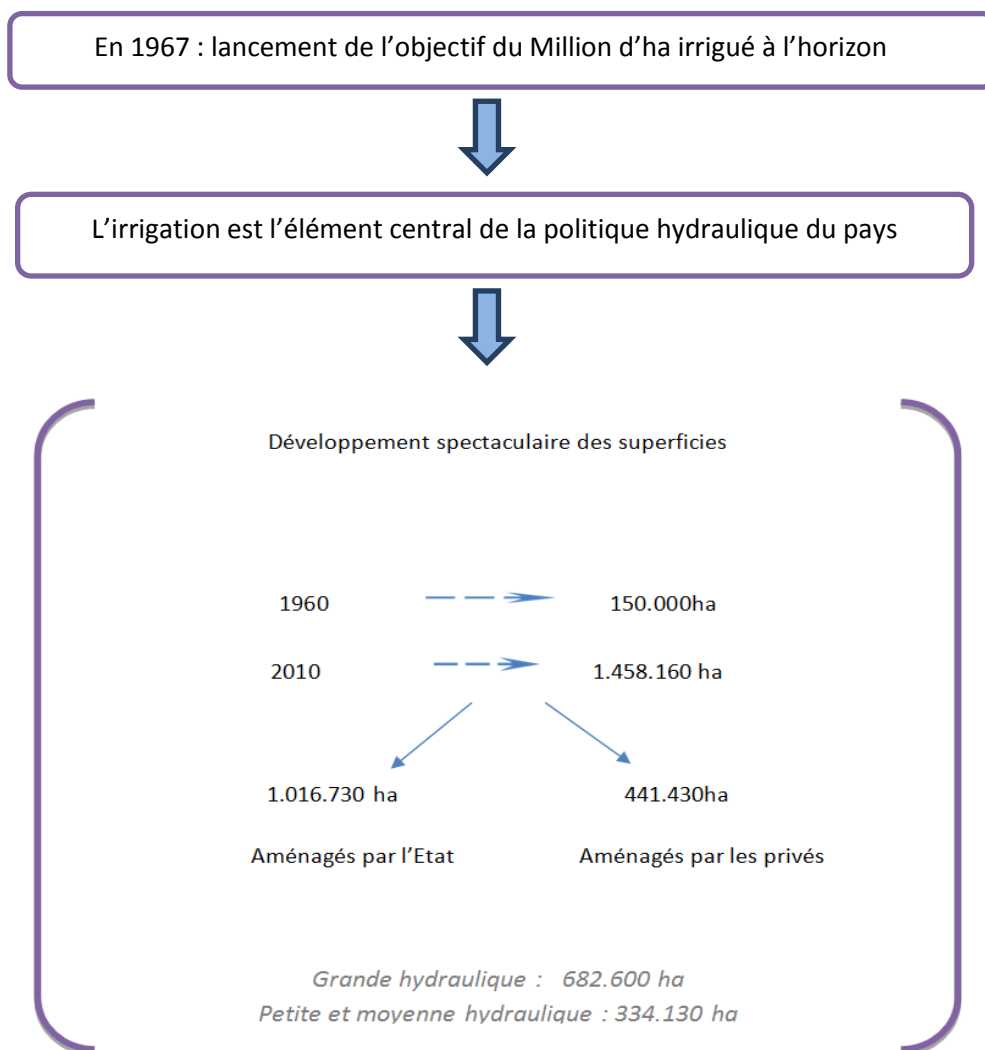


Figure 5: développement de l'irrigation au Maroc. (ANAFID 2011)

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

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

Tableau 2: La situation actuelle de la répartition des superficies irriguées (ORMVAH)

II.2- L'intervention de l'état dans les 3 types d'irrigation au Maroc :

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

- ⇒ La grande hydraulique ;
- ⇒ La petite et moyenne hydraulique ;
- ⇒ L'irrigation privée.

II.2.1- La Grande Hydraulique (GH) :

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

Dans ce sous-secteur, la stratégie de l'Etat est entièrement régularisée par les dispositions du Code des Investissements Agricoles et elle a été caractérisée par une politique d'intervention très poussée, tant sur le plan de l'aménagement que sur celui de la gestion et de la mise en valeur. Pour l'aménagement, la gestion et la mise en valeur de ces périmètres d'irrigation, l'Etat a créé 9 Offices Régionaux de Mise en Valeur Agricole (ORMVA).

Les ORMVA sont des établissements publics dotés de la personnalité civile et de l'autonomie financière et placés sous la tutelle du département de l'agriculture. Dans ces périmètres, dont la superficie aménagée s'élève à près 680 000 ha, les tarifs de l'eau d'irrigation sont fixés par l'Etat. Dans la plupart des périmètres de grande hydraulique, un grand nombre d'agriculteurs ont obtenu un accès complémentaire à l'eau souterraine, face à une pénurie d'eau de surface.



Figure 6: exemple d'ouvrages de la grande hydraulique

II.2.2- La petite et moyenne hydraulique (PMH) :

La PMH comprend tous les périmètres irrigués de taille petite à moyenne répartis sur la totalité du territoire national et alimentés par des ressources en eau plus ou moins régulières, allant des épandages des eaux de crues, jusqu'aux périmètres alimentés par des ressources en eau pérennes (source, dérivation d'oued, barrage,...). Dans ce sous-secteur la stratégie de l'Etat a été caractérisée par une politique d'intervention limitée à l'aménagement et la réhabilitation des équipements pouvant aller de l'aménagement intégré type Grande Hydraulique dans le cas des périmètres de PMH modernes, à un aménagement ponctuel ou diffus dans les périmètres traditionnels. Dans les périmètres de PMH, dont la superficie aménagée a atteint près de 334000 ha, la gestion du service de l'eau est confiée aux Associations des Usagers des Eaux Agricoles (AUEA), qui prennent en charge tous les frais d'exploitation d'entretien et de renouvellement des équipements du réseau d'irrigation. En réalité, et dans la plupart des cas, la gestion de l'eau reste assurée par les institutions coutumières, les AUEA restant non fonctionnelles.

II.2.3- L'irrigation privée (IP) :

Elle comprend tous les aménagements individuels pour l'irrigation réalisés à l'initiative privée des agriculteurs, pouvant aller d'un aménagement rudimentaire à partir d'un puits pour irriguer parfois moins d'un hectare à un aménagement moderne de grande taille de plusieurs centaines d'hectares. Dans ce sous-secteur, la politique de l'Etat est principalement caractérisée par la mise en place d'un système d'incitations financières et techniques pour encourager l'investissement privé. Les frais du service de l'eau sont entièrement pris en charge par les promoteurs des projets. Les superficies aménagées par des réseaux d'irrigation individuels par les soins de l'initiative privée à l'extérieur des périmètres d'irrigation collectifs sont estimées à plus de 400 000 ha irriguées en grande partie à partir des eaux souterraines.

Secteur irrigué	Barrage	Superficie (ha)	Dotation d'eau affectée (Mm3)	Dotation au pied du barrage (m3/ha)	Observation	
1- Grande Hydraulique		144 600	843	5 830	828 Mm3 régularisé	
Haouz Central	Hassan 1 ^{er}	48 600	313	6 440		
		17 000	112	6 600	N°fis moderne	
	LallaTakerkoust	14 300	144	10 000	Secteurs centraux	
		7 300	51	7 000	Secteur moderne	
		10 000	6	600 ^(*)	Seguias rive gauche du N°fis	
Tessaout Amont	My Youssef	52 000	250	4 800		
		30 000	180	6 000	Secteur moderne	
		22 000	70	3 180	Secteur traditionnel	
Tessaout Aval	Bine El Ouidane	44 000	280	6 360		
	Hassan 1 ^{er}	6 500	37 500	235	6 270	
			20	+4 620 régularisé		
	Myyoussef		10			
Seuil Boualja		15	2 300 non régularisé	Retour à l'oued non régularisé		
2- Petite et moyenne hydraulique		20 200	59	2 900		
-PMH Lakhdar et Taghaghourt	Hassan 1er	4 200	34	8 000		
-Séguias N°Fis H. C.	Takerkoust	4000	18	4500	Séguias l'hypothèque constante	
-Séguias N°Fis 1° et 2°Rang	Takerkoust	12 000	7	580	Séguias 1 ^{er} et 2 ^{ème} rang	
Sous Total irrigation		164 800	902		Dont 887 Mm3 régularisé	
3- AEP Marrakech AEI Guemassa	Hassan 1^{er} Takerkoust		403			

Tableau 3: Ressources en eau affectées aux périmètres irrigués du Haouz (PDAIRE)

→ Selon le PDAIRE, 843 Mm³ affectés à la GH dont 828 Mm³ régularisés soit 5800 m³/ha au pied du barrage et 4400 m³/ha en tête de la parcelle.

II.3- Les différentes techniques d'irrigation :

Les systèmes d'irrigation peuvent être classés en deux grandes catégories :

L'irrigation gravitaire et l'irrigation sous pression. Cette dernière est classée en deux types l'irrigation goutte à goutte et l'irrigation par aspersion. La figure ci-dessous présente

une architecture de ces différentes méthodes d'irrigation pratiquées partout dans le monde (Azougah, 2001).

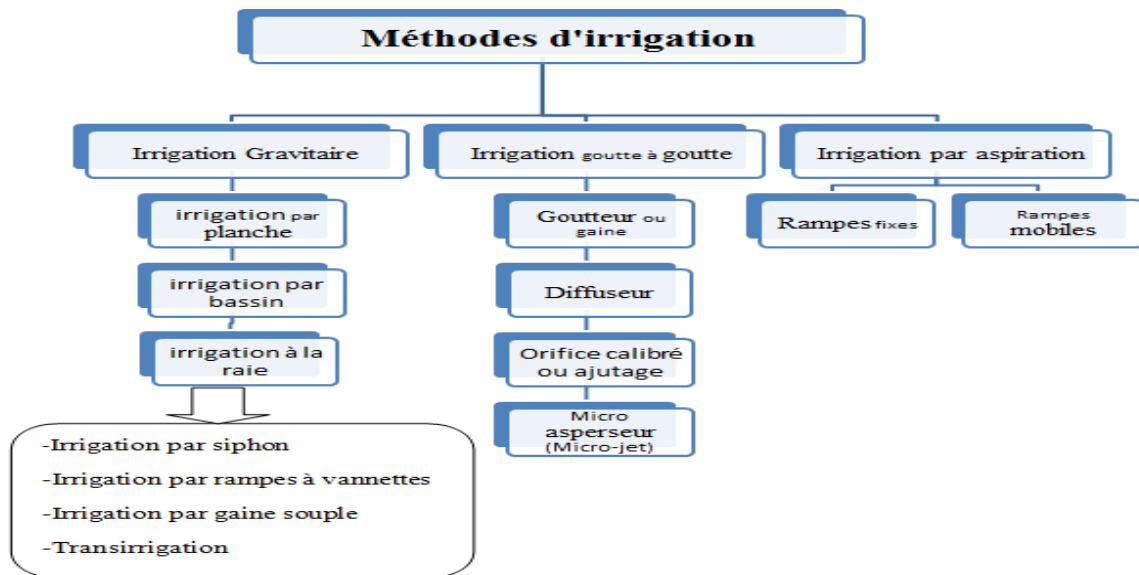


Figure 7:les différents systèmes d'irrigation.

II.3.1 -l'irrigation gravitaire :

L'irrigation gravitaire ou irrigation de surface consiste à répartir l'eau sur la parcelle cultivée par ruissellement sur le sol dans les sillons (irrigation à la raie) ou en nappe (irrigation par planche ou calant) ou encore par submersion contrôlée (irrigation par bassin). Elle reste le mode le plus répandu dans les périmètres irrigués dans le monde. Au Maroc, on estime que plus de 93% de la superficie de la grande hydraulique est irriguée par une technique traditionnelle appelée "Robta" qui représente environ 88% des superficies irriguées (Azougah, 2001). Cette technique trouve sa large utilisation dans le fait qu'elle est adaptée aux parcelles de mauvais état de nivellement.

- **Les types d'irrigation gravitaire :** Dans l'irrigation gravitaire, il y a plusieurs types d'irrigation dont les trois suivants sont les plus connus : l'irrigation à la raie, l'irrigation par planche ainsi que l'irrigation par bassin (Azougah, 2001) :
 - **L'irrigation par planche** (irrigation par ruissellement): consiste à faire couler une mince couche d'eau sur un sol incliné de 0,2 à 3%. Le débit à déverser est fonction de la pente, de la largeur et de la longueur de la planche. Cette méthode est de loin la plus difficile car il faut ajuster le débit d'irrigation de chaque planche avec toutes les autres variables.

- **L'irrigation par bassin :** est la plus connue dans l'irrigation gravitaire. Sa pratique sur un sol nivelé (pente 0,1 à 1%) ainsi que la simplicité de l'opération, qui consiste à remplir le bassin, font que cette technique est fréquemment utilisée. Dans plusieurs régions du Maroc, la taille des bassins est de 40 à 50 m² et cette technique est connue sous le nom "Robta". Cette dernière occasionne une perte importante de superficie, due au nombre important de cloisonnements.
- **L'irrigation à la raie :** ou par rigole convient parfaitement aux sols présentant une pente comprise entre 0,2 et 3%. Les sillons sont séparés par une distance variant entre 0,6 et 1,25 m, selon le type de sol et de la culture. Suivant le débit dont on dispose, on peut irriguer un ou plusieurs sillons à la fois. Les raies peuvent être parallèles ou perpendiculaires à la rigole permanente d'amenée d'eau. D'une manière générale, l'irrigation est réalisée suivant un débit unique ou suivant une succession de deux débits différents : un premier débit important qui est appelé débit d'attaque et un deuxième débit plus faible qui est appelé débit d'entretien. L'irrigation à la raie se prête mieux à la mécanisation : par siphon, par rampe à vannettes, par gaine souple ou par transirrigation.

➤ **Irrigation par siphon :**

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

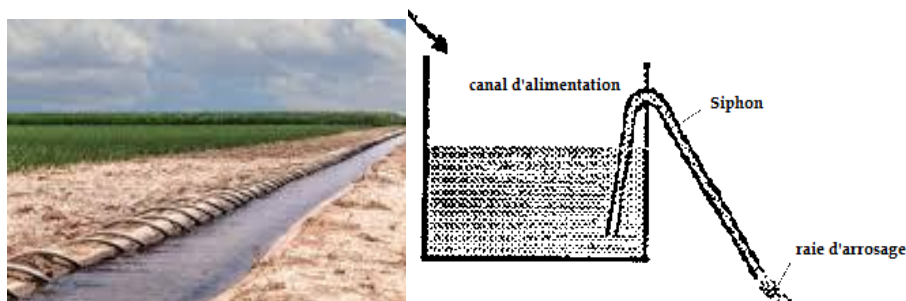


Figure 8: Schéma et photo de l'irrigation par siphon. (Azougghagh, 2001)

➤ **Irrigation par rampe à vannettes :**

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

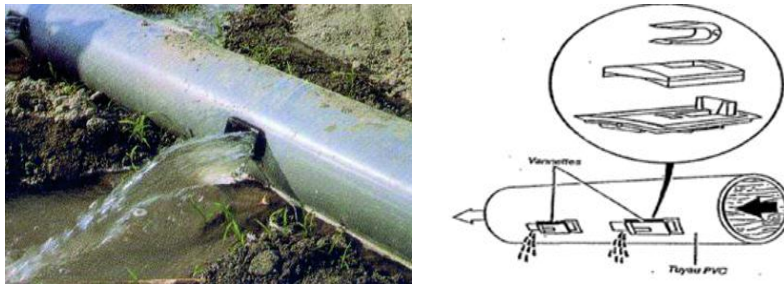


Figure 9: Photo et schéma de rampe à vannettes (Azougagh, 2001)

➤ **Irrigation par gaine souple :**

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

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

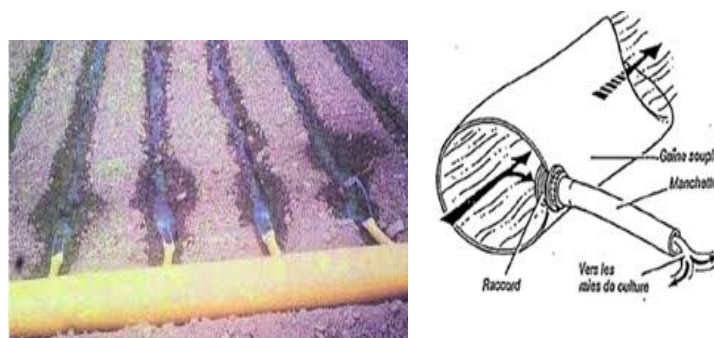


Figure 10: schéma et photo du gain souple. (Azougagh, 2001)

➤ **Transirrigation :**

La transirrigation de surface ou souterraine convient parfaitement à l'irrigation de la raie. La parcelle à irriguer par ce type d'irrigation est relativement grande et peut atteindre 6

ha. Une conduite en PVC rigide de diamètre 250 mm et d'épaisseur 4,9 mm est installée suivant une inclinaison régulière variant entre 0,25 et 0,6 % sur laquelle sont percés des orifices bien alignés et formant un angle de 30° par rapport à la verticale. Le diamètre des orifices est fonction du débit. L'ensemble du système n'est pas sous pression mais la charge au niveau de chaque orifice est créée par le déplacement d'un piston placé à l'intérieur de la conduite.

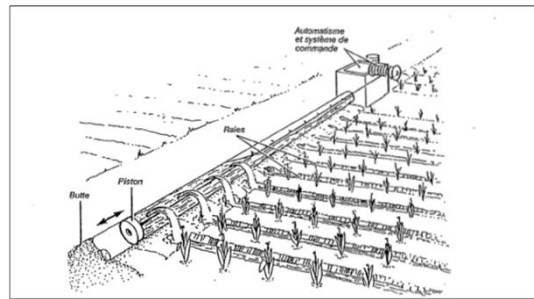


Figure 11: Schéma de la transirrigation

II.3.2 - l'irrigation par aspersion :

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

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

- Les rampes mobiles.
- Les rampes fixes.

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



Figure 12: l'irrigation par aspersion

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

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

II.3.3 - l'irrigation par goutte à goutte :

Système «basse pression» (0,5 à 2 bars), par le biais des goutteurs. L'irrigation goutte à goutte consiste à apporter régulièrement et de façon localisée au niveau des racines, la juste quantité d'eau dont la plante a besoin. Les plus utilisés sont les goutteurs intégrés, les boutons et de moins en moins les goutteurs en ligne. Ces trois types de goutteurs sont des organes de distribution, dont la conception particulière permet de délivrer l'eau à faible débit, dans des conditions de régime turbulent. Ces différents goutteurs existent sous une forme autorégulant présentant l'avantage de délivrer un débit homogène, même quand la pression varie à l'intérieur d'une gamme.

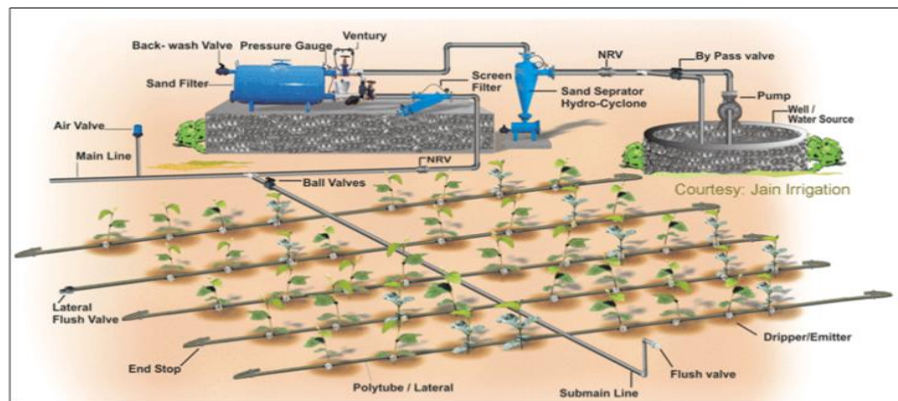


Figure 13: Schéma d'un réseau d'irrigation goutte à goutte

Un système d'irrigation goutte à goutte comprend :

- Une pompe
- Un système de filtration
- Un indicateur de débit
- Un ou plusieurs régulateurs de pression
- Des tuyaux d'alimentation principale pour pouvoir rouler par-dessus
- Des tuyaux d'alimentation secondaires
- Des tuyaux perforés (ou des tuyaux avec goutteurs)

- Une unité d'injection pour la fertigation qui peut être ajoutée car des engrais utilisables en agriculture biologique pour la fertigation sont maintenant disponibles.
- Des raccords qui permettent de réparer une fuite.

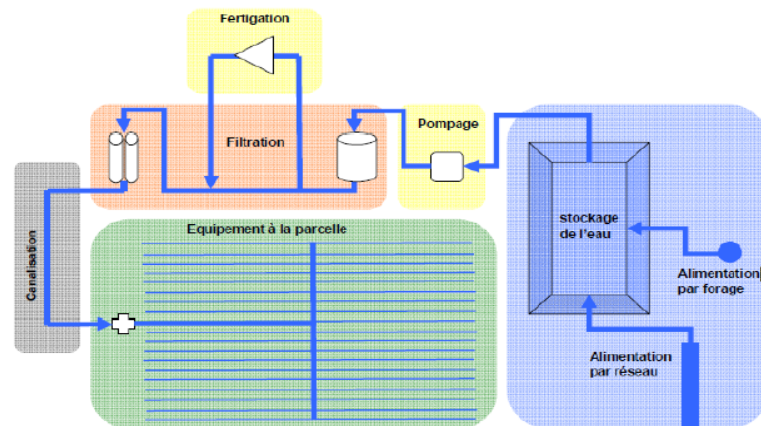


Figure 14: Schéma générale d'un réseau d'irrigation localisée

➤ **Les types d'irrigation par goutte à goutte :**

Dans l'irrigation goutte à goutte, il y a 4 types : goutteur ou gaine, diffuseur, orifice calibré ou ajustage et micro asperseur.

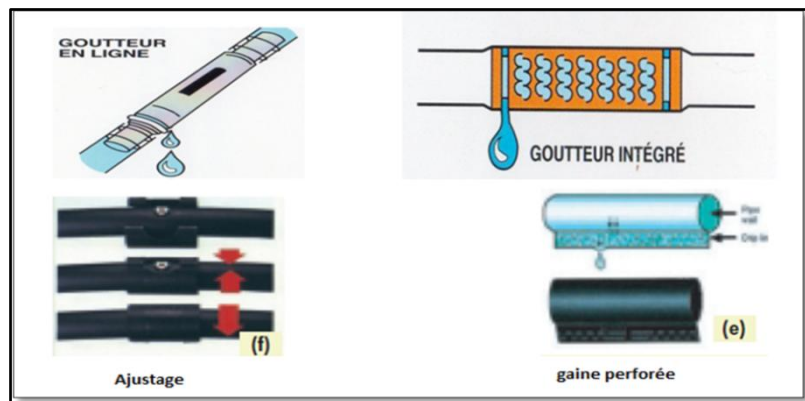


Figure 15: Les différents types d'irrigation par goutte à goutte

II.4 -Caractéristiques des périmètres d'irrigation à l'ORMVAH :

La zone d'action de l'ORMVAH dispose de trois grands périmètres irrigués (fig. 1):

II.4.1 - Périmètre de la Tassaout Amont :

Le périmètre de la Tassaout amont est le premier des aménagements de "grande hydraulique" moderne du Haouz, et ses secteurs ont été mis en service entre 1969 et 1978. Il représente 52000 ha, irrigués à partir de l'eau de l'oued Tassaout, régularisé par le barrage Moulay Youssef (250 millions de m³/an). Il comprend 30 000 ha de secteurs équipés d'un aménagement intégral (canaux primaires, secondaires, tertiaires et quaternaires avec

aménagement foncier), et 22 000 ha de secteurs réalimentés, et dont les adductions primaires ont été améliorées.

Les eaux alimentant la Tassaout amont sont régularisées par le barrage de Moulay Youssef et le barrage de compensation de Timinoutine sur l'Oued Tassaout. Des prélèvements sont effectués en cours par des séguias. L'irrigation dans la Tassaout amont est à 100% gravitaire. Le mode d'irrigation pratiqué par les agriculteurs est appelé localement la « Robta ». Ce mode consiste à laisser déborder la séguia, 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.

II.4.2 - Périmètre de la Tassaout Aval :

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

La Tassaout aval est subdivisée en deux unités hydrauliques :

- La zone située à l'amont du canal T2 (6500ha) bénéficie de l'eau des oueds Lakhdar et Tassaout, régularisés par les barrages Hassan premier et Moulay Youssef (46millions de m³ /an).
- La zone à l'aval du canal T2 (37500ha) est alimentée par un transfert via le canal GM du Tadla et le canal T2 de l'eau de l'oued EL Abid régularisé à Bin El Ouidane (235millions de m³/an).

II.4.3 - Périmètre du Haouz central :

On peut distinguer, dans le Haouz central :

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

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

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

Tableau 4: périmètres d'irrigation à l'ORMVAH.

Chapitre2: Le périmètre irrigué de N'Fis et du secteur N'Fis N-4

I - Découpage de sous- secteur d'irrigation du Haouz central :

Le secteur N'fis présente une superficie de 60000 ha ; il est découpé en trois sous secteurs d'irrigation parmi lesquels mon secteur d'étude, Ce dernier a une superficie de 3200 ha équipée par les systèmes d'irrigation sous pression et gravitaire non remembrés et qui sont mis en service depuis 1991.

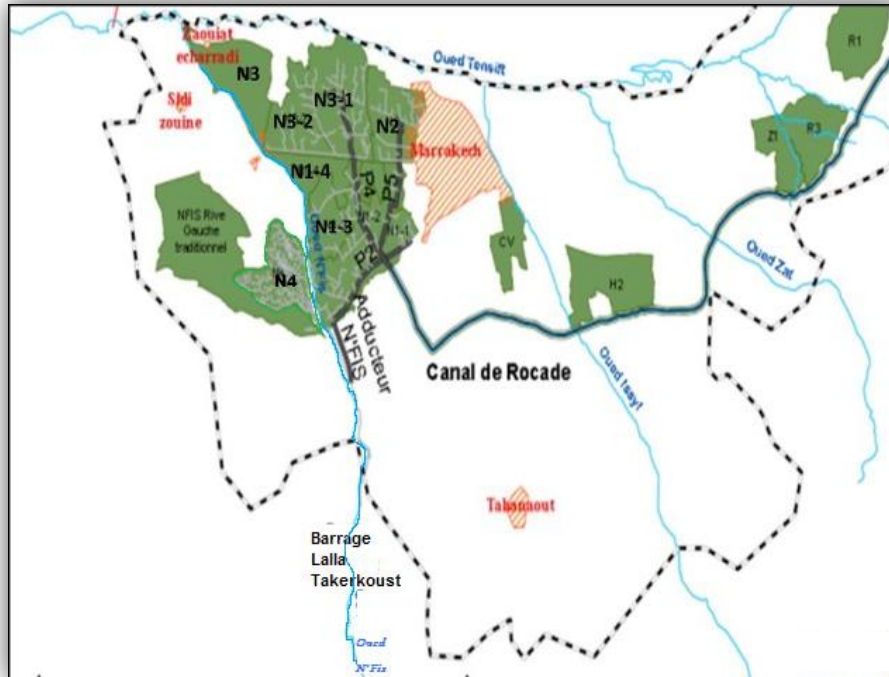


Figure 16: Carte des secteurs de N'fis

Secteur	Sous-secteur	Superficie équipée (ha)	Type d'aménagement	Date de la mises-en service
N'fis rive Droite	N 2	3150	Sous pression avec prédominance de gravitaire non remembered	1991
	N 1-4	2150		
	N 1-3	1970		
	N 1-2	2830		
N'fis rive Gauche	N 4	3200		

Tableau 5: les sous-secteurs de N'fis rive droite et rive gauche

II - Situation de la zone d'étude

II.1 - Situation géographique

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

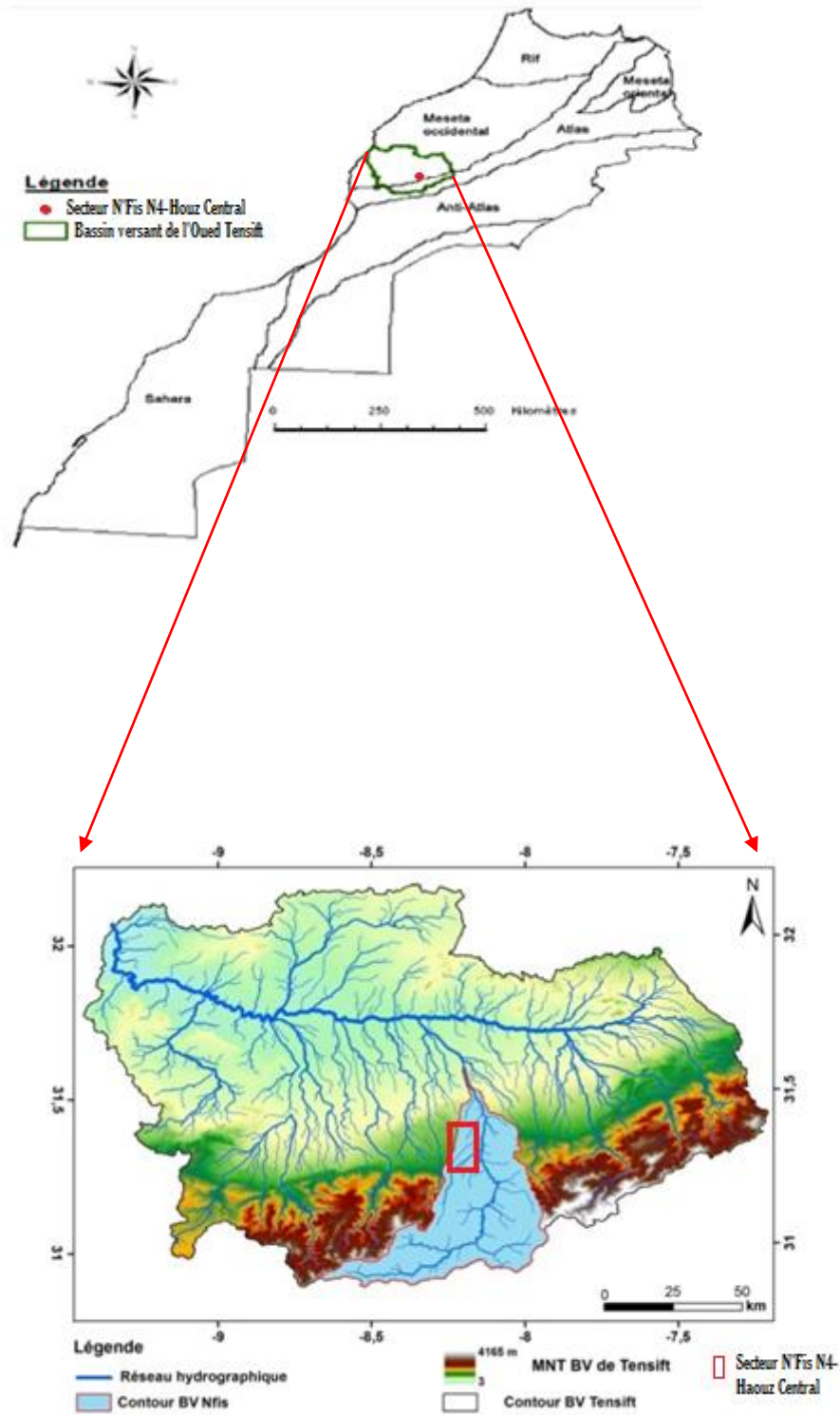


Figure 17: situation géographique de la zone d'étude-N'Fis N4-

II.2 - Contexte Climatique

Le climat du secteur d'étude est de type continental méditerranéen, chaud et sec, classé à la limite du semi-aride et de l'aride. Les précipitations sont faibles avec une moyenne annuelle de l'ordre de 189,9mm. La température moyenne annuelle est de l'ordre de 20°C. L'évapotranspiration moyenne annuelle est 1400,45mm. Les données climatiques (précipitations, température, évapotranspiration) qui ont servi à notre étude sont originaires de l'ORMVAH. Le traitement de ces données a permis d'obtenir les graphes ci-dessous :

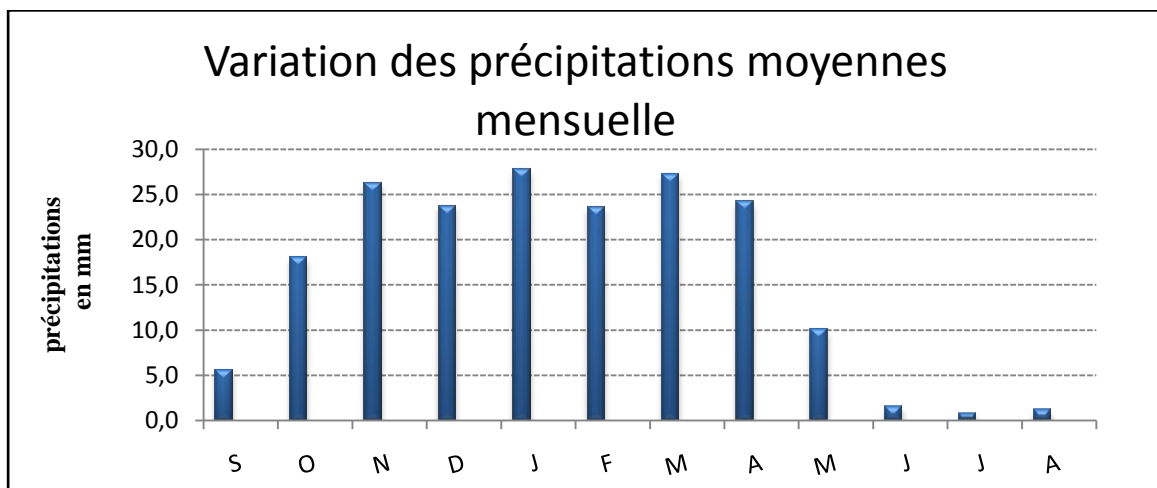


Figure 18: Variation des précipitations moyennes mensuelle à la station d'Oudaya (années 1968 à 2014) (voir tableau détaillé en Annexe)

La répartition des précipitations montre l'existence de deux saisons pluviométriques distinctes (Figure 18) : deux saisons sèches avec des précipitations maximales au mois de juin de l'ordre 4,8 mm et au mois de juillet de l'ordre de 3,5 mm et deux saisons humides avec des précipitations maximales au mois de novembre de l'ordre de 85,1mm et au mois de février de 87 mm.

II.3 - Cadre géologique :

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

- Domaine de la chaîne atlassique qui se compose de chaînes intercontinentales longues et étroites à formations mésozoïques qui reposent sur le socle hercynien ou précambrien.
- Plaine du Haouz qui est un bassin de sédimentation dans lequel se sont accumulées au Néogène et au Quaternaire des formations détritiques continentales et fluviales issues du démantèlement de la chaîne atlassique. La morphologie du bassin versant de N'fis est due non seulement aux événements tectoniques mais aussi à la nature lithologique hétérogène. Elle se compose de trois formations :
 - Une formation calcaire perméable du Jurassique Crétacé et Eocène.
 - Une formation marno-gréseuse souvent salifère du Permo-trias qui est souvent très peu perméable.
 - Une formation métamorphique ou éruptive du primaire et du précambrien imperméable. On note que dans l'ensemble, les faciès imperméables restent prédominants dans la partie active du bassin. Quant à la plaine du Haouz, elle est constituée en surface d'alluvions du quaternaire récentes et sur sa frange sud du quaternaire moyen et ancien. Ce sont des formations perméables qui ne permettent pas le ruissellement consécutif (ABHT).

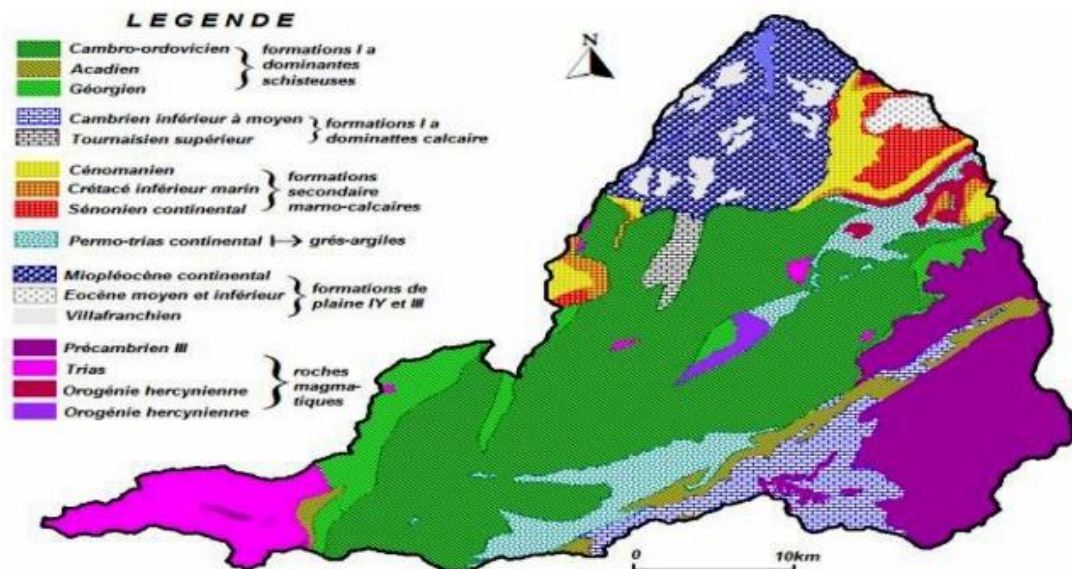


Figure 19: Carte géologique du bassin versant de l'Oued N'Fis (Extraite de la carte géologique de Marrakech au 1/500 000)

II.4 - Cadre morphologique :

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

- Des sommets et des crêtes ;
- Des plateaux disséqués en collines ;
- Des dépressions ;
- Des vallées étroites et profondes de plus de 500 m pouvant atteindre jusqu'à 1500 à 2000m ;
- Des niveaux de terrasses alluviales étagées ou emboîtées qui peuvent atteindre une centaine de mètres de hauteur du talus.

Un contraste brutal entre les plans horizontaux des hauts lieux et des versants.

II.5 - Cadre pédologique

Au niveau de toute la plaine du Haouz, nous avons quatre types de sol de différentes natures : Rouge, gris, Châtain et bruns. Leur texture est généralement limono-argileuse, limoneuse et limono-sableuse (figure 3) Dans le Haouz central, le sol est constitué essentiellement par : des sables fins, des limons roses et des argiles rouges. Ils sont généralement pauvres en matière organique naturelle surtout dans les terrains cultivés.

En situation actuelle, l'occupation des sols cultivables du secteur se présente comme suit (Figure 20): les plantations occupent 61% de la superficie avec une dominance de l'olivier 42% de la Superficie Agricole utile (SAU), les rosacés couvrent 12% des superficies avec l'abricotier comme arbre dominant, les terres non cultivées couvrent près de 15% de la superficie du secteur. Les cultures annuelles occupent 24% des surfaces avec 56% de céréales, 30% des cultures fourragères et 13% des cultures maraîchères (ORMVAH, 2010a).

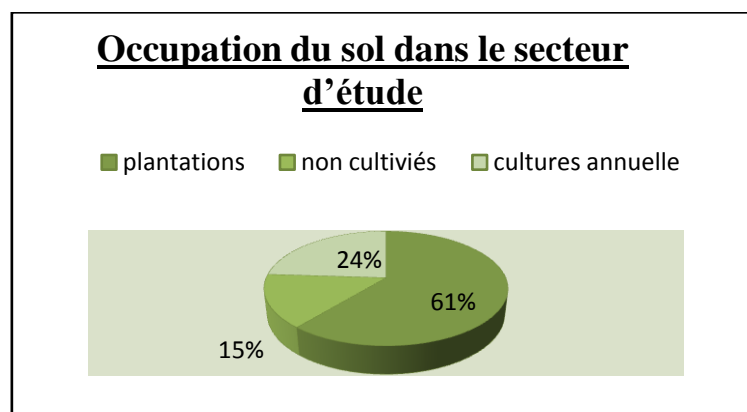


Figure 20: Occupation du sol au niveau du secteur du N'Fis N4

Chapitre 3: Analyse des eaux et des sols du secteur N'Fis N4 et interprétations

I- Méthodes d'analyse du sol :

Les analyses de sols sont des procédures visant à caractériser la composition et les qualités physicochimiques des sols. Ce sont des applications de la pédologie permettant d'avoir une idée sur l'impact de l'irrigation (sous pression) sur les sols.

I.1 - L'échantillonnage

L'échantillonnage est l'ensemble des processus ayant pour objet la réalisation des échantillons représentatifs d'un milieu initial (sols),

Un échantillonnage de sol se doit de garantir que l'analyse de l'échantillon ou du groupe d'échantillons, reflète le niveau de concentration d'un ensemble d'éléments concède à un instant et dans un lieu donné.

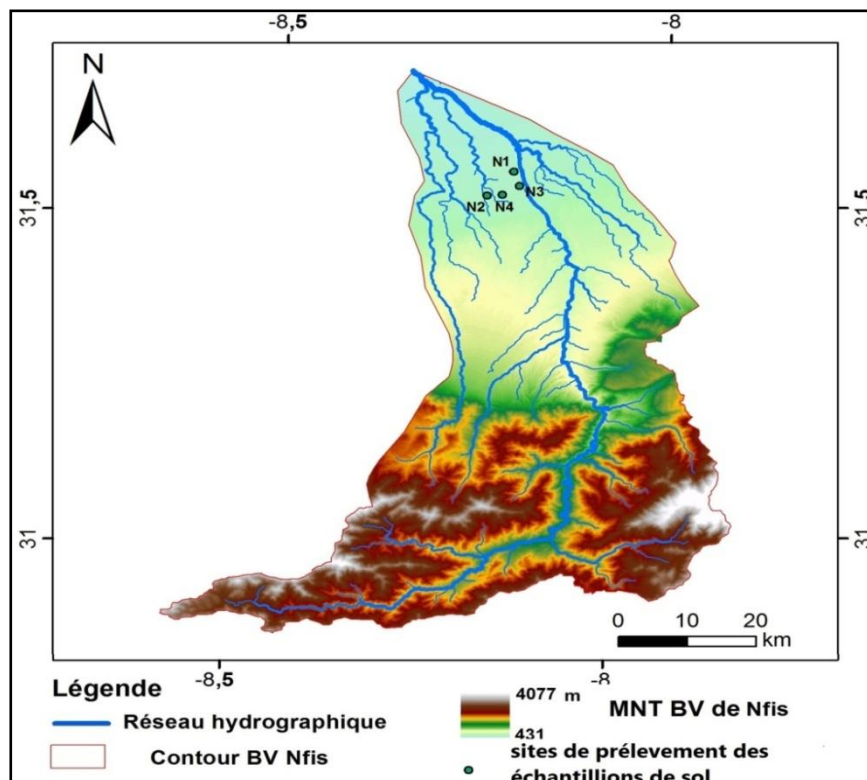


Figure 21 : Sites de prélèvement des échantillons de sol (secteur N'Fis N4)

I.1.1 - Le dispositif de prélèvement :

Les prélèvements manuels sont effectués à l'aide d'une tarière (coût faible, profondeur très réduite, rapidité)



Figure 22: Outil de prélèvement des échantillons de sol-Tarière-

I.1.2 - Le protocole d'échantillonnage :

Il n'existe pas de mode opératoire valable en toute circonstance. Toutefois les étapes fondamentales de tout protocole sont les suivantes :

- Enregistrement des données susceptibles d'influencer le prélèvement (Conditions climatiques, température, localisation, description du site ...),
- Collecte de l'échantillon dans un récipient de collecte en adéquation avec les analyses prévues et la description de l'échantillon.



Les prélèvements portent sur trois horizons : 0-30cm ;30-60cm ;60-90cm



Figure 23: les trois horizons des prélèvements des échantillons de sol

- conservation idoine de l'échantillon,
- stockage et transport,



Figure 24: la conservation et le stockage des échantillons de sol.

N° sites	X (m)	Y (m)	cultures	Profondeur (cm)
N1	233588	110122	olivier	0-30
				30-60
				60-90
N2	230178	106208	Agrumes	0-30
				30-60
				60-90
N3	234195	107668	Agrumes	0-30
				30-60
				60-90
N4	232046	106244	primeurs	0-30
				30-60
				60-90

Tableau 6: Sites et profondeurs de prélèvement des échantillons de sols

- Préparation de l'échantillon pour le laboratoire :
- Numérotation des échantillons et des formulaires;



Figure 25: Numérotation des échantillons de sol

- Préparation des échantillons pour le séchage ;
- Séchage des échantillons à l'air ambiant ou dans une étuve à 37 °C jusqu'à ce qu'ils soient secs (2 à 5 jours) ;



Figure 26: Séchage des échantillons de sol à l'air ambiant

- Enlèvement des échantillons sec, les roches et les débris végétaux, puis broyage et tamisage de ces derniers à 2 mm;



Figure 27: broyage et tamisage des échantillons de sol à 2 mm

- Empotage des échantillons pour prélèvement de sous-échantillons à des fins d'analyse.

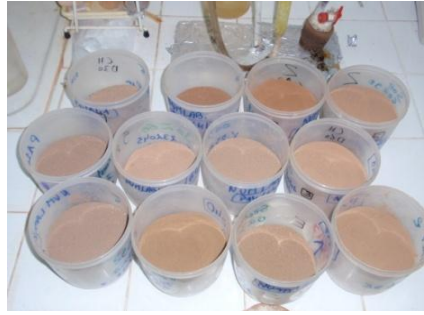


Figure 28: les sous-échantillons des sols

I.2 - La Texture des sols :

La texture indique l'abondance relative, dans le sol, de particules de dimensions variées: sable, limon ou argile. De la texture dépendent la facilité avec laquelle le sol pourra être travaillé, la quantité d'eau et d'air qu'il retient et la vitesse à laquelle l'eau peut entrer et circuler dans le sol.

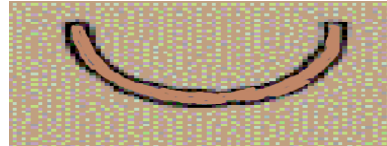
- On prend une poignée de sol à l'état plastique "pâte à modeler" en y ajoutant si besoin un peu d'eau et bien malaxer cette pâte pour y détruire toute agrégation naturelle des particules du sol ;



- On prend un volume de l'ordre d'un haricot de cette pâte et on le serre fermement entre pouce et index en faisant glisser nos deux doigts l'un contre l'autre. On observe le comportement de cet échantillon au fur et à mesure de son dessèchement entre les doigts ;
- On roule la boulette et on lui donne la forme d'une saucisse de 6 à 7 cm de long ;



- Si elle ne garde pas cette forme, c'est un sable limoneux ;
- On essaye de courber « la saucisse » en demi-cercle ;
- Si on n'y parvient pas, c'est un limon ;



- Si on y parvient, sans que « la saucisse » se fissure, c'est une argile.

I.3 - Salinité des sols par conductivité électrique :

La mesure de la conductivité électrique traduit la concentration de sels solubles contenus dans le milieu. Elle donne une estimation de la salinité du sol. Une conductivité électrique 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 (Bore, sodium chlorures).

La détermination de la salinité d'un sol est fondée sur le principe de l'extraction d'un électrolyte dont on mesure la concentration en éléments dissous par diverses méthodes (résidus sec, bilan ionique) :

On pèse 10g de terre. On les verse dans un flacon d'agitation puis on ajoute 50ml d'eau distillée et on agite pendant 20min.



Figure 29: la balance électronique



Figure 30: l'agitateur mécanique

On étalonne l'appareil (conductimètre) par une solution de KCL 0,01 N avant de faire la mesure suivant un tableau de calibration.



Figure 31: le conductimètre

I.4 - pH des sols :

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

I.5 - Taux de potasse assimilable dans les sols :

La mesure de potasse assimilable est réalisée selon les étapes suivantes :

- On pèse 5g de la terre tamisée à 2mm dans des flacons d'agitation ;



Figure 32: les flacons d'agitation

- On ajoute 50ml d'acétate d'ammonium ;
- On agite pendant 2h ;
- On filtre la solution à travers le papier filtre Whatman ;
- On étalonne le photomètre à flamme par une gamme étalon de concentration connue de KCL (5 ; 10 ; 15 ; 20ppm) ;



Figure 33: le photomètre a flamme



Figure 34: la gamme d'étalonnage (K)



Figure 35: filtration des échantillons

- Après on dose les différents filtrats des échantillons.

I.6 - Taux de phosphore assimilable dans les sols :

La mesure de phosphore assimilable est réalisée selon les étapes suivantes :

- On pèse 5g de la terre tamisée à 2mm dans un flacon d'agitation ;
- On ajoute 100ml de bicarbonate de sodium (NaHCO_3) et environ 1 cuillère de charbon actif ;



- On agite pendant 30min ;
- On filtre la solution à travers le papier filtre Whatman



- Gamme étalon : dans des tubes à essai distribués (0,2 - 7,5 - 10 – 15 à 20 ml de la solution fille de KH_2PO_4).

On ajoute 1ml d'acide ascorbique et on complète à 10ml avec H_2O . Cette gamme correspond à des concentrations en P de :

0 – 0,05 - 0,01 – 0,15 – 0,20 – 0,30 – 0,40 ppm ;

- On prélève 1ml du filtrat dans des tubes à essai ;
- On ajoute 1ml d'acide ascorbique ;



Figure 36:l'acide ascorbique

- On ajoute 8ml d'eau distillée ;



Figure 37: le spectromètre a flamme

On lit l'intensité de la couleur à une longueur d'onde de la gamme et des échantillons à 820nm après 15 à 30mn.

I.7 - Taux de la matière organique dans les sols :

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

1/Oxydation :

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

2/Dosage :

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

I.7 - Taux de calcaire total dans les sols :

La mesure de calcaire total est réalisée selon les étapes suivantes :

- On met un poids P de terre tamisée à 2 mm (de 0,25 g à 5 g selon le taux de calcaire dans le sol) dans un erlenmeyer de 250 ml (col large) ;
- On introduit dans l'erlenmeyer avec une pince, une capsule remplie d'HCL à moitié sans la renverser ;
- On note la température de l'air ambiante ;
- On règle à zéro le niveau du liquide dans le tube gradué de calcimètre de Bernard ;
- On bouche l'erlenmeyer avec le bouchon de caouatchou portant le tube de dégagement ;
- On ouvre le robinet qui est en contact avec l'air extérieur pour rétablir la pression atmosphérique à l'intérieur de l'erlenmeyer ;
- On ferme le robinet puis on verse l'acide sur la terre ;

- On agite l'erenmeyer avec une main, et de l'autre main on fait descendre l'ampoule de façon à ce que le liquide de tube gradué reste en même niveau que dans l'ampoule ;
- On note le volume de tube gradué.

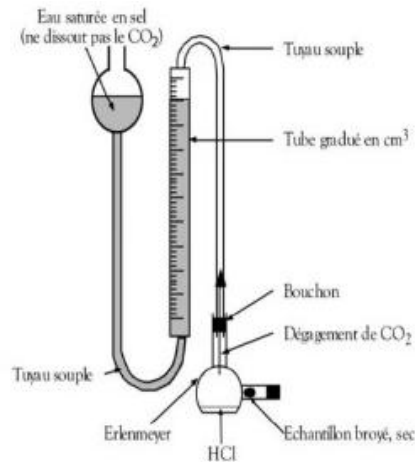
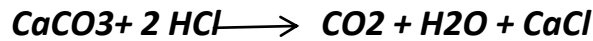


Figure 38: le calcimètre de Bernard

I.8 - La couleur du sol :

Un des critères morphologiques des sols facilement accessible est sa couleur.

Cette dernière peut être définie à l'aide du code Munsell :



Figure 39: le code Munsell

La couleur du sol est comparée le plus souvent à la lumière du jour avec les couleurs des planches. En déplaçant l'échantillon de sol sous les fenêtres prévues sous chaque échantillon coloré. On repère celui dont la couleur se rapproche le mieux et on note ses coordonnées : la teinte (hue, en anglais), puis la clarté (value) et enfin la pureté (chroma) qui exprime la saturation de la couleur.

II - Résultats des analyses des sols et interprétations :

II.1 - La couleur du sol :

N°Site	Profondeur du site (cm)	Valeur	Intensité	Couleurs du sol
1	0-30	4	4	Brun rougeâtre
	30-60	5	4	Brun rougeâtre
	60-90	5	4	Brun
2	0-30	5	4	Brun
	30-60	4	3	Brun foncé
	60-90	4	4	Jaune brun foncé
3	0-30	4	6	Brun fort
	30-60	4	4	Brun rougeâtre
	60-90	5	4	Brun
4	0-30	5	4	Brun
	30-60	6	4	brun clair
	60-90	6	4	brun clair

Tableau 7:Variation des couleurs des horizons des sols

On remarque, d'après le tableau, que les échantillons de sols du quatrième site sont caractérisés par une couleur claire surtout les échantillons prélevés à des profondeurs de 30 à 60 cm et de 60 à 90 cm.

Cette couleur claire est souvent associée à la présence du calcaire.

Contrairement au deuxième site, on remarque que les échantillons de sols sont caractérisés par une couleur plus foncée surtout au niveau des échantillons de sol les plus profonds, ce qui peut être expliqué par les teneurs élevées de la matière organique.

Pour les autres sites, on remarque que les sols sont plus au moins bruns, ce qui correspond à la brunification des sols qui est la pédogenèse commune sous nos climats tempérés (formation d'hydroxyde de fer).

II.2- La Texture des sols :

On remarque pour le premier site qu'il n'existe aucune sensation de rugosité entre les doigts. Donc le sol comporte moins de 15 % de sable(s).

Quand le matériau s'assèche, le sol forme une plaquette souvent brillante à la surface de l'un des doigts sur lequel elle colle. Donc il y a plus de 30 % d'argile (argilo-limoneux) (AL).

On remarque au niveau du deuxième site l'absence totale du sable et l'existence des argiles en grandes quantités et des limons(AL).

Pour le troisième site on remarque que le 1er échantillon prélevé de 0 à 30 cm de profondeur présente une exception : Tant que le matériau reste plastique, il existe une faible rugosité. Ce qui indique la présence du sable. Quand le matériau s'assèche, on remarque que le sol se détache des doigts et forme de fins fuseaux d'environ 1 à 2 mm de diamètre et 0,5 à 1 cm de long : il y a entre 18 et 30 % d'argile, d'autant plus que les fuseaux sont nets (limon argilo-sableux).

Au niveau du quatrième site et tant que le matériau reste plastique, on remarque l'existence d'une faible sensation de rugosité. Ce qui indique que le sol comporte 15% ou plus du sable. Quand le matériau s'assèche on déduit que ce dernier comporte des argiles (plus de 30%) et des limons (Als).

Donc le sol au secteur d'étude est constitué par des éléments (sables, limons et argiles) avec des pourcentages différents dont les argiles sont les plus abondants.

Sites	Texture (0-30cm)	Texture (30-60cm)	Texture (60-90cm)
1	Als	Als	Als
2	AL	AL	AL
3	Las	LA	LA
4	Als	Als	Als

Tableau 8: la texture des horizons des sols

II.3 - Salinité des sols par conductivité électrique :

N° Sites	CE en $\mu\text{S}/\text{cm}$ (0-30cm)	CE en $\mu\text{S}/\text{cm}$ (30-60cm)	CE en $\mu\text{S}/\text{cm}$ (60-90cm)
1	180	170	170
2	250	310	390
3	230	190	210
4	190	170	180

Tableau 9: la conductivité électrique des horizons des sols.

N° Sites	Sels solubles en g/kg (0-30cm)	Sels solubles en g/kg (30-60cm)	Sels solubles en g/kg (60-90cm)
1	0,56	0,54	0,56
2	0,80	0,99	1,23
3	0,74	0,62	0,69
4	0,60	0,55	0,57

Tableau 10: les sels solubles dans les horizons des sols.

Conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Appréciations
< 400	Sol non salé
400 à 800	Sol moyennement salé
800 à 1600	Sol salé
1600 – 3200	Sol très salé
>3200	Sol excessivement salé

Tableau 11: Normes d'appréciations de la conductivité électrique du sol à la pâte saturée.

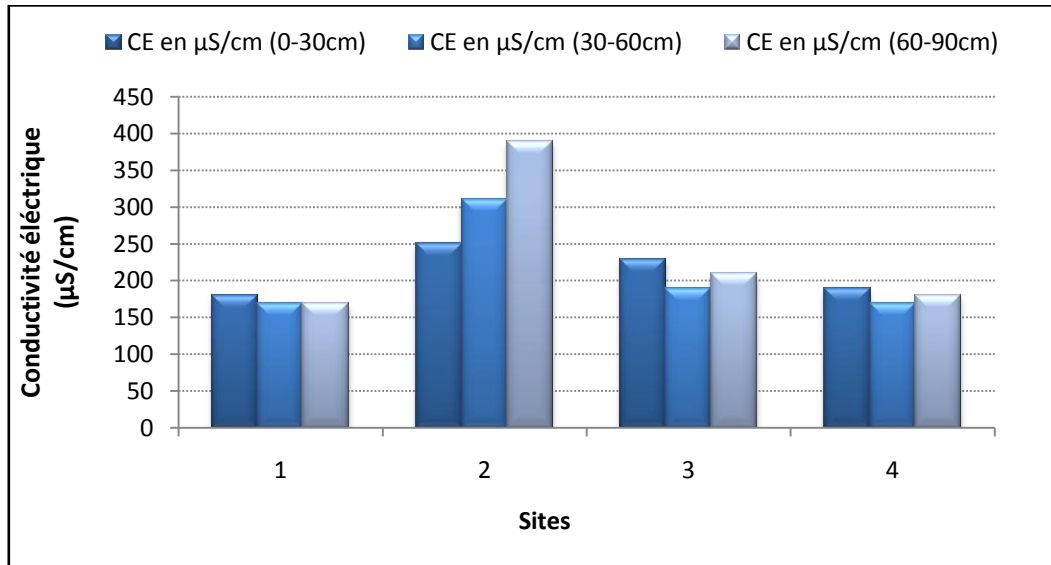


Figure 40: variation de la conductivité électrique des horizons de sols.

La conductivité électrique sur l'ensemble des échantillons de sols analysés dans le secteur varie de 170 à 390 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Les quatre échantillons affichent une conductivité électrique qui ne dépasse pas 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ce qui ne nécessite pas l'utilisation de la pâte saturée pour les mesures de la conductivité électrique.

D'après le graphe ci-dessous, on remarque que les échantillons du sol prélevés au niveau du 2eme site présentent des valeurs plus ou moins élevées par rapport aux trois autres sites. Ce dernier représente une croissance de la salinité en fonction de la profondeur qui peut être expliquée par le phénomène du lessivage par les eaux de surface.

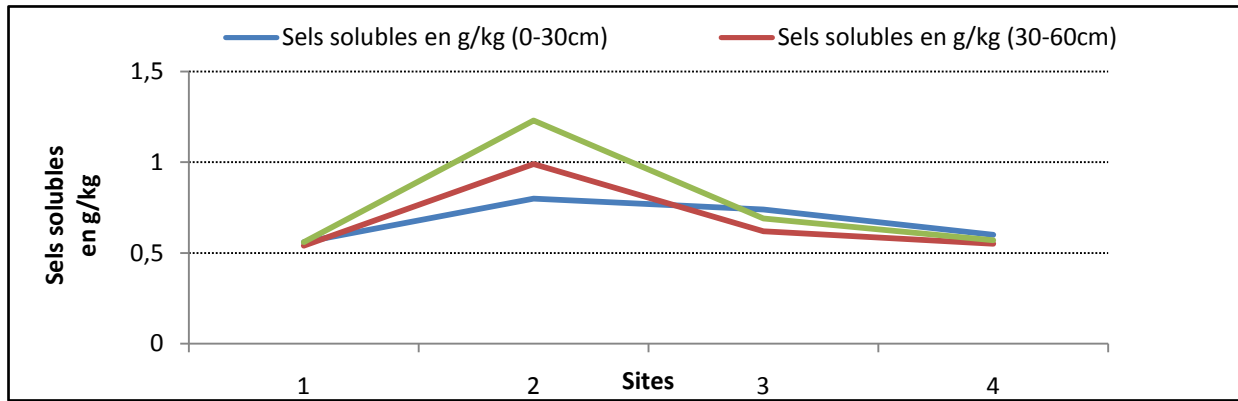


Figure 41: variations des sels solubles dans les sols.

Sachant que les trois premiers sites sont irrigués par des eaux de puits, le site 2 est irrigué par des eaux mixtes (l'eau provenant du barrage lalla Takerkoust et l'eau des puits). Ce qui explique que l'augmentation de la salinité du sol est due à l'apport des eaux du barrage.

II.4 - pH des sols :

Exprimée par le pH, l'acidité du sol est régie par la quantité des cations hydrogènes (H^+) qui sont fixés sur le complexe argilo-humique ou en mouvement dans la solution du sol. Elle influence directement l'assimilabilité des éléments nutritifs par le couvert végétal et joue à ce titre un rôle fondamental dans la rentabilité de la culture. Les sols ont une tendance naturelle à l'acidification, c'est-à-dire au remplacement sur le complexe des cations minéraux par des ions H^+ . Or ce phénomène est accentué par l'action de certains engrais (phosphate, nitrate, ammoniacque).

Sites	pH (0-30cm)	pH (30-60cm)	pH (60-90cm)
1	9,20	9,13	9,43
2	9,27	9,30	9,15
3	9,35	9,71	9,50
4	9,21	9,29	9,22

Tableau 12: le potentiel d'hydrogène des sols

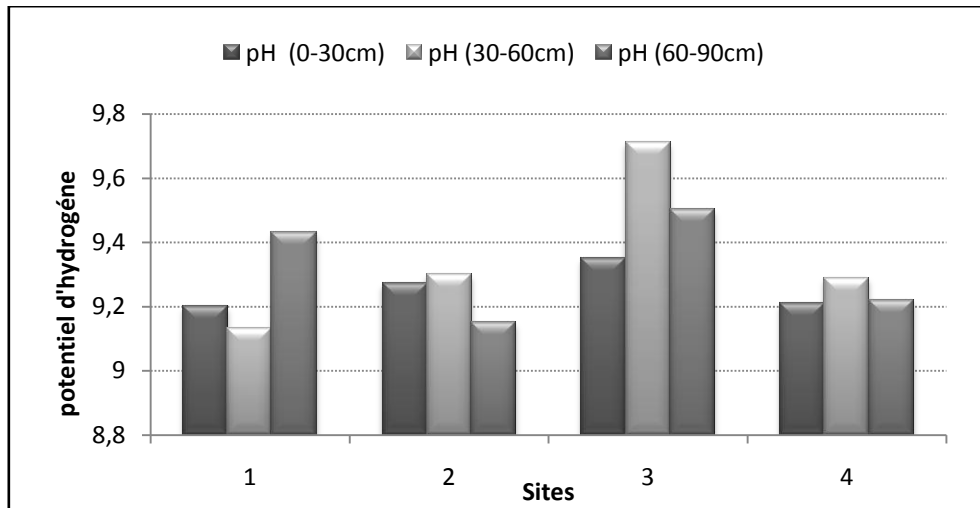


Figure 42: variation du pH des sols.

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

Tableau 13: Les classes du pH (SCET Maroc, Marché 66-75ORH).

D'après le graphe, on remarque que nos échantillons du sol ont un pH moyennement très alcalin. Cette alcalinité provient essentiellement de la composition chimique des roches et matériaux d'origine du sol, qui est dans ce cas une roche à affinité calcaire. On remarque une étroite relation entre la pluie annuelle et le pH. Plus la pluie est importante, plus le sol est acide et puisque notre site d'étude a un climat sec avec moins de précipitations, cela explique en partie l'alcalinité du sol.

II.5 - Taux de potasse assimilable dans les sols :

Le potassium assimilable joue un rôle important dans différentes fonctions cellulaires de la plante telles la synthèse des sucres et des protéines, la turgescence des tissus, l'augmentation de la résistance à la déshydratation et le transfert des substances minérales et organiques dans les différents organes de l'arbre. Une déficience en cet élément se traduit par une nécrose des bordures des feuilles montrées par une réduction de la coloration. Ainsi, son excès dans le sol entraîne une diminution en calcium et magnésium (Agrimaroc).

Sites	K ₂ O ppm (0-30cm)	K ₂ O ppm (30-60cm)	K ₂ O ppm (60-90cm)
1	199,25	86,202	77,768
2	404,181	271,502	260,234
3	118,425	64,049	80,563
4	195,815	230,929	146,307

Tableau 14: Résultats analyses K₂O en (ppm)

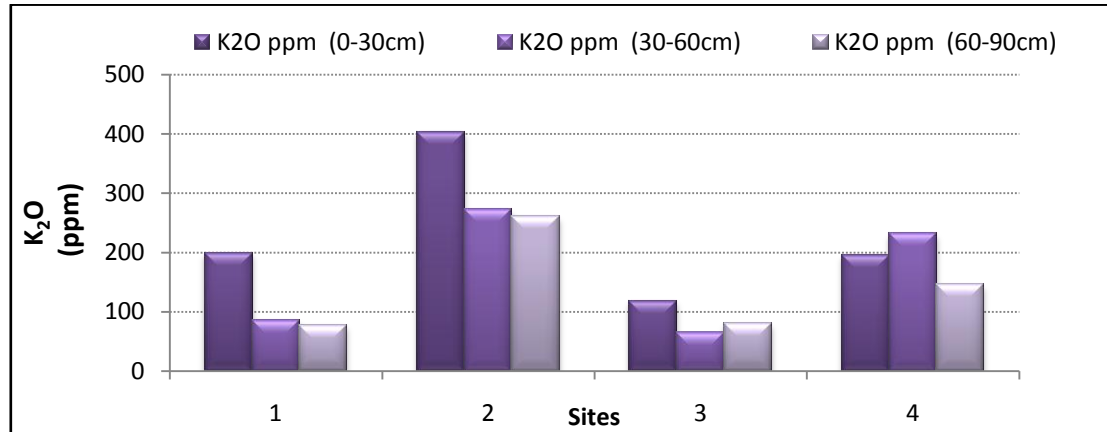


Figure 43: variations du potasse assimilable dans les sols.

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

Tableau 15 : Norme du potassium assimilable du sol (SCET Maroc, Marché 66-75ORH).

D'après le graphe, on observe que la teneur en K₂O décroît avec la profondeur au niveau du premier et deuxième site contrairement au troisième et quatrième site. On note aussi que le sol, au niveau du deuxième et le quatrième site, est très riche en K₂O par rapport au sol du premier et du troisième site.

Cette richesse peut être due à la salinité élevée de l'eau mixte, ou à un excès dans l'apport des engrais potassiques, ou bien à la teneur en argile qui a tendance à se combiner avec la matière organique pour former le complexe adsorbant du sol permettant la fixation des éléments nutritifs chargés positivement, ou à la concentration importante du k⁺ dans l'eau d'irrigation.

II.6 - Taux de phosphore assimilable dans les sols :

Le phosphore assimilable est un élément mineur dans la composition du sol, il est considéré comme élément indispensable à la croissance et au développement des végétaux.

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

Sites	P ₂ O ₅ ppm (0-30cm)	P ₂ O ₅ ppm (30-60cm)	P ₂ O ₅ ppm (60-90cm)
1	5,85	9,38	7,56
2	12,79	10,03	9,71
3	9,14	10,91	9,95
4	10,91	17,65	9,22

Tableau 16: le phosphore assimilable dans les sols.

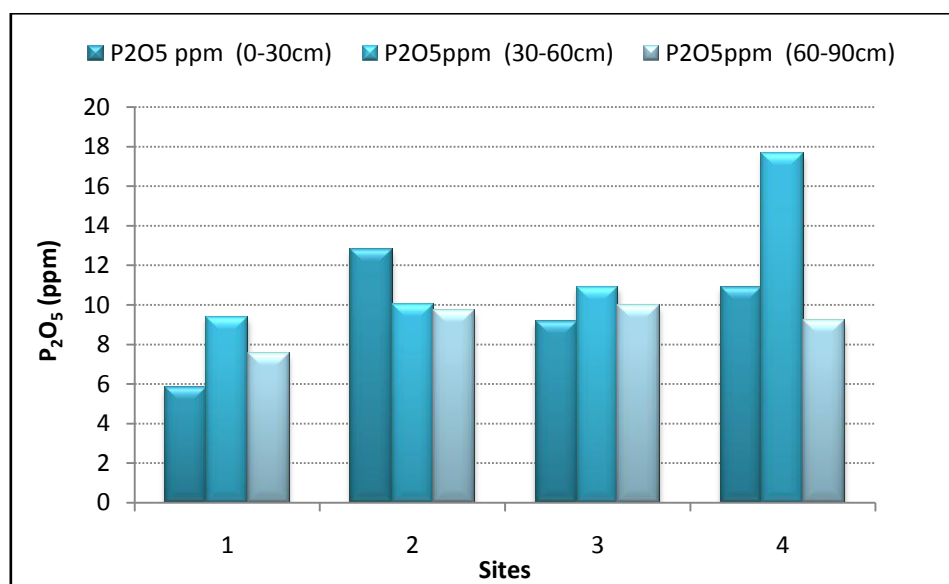


Figure 44 : variation du phosphore assimilable dans les sols.

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

Tableau 17: Normes du phosphore assimilable (Management, Ingénierie de Développement, de Formation et Agri-Consulting, 2009).

La représentation graphique (figure 44) montre des teneurs faibles en phosphore assimilable accumulées dans l'horizon 1, contrairement au deuxième et troisième site où les sols sont moyennement pourvus en P₂O₅.

Ces faibles valeurs enregistrées sont dues à la présence de la matière organique dans les sols qui se complexe avec le phosphore afin de le rendre immobilisable.

En outre, le sol du quatrième site présente des teneurs élevées en phosphore assimilable.

Donc, la teneur en phosphore est plus importante dans l'horizon 2 que dans les autres horizons ; ce qui est expliqué par le lessivage du phosphore résultant du manque de la matière organique en surface du sol (1,121 %).

II.7- Taux de la matière organique dans les sols :

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

Sites	% Matière org (0-30cm)	% Matière org (30-60cm)	% Matière org (60-90cm)
1	1,201	0,64	0,64
2	1,121	1,601	1,281
3	0,72	0,48	0,48
4	1,121	0,961	0,48

Tableau 18:le taux de la matière organique dans les horizons des sols

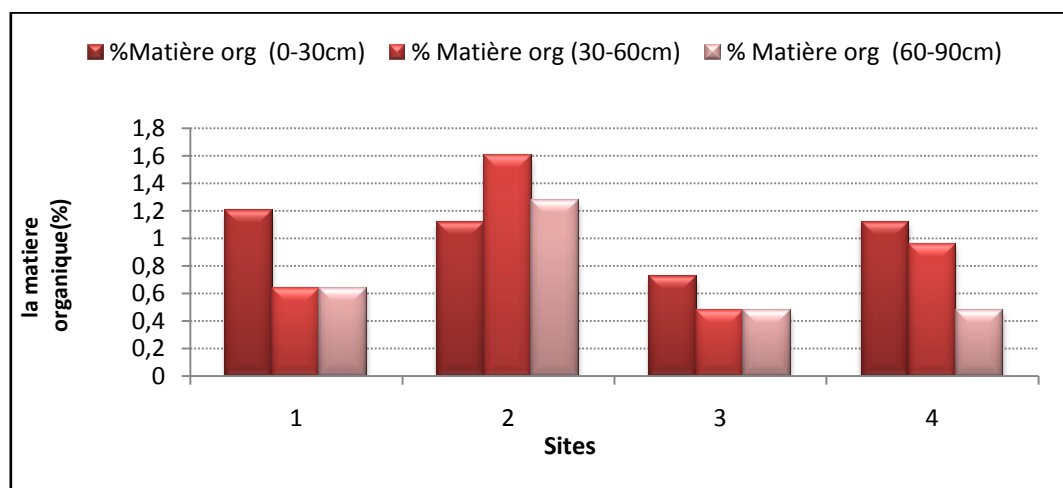


Figure 45:variations de la matière organique dans les sols

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

Tableau 19: Norme de la matière organique (Management, Ingénierie de Développement, de Formation et Agri-Consulting, 2009)

On observe le décroissement régulier de la matière organique avec la profondeur au niveau de tous les sites sauf le deuxième qui présente une exception car on remarque l'augmentation de la matière organique avec la profondeur. Ce qui peut être expliqué par le processus de lixiviation.

Par ailleurs, on relève que le premier, troisième et quatrième site est pauvres en matière organique contrairement au deuxième site qui en est moyennement pourvu.

Cela peut être expliqué par plusieurs facteurs :

-La nature du sol : Le sol au niveau du deuxième site a une structure fine donc il tend à renfermer plus de matière organique que les autres sols; il retient mieux les éléments nutritifs et l'eau, pour donner de bonnes conditions de croissance des végétaux. Les sols grossiers sont mieux aérés et la présence d'oxygène entraîne une décomposition plus rapide de la matière organique.

-l'hydrologie du sol (drainage) : Plus un sol est humide, moins il y a d'oxygène disponible pour que la matière organique se décompose, si bien qu'elle s'accumule.

-l'utilisation des fumiers.

II.8 - Taux de calcaire total dans les sols :

La présence de calcaire confère au sol des caractéristiques spécifiques en termes de comportement physique et chimique et agit sur son activité biologique. Son absence totale a pour conséquence une acidification progressive, plus ou moins rapide suivant le contexte pédoclimatique. Il est donc nécessaire de le compenser par des apports réguliers d'amendements basiques.

Sites	% calcaire (0-30cm)	% calcaire (30-60cm)	% calcaire (60-90cm)
1	29,40	31,90	13
2	15,60	5,70	12,30
3	30,20	22,10	17,20
4	28,60	31	32,20

Tableau 20:le % du calcaire total dans les horizons des sols.

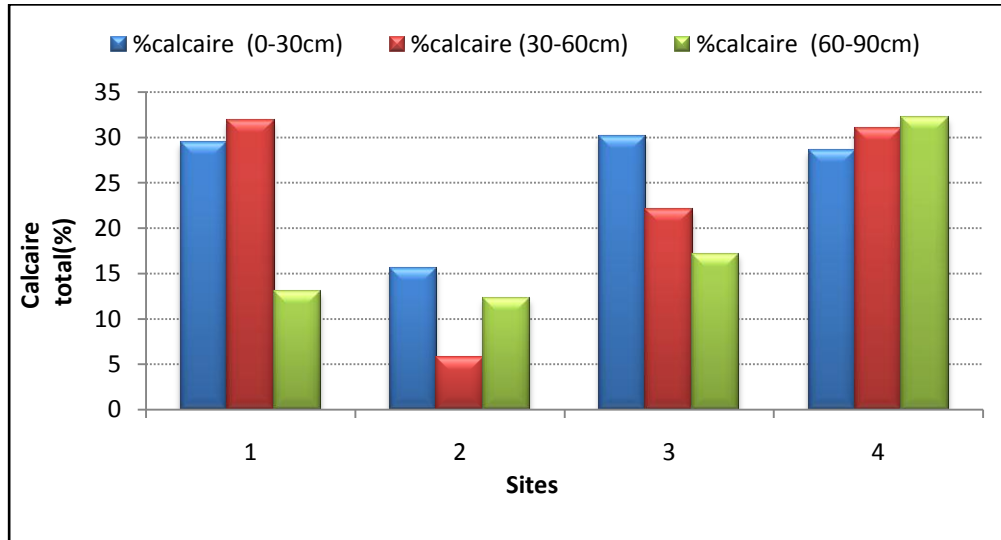


Figure 46: variations du taux de calcaire total dans les sols.

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

Tableau 21: normes du calcaire total (Management, Ingénierie de Développement, de Formation et Agri-Consulting, 2009).

En observant le graphe, on remarque des taux élevés en calcaire total au niveau des sols de tous les sites sauf le deuxième où le sol contient des teneurs moyennes en calcaire total.

Ces taux élevés en calcaire total dans les sols sont dus principalement à la nature de la roche mère qui est d'origine carbonatée.

III - Analyse des eaux :

III.1 - Méthodes d'analyse des eaux:

III.1.1 - Les analyse in-situ :

III.1.1.1 – Température :

La température de l'eau est un paramètre de confort pour les usagers. Elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment). De plus, en mettant en évidence des contrastes de température de l'eau sur un milieu, il est possible d'obtenir des indications sur l'origine et l'écoulement de l'eau.

La température doit être mesurée in situ. Les appareils de mesure de la conductivité ou du pH possèdent généralement un thermomètre intégré.



Figure 47: mesure de la température de l'air.



Figure 48: mesure de température de l'eau.

III.1.1.2 – Conductivité :

La conductivité est également fonction de la température de l'eau, elle est plus importante lorsque la température augmente. Les résultats de mesure doivent donc être présentés en termes de conductivité équivalente à 20 ou 25°C. En général, les appareils de mesure utilisés sur le terrain effectuent, automatiquement, cette conversion.

Ce paramètre doit impérativement être mesuré sur le terrain. La procédure est simple et permet d'obtenir une information très utile pour caractériser l'eau.



Figure 49: Mesure de la conductivité électrique de l'eau.

III.1.2 - Analyses au laboratoire :



Figure 50: les échantillons de l'eau prélevée.

III.1.2.1 - conductivité électrique :

La conductivité électrique 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 la suite, donner une idée sur la minéralisation totale d'une eau. Cette mesure a été effectuée à l'aide d'un conductimètre étalonné par une solution KCl (0,01 N).

III.1.2.2 - Bilan ionique de l'eau :

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

Les chlorures : Le dosage des ions Cl^- se fait par une solution titrée de nitrate d'argent (AgNO_3 , 0.02N) en présence de chromate de potassium (KCrO_7), les chlorures vont se précipiter sous forme de chlorure d'Argent (AgCl).



Figure 51:Chromate de potassium.

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.).



Figure 52: éthylène diamine tétra acétique (E.D.T.A.).

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



Figure 53:l'indicateur coloré (le NET).

Les carbonates et bicarbonates : Le dosage des HCO_3^- se fait par acidimétrie à l'aide d'une solution d'acide sulfurique H_2SO_4 à 0.02N en présence de l'indicateur coloré le vert de Bromocrésol et phénolphaléine dans la solution des carbonates.



Figure 54: l'ajout de l'indicateur coloré (Bromocrésol).

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



Figure 55: l'ajout des chlorures de baryum.

Le potassium et sodium : Le dosage se fait par un photomètre à flamme dont le principe se base sur la décomposition des atomes Na^+ et k^+ lors de leur passage dans la flamme après une certaine série d'étalonnage avec des concentrations différentes afin de déterminer la teneur des ions Na^+ et k^+ dans l'eau étudiée.

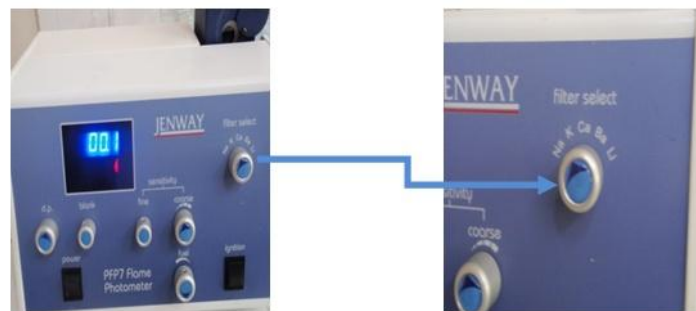


Figure 56: le dosage du sodium et potassium par le photomètre a flamme.

III.2 - Résultats des analyses des eaux et interprétations :

III.2.1 - Résultats des analyses des eaux souterraines :

Les analyses des eaux souterraines dans le cadre de l'étude visent à caractériser l'état de la qualité des eaux dans la zone du N'Fis N4 afin d'étudier l'impact de l'irrigation sur ces eaux.

Les analyses des eaux souterraines dans le secteur N'Fis N4 ont été réalisées sur 3 sites répartis sur l'ensemble du secteur. Les profondeurs des puits analysés varient entre 65 à 120m.

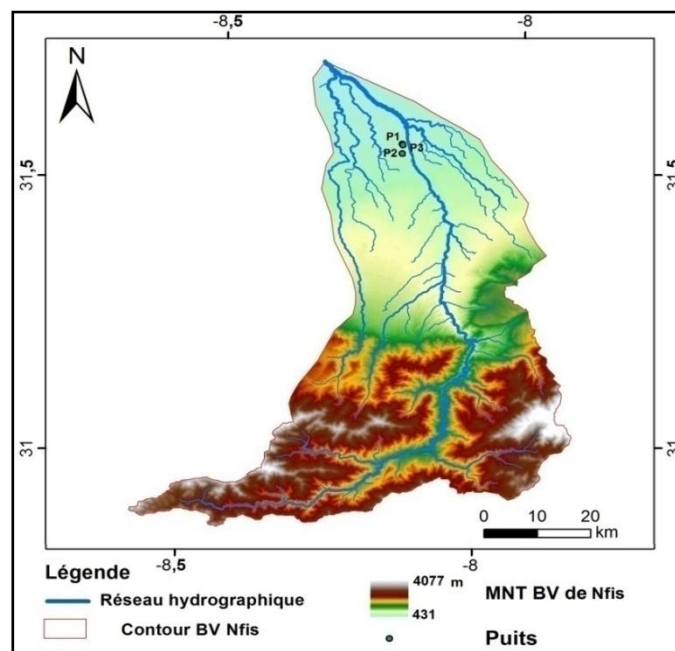


Figure 57 : Sites de prélèvement des échantillons des eaux souterraines.

III.2.1.1 - Les analyses in-situ :

N° Site	X (m)	Y (m)	Température (°C)		Conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
			T_Atmosphérique	T_Eau	
Puits 1	233487	110333	24	22,5	526
Puits 2	233445	108368	23,5	21,5	609
Puits 3	233586	110117	30	22,7	515

Tableau 22: résultats des analyses de la température et la conductivité électriques des eaux souterraines.

On note que la conductivité électrique minimale est enregistrée au niveau du puits 3 situé en amont ($515(\mu\text{S}/\text{cm})$). En outre, la conductivité électrique maximale est enregistrée au niveau du puits 2 situé en aval ($609(\mu\text{S}/\text{cm})$)

III.2.1.2 - Les analyses au laboratoire :

III.2.1.2.1 - Salinité et conductivité électrique des eaux souterraines :

➤ Salinité des eaux souterraines :

N°site	X(m)	Y (m)	Sels solubles (g/l)	CE ($\mu\text{S/cm}$)
Puits 1	233487	110333	0,44	690
Puits 2	233445	108368	0,49	770
Puits 3	233586	110117	0,42	650

Tableau 23: variations de la conductivité électrique et des sels solubles des eaux souterraines.

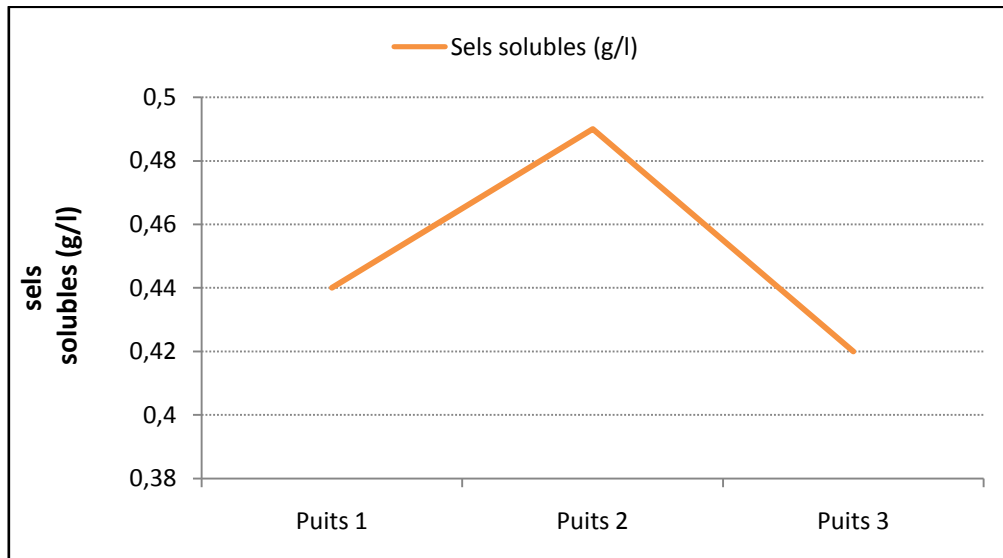


Figure 58: variations des teneurs en sels solubles des eaux souterraines prélevées.

➤ Conductivité électrique des eaux souterraines :

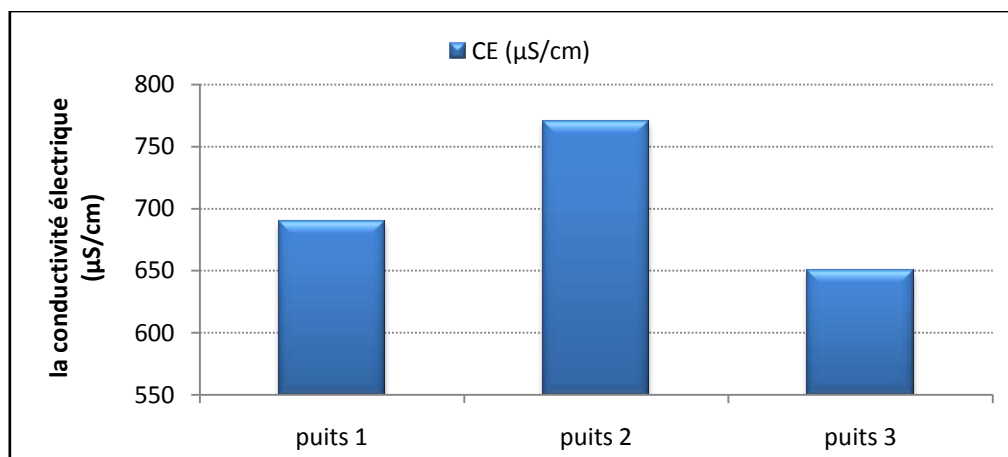


Figure 59: variations de la conductivité électrique des eaux souterraines prélevées.

On remarque que la conductivité électrique est plus grande au niveau du puits 2 situé en aval par rapport aux deux autres puits situés en amont.

Le graphe (figure 60) montre que les valeurs de la conductivité électrique évoluent de la même façon que celles de la salinité. Il y a une parfaite corrélation entre ces deux paramètres avec un coefficient de corrélation $R^2=0,997$.

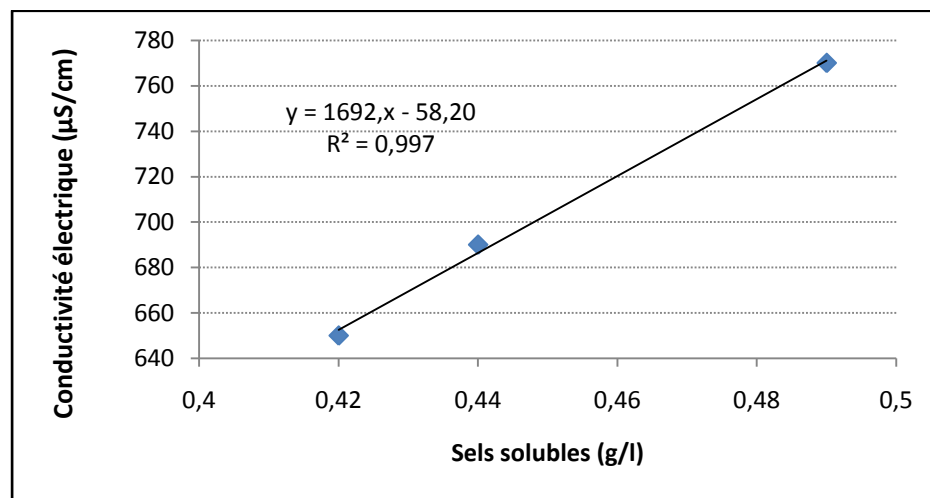


Figure 60: corrélation linéaire (sels solubles/conductivité électrique).

Classe de qualité	Excellente	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Trèsmauvaise
CE (mmhos/cm)	100 -750	750 – 1300	1300 – 2700	2700 – 3000	3000 --7000

Tableau 24: Grille d'évaluation de la qualité des eaux souterraines (Normes Ministère Energie, Mines Eaux et environnement).

D'après les normes, on constate que les eaux souterraines analysées dans le secteur N°Fis N4 sont de qualité bonne à excellente vis-à-vis de la conductivité électrique.

Donc, ce sont des eaux à risque nul par rapport à la salinité, de même ces eaux sont aptes pour l'irrigation avec des restrictions modérées.

Salinité	Aucune restriction pour l'irrigation	Restriction modérée	Forte restriction pour l'irrigation
CE (µS/cm)	< 750	750 à 3000	> 3000

Tableau 25: Barème d'appréciation de la salinité de l'eau pour l'irrigation. (Normes Directives FAO).

III.2.1.2.2 - le pH des eaux souterraines :

N°site	pH
Puits 1	8,45
Puits 2	8,55
Puits 3	8,60

Tableau 26: Résultats du pH des eaux souterraines prélevées

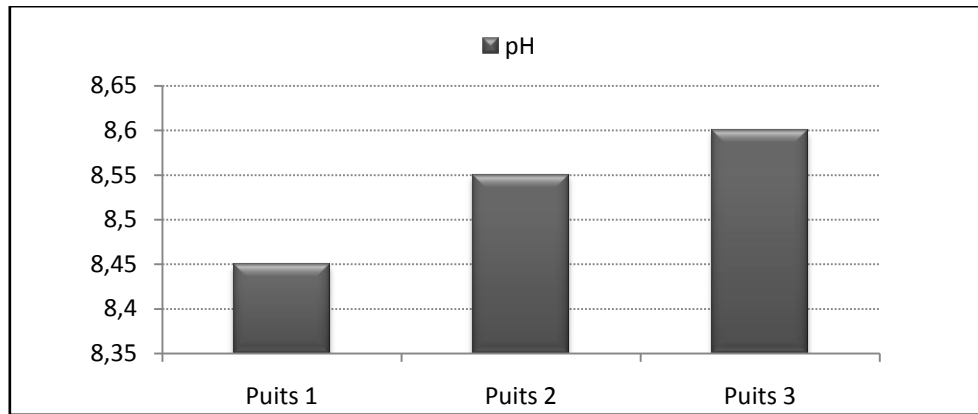


Figure 61: variations du potentiel d'hydrogène des eaux souterraines.

En observant le graphe ci- dessus, on remarque que les échantillons d'eaux prélevés des puits présentent un pH basique (au delà de 8).

En allant de l'amont vers l'aval, on remarque des valeurs élevées du potentiel d'hydrogène au niveau du 2eme et 3eme puits alors que le 1er puits présente un faible pH.

III.2.1.2.3 - Le Bilan ionique :

N° site	K ⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	Ca ⁺⁺ (mg/l)	Mg ⁺⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)
Puits 1	1,7808	13,17	44	9,82	88,75	73,3	159,2
Puits 2	2,1154	18,18	48	21,78	106,5	79,2	182,4
Puits 3	1,6117	11,83	40	9,68	88,26	54,9	134,4

Tableau 27:le bilan ionique des eaux souterraines.

Classe de qualité	Excellente	Bonne	Moyenne	mauvaise	Très mauvaise
Cl (mg/l)	9-200	200-300	300-750	750-1000	1000-8000
SO4 (mg/l)	1-100	100-200	200-250	250-400	400-2000
Ca (mg/l)	31-160			<32 ou>160	
Mg (mg/l)	<50	50-75	75-100	100-400	>400
Na (mg/l)	<200			>200	

Tableau 28: Grille d'évaluation de la qualité globale des paramètres de minéralisation des eaux souterraines :(normes ministère Energie, Mines, Eaux, Environnement).

➤ **Teneur en sulfates et bicarbonates**

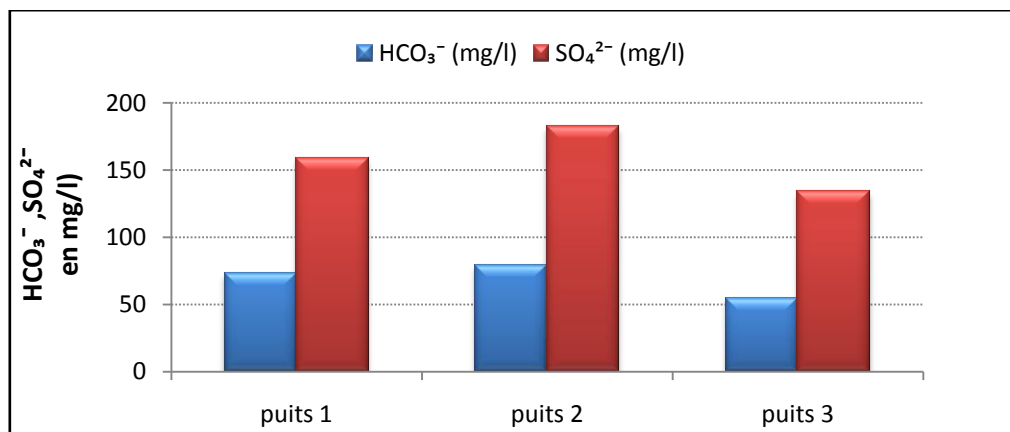


Figure 62: variations des teneurs en sulfates et bicarbonates dans les eaux souterraines.

D'après le graphe ci-dessus, on remarque que la teneur en sulfate augmente légèrement en allant de l'amont vers l'aval (puits 1 et 2), contrairement au puits 3 où on remarque une teneur plus faible en SO₄⁻.

Ces teneurs élevées peuvent être probablement dues à l'oxydation des minerais de sulfates et qui peut provoquer un colmatage de canalisation.

Ces eaux souterraines sont dans la classe de bonne qualité pour le paramètre teneur en sulfates : la teneur reste inférieure à 200 mg/l pour tous les sites analysés.

On remarque aussi une augmentation de la teneur en HCO₃⁻ en allant de l'amont vers l'aval (puits 3,1 et 2) qui est peut être influencées par des formations carbonatées.

➤ **Teneur en chlorure et sodium :**

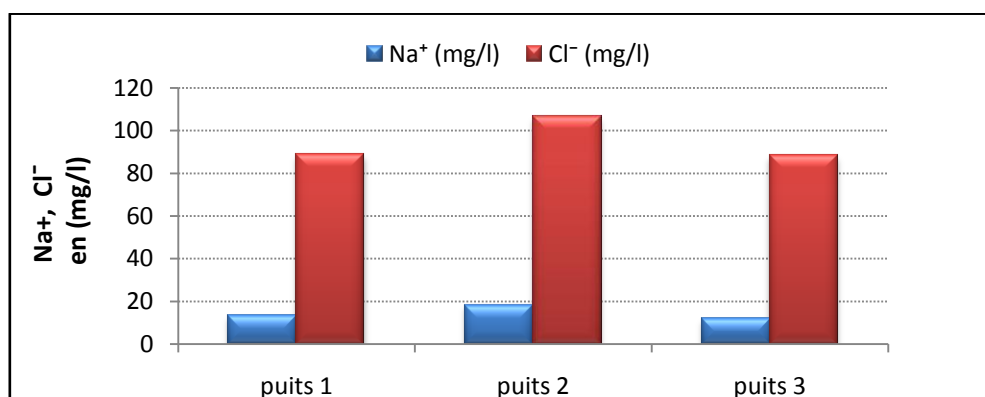


Figure 63: variations des teneurs en chlorures et sodium dans les eaux souterraines.

Le sodium et les chlorures varient simultanément mais on remarque que les concentrations des chlorures sont plus élevées que celles du sodium.

D'après les normes, on constate que les eaux souterraines du secteur sont dans la classe de qualité Bonne pour les paramètres (teneur en Cl^- et Na^+).

La forte concentration en chlorure par rapport à la concentration en sodium est peut être due à l'utilisation des chlorures pour le traitement des puits utilisés en alimentation en eau potable.

➤ **Teneur en magnésium et calcium :**

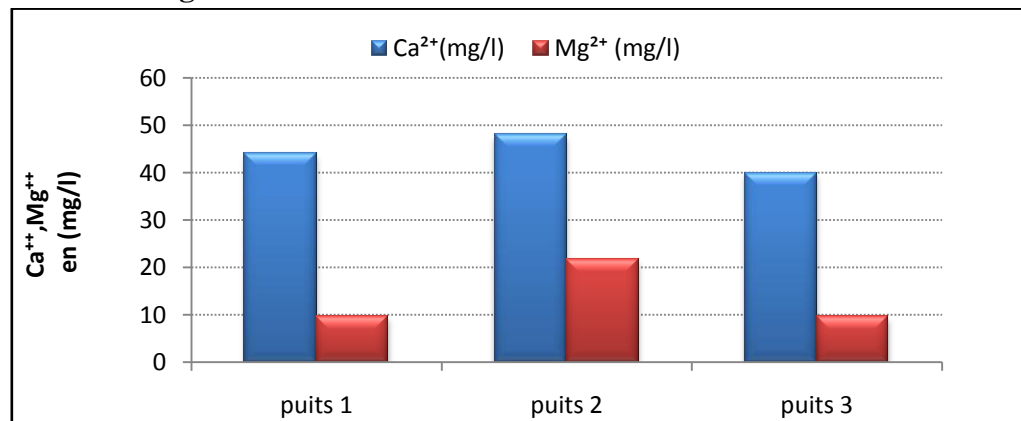


Figure 64: variations des teneurs en magnésium et calcium dans les eaux souterraines.

Les eaux souterraines sont de qualité excellente vis-à-vis du magnésium dont les teneurs sont inférieures à 50mg/l.

D'après ces concentrations, les eaux souterraines sont dans la classe excellente dans la grille d'évaluation de la qualité pour le paramètre calcium.

III.2.1.2.4 - Faciès des eaux souterraines :

➤ Diagramme de Piper

Le diagramme de Piper utilise les éléments majeurs pour représenter les différents faciès des eaux souterraines. Il permet une représentation des anions et des cations sur deux triangles spécifiques dont les côtés témoignent des teneurs relatives en chacun des ions majeurs par rapport au total de ces ions (cations pour le triangle de gauche, anions pour le triangle de droite). La position relative d'un résultat analytique sur chacun de ces deux triangles permet de préciser en premier lieu la dominance anionique et cationique. A ces deux triangles est associé un losange sur lequel est reporté l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle. Ce point d'intersection représente l'analyse globale de l'échantillon ; sa position relative permet de préciser le faciès de l'eau concernée, par exemple, eaux bicarbonatées calciques ou eaux carbonatées sodiques et potassiques.

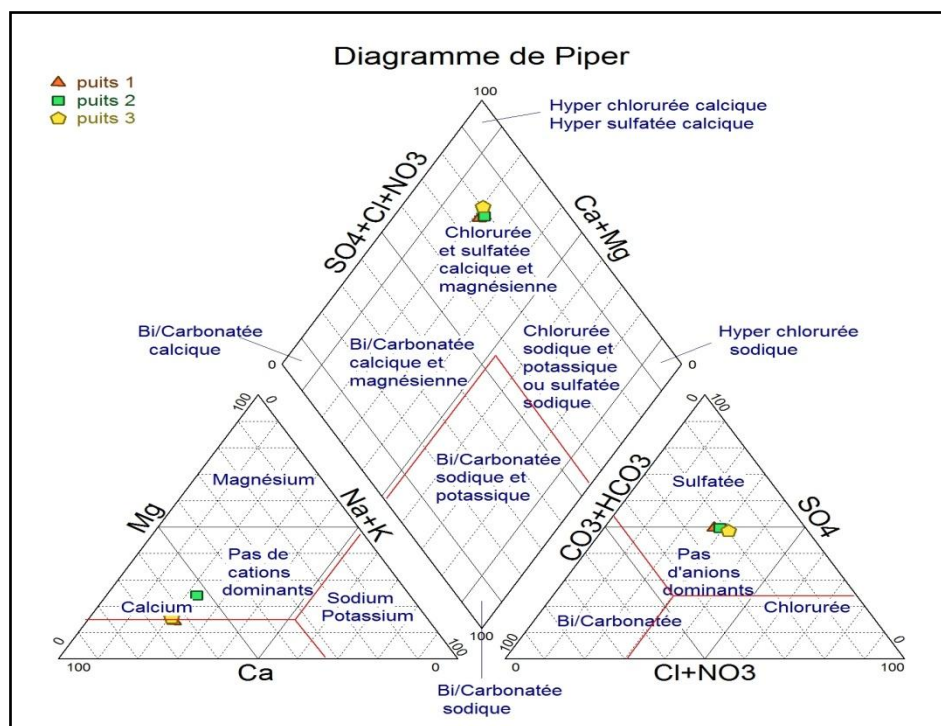


Figure 65: La projection des Faciès chimiques des eaux souterraines dans le diagramme de *Piper*.

- Dans le triangle des cations, on remarque la présence des ions dominants ; il s'agit du calcium.
- Dans le triangle des anions, on remarque que les ions se concentrent sur le pôle sulfaté.

On conclue que dans le losange synthétique, le faciès dominant est chloruré et sulfaté calcique et magnésien.

➤ Diagramme de Schoeller –Berkaloff

Le diagramme de Schoeller permet, entre autres, de reconnaître simplement le faciès d'une eau souterraine en utilisant les concentrations des éléments majeurs et en les reportant sur un graphique en colonnes à échelles logarithmiques.

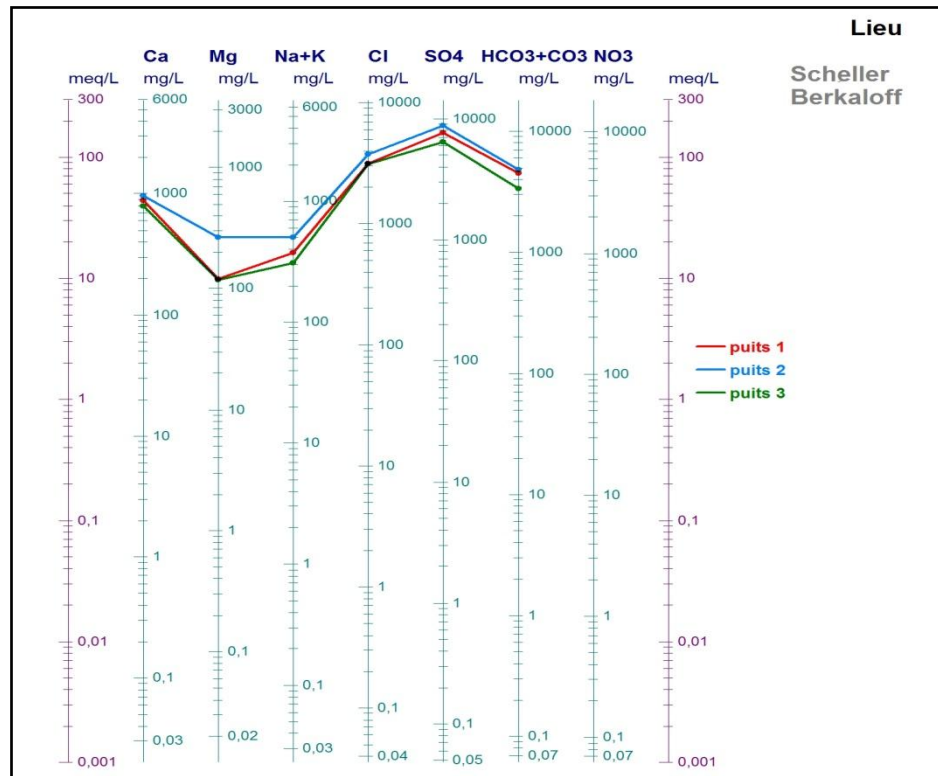


Figure 66: La projection des Faciès chimiques des eaux souterraines dans le diagramme de *Schoeller Berkaloff*.

Les eaux souterraines ont des faciès hydro chimiques comparables :

- Concernant le calcium, on remarque que les puits ont presque la même valeur contrairement au magnésium au niveau duquel on remarque que le puits 2 présente une valeur de mg plus élevée que les deux autres puits.
- on remarque au niveau de k Na que les puits 1 et 3 ont la même teneur alors le puits 2 est légèrement décalé.
- les lignes de concentrations des ions sont presque parallèles concernant les teneurs en chlorure et en HCO_3 .
- les plus grandes variations entre les puits sont marquées au niveau de la teneur en SO_4 . Ces ions sont très mobiles dans les sols et peuvent provenir d'apports par les eaux d'irrigation.

III.2.2- Résultats des analyses des eaux de surface :



Figure 67: le puits de chute.



Figure 68: le bassin 513.

Les échantillons d'eau de surface sont prélevés au niveau du puits de chute et au niveau du bassin 513 pour caractériser les eaux provenant de la Rocade et les eaux de débordement de l'Oued N'Fis (barrage Takerkoust).

III.2.2.1 - Les analyses in-situ :

N° Site	X (m)	Y (m)	Température (°C)		Conductivité électrique (µS/cm)
			T_Atmo	T_eau	
Puits de chute	239660	100255	27,5	25,7	746
Bassin 513	237194	103905	26	25,1	704

Tableau 29: Les résultats des analyses de la température et la conductivité électrique des eaux de surface (in situ).

On remarque que le puits de chute présente une conductivité électrique (746 µS/cm) plus élevée que celle mesurée au niveau du bassin 513 (704 µS/cm).

III.2.2.2 - Les analyses au laboratoire :

III.2.2.2.1 - la Salinité et la conductivité électrique des eaux de surface :

N°site	X (m)	Y (m)	Sels soluble (g/l)	CE (µS/cm)
Puits de chute	239660	100255	0,59	930
Bassin 513	237194	103905	0,56	880

Tableau 30 : Résultats des analyses de la conductivité électrique et la salinité des eaux de surface (au laboratoire).

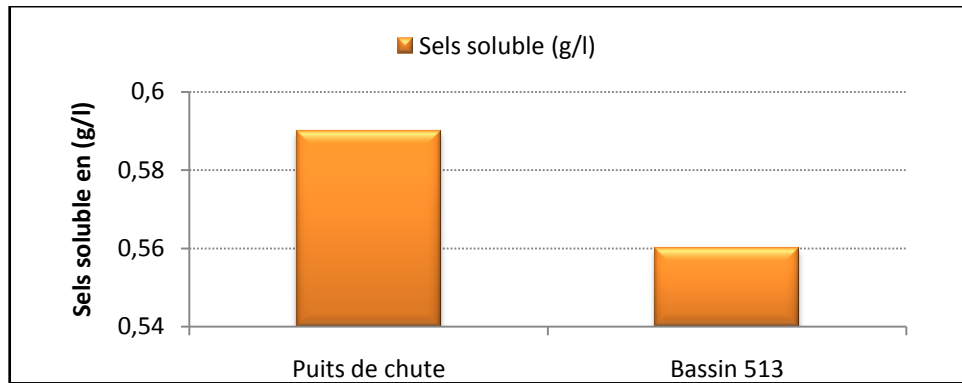


Figure 69: variations des teneurs en sels solubles des eaux de surface.

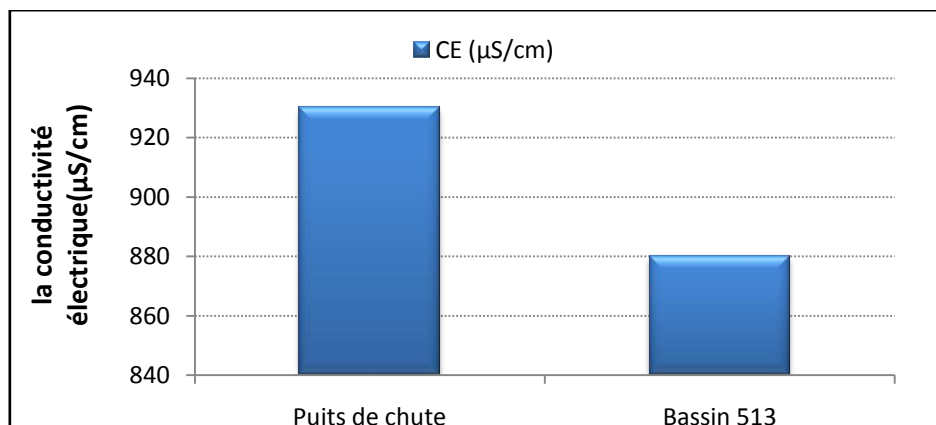


Figure 70: variation de la conductivité électrique des eaux de surface prélevées.

D'après le graphe ci-dessus, on remarque que la conductivité électrique est élevée au niveau du puits de chute (930 µS/cm) par rapport au bassin 513(880 µS/cm).

Cette augmentation de la conductivité électrique est due à la fois au temps de séjour des eaux dans le puits de chute et à l'évaporation vu la surface de contact Eau/Air.

Salinité	Aucune restriction pour l'irrigation	Restriction modérée	Forte restriction pour l'irrigation
CE (mmhos/cm)	< 750	750 à 3000	> 3000

Tableau 31: Normes d'appréciation de la salinité de l'eau d'irrigation (Directives FAO pour la qualité des eaux d'irrigation).

Les conductivités électriques des eaux de surface sont inférieures à 3000µS/cm. Donc les eaux de surface ne présentent aucune restriction pour l'irrigation.

Appréciation globale de la qualité du paramètre conductivité :

Classe de qualité	Excellente	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
CE (µS/cm)	100 -750	750 – 1300	1300 – 2700	2700 – 3000	3000– 7000

Tableau 32: Grille d'évaluation de la qualité des eaux superficielles(Normes Ministère Energie, Mines Eaux et Environnement)

Dans la grille d'appréciation de la qualité des eaux superficielle, les eaux de surface sont classées en qualité bonne pour le paramètre conductivité électrique. La salinité des eaux superficielle est très faible.

III.2.2.2.2 - pH des eaux de surface :

N°site	X (m)	Y(m)	pH
Puits de chute	239660	100255	8,35
Bassin 513	237194	103905	8,30

Tableau 33: le pH des eaux de surface prélevées.

Classe de qualité	Excellente	Bonne	Moyenne	Mauvaise
pH	6.5 – 8.5	-	8.5 – 9.2	3.5 – 6.5 et 9.2 – 10

Tableau 34: Appréciation de la Qualité globale des eaux de surface : paramètre pH.

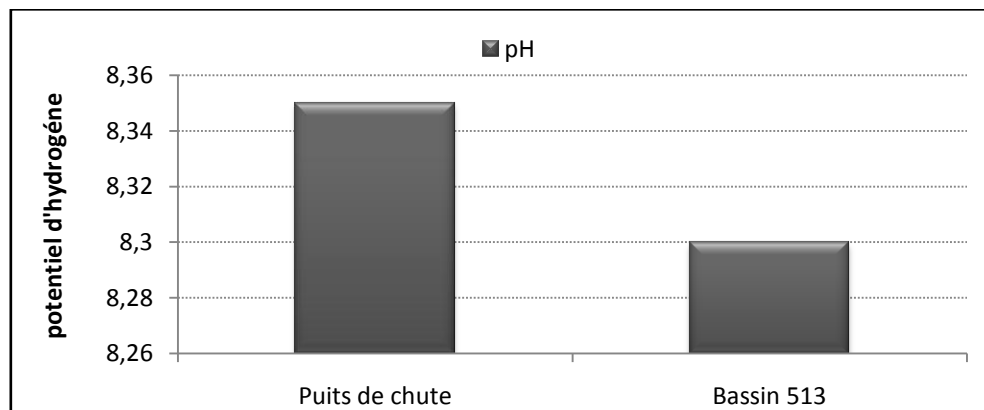


Figure 71: variation du pH des eaux de surface prélevées.

On remarque que le pH des eaux prélevées au niveau du bassin 513 est plus élevé que celui des eaux prélevées du puits de chute. Les eaux des deux sites sont d'excellente qualité.

III.2.2.2.3 - Le bilan ionique des eaux de surface :

Sites	Na (mg/l)	K (mg/l)	Mg (mg/l)	Ca (mg/l)	HCO ₃ (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)
puits de chute	139,17	4,32	12,1	20	67,1	71	192
Bassin 513	106,35	4,47	14,52	32	61	53,25	163,2

Tableau 35: le bilan ionique des eaux de surface.

Paramètres		Valeurs limites
Na (mg/l)	Irrigation de surface	69 mg/l
	Irrigation sous pression (mg/l)	9mg/l
Cl (mg/l)	Irrigation de surface	360 mg/l
	Irrigation sous pression	105 mg/l
HCO ₃ (mg/l)	Irrigation sous pression	518 mg/l
SO ₄ (mg/l)		250 mg/l

Tableau 36: Normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation.

➤ **Teneur en sulfates et bicarbonates :**

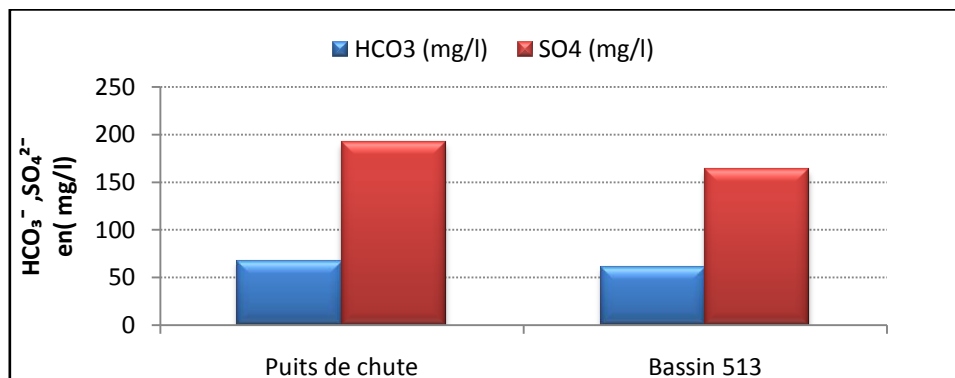


Figure 72: variations des teneurs en sulfates et bicarbonates dans les eaux de surface.

On remarque d'après le graphe ci-dessus, que la teneur des HCO³⁻ dans le puits de chute est plus élevée que celle contenue dans le bassin 513, ainsi que la teneur en SO^{4 2-}.

Les teneurs en HCO³⁻ et SO^{4 2-} ne dépassent pas les valeurs limites pour l'irrigation et sont généralement classées dans de bonne qualité.

➤ **Teneur en chlorure et sodium**

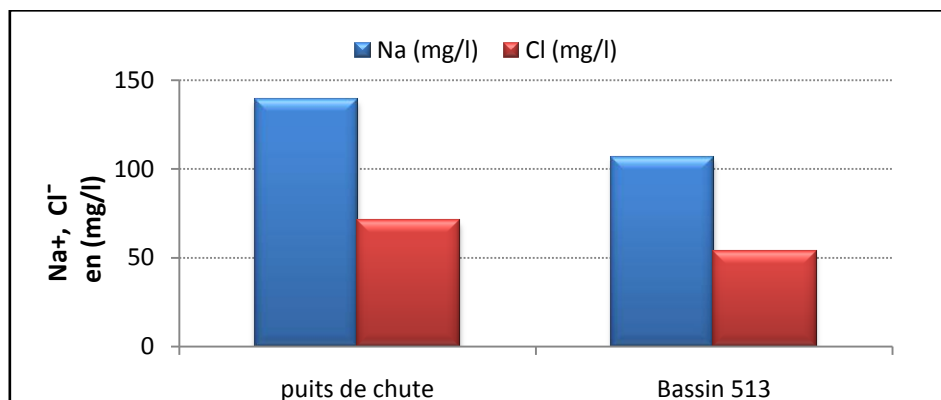


Figure 73 : variations des teneurs en chlorure et sodium dans les eaux de surface

En observant le graphe, on remarque que la teneur du sodium est très élevée dans l'échantillon d'eau de surface prélevé au niveau du puits de chute (139,17mg/l) contrairement à l'échantillon d'eau prélevé au niveau du bassin 513 dont la teneur du sodium est plus faible(106,35mg/l).

De même, la teneur en chlorure dans l'eau du puits de chute est beaucoup plus élevée que celle contenue dans l'eau du bassin 513.

Les teneurs des deux éléments ne dépassent pas les valeurs limites pour l'irrigation.

➤ **Teneur en magnésium et calcium :**

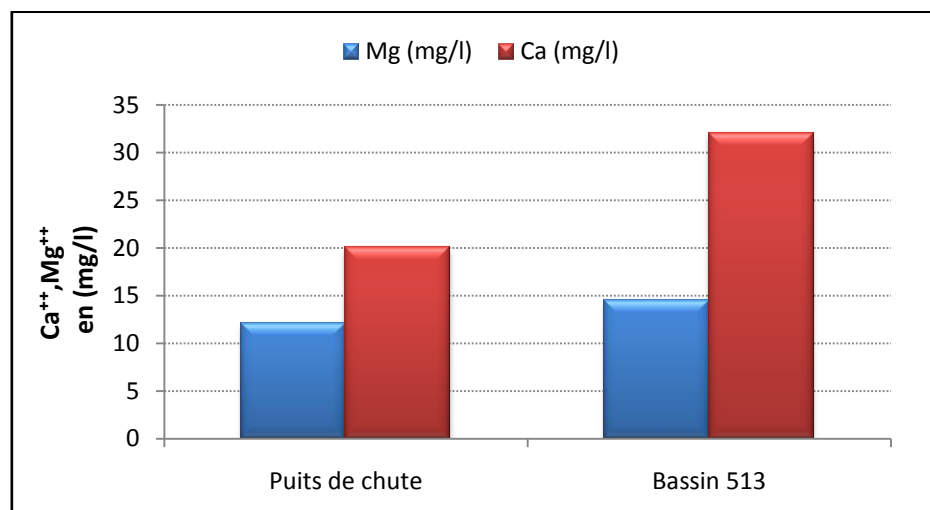


Figure 74: variations des teneurs en magnésium et calcium dans les eaux de surface.

La teneur en calcium dans le puits de chute est moins élevée que celle contenue dans l'eau du bassin 513.

Les teneurs en magnésium dans les deux sites se rapprochent avec une faible augmentation au niveau du bassin 513.

III.2.2.2.4 - Faciès des eaux de surface :

➤ Diagramme de Piper

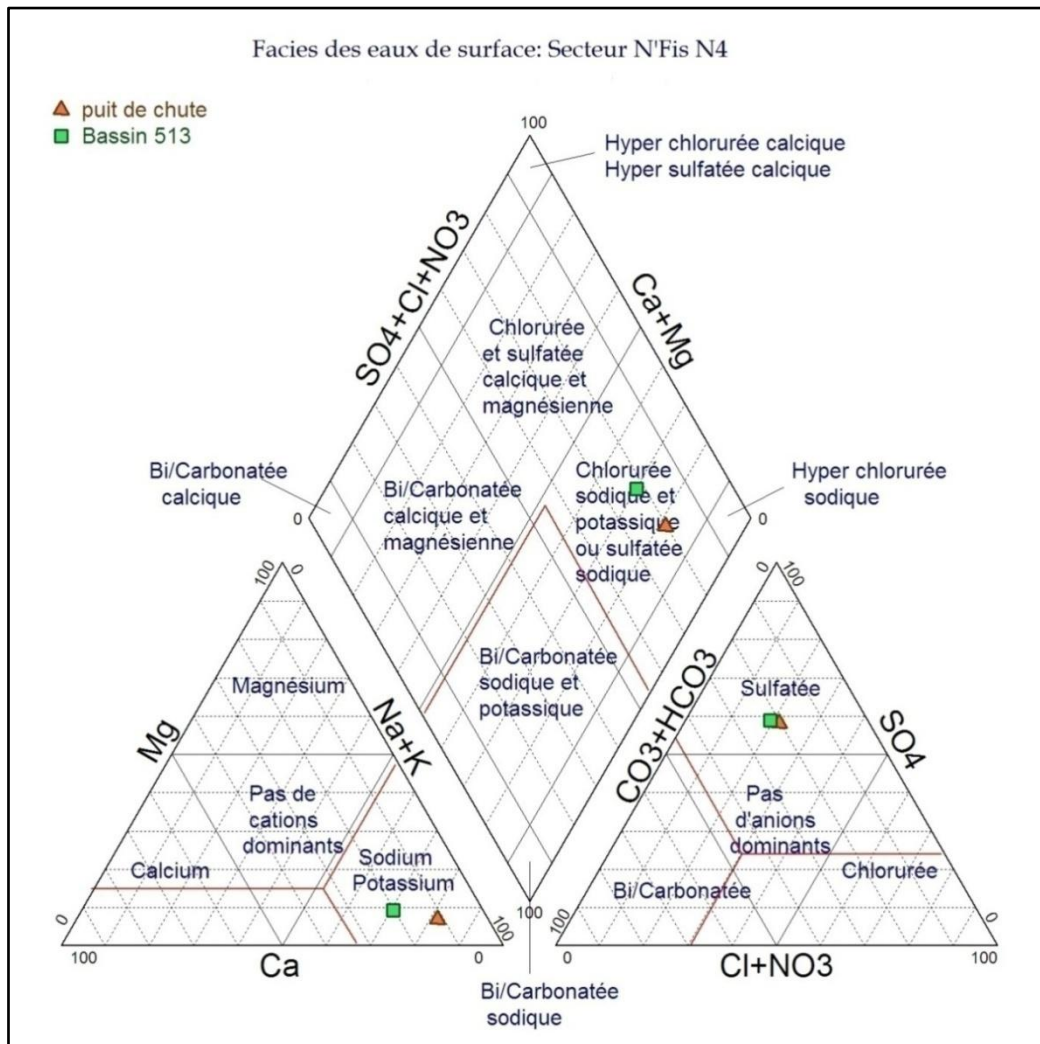


Figure 75: faciès des eaux de surface-diagramme de Piper.

Le faciès des eaux de surface est un faciès chloruré sodique et potassique ou sulfaté sodique.

Les anions dominants sont les sulfates et les cations sont à dominance sodium.

➤ **Diagramme de Shoeller-Berkaloff**

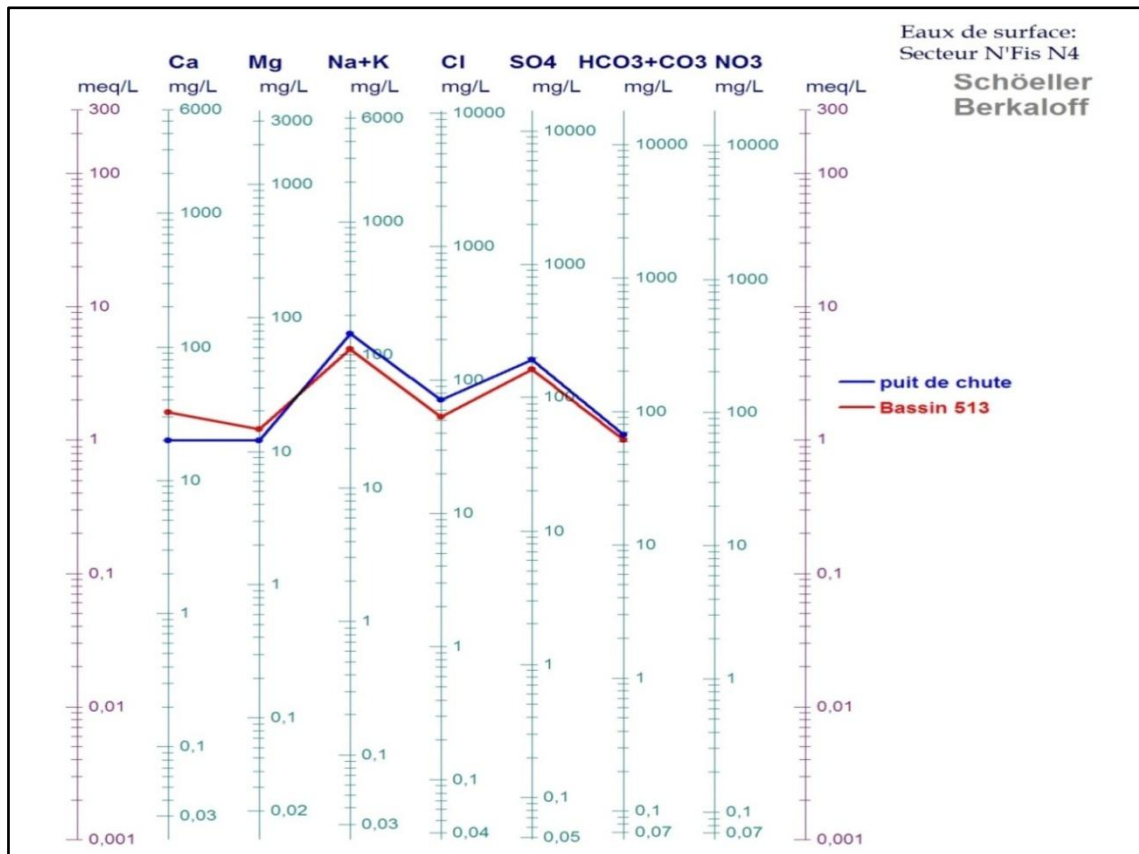


Figure 76: faciès des eaux de surface-diagramme de *Schoeller Berkaloff*.

Les eaux de surface ont des faciès hydro chimiques de type chloruré sodique et potassique ou sulfaté sodique.

- Concernant le calcium, on remarque que les deux sites ont des valeurs légèrement décalées contrairement au magnésium où on remarque une intersection entre les lignes.
- Les plus grandes variations entre les eaux de surface prélevées sont marquées au niveau de la teneur en $\text{Na}^+ + \text{K}^+$.
- Les lignes de concentrations des ions sont presque parallèles concernant toutes les autres teneurs en chlorure, sulfate et bicarbonate.

Conclusions

Les mesures effectuées au niveau du secteur d'étude (N'Fis N4) concernent en premier lieu la conductivité électrique et la salinité des sols, des eaux souterraines et des eaux de surface, vu l'importance de ces deux critères.

La salinité des eaux et des sols, qu'elle soit due au sel naturellement présent dans le sol et dans l'eau (origine naturelle) ou au sel apporté par l'eau ou par les engrais utilisés (origine anthropique), présente un facteur déterminant pour le fonctionnement du système d'irrigation, pour la qualité des sols et des eaux d'une part et pour la culture pratique d'autre part.

Concernant l'impact sur **le réseau d'irrigation**, les grandes valeurs de salinité augmentent le risque de sédimentation des sels au niveau des goutteurs (goutte à goutte). Ce qui crée des problèmes de pression au niveau du réseau d'irrigation et par conséquent une rupture de l'alimentation au niveau des plantes et une diminution de la durée d'amortissement du système.

De même, une salinité élevée dans **le sol et les eaux**, signifie une grande concentration d'ions dissous dans le sol ; ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par la plante. Cette salinité réduit la quantité de l'eau disponible pour la culture et influe sur sa qualité ; elle provoque aussi des perturbations au niveau de l'équilibre de l'écosystème.

En outre, la salinité provoque une croissance des plantes ; une augmentation de la concentration de certains ions qui ont un effet de déséquilibre ou un effet toxique sur le métabolisme végétal (effet ionique spécifique) ; et des brûlures au niveau de la zone racinaires.

Donc **les solutions** proposées se résument comme suite :

- ✚ Au niveau des réseaux d'irrigation, on peut utiliser des produits chimiques tels que le chlore ou l'acide sulfurique qui sont également utilisés pour nettoyer périodiquement le système d'irrigation.
- ✚ Pour éviter l'accumulation du sel au niveau des sols, il est recommandé d'utiliser des eaux d'irrigation douces ; sinon il faut irriguer avec des grandes quantités d'eau pour lessiver le sel.

- ✚ Pour les cultures, il vaut mieux utiliser des cultures qui tolèrent les grandes concentrations en sel.

Généralement, les résultats des mesures de la conductivité électrique et des analyses de la salinité des sols obtenues (Tableaux 9 et 10) montrent un impact limité des eaux d'irrigation sur la qualité des sols dont la conductivité ne dépasse pas 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Egalement, selon les résultats de variation de la conductivité électrique des eaux souterraines de la zone d'étude (valeur maximale de 609 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au niveau du puits 2 et minimale de 515 $\mu\text{S}/\text{cm}$ puits 3), on constate que ces dernières sont de qualité bonne à excellente vis-à-vis de la conductivité électrique. Donc, elles ne représentent aucun danger pour l'irrigation et pour le sol.

La salinité des eaux souterraines varie de 0,42 (g/l) au niveau du puits 3 et 0,49 (g/l) au niveau du puits 2. Donc, ces eaux sont à risque nul par rapport à la salinité ; de même ces eaux sont aptes pour l'irrigation avec des restrictions modérées.

Concernant les eaux de surface, leur conductivité électrique est moyenne ; elle variée de 704 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Bassin 513) à un maximum de 749 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (puits de chute), tandis que la salinité a la même tendance que la conductivité ($R=0,95$). La Salinité minimale est enregistrée au niveau du bassin 513 (0,56 g/l) avec la valeur minimale au niveau du puits de chute (0,59 g/l).

Selon la grille d'appréciation de la qualité des eaux superficielles (Tableaux 30 et 31) pour les deux critères de salinité et de la conductivité électrique, les eaux de surface sont classées en qualité bonne pour les deux paramètres (conductivité électrique et salinité).

Le pH du sol mesuré dans le secteur d'étude varie entre un minimum de 9,13 et un maximum de 9,71. Généralement, les sols sont très alcalins. Le degré d'acidité ou de basicité du sol joue un rôle très important sur l'assimilation des éléments nutritifs par la plante. Dans un milieu basique, le fer, le manganèse, le bore, le cuivre et le zinc sont moins facilement assimilables par la plante.

Le pH influence la forme et la disponibilité des éléments nutritifs dans l'eau d'irrigation. Il devrait se situer entre 5,5 et 6,5. À ces valeurs, la solubilité de la plupart des micro-éléments est optimale. Ce n'est pas le cas dans notre étude où le pH des eaux de surface (qui varie entre 8,45 et 8,60) et des eaux souterraines (qui varie entre 8,30 et 8,35) est très alcalin.

Généralement le goutte à goutte (l'irrigation sous pression) **ne présente aucun impact sur les sols et sur les eaux du secteur de N'Fis N'4**, donc aucun danger pour l'irrigation. En outre, c'est le procédé le plus efficace pour une irrigation économique et productive. Cependant l'inconvénient majeur demeure le coût de plus ou moins élevé et qui n'est pas à la portée du fellah marocain. Peut-être, dans un avenir proche, l'Etat et les offices de mise en valeur agricole inventeraient d'autres méthodes d'irrigation sous pression plus rentables, économique et à la portée de tout un chacun.

Annexe :

Game d'étalonnage du <u>potassium</u> assimilable	
5ppm	27
10ppm	51
15ppm	74
20ppm	93
25ppm	100

Game d'étalonnage du <u>phosphore</u> assimilable	
1	0
2	0,016
3	0,043
4	0,07
5	0,102
6	0,16
7	0,222

Game d'étalonnage du <u>sodium</u>	
5	24,2
10	47
15	66,4
20	84
25	100

Tableaux : Gammes d'étalonnage du potassium assimilable, phosphore assimilable et du sodium.

CAMPAGNES	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	
1968	-1969	0,0	0,0	0,0	68,4	36,0	9,1	72,7	8,0	42,0	12,5	13,5	5,1
1969	-1970	1,0	11,3	80,3	0,0	45,2	16,0	34,5	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1970	-1971	0,0	38,0	10,5	55,4	69,3	32,5	61,0	56,5	24,0	0,0	0,0	0,0
1971	-1972	8,2	20,5	44,6	3,0	21,7	60,7	21,0	17,7	8,0	0,0	0,0	0,0
1972	-1973	0,0	25,2	33,5	28,2	17,2	10,3	11,9	24,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1973	-1974	11,0	20,0	29,7	62,8	0,0	29,4	45,2	55,2	0,0	6,0	0,0	0,0
1974	-1975	0,0	0,0	0,0	0,0	16,5	17,4	6,8	138,3	6,4	0,0	0,0	0,0
1975	-1976	0,0	0,0	0,0	16,9	0,0	32,3	28,7	52,5	44,3	0,0	0,0	0,0
1976	-1977	1,9	45,7	0,0	23,9	34,6	3,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1977	-1978	0,0	39,0	43,0	31,0	74,0	22,0	0,0	27,0	32,0	0,0	0,0	2,1
1978	-1979	28,7	34,9	0,0	42,1	27,2	27,6	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1979	-1980	0,4	47,0	0,0	2,0	24,6	46,4	66,3	2,2	3,4	0,0	0,0	0,0
1980	-1981	0,0	5,8	56,0	0,0	1,8	15,2	14,3	1,5	1,5	0,0	0,0	0,0
1981	-1982	0,0	8,5	0,0	13,4	62,3	13,9	30,7	49,9	83,1	0,0	4,2	0,0
1982	-1983	0,0	0,0	22,1	9,9	0,0	36,6	7,9	1,2	8,3	0,0	0,0	0,0
1983	-1984	0,9	0,8	52,8	12,8	9,0	0,0	47,6	10,2	10,7	0,0	0,0	0,0
1984	-1985	0,0	0,0	56,8	3,0	87,2	11,0	3,4	9,2	4,4	0,0	0,0	0,0
1985	-1986	3,5	25,4	21,3	32,0	18,7	31,5	3,4	2,7	20,6	12,1	2,0	0,0
1986	-1987	23,7	5,0	26,7	0,0	31,9	38,1	9,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1987	-1988	0,0	17,3	10,8	39,6	57,9	34,6	31,8	0,0	7,2	0,0	5,0	0,0
1988	-1989	0,0	11,8	86,5	0,0	22,5	14,1	39,0	39,0	0,0	0,0	1,5	24,0
1989	-1990	0,3	23,7	12,7	29,9	11,5	0,0	43,5	19,5	5,0	0,0	0,0	0,0
1990	-1991	0,0	2,3	4,3	24,0	0,0	87,1	87,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0
1991	-1992	15,8	3,5	7,3	5,5	0,0	22,7	7,3	63,8	0,0	0,0	0,0	0,0
1992	-1993	0,0	9,0	15,5	2,0	34,5	1,5	17,9	2,4	7,4	0,0	0,0	0,0
1993	-1994	0,0	25,0	66,5	7,0	21,5	28,0	63,8	0,0	0,0	0,0	6,0	0,3
1994	-1995	0,0	54,0	1,5	1,0	0,0	51,9	49,5	68,7	0,0	14,0	0,0	0,0
1995	-1996	9,0	1,5	7,0	62,5	99,5	38,7	78,1	10,0	4,0	9,0	0,0	0,0
1996	-1997	3,0	2,0	47,5	49,8	40,5	0,0	42,0	132,0	13,0	8,0	0,0	0,0
1997	-1998	18,0	15,0	22,0	43,2	29,3	40,5	10,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1998	-1999	0,0	0,0	0,0	40,3	51,5	46,2	39,0	0,0	6,0	0,0	0,0	2,0
1999	-2000	0,0	90,6	17,3	18,5	8,3	0,0	0,0	16,4	0,0	0,0	0,0	0,0
2000	-2001	0,0	10,7	7,1	41,2	29,5	0,0	3,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0
2001	-2002	2,5	0,0	1,0	83,2	0,0	3,5	40,6	71,6	7,5	0,0	0,0	0,0
2002	-2003	0,0	0,0	85,1	21,9	8,7	6,2	21,6	22,0	2,0	0,0	0,0	0,0
2003	-2004	0,0	16,7	70,0	34,9	0,0	22,2	28,8	10,9	26,0	0,7	0,0	0,0
2004	-2005	0,0	42,2	19,1	29,4	0,0	14,3	19,5	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0
2005	-2006	0,5	29,0	15,5	33,2	74,6	15,3	6,5	33,4	4,0	0,0	0,0	0,0
2006	-2007	0,0	10,6	15,0	8,0	3,5	25,3	0,0	16,7	11,5	0,0	0,0	5,0
2007	-2008	0	8	37	6	19	17	4	1	11,9	0	0	0
2008	-2009	41,3	58,3	53,9	22,8	46,0	87,0	46,2	0,0	3,9	4,8	0,0	0,0
2009	-2010	17,1	3,5	4,7	40,3	53,5	56,2	23,5	0,0	0,0	0,0	0,0	15,9
2010	-2011	2,0	12,6	31,7	26,2	12,4	3,2	19,5	72,3	62,1	0,0	0,0	0,0
2011	-2012	0,0	18,3	62,1	0,0	18,7	0,6	6,9	29,5	0,0	0,0	0,0	0,0
2012	-2013	30,0	36,0	16,2	4,8	7,2	11,0	30,8	11,6	3,4	0,0	3,5	0,0
2013	-2014	38,7	0,0	13,3	11,9	48,5	4,9	27,3	26,7	0,0	0,0	0,0	0,0
Moyenne		5,6	18,0	26,3	23,7	27,7	23,6	27,3	24,2	10,1	1,5	0,8	1,2

Tableau : variations des précipitations moyennes mensuelles à la station d'Oudaya

(Années 1968 à 2014)

Bibliographie :

AGRINTER. (2006) : Suivi et contrôle de l'impact de l'irrigation sur les ressources en sols et en eaux dans le périmètre du Haouz, Rapport annuel, l'Office Régional de la Mise en Valeur Agricole, p.35.

BENJELLOUN S. et EL OUAHABI K. (2013) : Performance de l'irrigation localisée et son impact sur le sol dans le périmètre de N'fis, Mémoires de fin d'études, Faculté des sciences et techniques de Marrakech, p. 57.

BERROUCH H. (2011) : Etude de la qualité des eaux d'irrigation et du sol dans le périmètre de Saada, Mémoire de fin d'études, Faculté des sciences et techniques de Marrakech, p.55.

CHADI H. et RESSA B. (2010) : Gestion du barrage Lalla TAKERKOUST (MAROC), , Mémoire de fin d'études, Faculté des sciences et techniques de Marrakech, p.70.

EL MOSTAGE L. et KABBAJ D. (2012) : Le projet de la reconversion collective de l'irrigation gravitaire à l'irrigation localisée au Maroc - Périmètre de Tassaout Amont, secteur d'Oulad Gaïd - Etude préliminaire, Mémoire de fin d'études, Faculté des sciences et techniques de Marrakech, p.65.

LABAALI K. (2009) : Caractéristiques chimiques du sol des oliviers en période de fin-floraison et début-nouaison (région de Marrakech), Mémoire de fin d'études, Faculté des sciences et techniques de Marrakech, p.56.

Labomag.(2013) : Présentation de laboratoire pour la réalisation de campagne d'analyse de caractérisation de référence des paramètres environnementaux au niveau de la zone de reconversion à l'irrigation localisée dans le périmètre du Haouz, secteur N'Fis N1-2, Rapport d'études, l'Office Régional de la Mise en Valeur Agricole, p.29.

M.A.P.M. / DIRECTION DE L'IRRIGATION ET DE L'AMENAGEMENT DE L'ESPACE AGRICOLE. (2008) : Etude de la structuration et de dévolution du projet de PPP pour la mise en gestion déléguée du service de l'eau, Rapport de faisabilité-Atlas Cartographique, Ministre de l'agriculture et de la pêche maritime, p.29.

ORMVAH. (1995) : Etude d'amélioration de l'exploitation des systèmes d'irrigation, Rapport typologique, l'Office Régional de la Mise en Valeur Agricole, p.37.

Webographie:

http://www.lano.asso.fr/web/calcaire_actif.html

<http://www.agro-systemes.com/lexique-agronomique.inc.php?element=ph>

http://www.oieau.fr/ReFEA/fiches/AnalyseEau/AnalyseEau_PresGen.htm

<http://www.agriculture.gov.ma/>

<http://www.water.gov.ma/>

<http://www.ecosociosystemes.fr/texture.html>

<http://www.agr.gc.ca/fra/science-et-innovation/pratiques-agricoles/sol-et-terre/le-sol-et-l-eau/texture-du-sol-et-qualite-de-l-eau/?id=1197483793077>