



Faculté des sciences et
Techniques –Marrakech



Office Régional de la Mise en
Valeur Agricole Haouz

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE

Licence Sciences et Techniques

Option : Eau et Environnement

Mémoire de fin d'études

**Etude de la Qualité d'eaux et du sol avant la
reconversion à l'irrigation localisée dans la
zone d'OULAD SAID**

Réalisée par :

NOUHAILA ELBAKHOUC

MAJDA EL MACHICHI

Soutenu : **le 25 JUIN 2019**

Devant le jury :

Madame A.REDDAD

Encadrante

FSTG, Marrakech

Monsieur A.TOUIL

Examineur

FSTG, Marrakech

Année universitaire : 2018 - 2019

Dédicace

A nos chers parents pour leurs amour et sacrifices.

A nos sœurs et frères pour leur soutien et encouragement.

A tous nos amis.

**A ces professeurs bienveillants, nous dédions le fruit de notre carrière
estudiantine.**

**A ceux qui se dévouent sans cesse pour nous éclaircir la voie et les immenses
horizons du savoir et dont la vocation mérite largement notre respect.**

**A tous qui ont contribué de près ou du loin à l'élaboration de ce modeste
travail.**

Remerciement

En préambule à ce mémoire nous remerciant ALLAH qui nous aide et nous donne la patience et le courage durant ces longues années d'étude. Nous souhaitant adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

Nous tenant à remercier vivement tout d'abord l'Office Régionale de la Mise en Valeur Agricole du Haouz (ORMVAH) de nous avoir accueillis pour effectuer notre stage de fin d'études, nous offrant ainsi la possibilité d'acquérir une expérience professionnelle très enrichissante.

Nous remercions tout particulièrement Monsieur **M.ESSHAIMI** Responsable du Laboratoire de l'ORMVAH, notre encadrant professionnel durant notre stage à l'ORMVAH, pour ses orientations, conseils ainsi que pour le temps qu'il a bien voulu nous consacrer tout au long de ce stage.

Nos vifs remerciements s'adressent à Monsieur **H. AALIANE**, Madame **N. NEHHAZ**, Madame **F.LITEM** et Monsieur **M. MORENO** au sein du Laboratoire pédologique d'ORMVAH, pour leurs soutiens et conseils afin de mener à bien nos analyses chimiques, et pour avoir donné l'occasion extraordinaire de réaliser notre travail et avoir eu la patience de répondre à nos innombrables questions.

Nous tenant à remercier sincèrement Madame **A. REDDAD** Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques, au Département des Sciences de la Terre qui en tant que l'encadrante de mémoire, qu'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'elle a bien voulu nous consacrer et sans qui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.

Mes remerciements vont à Monsieur **A.TOUIL** Professeur à la faculté des sciences et techniques Marrakech, département des sciences de la terre d'avoir accepté de juger ce travail

Nous voudrions exprimer nos reconnaissances envers les amis et collègues qui nous ont apporté leur soutien moral et intellectuel tout au long de notre démarche.

On n'oublie pas nos parents pour leur contribution, leur soutien et leur patience.

Enfin, nous tenons à remercier tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Merci à tous et à toutes

Résumé

De par son climat, l'étendue de ses domaines cultivables, la richesse et la diversité de ses potentialités naturelles et humaines, la région de Marrakech-Tensift-Al Haouz dispose d'atouts pour que la mise en œuvre du Plan Maroc Vert soit l'instrument de promotion du secteur agricole dans sa globalité mais aussi de solidarité envers la petite agriculture.

Le secteur agricole joue un rôle vital dans le développement de la zone du Haouz. Néanmoins, l'agriculture dans la zone du Haouz souffre de plusieurs contraintes, qui sont les mêmes rencontrées au niveau la région d'Oulad Said d'où vient le thème de notre étude, pour l'élaboration d'un suivi de la qualité des sols et des eaux dans les périmètres irrigués de qui est très nécessaire pour la mesure de la durabilité du système de production dans cette région.

Dans ce but, on a effectué un ensemble d'analyses chimiques au sein du laboratoire de l'Office Régional de la Mise en Valeur Agricole du Haouz, afin d'identifier la qualité de 20 échantillons d'eau (de surface, et souterraines) d'irrigation et 26 échantillons de sol (S.O S 1, S.O.S 2, et S.O.S...) appartenant à la zone de reconversion à l'irrigation localisée dans le secteur Oulad Said.

Les résultats des analyses des échantillons du sol, de le secteur étudié Oulad Said exposent une classe de sol généralement neutre, non salin, et à moyenne teneur en matière organique.

Cependant les échantillons d'eau de surface sont légèrement basiques et basiques, avec un taux de salinité modéré, et apport moins élevé de Sodium. Quant à la conductivité électrique, les analyses ont montré que ce paramètre est très élevé pour l'eau souterraine et un pH on peut dire neutre.

Les résultats des mesures de tous ces paramètres montrent que l'usage de l'irrigation localisée est valable pour ce secteur (Oulad Said), puisque la région ne souffre pas du problème de la matière en suspension lié à la turbidité de l'eau. Mais, on trouve des problèmes au niveau du sol, qui est dépourvu d'argile ceci provoque la battance. En plus la teneur en matière organique qui diminue la fertilité du sol et favorise encore ce problème de battance.

Mots clés : OULAD SAID, eau, sol, qualité, irrigation localisée, battance

Sommaire

Dédicace	1
Remerciement	2
Résumé	3
Liste des figures	7
Liste des photos	8
Liste des tableaux	9
Liste des abréviations	10
Introduction générale	11
Problématique	12
Partie I : Le cadre général	13
1. Présentation de l'ORMVAH	14
1.1 Histoire	14
1.2 Missions	15
1.3 Structure	15
1.4 La zone d'intervention	16
1.4.1 Situation géographique	16
1.4.2 Caractéristiques climatiques	16
1.4.3 Les ressources naturelles	17
1.4.3.1 Ressources en terre	17
1.4.3.2 Ressources en eau	18
• Hydrologie	18
• Hydrogéologie	19
1.4.4 Périmètre de la grande hydraulique	21
2. Irrigation au Maroc	23
2.1 Différentes techniques d'irrigation	24
2.1.1 Irrigation gravitaire	24
2.1.2 Irrigation par aspersion	25
2.1.3 Irrigation localisée	26
2.2 Impact de l'irrigation	28
Partie II : La zone d'étude	30
1. La zone d'étude	31

1.1 Situation géographique de Tassaout Amont	31
1.2 Présentation du sous-secteur d'étude d'Oulad Said	32
1.2.1 Situation géographique	32
1.2.2 Les caractéristiques de la région	33
A. Climat	33
B. Ressources en eau	34
C. Cultures présentes dans la zone d'étude	35
Partie III : Le laboratoire de l'ORMVAH	36
1. Laboratoire de l'ORMVAH	37
1.1 Introduction	37
1.2 Objectifs du laboratoire	37
1.3 Les différentes analyses effectuées au laboratoire	38
1.3.1 Prospection	38
A. Techniques d'échantillonnage des eaux	38
B. Technique d'échantillonnage du sol	40
1.3.2 Les Analyses effectuées au sein du laboratoire	42
a) Les analyses du Sol	42
b) les analyses de l'Eau	42
1.4 Les moyens du laboratoire	42
1.4.1 Moyens humains	42
1.4.2 Moyens matériels	42
1.5 Intérêt des analyses du sol et de l'eau d'irrigation	43
1.6 Interprétation et recommandation	43
2. D'autres taches du laboratoire	43
1.7.1 Encadrement de l'agriculteur	43
1.7.2 Cellule environnementale	43
Partie IV : Analyses et interprétations	45
1. Analyses et interprétations	46
1.1 Les paramètres à analysés	46
1.2 Prélèvement des échantillons	46
1.3 Analyse du sol	48
1.3.1 La situation géographique des points de prélèvement	49
1.3.2 Les coordonnées Lambert des points des prélèvements des échantillons	49
1.3.3 Méthodes d'analyse	48
1.4 Les paramètres analysés du sol	49

1.4.1 pH	50
1.4.2 Conductivité électrique	50
1.4.3 Matière organique	56
1.4.4 Stabilité structurale	59
1. 5 Paramètres d'analyses de l'eau	64
1.5.1Méthodes d'analyses	64
1.5.2Les paramètres à analysés	65
1.6 Les mesures des eaux de souterraines	67
1.7 Les mesures des eaux de surface	67
-interprétation des résultats des Eaux souterraines	68
• pH	68
• Conductivité	68
• SAR	69
• Nitrate	70
- interprétation des résultats des Eaux de surface	71
• pH	71
• Conductivité	71
• SAR	72
• Matière en suspension	73
• Orthophosphate	74
1.8 Le bilan ionique des eaux	74
• Calcium	75
• Sodium	75
• Le magnésium	75
1.8.1 Le bilan ionique des eaux souterraines.....	76
1.8.2 Le bilan ionique des eaux de surface	76
Conclusion	79
Recommandation	80
Bibliographie	81
Webographie	82
Annexes	83



Liste des figures :

Figure 1 : carte de la position géographique et périmètres irrigués du HAOUZ (ANCFCC et NOVEC)

Figure 2 : pluviométrie moyenne d'ORMVAH

Figure 3 : développement de l'irrigation au Maroc. (ANAFID 2011)

Figure 4: réseau du système d'irrigation goutte à goutte

Figure 5 : carte de la localisation du secteur d'étude

Figure 6 : la méthode d'échantillonnage des eaux souterraines

Figure 7 : la méthode d'échantillonnage des eaux de surface

Figure 8 : coordonnées Lambert des points de prélèvement des échantillons du sol dans le périmètre

Figure 9 : variation et temporelle du pH du sol dans le secteur OULAD SAID

Figure 10 : variation spatiale temporelle de la conductivité électrique du sol de secteur OULAD SAID

Figure 11 : variation spatiale et temporelle de la matière organique du sol dans le secteur OULAD SAID

Figure 12 : variation spatiale et temporelle de la Stabilité structurale du sol dans le secteur OULAD SAID

Figure 13 : variation spatiale et temporelle du pH de l'eau dans le secteur OULAD SAID (Eaux souterraines)

Figure 14 : variation spatiale et temporelle de la conductivité de l'eau dans le secteur OULAD SAID (Eaux souterraines)

Figure 15 : variation spatiale et temporelle du SAR dans le secteur OULAD SAID (Eaux souterraines)

Figure 16: variation spatiale et temporelle des nitrates dans le secteur OULAD SAID (Eaux souterraines)

Figure 17 : variation spatiale et temporelle du pH de l'eau dans le secteur OULED SAID (Eaux de surface)

Figure 18 : variation spatiale et temporelle de la conductivité dans le secteur OULAD SAID (Eaux de surface)

Figure 19 : variation spatiale et temporelle du SAR dans le secteur OULAD SAID (Eaux de surface)

Figure 20 : variation spatiale et temporelle de MES dans le secteur OULAD SAID (Eaux de surface)

Figure 21 : variation spatiale et temporelle des Orthophosphates (Eaux de surface)



Liste des photos :

Photo 1 : L'irrigation de surface

Photo 2 : L'irrigation par aspersion

Photo 3 : L'irrigation localisée

Photo 4 : Outil de prélèvement des échantillons de soi – Tarière –

Photo 5 : Numérotation des échantillons de sol

Photo 6 : Séchage des échantillons de sol à l'air ambiant

Photo 7 : Broyage et tamisage des échantillons de sol à 2mm

Photo 8 : Balance électronique

Photo 9 : pH-mètre (laboratoire ORMVAH)

Photo 10 : Agitateur mécanique

Photo 11 : Conductimètre

Photo 12 : Formation d'une croute de battance

Photo 13 : Ethylène diamine

Photo 14 : Indicateur Tétracétique coloré (le NET)



Liste des tableaux :

Tableau 1 : la structure d'ORMVAH

Tableau 2 : Les périmètres d'ORMVAH

Tableau 3 : Périmètres d'irrigation à l'ORMVAH

Tableau 4 : La situation actuelle de la répartition des superficies irriguées (ORMVA)

Tableau 5 : Avantages et inconvénients de l'irrigation localisée

Tableau 6 : Caractéristiques climatiques d'OULAD SAID

Tableau 7 : Précipitations mensuelles moyennes (mm)

Tableau 8 : Température mensuelles, annuelles maximales, minimales et moyennes en °C

Tableau 9 : Evapotranspiration ETO en mm

Tableau 10 : Apports moyens annuels dans le bassin versant alimentant le barrage Moulay Youssef

Tableau 11 : Plan de culture au niveau des sous-secteurs OULAD SAID – TAOURIRT et SKHIRAT

Tableau 12 : Répartition des échantillons prélevés

Tableau 13 : Coordonnées Lambert des points de prélèvement d'OULED SAID

Tableau 14 : Méthodes analyses du sol

Tableau 15 : Résultats d'analyse du pH du sol

Tableau 16 : Répartition des classes des pH des sols étudiés selon les normes DIAEA/DRHA/SEEN(2008)

Tableau 17 : Résultats de mesure de la conductivité

Tableau 18 : Répartition des classes de la salinité des sols selon les normes DIAEA/DRHA/SEEN (2008)

Tableau 19 : Les valeurs de la matière organique

Tableau 20 : Répartition des classes du sol selon leur teneur en matière organique (DIAEA/DRHA/SEEN(2008))

Tableau 21 : Valeurs de la stabilité structurale

Tableau 22 : Classe de stabilité, battance et érosion hydrique en fonction

Tableau 23 : Méthodes d'analyse de l'eau

Tableau 24 : Synthèse des résultats des analyses des eaux souterraines des compagnes Hiver 2017 et Eté 2018

Tableau 25 : Synthèse des résultats des analyses des eaux surface des compagnes Hiver 2017 et Eté 2018

Tableau 26 : Grille d'évaluation de la qualité des eaux souterraines

Tableau 27 : Barème d'appréciation de la salinité de l'eau pour l'irrigation

Tableau 28 : Classement des risques de sodicité de des eaux selon le SAR

Tableau 29 : Normes d'appréciation de la salinité de l'eau d'irrigation

Tableau 30 : Grille d'évaluation de la qualité des eaux superficielles

Tableau 31 : Interprétation des teneurs en MES des eaux

Tableau 32 : Normes du phosphore assimilable

Tableau 33 : Le bilan ionique des trois échantillons d'eau d'OULAD SAID (mg/l)

Tableau 34 : Le bilan ionique des trois échantillons d'eau d'OULAD SAID (mg/l)



Les abréviations :

PIB : Le produit intérieur brut

MADRPM : Ministre de l'agriculture de la pêche maritime, développement rural des eaux et forêt

ORMVAH : l'Office Régional de la Mise en Valeur Agriculture du Haouz

ANCFCC : Agence Nationale de la Conservation Foncière du Cadastre et de la Cartographie

NOVEC: Northern Virginia Electric Cooperative

GH: Grande Hydraulique

AUEA : Association de l'usage des eaux agricole

UTC : Ulysse Traduction et Communication

GMT : Greenwich Mean Time

TIC : Technologie de l'Information et de la Communication

AEP : Alimentation en Eau Potable

DIAEA : Directeur de l'Irrigation et de l'Aménagement de l'Espace Agricole du Département de l'Agriculture

DRHA: Danville Redevelopment and Housing Authority

EDTA : Ethylène diamine Téra-acétique

SAR : Taux d'Absorption du Sodium

SAU : surface agricole utile

Ppm : partie par million

MDW : le diamètre moyen pondéraux

NM : les normes marocaines

C01 : la campagne numéro 1 d'hiver

C02 : la campagne numéro 2 d'été

Introduction général:

Vu son climat semi-aride à aride, le Maroc connaît une instabilité quasi-structurelle quant à L'approvisionnement en eau, surtout en périodes de sécheresse. Ce qui pose le problème du Développement et de la gestion durable de la ressource en eau, ce problème résulte Essentiellement d'une part de la raréfaction croissante de la ressource en eau (diminution des Apports annuels en eau) et d'autre part à l'augmentation de la demande en eau (la croissance Démographique). En effet, le volume mobilisable par habitant passera de 662 m³ par an en 2000 à 500 m³ en l'an 2020, ce qui placera le Maroc dans la catégorie des pays à fort stress Hydrique (Debbagh, 2000).

Au Maroc, ce sont les ressources en eau disponibles beaucoup plus que la terre qui limitent le Potentiel irrigable. Globalement, les apports pluviométriques sur l'ensemble du territoire sont évalués à 150 milliards de m³ très inégalement répartis entre les différentes régions, ainsi, 15% de la superficie totale du pays reçoit presque 50% des apports pluviométriques à cette variation spatiale, s'ajoute une variation inter et intra annuelle des apports pluviométriques (Debbagh, 2000). L'agriculture irriguée au Maroc, doit faire face de plus en plus aux problèmes de raréfaction et de dégradation des ressources en eau. Pour cela, elle doit être plus efficace, productive et durable.

Dans notre pays, le sol est la ressource la moins connue par rapport à l'autre ressource naturelle telle que l'eau, l'air, les mines et les forêts. – Malgré les recherches, les études, les campagnes d'information et de vulgarisation, les problèmes de mise en valeur s'accumulent et s'amplifient : R dégradations des sols irrigués qui constituent l'une des grandes richesses du Maroc (1 million d'ha) : baisse de la teneur en matière organique, déstructuration de la structure, baisse de fertilité chimique, salinisation des sols et des eaux, pollutions des sols et des eaux. En général, il y a une baisse progressive de la productivité agricole ; R dégradations des sols non irrigués (Bour) qui couvrent l'essentiel de la SAU du pays (environ 7.7 millions d'ha) : baisse des fertilités organiques et chimiques, développement de l'érosion hydrique et éolienne, réduction de la capacité de rétention d'eau et de la réserve utile en eau des sols (aridification des régimes hydriques).

Le périmètre irrigué du Haouz compte parmi les plus anciens et les plus importants du pays, et connaît une intensification des pratiques culturales. Certes, cette intensification a un effet positif sur les rendements agricoles, mais elle présente, cependant, des incidences négatives en matière de dégradation de la qualité aussi bien des sols que des milieux récepteurs, notamment la nappes phréatiques. En effet, des études récentes ont montré dans cette région, l'existence de problèmes de salinité, sodification, engorgements et pollution nitrique des eaux souterraines (Aniba, 1997 ; Id Ahmad, 1998 ; Rahoui et al, 1999a).



Problématique :

Nous avons effectué un stage au sein du laboratoire d'ORMVA dans le but de mener une étude sur la région de OULED SAID, cette étude pratique vise le volet édaphique (qui a rapport à la nature du sol) ainsi que celui hydrique pour déceler l'effet du sol et des ressources en eau sur la mise en place d'une agriculture productive au sien de la région de l'OULAD SAID, cela nous mène à poser la problématique suivante :

- La région d'OULAD SAID se caractérise-t-elle par un sol et des ressources en eau favorables à l'installation d'une agriculture productive ?
- Le rendement agricole augmentera-t-il si nous suivons la technique d'irrigation goutte à goutte ?
- Quels sont les problèmes qui entravent l'intégration de la technique d'irrigation goutte à goutte dans le domaine agricole ? Et quelles sont les solutions efficaces permettant la résolution de ces problèmes ?

Partie 1:

Cadre Général

Introduction :

L'agriculture constitue un secteur important de l'activité économique et sociale marocaine. Cette importance apparaît dans la priorité qui lui est accordée dans les différents plans de développement mis en œuvre depuis l'indépendance et aussi par :

Sa participation au PIB : environ 20% y compris la pêche.

Sa part dans les échanges commerciaux : 30% des recettes d'exportation, 16% de la valeur des importations.

L'emploi qu'elle engendre : environ la moitié de la population active.

Dans ce cadre, le Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et des Pêches Maritimes (MADRPM) a joué un rôle central en pratiquant la politique des barrages dont les résultats sont satisfaisants, et finissant par l'initiation des neuf (9) Offices Régionaux de Mise en Valeur Agricole (O.R.M.V.A) : Tafilalt, Tadla, Ioukous, Souss-Massa- Daraa, Ouarzazate, Malouya, Gharb, Doukkala, et El Haouz. Dont ce dernier qui, depuis leur création n'ont pas cessé d'orienter leurs actions vers la promotion du secteur agricole à travers des actions d'encadrement, de vulgarisation, d'orientation professionnelle d'aménagement et d'équipement des périmètres irrigués à travers le Royaume.

1. Présentation de l'ORMVAH :

1.1. Histoire de l'ORMVAH :

Office régional de la mise en valeur agricole est Un établissement public de développement agricole de la plaine du Haouz.

Créé par le décret royal n° 831-66 du 22 Octobre 1966, l'ORMVAH est un établissement public doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière. Il est sous la tutelle du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime. Il s'occupe des études et gère les équipements hydro-agricoles et les ressources en eau à usage agricole. Il supervise le développement de la production végétale et animale, et la promotion de l'industrie agro-alimentaire. Il assure aussi la vulgarisation des techniques ainsi que la formation professionnelle. (Labo Test 2017-2018)

- **Ses objectifs :**

- ✓ Amélioration quantitative et qualitative de la production végétale.
- ✓ Amélioration de la productivité des terres agricoles.
- ✓ Sauvegarde de l'environnement.

1.2. Missions de l'ORMVAH :

- Réalisation des études et exécution des équipements hydro-agricoles et de mise en valeur agricole.
- Gestion des équipements hydro agricoles et des ressources en eau à usage agricole.
- Vulgarisation des techniques culturales et formation professionnelle.
- Développement de la production végétale et animale.
- Promotion de l'agro-industrie.

1.3. Structure de l'ORMVAH :

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

Tableau 1 : La structure d'ORMVAH

1.4 La zone d'intervention de l'ORMVAH :

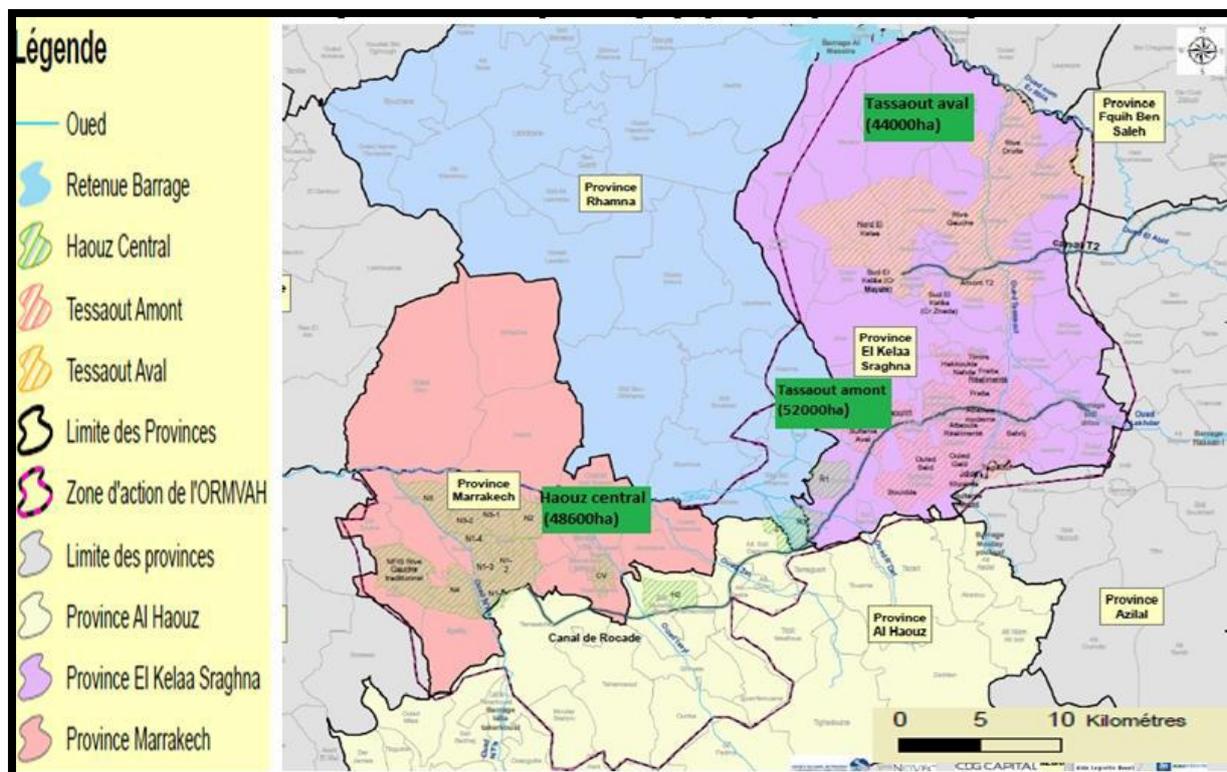


Figure 1 : Carte de la position géographique et périmètres irrigués du Haouz (ANC FCC & NOVEC) modifiée

1.4.1 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 (figure 1). 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.

1.4.2 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 40 jours de pluie environ et peut atteindre 800 mm sur les sommets de l'Atlas. L'examen de la répartition moyenne des pluies mensuelles montre également l'existence de deux saisons nettement différenciées :

- D'Octobre à Avril, une saison humide où interviennent la quasi-totalité des épisodes pluvieux, soit près de 80 à 93 % de la pluviométrie annuelle.
- De Mai à Septembre, une saison sèche avec seulement 7 à 17 % de la pluviométrie annuelle. (ORMVAH 2011).

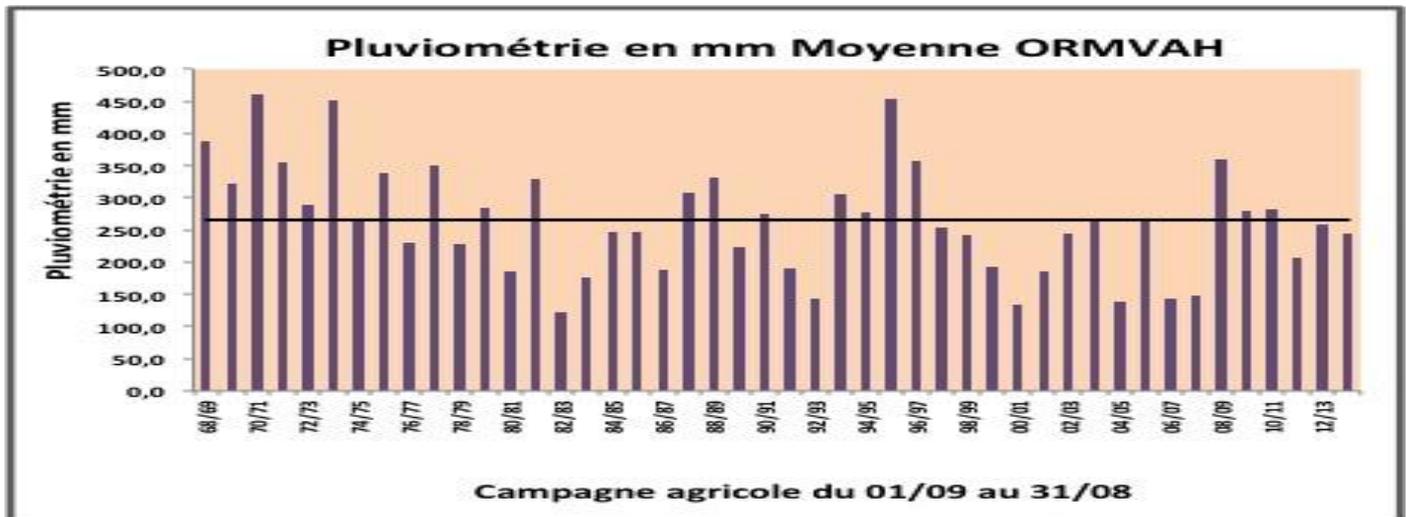


Figure 2 : Pluviométrie moyenne d'ORMVAH

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. (ORMVAH 2011).

- Une hygrométrie faible : la moyenne mensuelle varie de 40 % à 70 %. (ORMVAH 2011).
- Une très forte évaporation : l'évaporation moyenne annuelle est d'environ 2300 mm (ORMVAH 2011).
- Les vents dominants sont de direction ouest à nord-ouest. On dénombre jusqu'à 50 jours de vents chauds à Marrakech soufflant de l'Est et du Sud. (ORMVAH 2011).

1.4.3 Les ressources naturelles :

1.4.3.1 les ressources en terre :

Le périmètre du Haouz a des ressources en terre considérables étant donné que la superficie agricole utile représente 71% de sa surface totale.

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, et une superficie assez importante de l'ordre de 533900 ha 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 (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.

1.4.3.2 Ressources en eau :

- **Hydrologie :**

Le climat plus humide des versants Nord de l'Atlas a favorisé la constitution des deux grands réseaux hydrographiques qui bien que de régime très irrégulier, ont profondément marqué le Haouz de leur empreinte.

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

✓ **les eaux superficielles**

Parmi les retenues en eaux de surface du Haouz on peut citer :

- les eaux superficielles du bassin versant de l'oued Tensift (N'Fis, Ghiraya, Issil, Ourika, Mellah, Zat, R'Dat et oueds secondaires) représentant des apports annuels moyens de 700 Mm3 environ dont 85 Mm3 sont régularisés par le barrage de Lalla Takerkoust sur le N'fis.
- les eaux superficielles du bassin de la Tassaout (Lakhdar, Tassaout et oueds secondaires) représentant des apports annuels moyens de 800 Mm3 environ régularisés à hauteur de 610 Mm3 par les barrages Hassan 1^{er} et Moulay Youssef.
- les eaux régularisés par le barrage Bin El Ouidane dont 235 Mm3/ an sont affectés à la Tassaout Aval. Ces volumes peuvent varier dans des proportions de 1 à 10 durant les années extrêmes. (L'ORMVAH, 2011).

	Superficie (ha)	Dotation Mm3	Origine	Dotation m3 :
Tassaout Amont	52.000	250	Barrage Moulay Youssef	Secteur moderne : 6000 Secteur Réalimenté : 3000
Tassaout Aval	44.000	280	- Barrage My Youssef :10 Mm3 - Barrage Hassan 1er Sidi Driss : 20 Mm3 - Barrage Bin El Ouidane : 235 Mm3 - Retour à oued (seuil Boualja) : 15 Mm3	Planté : 7900 Nu : 4900
Haouz central	48.600	338	6000 à 8000	

Tableau 2 : les périmètres d'ORMVAH

Petite et moyenne hydraulique à partir du barrage Hassan 1er : 34 Mm3
Eaux industrielles à partir de Lalla Takerkoust : 3 Mm3

- **Hydrogéologie :**

- Seules les formations datées de la fin du tertiaire (Néogène) et du quaternaire (Villafranchien et Quaternaire récent) sont le siège d'une nappe importante et généralisée : nappe phréatique. Le réservoir, constitué par les produits de démantèlement de l'atlas, plus ou moins remaniés par les eaux courantes, donc grossièrement détritiques dans une matrice souvent argileuse, peut se caractériser par son extrême hétérogénéité verticale et latérale.

- Les transmissives varient de $2 \cdot 10^{-3}$ à $2 \cdot 10^{-2}$ m²/s avec des coefficients d'emménagement compris entre 1 et 8%.

- La surface libre de la nappe phréatique s'équilibre en moyenne à une vingtaines de mètres du sol pour le Haouz central et oriental, pour le Tassaout aval la nappe peut se trouver à des profondeurs de 1m au Nord et atteint les 40 m au Sud.

- L'alimentation de cette nappe se fait principalement par les sous-écoulements des oueds à leur entrée dans le Haouz et l'infiltration des eaux de crues le long des lits majeurs.

- En plus les infiltrations à partir des canaux d'irrigation en terre ne sont pas à négliger.

- La salinité de l'eau ne dépasse guère 2 g/l et seul 5 g/l de la superficie présente des salinités supérieures à 5 g/l. Les volumes d'eaux mobilisables à partir de la nappe du Haouz central sont estimés à 173 Mm³/an. Pour la nappe du Tassaout-Amont le volume mobilisable est de 65 Mm³/an.

✓ **Les eaux souterraines : (270 millions m³)**

Les eaux souterraines sont essentiellement localisées dans le Haouz central (notamment dans le N'fis et à l'aval des cônes des oueds et Zat) et dans la zone du Tassaout amont. Les volumes mobilisables sont estimés globalement à 250Mm³ environ alors que les prélèvements sont de 420Mm³.

Ces ressources en eaux restent insuffisantes pour satisfaire les besoins en eau des cultures. En effet, les dotations brutes moyennes à hectare au pays des barrages sont très faibles ils sont de 6000 m³/ha irrigués (ORMVAH, 2011).

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 grandes nappes du Maroc. Sa superficie est de 6000 km² (Latitude : Nord 32°, Longitude : Est 8°). Elle est alimentée principalement par l'infiltration des Oueds, les pertes des Seguias dans les zones irriguées traditionnellement et par infiltration des eaux de pluies à travers les formations jurassiques (calcaire et dolomie) du Haut Atlas.

Cette nappe fournit au Haouz central, un volume mobilisable annuel estimé à 173 Mm³ destiné à l'irrigation des périmètres agricoles. Cependant, cette nappe souffre du problème de baisse du niveau piézométrique ces dernières années, suite à la sécheresse et à la surexploitation de la nappe d'environ 10162 unités dans toute la plaine du Haouz. (RESING, 2006).

1.4.4 Périmètre de la grande hydraulique du Haouz :

- Le projet d'aménagement hydro-agricole du Haouz a une histoire qu'il est possible de reconstituer à travers les rapports et les écrits des ingénieurs depuis le début des années 1960.

Mais, dans l'ensemble, on estime que le pas décisif en matière d'aménagement n'a été franchi que durant les cinq premières années de la décennie 1980, ou la succession des sécheresses devrait hâter le processus de mise en place et de construction des « grands appareillages hydrauliques » de la région.

- Les limites de la région du Haouz de Marrakech ont varié au cours des siècles, selon les documents et les auteurs.

- Sa surface a oscillé entre 350000 ha et 900000 ha rien qu'entre 1961 et 1966. Le sociologue Paul Pascon a retenu pour son projet d'étude un espace plus restrictif, excluant le bassin de la Tassaout et se limitant à la zone comprise entre l'Atlas au sud, les Jbilet au nord, l'oued N'Fis à l'ouest et la zone d'épandage de l'oued R'Dat à l'Est. Cette restriction se justifiait, il y a vingt ans, quand le projet de transfert des eaux de l'Est était encore à l'étape des études préliminaires.

- Mais, aujourd'hui, l'extension des équipements hydrauliques (canal de la Rocade, canal T2) nous oblige à retenir comme définition le Grand Haouz qui couvrirait une partie du bassin de l'Oum-Rbia et s'étendrait sur la plaine de la Bahira. D'ailleurs, cet élargissement fut consacré tardivement par le décret royal du 21 novembre 1985 qui a étendu la zone d'action de l'office régional de mise en valeur agricole du Haouz (ORMVAH) aux provinces de Marrakech et d'El Kelaa des Sraghna. Du point de vue des conditions de la géographie et du climat, le Haouz appartient à un écosystème aride et semi-aride.

- Ce sont surtout les réserves en eau du Haut-Atlas qui ont permis, au cours des siècles, des politiques d'aménagement hydro-agricoles plus ou moins audacieuses, visant à contrebalancer la rigueur du climat et à accroître les disponibilités alimentaires. Les périmètres de grande hydraulique sont divisés en trois grandes unités géographiques : Haouz Central, Tassaout Amont et Tassaout Aval.

Périmètre	Superficie en (ha)	Réseaux d'irrigation en (km)
Haouz Central	48600	1000
Tassaout Amont	52000	950
Tassaout Aval	44000	520
Total	144600	2470

Tableau 3 : Périmètres d'irrigation à l'ORMVAH.

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

TESSAOUT Amont

- Le périmètre Tassouat amont est le premier des aménagements de grande hydraulique moderne du Haouz. Ses services entre 1969 et 1978. Le périmètre présente 52.000 ha irrigués à partir de l'eau de l'oued Tassaout, régularisé par le barrage Moulay Youssef (250 millions de m³ /an), dont on distingue :

- ❖ Les secteurs modernes (30.000 ha) ayant fait l'objet d'un aménagement intégral (canaux primaires, secondaires, tertiaires et quaternaires avec aménagement foncier).
- ❖ Les secteurs réalimentés (22.000 ha), ont fait l'objet uniquement d'une amélioration des adductions primaires

TASSAOUT Aval

Tassaout aval couvre une superficie brute d'environ 70.000ha. La superficie irriguée est de 44.000 ha, subdivisée en deux unités hydrauliques :

- ❖ La zone située à l'amont du canal T2 (6.500ha) bénéficie de l'eau des oueds Lakhdar et Tassaout, régularisés par les barrages Hassan 1^{er} et Moulay Youssef (46millions de m³ / an).
- ❖ La zone située à l'aval du canal T2 (37.500ha) 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 (235 millions de m³/an).

2. L'irrigation au Maroc :

- Les efforts consentis par l'état et par les agriculteurs depuis les années 1960 pour développer l'agriculture irriguée, ont permis d'atteindre le million d'hectares irrigué 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 (les eaux des grands barrages), 23 % en petite et moyenne hydraulique (source, oued, barrage) et 30 % en irrigation privée (les eaux de puits). Le Maroc dispose actuellement d'un important patrimoine hydro-agricole et jouit d'une place importante à l'échelle internationale en matière de la politique de gestion de l'eau notamment en agriculture (ANAFIDE).

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

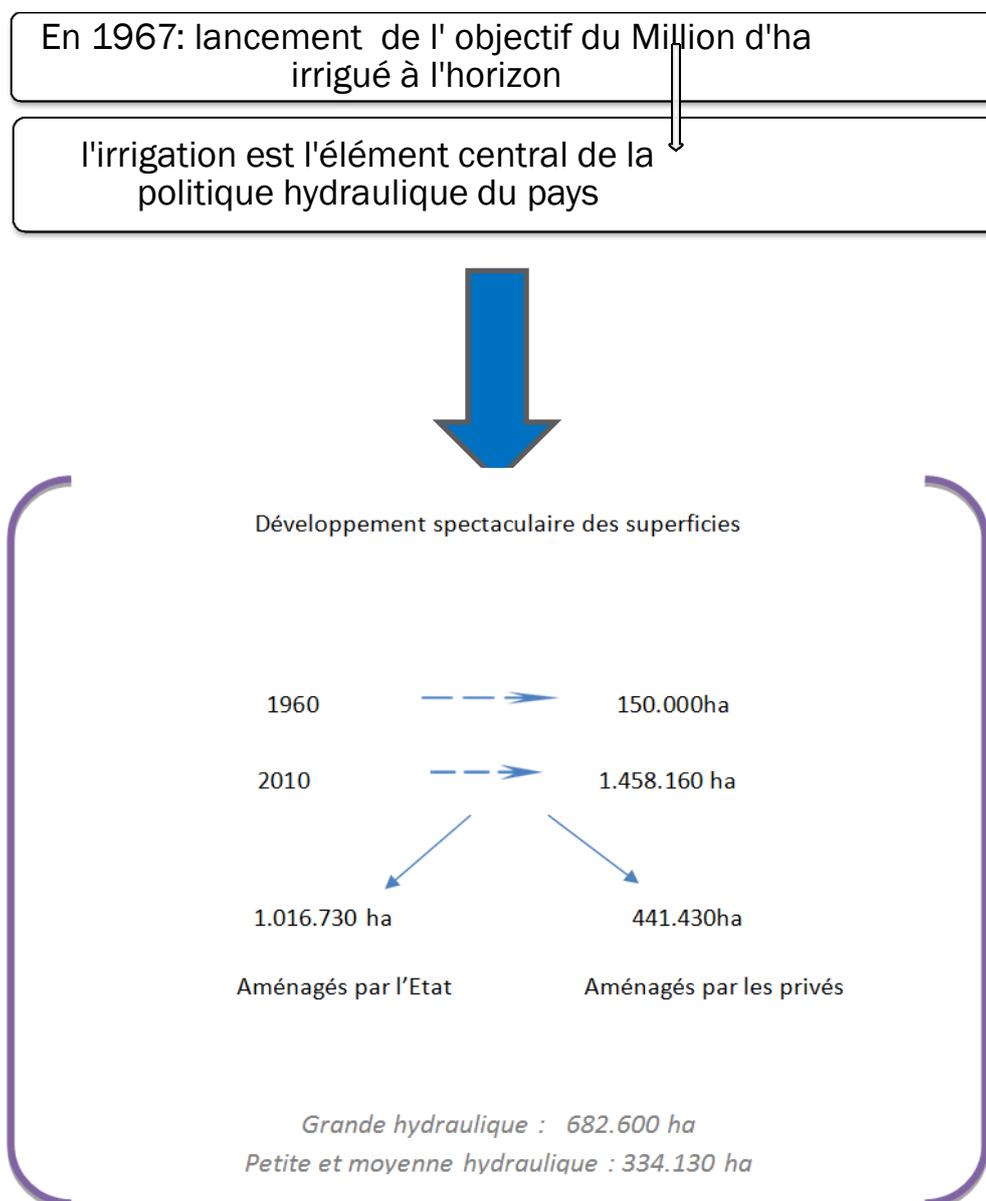


Figure 4 : Développement de l'irrigation au Maroc. (ANAFID 2011)

2.1. Différentes techniques d'irrigation au Maroc :

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%
Irrigation localisée :	249.605 ha	17%

Tableau 4 : La situation actuelle de la répartition des superficies irriguées (ORMVAH)

2.1.1 Irrigation gravitaire :

L'irrigation gravitaire est l'opération consistant à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour en augmenter la production, et permettre leur développement normal en cas du déficit d'eau induit par un déficit pluviométrique, un drainage excessif ou une baisse de la nappe, en particulier dans les zones arides, l'écoulement de l'eau se fait selon la pente naturelle du sol, s'il peut être fait appel à des ouvrages de type siphon, aucune force extérieure n'est utilisée pour amener l'eau aux endroits désirés (Photo 1). Il y a trois types d'irrigation gravitaire :

- L'irrigation par planche
- L'irrigation par bassin
- L'irrigation à la raie qui est divisée aussi en quatre types :
 - Par siphon
 - Par gaines souples
 - Par rampe à vannettes
 - Transirrigation



Photos 1 : L'irrigation de surface

L'irrigation de surface présente plus d'inconvénients que d'avantages :

- **Les avantages :**

- coût d'investissement faible à la parcelle pour l'agriculteur.
- pas d'apport énergétique extérieur.
- alimentation des nappes phréatiques.

- **Les inconvénients :**

- temps de main d'œuvre pour la répartition et la surveillance importante.
- pertes d'eau importantes.
- nécessite un terrain plat ou un nivellement.
- faible efficacité.
- pollution possible par déversement.

2.1.2 Irrigation par aspersion :

L'irrigation par aspersion reproduit le phénomène naturel de la pluie, en maîtrisant l'intensité et la hauteur de la précipitation, cette technique nécessite des conditions de pression moyenne à forte (de 3 à 6 bars à la buse). Au niveau de l'asperseur, pièce maîtresse du dispositif, une buse crée un jet et l'oriente vers la cuillère, le bras mobile est activé par le jet, le ressort de rappel provoque le retour du bras mobile et assure ainsi la rotation de l'asperseur (Photo 2).



Photo 2 : L'irrigation par aspersion

2.1.3 Irrigation localisée :

L'irrigation localisée ou micro-irrigation (Photo 3) consiste à apporter l'eau sur une partie du sol seulement par petites doses fréquentes. A la limite, la compensation de l'évapotranspiration se fait quotidiennement et l'eau est apportée par des distributeurs, ce qui crée dans le sol des zones humides appelées « bulbes d'arrosage ou d'humidification ». Plusieurs techniques sont développées :

- L'irrigation localisée par goutteurs : la goutte à goutte.
- L'irrigation localisée par rampes perforées fixes.
- L'irrigation localisée par diffusion (micro jet, microdiffuseur).



Photo 3 : L'irrigation localisée

L'irrigation localisée présente plus d'avantages que d'inconvénients, le tableau illustre les avantages et les inconvénients de ce type d'irrigation.

Avantages :	Inconvénients :
<ul style="list-style-type: none">- L'économie en eau 50 à 70% par rapport au gravitaire et 30% par rapport à l'aspersion.- La réduction de la pollution de la nappe phréatique par les engrais ainsi qu'une économie en engrais.- Facilite l'exploitation des sols très légers filtrant à forte percolation et des sols lourds fissurant en été.- La Possibilité d'exploitation des terrains à topographie et configuration irrégulières.- L'accès facile aux parcelles pour la réalisation des différentes opérations culturales.- L'augmentation du rendement de l'ordre de 20 à 40%, et une amélioration de la qualité des produits.	<ul style="list-style-type: none">- La difficulté de la gestion de l'irrigation localisée, qui exige une technicité élevée.- Le risque d'un dessèchement rapide des plantes en cas d'arrêt spontané et prolongé de l'apport d'eau.- Le cout d'installation d'équipement et de matériel d'irrigation est plus élevé.- Le risque de colmatage ou de bouchage du distributeur constituant l'inconvénient majeur de ce système.

Tableau 5 : Avantages et inconvénients de l'irrigation localisée

✓ Réseau du système d'irrigation goutte à goutte :

Station de tête :

Le rôle de cette station est l'obtention d'une eau propre en vue d'éviter le colmatage des distributeurs et l'injection des engrais ; le choix des filtres et de leurs séquences dépend de la qualité de l'eau, son origine et la taille des particules à filtrer.

Hydrocyclone :

C'est un séparateur de particules peut être placé à l'entrée de la station de tête juste après la source d'eau.

Filtre à sable :

Ce matériel est composé d'une cuve à pression contenant des couches de sables de différents calibres, il est utilisé principalement pour les eaux superficielles.

Filtre à tamis :

Le principe consiste à faire passer l'eau à travers un élément filtrant arrêtant les particules en suspension, il est installé à l'aval du filtre hydrocyclone et /ou du filtre à sable pour la filtration des eaux souterraines.

Injecteurs d'engrais :

La pratique de l'irrigation fertilisante consiste à injecter dans l'eau, les engrais et d'autres produits tels que l'eau de javel, sulfates de fer et l'acide nitrique...

Canalisation :

Son rôle est d'acheminer l'eau filtrée de l'unité de tête à la parcelle de destination, elle est composée de tuyaux fixes en PVC et PE :

- ✓ Conduites principales et secondaires
- ✓ Porte rampes
- ✓ Rampes

Vannes et manomètres :

Au niveau du réseau de distribution, les vannes permettent le passage de l'eau de la conduite d'amené au poste d'arrosage et commande l'irrigation d'un secteur, ainsi les manomètres sont des appareils indispensables au fonctionnement du réseau d'irrigation localisée, indiquant la pression à l'entrée et à la sortie des filtres et des secteurs d'irrigation à différents endroits.

Organes de distribution :

En irrigation localisée, on distingue comme organes de distribution : les goutteurs, les mini-diffuseurs, les gaines et les ajutages calibré.

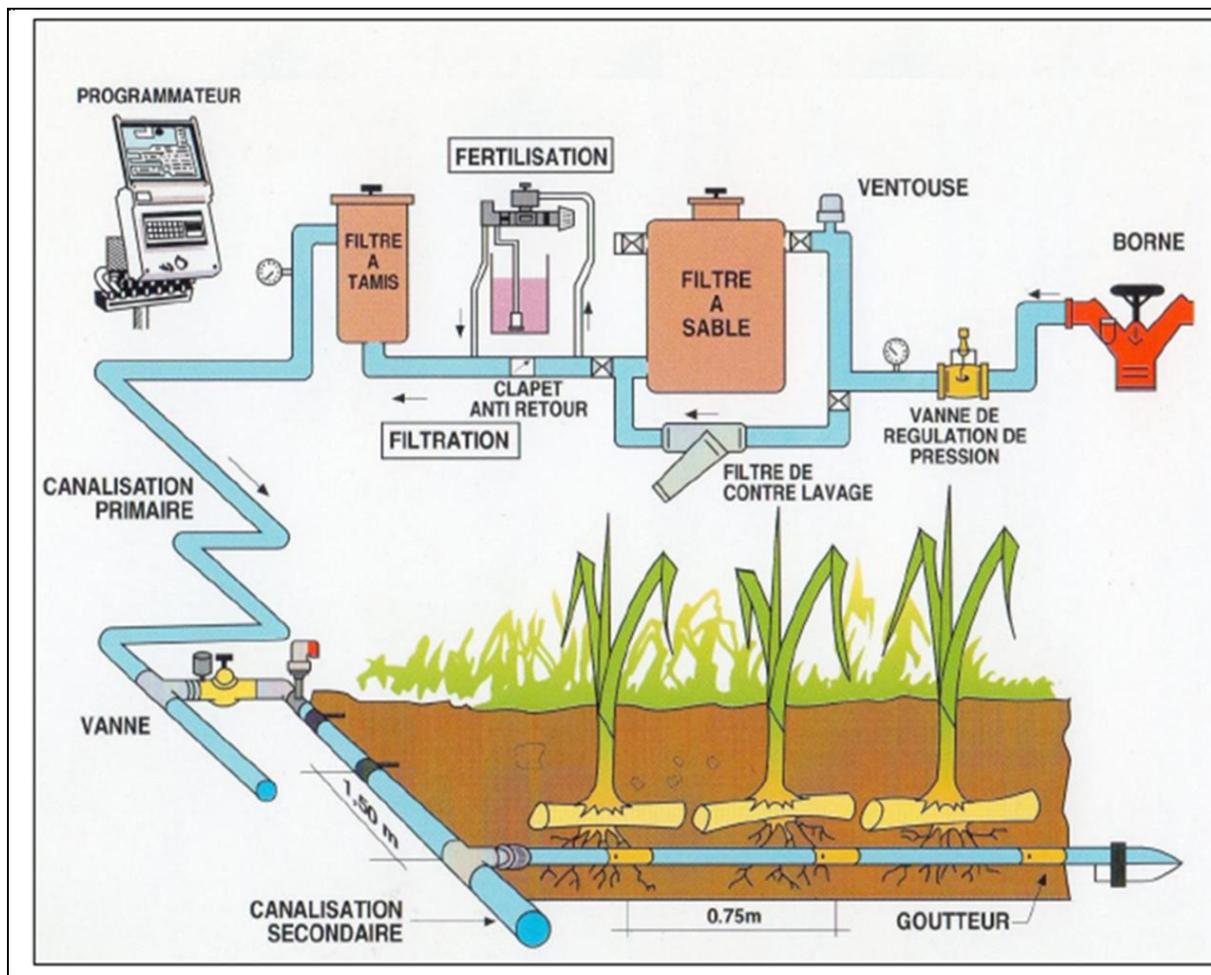


Figure 5 : Réseau du système d'irrigation goutte à goutte

2.2. L'impact de l'irrigation :

- L'irrigation est une assurance de revenu pour de nombreux agriculteurs, en particulier pour des cultures spéciales (fruits, légumes...). Elle est alors une contrainte dans le processus de production.

- Une irrigation inadaptée ou mal conçue peut être source de propagation de pathogènes (Pseudomonas, kystes d'amibes, larves d'anguillules et œufs de parasites (dont némathelminthes, plathelminthes, trichomonas, trichocéphales, etc.), de polluants (résidus de médicaments, de biocides, etc.) dans les cultures ; c'est le cas avec l'utilisation d'eaux grises ou résiduaires, en particulier dans certains pays arides. En zone aride, le risque de salinisation est élevé.

- L'irrigation peut aussi affecter les écosystèmes, le paysage ou l'agriculture en amont ou en aval, à cause des volumes d'eau détournés des cours d'eau. On cite souvent l'exemple de la mer d'Aral polluée et en partie vidée à cause de l'irrigation du coton en amont.

- Voire même, l'intensification agricole dans les périmètres irrigués présente un risque élevé de pollution des nappes. Dans certains cas les concentrations des

eaux de drainage ou d'assainissement, en azote en phosphore et pesticides, pourrait être dangereuse pour la santé humaine.

- L'impact de l'irrigation sur le sol et sa fertilité se manifeste par le compactage des sols et peut créer des zones d'asphyxie ou des croutes. Le phénomène de salinisation reste généralement le problème le plus important et le plus étudié. La salinité des sols se pose avec plus d'acuité et que la plus grande vigilance s'impose en liaison avec l'intensification de l'agriculture.

Partie 2 :

La zone d'étude

1. La zone d'étude :

1.1. Situation De Tassaout Amont :

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

- C'est un ancien périmètre dont les terres ont toujours été irriguées d'une manière traditionnelle, à partir d'un canevas de trente séguias dérivées à partir d'Oued Tassaout. Le périmètre de mise en valeur de la Tassaout Amont s'étend sur une superficie de 52 000 ha, à une altitude de 570 à 740 m.

Le périmètre est composé de sous-ensembles distincts :

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

- A l'intérieur de ce périmètre ainsi délimité, il existe huit sous-secteurs : Sahrij, Bouda, Oulad Said, Oulad Gaid, Attaouia, Skhirat, Taourirt et Freita.

- Les canevas d'irrigation principaux constituent les seules limites entre chacune de ces zones situées sur une unité paysagique homogène, seul le secteur Sahrij possède des limites plus naturelles, l'oued Tassaout à l'ouest et groupe calcaire à l'est.

➤ Présentation du système d'alimentation et d'adduction du périmètre de la Tassaout Amont:

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

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

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

Ouvrage	Débit d'équipement (m ³ /s)	Longueur (km)
Galerie	17	4,25
Canaux primaires		
Ouest	8	22,2
Est	11	8,3
Oulad Gaïd	2	7
Rive gauche	4	9
Rive droite	4,5	11,9
Canaux secondaires	-	170

Tableau 6 : Caractéristiques du réseau d'irrigation de la Tassaout Amont

1.2. Présentation de sous – secteur d'étude : Oulad Saïd

1.2.1 La situation géographique :

- Oulad Saïd est un lieu habité (class P - des lieux habités) en Région de Marrakech-Tensift-Al Haouz (Marrakech-Tensift-Al Haouz), Maroc (Africa), ayant le code de région Africa/Middle East. Douar Oulad Saïd est situé à 462 mètres d'altitude.

- Douar Oulad Saïd est aussi connu(e) comme Douar Oulad Said, Douar Oulad Saïd, Oulad Said, Oulad Saïd. Les coordonnées géographiques sont 31 ° 34'48" N et 8 ° 6'0" W en DMS (degrés, minutes, secondes) ou 31.58 et -8.1 (en degrés décimaux).

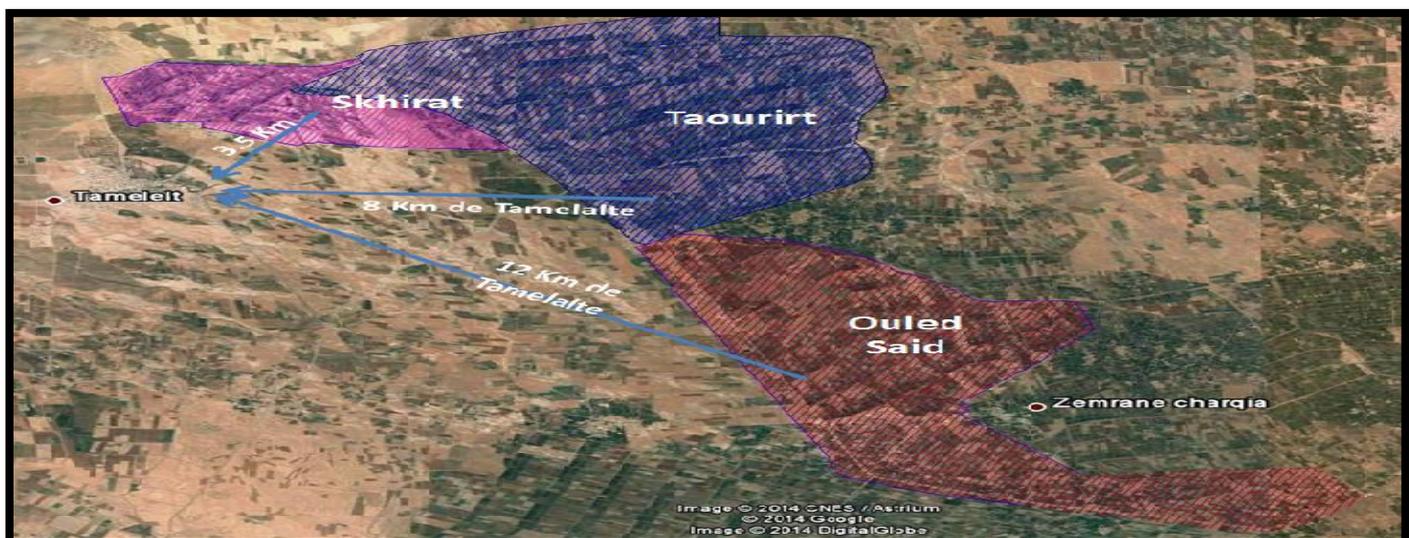


Figure 6 : Carte de la localisation du secteur d'Oulad Saïd

- Le sous- secteur se situent à la rive droite canal Ouest, ils sont découpés en unités selon le canal secondaire qui les irrigue, c'est ainsi que :

- Le secteur **Oulad Said** a été découpé en trois unités distinctes :

- La première d'une superficie de 651 ha est alimentée par le secondaire D1 et dont la reconversion sans avoir recours au pompage est impossible défaut de la charge disponible à la tête du D1 inférieure à 2,5 bars (minimum exigé à la sortie de la borne pour assurer l'irrigation localisée sans avoir recours au pompage). C'est pourquoi D1 ne fait pas partie de la tranche 2 de reconversion en irrigation localisée.

- La deuxième unité de 1318 ha, alimentée par les secondaires D2 et D3, et dont la reconversion nécessite un linéaire de 4,15 km de conduite à l'entrée du périmètre.

- La troisième unité de 1011 ha, alimentée par les secondaires D4 et D5, et dont la reconversion nécessite dans le cas du RD4 un linéaire de 9,45 km de conduite à l'entrée du périmètre pour se brancher sur la prise D1.

Les deux dernières unités totalisent une superficie nette irriguée de 2329 ha. Ces unités caractérisées par un réseau gravitaire très ancien, peuvent être reconverties en système d'irrigation localisée moyennant des canalisations de 4 à 9.5 km pour profiter de la dénivelée offerte par le terrain naturel. Celle-ci est de 83 m entre le départ du D1 et celui du D5.

1.2.2 Les caractéristiques de la région (Oulad Said):

A. Climat :

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

Les précipitations annuelles sont de l'ordre de 270,5 mm.

Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Total
1.9	24.7	67.2	41.8	35.5	23.6	27.7	17.5	21.8	7.4	0.6	0.8	270.5

Tableau 7 : Précipitations mensuelles moyennes (mm)

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

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout
T°C moy	23.8	20.1	15.0	11.1	9.6	11.6	15.1	16.1	20.1	24.4	26.8	26.6

Tableau 8 : Températures mensuelles, annuelles maximales, minimales et moyennes en (°C)

- Les valeurs de l'Evapotranspiration ETO, calculées par la formule de Blaney Criddle, sont données dans le tableau suivant :

mois	sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Total
T°C moy	155.7	120.8	76.2	55	50.3	56.4	89	99.5	143.8	184.6	209.9	201.3	1442.5

Tableau 9 : Evapotranspiration ETO en mm

B.Ressources en eau :

- Ressources en eau de surface :

Le bassin versant de l'oued Tassaout, au droit du barrage Moulay Youssef, a une superficie de 1 441 km². L'ouvrage de stockage sur l'oued Tassaout est le barrage Moulay Youssef. Cette digue en enrochement atteint 100 m de haut ; la retenue d'un volume régularisé de 240 Mm³/an, permet la mise en valeur de 30 000 ha de terres et fournit 60 Gwh/an pour les villes de Marrakech et d'Ouarzazate. Le barrage a été mis en eau en 1970.

Le barrage Timinoutine, situé à 2 km en aval de Moulay Youssef, permet une compensation inter - mensuelle des lâchers de l'usine hydroélectrique pour limiter les débits aux besoins agricoles. Les travaux de ce barrage ont été achevés à la fin de 1979.

Barrage	Superficie BV (km ²)	Apports 1941-2006 Mm ³ /an	Apports 1980-2006 Mm ³ /an	% diminution
Complexe Moulay Youssef Timinoutine	1 441	268	205	23

Tableau 10 : Apports moyens annuels dans le bassin versant alimentant le barrage Moulay Youssef

- Ressources en eau souterraines :

Le secteur est situé sur la nappe du Haouz, qui s'étend entre le piémont du Haut-Atlas au sud et les collines des Jbilet au Nord. Elle est limitée à l'Est par le piémont du Moyen Atlas, au débouché des oueds Lakhdar et Tassaout. Comme l'illustre la carte ci-dessous, le secteur de Tassaout amont de l'étude en cours se situe au nord de la nappe du Haouz. Selon l'étude d'actualisation du PDAIRE de la zone d'action de l'agence du bassin hydraulique de L'Oum-Rbia, la nappe du Haouz compterait au total plus de 16 000 puits et forages dans la zone couverte par la grande hydraulique, auxquels s'ajouteraient plus de 15 000 puits et forages dans la zone PMH. La densité de ces captages est bien entendu hétérogène et il est impossible d'en déduire un nombre relatif au seul Haouz Oriental.

D'après des recensements menés par les CMV sur le secteur objet de l'étude, le nombre de captages est de l'ordre de 346 répartis comme suit :

- 48 à Skhirat
- 278 à Taourirt
- 20 à Oulad Said

C. Les cultures présentes dans la zone d'étude :

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

Culture	Surface (ha)	%
Céréales	1919	36%
Bersim	248	5%
Luzerne	521	10%
Maraichage été	475	9%
Maraichage hiver	204	4%
Olivier	1953	37%
Total assolée	5320	
Total sous-secteur	5320	
TIC %	100%	

Tableau 11 : Plan de culture au niveau des sous-secteurs Oulad Said Tourirt et Skhirat en situation actuelle

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

Partie 3 :

Laboratoire de l'ORMVAH

1. Laboratoire de l'ORMVAH :

1.1. Introduction :

L'ORMVA du Haouz dispose actuellement d'un laboratoire d'analyse du sol et de l'eau, sa mission réside principalement dans :

- 1- Participation à l'amélioration du service conseil au profit des agriculteurs.
- 2- Préservation de la qualité des sols et des eaux d'irrigation.

1.2. Les objectifs du laboratoire :

•Amélioration du service conseil :

- Le laboratoire participe à l'amélioration du service conseil par l'élaboration du conseil agronomique sur les plans fumure. En effet, la fertilisation constitue l'un des facteurs de production qui revêt une grande importance dans la réussite des cultures. Sa maîtrise ne peut se faire qu'à travers l'analyse du sol de l'eau et de la plante, qui représentent un pilier incontournable d'une fertilisation raisonnée.

- Les analyses du sol, eau et plantes peuvent servir aussi pour :

- Détecter les problèmes liés à la qualité du sol (salinité, alcalinité, excès du calcaire, texture ...) et de l'eau d'irrigation (salinité, alcalinité...)
- Suivre l'état nutritionnel de la plante au cours du cycle de la culture
- Détecter les carences en certains éléments fertilisants

Pour encourager les agriculteurs à procéder aux analyses du sol et des eaux d'irrigation, l'état a instauré une subvention qui peut atteindre 50 % du tarif des analyses.

- La vulgarisation des services offerts par le laboratoire, et la présentation de l'intérêt des analyses se font à travers :

•La sensibilisation des agriculteurs et des membres des associations professionnelles.

•La sensibilisation des agriculteurs adoptant les techniques d'irrigation localisées sur l'importance des analyses dans l'élaboration de plan de fumure en fertigation.

•L'équipement des CDA (Centre de Documentation Agricole) par le matériel de prélèvements des échantillons du sol dans le but d'assister avec les agriculteurs aux prélèvements des échantillons.

•Préservation de la qualité des sols et des eaux

- Au niveau du périmètre, l'intensification agricole, accompagnée d'une utilisation excessive des eaux pour l'irrigation couplée à la non maîtrise du drainage, a engendré une dégradation de la qualité des sols et des eaux d'irrigation.

Pour cerner ces problèmes, déceler les zones à risques et trouver des scénarios adéquats pour résoudre ces problèmes, le laboratoire assure le suivi de la qualité des sols, des eaux souterraines, de surface et de drainage, au sein des réseaux de surveillance composés de :

- 100 puits pour le suivi de la qualité des eaux souterraines
- 40 sites échantillonnés sur trois profondeurs pour le contrôle de la qualité des sols
- 10 sites pour le suivi des eaux de surface, et
- 6 sites pour contrôler les eaux de drainage, les eaux usées domestique et industrielles.

1.3. Les différentes d'analyses effectuées au laboratoire :

1.3.1. Prospection :

- Prélèvement des échantillons (terre, eau) :

- L'objectif de l'échantillonnage est de prélever une partie de matériau dont le volume est facilement transportable mais suffisamment représentatif pour que son analyse puisse permettre d'avoir les caractéristiques de l'ensemble du matériau échantillonné.

- Les prélèvements sont réalisés par une équipe professionnelle qui s'assure du bon déroulement des opérations d'échantillonnage. Au total, 30 échantillons des eaux souterraines et 10 échantillons des eaux de surface ont été prélevés. En parallèle de l'échantillonnage des eaux, il a été effectué des prélèvements du sol de 54 parcelles irriguées.

A. technique d'échantillonnage des eaux :

- La technique d'échantillonnage détermine la fiabilité des résultats. La répartition des échantillons est en fonction de la disponibilité d'un point d'eau d'irrigation et une borne répartition dans le secteur étudié.

Les échantillons des eaux souterraines ont été prélevés à partir des puits traditionnels et les eaux superficielles à partir des bornes. Ces eaux prélevées étaient échantillonnées dans des bouteilles en plastique bien fermées, nommées par des codes et conservées dans une glacière jusqu'au moment d'analyse.

- Le matériel utilisé pour l'échantillonnage des eaux est le suivant :
 - flacon en polyéthylène et/ou en verre borosilicaté codées.
 - seau en plastique pour le mélange des échantillons.
 - Gants en latex.
 - Glacières et blocs de glace.
 - marqueurs indélébiles.

➤ Eau souterraines :

- A la disponibilité d'une pompe, l'échantillon moyen de l'horizon capté doit être suffisamment pompé pour renouveler l'eau contenue dans le tubage. En effet, une eau ayant longtemps stagnée n'est pas représentative de la nappe.
- Dans le cas contraire, on obtient un échantillon ponctuel à différentes profondeurs en utilisant des récipients lestés et munis d'un système de fermeture actionnable.

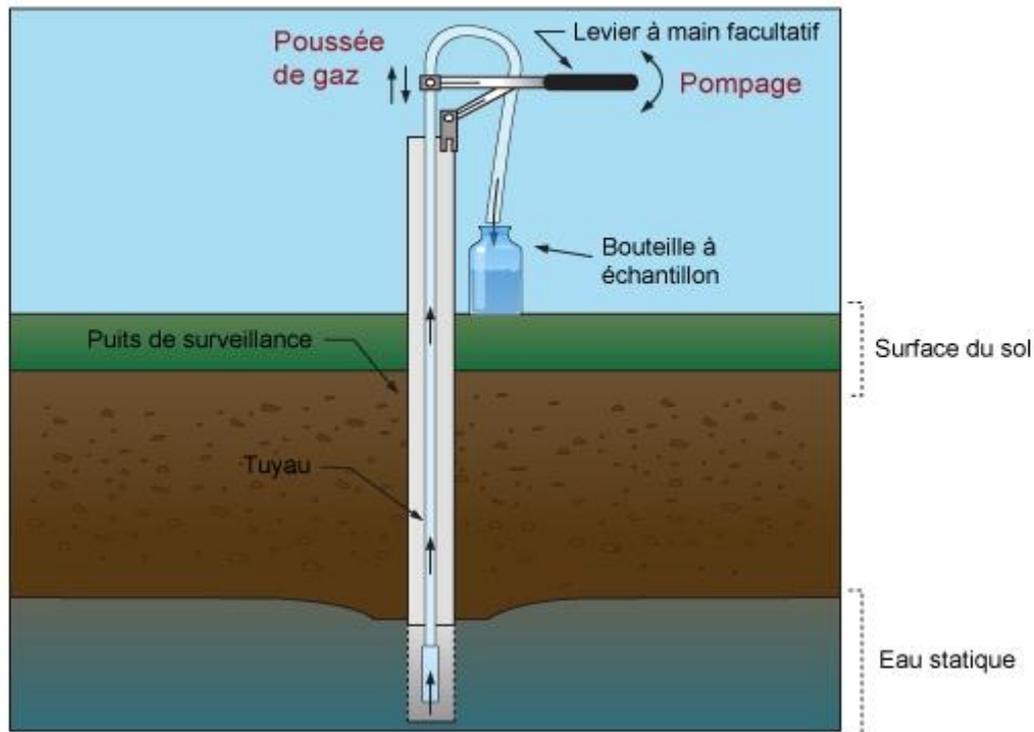


Figure 7 : La méthode d'échantillonnage des eaux souterraines

➤ Eau de surface

- L'échantillon représentatif est obtenu en mélangeant plusieurs prélèvements effectués en divers points d'une section déterminée. Il est possible de prélever un échantillon ponctuel. Dans ce cas, nous évitons la présence de matières solides, eaux stagnantes.
- Les flacons d'eau sont conservés au froid dans une glacière avec des blocs de glace durant la période de transport. Ensuite, ils sont directement envoyés au laboratoire pour analyse ou ils sont placés à 4°C dans un réfrigérateur jusqu'au moment de la réalisation de l'essai.

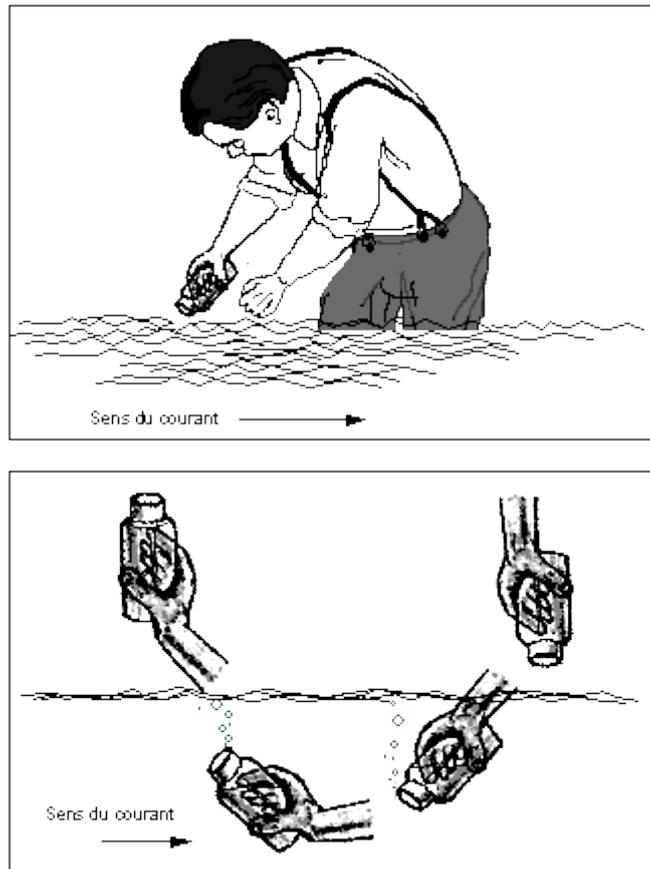


Figure 8 : La méthode d'échantillonnage des eaux de surface

B. techniques d'échantillonnage du sol :

✓ Le dispositif de prélèvement du sol :

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



Photo 4 : Outil de prélèvement des échantillons de sol-Tarière-

✓ Le protocole d'échantillonnage du sol :

- 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.

• L'échantillonnage c'est le prélèvement de plusieurs échantillons de sol afin de faire des analyses chimiques et physique, cette opération détermine la fiabilité des résultats.

- Pour des raisons d'homogénéité, il est recommandé des subdiviser notre champ selon sa couleur, l'orientation de la pente et ses pratiques cultures.

- Des échantillons de sols ont été effectués en parallèle de l'échantillonnage des eaux, nous avons effectué des prélèvements du sol des parcelles par ces eaux.

- Afin d'étudier une caractérisation à l'échelle verticale, nous avons procédé à un prélèvement à l'aide d'une tarière agricole dans les horizons 0-20cm, et40-60cm pour l'arboriculture soit en total 132 échantillons du sol ont été Prélevés.

Assolement	Nombre de sites	Horizons d'études	Nombre d'échantillons
Céréales	12	0-20/20-40	24
Fourrages	8	0-20/20-40	16
Maraichages	10	0-20/20-40	20
Arboricultures	24	0-20/20-40/40-60	72
TOTAL	54		132

Tableau 12 : Répartition des échantillons prélevés.

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

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

- L'échantillonnage est accompli dans des conditions climatiques Optimales (sol ni trop sec ni trop humide, en évitant les périodes de pluie). Le sol prélevé selon un protocole d'échantillonnage bien défini, en tenant compte des différentes cultures et substrats.

- En premier lieu, on procède au brossage du périmètre de la zone de prélèvement (environ 1 m²): cinq points de prélèvement constitueront un échantillon représentatif. Selon, le type du terrain, la tarière est enfoncée verticalement dans les différentes couches du sol à différentes profondeurs pour constituer des échantillons prélevés qui sont mis dans les sacs en plastique qui lui sont réservés.

1.3.2. Analyses effectués au sein du laboratoire

- L'analyse du sol est un outil incontournable pour obtenir les meilleurs rendements sans excès tout en respectant l'environnement.

a) Sol :

- Physique du sol : Granulométrie, Humidité pondérale, Humidité équivalente, Densité apparente
- Chimie du sol : Conductivité électrique, pH, Calcaire total et actif, Bases échangeables et la Capacité d'échange cationique
- Fertilité du sol : Matière organique, Azote total et minéral, Phosphore total et assimilable, Potassium total et assimilable.

b) Eau :

Les analyses effectuées sont :

- salinité
- alcalinité
- Bilan ionique (Na; K; Ca; Mg; Cl; CO₃; HCO₃; SO₄....)

1.4. Les moyens du laboratoire :

1.4.1 Moyens humains :

- L'équipe du laboratoire se compose de :
 - Pédologue
 - Techniciens
 - Aide laborantin

1.4.2 Moyens matériels :

- Le laboratoire dispose d'un appareillage moderne et performant :
 - Photo colorimètre .
 - Photomètre à flamme.
 - Appareil d'azote.
 - Conductimètre et pH mètre.
 - Calcimètre .
 - Tous les matériels nécessaires pour le bilan ionique de l'eau.

1.5. Intérêts des analyses du sol et de l'eau d'irrigation :

- Connaissance parfaite de la fertilité du sol et de la qualité de l'eau et recommandation d'une fertilisation adéquate.
- Recherche de la contrainte et des carences en éléments fertilisants en vue d'établir une fertilisation rationnelle des cultures.
- Détermination des paramètres physique et hydrodynamique utiles aux opérations de travail du sol et au pilotage de l'irrigation.

1.6. Interprétation et recommandations :

Recommandation du plan de fumure adéquat à chaque situation tout en tenant compte de la préservation du milieu naturel.

I. Perspectives d'avenir :

- Analyses foliaires.
- Analyses des paramètres de pollution.
- Création des antennes par périmètre.
- Instauration d'une cellule d'encadrement intégré (Fertilisation-Irrigation-Phyto....).

2. D'autres taches du laboratoire :

2.1. Encadrement de l'agriculteur :

- Les missions de laboratoire de l'ORMVAH ne se limitent pas sur les analyses de l'eau et du sol, appart ça le laboratoire fait la principale et la première étape pour succéder la démarche du travail c'est l'étape de l'encadrement de l'agriculteur. Cette étape est réalisée par Madame NAJIA NEHHAZ. Les procédures prises en cas d'accueillir d'un agriculteur se traduisent par quelques questions concernant la terre cultivée telles que :

La superficie cultivée ? La culture déjà existante dans la superficie traitée si s'agit-elle du maraichage, d'arboriculture, céréales ou fourrages ? La source d'irrigation (barrage ou puits) ? Et Le type d'irrigation (gravitaire, par aspersion, goutte à goutte) ?

2.2. Cellule environnementale :

- Le responsable du côté environnemental au sein du laboratoire Madame FATIMA LITEM.

- Le suivi environnemental est fait dans le but de faire face aux problèmes rencontrés par la zone d'action d'ORMVAH. Ces problèmes sont de genre :

- **Qualité des eaux de surface** : En particulier en ce qui concerne la turbidité des eaux et les transports solides dans les oueds et les vecteurs hydrauliques.

- Ce problème à des conséquences pratiques majeures :
 - ✓ comblement des réservoirs de barrages et diminution quantitative de la ressource utilisable.
 - ✓ envasement du Canal de Rocade et des autres vecteurs hydrauliques artificiels avec altération de leurs conditions de fonctionnement normales.
 - ✓ dysfonctionnement des installations de distribution d'eau et de perturbation de l'utilisation (irrigation, AEP). Etc...
 - **Qualité des eaux des nappes souterraines et dégradation de la fertilité de sols (salinisation) :**
 - ✓ Les deux problèmes sont intimement liés bien qu'ils puissent être analysés séparément. La conversion du milieu physique, source et support de l'irrigation (eaux, sols...).
 - **Réinjection des eaux usées urbaines dans le milieu naturel et/ou aménagé :**
 - ✓ Le problème concerne surtout la ville de Marrakech ; il revêt deux aspects : -qualitatif : pollution de l'eau et des sols à l'aval des rejets.
 - ✓ quantitatif : possibilité de réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation en déduction des dotations apportées. (PG II, Etude d'impact sur l'environnement, 1994).

Partie 4 :

Analyses et interprétations

1. Analyses et interprétations :

1.1. Les paramètres à analysés :

- Le pH, la conductivité, l'oxygène dissous et le niveau piézométrique des échantillons d'eau ont fait l'objet de mesure in situ, tandis que les autres paramètres ont été mesurés au laboratoire.

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

- La détermination des ions : chlorures, carbonates, bicarbonates, calcium et magnésium se fait par dosage volumétrique, tandis que le sodium et le potassium sont obtenus par spectrophotométrie à flamme.

- La conductivité électrique, le pH ainsi que les éléments majeurs sont mesurés sur l'extrait de la pâte saturée en utilisant les mêmes techniques de dosage que celles décrites dans les analyses d'eau.

1.2. Prélèvement des échantillons :

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

❖ Préparation de l'échantillon du sol dans le laboratoire :

- ✓ 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).



Photo 6 : 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.



Photo 7 : Broyage et tamisage des échantillons de sol à 2 mm

- ✓ Numérotation de l'échantillon



Photo 5 : Numérotation des échantillons du sol

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

1.3 Analyse du sol :

1.3.1 Définition du sol :

En pédologie, ou science des sols, le sol désigne la partie supérieure qui constitue la croûte terrestre. Issu de la métamorphose de la roche mère, le sol de la terre sert de trait d'union entre la lithosphère, l'enveloppe terrestre rigide de la surface, et la biosphère, qui correspond au système planétaire rassemblant les organismes vivants et les milieux où ils se développent. Il ne faut pas confondre le sol avec la croûte terrestre. Le sol, lui, sert de support au développement d'un écosystème. D'autre part, le sol a également pour rôle de stocker l'azote et le carbone de l'atmosphère.

✚ Types de sol au Maroc :

Il existe différents types de sol au Maroc :

1 - TIRS : sols profonds dont la teneur en argile est prépondérante, notamment les argiles gonflantes qui leur confèrent un comportement spécifique. Ils sont bien pourvus en éléments fertilisants et retiennent considérablement l'eau, autant d'atouts pour les cultures qu'ils supportent. Durs et compacts à l'état sec, puis collants à l'état humide, ces sols sont difficiles à travailler. Ce type de sol est généralement localisé dans les bas-fonds, grandes cuvettes, et grandes plaines (celle du Gharb).

2 - HAMRI : sols profonds ou moyennement profonds, reposant souvent sur un substrat calcaire. Ils sont généralement décarbonatés en surface et pauvres en matière organique d'où une coloration vive. On les rencontre sur les versants et les anciens plateaux.

3 - HARCH : sols profonds dont la couleur varie selon leur situation alors que leur texture est généralement grossière. La teneur en matière organique est variable selon les apports.

4 - DEHS : sols très profonds, de texture grossière à très grossière, dont la genèse est dominée par des apports fluviaux. Leur teneur en matière organique est variable. Ils sont situés le plus souvent aux bords des oueds.

5 - BIAD : sols peu profonds ($P < 40$ cm) caillouteux et riches en calcaire, reposant sur croûte (dalle) calcaire. Ils sont localisés, généralement, sur des pentes ou plateaux. Ils occupent de grands espaces dans les régions arides et semi-arides du Maroc.

6 - RMEL : sols profonds, dont une partie est généralement constituée d'apport éolien (ou alluvial) et de texture grossière. Cet apport peut couvrir des formations argileuses (cas de la plaine de Doukkala). Ils sont pauvres en matière organique et leur capacité de rétention d'eau est faible. Ils sont largement exploités par les cultures maraîchères (sur le littoral).

1.3.2 La situation géographique des points de prélèvements :

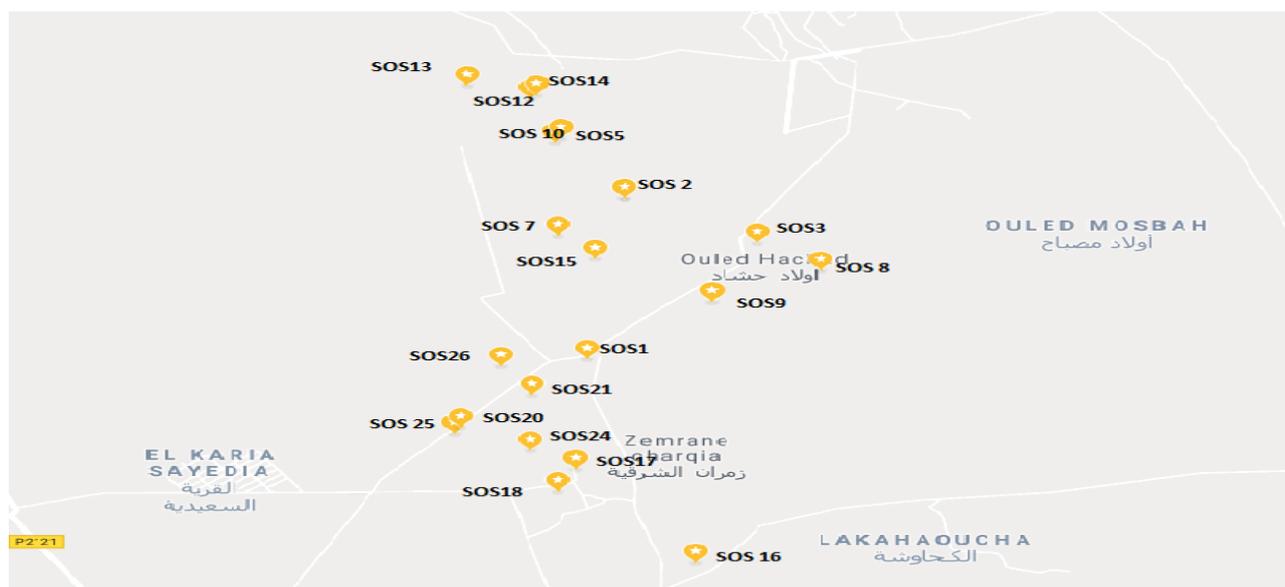


Figure 9 : Carte des Coordonnées Lambert des points de prélèvements des échantillons du sol dans le périmètre Oulad Said.

1.3.3 Les coordonnées Lambert des points des prélèvements des échantillons :

N° d'éch	X	Y	Assolement	N° d'éch	X	Y	Assolement	N° d'éch	X	Y	Assolement
S.O.S 1	301990	137661	Olivier	S.O.S 10	312356	133461	Olivier	S.O.S 19	312410	130820	Luzerne
S.O.S 2	312354	132707	Olivier	S.O.S 11	312387	133490	Luzerne	S.O.S 20	312198	131422	Olivier
S.O.S 3	313355	132627	Olivier	S.O.S 12	312234	133809	Luzerne	S.O.S 21	312050	131658	Céréales
S.O.S 4	313351	132620	Olivier	S.O.S 13	311922	133919	Olivier	S.O.S 22	312480	131707	Olivier
S.O.S 5	312690	132997	Luzerne	S.O.S 14	312270	133840	Céréales	S.O.S 23	312485	131710	Céréales
S.O.S 6	312691	132996	Olivier	S.O.S 15	312538	132519	Céréales	S.O.S 24	312185	130979	Céréales
S.O.S 7	312862	132671	Olivier	S.O.S 16	312998	130054	Céréales	S.O.S 25	311804	131125	Luzerne
S.O.S 8	313665	132400	Céréales	S.O.S 17	312319	130641	Olivier	S.O.S 26	311841	131173	Olivier
S.O.S 9	313114	132161	Bersim	S.O.S 18	312319	130647	Maraichage				

Tableau13 : Coordonnées Lambert des points de prélèvements du sol dans le périmètre d'Oulad Said.

1.3.4 Méthodes d'analyses

Les méthodes d'analyses utilisées sont conformes aux normes en vigueur et sont basées sur des normes internationales. Le tableau suivant expose les méthodes analytiques employées pour chaque paramètre :

SOLS	
Prétraitement des échantillons	NM 00.8.009 (NM : norme marocaine)
pH eau	Détermination de pH NM 00.8.023
Conductivité électrique	Qualité du sol - Détermination de la conductivité électrique spécifique. NM 00.8.175
Matière organique	Détermination chimique de la teneur pondérale en matière organique d'un sol. MO= C x 1,72.NF P94-055
Stabilité structurale	Mesure de la stabilité des agrégats de sols soumis à l'action de l'eau. NM ISO 10930

Tableau 14 : Méthodes d'analyses du Sol

1.4 Les paramètres d'analysés du sol :

(Les données sont reçues de l'ORMVAH)

1.4.1 pH du sol : Le pH est un paramètre important de la dynamique du sol et il peut être influencé par divers facteurs.

- Protocole :

- On pèse 10g de terre tamisée à 2 mm dans des béchers de 30ml. On y ajoute 25ml d'eau distillée ;



Photo 8 : La balance électronique

- 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.



Photo 9 : pH-mètre

- Les mesures du pH :

N° d'ech	Horizon (cm)	pH	
		C01	C02
S.O.S1	0 - 20	7,62	7,64
	20 - 40	7,60	7,56
	40 - 60	7,40	7,35
S.O.S2	0 - 20	7,89	7,81
	20 - 40	8,04	8,11
	40 - 60	7,79	7,82
S.O.S3	0 - 20	7,73	7,64
	20 - 40	7,52	7,42
	40 - 60	7,64	7,66
S.O.S4	0 - 20	7,77	7,52
	20 - 40	7,72	7,64
	40 - 60	7,48	7,52
S.O.S5	0 - 20	7,36	7,23
	20 - 40	7,43	7,38
S.O.S6	0 - 20	7,88	7,73
	20 - 40	7,65	7,42
	40 - 60	7,45	7,49
S.O.S7	0 - 20	7,52	7,38
	20 - 40	7,84	7,71
	40 - 60	7,42	7,40
S.O.S8	0 - 20	7,68	7,49
	20 - 40	7,21	7,26
S.O.S9	0 - 20	8,43	8,08
	20 - 40	7,85	7,66
S.O.S10	0 - 20	7,65	7,42
	20 - 40	7,23	7,16
	40 - 60	7,82	7,71
S.O.S11	0 - 20	7,36	7,22
	20 - 40	7,93	7,65
S.O.S12	0 - 20	7,32	7,18
	20 - 40	7,13	7,10
S.O.S13	0 - 20	6,97	6,73
	20 - 40	7,04	7,12
	40 - 60	8,12	8,19
S.O.S14	0 - 20	7,85	7,61
	20 - 40	7,56	7,37
S.O.S15	0 - 20	7,28	7,16
	20 - 40	7,12	7,07
S.O.S16	0 - 20	7,64	7,37
	20 - 40	7,23	7,14
S.O.S17	0 - 20	7,47	7,37
	20 - 40	7,25	7,18
	40 - 60	6,85	6,89
S.O.S18	0 - 20	7,43	7,13
	20 - 40	6,82	6,71

N° d'éch	Horizon (cm)	pH	
		C01	C02
S.O.S19	0 - 20	7,36	7,25
	20 - 40	6,93	6,84
S.O.S20	0 - 20	7,32	7,11
	20 - 40	7,02	6,86
	40 - 60	6,97	6,91
S.O.S21	0 - 20	7,04	6,83
	20 - 40	6,72	6,52
S.O.S22	0 - 20	7,14	7,03
	20 - 40	7,36	7,24
	40 - 60	7,46	7,40
S.O.S23	0 - 20	7,23	7,11
	20 - 40	7,43	7,29
S.O.S24	0 - 20	7,56	7,31
	20 - 40	7,86	7,58
S.O.S25	0 - 20	7,81	7,62
	20 - 40	7,54	7,37
S.O.S26	0 - 20	7,98	7,71
	20 - 40	7,56	7,35
	40 - 60	7,86	7,88

Tableau 15 : Résultats d'analyse du pH du sol

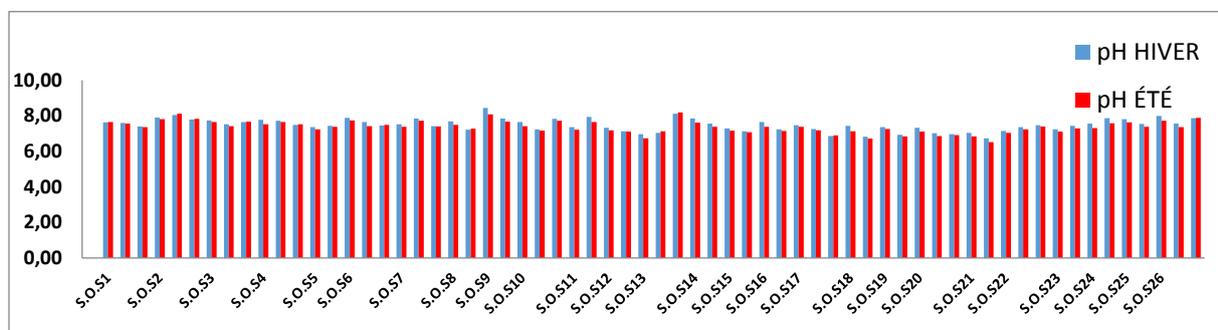


Figure 10 : Variation spatiale et temporelle du pH du Sol dans le secteur OULAD SAID

- **Interprétation :**

Les variations du pH en profondeur suivent celles en surface pour la plupart des échantillons analysés.

Le pH des trois horizons 0-20cm, 20-40cm, et 40-60cm, du secteur OULAD SAID montre des valeurs quasiment similaires et moyennement satisfaisantes selon les normes d'analyse du sol.

Dans le secteur étudié Oulad Said la majorité du sol admet des pH neutre à moyennement basiques (Voir tableau 15), les résultats de l'analyse varient de 6,52 à 8,43 avec une valeur moyenne de 7,47. Par ailleurs, lorsqu'on compare les variations du pH dans les deux campagnes de mesures effectuées, on remarque que

la campagne d'été est marquée par une légère diminution de pH surtout au niveau des horizons superficiels. Cette variation est due essentiellement à l'impact des pluies qui ont marqués la période humide de cette année.

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

Tableau 16 : Répartition des classes des pH des sols étudiés selon les normes DIAEA /DRHA /SEEN (2008).

✚ Origine, et Risque de l'acidité : L'acidité dans les sols provient des ions H^+ et Al^{3+} dans la solution du sol et est adsorbée à la surface du sol. De nombreux autres processus contribuent à la formation de sols acides tels que les précipitations, l'utilisation d'engrais, l'activité racinaire de la plante et l'altération des minéraux primaires et secondaires dans le sol. Les sols acides peuvent également être causés par des polluants tels que les pluies acides et les eaux de ruissellement provenant des mines.

Les plantes qui poussent sur des sols acides peuvent présenter divers symptômes dont la toxicité de l'aluminium (Al), de l'hydrogène (H) et / ou du manganèse (Mn), ainsi que des carences potentielles en calcium (Ca) et magnésium (Mg).

La toxicité de l'aluminium est le problème le plus courant dans les sols acides. L'aluminium endommage les racines de plusieurs façons: à l'extrémité des racines, l'aluminium interfère avec l'absorption du calcium, un nutriment essentiel, et se lie au phosphate et interfère avec la production d'ATP et d'ADN, car ces derniers ils contiennent du phosphate. L'aluminium peut également limiter l'expansion de la paroi cellulaire des racines, ce qui retarde la croissance.

1.4.2 Conductivité électrique : La conductivité permet de mesurer la concentration en ions de la phase liquide d'un substrat en utilisant la propriété d'une solution aqueuse de conduire l'électricité proportionnellement à sa concentration en ions.

- **Protocole :**

- Peser 20g de terre, les verser dans un erlenmeyer de 250ml.
- Ajouter 100ml d'eau distillée, boucher l'erlenmeyer.
- Mettre immédiatement sur l'agitateur mécanique, laisser 20mn exactement



Photo 10 : L'agitateur mécanique

- Transverse dans des béchers de 150ml forme haute. Laisser décanter.
- Etalonner l'appareil par la solution KCL 0,01N en tenant compte de la température.
- Mesurer la conductivité électrique ainsi des échantillons La mesure de la conductivité électrique est faite par la patte saturée qu'on laisse reposer pendant une nuit, on centrifuge et on récupère le surnageant dans des tubes auquel on fait la lecture par le conductimètre.

Calcul : sels dans le sol (g/l) = $CE * 3,2$

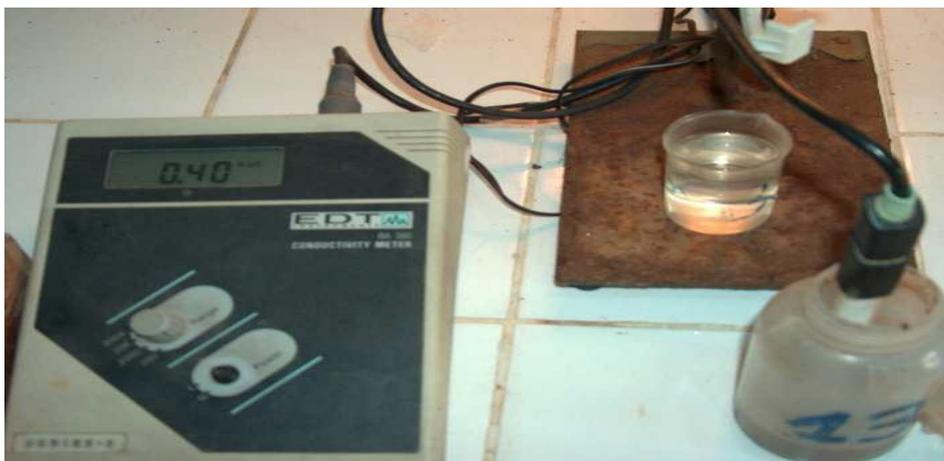


Photo 11 : Conductimètre

- Les mesures de la conductivité du sol :

N° d'ech	Horizon (cm)	CE (ds/m)	
		C01	C02
S.O.S1	0 - 20	0,45	0,53
	20 - 40	0,31	0,46
	40 - 60	0,23	0,33
S.O.S2	0 - 20	0,42	0,48
	20 - 40	0,31	0,42
	40 - 60	0,31	0,47
S.O.S3	0 - 20	0,18	0,22
	20 - 40	0,25	0,27
	40 - 60	0,32	0,33
S.O.S4	0 - 20	0,34	0,51
	20 - 40	0,25	0,34
	40 - 60	0,12	0,15
S.O.S5	0 - 20	0,31	0,46
	20 - 40	0,29	0,32
S.O.S6	0 - 20	0,24	0,35
	20 - 40	0,35	0,33
	40 - 60	0,15	0,14
S.O.S7	0 - 20	0,14	0,19
	20 - 40	0,15	0,17
	40 - 60	0,21	0,22
S.O.S8	0 - 20	0,15	0,31
	20 - 40	0,38	0,39
S.O.S9	0 - 20	0,18	0,16
	20 - 40	0,35	0,34
S.O.S10	0 - 20	0,21	0,42
	20 - 40	0,34	0,30
	40 - 60	0,25	0,24
S.O.S11	0 - 20	0,18	0,35
	20 - 40	0,19	0,22
S.O.S12	0 - 20	0,34	0,41
	20 - 40	0,21	0,25
S.O.S13	0 - 20	0,13	0,27
	20 - 40	0,26	0,22
	40 - 60	0,14	0,15
S.O.S14	0 - 20	0,17	0,53
	20 - 40	0,25	0,31
S.O.S15	0 - 20	0,11	0,23
	20 - 40	0,14	0,18
S.O.S16	0 - 20	0,21	0,37
	20 - 40	0,20	0,23
S.O.S17	0 - 20	0,14	0,45
	20 - 40	0,13	0,28
	40 - 60	0,14	0,16
S.O.S18	0 - 20	0,22	0,48
	20 - 40	0,21	0,33
S.O.S19	0 - 20	0,14	0,23
	20 - 40	0,23	0,21
S.O.S20	0 - 20	0,31	0,47

N° d'ech	Horizon (cm)	CE (ds /cm)	
		C01	C02
S.O.S20	20 - 40	0,37	0,35
	40 - 60	0,28	0,31
S.O.S21	0 - 20	0,14	0,46
	20 - 40	0,19	0,23
S.O.S22	0 - 20	0,36	0,42
	20 - 40	0,35	0,30
	40 - 60	0,45	0,42
S.O.S23	0 - 20	0,34	0,51
	20 - 40	0,36	0,37
S.O.S24	0 - 20	0,28	0,38
	20 - 40	0,34	0,32
S.O.S25	0 - 20	0,25	0,41
	20 - 40	0,32	0,30
S.O.S26	0 - 20	0,33	0,37
	20 - 40	0,24	0,26
	40 - 60	0,30	0,29

Tableau17 : Résultats de mesure de la conductivité

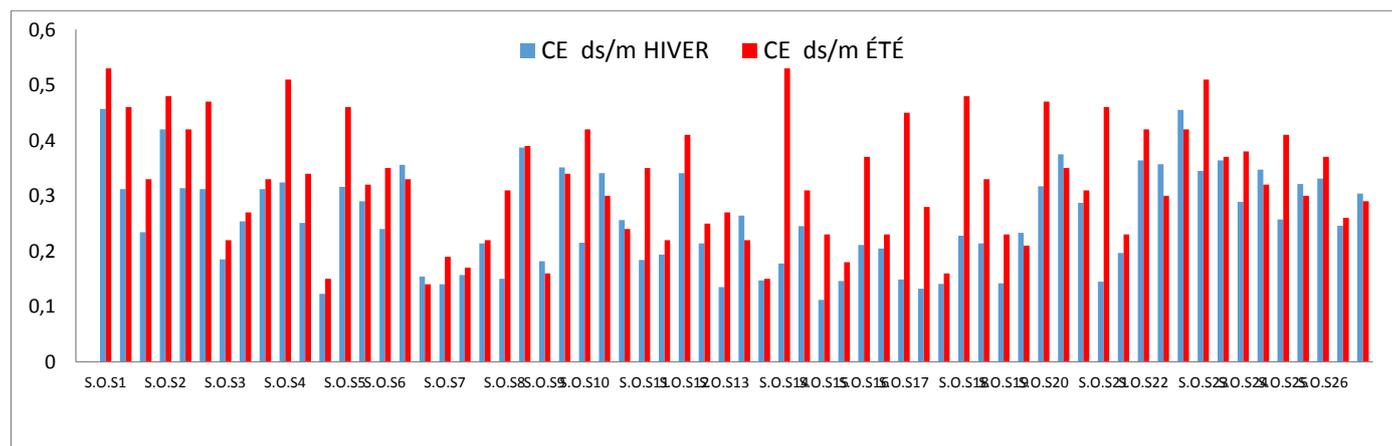


Figure 11 : Variation spatiale et temporelle de la conductivité électrique du sol de secteur Oulad Said.

- **Interprétation :**

La salinité d'un sol est déterminée par la conductivité électrique mesurée sur l'extrait de la pâte saturée, en raison qu'elle est proche à l'état réel du sol.

Dans le secteur étudié Oulad Said les résultats obtenus de la conductivité électrique dans les parcelles échantillonnées exposent une classe de sol non salin, les résultats d'analyses sont inférieure à 4 dS/m (Voir Tableau 17). De mêmes, les résultats d'analyse montrent une différence significative entre les trois horizons (surface et profondeur).

Par ailleurs, les valeurs enregistrées durant la campagne été ont augmenté significativement vu que le sol est bien chargé de sels et d'ions apportés par les engrais et les intrants chimiques.

Les valeurs de conductivité électrique montrent que le périmètre étudié n'est pas touchés par le problème de salinisation des sols latéralement aussi que verticalement, donc on a un effet de salinité négligeable sur la croissance de plantes cultivées. Le tableau n° 18 représente la classe du sol en fonction de la valeur de la conductivité électrique, établie par les normes DIAEA /DRHA /SEEN2008.

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

Tableau 18 : Répartition des classes de la salinité des sols selon les normes DIAEA /DRHA /SEEN (2008).

✚ Origine, et Risque de la salinité du sol : Pour 80% des terres salinisées, l'origine serait naturelle :

- formation des sels pendant l'altération des roches ou par des apports naturels externes
- remontée des nappes phréatiques
- **Causes humaines**

L'irrigation peut être une des causes humaines de la salinisation. En effet, 20 % des terres irriguées ont des problèmes de salinité¹. Lorsque l'irrigation est trop abondante pour être absorbée par les racines des plantes, le sol est humidifié en profondeur, permettant au sel de remonter à la surface. Les effets chez les plantes du stress salin.

Les effets généraux sont :

- Les effets osmotiques :
 - ✓ Changement de la turgescence
 - ✓ Biosynthèse d'osmolytes
- Les effets relatifs aux ions :
 - ✓ Toxicité (qui peut aussi varier selon le type de sel).
 - ✓ nutrition en minéraux perturbées (inhibition de l'arrivée de minéraux, perte de la sélectivité K/Na...).
 - ✓ Le stress oxydatif.
 - ✓ Les effets sur les organismes symbiotes ou utiles et commensaux de la plante (ex : bactéries fixatrices de l'azote, champignons Mycorhizateurs, Pollinisateurs, décomposeurs du sol...).

- Beaucoup de plantes et de micro-organismes disposent de mécanismes de défense contre le sel, mais ils ne sont généralement que de court-terme ou non adaptés aux sols saturés en sel.

1.4.3 Matière organique : De l'humus, une matière organique en décomposition: Par définition, la matière organique naturelle est un matériau composé de composés organiques qui proviennent des restes d'organismes qui étaient autrefois des êtres vivants, tels que les plantes et les animaux et leurs déchets dans l'environnement naturel .

L'analyse de la matière organique se fait par la méthode de Walkley et Black,

- **Protocole :**

- pesé (0,5g à 2g) selon la richesse de la matière organique dans des erlenmeyers de 250ml dont
- L'oxydation : du carbone se fait à froid, +10ml de $K_2Cr_2O_7$, 1N par une éprouvette ou pipette de 10 ml.
- +20ml d' H_2SO_4 concentré.
- Agiter 1mn en évitant de disperser l'échantillon de sur les parois de l'erlenmeyer
- Abandonner 30mn pour laisser l'oxydation se développer.
- Ajouter 100ml d'eau distillé pour stopper la réaction. Laisser décanter.

Dosage :

- prélever 25 ml de la solution.
- Ajouter 5g de NaF (une cuillère)
- Ajouter 3 gouttes de chlorhydrate de diphénylamine
- Verser la solution de sel de Mohr dans une burette et titrer l'excès de bicarbonate.



Photo 12 : Dosage de la matière organique.

- Le carbone total mesuré permet d'estimer le pourcentage en matière organique par la formule : $\%MO = \%C * 1,724$

- Les mesures de la matière organique :

N° d'ech	Horizon (cm)	Densité apparente (g/cm ³)		MO (g/kg)	
		C01	C02	C01	C02
S.O.S1	0 - 20	1,17	1,06	1,12	2,12
	20 - 40			0,97	1,54
	40 - 60			0,98	1,16
S.O.S2	0 - 20	1,37	1,49	1,21	1,87
	20 - 40			1,1	1,66
	40 - 60			0,97	1,23
S.O.S3	0 - 20	1,18	1,22	1,52	1,79
	20 - 40			1,32	1,45
	40 - 60			1,11	1,17
S.O.S4	0 - 20	1,14	1,36	1,62	2,33
	20 - 40			1,53	1,82
	40 - 60			0,89	1,32
S.O.S5	0 - 20	1,21	1,12	1,42	1,75
	20 - 40			1,19	1,31
S.O.S6	0 - 20	1,45	1,35	1,16	1,69
	20 - 40			1,12	1,54
	40 - 60			1,1	1,35
S.O.S7	0 - 20	1,51	1,37	1,45	2,15
	20 - 40			1,34	1,72
	40 - 60			1,23	1,44
S.O.S8	0 - 20	1,13	1,05	1,74	2,24
	20 - 40			1,42	2,05
S.O.S9	0 - 20	1,32	1,47	1,62	1,97
	20 - 40			1,23	1,43
S.O.S10	0 - 20	1,27	1,21	1,64	2,34
	20 - 40			1,54	1,87
	40 - 60			1,32	1,53
S.O.S11	0 - 20	1,47	1,53	1,45	1,82
	20 - 40			1,26	1,43
S.O.S12	0 - 20	1,46	1,44	1,89	2,11
	20 - 40			1,74	1,86
S.O.S13	0 - 20	1,55	1,51	1,65	1,77
	20 - 40			1,45	1,64
	40 - 60			1,32	1,45
S.O.S14	0 - 20	1,29	1,31	1,45	1,88
	20 - 40			1,23	1,52
S.O.S15	0 - 20	0,99	1,03	1,64	2,16
	20 - 40			1,54	1,75
S.O.S16	0 - 20	1,12	1,15	1,89	2,22

N° d'ech	Horizon (cm)	Densité apparente (g/cm ³)		MO (g/kg)	
		C01	C02	C01	C02
	20 - 40			1,78	2,10
S.O.S17	0 - 20	1,06	1,11	2,32	2,57
	20 - 40			2,12	2,31
	40 - 60			2,17	2,11
S.O.S18	0 - 20	1,23	1,26	1,87	2,12
	20 - 40			1,65	1,86
S.O.S19	0 - 20	1,21	1,18	1,47	2,13
	20 - 40			1,75	1,97
S.O.S20	0 - 20	1,06	1,11	1,95	2,31
	20 - 40			1,55	1,85
	40 - 60			1,32	1,43
S.O.S21	0 - 20	1,04	1,01	1,67	2,27
	20 - 40			1,84	1,95
S.O.S22	0 - 20	1,07	1,13	1,48	1,86
	20 - 40			1,67	1,95
	40 - 60			1,52	1,66
S.O.S23	0 - 20	1,34	1,42	1,98	2,34
	20 - 40			1,84	2,16
S.O.S24	0 - 20	1,49	1,38	1,64	1,79
	20 - 40			1,57	1,63
S.O.S25	0 - 20	1,3	1,15	1,84	2,25
	20 - 40			1,45	1,82
S.O.S26	0 - 20	1,39	1,27	1,67	2,26
	20 - 40			1,98	2,13
	40 - 60			1,42	1,66

Tableau 19 : Les valeurs de la matière organique

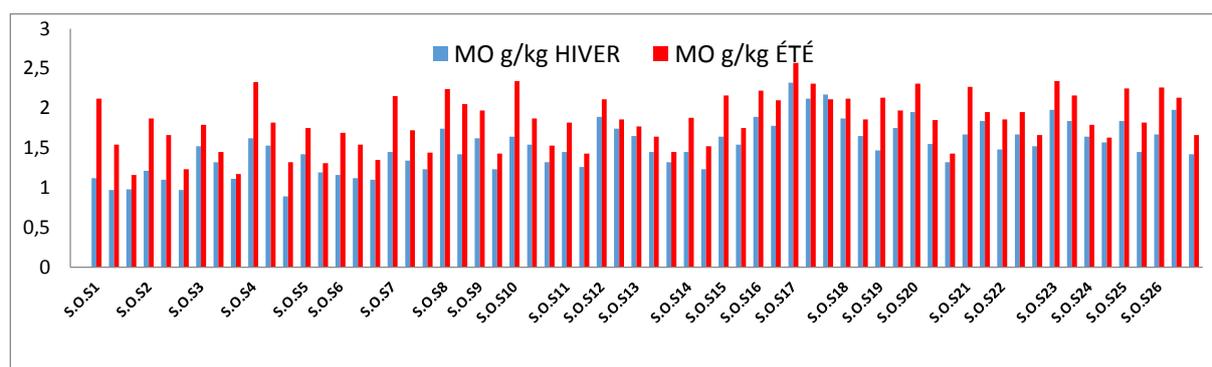


Figure 12 : Variation spatiale et temporelle de la matière organique du sol dans le secteur Oulad Said.

- Interprétation:

Les sols sont classés d'après la classification de l'association des fabricants d'engrais de Québec (1987) dans des sols pauvres à très pauvres en matière organique. 83% des échantillons prélevés sont caractérisés par des sols riches en matière humique sur l'horizon de surface, alors que pour l'horizon de profondeur, tous les échantillons sont classés dans les sols pauvres et c'est peut-être dû à la texture limoneuse des sols.

Cependant, avec l'apport de fumier le sol a montré une augmentation significative du taux de la matière organique, les valeurs obtenues durant la campagne été pour le périmètre Oulad Said sont moyens, elles varient de 2 à 2,5 g/kg.

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

Tableau 20 : Répartition des classes du sol selon leur teneur en matière organique (DIAEA /DRHA /SEEN (2008)).

-  **Risque de la perte de la matière organique :** le sol contient un faible pourcentage massique de matière organique généralement compris entre 1 et 5%, qui joue un rôle comme réservoir d'éléments nutritifs, et substrat de base pour le réseau trophique détritivore, et contribue là la structuration du sol. Un sol dont le taux de matière organique est trop bas s'appauvrit.

Ceci entraîne, une perte de fertilité de la terre et une plus grande vulnérabilité à l'érosion. Cela dû à la minéralisation de la matière organique par les micro-organismes qui n'est pas remplacée.

1.4.4 Stabilité structurale : Au-delà de la structure, il y a la notion de « stabilité structurale » qui est particulièrement importante pour l'érosion. La stabilité structurale est une mesure de la résistance des agrégats à la désagrégation. Un sol dont les agrégats ont une forte cohésion possède une bonne stabilité structurale ; des agrégats avec une faible cohésion ont donc une faible stabilité structurale et ils se désagrègent facilement sous l'impact des gouttes de pluie. L'influence de la stabilité structurale se ressent surtout par son impact sur l'infiltration de l'eau dans le sol et la facilité avec laquelle le sol est érodé. Les facteurs principaux qui influencent la stabilité structurale d'un sol cultivé sont la texture, la teneur en matières organiques et les types de cations présents dans le sol.

- Les mesures de la stabilité structurale :

N° d'ech	Horizon (cm)	MDW moyen (mm)	
		C01	C02
S.O.S1	0 - 20	1,5	1,54
	20 - 40		
	40 - 60		
S.O.S2	0 - 20	1,32	1,4
	20 - 40		
	40 - 60		
S.O.S3	0 - 20	1,28	1,31
	20 - 40		
	40 - 60		
S.O.S4	0 - 20	0,95	0,87
	20 - 40		
	40 - 60		
S.O.S5	0 - 20	1,41	1,36
	20 - 40		
S.O.S6	0 - 20	1,09	1,15
	20 - 40		
	40 - 60		
S.O.S7	0 - 20	1,14	1,22
	20 - 40		
	40 - 60		
S.O.S8	0 - 20	1,13	1,27
	20 - 40		
S.O.S9	0 - 20	0,87	0,80
	20 - 40		
S.O.S10	0 - 20	1,17	1,54
	20 - 40		
	40 - 60		
S.O.S11	0 - 20	1,22	1,15
	20 - 40		
S.O.S12	0 - 20	1,38	1,29
	20 - 40		
S.O.S13	0 - 20	1,13	1,18
	20 - 40		
	40 - 60		
S.O.S14	0 - 20	0,96	1,02
	20 - 40		
S.O.S15	0 - 20	1,14	1,22
	20 - 40		
S.O.S16	0 - 20	0,92	0,87
	20 - 40		
S.O.S17	0 - 20	0,78	0,91
	20 - 40		

N° d'éch	Horizon (cm)	MDW moyen (mm)	
		C01	C02
	40 - 60	C01	C02
S.O.S18	0 - 20	1,17	1,28
	20 - 40		
S.O.S19	0 - 20	1,22	1,33
	20 - 40		
S.O.S20	0 - 20	1,27	1,18
	20 - 40		
	40 - 60		
S.O.S21	0 - 20	1,05	1,27
	20 - 40		
S.O.S22	0 - 20	1,19	1,24
	20 - 40		
	40 - 60		
S.O.S23	0 - 20	0,87	0,95
	20 - 40		
S.O.S24	0 - 20	0,91	1,11
	20 - 40		
S.O.S25	0 - 20	1,13	1,29
	20 - 40		
S.O.S26	0 - 20	1,23	1,35

Tableau 21 : Les valeurs de la stabilité structurale.

La stabilité structurale est déterminée par la méthode de Bissonnais en trois étapes :

- La humectation rapide par immersion d'un échantillon de particules de sols de 3 à 5 mm dans l'eau pendant 10 minutes,
- La humectation lente des agrégats par capillarité pendant 60 minutes en utilisant un papier filtre posé sur une éponge humide à suction.
- La désagrégation mécanique des particules par agitation après humectation par l'utilisation d'un liquide non polaire et miscible à l'eau (éthanol) pendant 30 minutes transférées ensuite dans un erlenmeyer contenant l'eau.

Chaque échantillon a été transféré et tamisé à 50 mm dans l'appareil de Hénin en appliquant 5 fois un mouvement hélicoïdal, et après les agrégats (>50mm) sont séchés à l'étuve ventilée pendant 48h (40°C). Les agrégats sont mis à une chaîne de 6 tamis de diamètres variant de 0 à 2mm.

La première étape permet de prédire le comportement de la structure du sol vis-à-vis une averse, tandis que la deuxième nous donne une idée sur la résistance des mottes à une pluie modérée, la troisième étape permet de tester le comportement des matériaux humides soumis à une action mécanique indépendamment de l'éclatement.

Les résultats sont exprimés sous forme d'un histogramme représentant la distribution de la taille des particules pour chaque test, ou en diamètres moyens pondéraux (MWD).

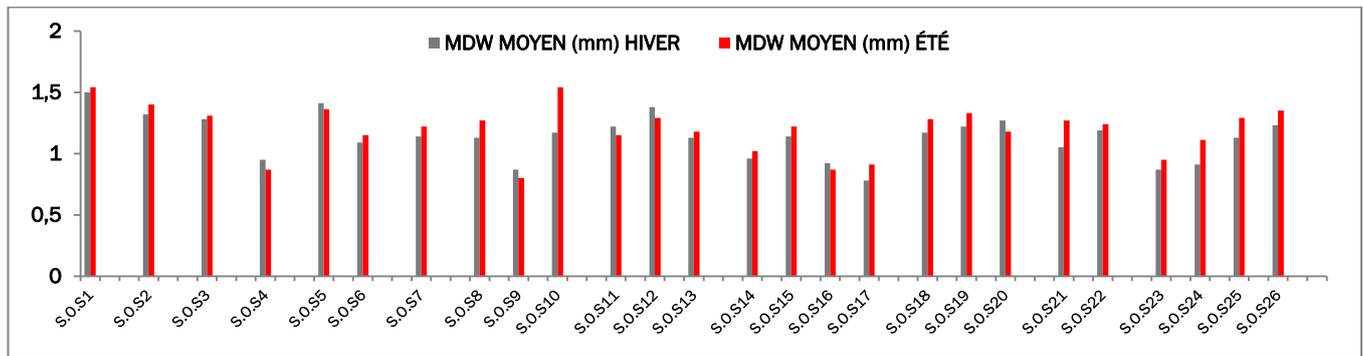


Figure 13 : Variation spatiale et temporelle de la stabilité structurale du sol dans le secteur Oulad Said.

- **Interprétations :**

Le sol du périmètre d'OULAD SAID est caractérisé par l'abondance de sols à structure limoneuse. Ce sol peut avoir des problèmes de battance et de tassement en conditions humides. Ce problème se traduit par la formation d'une croûte superficielle compacte par l'action des gouttes de pluie et le fractionnement des agrégats à la surface du sol. La formation de croûtes entraîne une baisse de l'infiltration de l'eau dans le sol et ainsi une augmentation du ruissellement. Une croûte de battance a aussi pour conséquence des problèmes de germination et de levée des cultures.



Photo 13 : Formation d'une croûte de battance

Parmi les facteurs qui mènent à ce problème : La diminution de la matière organique, et une mauvaise stabilité structurale.

- **Les mesures de la stabilité des agrégats :**

La méthode utilisée est celle proposée par Le Bissonais et Le Souder (1995) et normalisée Afnor en 2005 (NF X31-515).

Cette méthode comprend 3 tests qui caractérisent la stabilité d'agrégats secs vis-à-vis de l'action dégradante de l'eau :

- **Test d'humectation rapide** : les agrégats sont immergés brutalement dans un volume d'eau,
- **Test de désagrégation mécanique par agitation** : les agrégats sont préalablement saturés à l'aide d'éthanol puis immergés dans de l'eau et agités manuellement dans un erlenmeyer),
- **Test d'humectation lente** : les agrégats sont humectés lentement par capillarité.
- Après chacun de ces tests, les proportions des classes de taille d'agrégats résiduels sont évaluées par tamisage et les résultats sont exprimés en terme de diamètre moyen pondéré (DMP) calculé selon :

$$DMP(mm) = \sum_i^n \bar{x}_i w_i$$

\bar{x}_i : Le diamètre moyen entre deux tamis,

W_i : proportion de la masse totale d'agrégats résiduels dans chaque tamis (2, 1, 0,5, 0,2, 0,1 et 0,05 mm).

Plus les agrégats sont résistants à l'action destructive de l'eau et restent de taille importante, plus le DMP est élevé, plus la structure du sol est considérée comme stable.

Pour chaque test des DMP sont calculés : DMP_{HR} , DMP_{DM} , DMP_{HL} pour, respectivement, les tests d'humectation rapide, de désagrégation mécanique et d'humectation lente. Les valeurs des DMP de chacun de ces tests ont été moyennées pour donner le DMP_{moy} .

Le diamètre moyen pondéral dans la deuxième campagne n'a pas beaucoup changé, car la stabilité structurale est un paramétré stable dans le temps vu qu'il est lié étroitement avec la texture de sol.

Le Bissonais et le Souder (1995), proposent une classification qui donne le lien entre le DMP et la stabilité des agrégats, les sensibilités à la battance et à l'érosion hydrique.

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

Tableau 22 : Classe de stabilités, battance et érosion hydrique en fonction de valeurs de diamètre moyen pondéral après désagrégation (DMP)
(Le Bissonnais Y, Le Souder C, 1995).

Les résultats des tests de la stabilité structurale des sols montrent que ces sols sont moyennement stables et présentent des risques fréquents de battance et risque variable de ruissellement en fonction des paramètres climatiques et topographiques.

1.5 Paramètres d'analyses de l'eau : (les données sont reçues de l'ORMVAH)

1.5.1 Méthodes d'analyses :

PARAMETRES		NORMES ET METHODES
Echantillonnage		Qualité des eaux échantillonnage NM 03.7.059
Ph		pH mètre potentiométrique NM 03.7.009
Conductivité		Conductimètre Hach Lange NM 03.7.011
Nitrate		Méthode spectrométrique avec l'acide sulfosalicylique NM 03.7.206
Niveau piézométrique		Mesure In situ à l'aide de piézomètre
Ortho-phosphate		Dosage par spectrophotomètre
MES		Filtration sur membrane filtrante NM 03.7.052
SAR		Dosage du calcium et magnésium NM 03.7.020 Dosage du sodium par photomètre à flamme
Bilan ionique	Sodium	Dosage par photomètre à flamme
	Calcium	Qualité de l'eau - Dosage du calcium - Méthode titrimétrique à l'EDTA. ISO 6058 (1990)
	Magnésium	Qualité de l'eau - Dosage de la somme du calcium et du magnésium - Méthode titrimétrique à l'EDTA. ISO 6059 : 1990

Tableau 23 : Méthodes d'analyses de l'eau

1.5.2 Paramètres à analysés :

- **Potentiel d'hydrogène (pH) :** Permet de déterminer l'acidité d'une eau, il se mesure à l'aide d'un pH mètre.
- **Conductivité électrique (CE) :** Permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation totale de l'eau. Elle a été mesurée sur le terrain et au laboratoire à l'aide d'un conductimètre.

Calcul de sels (g/l) dans l'eau = CE * 0,64

✚ **Origine et Risque de la salinité d'eau :** Les tsunamis sont une cause de salinisation des sols. Les minéraux qui sont abandonnés aux précipitations sous forme de sels contribuent par évaporation à saliniser les eaux et les sols, formant aux points les plus déprimés des plaines inondées et salées. Lorsque l'irrigation est trop abondante pour être absorbée par les racines des plantes (absence d'un système efficace de drainage), le sol est humidifié en profondeur, permettant au sel de remonter à la surface. La remontée des nappes phréatiques salées ou l'irruption d'un biseau salé dans une nappe d'eau douce. L'activité minière (exploitation de mines de sel ou de potasse) est une autre cause une concentration élevée en sel dans l'eau ou dans les sols affectera négativement le rendement des récoltes, provoquera une dégradation des sols et une pollution des eaux souterraines.

- **SAR (Sodium absorption ratio) :** Exprime l'activité relative des ions de sodium dans les réactions d'échange dans les sols. Cet indice mesure la concentration relative du sodium par rapport au calcium et au magnésium. Le SAR est défini par l'équation suivante : $SAR = [Na] / \sqrt{([Ca] + [Mg] / 2)}$

✚ **Origine et Risque de Sodium :** Une grande quantité d'ions sodium dans l'eau affecte la perméabilité des sols et pose des problèmes d'infiltration. Ceci est dû au fait que le sodium présent dans le sol en forme échangeable remplace les calcium et les magnésium adsorbés sur les argiles de sol et cause la dispersion des particules dans le sol (c.-à-d. si le calcium et le magnésium sont les cations prédominants adsorbés sur le complexe d'échange du sol, le sol tend à être facilement cultivé et a une structure perméable et granulaire). Cette dispersion a comme conséquence l'altération des agrégats des sols. Le sol devient alors dur et compact (lorsqu'il est sec) réduisant ainsi les vitesses d'infiltration de l'eau et d'air, affectant ainsi sa structure. Ce problème est également relié avec plusieurs facteurs tels que le taux de salinité et le type de sol.

Par exemple les sols sableux ne subiront pas de dommage si facilement en comparaison aux plus lourds quand ils sont irrigués avec de l'eau à haut SAR.

- **Nitrates (NO₃):** Substances chimiques naturelles qui entrent dans le cycle de l'azote. Le nitrate est beaucoup utilisé dans les engrais inorganiques et les explosifs, comme agent de conservation des aliments et comme substance chimique brute dans divers procédés industriels.

- ✚ **Origine** : Proviennent de la fixation de l'azote atmosphérique et de la décomposition de matière organique par des microorganismes. Ils se forment naturellement par combinaison de l'azote (N) et de l'oxygène (O). La présence d'un excès de nitrates dans l'eau est un indice de pollution d'origine agricole (engrais).
- **Matière en suspension (MES)** : Représente la partie insoluble des matières (organiques et minérales) ainsi que les matières colloïdales dans un litre d'eau analysée. La méthode consiste à déterminer le poids des matières retenues par filtration.
- ✚ **Origine et Risque de la matière en suspension** : Les MES sont très liées d'une part à l'usage des sols dont elles sont issues et à la charge en phosphore résultante et d'autre part à l'histoire de leur transformation en fonction des conditions hydrologiques et climatiques, donc de la saison. Elles regroupent l'ensemble des substances non dissoutes contenues en suspension dans les eaux de ruissellement. En effet, les MES et les particules solides transportées dans les cours d'eau proviennent de l'érosion de la couche superficielle des sols sous l'action dynamique de l'eau de pluie, de ruissellement ou encore d'écoulement dans les eaux. La charge solide ou la matière en suspension (MES) est la matière non dissociée dans l'eau, qu'on peut la considérer comme l'un des grands problèmes rencontrés soit pour les constructions hydraulique soit pour l'agriculture. Elle est essentiellement causée par l'érosion rapide des sols qui est le plus en plus favorisée par le climat semi-aride et les précipitations irrégulières qui s'abattent sur les sols et les rendent fragiles et dénudés ce qui facilite leur érosion. Les débris qui résultent de l'érosion, sont ensuite transportés par les courants d'eau en grands quantités. Quand la matière en suspension est très importante dans l'eau d'irrigation, elle s'accumule à la surface du sol la porosité diminue peu à peu. Dès que le sol se sèche, la croûte de battance se forme. Cette croûte diminue l'infiltration de l'eau ce qui diminue la croissance de la végétation. La MES provoque le colmatage des goutteurs des réseaux d'irrigation goutte à goutte et des pompes pour les systèmes gravitaire.
- **Ortho phosphate** : Dans les eaux naturelles et les eaux usées, le phosphore se trouve sous différentes formes de phosphates telles que les ortho phosphates, ou « phosphore réactif », les phosphates hydrolysables et les phosphates organiques, lesquelles peuvent être de forme dissoute ou particulaire. Les ortho phosphates sont les phosphates qui peuvent être dosés sans hydrolyse ou sans digestion oxydante.

Le phosphore dans les eaux naturelles provient principalement de l'utilisation des détergents ainsi que du drainage des terres agricoles fertilisées. En général, le phosphore n'est pas toxique pour l'homme, les animaux ou les poissons et c'est principalement pour ralentir la prolifération des algues dans les milieux aquatiques que la concentration en phosphore doit être limitée.

1.6 Les mesures des eaux souterraines :

N° ECH	X	Y	Niveau piézométrique	pH		CE (mmho/cm)		SAR		NO ₂₋₃ * (mg/l)	
				C01	C02	C01	C02	C01	C02	C01	C02
P.O.S. 1	311500	130559	82 m	7,10	7,53	1,211	1,267	1,74	1,80	25,87	28,11
P.O.S. 2	311505	130550	120 m	7,09	7,50	1,186	1,194	1,74	1,73	24,01	26,2
P.O.S. 3	311512	130564	130 m	7,04	7,55	1,188	1,210	2,10	1,98	15,33	20,16
P.O.S. 4	312682	130670	110 m	7,16	7,48	1,241	1,216	2,23	2,11	23,32	24,19
P.O.S. 5	313153	132545	83 m	7,24	7,45	1,146	1,157	2,04	2,12	15,37	19,13
P.O.S. 6	312142	132974	80 m	7,32	7,32	1,071	1,116	1,57	1,78	16,71	18,26
P.O.S. 7	311598	134299	65 m	7,21	7,41	1,114	1,128	1,66	1,74	24,27	29,03
P.O.S. 8	313004	134035	81 m	6,93	7,26	1,22	1,213	1,84	1,96	16,50	22,43
P.O.S. 9	312858	133258	83 m	6,89	7,49	1,097	1,125	1,76	1,85	14,36	18,78
P.O.S. 10	313591	130622	110 m	7,08	7,30	1,392	1,373	2,46	2,62	17,55	21,06
P.O.S. 11	311945	131308	85 m	7,00	7,12	1,219	1,258	2,25	2,40	15,05	26,34
P.O.S. 12	282608	151280	83 m	6,92	7,36	1,164	1,181	2,18	2,29	14,93	19,10
P.O.S. 13	310794	132085	80 m	7,03	7,44	1,127	1,137	1,28	1,55	32,36	34,18
P.O.S. 14	313599	129763	96 m	7,64	7,53	1,13	1,176	2,15	2,21	18,78	22,26
P.O.S. 15	309646	132324	96 m	6,86	7,27	1,163	1,203	1,91	2,22	20,10	24,42

Tableau 24 : Synthèse des résultats des analyses des eaux souterraines des campagnes HIVER 2017 et ETE 2018 dans le secteur Oulad Said.

1.7 Les mesures des eaux de surface :

N° ECH	X	Y	DOUAR	Ph		CE (mmho/cm)		SAR		MES* (mg/l)		Orthphosphate (mg/l)	
				C01	C02	C01	C02	C01	C02	C01	C02	C01	C02
B.O.S 1	310495	128584	OULAD SAID	8,05	8,10	1,21	0,77	4,34	3,81	162	22	0,095	0,12
B.O.S 2	312545	127828	OULAD SAID	8,4	8,28	1,18	0,78	4,35	3,76	181	17,5	0,121	0,13
B.O.S 3	309285	131463	OULAD SAID	8,65	8,30	1,21	0,76	4,4	3,63	180	23	0,08	0,09
B.O.S 4	310758	132893	OULAD SAID	8,54	8,26	1,18	0,79	3,98	3,70	126	19	0,084	0,095
B.O.S 5	312185	131396	OULAD SAID	8,45	8,19	1,15	0,75	3,86	3,46	175	21,5	0,101	0,11

Tableau 25 : Synthèse des résultats des analyses des eaux de surface des campagnes HIVER 2017 et ETE 2018 dans le secteur Oulad Said.

- **Interprétation des résultats des eaux souterraines :**

- pH des eaux souterraines :

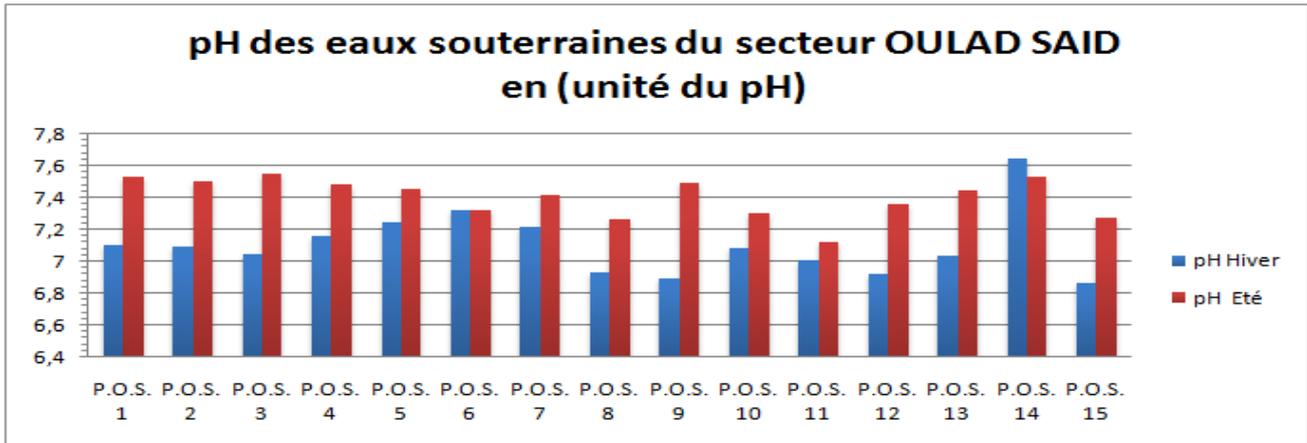


Figure 14 : Variation spatiale et temporelle du pH du sol dans le secteur Oulad Said.

- **Interprétation :**

Les eaux souterraines d'OULAD SAID présentent un pH compris entre 7,12 et 7,53 (tableau 17).

Les résultats du pH des eaux souterraines de la zone d'étude sont conformes aux normes de la qualité des eaux destinés à l'irrigation (de bonne qualité voir annexe 2).

- Conductivité des eaux souterraines :

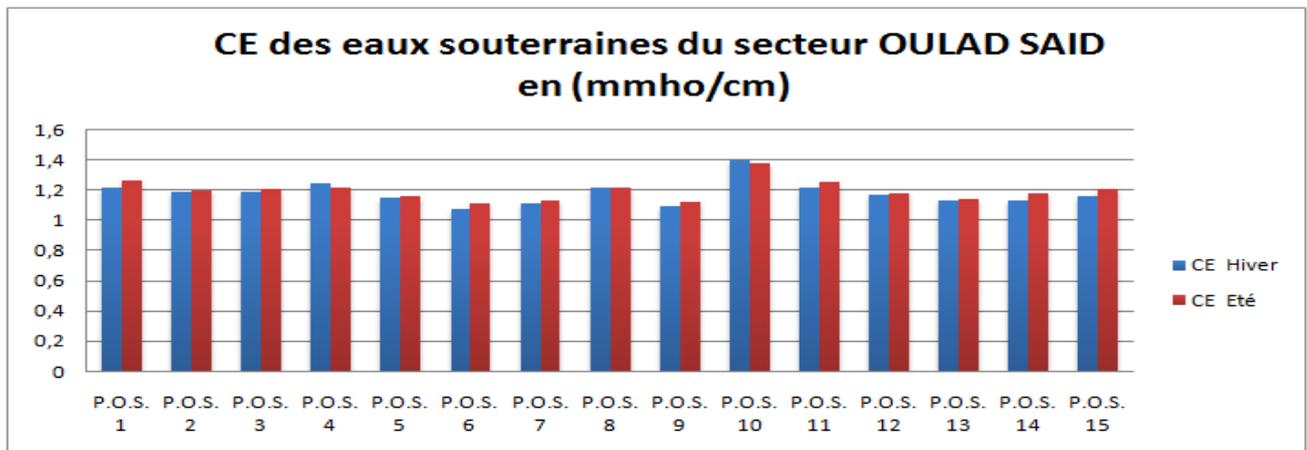


Figure 15 : Variation spatiale et temporelle de la conductivité dans le secteur Oulad Said.

- **Interprétation :**

Les valeurs de la conductivité électrique des eaux souterraines de secteurs OULAD SAID durant les deux campagnes de prélèvements révèlent des résultats satisfaisants par rapport aux valeurs limites exigées par les normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation. (voir annexe 1 et 2).

La mesure de la conductivité électrique permet d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau, elle fournit des indications sur la minéralisation, par la relation suivante : la minéralisation totale (mg/l)=A×K (us/cm) avec A varie entre 0,55 et 0,9 en fonction des ions dissous.

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

Tableau 26 : Grille d'évaluation de la qualité des eaux souterraines (Normes Ministère Energie, Mines Eaux et Environnement).

Dans le secteur d'OULAD SAID, la conductivité électrique varie de 1,116mmhos/cm à 1,267 mmhos/cm.

Les valeurs enregistrées de la conductivité électrique des eaux souterraines dans le secteur OULAD SAID sont conformes aux valeurs recommandées par les normes de la qualité des eaux destinées à l'irrigation (12ms/cm).

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

- SAR des eaux souterraines :

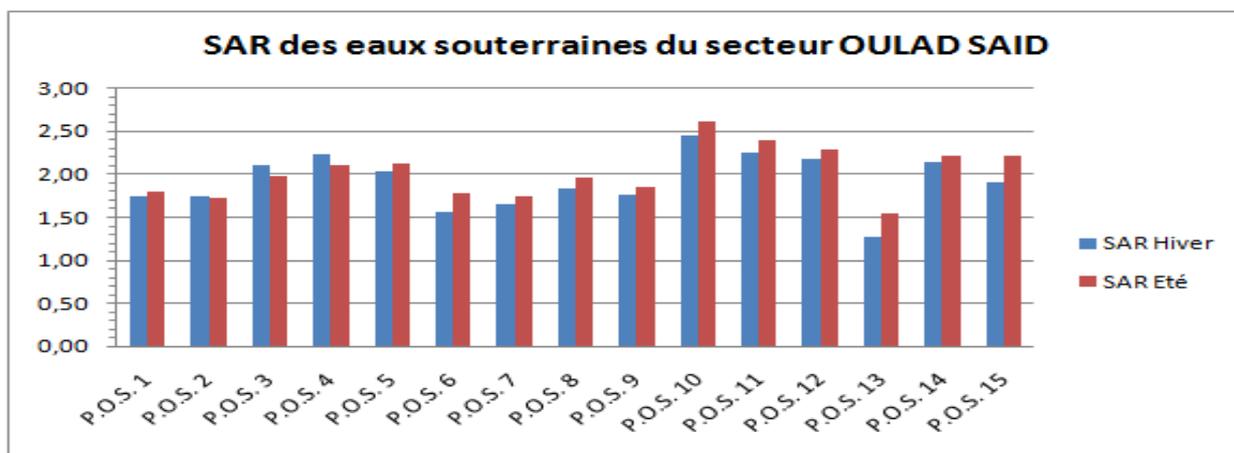


Figure 16 : Variation spatiale et temporelle du SAR dans le secteur Oulad Said.

- **Interprétation :**

Les eaux souterraines d'OULAD SAID présentent un taux d'absorption du sodium compris entre 1,55 et 2,62.

Le taux d'absorption du sodium dans les durant les deux campagnes est inférieur à 10, ce qui affirme un faible risque de sodicité.

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

Tableau28 : Classement des risques de sodicité des eaux selon SAR.

• Nitrate des eaux souterraines :

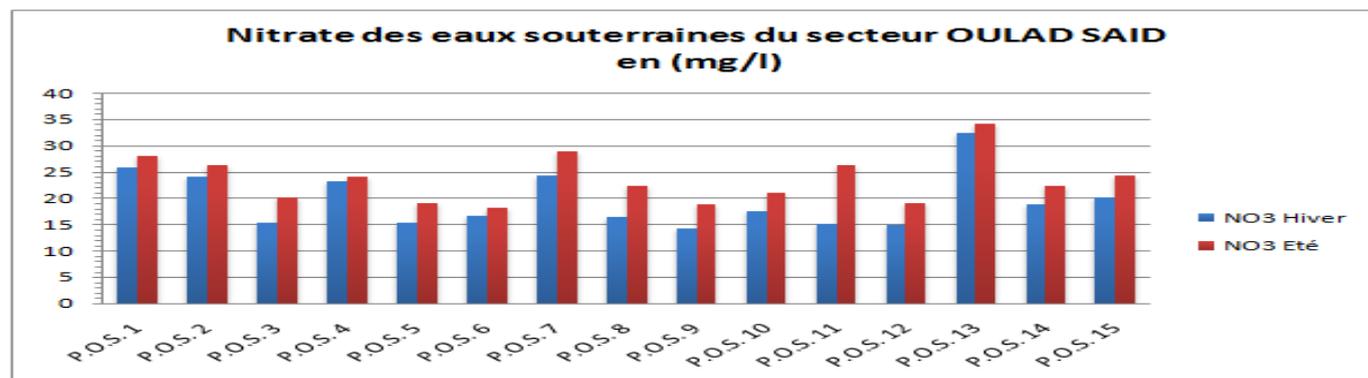


Figure 17 : Variation spatiale et temporelle des nitrates dans le secteur Oulad Said.

- **Interprétation :**

Dans OULAD SAID, la concentration en nitrates des eaux souterraines varie de 18,26 mg/l à 34,18mg/l, cependant les concentrations enregistrées sont conformes aux valeurs limites recommandées par les normes de la qualité des eaux destinées à l'irrigation (concentration en azote nitrique 30 mg/l).

- Les interprétations des résultats des eaux de surface d'OULAD SAID :

- pH des eaux de surface :

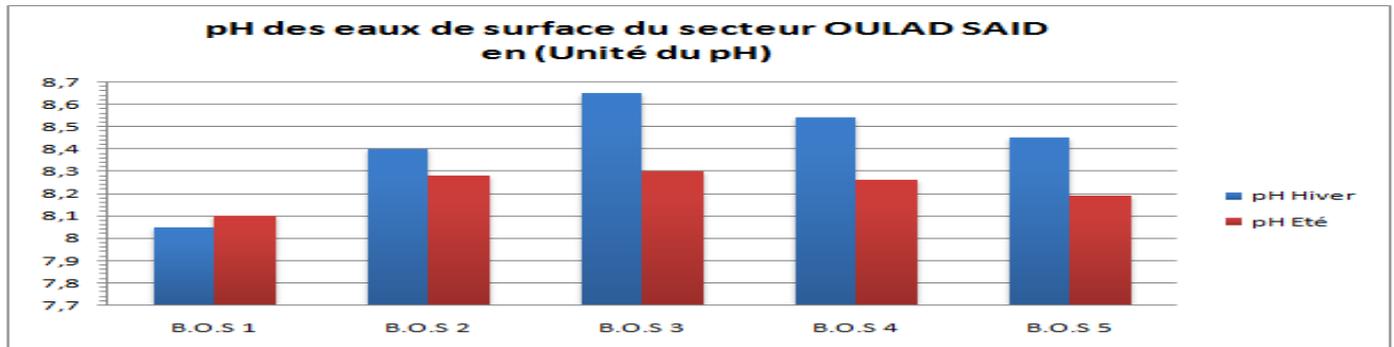


Figure 18 : Variation spatiale et temporelle du pH du sol dans le secteur Oulad Said.

- Interprétation :

Le pH des eaux de surface dans les points de prélèvement désignés de la zone d'étude durant la campagne Eté 2018 sont caractérisés par un pH légèrement basique. Toutefois, les valeurs obtenues sont adéquats avec la grille de la qualité des eaux (voir annexe 2).

- Conductivité des eaux de surface :

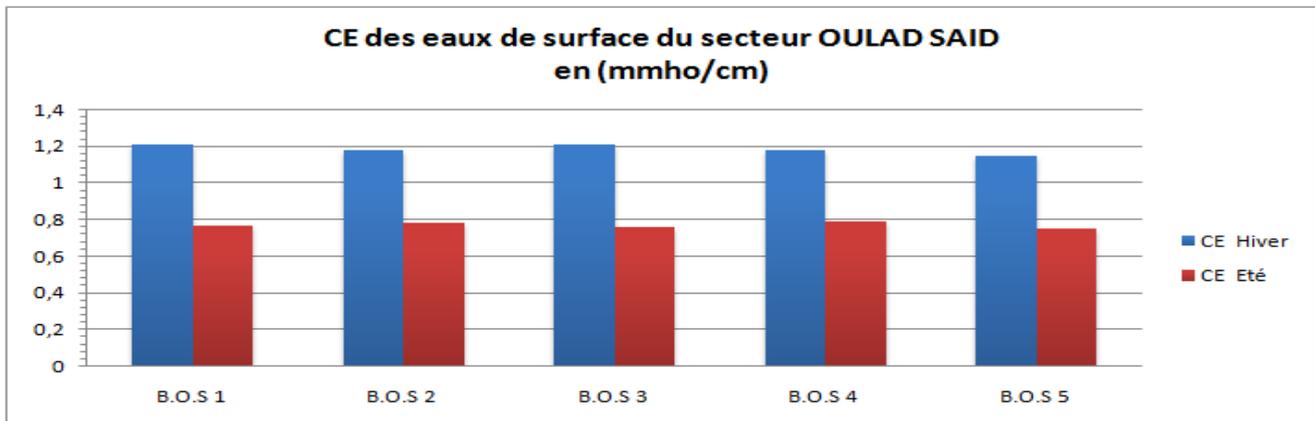


Figure 23 : Variation spatiale et temporelle de la conductivité dans le secteur Oulad Said.

- Interprétation :

Les valeurs de la conductivité électrique des eaux superficielles de la zone étudiée montrent un taux de salinité modéré, mais ces résultats entrent dans les valeurs limites de la qualité des eaux destinées à l'irrigation et présentent des risques variables de salinisations pour les sols.

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

Tableau 29 : Normes d'appréciation de la salinité de l'eau d'irrigation (Directives FAO pour la qualité des eaux D'irrigation).

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

Tableau 30 : Grille d'évaluation de la qualité des eaux superficielles (Normes Ministère Energie, Mines Eaux et Environnement).

- SAR des eaux de surface :

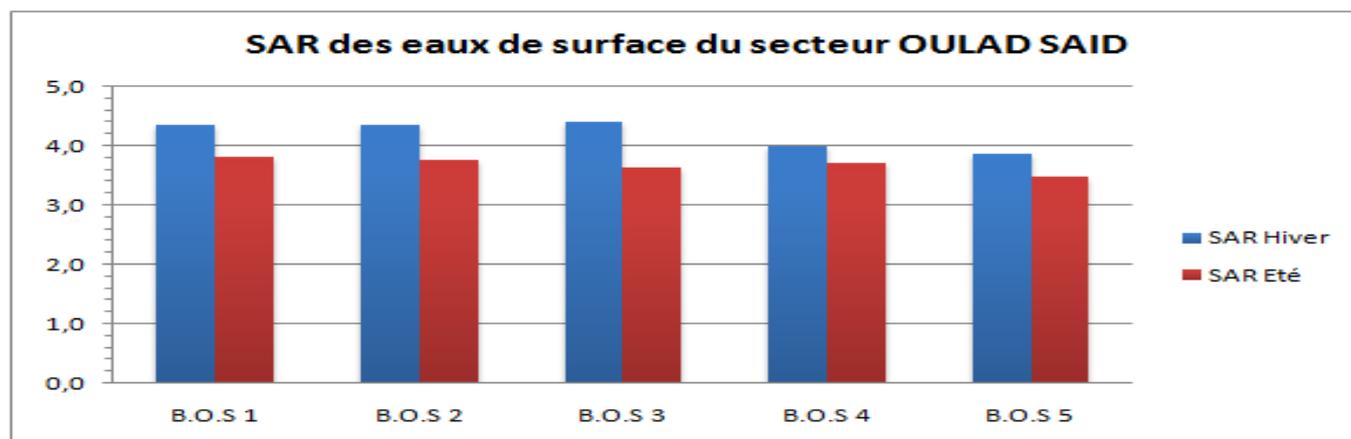


Figure20 : Variation spatiale et temporelle du SAR dans le secteur Oulad Said.

- **Interprétation :**

D'après les résultats concernant le SAR des eaux superficielles durant les deux campagnes de prélèvements, on constate que la proportion du sodium adsorbée est comprise entre 2,43 et 4,44 ce qui affirme un apport plus au moins élevé du sodium à la solution du sol selon la classification du SAR (voir annexe 2).

- MES des eaux de surface :

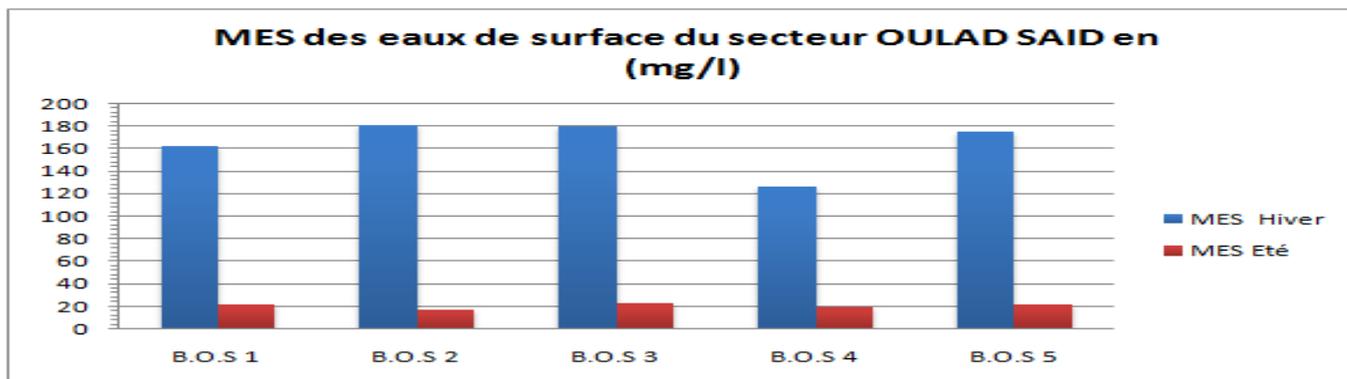


Figure 21 : Variation spatiale et temporelle de MES dans le secteur OULAD SAID.

- **Interprétation :**

Les valeurs de la matière en suspension dans échantillons d'eau prélevés durant la période sèche ont considérablement diminuées par rapport à la saison précédente, ils varient entre 17,5mg/l 25mg/l. Les valeurs obtenues sont considérées excellentes (voir le tableau 31).

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

Tableau 31 : Interprétation des teneurs en MES

En saison sèche, la teneur en matière en suspension est faible ce qui affirme une eau de qualité excellente (voir Tableau 31). Cependant, en saison humide, l'eau dans le secteur d'Oulad Said enregistre une légère augmentation pour statuer que l'eau est de qualité bonne.

- Les mesures de l'orthophosphate :

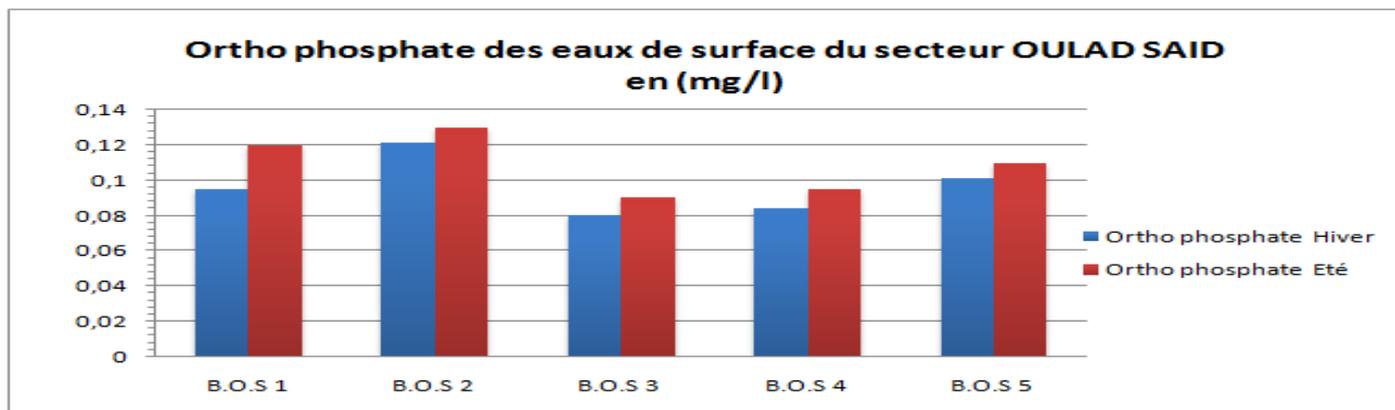


Figure 22 : Variation spatiale et temporelle des Orthophosphates dans le secteur d'Oulad Said.

- Interprétation :

Les teneurs en orthophosphates mesurées sont largement inférieures à 0,2 mg/l, fixée par la grille générale d'évolution de la qualité des eaux de surface. Ces résultats permettent de conclure que les eaux superficielles analysées ne présentent aucun risque de pollution par les Orthophosphates.

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

Tableau 32: Normes du phosphore assimilable (Management, Ingénierie de Développement, de Formation et Agri-Consulting, 2009).

1.8 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 (le calcium et le magnésium) et par Spectrophotomètre à flamme pour le sodium.

- **Le Calcium** : le calcium est dosé par complexométrie dans un milieu alcalin à $\text{pH} = 10$ en présence de la soude (NaOH) et il est titré par l'acide éthylène diamine tétra acétique (E.D.T.A.) avec le murexide comme indicateur coloré.



Photos 13 : Ethylène diamine tétraacétique (E.D.T.A.).

- **Sodium (Na^+)**: Le dosage de Sodium se réalise par la méthode de spectrophotométrie à flamme. Cette méthode se base sur la dissociation des atomes qui pendant leur passage dans la flamme émettent de l'énergie à leur excitation. Chaque élément va émettre une longueur d'onde bien précise qui sera détectée par des filtres optiques de chaque élément.
- **Le magnésium** : Les teneurs en ions Mg^{2+} sont calculées par la différence de la dureté totale et du Calcium exprimés en meq/l . 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.



Photo 14 :L'indicateur coloré (le NET).

1.8.1 Bilan ionique des eaux souterraines :

N° ECH	Na ⁺ (mg/l)		Ca ²⁺ (mg/l)		Mg ²⁺ (mg/l)	
	C01	C02	C01	C02	C01	C02
P.O.S. 1	85.02	87.55	92	94	53.46	52.24
P.O.S. 2	85.02	86.17	100	102	48.6	52.24
P.O.S. 3	99.96	94.67	104	100	41.31	44.95
P.O.S. 4	109.84	105.24	99.8	98	51.03	54.67
P.O.S. 5	94.96	101.80	100	106	38.88	41.31
P.O.S. 6	74.91	86.40	104	102	41.31	46.17
P.O.S. 7	79.97	85.25	104	104	43.74	47.38
P.O.S. 8	89.85	95.59	104	98	46.17	49.81
P.O.S. 9	85.02	88.47	96	90	48.6	51.03
P.O.S. 10	124.78	131.90	112	104	51.03	53.46
P.O.S. 11	109.84	117.19	96	94	51.03	52.24
P.O.S. 12	105.01	110.99	100	104	46.17	44.95
P.O.S. 13	65.03	79.28	112	106	51.03	55.89
P.O.S. 14	99.96	103.63	88	88	46.17	47.38
P.O.S. 15	94.90	110.07	108	104	48.6	49.81

Tableau 33 : Le bilan ionique des eaux de surface.

1.8.2 Bilan ionique des eaux de surface :

N° ECH	Na ⁺ (mg/l)		Ca ²⁺ (mg/l)		Mg ²⁺ (mg/l)	
	C01	C02	C01	C02	C01	C02
B.O.S 1	154.88	133.51	62.8	60.8	21.87	19.44
B.O.S 2	154.88	135.81	63.8	65.4	21.74	20.16
B.O.S 3	159.94	132.13	64	67.8	21.74	19.68
B.O.S 4	144.77	134.20	63.4	67	24.3	19.92
B.O.S 5	134.98	121.79	56	59.9	21.87	20.77

Tableau 34 : Le bilan ionique des eaux souterraines.

- **Interprétation du bilan ionique :**

Classe de qualité	Excellente	Bonne	Moyenne	mauvaise	Très mauvaise
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 35 : Grille d'évaluation de la qualité globale des paramètres de minéralisation des eaux souterraines :(normes ministère Energie, Mines, Eaux, Environnement).

✓ **Le Calcium (Ca²⁺)**

Les teneurs Ca²⁺ ne dépassent pas les valeurs limites pour l'irrigation et sont généralement classées de bonnes qualités.

• **Origines du calcium dans les eaux :**

Le calcium est présent principalement dans les roches carbonatées mais il se rencontre également dans un grand nombre de minéraux constitutifs de roches volcaniques. Il est possible de citer parmi ces minéraux les clinopyroxènes calciques (Ca, Fe, Mg) (SiO₃)₂ mais également l'ensemble des minéraux constitutifs de la série isomorphe Albite-Anorthite Na [Si₃AlO₈] => Ca [Si₂Al₂O₇]

✓ **Le Magnésium (Mg²⁺)**

Résultats et interprétation des analyses Les analyses effectuées sur les eaux révèlent des valeurs inférieurs à 60mg/l c'est-à-dire sont classées d'excellente qualité.

• **Origines naturelles du magnésium dans les eaux** Le magnésium est présent dans de nombreux minéraux constitutifs des roches volcaniques. On distingue en particulier l'olivine (Fe, Mg)₂ [SiO₄], les clinopyroxènes et les orthopyroxènes (Mg, Fe)₂ (SiO₃)₂, l'amphibole (Mg, Fe)₇ [Si₈O₂₂] (OH, F)₂ et les biotites K (Mg, Fe)₃ [Si₃AlO₁₀ (OH, F)₂]. Dans les eaux souterraines, la forme dissoute Mg²⁺ est prédominante. Les équilibres naturels qui contrôlent les teneurs en magnésium dans les eaux souterraines sont complexes. De nombreuses réactions d'échanges cationiques, d'adsorption et de désorption (sur des minéraux argileux) influencent la mise en solution du magnésium dans le milieu souterrain. Dans les roches ignées, les roches volcaniques et les roches d'altération contenant de l'argile, la mise en solution du magnésium est plus difficile que dans les roches carbonatées.

✓ Le Sodium (Na⁺)

Résultats et interprétation des analyses : Les eaux analysées présentent des teneurs inférieures 200 mg/l. Le sodium est un traceur des interactions eau/roche.

- Origines naturelles du sodium dans les eaux Le sodium est présent dans de nombreux minéraux constitutifs des roches volcaniques. Les feldspaths sodiques sont parmi les plus abondants (formule de base Na[Si₃AlO₈]). Dans les eaux souterraines, le sodium est présent sous la forme ionique Na⁺. Il est soumis aux mêmes types de phénomènes d'adsorption/désorption que le calcium et le magnésium.

Sa mise en solution présente donc une complexité comparable. En l'absence d'affleurement de roches évaporitiques, les fonds géochimiques couramment rencontrés en contexte volcanique et de socle en métropole montrent des teneurs comprises entre quelques mg/l et quelques dizaines de mg/l.

Conclusion

Ce projet consiste en un travail réalisé au secteur d'OULAD SAID, dans le but d'avoir une idée sur la qualité du sol et l'eau de cette zone. Selon les analyses réalisées au niveau du laboratoire d'ORMVAH, les résultats d'évaluation des échantillons exposent qu'on est dans un périmètre caractérisé par :

- Des eaux (souterraines, de surface) qui sont généralement de moyennes à bonne qualité, elles ne représentent aucun problème, qui peut défavoriser l'utilisation de l'irrigation localisée. Les valeurs de la matière en suspension dans les échantillons d'eau prélevés varient entre 17,5 mg/l et 25 mg/l, et sont qualifiées excellentes. Donc, le problème de colmatage des goutteurs est éliminé. Aussi, la région ne connaît pas des problèmes de genre salinité du sol et de l'eau. Ces eaux sont destinées à l'irrigation localisée.
- Des sols non salins (4 dS/m), avec une teneur en matière organique moyenne (entre 2 à 2,5 g/Kg). Cette région est caractérisée généralement par des sols de faibles teneurs en argile et en matière organique.

Ce travail, nous a permis de mettre de la lumière sur le problème de battance du sol. Ce dernier est causé par la structure limoneuse du sol en conditions humides, ainsi que par l'action des gouttes de pluie et le fractionnement des agrégats à la surface du sol en raison de la diminution de la matière organique dans ce dernier. Ces facteurs entraînent une baisse de l'infiltration de l'eau dans le sol et par conséquent une augmentation du ruissellement. Une croûte de battance a aussi pour conséquence des problèmes de germination et de levée des cultures. (Joséfine PEIGNE – ISARA Lyon, Processus écologiques UVED)

- Au Maroc, pour faire face au problème de battance, deux procédés sont utilisés : soit bêcher le sol régulièrement pour éviter la formation de la croûte battance et permettre l'aération du sol, soit ajouté de la matière organique pour éviter le fractionnement des agrégats.
- Ces solutions deviennent de plus en plus exigeantes vis-à-vis des facteurs limitatifs du rendement des cultures car ce problème du sol prend actuellement une importance croissante.

Recommandation

En France, pour faire face à ce problème, ils utilisent des déchets urbains pour la production des composts qui sont considérées comme une source croissante de matière organique. Cette technique contribue fortement à la fertilisation du sol, à la diminution du prix de fumier ainsi qu'à la bonne exploitation des déchets urbains.

Nous recommandons l'utilisation de cette technique au Maroc d'une part pour son efficacité à résoudre le problème de la battance du sol et d'autre part pour son impact écologique sur la région qui découle de la bonne gestion des déchets urbains.

Bibliographie

AKHBOU, I., et BENTAKA, M., 2018-Analyse critique de filtration au niveau de secteur reconverti d'irrigation localisée à OULED GAID mémoire de fin d'étude, faculté des sciences et des techniques MARRAKECH ,pp 16-p17.

BERROUCH, H., 2010-2011-Etude de la qualité des eaux d'irrigation et du sol dans le périmètre de SAADA, mémoire de fin d'étude, faculté des sciences et des techniques MARRAKECH, p 33.

EL OUAHABI, K., et BENJLOUN, S., 2013-Performance de l'irrigation localisée et son impact sur le sol dans le périmètre de N'fis, mémoire de fin d'étude, faculté des sciences et des techniques Marrakech 30.

EL HALI, A., 2015-L'impact de l'irrigation sous pression sur le sol et sur l'eau dans le secteur N'fis N4 (région de l'Oudaya), mémoire de fin d'étude, faculté des sciences et techniques MARRAKECH, pp18-20, p37,p39,pp41-44,p51,p59,p60,pp63-64.

Annabi, M., 2005-Stabilisation de la structure d'un sol limoneux par des apports de composts d'origine urbaine : relation avec les caractéristiques de leur matière organique, thèse à l'institut national agronome paris- grignon, p 3.

Harbouze, R., 2009-Efficacité et efficience économique comparées des systèmes de production dans différentes situations d'accès à la ressource en eau : Application dans le périmètre du GHARB (MAROC), série 'Master of science',n° 100,p 17.

EL FIGUIGUI, H., 2017-2018-Rapport final Marche N° 12/2017/ORH/SPA relatif aux prestations de laboratoire pour la réalisation de campagnes d'analyses Eté et Hiver de caractérisation de références des paramètres environnementaux au niveau de la zone de reconversion à l'irrigation localisée dans le périmètre du HAOUZ "secteurs : SKHIRATE-TAOURIRTE-OULED SAID", office régional de mise en valeur agricole du HAOUZ ,pp 19-28.

Webographie

[http:// www.agriculture.com](http://www.agriculture.com)

<http://www.Siadi.ma/mémoires>

[http:// www.aquaportail.com/definition-7851-ph-du-sol.html](http://www.aquaportail.com/definition-7851-ph-du-sol.html)

<https://www.lenntech.fr/applications/irrigation/salinite/irrigation/salinite-risque-irrigation.htm#ixzz5qChIHefm>

<https://www.lenntech.fr/applications/irrigation/sar/irrigation/sar-risque-pour-eau-irrigation.htm#ixzz5qCm4aMg9>

<https://www.supagro.fr/ress-pepites/processusecologiques/co/Battance.htm>

<https://www.terre-net.fr › Cultures › Stratégies culturelles>

<http://www.ires.ma/wp-content/uploads/2017/02/GT8-3.pdf>

Annexes

	Paramètres	Valeurs limites
PARAMETRES BACTERIOLOGIQUES		
1	Coliformes fécaux	1000/100 ml*
2	Salmonelle	Absence dans 5 l
3	Vibron Cholérique	Absence dans 450 ml
PARAMETRES PARASITOLOGIQUES		
4	Parasites pathogènes	Absence
5	Œufs, Kystes de parasites	Absence
6	Larves d'Ankylostomides	Absence
7	Fuococercaires de Schistosoma hoematobium	Absence
PARAMETRES TOXIQUES (1)		
8	Mercure (Hg) en mg/l	0,001
9	Cadmium (Cd) en mg/l	0,01
10	Arsenic (As) en mg/l	0,1
11	Chrome total (Cr) en mg/l	1
12	Plomb (Pb) en mg/l	5
13	Cuivre (Cu) en mg/l	2
14	Zinc (Zn) en mg/l	2
15	Sélénium (Se) en mg/l	0,02
16	Fluor (F) en mg/l	1
17	Cyanures (CN) en mg/l	1
18	Phénols en mg/l	3
19	Aluminium (Al) en mg/l	5
20	Béryllium (Be) en mg/l	0,1
21	Cobalt (Co) en mg/l	0,5
22	Fer (Fe) en mg/l	5
23	Lithium (Li) en mg/l	2,5
24	Manganèse (Mn) en mg/l	0,2
25	Molybdène (Mo) en mg/l	0,01
26	Nickel (Ni) en mg/l	2
27	Vanadium (V) en mg/l	0,1
PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES		
Salinité		
28	Salinité totale (STD) en mg/l	7680
	Conductivité électrique (CE) en mS/cm à 25°C**	12
29	Infiltration	
	Le SAR*** = 0-3 et CE =	<0,2
	Le SAR*** = 3-6 et CE =	<0,3
	Le SAR*** = 6-12 et CE =	<0,5
	Le SAR*** = 12-20 et CE =	<1,3
	Le SAR*** = 20-40 et CE =	<3
Ions toxiques (affectant les cultures sensibles)		
30	Sodium (Na) en mg/l	
	Irrigation en surface (SAR***)	69
	Irrigation par aspersion	9
31	Chlorure (Cl) en mg/l	
	Irrigation en surface	350
	Irrigation par aspersion	15
32	Bore (B) en mg/l	3
Effets divers (affectant les cultures sensibles)		
33	Température (°C)	35
34	pH	6,5 à 8,4
35	Matières en suspension en mg/l	
	Irrigation gravitaire	200
	Irrigation par aspersion localisée	100
36	Azote nitrique (N-NO3-) en mg/l	30
37	Bicarbonate (HCO3-) [irrigation par aspersion] en mg/l	518
38	Sulfates (SO42-) en mg/l	250

Annexe 1 : Grille d'évaluation de la qualité des eaux destinées à l'irrigation

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

Annexe 2 : Grille de la qualité des eaux Publie au b.o