



كلية العلوم
والتقنيات - مراكش
FACULTÉ DES SCIENCES
ET TECHNIQUES - MARRAKECH



Département des Sciences de la Terre

Licence des Sciences et Techniques

Eau & Environnement

Mémoire de projet de fin d'études

Etude de la qualité de l'eau et du sol dans la zone de reconversion à l'irrigation localisée d'Ouled Gaid (Province D'El Haouz)

Réalisé par: AJNAINI Fatima-Zohra

Soutenu: Le 21 Juin 2018

Devant le jury composé de :

Pr. Ahmed TOUIL : Encadrant (FST- Marrakech)

Pr. Khalid EL AMARI : Examineur (FST- Marrakech),

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2017-2018

Dédicace

*Je dédis cet humble travail avec grand amour,
sincérité et fierté :*

*A mes chers parents, sources de tendresse, de
noblesse et d'affectation.*

*A ma sœur et mes frères, en témoignage de la
fraternité, avec mes souhaits de bonheur, de santé et
de succès.*

Et à tous les membres de ma famille.

*A tous mes ami(e)s, à tous mes professeurs, et à tous
ceux qui ont rendu ce rapport finalement réalisable.*

Remerciement

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

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

*Un grand merci à mon encadrant Monsieur **A.TOUIL** qui a toujours éclairé mon travail avec ses recommandations aiguisées en donnant beaucoup de son temps, et de son professionnalisme.*

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

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

Mes chaleureux remerciements vont également à mes chers parents pour leur soutien et encouragements. Ainsi qu'à mes collègues et mes amis pour leur solidarité.

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

Résumé

Dans la région du Haouz, plus précisément notre secteur d'étude « Ouled Gaid », l'irrigation en goutte à goutte apparaît comme une innovation. Une fois introduite dans le secteur, cette innovation nécessite une diffusion grâce aux agriculteurs.

Notre étude porte sur une description des différents types d'irrigation, leurs avantages et leurs inconvénients. Pour ceci, on a effectué un ensemble d'analyses physico-chimiques au sein du laboratoire de l'Office Régional de la Mise en Valeur Agricole du Haouz, afin d'identifier la qualité de 2 échantillons d'eau d'irrigation et 7 échantillons de sol appartenant à la zone de reconversion à l'irrigation localisée dans le secteur Ouled Gaid.

Les résultats des analyses des échantillons du sol montrent que ces derniers se caractérisent par des pH moyennement alcalin et ils sont pauvres à moyennement pourvus en matière organique. Par ailleurs, les mesures de la conductivité électrique indiquent que les échantillons analysés sont moyennement salés et moyennement pourvus à riche en phosphore assimilable. Ces sols se caractérisent également par des teneurs moyennes en calcaire total. Cependant les échantillons d'eau sont à faible alcalinité. Quant à la conductivité électrique, les analyses ont montré que ce paramètre est très élevé pour l'eau de surface et est faible pour l'eau souterraine.

Mots clés :

Ouled Gaid, reconversion, PNEEI, goutte à goutte.

Sommaire

<i>Dédicace</i>	2
<i>Remerciement</i>	3
Résumé.....	4
<i>Liste des figures</i>	7
<i>Liste des photos</i>	8
<i>Liste des tableaux</i>	9
<i>Liste des abréviations</i>	10
Introduction générale.....	11
Chapitre I : cadre général de l'étude.....	12
I. Présentation de l'ORMVAH :	13
1. Missions de l'ORMVAH :.....	13
2. Structures de l'ORMVAH :.....	13
3. Zone d'action de l'ORMVAH :.....	14
II. Présentation de la zone d'étude :	16
1. Situation géographique :.....	16
2. Le climat :	17
3. Les ressources en eau :	18
4. Occupation du sol :.....	18
Chapitre II : L'irrigation au Maroc	19
I. Les périmètres irrigués au Maroc :.....	20
1. Grande hydraulique :.....	20
2. Petite et Moyenne hydraulique :	21
3. Irrigation privée :	21
II. Description des systèmes et des techniques d'irrigation :	21
1. Classification :.....	21
2. Avantages et inconvénients :	28
III. L'irrigation dans le secteur d'étude :	29
1. Présentation du système d'alimentation du secteur Ouled Gaid :.....	29
2. Dotation du secteur en eau :	29
IV. Projet de la reconversion à l'irrigation localisée :	30
1. Le Programme National d'Economie d'Eau d'Irrigation (PNEEI) :	30

2. Les contraintes liées au projet de reconversion à l'irrigation localisée :	31
Chapitre III : analyse des eaux et des sols du secteur OULED GAID	32
I. Analyses du sol :.....	33
1. Méthodologie du travail :	33
2. Résultats et interprétations :	38
II. Analyse de l'eau au laboratoire :	43
1. Matériels et méthodes	43
2. Résultats et interprétations :	44
<i>Conclusion générale</i>	49
Bibliographie :	50
Webographie :	50
Annexes :	51

Liste des figures

Figure 1 : zone d'action de l'ORMVAH (JICA, 2007)	14
Figure 2 : schéma des ressources en terre dans la zone d'action de l'ORMVAH.....	15
Figure 3 : pluviométrie mensuelle moyenne (AL ATAOUIA entre 1999-2006) (ORMVAH, 2014) ..	17
Figure 4 : variation mensuel des températures minimales, maximales et moyennes sur une série climatique de 30 ans « ELKALAA DES SRAGHNA » (ORMVAH, 2014)	17
Figure 5 : occupation des plantations dans la région de Tessaout Amont (ORMVAH, 2010)	18
Figure 6 : les périmètres irrigués au Maroc (ARRIFI, 2012)	20
Figure 7 : les différents systèmes d'irrigation.....	21
Figure 8 : irrigation par planche (AZOUGGAGH, 2001)	22
Figure 9 : irrigation par bassin (AZOUGGAGH, 2001)	23
Figure 10 : irrigation à la raie (AZOUGGAGH, 2001).....	23
Figure 11 : irrigation par siphon (AZOUGGAGH, 2001).....	24
Figure 12 : irrigation par rampe à Vanettes (AZOUGGAGH, 2001).....	24
Figure 13 : irrigation par gaine souple (AZOUGGAGH, 2001)	25
Figure 14 : schéma de la transirrigation (AZOUGGAGH, 2001)	26
Figure 15 : irrigation par aspersion (AZOUGGAGH, 2001)	27
Figure 16 : irrigation par goutte à goutte (AZOUGGAGH, 2001).....	27
Figure 17 : variation du pH des sols.....	39
Figure 18 : variation de la conductivité électrique du sol.....	40
Figure 19 : variation des sels solubles dans le sol	40
Figure 20 : variation du taux du calcaire total dans le sol	41
Figure 21 : variation de la matière organique dans le sol (0-20 cm)	42
Figure 22: Variation du phosphoreassimilable dans le sol	43
Figure 23 : variation du potentiel d'hydrogène de l'eau.....	45
Figure 24 : variation de la conductivité électrique des eaux	46
Figure 26 : teneur des ions dans l'eau de surface et de puit.....	47

Liste des photos

Photo 1 : broyage de l'échantillon	33
Photo 2 : tamisage de l'échantillon	34
Photo 3 : dosage du carbone organique total.....	36
Photo 4 : filtration de la solution à travers le papier filtre.....	37

Liste des tableaux

Tableau 1 : structure de l'ORMVAH.....	13
Tableau 2 : les avantages et les inconvénients des différents types d'irrigation.....	28
Tableau 3 : texture des échantillons du sol.....	38
Tableau 4 : le potentiel d'hydrogène des sols.....	38
Tableau 5 : conductivité électrique et sels solubles du sol.....	39
Tableau 6 : taux du calcaire total dans le sol.....	40
Tableau 7 : taux de la matière organique dans le sol (0-20 cm).....	41
Tableau 8 : le phosphore assimilable dans le sol (0-20 cm).....	42
Tableau 9 : préparation des échantillons d'eau pour la titration des ions.....	44
Tableau 10 : le potentiel d'hydrogène de l'eau.....	44
Tableau 11 : conductivité électrique et sels solubles des eaux.....	45
Tableau 12 : le bilan ionique des eaux.....	46

Liste des abréviations

ORMVAH : office régional de mise en valeur agricole

PNEEI : plan national d'économie d'eau d'irrigation

OGG : Ouled Gaid Gauche

OGD : Ouled Gaid Droite

pH : le potentiel d'hydrogène

DO : densité optique

CE : conductivité électrique

GH : grande hydraulique

N : N'fis

ALS : Argile Limono-Sableux

EDTA : Ethylène diamine tétra acétique

CT : calcaire total

MO : matière organique

ppm : partie par million

Introduction générale

Le manque d'eau et l'accroissement constant des besoins en eau en agriculture, conjugués aux conflits d'usage avec les autres secteurs, tels que l'industrie et la consommation en eau potable, nous amènent à constamment réfléchir sur les économies d'eau et d'énergie. Ceci passera forcément par une gestion efficace de l'irrigation ainsi que par la maîtrise de l'utilisation et le choix des systèmes d'irrigation.

Au Maroc, l'agriculture consomme entre 80 et 90% des ressources en eau. Les données disponibles montrent que les performances des systèmes d'irrigation actuels sont restées faibles à très moyennes. Les pertes en eau à la parcelle sont de l'ordre de 30 à 40%, en particulier les pertes par percolation. Aussi, l'uniformité des irrigations reste faible, ce qui influe négativement sur la production. La maîtrise de l'utilisation de l'eau d'irrigation devient donc urgente et nécessaire.

L'irrigation gravitaire représente environ 80% de la superficie des grands périmètres irrigués du Maroc, par conséquent, les pertes en eau restent importantes. Il est donc nécessaire de les réduire par l'utilisation d'autres techniques d'irrigation notamment l'irrigation localisée.

Le présent travail a pour objectif d'étudier la qualité de l'eau et du sol dans la zone de reconversion à l'irrigation localisée dans le secteur d'Ouled Gaid, ce qui nécessite une étude multidisciplinaire à savoir la géologie, la climatologie, l'hydrologie, l'hydrogéologie, et l'hydrochimie de l'eau...

Pour aboutir à cet objectif, j'ai analysé des échantillons d'eau et du sol au sein du laboratoire de pédologie de l'ORMVAH. Le présent mémoire est subdivisé en trois parties : La première partie est surtout bibliographique, consacrée à la présentation de l'organisme d'accueil et la zone d'étude. Dans la deuxième partie, j'ai présenté des généralités sur l'irrigation et la situation de cette dernière dans la zone d'étude. Enfin, la dernière partie est consacrée à la méthodologie du travail et à la présentation des résultats et leurs interprétations.

Chapitre I :
Cadre général de l'étude

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

I. Présentation de l'ORMVAH :

L'office régional de la mise en valeur agricole est un établissement public de développement agricole de la plaine du Haouz créé par le décret royal n° 831-66 du 22 Octobre 1966, l'ORMVAH est un établissement public doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière. Il est sous la tutelle du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime.

1. Missions de l'ORMVAH :

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

2. Structures de l'ORMVAH :

L'ORMVAH est composé principalement de deux structures représentées dans le tableau 1.

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

Tableau 1 : structure de l'ORMVAH

3. Zone d'action de l'ORMVAH :



Figure 1 : zone d'action de l'ORMVAH (JICA, 2007)

3.1. Caractéristiques géographiques :

La zone d'action de l'ORMVAH (Figure 1) est limitée à l'Est par l'oued Labid, à l'Ouest par le N'fis, au Sud par le piémont du Haut Atlas et au Nord par les oueds Tensift et Oum Rabiaa (ELHALI, 2015).

Elle s'étend sur une superficie de 663 000 Ha (dont 473 000 Ha de superficie Agricole utile), répartie comme suit :

- La préfecture de Marrakech - Ménara (12 communes rurales) : 134 000 ha
- La province d'Al Haouz (11 communes rurales) : 143 000 ha
- La province d'El Kelaa des Sraghnas (42 communes rurales) : 342 875 ha
- La province de Rhamna (4 communes rurales) : 43 125 ha

3.2. 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 ;
- Une température moyenne élevée : avec des écarts journaliers et mensuels importants, la moyenne des maxima (Juillet) est de 37 °C, la moyenne des minima (janvier) est de 4°C ;
- Une hygrométrie faible : la moyenne mensuelle varie de 40 % (aout) à 70 % (janvier) ;
- Une très forte évaporation : l'évaporation moyenne annuelle est d'environ 2300 mm.

(<http://www.albacharia.ma/xmlui/bitstream/handle/123456789/31140/0895Conception%20participative%20de%20projets%20d%E2%80%99irrigation.pdf?sequence=1>)

3.3. Ressources naturelles :

3.3.1. Ressources en terre :

La zone d'action de l'ORMVAH s'étend sur une superficie de 1.533.200 Ha dont 23.000 Ha est occupé par les forêts, 23.200 Ha représente les parcours et 473.000 Ha représente une superficie agricole utile qui est subdivisée en irriguée (273.000 Ha) et Bour (200.000 Ha) (Figure 2).

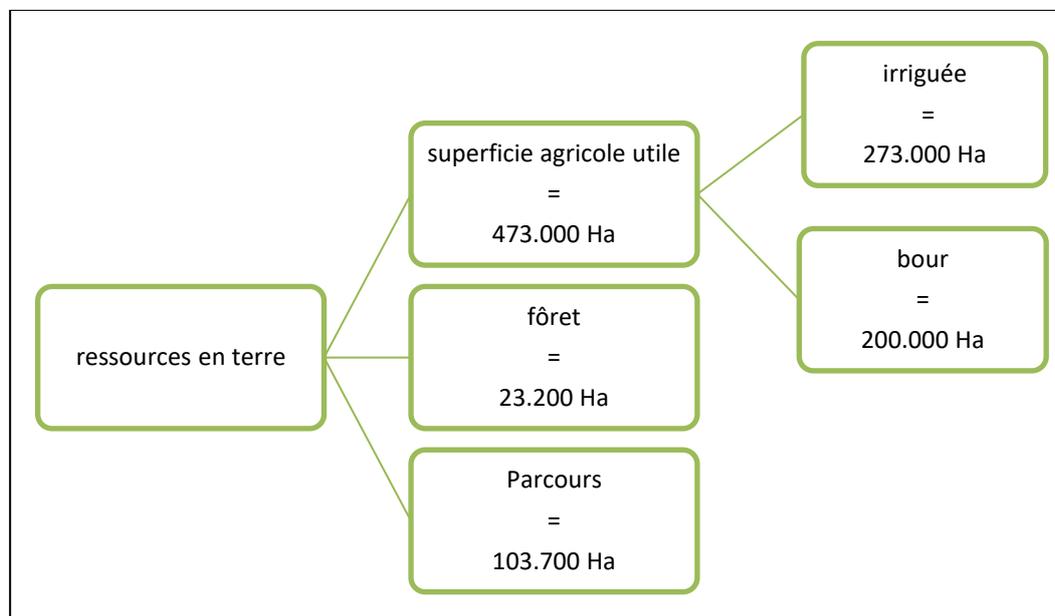


Figure 2 : schéma des ressources en terre dans la zone d'action de l'ORMVAH

3.3.2. Ressources en eaux d'irrigation :

a. Eaux superficielles :

Le réseau hydrographique du Haouz est constitué de l'ensemble des Oueds issus de l'Atlas.

Les eaux des oueds Lakhdar et Tessaout sont collectées par l'oued Oum Er Rbia, qui assure leur débouche vers l'océan.

L'oued Tensift, orienté vers l'Ouest et dont le drainage débouche sur l'Atlantique, joue le rôle de colature des eaux de surface.

L'oued N'Fis, ayant un cours d'eau orienté Sud-Nord, comme les autres oueds, accusé des crues pendant la saison pluvieuse.

b. Eaux Souterraines :

On distingue dans le Haouz trois nappes :

- Une nappe à 80m de profondeur avec un débit de 30l/s ;
- Une 2^{ème} nappe à une profondeur moyenne de 300m et avec un débit plus faible ;
- Une 3^{ème} nappe à plus 500m de profondeur et de débit négligeable. La première nappe n'est autre que la nappe phréatique du Haouz qui fournit l'essentiel des débits souterrains du Haouz. Cette nappe alimentée principalement à partir de l'amont par celle des calcaires et dolomies jurassiques. Les eaux de réinfiltration des oueds contribuent pour une part non négligeable à son alimentation. Dans la plaine, les pertes des seguias (un système d'irrigation traditionnel par canaux en terre) contribuent pour une part très importante à l'alimentation de la nappe. Les eaux de la nappe phréatique sont aussi utilisées pour l'irrigation dans le périmètre. La commune rurale de Saada occupe une superficie de 16200 Ha irriguée essentiellement par des eaux de surface, dont 3630 Ha est irriguée par l'eau du barrage Lalla Takerkoust et 12510ha est irriguée par les eaux du barrage Hassan 1er, éventuellement on irrigue par des eaux souterraines affectées par 770 puits. La zone d'étude N2 correspond à un périmètre d'environ 3150 Ha qui est irriguée par des eaux de surface provenant du barrage Hassan 1^{er} et par des puits.

II. Présentation de la zone d'étude :

1. Situation géographique :

La zone d'étude "Ouled Gaid" fait partie de la zone irriguée du périmètre de Tessaout amont. Elle se situe à environ 70Km de la ville de Marrakech et s'étend sur une zone délimitée par :

- **Au Nord** : les Jbilet
- **Au Sud** : le Haut Atlas
- **A l'Est** : l'Oued Lakhdar
- **A l'Ouest** : le bassin d'oued Tensift

2. Le climat :

La zone d'étude est caractérisée par un climat chaud et sec de type continental : l'hiver est tempéré caractérisé par une faible pluviométrie et de fortes températures l'été.

➤ Pluviométrie :

La zone d'Ouled Gaid se caractérise par une faible pluviométrie annuelle et mal répartie dans l'année (Figure 3). La pluviométrie annuelle moyenne est de l'ordre de 152 mm (ORMVAH, 2014).

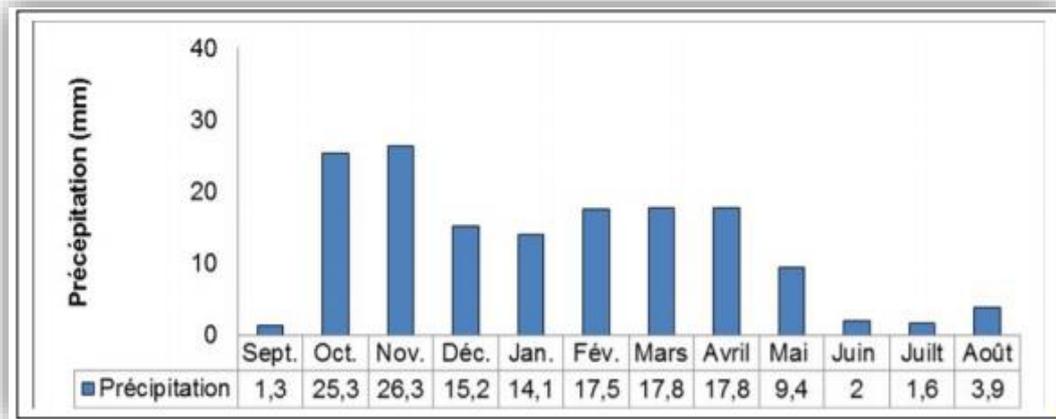


Figure 3 : pluviométrie mensuelle moyenne (AL ATAOUIA entre 1999-2006) (ORMVAH, 2014)

➤ Température :

La température de la zone est marquée par des variations journalières et mensuelles importantes. La température moyenne est de 19°C avec des températures mensuelles moyennes élevées (supérieure à 25°) entre juin et septembre. La moyenne des maxima est de 39,8°C en Juillet et de 39,3 en août. La moyenne des minima mensuels en janvier qui représente le mois le plus froids est de 4,3 °C (Figure 4) (ORMVAH, 2014).

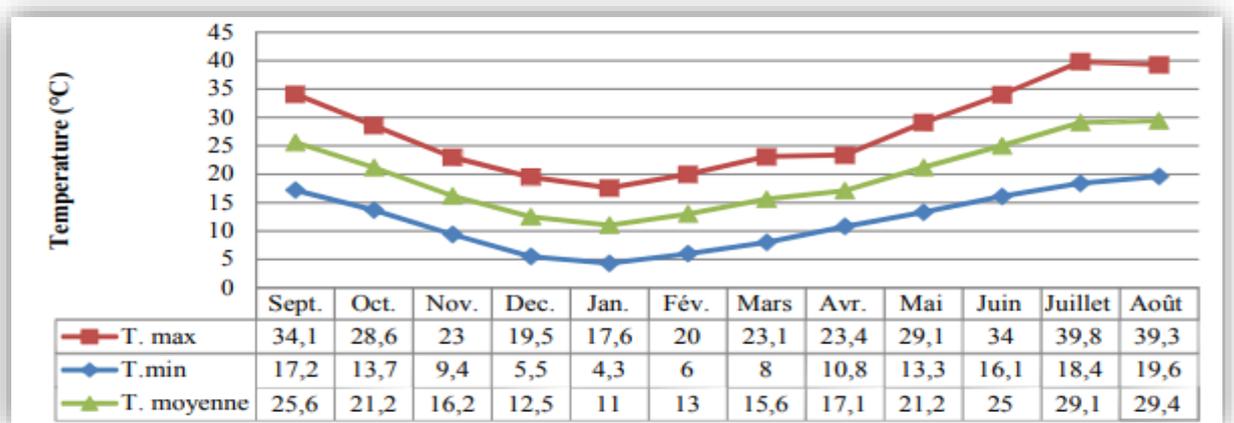


Figure 4 : variation mensuel des températures minimales, maximales et moyennes sur une série climatique de 30 ans « ELKALAA DES SRAGHNA » (ORMVAH, 2014)

3. Les ressources en eau :

3.1. Les eaux superficielles :

Le secteur Ouled Gaid, alimenté par le bassin versant de l'Oued Tessaout, au droit du barrage Moulay Youssef, a une superficie de 1441 Km². L'ouvrage de stockage sur l'oued Tessaout est le barrage Moulay Youssef. Ce dernier atteint un volume de 240 Mm³/an et permet la mise en valeur de 30000 Ha de terres. Le barrage a été mis en eau en 1970.

3.2. Les eaux souterraines :

Notre secteur d'étude 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 Tessaout.

4. Occupation du sol :

La culture d'Olivier connaît une importance dans tous les secteurs de Tessaout amont entre autre notre secteur d'étude ; Ouled Gaid. C'est ainsi qu'il occupe 37% de l'occupation totale, suivie par les céréales (36%) (Figure 5).

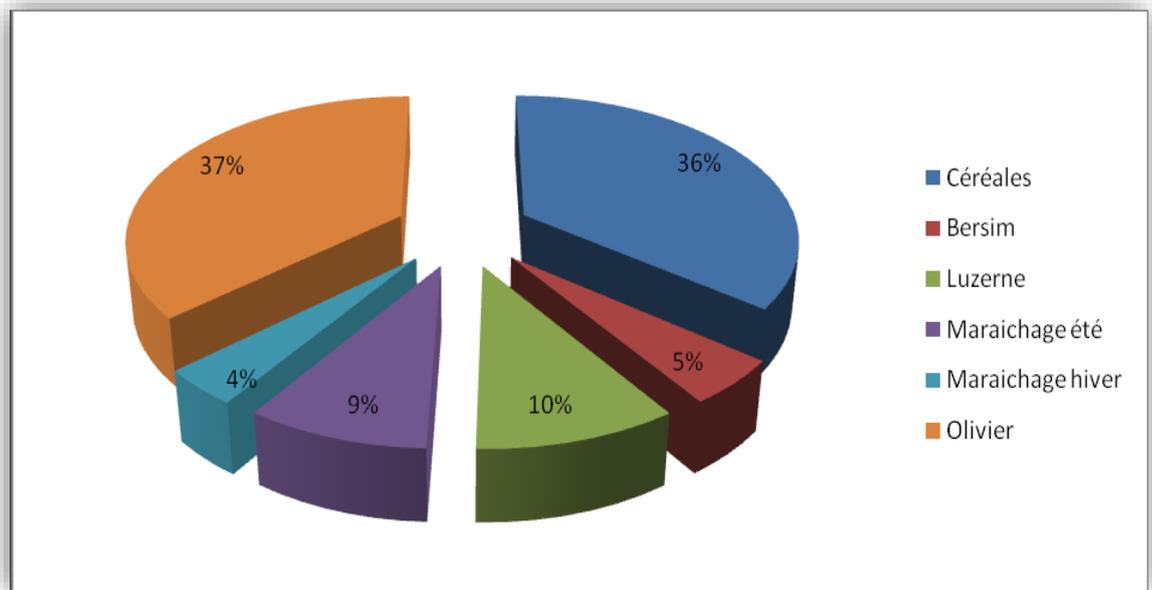


Figure 5 : occupation des plantations dans la région de Tessaout Amont (ORMVAH, 2010)

Chapitre II : L'irrigation au Maroc

L'irrigation agricole est une technique artificielle utilisée sur des terres agricoles, dans le but d'augmenter leurs rendements, surtout quand il y a un manque ou une insuffisance d'eau de pluie.

I. Les périmètres irrigués au Maroc :



Figure 6 : les périmètres irrigués au Maroc (ARRIFI, 2012)

1. Grande hydraulique :

- Les périmètres de grande hydraulique sont caractérisés par :
 - Des superficies irrigables allant de 30.000 à 250.000 hectares,
 - Des aménagements faisant appel à des technologies modernes pour la mobilisation, le transport, la distribution de l'eau d'irrigation et son utilisation au niveau des exploitations agricoles,
 - Une mise en valeur marquée par des taux d'intensification et des rendements élevés.
- Neufs grands périmètres: Moulouya, Loukos, Gharb, Doukkala, Haouz, Tadla, Souss-Massa, Tafilalet et Ouarzazate.
- Offices Régionaux de Mise en Valeur Agricole (ORMVA) sont des établissements publics dotés de la personnalité civile et de l'autonomie financière. Ils sont chargés de :
 - la réalisation des aménagements hydro-agricoles,
 - l'exploitation et la maintenance des réseaux d'irrigation,
 - le développement agricole et l'encadrement des agriculteurs.

2. Petite et Moyenne hydraulique :

- Multitude de périmètres qui mettent en œuvre un patrimoine diversifié de technologies de mobilisation et de distribution de l'eau ainsi que des formes d'aménagement et d'organisations sociales pour leur développement et leur gestion.
- Rôle privilégié dans l'équilibre socio-économique régional. Son développement doit permettre l'aménagement d'une grande partie du territoire et éviter le déséquilibre engendré par le développement des grands périmètres irrigués et des villes.

3. Irrigation privée :

- Aménagements privés,
- Prédominance des eaux souterraines,
- Bonnes performances.

II. Description des systèmes et des techniques d'irrigation :

1. Classification :

Les systèmes d'irrigation peuvent être classés en deux grandes catégories: l'irrigation gravitaire et l'irrigation sous pression. Dans la pratique, on distingue l'irrigation gravitaire, l'irrigation goutte à goutte et l'irrigation par aspersion. La figure 7 présente une architecture de ces différentes méthodes d'irrigation : (<http://www.aqua6.org/pages/Les-differents-systemes-d%27irrigation.html>).

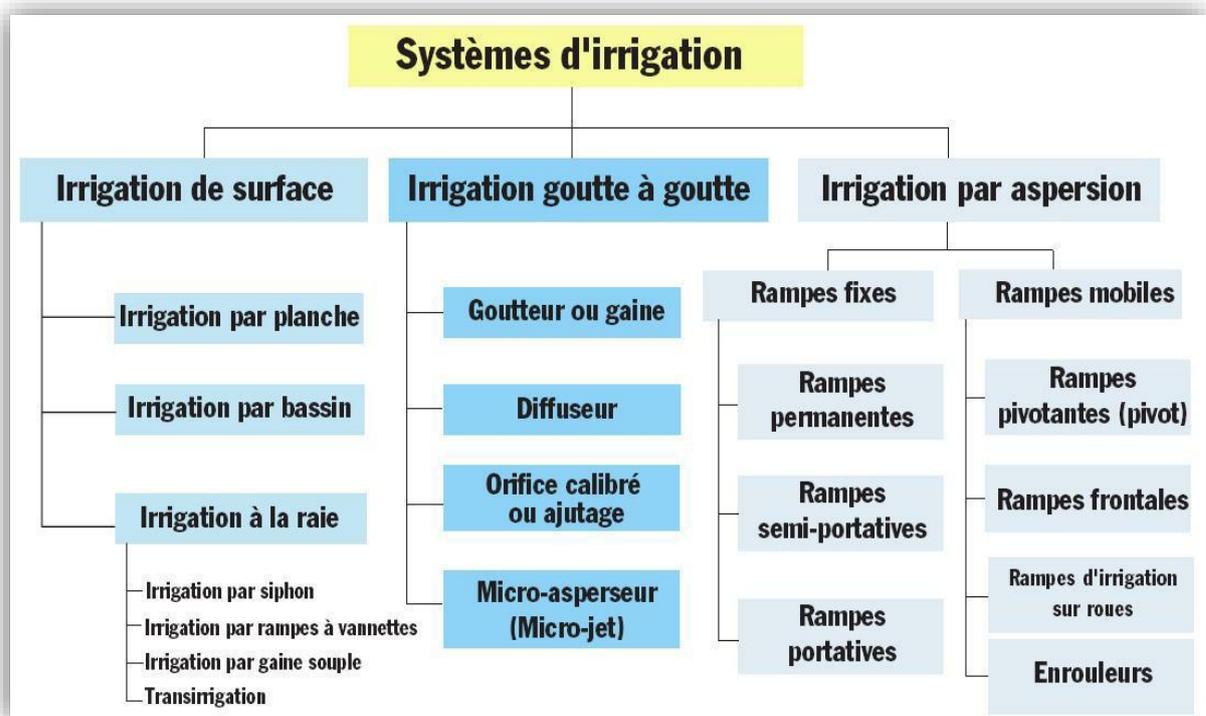


Figure 7 : les différents systèmes d'irrigation

1.1. Irrigation de surface :

L'irrigation de surface ou l'irrigation gravitaire est la technique la plus ancienne. Elle utilise un canal à ciel ouvert qui apporte l'eau par gravité à des canaux de plus en plus petits, venant irriguer les parcelles cultivées. Ce système d'irrigation utilise énormément d'eau, d'autant plus qu'une grande partie se perd par évaporation.

On peut citer plusieurs types d'irrigation de surface, notamment :

➤ *L'irrigation par planche* :

Consiste à faire couler une mince couche d'eau sur un sol incliné de 0,2 à 3%. Le débit à déverser est fonction de la pente, de la largeur et de la longueur de la planche. Cette méthode est de loin la plus difficile car il faut ajuster le débit d'irrigation de chaque planche avec toutes les autres variables (Figure 8).



Figure 8 : irrigation par planche (AZOUGGAGH, 2001)

➤ *L'irrigation par bassin* :

C'est la technique la plus connue dans l'irrigation gravitaire (Figure 9). Sa pratique sur un sol nivelé (pente 0,1 à 1%) ainsi que la simplicité de l'opération, qui consiste à remplir le bassin, font que cette technique est fréquemment utilisée. Dans plusieurs régions du Maroc, la taille des bassins est de 40 à 50 m² et cette technique est connue sous le nom "Robta". Cette dernière occasionne une perte importante de superficie, due au nombre important de cloisonnements.



Figure 9 : irrigation par bassin (AZOUGGAGH, 2001)

➤ ***L'irrigation à la raie :***

Convient parfaitement aux sols présentant une pente comprise entre 0,2 et 3%. Les sillons sont séparés d'une distance variant entre 0,6 et 1,25 m, selon le type de sol et la culture (Figure 10). Suivant le débit dont on dispose, on peut irriguer un ou plusieurs sillons à la fois. Les raies peuvent être parallèles ou perpendiculaires à la rigole permanente d'amenée d'eau. D'une manière générale, l'irrigation est réalisée suivant un débit unique ou suivant une succession de deux débits différents, un premier débit important qui est appelé débit d'attaque et un deuxième débit plus faible qui est appelé débit d'entretien.



Figure 10 : irrigation à la raie (AZOUGGAGH, 2001)

L'irrigation à la raie se prête mieux à la mécanisation : par siphon, par rampe à vannettes, par gaine souple ou par transirrigation.

➤ ***Irrigation par Siphon :***

Ce type d'irrigation est d'un intérêt certain car il permet d'éviter la construction d'une "séguia" d'amenée, et donc tous les travaux liés à la distribution (Figure 11). Il permet également de réduire l'érosion du sol à la tête de la raie. Par ailleurs, l'irrigation par siphon permet une bonne répartition de l'eau et présente un avantage du fait que l'investissement est faible.



Figure 11 : irrigation par siphon (AZOUGGAGH, 2001)

➤ ***Irrigation par Rampe à vannettes :***

Ce type de matériel correspond mieux aux cultures irriguées à la raie et qui nécessitent peu d'interventions sur la parcelle. L'avantage réside dans la possibilité de réglage du débit par des vannettes coulissantes ; qui offrent des positions d'ouverture de 25, 50, 75 et 100% (Figure 12).



Figure 12 : irrigation par rampe à Vannettes (AZOUGGAGH, 2001)

➤ ***irrigation par gaine souple :***

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

investissement modeste. Cependant, elles présentent l'inconvénient d'être fragiles et le réglage des débits est peu précis (Figure 13).

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



Figure 13 : irrigation par gaine souple (AZOUGGAGH, 2001)

➤ ***Transirrigation :***

La transirrigation de surface ou souterraine convient parfaitement à l'irrigation de la raie. La parcelle à irriguer par ce type d'irrigation est relativement grande et peut atteindre 6 ha (Figure 14).

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

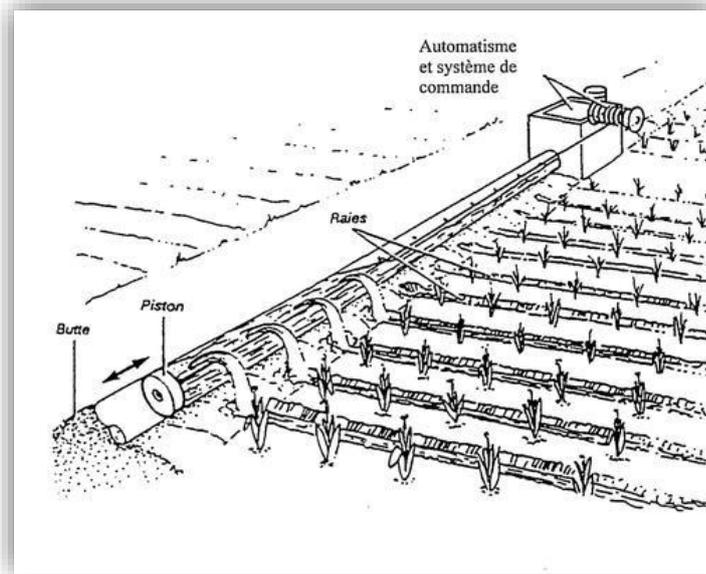


Figure 14 : schéma de la transirrigation (AZOUGGAGH, 2001)

1.2.Irrigation par aspersion :

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

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

- Les rampes mobiles.
- Les rampes fixes.

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

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



Figure 15 : irrigation par aspersion (AZOUGGAGH, 2001)

1.3.Irrigation par goutte à goutte :

On appelle irrigation par goutte à goutte ou irrigation localisée les systèmes qui consistent à :

- Répartir l'eau d'irrigation sur la parcelle par un réseau de conduites à fixes sous faible pression ;
- Localiser l'apport d'eau au voisinage des plantes cultivées : seule une certaine fraction du volume du sol, exploitable par les racines, sera humidifiée. Les débits apportés à chaque zone humidifiée sont faibles (quelques litres à quelques dizaines de litres par heure, selon les systèmes).

L'irrigation s'effectue à faible dose et forte périodicité (souvent journalière) (Figure 16).



Figure 16 : irrigation par goutte à goutte (AZOUGGAGH, 2001)

Plusieurs techniques se sont développées :

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

2. Avantages et inconvénients :

Les avantages et les inconvénients des types d'irrigation sont résumés dans le tableau suivant :

<i>Technique d'irrigation</i>	<i>Avantages</i>	<i>Inconvénients</i>
<i>De surface</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Techniques anciennes, bien connues ; • Coût d'investissement faible à la parcelle pour l'agriculteur ; • Cas d'apport énergétique extérieur ; • Alimentation des nappes phréatiques ; • Augmentation de la biodiversité ; 	<ul style="list-style-type: none"> • Temps de main d'œuvre pour la répartition et la surveillance important ; • Coûts importants en cas d'ouvrages d'art (aqueduc, galerie) • "Pertes" d'eau importantes dans les canaux selon la nature du sol : nécessité d'étanchéifier les lits des branches principales ;
<i>Aspersion</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Applicable dans la plupart des cultures et terrains. • Besoins en main-d'œuvre généralement faibles. • Possibilité de mélanger, facilement, des engrais et pesticides à l'eau d'irrigation • Facilité de mesure des consommations d'eau, permettant la facturation au volume 	<ul style="list-style-type: none"> • Coûts d'investissement élevés, • Dépense énergétique élevée, parfois prohibitive dans les pays où l'énergie est chère • Difficultés d'utilisation et efficacité réduite en régions ventées, • Ne convient pas aux eaux salées sur beaucoup de cultures
<i>Goutte à goutte</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Contrôle précis des quantités d'eau apportées : à condition que l'installation soit bien dimensionnée • Insensibilité au vent. • La distribution dans le champ est uniforme, L'eau est apportée directement à l'endroit nécessaire, au niveau des racines. • Possibilité d'apporter et fractionner les engrais directement par le réseau d'irrigation. 	<ul style="list-style-type: none"> • Coût initial plus élevé • Nécessité de filtrer l'eau pour minimiser le risque de colmatage • Prise en compte limitée des pluies. • Traitement préventif contre l'intrusion des racines à l'intérieur des goutteurs

Tableau 2 : les avantages et les inconvénients des différents types d'irrigation

III. L'irrigation dans le secteur d'étude :

On distingue dans le secteur d'Ouled Gaid une zone d'irrigation traditionnelle non aménagée (AUEA Sakia El Hamra) avec des plantations traditionnelles d'oliviers et des céréales ou des cultures fourragères en sous étage et un périmètre d'aménagement en grande hydraulique irrigué en gravitaire.

L'eau d'irrigation du secteur provient du barrage Moulay Youssef sur l'oued Tessaout.

1. Présentation du système d'alimentation du secteur Ouled Gaid :

Le canal principal est alimenté en premier lieu par le canal Ouled Gaid qui est desservi par les canaux secondaire suivants :

*OGG1, OGG2, OGG3 et OGG4 sur la rive gauche du canal primaire.

*OGD1, OGD2, OGD3 et OGD4 sur la rive droite du canal primaire d'Ouled Gaid.

Ces canaux secondaires irriguent la superficie équipée de 3888 ha d'Ouled Gaid. La gestion de la ressource en aval de celle-ci devant être théoriquement à la charge des irrigants. Cet aménagement devrait se substituer au réseau traditionnel de seguias et devrait permettre la pratique de l'irrigation sous pression (aspersion ou localisée) qui n'est réellement présente, dans le cas d'Ouled Gaid, que sur environ 10% de la superficie. En effet, la majorité des agriculteurs acheminent l'eau des bornes à leurs parcelles dans les mesrefs du réseau traditionnel (KABBAJ, 2012).

2. Dotation du secteur en eau :

La dotation est la quantité d'eau d'irrigation fixée par ha (m^3/ha), elle est subdivisée en deux types :

2.1.Dotation brute :

C'est le volume d'eau amenée au secteur. Pour le secteur Ouled Gaid cette dotation sera accordée à partir des volumes régularisés au niveau du barrage Moulay Youssef via le canal Est Ouled Gaid (KABBAJ, 2012).

2.2.Dotation réelle :

La dotation réelle est la quantité d'eau d'irrigation fixée en m^3/ha . Cette dotation est régularisée par l'ORMVAH, elles seront examinées sur la base de l'historique de fourniture en eau des secteurs au cours des années 1996 à 2007 dans le secteur Tessaout amont (KABBAJ, 2012).

IV. Projet de la reconversion à l'irrigation localisée :

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

1.1. Le cadre stratégique :

Le PNEEI s'inscrit dans le cadre du Plan Maroc Vert 2008-2022 qui marque la volonté politique de faire de l'agriculture un moteur de la croissance de l'économie nationale.

Le PNEEI a été initié pour permettre au secteur de l'agriculture irriguée de faire face à la raréfaction des ressources en eau et de valoriser au mieux les ressources en eau limitée du pays.

PNEEI s'inscrit dans les priorités de la stratégie secteur de l'eau 2009-2030. Il marque la volonté des pouvoirs publics d'accorder plus d'intérêt à la gestion de la demande comme axe stratégique du développement intégré et durable du secteur de l'eau (http://www.agriculture.gov.ma/sites/default/files/plaquette_ORMVAH_VF.pdf).

1.2. Objectifs du PNEEI :

Les objectifs de ce programme sont subdivisés en :

➤ *Objectif à terme :*

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

➤ *Objectifs intermédiaires :*

- Modernisation des réseaux collectifs d'irrigation portant sur une superficie de 395.000 ha en 15 ans pour faciliter la reconversions aux techniques d'irrigation économes en eau (réseaux basse pression, densification de réseaux sous pression, aménagement de bassins, ..) .
- Reconversion et équipement en irrigation localisée d'une superficie de 555.000 ha par an dans les périmètres de grande hydraulique et dans les zones d'irrigation individuelle privée.
- Promotion des cultures à forte valeur ajoutée et valorisation des productions agricoles.

1.3. Effets attendus du PNEEI :

- Taux de rentabilité économique (22.4 %) et financière (18.4%),
- Doublement de la valeur ajoutée par m³ d'eau (2.6Dh/ m³ à 5.6 Dh/m³),
- Gestion plus efficace et durable des ressources en eau souterraine,
- Economie d'eau de 20 à 50 % et augmentation des rendements des cultures de 10 à 100%,
- Economie et valorisation de près de 1.000 Mm³ /an,
- Augmentation des revenus des agricultures, ce qui entraîne :
 - Amélioration des conditions de vie dans les zones de conversion, en général,

- Dans les périmètres du GH, amélioration des recouvrements des redevances d'eau, possibilité d'augmentation des tarifs de l'eau et réduction des transferts budgétaires,
- Augmentation de la production agricole nationale et des exportations agricoles,
- L'économie et la valorisation de l'eau est un levier important pour la création d'emplois notamment pour les cadres,
- Protection des ressources en eau et de l'environnement.

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

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

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

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

- Le grand problème qui se pose à l'irrigation localisée est la qualité de l'eau destinée à l'irrigation, qui provoque le bouchage des installations du système .La dotation en eau du secteur N 1-2 sera accordée à partir des volumes régularisés au niveau du complexe hydraulique Hassan premier et Sidi Driss via le canal de rocade. Cette eau présente une turbidité forte, en particulier au moment des crues. En période des crues la charge en MES est en moyenne de 4g/l. Ceci est dû principalement à la qualité des apports intermédiaires du barrage Sidi Driss d'une part, et aux divers rejets liquides et solides sur tous le trajet du canal.
- Le problème de la fertigation pour les agriculteurs qui apportent les engrais tout en raisonnant comme dans le cas du gravitaire. L'apport des engrais doit être raisonné différemment dans le gravitaire et le localisée aussi bien en quantité qu'en types de produits.

Chapitre III :
Analyse des eaux et des
sols du secteur Ouled Gaid

Durant la période du stage, j'ai effectué un ensemble d'analyse physico-chimique sur 2 échantillons d'eau d'irrigation et 7 échantillons du sol appartenant à notre zone d'étude « Ouled Gaid ».

I. Analyses du sol :

L'analyse du sol est une procédure visant à caractériser la composition et la qualité physicochimique d'un sol. Ces analyses ont été effectuées sur 7 échantillons du sol du secteur d'Ouled Gaid, prélevées de trois sites ; S24, P6 et S21.

1. Méthodologie du travail :

a. Préparation de l'échantillon

La préparation de l'échantillon comprend :

➤ **Séchage :**

Il faut l'entamer le plus tôt possible après prélèvement car sa préservation dans un sac surtout à la chaleur, favorise la fermentation qui modifie la teneur en matière organique et en éléments assimilables.

Le séchage se fait à l'air libre et/ou à l'abri du soleil. Il ne faut pas laisser le sol sécher longtemps pour qu'il ne perde pas ses propriétés.

➤ **Broyage :**

Le broyage (photo 1) doit être assez doux. Cette méthode a pour rôle de :

- Homogénéiser le mélange de départ (les constituants du sol).
- Diminuer la taille des grains.



Photo 1 : broyage de l'échantillon

➤ **Tamissage :**

Le tamissage (photo 2) au laboratoire se fait à l'aide d'un tamis de 2 mm pour obtenir un sol fin.



Photo 2 : tamisage de l'échantillon

b. Analyses physico-chimiques du sol :

➤ ***Potentiel hydrogène (pH) :***

La mesure du pH d'un sol permet de définir son état d'acidité ou d'alcalinité. D'une manière générale le pH des sols agricoles est compris entre 4 et 9 (http://www.lano.asso.fr/web/potentiel_dhydrogene.html).

❖ **Mode opératoire :**

- On met 10 g de terre dans un bêcher de 50 ml,
- On ajoute 25 ml d'eau distillée,
- Laisser en contact 4 h en agitant de temps en temps avec une baguette de verre,
- Puis en mesure le pH,
- Le pH mètre doit toujours être étalonné.

➤ ***Conductivité électrique (CE) :***

La mesure de la conductivité électrique traduit la concentration de sels soluble, contenus dans le milieu.

❖ **Mode opératoire :**

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

➤ ***Calcaire Total :***

La détermination du pourcentage de calcaire dans les sols prélevés a été faite par la mesure de la teneur en carbonates de calcium, le dosage de ces derniers est basé sur l'attaque par l'acide chlorhydrique (HCl) dilué d'une masse donnée d'un échantillon, à pression et température constantes, en utilisant le calcimètre de Bernard. (http://www.lano.asso.fr/web/calcaire_actif.html)

❖ Mode opératoire :

- On met 1 g de sol dans des erlenmeyer de 250 ml, après avoir fait un test avec HCl-1/2.
- On adapte le récipient au calcimètre, on doit avoir la même pression atmosphérique des deux côtés du tube contenant le liquide
- Après fermeture, on peut amener l'acide sur le sol, on maintient la pression atmosphérique en déplaçant l'ampoule le long du niveau du liquide dans l'éprouvette.
- On lit le volume dégagé dans l'éprouvette quand le niveau ne bouge plus.

➤ **La matière organique :**

La matière organique du sol regroupe l'ensemble des constituants organiques morts ou vivants, d'origine végétale ou microbienne, transformés ou non, présents dans le sol, elles représentent en général 1 à 10 % de la masse des sols.

La mesure de la matière organique consiste à déterminer la teneur en carbone des sols par oxydation par voie humide de la matière organique.

❖ Mode opératoire :

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

1/Oxydation :

- 10ml de $K_2Cr_2O_7$, 1N par une éprouvette ou pipette de 10 ml.
- 20ml d' H_2SO_4 concentré.
- On agite 1min en évitant de disperser l'échantillon sur les parois de l'erlenmeyer.
- Laisser l'oxydation de se développer pendant 30 minutes.
- On ajoute 100ml d'eau distillée pour stopper la réaction et on laisse décanter pendant 24 h.

2/Dosage :

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



Photo 3 : dosage du carbone organique total

➤ ***Phosphore Assimilable :***

Le phosphore est un des éléments majeurs indispensables à la croissance et au développement des végétaux. Il joue en particulier un rôle essentiel dans la mise en place du système racinaire, la photosynthèse et la reproduction du végétal.

Cette manipulation a pour but de déterminer la fraction de phosphore facilement assimilable par les plantes. Connaître la teneur du sol en phosphore est indispensable pour optimiser au plan agronomique et économique la fertilisation complémentaire en fonction des besoins du sol.

(http://www.lano.asso.fr/web/phosphore_assimilable.html)

❖ **Mode opératoire :**

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

- On pèse 5g de terre dans des flacons d'agitations.
- On ajoute 100ml de bicarbonate de sodium (NaHCO_3) et environ 1 cuillère de charbon actif.
- On agite pendant 30min.
- On filtre la solution à travers le papier filtre (photo 4).



Photo 4 : filtration de la solution à travers le papier filtre

✓ **Gamme étalon :**

- dans des fioles jugées de 50 ml distribuer 0-2,5 - 5 -7,5-10- 15 -20 ml de la solution fille de phosphore .
 - On ajoute 5 ml de la solution d'acide ascorbique et on complète à 50 ml avec l'eau distillée.
- Cette gamme correspond à des concentrations en phosphore de : 0 – 0.05 – 0.1-0.15-0.20-0.30-0.40 ppm

✓ **Echantillons :**

- On prélève 1ml du filtrat dans des tubes à essai ;
- On ajoute 1ml d'acide ascorbique ;
- On ajoute 8ml d'eau distillée ;
- On lit l'intensité de la couleur (DO) à une longueur d'onde de la gamme et des échantillons à 820nm après 15 à 30min.

➤ **Texture du sol :**

La texture du sol fait référence à la taille et à la proportion des particules minérales qui le composent. Plus spécifiquement, elle réfère à la proportion de sable, de limon et d'argile contenus dans le sol.

Elle apporte des informations utiles à la gestion de l'eau et de la fertilisation.

❖ **Mode opératoire :**

- On prélève une poignée de terre et on la mélange avec un peu d'eau.
 - On essaye de façonner la terre pour obtenir un boudin.
- Si la terre s'émiette et les particules refusent de s'agglomérer, le sol est Sableu.

- Si on mouille le sol et on sent la même odeur caractéristique de la terre après sa pulvérisation par la pluie, on déduit qu'il s'agit du Limon.
- Si on peut en former un cylindre fin et ferme, le est Argileux.

2. Résultats et interprétations :

➤ *Texture du sol :*

Les caractéristiques du sol dans le secteur d'étude sont résumées dans le tableau 5. On constate que :

- Le sol au secteur d'étude est constitué par des éléments (sable, limon, et argile) avec des pourcentages différents.
- Pour le deuxième site, on remarque au niveau du 1^{er} échantillon prélevé de 0 à 20 cm de profondeur, l'existence d'une faible sensation de rugosité. Donc ce sol comporte une faible quantité de sable contrairement aux autres échantillons.

	Texture		
	(0-20 cm)	(20-40 cm)	(40-60 cm)
S 24	ALS	ALS	-----
P 6	Als	ALS	-----
S 21	ALS	ALS	ALS

Tableau 3 : texture des échantillons du sol

(A : Argile, L : Limon, S : Sable ; la lettre en majuscule ou en minuscule indique que cet élément se trouve en grande ou en faible quantité).

➤ *Potentiel d'hydrogène :*

Le graphe de la figure 17 et le tableau 6 montrent que :

- nos échantillons du sol ont un pH moyennement alcalin (Annexe 10). Cette alcalinité provient essentiellement de la composition chimique des roches et matériaux d'origine du sol.

- il y a une étroite relation entre la pluie annuelle et le pH. Plus la pluie est importante, plus le sol est acide et puisque notre site d'étude a un climat sec avec moins de précipitations, cela explique en partie l'alcalinité moyenne de ce sol.

	pH		
	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
S 24	8.33	8.16	-----
P6	8.36	8.42	-----
S21	8.36	8.37	8.42

Tableau 4 : le potentiel d'hydrogène des sols

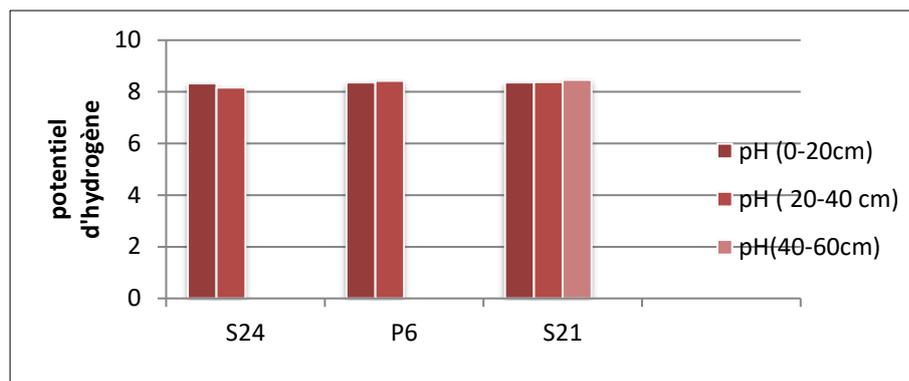


Figure 17 : variation du pH des sols

➤ **Conductivité Electrique :**

- La conductivité électrique sur l'ensemble des échantillons de sols analysés dans le secteur varie de 400 à 750 $\mu\text{s/cm}$ (Tableau 7 et Figure 18).
- Les trois échantillons affichent une conductivité électrique comprise entre 400 et 800 $\mu\text{s/cm}$, d'après les normes d'appréciations de la conductivité électrique du sol (Annexe 9), ils sont moyennement salés.
- D'après le graphe de la figure 19, on remarque que les échantillons du sol prélevés au niveau du 1^{er} site (S 24) présentent des valeurs plus ou moins faibles par rapport aux deux autres sites. Ce dernier représente une croissance de la salinité en fonction de la profondeur qui peut être expliquée par le phénomène du lessivage par les eaux de surface.

	Profondeur	Conductivité électrique		Sels solubles (g/l)
		mmhos/cm	$\mu\text{s/cm}$	
S24	0-20 cm	0.4	400	0.25
	20-40 cm	0.5	500	0.32
P6	0-20 cm	0.75	750	0.48
	20-40cm	0.55	550	0.36
S21	0-20 cm	0.6	600	0.39
	20-40 cm	0.55	550	0.36
	40-60 cm	0.6	600	0.37

Tableau 5 : conductivité électrique et sels solubles du sol

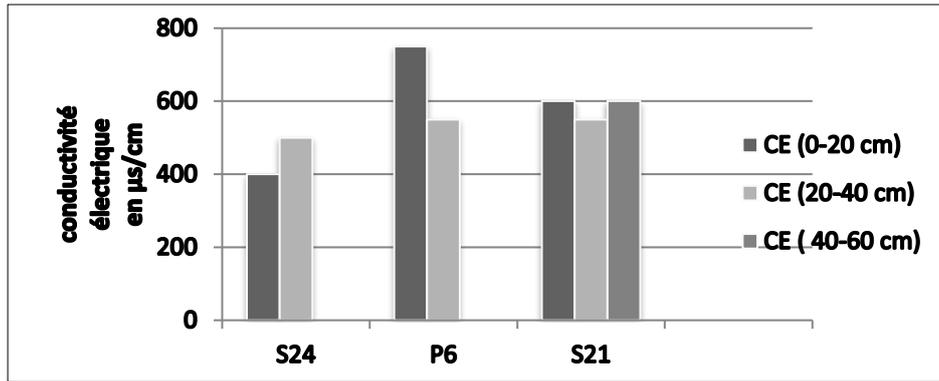


Figure 18 : variation de la conductivité électrique du sol

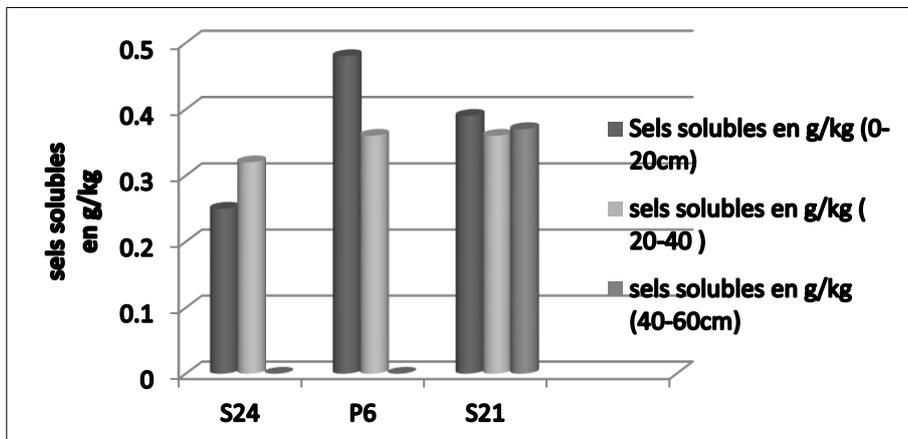


Figure 19 : variation des sels solubles dans le sol

➤ **Calcaire total :**

D'après le graphique de la figure 20 ci-dessous, on remarque l'augmentation du taux de calcaire de la surface vers la profondeur. Les sols étudiés contiennent des teneurs moyennes en calcaire total (Annexe 1) et cela est dû principalement à la nature de la roche mère qui est d'origine carbonatée.

	% Calcaire Total		
	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
S24	14.00	15.30	-----
P6	14.80	16.10	-----
S21	16.10	17.70	19.30

Tableau 6 : taux du calcaire total dans le sol

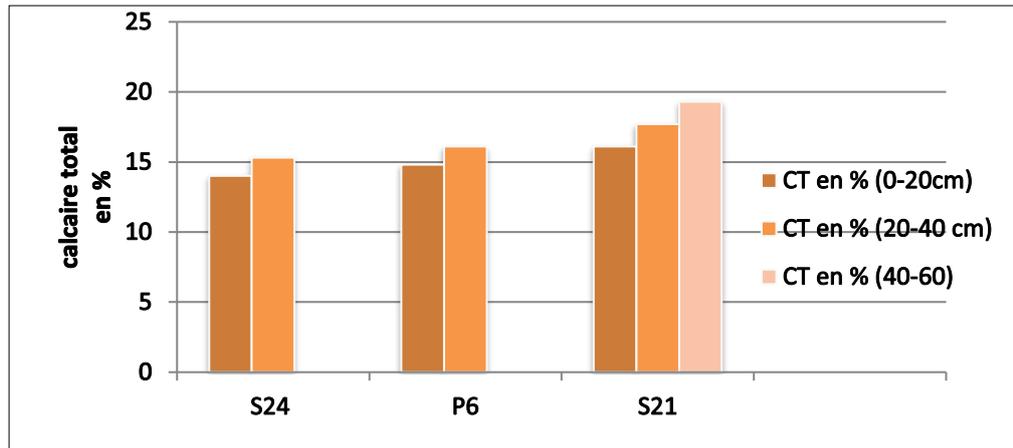


Figure 20 : variation du taux du calcaire total dans le sol

➤ **Matière organique :**

Le graphe de la figure 21 montre que le premier site (S₂₄) est pauvre en matière organique contrairement à (P₆) et (S₂₁) qui sont moyennement pourvus (Annexe 2). Cela peut être expliqué par plusieurs facteurs :

-La nature du sol : Le sol aux niveaux de (P₆) et (S₂₁) a une structure fine et donc il tend à renfermer plus de matière organique que les autres sols; il retient mieux les éléments nutritifs et l'eau, pour donner de bonnes conditions de croissance des végétaux. Les sols grossiers sont mieux aérés et la présence d'oxygène entraîne une décomposition plus rapide de la matière organique

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

-l'utilisation des fumiers.

% Matière Organique	
0-20 cm	
S24	1.329
P6	2.502
S21	2.189

Tableau 7 : taux de la matière organique dans le sol (0-20 cm)

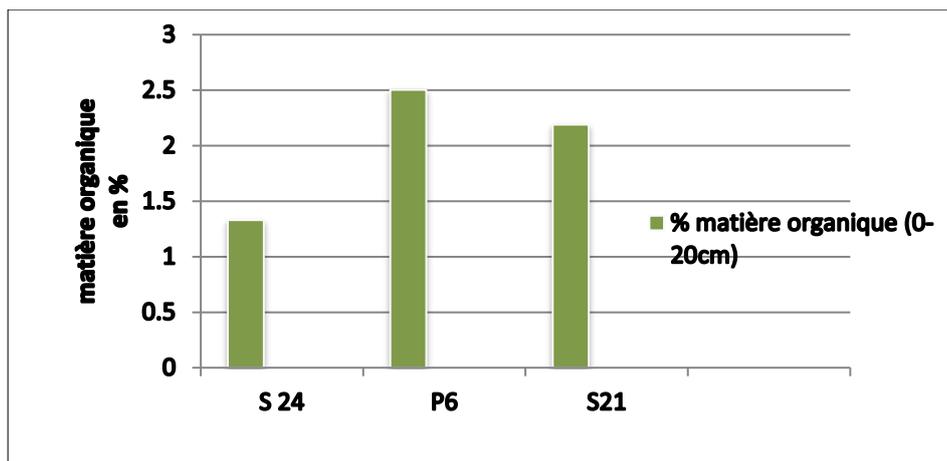


Figure 21 : variation de la matière organique dans le sol (0-20 cm)

➤ *Le phosphore assimilable :*

Les variations en phosphore dans les sols étudiés sont reportées dans le graphe de la figure 22 et le tableau 10 :

- La représentation graphique montre que le sol du site (S₂₄) est riche en phosphore assimilable, contrairement à (P6) et (S₂₁) dont les sols sont moyennement pourvus en P₂O₅ (Annexe 3).
- Ces derniers sols enregistrent des valeurs moins élevées du phosphore assimilable à cause de la présence de la matière organique qui se complexe avec le phosphore afin de le rendre immobile. En outre, le sol du premier site (S₂₄) présente une teneur élevée en phosphore assimilable.

	Phosphore assimilable en ppm
	0-20 cm
S24	16.92
P6	12.84
S21	13.35

Tableau 8 : le phosphore assimilable dans le sol (0-20 cm)

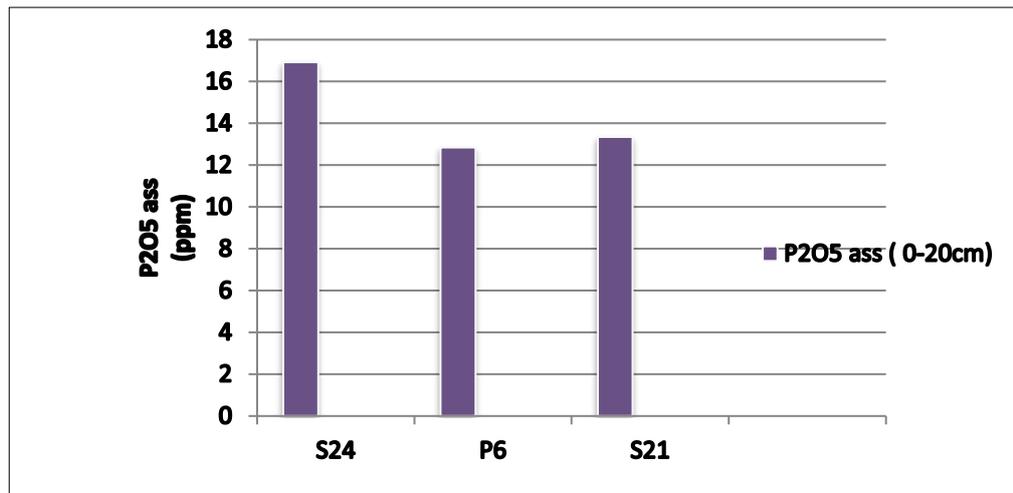


Figure 22 : Variation du phosphore assimilable dans le sol

II. Analyse de l'eau au laboratoire :

Les analyses au laboratoire ont été effectuées sur deux échantillons d'eau destinées à l'irrigation du secteur d'Ouled Gaid, dont l'une est de surface (C5) et l'autre de puits (P 13).

1. Matériels et méthodes

➤ *Mesure du pH :*

Le pH est la mesure de la concentration en ions hydrogènes de la solution (H^+), plus la concentration en ions hydrogènes est élevée, plus le pH est bas et plus c'est acide. Le pH influence la forme et la disponibilité des éléments nutritifs dans l'eau d'irrigation. Le pH de l'eau d'irrigation devrait se situer entre 5,5 et 6,5, à ces valeurs, la solubilité de la plupart des micro-éléments est optimale.

➤ *Mesure de la conductivité :*

La conductivité électrique est la capacité avec laquelle se fait le passage du courant électrique. Ce transport des charges se fait principalement par les ions contenus dans l'eau. Alors la mesure de la conductivité permet d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau et par suite donner une idée sur la minéralisation totale d'une eau.

➤ *Le bilan ionique de l'eau :*

L'analyse chimique des eaux d'irrigation permettra d'évaluer la concentration des sels dissous par le dosage volumétrique des ions présentés dans le tableau 11 :

Espèce à déterminer	Préparation de la solution	Indicateur coloré	Dosé par
Chlore (Cl)	- 10 ml d'échantillon	Chromate CrO_4^{2-}	AgNO_3 N/2
Calcium (Ca^{2+})	- 10 ml d'échantillon - 40 ml H_2O distillée - 2ml soude « NaOH »40%	Murexide « poudre »	EDTA
Magnésium (Mg^{2+})	- 10ml d'échantillon - 2 ml solution tampon	Erichrome « NET »	EDTA
Bicarbonate (HCO_3^-)	- 10 ml d'échantillon	Vert Bromo	H_2SO_4 «C=0.02»
Sulfate (SO_4^{2-})	- 10 ml d'échantillon - 2 ml H_2SO_4 + volume de H_2SO_4 trouvé dans le dosage de HCO_3^- - Chauffage jusqu'à l'apparition des bulles dans la solution après on ajoute 5 ml de BaCl_2 - Après refroidissement on ajoute 10 ml de solution tampon « NH_3 »+ 2 ml de MgCl_2	Erichrome « NET »	EDTA

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

2. Résultats et interprétations :

➤ *Le potentiel d'hydrogène de l'eau (pH) :*

- Les deux échantillons d'eau présentent un pH compris entre 7 et 8 (Figure 23 et tableau 12), et sont à faible alcalinité (Annexe, Tableau 6).
- L'eau de surface (C5) est d'excellente qualité vis-à-vis du pH selon le tableau d'appréciation de la qualité global des eaux de surface (Annexe 8).

	pH
P13	7.89
C5	7.97

Tableau 10 : le potentiel d'hydrogène de l'eau

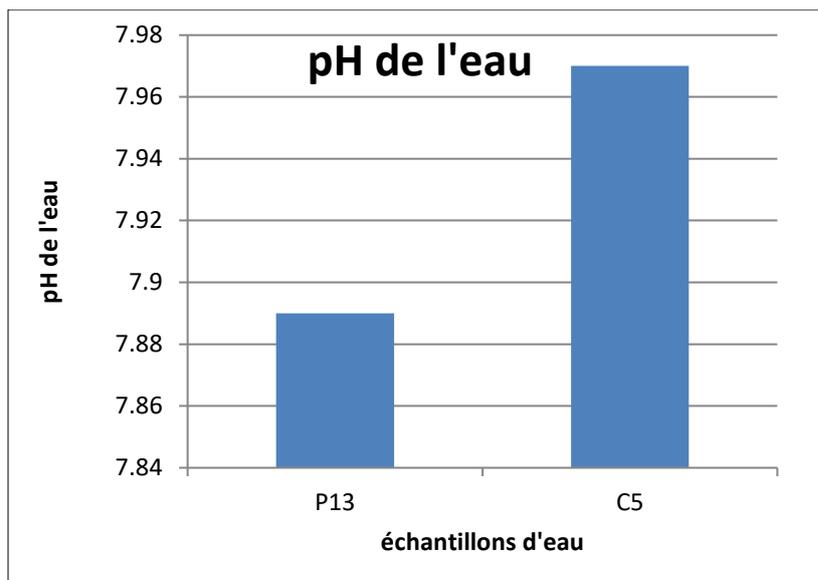


Figure 23 : variation du potentiel d'hydrogène de l'eau

➤ **Conductivité électrique (CE) :**

- On remarque que la conductivité électrique est plus importante au niveau de l'eau de surface (C5), cela est probablement due à l'évaporation vu la surface de contact Eau/Air (Tableau 13 et Figure 24).
- D'après les normes (Annexe 7), l'eau souterraine (P13) est de bonne qualité car elle est caractérisée par une conductivité comprise entre 750 et 1300. Cependant, l'eau superficielle est de très mauvaise qualité vis-à-vis de la conductivité électrique.
- Puisque la conductivité permet d'avoir une idée sur la minéralisation totale des eaux, on pourra dire que l'eau de puits (P13) n'a pas été contaminée par les produits utilisés dans l'activité agricole car cette eau est de bonne qualité et sa concentration en sels solubles ne dépasse pas 0.8 g/l.

	Conductivité électrique ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Sels solubles (g/l)
P13	1243	0.796
C5	3094	1.980

Tableau 11 : conductivité électrique et sels solubles des eaux

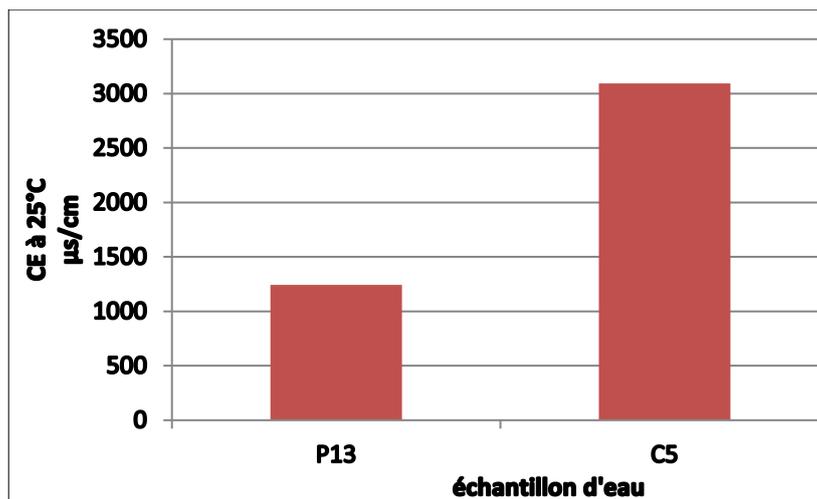


Figure 24 : variation de la conductivité électrique des eaux

➤ **Bilans ioniques :**

- Les teneurs en Sulfates, en Bicarbonates, en Chlorure et en magnésium sont plus élevées dans l'eau de surface (C₅) à cause de sa contamination par les pesticides agricoles, en revanche, la teneur en calcium est plus élevée en eau souterraine (P₁₃) en raison d'un long séjour et échange eau-roche carbonatée (Tableau 14 et Figure 26).

	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻⁻ mg/l
P ₁₃	64	7.26	319.5	207.4	38.4
C ₅	56	26.62	905.25	256.2	105.6

Tableau 12 : le bilan ionique des eaux

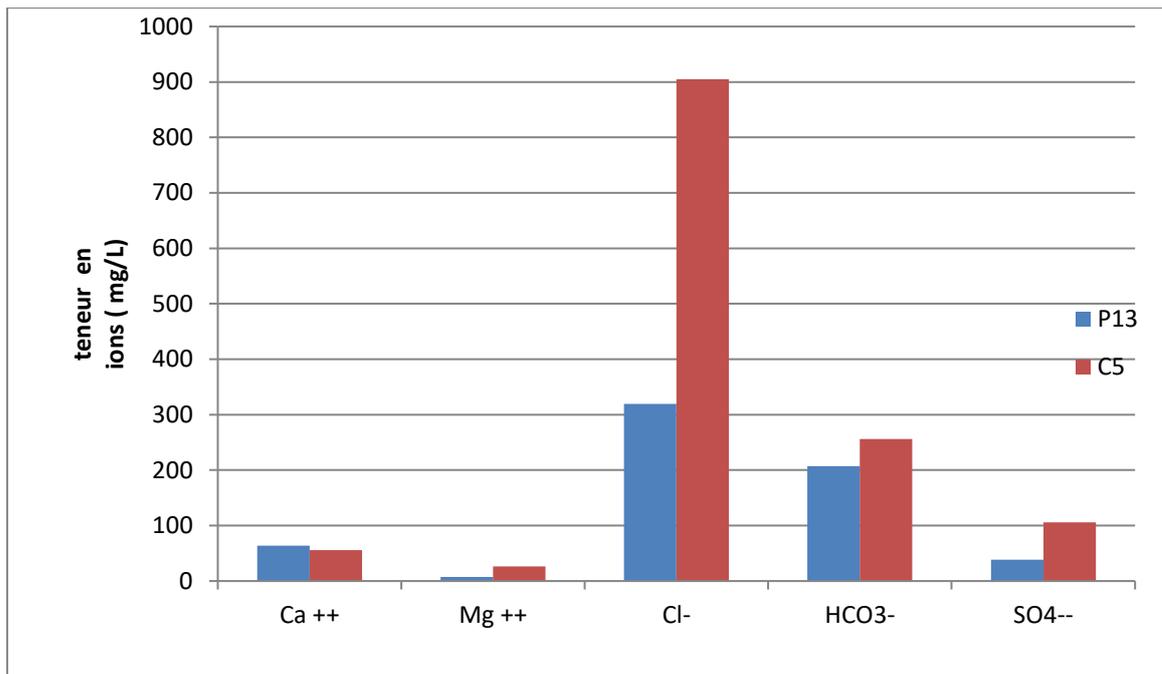


Figure 25 : teneur des ions dans l'eau de surface et de puit

a. Eau de surface C5 :

- Teneur en Sulfates et Bicarbonates :
Les teneurs en SO_4^{2-} et HCO_3^- ne dépassent pas leurs valeurs limites pour l'irrigation (Annexe 11).
- Teneur en Magnésium et Calcium :
Les teneurs en Mg^{++} et Ca^{++} sont moins élevées par rapport aux autres ions dans cette eau (Tableau 14, Figure 26).
- Teneur en Chlorure :
La teneur en Cl^- est très élevée (Tableau 14, Figure 26), elle dépasse même sa valeur limite pour l'irrigation de surface et sous pression (Annexe 11).

b. Eau souterraine P13 :

- Teneur en Sulfates et Bicarbonates :
La teneur en HCO_3^- est importante, en revanche, on remarque une teneur plus faible en SO_4^{2-} (Tableau 14, Figure 26).

Cette eau est dans la classe d'excellente qualité pour le paramètre teneur en Sulfate (Annexe 12) : la teneur est comprise entre 1 et 100 mg/L.

- Teneur en Magnésium et Calcium :

D'après les concentrations, cette eau souterraine est dans la classe «excellente» dans la grille d'évaluation de la qualité pour les deux paramètres Calcium et Magnésium (Annexe 12).

- Teneur en Chlorure :

On remarque que la concentration des Chlorures est plus élevée dans cette eau par rapport aux autres ions (Tableau 14, Figure 26), cela est peut-être dû à l'utilisation des chlorures pour le traitement des puits utilisés en alimentation en eau potable.

D'après les normes (Annexe 12), on constate que l'eau souterraine du secteur d'étude est dans la classe « Moyenne » pour le paramètre Cl⁻.

Conclusion générale

Les mesures effectuées au niveau du secteur d'étude (Ouled Gaid) concernant en premier lieu la conductivité électrique et la salinité des sols, des eaux souterraines et des eaux de surface, vu l'importance de ces deux critères, ont montré que la conductivité électrique du sol mesuré dans le secteur d'étude varie entre un minimum de 400 $\mu\text{s/cm}$ et un maximum de 750 $\mu\text{s/cm}$. D'après les normes d'appréciations de ce paramètre, les sols du secteur Ouled Gaid sont moyennement salés.

Selon la valeur de la conductivité électrique de l'eau souterraine de la zone d'étude (1243 $\mu\text{s/cm}$), on constate que cette dernière est de bonne qualité vis-à-vis de la conductivité électrique. Donc, elle ne représente aucun danger pour l'irrigation et pour le sol. D'autre part, sa salinité de 0,8 (g/l), a un risque nul par rapport à ce paramètre ; de même cette eau est apte pour l'irrigation avec des restrictions modérées.

Concernant l'eau de surface, sa conductivité électrique est très élevée (3094 $\mu\text{s/cm}$), et sa salinité est presque 2 g/l.

Selon la grille d'appréciation de la qualité des eaux superficielles pour les deux paramètres, salinité et conductivité électrique, cette eau de surface est de très mauvaise qualité, elle est donc nocive pour le sol. Cela est dû à plusieurs raisons :

- La salinité provoque une augmentation de la concentration de certains ions qui ont un effet de déséquilibre ou un effet toxique sur le métabolisme végétal et des brûlures au niveau des racines.
- La salinité élevée dans l'eau, signifie une grande concentration d'ions dissous dans le sol, ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par la plante. Cette salinité provoque aussi des perturbations au niveau de l'équilibre de l'écosystème.
- La salinité influence également sur le réseau d'irrigation, les grandes valeurs de ce paramètre augmentent le risque de sédimentation des sels au niveau des goutteurs (goutte à goutte). Ce qui crée des problèmes de pression au niveau du réseau d'irrigation et par conséquent une rupture de l'alimentation au niveau des plantes et une diminution de la durée d'amortissement du système.

Pour remédier à ces problèmes, je propose les solutions suivantes :

- Pour les cultures, il vaut mieux utiliser celles qui tolèrent les grandes concentrations en sels (Halophytes).
- Pour éviter l'accumulation des sels au niveau des sols, il est recommandé d'utiliser des eaux d'irrigation douces, sinon il faut irriguer avec des grandes quantités d'eau pour lessiver le sol.
- Au niveau des réseaux d'irrigation, on peut utiliser des produits chimiques tels que l'Acide Sulfurique pour nettoyer périodiquement le système d'irrigation.

Bibliographie :

EL HALI A., (2015) : L'impact de l'irrigation sous pression sur le sol et sur l'eau dans le secteur N°Fis N4 Région de l'Oudaya.

Mémoire de fin d'études, Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech, 78p.

KABBAJ D.et **EL MOSTAGE L.**, (2012) : Le projet de la reconversion collective de l'irrigation gravitaire à l'irrigation localisée au Maroc - Périmètre de Tassaout Amont, secteur d'Oulad Gaïd - Etude préliminaire.

Mémoire de fin d'étude, Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech, 60p.

ORMVAH , (2014) : Présentation de laboratoire pour la réalisation de campagnes d'analyses de caractérisation de référence des paramètres environnementaux au niveau de la zone de reconversion à l'irrigation localisée dans le périmètre du Haouz.

Rapport d'enquête du secteur Ouled Gaid ,20p.

Webographie :

<http://www.aqua6.org/pages/Les-differents-systemes-d%27irrigation.html>

http://www.agriculture.gov.ma/sites/default/files/plaquette_ORMVAH_VF.pdf

<http://www.albacharia.ma/xmlui/bitstream/handle/123456789/31140/0895Conception%20participative%20de%20projets%20d%E2%80%99irrigation.pdf?sequence=1>

<http://dspace.crstra.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/368/lutte-contre-la-salinisation-des-terres.pdf?sequence=3>

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

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

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

Annexes :

Annexe 1: normes du calcaire total (Management, Ingénierie de Développement, de Formation et Agri-Consulting, 2009)

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

Annexe 2 : Norme de la matière organique (Management, Ingénierie de Développement, de Formation et Agri-Consulting, 2009)

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

Annexe 3: Normes du phosphore assimilable (Management, Ingénierie de Développement, de Formation et Agri-Consulting, 2009).

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

Annexe 4 : bilan ionique d'eau

Référence	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻ mg/l	pH mg/l	CE à 25°C mmhos/cm	Sels S g/l
P ₁₃	64	7.26	319.5	207.4	38.4	7.89	1.243	0.796
C ₅	56	26.62	905.25	256.2	105.6	7.97	3.094	1.980

Annexe 5 : tableau global des analyses du sol

Désignation	Prof (cm)	Texture	C.T %	M.O %	P2O5 assimilable Ppm	pH	C E 1/5	Sels S g/kg
S 24	0-20	ALS	14.00	1.329	16.92	8.33	0.08	0.25
	20-40	ALS	15.30	–	–	8.16	0.10	0.32
P6	0-20	Als	14.80	2.502	12.84	8.36	0.15	0.48
	20-40	ALS	16.10	–	–	8.42	0.11	0.36
S21	0-20	ALS	16.10	2.189	13.35	8.36	0.12	0.39
	20-40	ALS	17.70	–	–	8.37	0.11	0.36
	40-60	ALS	19.30	–	–	8.42	0.37	0.37

Annexe 6: Classification des eaux selon le pH

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

Annexe 7: classe de qualité des eaux selon la conductivité électrique

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

Annexe 8 : appréciation de la qualité globale des eaux de surface : paramètre pH

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

Annexe 9: Normes d'appréciations de la conductivité électrique du sol

Conductivité électrique (µs/cm)	Appréciations
< 400	Sol non salé
400 à 800	Sol moyennement salé
800 à 1600	Sol salé
1600 – 3200	Sol très salé
>3200	Sol excessivement salé

Annexe 10: Les classes du pH (SCET Maroc, Marché 66-75ORH).

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

Annexe 11 : normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation

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

Annexe 12 : Grille de la qualité globale des paramètres de minéralisation des eaux souterraines : (normes ministère Energie, Mines, Eaux et Environnement)

Classe de qualité	Excellente	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
Cl (mg/l)	9-200	200-300	300-750	750-1000	1000-8000
SO ₄ (mg/l)	1-100	100-200	200-250	250-400	400-2000
Ca (mg/l)	31-160			<32 et >160	
Mg (mg/l)	<50	50-75	75-100	100-400	>400

