

UNIVERSITE KASDI MERBAH-OUARGLA

Faculté des sciences de la nature et de la vie

Département des sciences agronomiques



**Mémoire
MASTER ACADEMIQUE**

Domaine : Sciences de la nature et de la vie

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Protection de la ressource sol-eau et environnement

Présenté par : **Mr. SAKER Idris**

Thème

**Enquete sur l'efficacite de l'amendement sableux
pour lutter contre la salinite et l'hydromorphie du
sol dans l'ecosysteme oasien. cas de oued righ.**

Soutenu publiquement

le : 23/06/2022

Devant le Jury :

M. Karabi Mokhtar	M.C.A	Président	UKMOuargla
Mme. Oustani Mabrouka	M.C.A	Promoteur	UKMOuargla
Mme. Hadjaidji-Benseghier F	M.C.A	Examinatrice	UKMOuargla

Année Universitaire : 2021/2022

Remerciements

Je remercie dieu tout puissant de accordé la force, le courage et les moyens afin de pouvoir accomplir ce travail.

Je remercie tout particulièrement ma promotrice **Mme: OUSTANI Mabrouka** d'avoir proposée et dirigé ce travail, d'avoir usée de toute sa bonne volonté et aussi pour ses judicieuse conseils et toute la patience dont elle à fait preuve durant l'élaboration de cette étude et surtout pour sa disponibilité qu'elle trouve ici l'expression de notre profonde gratitude.

Je tien à remercier tout les membres de jury : **Mr. Karabi Mokhtar**, d'avoir accepté de présider le jury, **Mme. Hadjaidji-Benseghier Fatiha**, pour la lecture et l'examen de ce travail. Qu'ils soient assurés de ma profonde reconnaissance.

Je remercie amplement mon cher frère **FEZZAI Abdessatar** et monsieur **BOUZGUAGE Mohamed El Hadi** agriculteurs qui m'ont accompagné pendant la réalisation de ce travail pour les informations fournées, pour leurs patience et surtout pour ses qualités humaines.

J'exprime mes vifs remerciements et mes profondes reconnaissances à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Dédicace

Je dédie ce travail:

A maman

A papa

A ma femme

A mes deux petits enfants

Résumé

Enquete sur l'efficacite de l'amendement sableux pour lutter contre la salinite et l'hydromorphie du sol dans l'ecosysteme oasien. cas de oued righ.

Les oasis du Sahara algérien, comme dans le cas de la vallée de l'Oued Righ subissent un problème majeur d'hydro-halomorphie, qui constitué le principal facteur de dégradation du sol en milieu oasien. Pour résoudre ce problème plusieurs agriculteurs ont recours à l'amendement sableux qui est une pratique agricole très ancienne dans les oasis algériennes. C'est dans ce cadre que s'inscrit l'objectif de notre travail d'enquête qui vise à chercher l'état de lieu de l'amendement sableux dans la lutte contre les formes de la dégradation du sol des oasis. Les résultats de l'enquête ont dégagé un impact sur le rendement des cultures qui varie d'un cas à un autre et d'une année à l'autre. La proportion moyenne déclarée pour l'accroissement de la productivité et des rendements en année de croisière était de 50 %, soit de l'ordre de deux tiers de la production de base. D'après les agriculteurs enquêtés, l'année de croisière correspondait à la quatrième année après l'amendement, l'accroissement du revenu était graduel, principalement pour les années 2, 3 et 4 après l'amendement sableux.

Mots clés : Hyro-halomorphie, Amendement sableux, Oasis, Oued Righ, Enquete.

الملخص

استقصاء فعالية تعديل الرمل لمحاربة الملوحة والتثريع المائي للتربة في النظام البيئي للواحات. حالة وادي ريغ.

تعاني واحات الصحراء الجزائرية ، و منها واحات وادي ريغ ، من مشكلة كبيرة تتعلق التثريع المائي التي تشكل العامل الرئيسي لتدهور التربة في بيئة الواحات. لحل هذه المشكلة ، يلجأ العديد من المزارعين إلى تعديل الرمال و هي ممارسة زراعية قديمة جداً في الواحات الجزائرية. وفي هذا الإطار ، يقع هدف عملنا الاستقصائي ، والذي يهدف إلى البحث عن حالة تعديل الرمال في مكافحة أشكال تدهور التربة في الواحات.

أظهرت نتائج المسح تأثيراً على الأداء يختلف من حالة إلى أخرى ومن سنة إلى أخرى. كان متوسط النسبة المعلنة للزيادة في الإنتاجية والعائد في عام الذروة 50% ، أو حوالي ثلثي الإنتاج الأساسي. وفقاً للمزارعين الذين شملهم الاستطلاع ، فإن عام الذروة يتوافق مع السنة الرابعة بعد التعديل ، وكانت الزيادة في الدخل تدريجية ، بشكل رئيسي للسنوات 2 و 3 و 4 وفقاً لهم في العام الأول لا يوجد أي تحسن في الإنتاج.

الكلمات المفتاحية: ملوحة الماء-تربة، إضافة الرمل، واحات، وادي ريغ، استقصاء.

Abstract

Investigation on the effectiveness of the sand amendment to fight against salinity and hydromorphy of the soil in the oasis ecosystem. case of Oued Righ valley.

The oases of the Algerian Sahara, as in the case of the Oued Righ valley, suffer from a major problem of hydro-halomorphy, which constitutes the main factor of soil degradation in the oasis environment. To solve this problem, many farmers resort to sand amendment which is a very old agricultural practice in the Algerian oases. It is in this context that the objective of our investigative work falls, which aims to seek the state of the sand amendment in the fight against the forms of soil degradation of the oases.

The results of the survey showed an impact on performance that varies from case to case and from year to year. The average proportion declared for the increase in productivity and yields in the year of cruising was 50%, or about two-thirds of the base production. According to the farmers surveyed, the peak year corresponded to the fourth year after the amendment, the increase in income was gradual, mainly for years 2, 3 and 4 According to them, in first year there is no there has been no improvement in palm production.

Keywords: Hyro-halomorphy, Sand amendment, Oasis, Oued Righ, Investigation.

Liste des figures

Photo 1: Accumulations salines à la surface des sols de la palmeraie de Mékhadma	11
Photo 2: Cas d'un asphyxie et dépérissement d'une palmeraie à Ouargla	14
Figure 3: Situation géographique de la vallée de l'Oued Righ	26
Figure 4: Variations mensuelles des températures dans la région d'Oued Righ.....	27
Figure 5: Variations mensuelles des précipitations dans la région d'Oued Righ.....	28
Figure 6: Variations mensuelles de l'humidité relative dans la région d'Oued Righ.....	28
Figure 7: Variations mensuelles de la vitesse du vent dans la région d' Oued Righ.....	29
Figure 8: Variations mensuelles d'insolation dans la région d'Oued Righ.....	29
Figure 9: Variations mensuelles de l'évaporation dans la région d'Oued Righ.....	30
Figure 10: Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson relatif à la région d'Oued Righ.....	31
Figure 11: Etage bioclimatique de la région d'étude dans le climagramme d'Emberger.....	32
Figure 12: carte des limites du continentale intercalaire et de complexe terminal	36
Figure 13: Coupe hydrogéologique des aquifères du Sahara septentrionale	36
Figure 14: Schéma général de la méthodologie de travail	37
Photos 15: Epandage du sable remise en place et d'adaptation des systèmes d'irrigation	47
Photos 16: Confection de cuvettes.....	48
Photos17: Zones de prélèvement des matériaux d'amendement (01)	49
Photos18: Zones de prélèvement des matériaux d'amendement (02)	50

Liste des tableaux

Tableau 1: Valeur du Quotient pluviothermique dans la région d'Oued Righ	31
Tableau 2: Les sols Caractéristiques de la vallée de l'Oued Righ	33
Tableau 3: Caractéristiques des zones de prélèvement des matériaux d'amendement	49
Tableau 4: Coût de l'amendement sableux (ha).....	50

Liste des abréviations

SAR : Sodium Adsorption Ration

CEC : capacité d'échange cationique

CEe1:5: Conductivité électrique de l'extrait 1:5 des sols

Cen : Conductivité électrique des eaux phréatiques

DREW : Directions Des Ressources En Eau Des Wilayas

FAO : Food and Agriculture Organization

i : irrigué

ni : non irrigué

ONA : Office National de l'Assainissement

ONM : Office National de la Météorologie

pHe 1:5 : pH de extrait 1:5 des sols

pHn : pH des eaux phréatiques

SAO : Subdivision Agricole Ouargla

UNESCO : United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

USSL : United State Salinity Laboratory

Table des matières

Remerciements	
Dedicace	
Résumé	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction	1
CHAPITRE (I) : HYDRO-HALOMORPHIE	6
I.HALOMORPHIE	6
I.1. Définition.....	6
I.2. Salinisation	6
I.3. Sols salins	6
I.4. Causes de la salinité des sols	7
I.5. Origines et types de la salinité.....	7
I.5.1. Salinisation primaire.....	7
I.5.2. Salinisation secondaire	7
I.6. Paramètres de caractérisation des sols salés	8
I.6.1. Conductivité électrique.....	8
I.6.2. pH.....	8
I.6.3. Composition ionique de la solution du sol	9
I.6.4. SAR	9
I.6.5. Taux de sodium échangeable.....	9
I.7. Effets de la salinité sur les sols et sur les plantes	9
I.7.1. Effets de la salinité sur les sols.....	9
I.7.1.1. Effets sur les propriétés physiques des sols	9
I.7.1.2. Effets sur les propriétés chimiques des sols.....	10
I.7.1.3. Effets sur les propriétés physico-chimiques des sols	10
I.7.1.4. Effets sur les Plantes	10
II.HYDROMORPHIE.....	12
II.1. Définition.....	12
II.2. Etats dans l'eau dans le sol.....	12
II.3. Types d'hydromorphie	13
II.3.1. Hydromorphie totale.....	14

II.3.2. Hydromorphie partielle de profondeur	14
II.4. Causes et origine de l' hydromorphie.....	15
II.5. Ampleur et impact de l'hydromorphie	15
CHAPITRE (II). CONSERVATION DES SOLS HYDRO-HALOMORPHES	17
I. TRAVAUX DE CONSERVATION DES SOLS	17
I.1. Méthodes de réhabilitation des sols halomorphes et hydromorphes	18
I.1.1. Méthodes de réhabilitation des sols halomorphes	18
I.1.2. Méthodes de réhabilitation des sols Hydromorphes.....	21
II. AMENDEMENT SABLEUX.....	22
II.1. Généralités.....	22
II.2. Objectifs de l'amendement sableux.....	22
II.3. Caractéristiques physico-chimiques et minéralogiques du sable porté	22
II.4. Effets de l'amendement sableux sur propriétés physico-chimiques du sol	24
II.5. Effets de l'amendement sableux sur les plantes	24
CHAPITRE (I) PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE	26
I. SITUATION GEOGRAPHIQUE	26
II. CLIMAT.....	27
II.1. Température.....	27
II.2. Précipitations (en mm)	28
II.3. Humidité relative (en%)	28
II.4. Vitesse du vent (en m/s)	29
II.5. Insolation(en heures)	29
II.6. Évaporation (en mm).....	30
II.7. Type de climat de la zone d'étude	30
III. BIOCLIMAT.....	30
III.1. Diagrammes Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен	30
III.2. Quotient pluvio-thermique et Climagramme d'Emberger.....	31
III.2.1. Quotient pluviothermique"Q2".....	31
III.2.2. Climagramme d'Emberger	32
IV. SOLS	33
V. HYDROGEOLOGIE.....	34
V.1. Nappe phréatique.....	35
V.2. Complexe Terminal.....	35
V.3. Continental Intercalaire	35

CHAPITER (II) : METHODOLOGIE DU TRAVAIL	37
I. METHODOLOGIE DU TRAVAIL	37
I.1. Objectifs de l'étude	38
I.2. Recherche bibliographique	38
I.3. Enquête	38
I.3.1. Période d'investigation	40
I.3.2. Zone d'investigation	40
I.3.3. Choix des exploitations	41
CHAPITRE : RESULTATS ET DISCUSSION	43
I.LES SOLS DES OASIS ET L'AMENDEMENT SABLEUX	43
I.1. Les préalables à l'amendement sableux chez l'agriculteur	44
I.2. Pratiques actuelles de l'amendement	45
I.3. Déroulement des actions d'amendement	46
I.4. Composantes de l'amendement sableux et les aspects techniques	46
I.4.1. Les opérations de préparation du sol	46
I.4.2. Les opérations de l'apport du sable, des matières minérales et des matières organiques..	47
I.4.3. Les opérations d'épandage du sable	47
I.4.4. Les opérations de remise en place des systèmes d'irrigation	47
I.5. Les zones de prélèvement	48
I.6. Impact actuel du prélèvement des matériaux sur l'environnement	50
I.7. Coût moyen d'une action d'amendement sableux par hectare	50
I.8. Gain additionnel engendré par la bonification sableuse du sol	51
Conclusion	53
Références bibliographiques	55
Résumé	56

Introduction

La baisse de fertilité des sols est un fléau qui affecte la plupart des oasis. Elle est surtout fréquente dans les anciennes Oasis (**KARBOUT, 2021**). Ce problème pédologique affecte la qualité du sol et provoque la baisse significative des rendements. La dégradation de l'Oasis a un impact négatif direct non seulement sur la production agricole, mais aussi sur le bien-être économique et social des agriculteurs. Parmi les problèmes de dégradation du sol en milieu oasien on cite le problème de l'hydro-halomorphie liée à l'excès d'eau et à la salinisation des sols (**DAOUD et HALITIM, 1994 ; DADDI BOUHOUN et al., 2013**).

En fait, l'hydro-halomorphie affecte à différents degrés les oasis ce qui indique que c'est une forme de dégradation dominante qui affecte la qualité du sol et provoque des pertes de cultures et des chutes de rendement, et dont l'impact économique est assez important et qui se traduit par un manque à gagner considérable entraîné par la réduction de la production agricole (**DADDI BOUHOUN et al., 2009 ; DADDI BOUHOUN et al., 2013**).

Au sein des oasis sahariennes, la salinisation et l'hydromorphie se manifestent simultanément. Le problème de l'hydro-halomorphie est une menace environnementale mondiale, en particulier dans les terres arides (**SMEDEMA et SHIATI, 2002**). Ce phénomène complexe et multifactoriel peut être causé par de nombreux facteurs ou combinaisons de plusieurs facteurs naturels et anthropiques, c'est-à-dire le stress hydrique, les températures élevées et l'augmentation des taux d'évapotranspiration, et le réchauffement climatique, les irrigations mal maîtrisées et la forte charge saline de l'eau d'irrigation (**DADDI BOUHOUN et al., 2012**).

Dans les régions oasiennes, la salinisation des sols et des eaux, est l'un des principaux facteurs abiotiques qui limitent la productivité végétale et le rendement agricole (**ZID et GRIGNON., 1991; ZHU., 2001**).

La salinisation des sols présente deux origines. une naturelle, affecte 80% des terres salinisées, dites salinisation primaire. La seconde est d'origine anthropique, due essentiellement à l'irrigation est appelée salinisation secondaire (IPTRID-FAO, 2006).

Dans les écosystèmes arides et semi arides, elle résulte des fortes évaporations d'eau à partir du sol (**MUNNS et al., 2006**) et d'une irrégulière et insuffisante précipitation. Elle provient également de l'irrigation le plus souvent mal contrôlée (**BEN NACEUR et al., 2001**).

Selon **ZAMAN et al. (2018)**, environ 23 % (0.34×10^9 ha) des terres cultivées sont salines et 37 % (0.56×10^9 ha) sont sodiques et sont essentiellement économiquement improductive.

En Algérie, plus de 20% des sols irrigués sont affectés par la salinisation, principalement dans les régions arides et semi-arides où 50% des sols sont salins (**DEHNI, 2018**).

Par ailleurs, dans les régions oasiennes, le mauvais drainage ou son absence en milieux irrigués conduit à une élévation progressive de la nappe phréatique provoquant l'hydromorphie du sol qui conduit à long terme un état de saturation excessive affectant l'activité racinaire. Ce phénomène est le résultat des pertes en eau d'irrigation dues aux fuites à partir des canaux d'irrigation et aux percolations à partir des champs irrigués. L'hydromorphie se rencontre dans les terrains riverains des dépressions et en bas de pente.

Plusieurs méthodes ont été préconisées pour résoudre le problème de l'hydrohalomorphie qui stérilisent le sol dans les régions oasiens, on cite à titre d'exemple : l'installation d'un système de drainage adéquat, choix de système d'irrigation, maîtrise des irrigations, l'amélioration de la gestion de système d'irrigation-drainage (**LALLEMAND-BARRES, 1980 ; VANHOORN, 1995 in MASMOUDI, 2012 ; REZAGUI et al., 2016**), l'apport d'amendement minéraux et organiques (**DIOP et al., 2019**). Toutefois, la plupart de ces méthodes sont généralement très coûteuses, leur application nécessite parfois de lourds investissements qui ne sont pas à la portée de la plupart des agriculteurs.

Par ailleurs, dans la plupart des cas, les pratiques des agriculteurs sont le produit de leurs connaissances locales, de leur interaction avec leurs terres et de l'accumulation d'expériences héritées d'une génération à une autre. Les agriculteurs connaissent peu les contraintes réelles de la production sur le plan scientifique, mais ils introduisent des mesures d'adaptation en fonction de leurs expériences et de leur conscience de la liaison des causes avec les effets (**UDDIN et al., 2014**).

Comprendre comment les agriculteurs perçoivent la dégradation de l'oasis est important dans la conception des mesures précises qui combattent cette dégradation et correspondent aux agriculteurs les plus touchés. On sait peu de choses sur la façon dont les agriculteurs perçoivent le processus de dégradation dans les agrosystèmes oasiens en général et comment ils construisent leurs pratiques en fonction de cette perception.

Certains cas mentionnant la perception des agriculteurs, portaient sur des problèmes uniques tels que l'eau d'irrigation, la salinité des sols ou l'engorgement, en essayant de traiter les technologies d'adaptation dans ces contextes problématiques (**BOUARFA et al., 2009; GHAZOUANI et al., 2009**), et de constater que rares sont ceux qui ont abordé les obstacles empêchant les agriculteurs d'adopter des pratiques de gestion durables dans l'agrosystème oasien.

A ce titre parmi les pratiques agricoles durables dont les agriculteurs oasiens font recours on cite l'apport sableux aux sols. Un savoir-faire local très important. Il s'agit de l'utilisation de l'amendement sableux pour remédier aux problèmes d'hydro-halomorphie.

Les recherches sur cette thématique sont très rares, que ce soit à l'échelle nationale qu'à l'échelle internationale, bien que les conséquences positives de cette pratique agricole sur l'amélioration de la qualité du sol en milieu oasien a été signalé par plusieurs travaux (**KARBOUT et al., 2019 ; MAATOUG et al., 2019 ; KARBOUT et al., 2021**).

L'amendement sableux dans les milieux oasiens est une pratique très ancienne, longtemps pratiquée par les exploitants pour lutter contre ; la baisse de fertilité des sols, la mauvaise performance du drainage et la remontée de la nappe, la prolifération des mauvaises herbes et des maladies, la découverte des racines des palmiers et également la mise en valeur des sols salés et des hydromorphes. Cette pratique est jugée par certains exploitants comme vital, certains le considèrent comme nécessaire, d'autres le considèrent comme complémentaire, alors que d'autres le considèrent comme inutile.

L'objectif immédiat reflétant les résultats attendus par cette action de recherche est l'évaluation des effets de l'amendement sableux pour juger son efficacité contre l'hydro-halomorphie, la fertilité des sols des oasiens conduisant à une amélioration des rendements des palmiers et des cultures pratiquées et par conséquent du revenu des agriculteurs.

Dans le présent travail d'enquête nous avons essayé d'avoir une idée même estimative sur les objectifs, modalités d'application de l'amendement sableux dans une région oasienne typique exposée au problème de l'hydro-halomorphie.

Cette étude comporte trois parties :

- **Première partie** est réservée à une synthèse bibliographique comportant deux chapitres : le premier chapitre porte sur l'hydro-halomorphie, le deuxième traite l'amendement sableux ;

- **Deuxième partie** est consacrée à la présentation du contexte écologique de la région de l'étude et à la méthodologie adoptée pour la réalisation du travail de terrain et aux méthodes de déroulement de l'enquête ;
- **Troisième partie** dévoile et interprète les résultats obtenus sur l'utilisation du sable dunaire comme amendement au sol pour lutter contre l'hydrohalomorphie dans les zones oasiennes de Oued Righ, et on termine par une conclusion.

Partie (01)

**Synthèse
Bibliographique**

CHAPITRE (I) : HYDRO-HALOMORPHIE

Le problème de l'hydro-halomorphie est une menace environnementale mondiale, en particulier dans les terres arides chaudes (REZAGUI *et al.*, 2016) . Ce phénomène complexe et multifactoriel peut être causé par de nombreux facteurs ou des combinaisons de plusieurs facteurs naturels et anthropiques (DADDI BOUHOUN *et al.*, 2013) . Dans ce chapitre nous rappellerons quelques terminologies liées à ce phénomène est considéré comme le principal facteur de dégradation du sol en milieu oasien.

I. HALOMORPHIE

I.1. Définition

La salinité se réfère à la quantité des sels solubles qui se trouve dans le sol (CHESWORTH, 2008). Elle est mesurée à l'aide de la conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée (MATHIEU et LOZET, 2011).

I.2. Salinisation

La salinisation est le processus qui accroît la quantité de sels dans les sols (GRÜNBERGER, 2015). Elle se solde par des effets nocifs sur les végétaux et le sol (MERMOUD, 2006).

La salinisation est un processus d'accumulation de sels à la surface du sol et dans la zone racinaire qui occasionne des effets nocifs sur les végétaux et le sol, il s'en suit une diminution des rendements, et à terme, une stérilisation du sol.

I.3. Sols salins

Les sols sont dits salins lorsqu'ils contiennent une certaine quantité d'éléments minéraux, sous forme dissoute, échangeable ou précipitée. Ils comprennent plusieurs types de sols qui se sont formés à partir de trois processus physicochimiques: la salinisation, la sodisation et l'alcalisation (GIRARD *et al.*, 2005).

Selon MATHIEU (2009), un sol est dit salin dès que la conductivité de l'extrait saturé d'un de ses horizons est supérieure à 4 dS.m^{-1} . Les sels solubles sont tous les sels plus solubles dans l'eau que le gypse, leur concentration globale est généralement exprimée par la conductivité électrique qui représente en réalité la conductivité électrolytique (HALITIM., 1988).

Selon **MATHIEU et LOZET (2011)**, les sels solubles sont un ensemble des anions et des cations présents dans le sol soit sous forme solide cristallisée soluble, soit sous forme dissoute dans la solution du sol, à l'exclusion des matières organiques solubles.

I.4. Causes de la salinité des sols

Selon **BOLT et al. (1978)**, les rares précipitations, l'évaporation élevée, l'irrigation avec de l'eau saline et les pratiques culturales sont parmi les facteurs principaux qui contribuent à la salinité croissante. La salinisation secondaire, en particulier, aggrave le problème où une fois que les superficies agricoles productives deviennent impropres à la culture due à la qualité inférieure de l'eau d'irrigation (**ASHRAF et FOOLAD, 2007 ; IN HAMMIA ,2012**).

I.5. Origines et types de la salinité

La présence des sels solubles dans les sols se justifier par diverses causes. Deux processus sont signalés :

I.5.1. Salinisation primaire

Près de 80 % des terres salinisées ont une origine naturelle « édaphique », on qualifie alors la salinisation de « primaire ». Dans ce cas, celle-ci est due à la formation des sels pendant l'altération des roches ou à des apports naturels externes.

Dans les régions côtières, intrusion de l'eau salée ou submersion des terres basses. Inondation périodique par de l'eau de mauvaise qualité. Remontée d'une nappe phréatique salée près de la zone racinaire (**LAHOUEL, 2014**). Ce type de sol est très fréquent dans les zones arides dû à une évapotranspiration potentielle qui dépasse largement la quantité d'eau arrivée au sol (**LAHOUEL, 2014**).

I.5.2. Salinisation secondaire

La salinité peut être provoquée en conditions anthropiques par l'irrigation par des eaux salées. Ce type de salinité du sol est la conséquence de la mauvaise combinaison d'une forte évaporation et d'un apport inadapté d'eau d'irrigation chargée en sels dissous (**BOUALLA et al., 2012**).

La salinisation d'origine secondaire est induite par l'activité humaine, liée fréquemment à des pratiques agricoles inappropriées. Les principales causes de la salinisation secondaire sont (**GUCHER et BRUDIN, 1974 in MISSAOUI, 1991**) :

- La remonté de la nappe souterraine à proximité de surface et transport de sels parremontées capillaires (**LACHARME, 2001**)
- Le mauvais fonctionnement des systèmes de drainage/assainissement lorsqu'il existe.
- La remontée de la nappe phréatique salée et la forte évapotranspiration.
- L'irrigation avec des eaux à forts risques de salinisation et de sodification.
- L'absence d'exutoire naturel pour l'évacuation des excès d'eau de drainage et d'assainissement (**BADRAOUI et al, 2000**).

I.6. Paramètres de caractérisation des sols salés

Le diagnostique de la salinité des sols se base sur un ensemble de mesures physicochimiques (CE, pH et CEC) et chimiques (cations solubles, anions solubles et sodium échangeable). Ces paramètres nous permettrons d'apprécier le degré et la charge saline ainsi que le faciès chimique des sels et le taux de sodium échangeable. La mesure de la conductivité électrique et du pH nous permettons d'estimé la salinité globale dans le sol (**HADDAD et ABBES, 2015**).

I.6.1. Conductivité électrique

La salinité du sol est généralement définie et mesurée sur des extraits aqueux de pâtes de sol dites saturées (**USSL, 1954**), ou l'extrait diluée avec un rapport eau /sol variable (ex :CE_{e1:5}) du sol (**MATHIEU et PEILTAIN, 2009**). Elle est exprimée en millimhos/cm, en siemens/m, ou en déci Siemens/m (**MATHIEU et LOZET, 2011**).

L'échelle agronomique mise au point par United State Salinity Laboratory (USSL) est graduée selon les valeurs de la CE, de 0 à 16 mmhos/cm. Un sol considéré salé lorsque la CE est supérieure à 4 millimhos /cm (4 dS/m) à 25°C (**USSL, 1954 ; CALVET, 2003**).

I.6.2. pH

La notion de pH du sol permet de façon commandée et précise de désigner la réaction du sol en condition saline (**SOLTNER, 1989 in HADDAD et ABBES**). La mesure du pH du sol s'effectue dans une suspension de l'échantillon de sol dans l'eau (pHeau) ou dans l'eau plus de chlorure de potassium (pHKCl) .

I.6.3. Composition ionique de la solution du sol

a Afin de connaître la concentration en anions solubles (Cl^- , SO_4^{2-} et HCO_3^-) et en cations solubles (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+), une analyse chimique est effectuée sur extrait de pâte saturée ou sur extrait aqueux dilué. Elle sert à classer le type de faciès salin selon le diagramme de PIPER ou autre classification. C'est ainsi qu'on peut utiliser le rapport $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$ pour classer les solutions du sol (SERVANT et SERVAT, 1966).

I.6.4. SAR

D'après MATHIEU (2009), Dans l'étude de mécanisme de sodisation, l'Ecole de Riverside aux Etats-Unis utilise depuis 1969 un paramètre précis pour définir la composition des solutions du sol ou des nappes salées ; il s'agit de SAR « Sodium Adsorption Ration » ou taux de sodium adsorbé :

$$\text{SAR} = \text{Na}^+ / ((1/2(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}))^{1/2})$$

* Les cations sont exprimés en mol.L^{-1} .

I.6.5. Taux de sodium échangeable

Il exprime le taux de saturation du complexe absorbant en sodium échangeable par rapport à tous autres cations échangeables. En effet, il exprime la sodicité édaphique. Or, le sodium échangeable peut détruire la structure à partir d'un seuil qui est souvent fixé à 15 % de la CEC (USSL, 1954).

De nombreuses recherches ont essayé d'établir une relation entre le SAR et ESP, celle de l'USSL (1954) s'écrit de la façon suivante :

$$\text{ESP} = (100 * (-0.0126 + 0.0147 * \text{SAR})) / 1 + (-0.0126 + 0.0147 * \text{SAR})$$

$$\text{Où } \text{SAR} = \text{Na}^+ / (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) / 2$$

I.7. Effets de la salinité sur les sols et sur les plantes

La salinité du sol peut affecter d'une manière négative sur le sol comme sur les plantes.

I.7.1. Effets de la salinité sur les sols

I.7.1.1. L'effet sur les propriétés physiques des sols

Lorsque le sodium est présent en quantité importante sur le complexe d'échange, le sol devient instable et acquière une capacité de gonflement. Ce dernier entraîne une diminution

de la porosité et la dispersion conduit au colmatage des pores par les particules colloïdales (**REGUIG et LARROUSSI, 2007**).

Un taux de sodium échangeable élevé a pour effet une dispersion des agrégats, ce qui conduit à une réduction de la perméabilité, de la porosité et un tassement des sols en plus la stabilité structurale disparaît complètement à un ESP égale à 15 % (**DIARRA, 1991**).

I.7.1.2. Effets sur les propriétés chimiques des sols

La salinité agit sur le complexe adsorbant par les cations échangeable (Na^+ et Mg^{++}) ce qui provoque le lessivage des bases, la destruction des ponts calciques et comme conséquence une forte vitesse d'infiltration des eaux. Le complexe adsorbant devient saturée en Na^+ et qui provoque la dispersion d'argiles (fraction fine) diminuant ainsi la porosité (aération) et emmagasinement de l'eau (**MADJID et TAIR, 2012**).

I.7.1.3. Effets sur les propriétés physico-chimiques des sols

La présence d'un taux élevé de sels peut entraîner une augmentation de la CE qui dépasse 4 dS/m. La salinité peut augmenter le pH dans le cas du sol sodique qui dépasse 8,5 (**MATHIEU et al., 2007, in KEMASSI, 2015**). Selon **DIARRA (1991)**, une élévation du pH peut créer des problèmes de fertilité par :

- Le blocage du phosphore sous des formes non ou peu assimilables.
- L'évolution de l'azote tout à fait particulière (volatilisation).
- Les carences induites de certains éléments minéraux (Zn, Mn, Fe, Cu).
- La dispersion de la matière organique.

I.7.1.4. Effets sur les Plantes

L'effet osmotique est le résultat de la réduction du potentiel hydrique du sol suite à une augmentation du potentiel osmotique dans la zone racinaire (**SHANNON, 1992 ; LEVIGNERON et al., 1995 ; FLOWERS et FLOWERS, 2005**). Une forme de sécheresse physiologique survient lorsque l'ajustement osmotique n'est pas suffisant, ce qui rend de plus en plus difficile l'acquisition d'eau et de nutriments par les plantes et le maintien de la turgescence (**HOPKINS, 2003**). **PARIDA et DAS (2005) ; NABI (2009)**, notent que l'altération de l'état hydrique conduit à la réduction de la croissance et la limitation de la productivité des plantes.

SLAMA (2004) note que l'effet de NaCl sur la photosynthèse s'exerce par une baisse de la teneur en chlorophylle, une diminution de la surface foliaire, du nombre de feuilles, des dimensions des stomates, de la conductance stomacale et par l'augmentation de la résistance stomatique. Les teneurs en protéines solubles des feuilles se trouvent également réduites (**PARIDA et al., 2002**).



Photo 1: Accumulations salines à la surface des sols de la palmeraie de Mékhadma (**DADDI BOUHOUN et al.,2012**).

II. HYDROMORPHIE

II.1.Définition

L'hydromorphie, appelée aussi hydromorphisme, est la qualité d'un sol qui montre des marques physiques de saturation régulière en eau, généralement durant l'hiver. L'hydromorphie occasionne l'asphyxie de la microfaune et de la microflore.

II.2.Etats de l'eau dans le sol

Normalement, un sol sain contiendrait après une pluie ou une irrigation :

- Une eau hygroscopique qui est une eau absorbée aux dépens de l'humidité atmosphérique. Elle constitue une très mince pellicule autour des éléments minéraux et/ou organiques et elle est non absorbable par les racines des plantes.
- Une eau capillaire qui est l'eau retenue par le sol ressuyé ; elle remplit les pores fins. Elle constitue la source essentielle de l'alimentation en eau des plantes en saison sèche. C'est une eau absorbable.
- Une eau de gravité qui est l'eau qui remplit momentanément après une pluie ou une irrigation, les pores les plus grossiers du sol. Elle obéit à la pesanteur et s'écoule d'autant plus vite que le volume des pores grossiers est plus élevé.

Selon **HASSINE et al. (2002)**, l'eau de gravité est constituée de deux parties :

- Une partie remplissant les gros pores s'écoule très rapidement, comme c'est le cas dans les sols sableux ;
- Une partie remplissant les pores fins s'écoule lentement et peut saturer momentanément les sols comme dans le cas des sols argileux.

Il arrive que le drainage normal du sol n'ait pas eu lieu et l'eau de gravité ne peut plus s'infiltrer, tous les pores du sol sont alors remplis d'eau : c'est l'état de saturation qui peut se produire dans différents cas :

- Soit par la présence d'un horizon pédologique imperméable qui empêche le drainage interne. Dans ce cas, quand l'horizon de surface reçoit une dose supérieure à sa capacité de rétentions en l'absence de drainage vertical l'hydromorphie se manifestera et ce par le remplissage des gros pores :

- Soit par l'existence d'une nappe d'eau alimentée souterrainement ; on se trouve alors en présence d'une nappe phréatique permanente qui empêche l'évacuation interne des excès d'eau d'irrigation ou de pluie. En fonction du niveau de la nappe on évalue la gravité de l'hydromorphie. Plus la nappe est superficielle, plus la vulnérabilité du sol à l'hydromorphie est grande. Les horizons profonds du sol qui sont gorgés d'eau ne participent plus à l'alimentation des plantes et en plus ils affectent l'enracinement profond. Les horizons subissent une hydromorphie totale et permanente (**AYERS, 1976**).
- Soit par suite d'un drainage de l'eau de gravité trop lent. C'est le cas des sols lourds à forte proportion d'argile assez compact et souffrant d'une dégradation structurale du sol. Dans ce cas le drainage interne est insuffisant pour assurer l'évacuation des eaux excédentaires à la suite d'une pluie ou d'une irrigation en période humide. Ainsi, une nappe d'eau perchée temporaire se crée. La gravité de l'hydromorphie est fonction de la durée que nécessite l'écoulement de cette nappe perchée. On a affaire à une hydromorphie partielle et temporaire (**GHAZOUANI, 2009**).

Les horizons du sol hydromorphe présentent un faciès particulier qui est connu sous le nom de Gley (terme savant emprunté au russe). Il affecte la portion du sol altérée par l'eau qui persiste à son intérieur. Le fer du sol a été réduit à l'état ferreux d'où des couleurs caractéristiques bleutées dans toute la partie affectée ou seulement par taches ou par traînées parmi d'autres tons bruns, jaunes ou rouges. Le Gley traduit des conditions asphyxiantes permanentes.

Le pseudogley se manifeste dans les horizons du sol subissant des alternatives de saturation par une eau stagnante et de dessiccation : d'où résultent des décolorations. Les couleurs bleutées du Gley se transforment en couleurs rougeâtres par le phénomène d'oxydation. Le pseudo-gley traduit des conditions asphyxiantes temporaires (**AUBERT et OLLATC, 1969**).

II.3. Types d'hydromorphie

L'excès d'eau provenant de l'irrigation ou de la remontée de la nappe est à l'origine de la saturation des sols par remplissage de tous les pores. On distingue deux types d'hydromorphie :

II.3.1. Hydromorphie totale

Elle se produit quand les pores demeurent constamment remplis d'eau lors de la remontée de la nappe. Quand la nappe remonte jusqu'en surface. Celle-ci concerne certaines Oasis à drainage artificiel mal entretenu et peu fonctionnel (**BOUTEYRE et LOYER, 1992**).

II.3.2. Hydromorphie partielle de profondeur

Elle se produit quand la nappe se stabilise à une certaine profondeur du sol. C'est le cas de la plupart des Oasis. Selon **HACHICHA et al. (2012)**, l'hydromorphie partielle ou totale peut être permanente ou temporaire.

- **Hydromorphie permanente** : Le sol devient asphyxiant par l'absence d'air ou plus précisément d'oxygène (Photos 1), elle concerne certains horizons ou tout le sol qui se trouve constamment moyé.
- **Hydromorphie temporaire** : l'eau sature le sol ou une partie du sol durant une période limitée de l'année. L'hydromorphie peut être même fugace pour les sols à perméabilité faible où le ressuyage est assez lent ce qui entraîne pendant quelques jours les pores saturés.



Photo 2: Cas d'un asphyxie et dépérissement d'une palmeraie à Ouargla (**IDDER, 2007**)

II.4. Causes et origine de l' hydromorphie

D'après **ABDELJAOUAD et al.(2003)**, les causes et les origines du phénomène d'hydromorphie sont multiples, dont les plus importantes sont les suivantes :

- Présence d'une nappe superficielle proche de la surface du sol ;
- Texture fine du sol qui donne un drainage interne naturel défectueux ;
- Système de drainage non fonctionnel, suite au colmatage des drains, correspondant à un drainage interne artificiel défectueux ;
- Système d'évacuation des eaux de drainage lent et peu efficace, suite au manque d'entretien des fossés collecteurs, correspondant à un drainage externe défectueux.

Dans les oasis l'hydromorphie est due essentiellement à un drainage défectueux aussi bien interne qu'externe. Le drainage externe défectueux est presque général car la plupart des oasis occupent des plaines alluviales et parfois même des dépressions. Le manque d'entretien des fossés collecteurs d'assainissement, entraîne leur colmatage et par conséquent la défaillance de l'évacuation des eaux de drainage, ce qui se répercute négativement sur le fonctionnement du système de drainage.

II.5. Ampleur et impact de l'hydromorphie

L'hydromorphie affecte plusieurs Oasis, elle est due principalement due aux drains et collecteurs mal entretenus qui sont généralement envahis par la végétation notamment le roseau (*Phragmites australis*) qui freine énormément l'évacuation des eaux. Ce manque d'entretien est dû à l'abandon de certaines parcelles.

Le sol ou l'horizon gorgé d'eau acquit des propriétés physiques, physico-chimiques et biologiques particulières :

- Le sol devient asphyxiant manquant d'aération. Tous les macro-pores et micropores sont remplis d'eau. Quand la solution du sol possède une certaine turbidité elle colmate les pores, ce qui détériore définitivement la structure et limite l'aération même après ressuage.
- Le sol devient compact difficilement exploitable par les racines. Celles-ci en présence d'eau pourrissent et cessent de respirer.

- Le milieu réducteur des horizons hydromorphes empêche toute activité racinaire et biologique.
- Les racines ne se développent plus, l'assimilation chlorophyllienne à son tour s'arrête. La racine pourrit et se décompose difficilement.
- L'humification de la matière organique provenant des racines et des cadavres des micro-organiques est stoppée.
- L'activité biologique du sol est très ralentie. Toute la microfaune aérobie est décimée. Il se développe une microfaune anaérobie qui est très limitée et n'assure pas au sol une alimentation suffisante en éléments minéraux.

Toutes ces transformations d'origine physique, physicochimiques et biologiques provoquées par les milieux réducteurs affectent sérieusement la production des plantes. Les chutes de rendement dues à l'hydromorphie vont de 30 à 60% (**GRATTAN et al., 2003**).

D'autre part, l'hydromorphie est à l'origine de la sous-exploitation du périmètre, ce qui se traduit par un manque à gagner au niveau des superficies non cultivées. En effet, à cause de l'hydromorphie, le sol devient difficilement praticable et on enregistre des retards des opérations agricoles provoqués par l'inaccessibilité des parcelles gorgées d'eau.

CHAPITRE (II). CONSERVATION DES SOLS HYDRO-HALOMORPHES ET AMENDEMENT SABLEUX

I. TRAVAUX DE CONSERVATION DES SOLS

L'amélioration des méthodes de gestion des ressources naturelles exige la protection de la base biophysique de l'agriculture, du sol et de l'eau, autant d'aspects qui sont cruciaux pour répondre aux menaces de la désertification (**BILARO, 2007 in OMIERI 2015**). Le terme conserver le sol est un terme très général qui englobe aussi bien la protection du sol lui-même en contrôlant son érosion que le maintien, voire l'accroissement de sa fertilité.

Selon **OMIERI, (2015)**, la conservation du sol vise à :

- Obtenir une couverture végétale adaptée au milieu qui protège le sol contre le ruissellement des eaux et d'action nocive des vents ;
- Traiter le sol en améliorant sa structure pour le rendre plus résistant à l'érosion, plus perméable aux eaux de surface, et plus favorable au développement des plantes ;
- Compenser les pertes des sols en éléments fertilisants ;
- Diminuer le ruissellement des eaux de la vitesse des vents par des procédés appropriés
- Orienter les eaux de ruissellement vers des exutoires à ménagées.

Les procédés de conservation du sol sont assez nombreux, et un choix doit être fait suivant le cas étudié. Il n'y a point de méthode valable pour tous les cas et pour tous les sols. Le conservateur du sol doit adapter la méthode de conservation aux cas qui se présentent à lui. Chaque cas doit être examiné et étudié séparément pour déterminer la tactique à appliquer.

La conservation des terres cultivées demande la mise en œuvre d'un ensemble de procédés complémentaires : biologiques, culturaux, mécaniques, qui doivent être associés pour que la protection du sol soit efficace et durable.

Les conditions de mise en œuvre des techniques d'irrigation les plus progressives permettant d'utiliser d'une façon rationnelle et effective les ressources hydriques et édaphiques afin de le conserver, doivent être considérées, car un des plus grands problèmes de l'intensification agricole en Algérie, particulièrement en zones sahariennes a été assigné à l'irrigation des terres (**MESSAHEL, 1988**).

La restauration de la salinité des sols, le drainage, le lessivage, l'érosion, les apports d'éléments divers, ... seront à prendre en considération dans l'optique de la conservation des sols.

I.1. Méthodes de réhabilitation des sols halomorphes et hydromorphes

La gestion des sols affectés par la salinisation et de l'hydromorphie en milieu oasien requière une combinaison de plusieurs méthodes qui peuvent être classées suivant la nature du facteur de dégradation du sol :

I.1.1. Méthodes de réhabilitation des sols halomorphes

Pour entreprendre avec toutes les chances de succès l'amélioration des terrains salés, les connaissances nécessaires et suffisantes concernent l'origine de la salure, le mécanisme de son dynamisme, la nature des composés chimiques qui la constituent. En effet, seules les méthodes d'amélioration qui s'attaquent aux causes des phénomènes sont capables d'être efficaces d'une façon durable (OMEIRI, 1994).

L'utilisation et la récupération des sols salés constituent un travail d'autant plus long et difficile que ces terrains sont situés en zones arides (NAHAL, 1975). Indépendamment du facteur économique qui doit nécessairement être pris en compte, la mise en valeur des sols salés va dépendre des processus physico-chimiques qui les affectent.

Le choix de méthodes culturales, visant la restauration de sols salinisés, dépend de la gravité de la salinisation, de son étendue et des caractéristiques locales. Il faut généralement privilégier une approche biologique, en faisant appel à des régimes particuliers d'assolement et de travail du sol (MUSY in LISAN, 2012).

La restauration de la salinité des sols implique un certain nombre de contrôles liés au :

- **Contrôle de la salinité**

Le maintien d'un équilibre favorable des sels dans le sol nécessite des méthodes d'irrigation appropriées et efficaces. L'irrigation doit fournir l'eau pour la croissance des cultures et en même temps fournir assez d'eau pour lessiver les sels en excès par passage dans le sol. Des lessivages excessifs cependant, peuvent être nuisibles en ce que les éléments nutritifs des plantes, spécialement les nitrates, peuvent être retirés du sol. Un abus d'eau ajoute aussi un problème de drainage.

Les applications d'eau doivent être suffisantes pour maintenir un équilibre favorable des sels dans le sol, mais sans lessiver à l'excès les éléments nutritifs des plantes et sans ajouter des problèmes de drainage.

Sur des sols à texture légère ayant une vitesse d'infiltration élevée et un drainage naturel excellent, des fractions élevées de lessivage de 0.40 sont possibles. Des eaux d'une forte salure, même avec une conductivité électrique de 6 dS/m, peuvent donc être utilisées sur ces sols sous des conditions désertiques pour des cultures tolérantes aux sels (**VAN HOORN et VAN ALPHEN, 1998**).

Plusieurs méthodes sont proposées pour lessiver les sols notamment ceux affectés par la salinité :

- La submersion en maintenant l'eau sur le terrain pendant une longue période est la méthode traditionnelle qui est encore pratiquée habituellement.
- Plus récemment, d'autres méthodes sont mises en application il s'agit de la méthode de lessivage temporaire ou le lessivage par aspersion : en lessivant temporairement, l'eau n'est pas apportée d'une façon continue, mais après des intervalles d'une ou de deux semaines, au cours desquelles, le sol peut se sécher. Spécialement pour les sols argileux cette méthode donne l'avantage que durant ces intervalles de temps des fissures se forment et le sel se déplace en mouvement capillaire de l'intérieur des agrégats vers les fissures, de sorte que le sel se lessive avec le prochain apport d'eau. Les données expérimentales montrent en général une économie d'eau pour l'apport temporaire ou celui par aspersion.

Les conditions de terrain décident de la méthode de lessivage : si beaucoup d'eau est disponible et d'une façon continue, la technique de submersion peut s'appliquer ; si par contre il y a peu d'eau ou l'eau est chère ou si, après la mise en valeur, les cultures seront irriguées par aspersion, la technique par aspersion peut être choisie pour le lessivage.

▪ **Contrôle de la sodicité**

Si d'une part la concentration en sels totaux est faible, mais d'autre part, l'eau d'irrigation contient du bicarbonate de sodium, le besoin de lessivage ne dépend pas du niveau de salinité du sol mais du niveau de sodicité. Le niveau de sodicité exprimé par le SAR de la solution du sol, peut s'estimer en concentrant l'eau d'irrigation tout en tenant compte de

la précipitation du carbonate de calcium. Si le calcium et le magnésium sont déterminés conjointement, la concentration totale du Ca et Mg peut être utilisée approximativement dans l'abaque au lieu de celle du calcium seul.

La valeur admissible du SAR de la solution du sol dépend de la salinité du sol, de la texture et des minéraux d'argile. En plus il faut tenir compte des moyens des agriculteurs quant à l'exécution des façons culturales pour pallier la structure défavorable. Provisoirement on peut prendre une valeur entre 15 et 25 pour le SAR de la solution à la capacité au champ, mais ceci doit être vérifié pour les conditions locales (**VAN HOORN et VAN ALPHEN, 1998**).

Les amendements agrochimiques sont réservés aux sols alcalins (Solonetz) ayant leur complexe saturé de plus de 15% en sodium (**YAGGODINE, 1984**). Les sols salins à alcalins (Solontchaks – Solonetz) ayant un taux de sodium de plus de 15% et leur solution contient plus de 0,25% de sels nécessitent les mêmes amendements que les sols alcalins car ils peuvent évoluer en sols alcalins.

Les différents types d'amendements chimiques sont groupés en trois catégories :

- Les sels solubles de calcium : $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, CaCl_2 , et les phospho-gypses.
- Les sels peu solubles de calcium : CaCO_3 .
- Les acides ou éléments fortement acides : H_2SO_4 , sulfates d'Al ou de fer, les sulfates de chaux et la pyrite.

Le gypse est utilisé le plus fréquemment pour la mise en valeur des sols salés sodiques et sols sodiques (cf. Tableau n°40/ annexe V) On le trouve à beaucoup d'endroits dans le monde et c'est un produit de déchets de quelques industries.

Par ailleurs, **OUSTANI et al. (2015)** et **DIOP et al. (2019)** ont rapporté l'efficacité des amendements organiques pour réduire le risque de la salinité. En fait, les apports organiques sont en mesure de résoudre les problèmes physiologiques des plantes liés aux stress osmotique et ionique engendrés de l'excès des sels. Ils contribuent également à améliorer les propriétés du sol salés en mobilisent le sodium du sodium.

La sélection des cultures et des variétés des plantes adaptées à la salinité peut être utilisée également pour résoudre le problème de la salinité, cette technique dépend de l'état de contamination du sol par la salinité/sodicité et de la qualité de l'eau d'irrigation (**HILLEL, 2000**).

I.1.2. Méthodes de réhabilitation des sols Hydromorphes

Étant donné que les énormes quantités d'eaux excédentaires agricoles trouvent essentiellement leur origine dans la mauvaise gestion des eaux d'irrigation, la maîtrise du problème de ces excédents doit donc nécessairement commencer par une réorganisation générale des conditions d'arrosage. Il faudrait en effet raisonner l'utilisation de l'eau à usage agricole en l'adaptant aux besoins réels des plantes cultivées.

DUBOST(1983) montre que la rationalisation des pratiques d'arrosage va permettre de diminuer le volume d'eau de drainage à la source et d'économiser les eaux pour combler notamment les déficits d'irrigation observés pendant la période estivale. Cette mesure nécessaire, n'est cependant pas suffisante pour assurer durablement l'assainissement de la cuvette, puisqu'il subsistera, malgré tout, des quantités d'eau excédentaires qu'il va falloir évacuer (eaux de lessivage, pertes pendant la distribution, drainage de la nappe phréatique, etc.).

D'après **OMEIRI (2015)**, le drainage et contrôle du niveau de la nappe phréatique reste un aménagement traditionnel et efficace pour lutter contre l'excès d'eau et ses conséquences agro –écologiques et économiques. En sols hydromorphes, le drainage, généralement, par abaissement du niveau de la nappe phréatique permet d'atteindre un double objectif : combattre l'asphyxie racinaire des cultures et améliorer la portance des sols (**OMEIRI, 2015**).

En milieux salés, le drainage constitue aussi une technique de lutte efficace contre l'excès de sels. Il est largement utilisé contre la salinisation secondaire dégradant les sols suite à des irrigations mal conduites. Il est indispensable pour la mise en valeur des terres salées grâce à sa fonction d'élimination des lessivas salés hors des couches supérieures du sol.

Globalement, il faut éviter des fractions de lessivage trop élevée sur la plupart des sols afin d'éviter des dégâts dus à l'excès d'eau. Donc le débit du drainage souterrain dans les zones irriguées doit être basé sur les pertes par percolation attendues et non sur le besoin de lessivage. L'eau de drainage avec un degré de salinité pas trop élevé peut être recyclée, récupérée pour irriguer sans risques des cultures ayant une bonne tolérance à la salinité.

Enfin, il est important de souligner que le drainage ne doit pas être considéré comme un aménagement réalisé de façon définitive, c'est une opération qui doit être suivie d'entretien pour obtenir un effet sur les rendements, car il est à remarquer que l'assimilation

des éléments fertilisants est difficile en conditions d'anaérobie créées par un taux élevé d'humidité des sols en absence d'un drainage performant.

II. AMENDEMENT SABLEUX

II.1.Généralités

Dans les régions oasiennes, l'apport de l'amendement sableux aux sols est une pratique agricole très ancienne, longtemps pratiquée par les exploitants pour lutter contre; la baisse de fertilité des sols, la mauvaise performance du drainage et la remontée de la nappe, la prolifération des mauvaises herbes et des maladies, la découverte des racines des palmiers et également la mise en valeur des sols salins hydromorphes des bas fonds. Ce type d'amendement est jugé de nos jours par certains exploitants comme vital, certains le considèrent comme nécessaire, d'autres le considèrent comme complémentaire alors que d'autres le considèrent comme superflu.

D'après **ONA in OMEIRI (2016)**, l'amendement sableux est utilisé pour résoudre partiellement le problème de l'hydro-halomorphie, certains agriculteurs réalisent des apports massifs de sable sur 20 à 30 cm d'épaisseur afin de redonner de l'oxygène aux palmiers en s'élevant au dessus de la nappe.

II.2.Objectifs de l'amendement sableux

Les agriculteurs procèdent donc à ces apports de sable des dunes dans leurs palmeraies pour :

- Masquer le problème d'engorgement d'eau et pour diminuer l'effet des sels et leur concentration ;
- Obtenir des sols fertiles ;
- Couvrir la partie racinaire superficielle dénudée par les eaux d'irrigation et par les vents (érosion éolienne) ;
- Par ces apports de sable, les agriculteurs envisagent de créer pour les plantes un nouveau support indemne de contraintes d'halomorphie et d'hydromorphie.

II.3.Caractéristiques physico-chimiques et minéralogiques du sable

Le sable est un matériau granulaire constitué de petites particules issues de la désagrégation de matériaux d'origine minérale (principalement des roches) ou organique (coquillages, squelettes coralliens...) dont la taille est comprise entre 0,063 (limon) et 2 mm

(gravier). Elle peut révéler jusqu'à 180 minéraux de composition différente (quartz, micas et feldspaths), ainsi que des débris calcaires.

Les grains de sable sont suffisamment légers pour être emportés par le vent. Avec le temps, ils s'accumulent et forment les dunes. La tempête de sable est un vent violent qui charge les grains de sable. Les grains les plus lourds se déposent d'abord dans les milieux à haute énergie (rivière, haut d'une plage), les plus fins dans les milieux à basse énergie (delta, lac, bassin, ruisseau).

Les propriétés physico-chimiques du sable diffèrent selon les roches mères, les facteurs d'altération physiques ou chimiques et le transport résultant du vent ou de l'eau.

Du point de vue minéralogique, les grains de sable se composent généralement de quartz, mais peuvent également être des fragments de feldspath, mica et occasionnellement, de minéraux lourds tels que le zircon, la tourmaline et la hornblende, cependant le dernier est plutôt rare (**HILLEL, 1998**).

Du point de vue pédologique, le sable est généralement le groupe de particules le plus identifié comme matériel de sol. Il correspond aux particules du sol dont le diamètre varie de 2000 μm (2 mm) à 50 μm (Classification USDA) ou à 20 μm (Classification ISSS). La fraction de sable est souvent subdivisée en sous fractions telles que le sable grossier, moyen, fin et très fin (**LAL et SHUKLA, 2004**).

L'expression commune « sol léger » est utilisée pour décrire le comportement physique de ce type de sol, parce qu'il tend à être lâche, bien drainé, bien-aéré, et facile à cultiver (**VINAS ET JOUKOV, 1974 ; AL-DARBY, 1996 ; HARTMANN et al., 1999**).

Les sols sableux, du fait de leur squelette rigide et de leur texture grossière se caractérisent par une structure très aérée à l'état naturel, ils sont filtrants, pauvres en matière organique et présentent une faible rétention en eau et en éléments fertilisants (**RUELLE et al., 2003; ZHONG et al., 2004**).

Selon **BRUAND et al. (2005)**, les sols sableux contenant moins de 18% d'argile et plus de 65% de sable, sont souvent considérés comme des milieux inertes qui se caractérisent par une forte porosité, une bonne perméabilité. Ils sont les plus sensibles à la battance des pluies, cependant leur dégradation est plus variable en fonction de la structure, de la matière organique, de leur état de surface et du drainage (**ROOSE et SARRAILH, 1990**).

II.4.Effets de l'amendement sableux sur propriétés physico-chimiques du sol

Les amendements sableux sont destinés à modifier la texture et la structure des sols tout en augmentant leur perméabilité. Ils permettent d'abaisser la concentration en sels dans le sol et de refouler la nappe superficielle par rapport au niveau du terrain naturel. Toutefois, si les sables sont calcaires, on aura plus une action sur le pH.

D'après **MARLET et al., (2009)**, l'amendement sableux permet de réduire la compacité favorisant les semis ; création d'un mulch limitant l'évaporation, les remontées capillaires et la salinité ; facilitation du façonnage des bassins d'irrigation ; réduction de la contrainte d'engorgement.

II.5.Effets de l'amendement sableux sur les plantes

A cause de l'hydromorphie, la salinité et la dégradation des terres agricoles, les agriculteurs, recourt tout d'abord à la protection des troncs de l'arbre de palmier dattier et conserver sa vigueur. L'utilisation intensive des terres pour la production de l'étage herbacée conduit à la dégradation des terres et diminution de la fertilité des sols.

Par ailleurs, avec la mise en culture, les racines des arbres dédeviennent non protégés et se détachent à cause des labours et de l'intensification du travail de sol. Comme alternative pour ce problème, l'agriculteur apporte le sable dunaire "Safi" des dunes le plus proche pour protéger les racines de palmier dattier en créant un nouveau substrat pour le palmier. Cette approche est traditionnelle depuis l'antiquité et ça dépend des moyens financiers des agriculteurs.

Partie (02)

**Matériel
Et
Méthodes**

II. CLIMAT

La connaissance des caractéristiques climatiques est fondamentale, pour permettre une meilleure évaluation des besoins en eau des plantes et une détermination des facteurs qui ont un effet néfaste sur leur développement (**Le Houerou et Hoste, 1977**).

La caractérisation climatique a découlée des données enregistrées dans la station climatique régionale de Touggourt. Les principaux paramètres climatiques caractérisant la région d'Oued Righ sont présentés successivement.

II.1. Température

la température moyenne minimale du mois le plus froid "**m**" est de **4,7 °C** en janvier. La température moyenne maximale du mois le plus chaud "**M**" est de **40,9 °C** en juillet. La température moyenne annuelle qui s'obtient par la moyenne des extrêmes thermiques "**t**" ($t = (M+m) / 2$) (°C), elle est égale à **22,8 °C**. L'amplitude thermique "**A**" (**M-m**), elle est de l'ordre de **36,2 °C**.

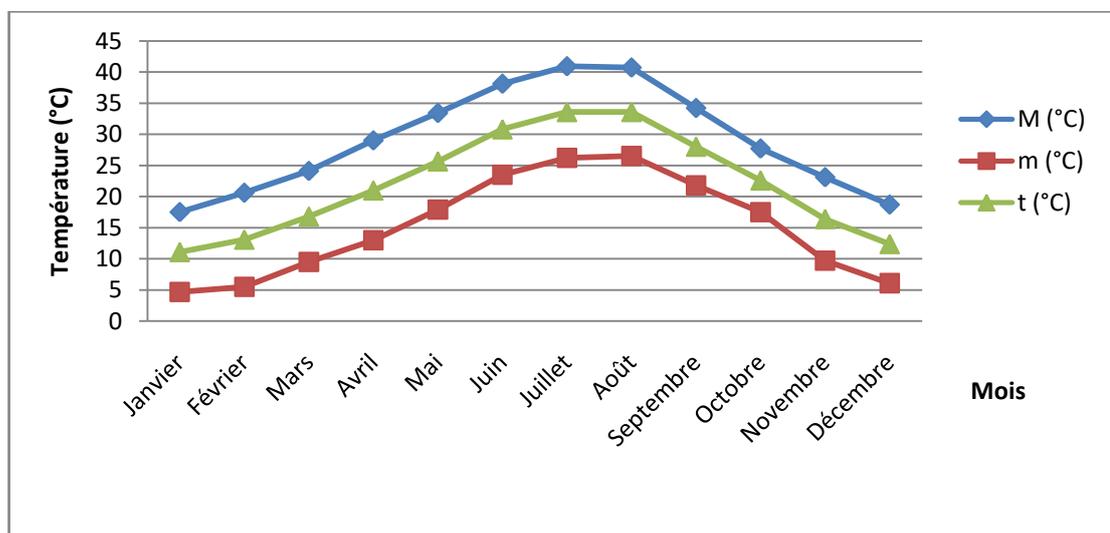


Figure 4: Variations mensuelles des températures dans la région d'Oued Righ (1983-2017)

L'analyse des variations mensuelles permet de remarquer que les températures maximales moyennes caractérisent les mois Juin-Juillet-Août, avec un maximum en Juillet qui atteint **40,9°C**. Mais la plus faible valeur thermique est en janvier avec **17,5 °C**. La moyenne annuelle est égale à **29,0 °C**.

II.2. Précipitations (en mm)

Elles se caractérisent par une variation mensuelle bien apparente sur la figure (4). Elles sont maximales au mois de Janvier avec **16,9 mm** et minimales au mois de Juillet avec **0.0 mm**. Le cumul annuel est de **72,2 mm**.

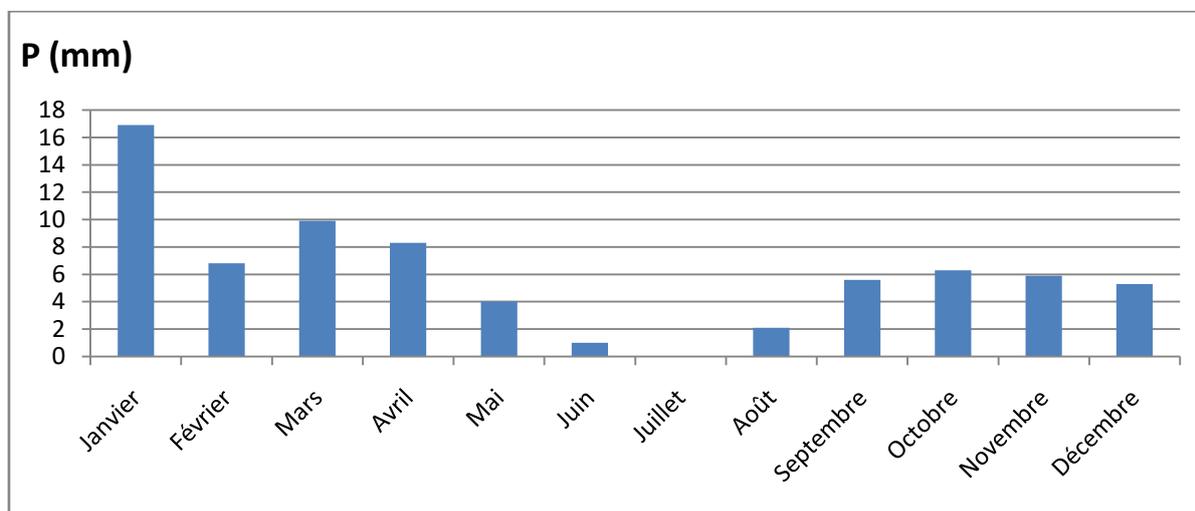


Figure 5: Variations mensuelles des précipitations dans la région d'Oued Righ (1983-2017)

II.3. Humidité relative (en%)

L'humidité relative dans la zone du Moyen Oued Righ est variable mensuellement. Elle est élevée pendant l'hiver dès le mois de janvier avec **60,06 %** jusqu'au printemps dans le mois du mars avec **48,14 %** et la deuxième période est durant le mois d'octobre avec **51,49 %** jusqu'au mois du décembre avec un maximum de **65,12 %**. Mais elle est minimale avec **31,98 %** au mois de juillet. La moyenne annuelle est égale à **47,38 %**.

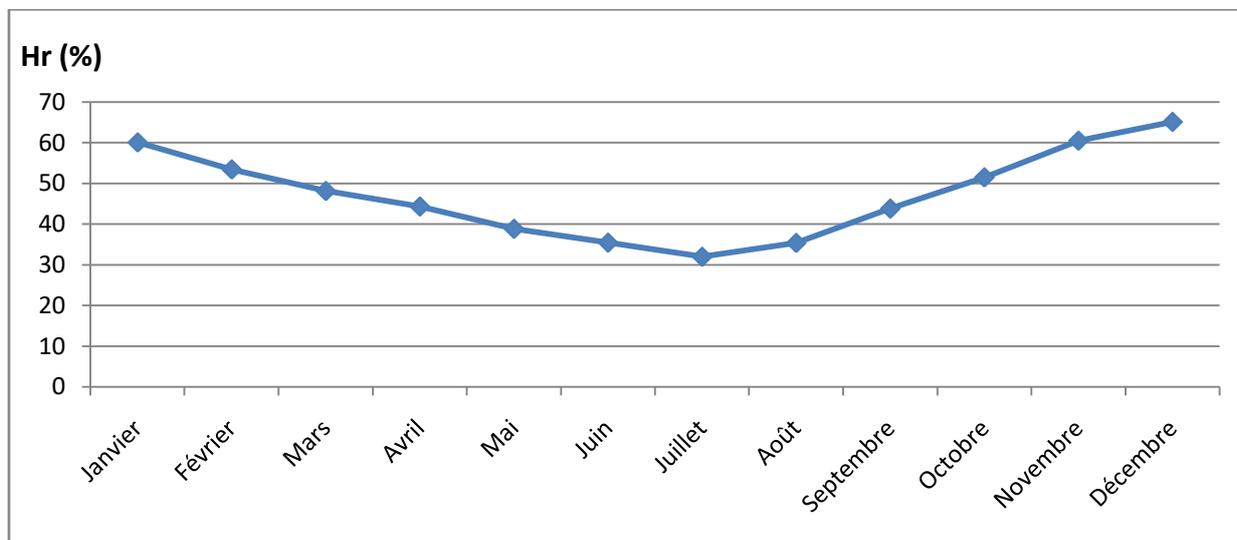


Figure 6: Variations mensuelles de l'humidité relative dans la région d'Oued Righ. (1983-2017).

II.4. Vitesse du vent (en m/s)

La vitesse du vent dans la région d'Oued Righ (1983-2017) est maximale avec **5,8 m/s** durant le mois d'avril et minimale avec **3,2 m/s** pendant le mois de décembre. La moyenne annuelle de la vitesse du vent est de **4,2 m/s**.

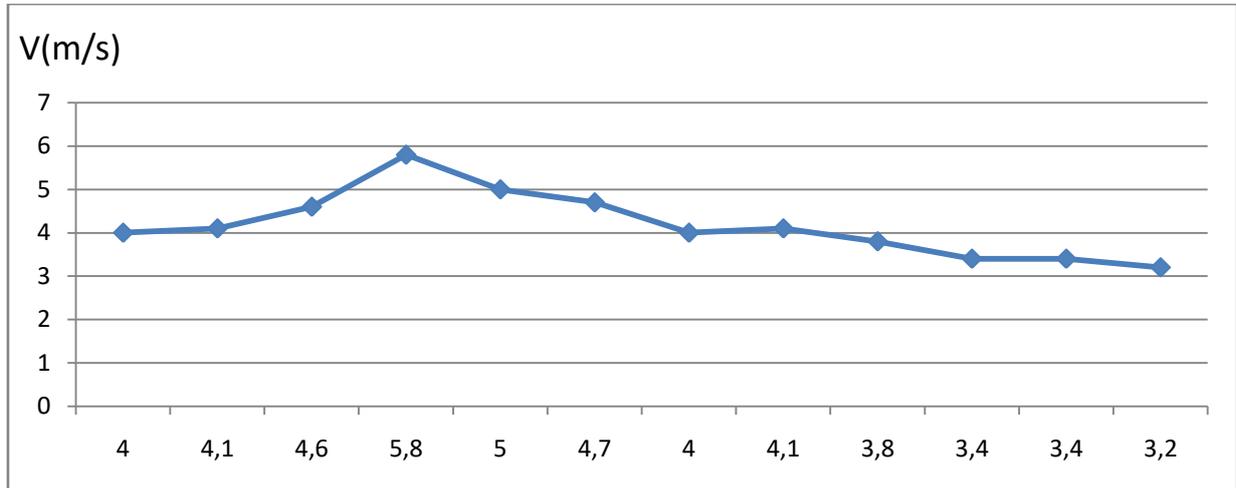


Figure 7: Variations mensuelles de la vitesse du vent dans la région d' Oued Righ(1983-2017)

II.5. Insolation(en heures)

L'Insolation dans la zone d'étude est maximale soit **313,00 h** au mois d'août et minimale avec **208,4 h** au mois de janvier. Le cumul annuel est de **3087, 6 h/ an**.

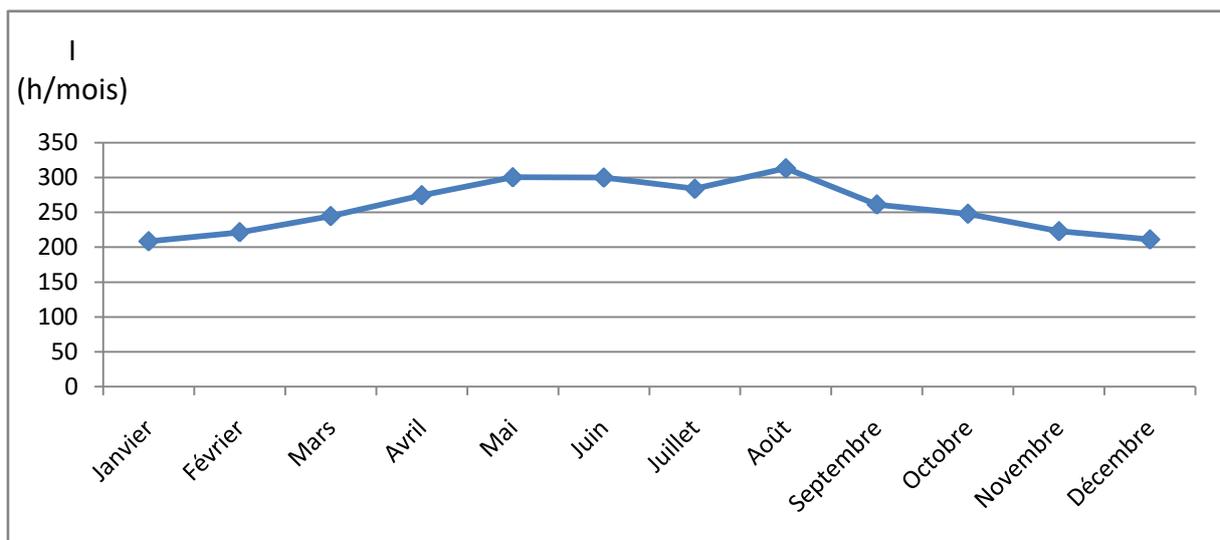


Figure 8: Variations mensuelles d'insolation dans la région d'Oued Righ (1983-2017).

II.6.Évaporation (en mm)

L'évaporation dans la zone étudiée est maximale avec **319,3 mm** au mois de juillet et minimale avec **67,6 mm** au mois du décembre. Le cumul annuel est égal à **2224,7 mm**.

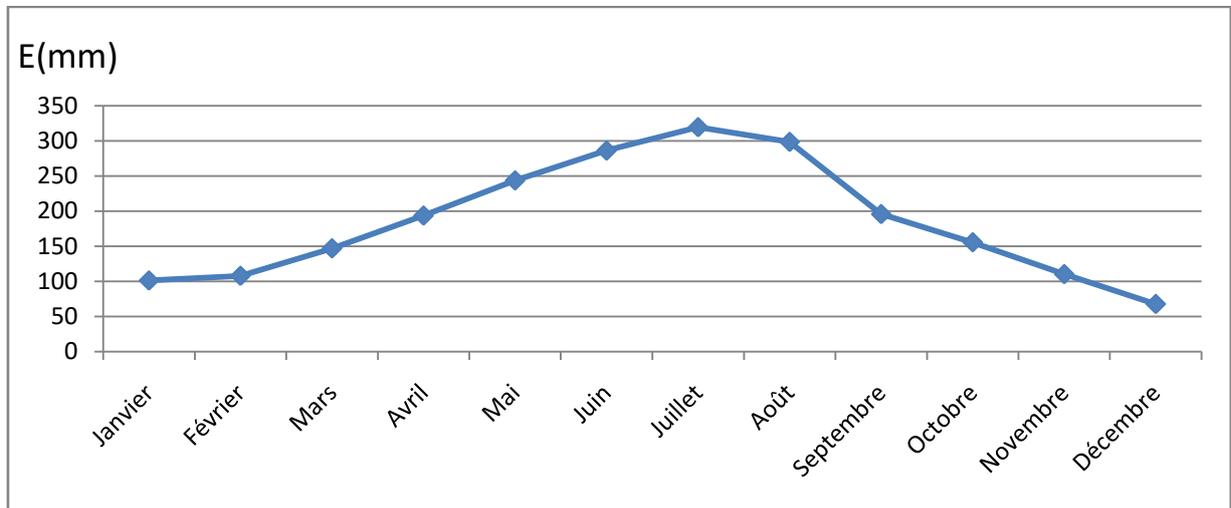


Figure 9: Variations mensuelles de l'évaporation dans la région d'Oued Righ (1983-2017).

II.7.Type de climat de la zone d'étude

L'étude du climat qui porte sur une période allant de 1983 à 2017 montre que les précipitations sont concentrées en hiver avec une moyenne annuelle de 72,2 mm et des températures élevées en été (avec $M=40,9\text{ }^{\circ}\text{C}$). Donc, il se caractérise par un hiver pluvieux et relativement froid avec un été sec et chaud. Ces caractéristiques permettent de déduire qu'il s'agit bien d'un climat méditerranéen.

III.BIOCLIMAT

III.1. Diagrammes Ombrothermique de Bagnouls et Gausson

L'étude du diagramme ombrothermique, montre clairement que la zone d'Oued Righ possède une période sèche annuelle. C'est-à-dire elle s'étale sur les douze mois de l'année.

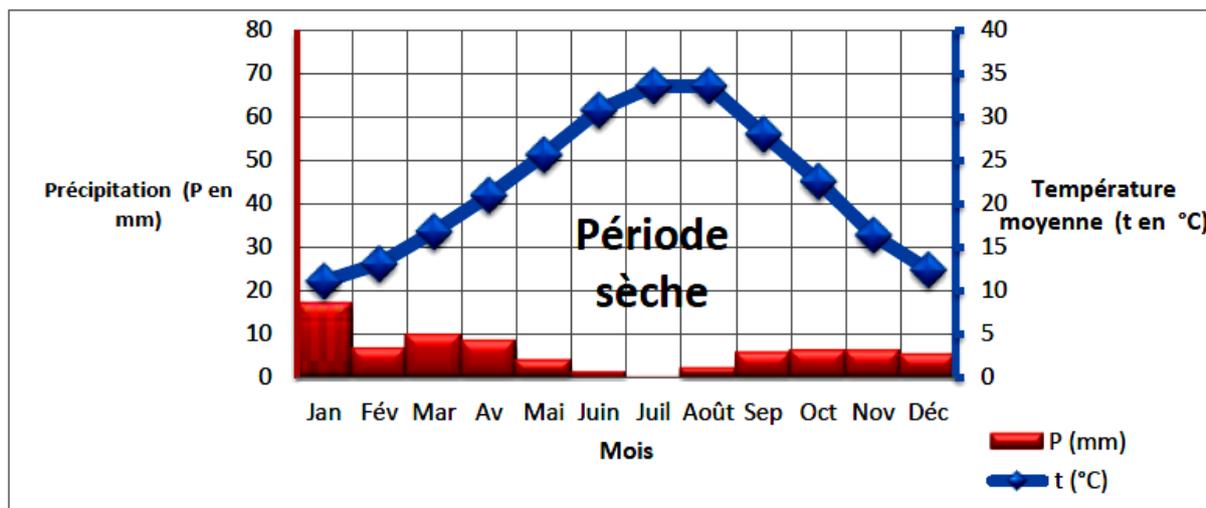


Figure 10:Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson relatif à la région d'Oued Righ (1983-2017)

III.2. Quotient pluvio-thermique et Climagramme d'Emberger

III.2.1. Quotient pluviométrique "Q₂"

Dans le tableau, nous avons représenté la valeur du quotient pluviométrique d'Emberger de la région Oued Righ en se focalisant sur la méthode classique.

Tableau 1:Valeur du Quotient pluviométrique dans la région d'Oued Righ

Paramètres Région	P(mm)	M(°C)	m(°C)	Q ₂
Oued Righ (Touggourt)	72,2	40,9	4,7	6,78

Le tableau ci-dessus montre que le quotient pluviométrique d'Emberger "Q₂" de la zone d'étude est égal à 6,78. Cette valeur est inférieure à 10 ainsi que les précipitations sont inférieures à 100 mm (P<100) donc la zone d'étude appartient à l'étage bioclimatique Saharien.

III.2.2. Climagramme d'Emberger

En fonction des valeurs de « Q_2 » et « m » (Tableau 1), nous avons situé la zone d'étude sur le Climagramme d'Emberger. Ainsi, il apparaît que la région d'Oued Righ appartient à l'étage bioclimatique saharien à hiver doux.

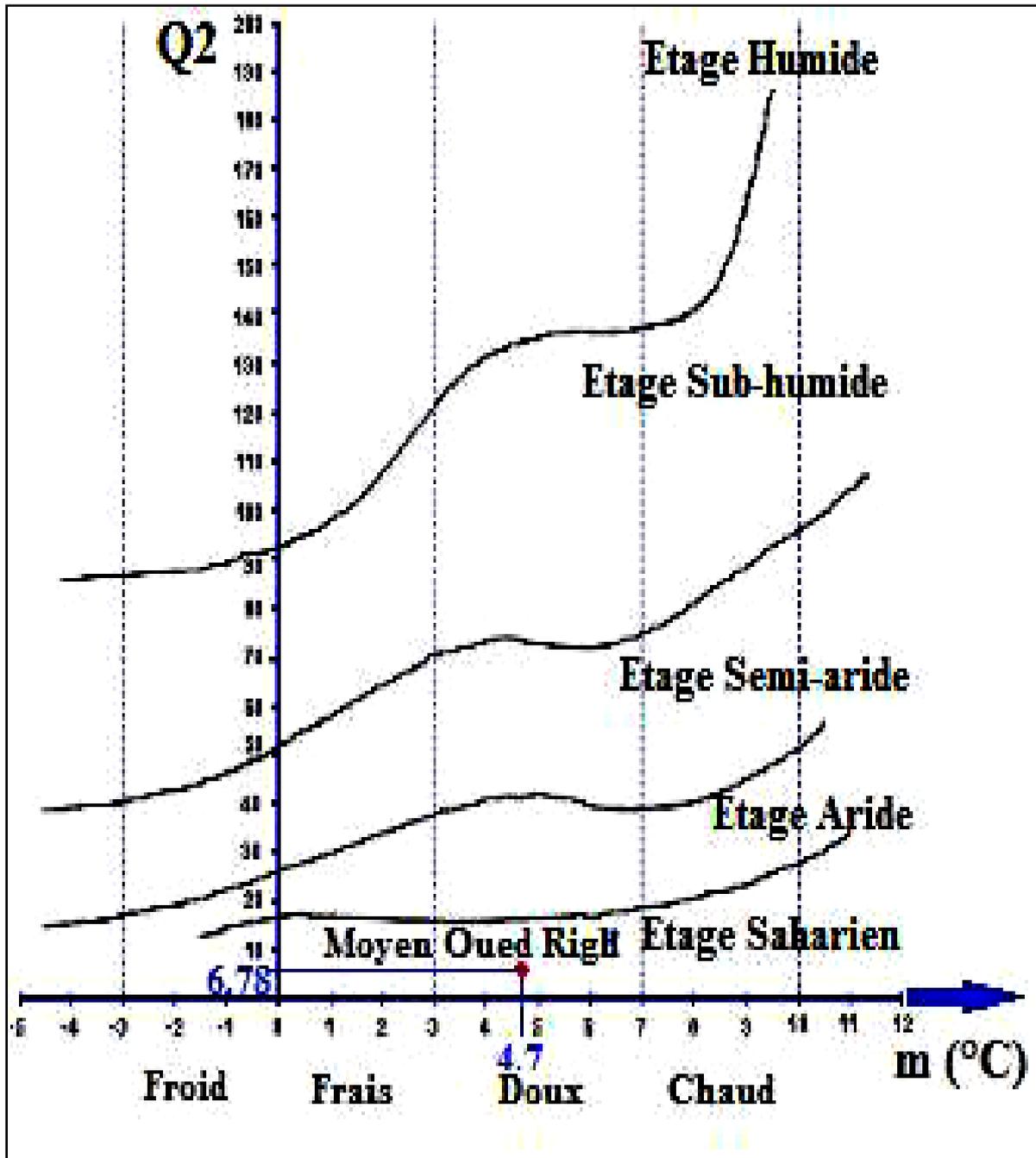


Figure 11: Situation de la région d'étude basé sur les données mesurées à Touggourt (1983-2017) dans le climagramme d'Emberger.

IV. SOLS

Le paysage saharien est composé généralement, en partie amont, de sols sableux éoliens peu profonds, à croûte gypseuse, et, en partie aval, de sols sableux éoliens, plus profonds à encroûtement de nappe gypseuse plus récent (MITIMET, 1998), Les sols deviennent hydromorphes dans les dépressions hyper salés composées d'alluvions fines.

Selon la classification française CPCS (1967), la couverture pédologique offre une grande hétérogénéité et se compose de plusieurs classes où ressortent des groupes qui définissent le processus d'évaluation du sol, des sous groupes pour l'intensité du processus et enfin les familles par le caractère du matériel pétrographique sur lequel se forme le sol.

SOGREAH (1971) ; ABID (1995) définissent l'origine des sols dans la vallée de l'oued Righ comme mixte alluvionnaire, colluviale et éolienne, Les deux premières proviennent de l'érosion du niveau encroûté datant du Quaternaire ancien ou du Mio-Pliocène. (BOUMARAF,2013).

Les phases successives d'érosion et de comblement du fond de la vallée, sont responsables de l'hétérogénéité texturale constatée dans les horizons profonds, contrairement aux horizons supérieurs qui ont une origine éolienne (plages sableuses plus ou moins remaniées et récentes). (BOUMARAF, 2013).

Tableau 2: Les sols caractéristiques de la vallée de l'Oued Righ SOGREAH , 1971
(in BOUMARAF, 2013)

Classes	Groupes	Sous-groupes
I- Classes des sols peu évolués non climatiques	Sols bruts d'apport	Sol anthropique (représenté dans l'extension de palmerais vers les chotts).
		Sols à hydromorphie de pseudogley.
		Sols à hydromorphie d'amas, nodules et cristaux gypseux.
		Sols modaux.
II- Classes des sols hydromorphes minéraux	Sols à Gley de surface	
	Sols à pseudogley de surface ou d'ensemble	
	Sols à accumulation de gypse	Sous-groupe à croûte ou à banc cristallin
		Sous-groupe à encroûtement gypseux
Sous-groupe à amas et cristaux gypseux.		

D'après **GUYOT ET DURAND (1955)**, les sols de la vallée d'oued Righ contiennent des fortes proportions de gypse, la raison principale de cette accumulation dans les sols est due à la précipitation du gypse provenant des sels contenus dans la nappe aquifère et dans les ruissellements. A la suite d'une évaporation intense et dont la variation saisonnière du niveau piézométrique peut atteindre dans la vallée de l'oued Righ l'amplitude d'un mètre et plus (**SOGREHA, 1971 in BOUMARAF, 2013**).

En résumé ces sols sont généralement meubles, aérés en surface, de type sulfaté calcique dans les sols les moins salés et de chlorures sodiques pour les sols les plus salés (**ABID, 1995**). Les sols contiennent une très forte proportion de cristaux de gypse, de toutes tailles (40% en moyenne). Le matériau des horizons, superficiels et peu profonds (moins de 70 cm), et est assez homogène. Son taux d'argile varie de 5 à 10 % et sa texture est limonosableuse (le plus souvent) ou sablo limoneuse (**Sogita-Soghrea, 1969-1970 in HAFOUDA, 2005**).

D'après **HARKATI (2018)**, pour les palmeraies de la région de l'Oued Righ dans les anciens palmeraies 33,05 % de la surface sont des sols à texture limono-sableuse, 51,51 % texture sablo-limoneuse et 11,64 % des sols sont à texture sableuse, et le reste 3,76 % sont des sols à texture hétérogène. Pour les jeunes palmerais 64,99 % de la surface sont des sols à texture limono-sableuse, 35,01 % texture sablo-limoneuse.

Quelques palmeraies du groupe Nord (région de Méghaier) montrent cependant des surfaces relativement importantes de sol plus fin (limono-argileux et argilo-limoneux) (**SOGETA-SOGHREA, 1970**). Certains horizons profonds principalement près de la ligne des chotts ont une texture fine à très fine, d'autres sont interstratifiés (**SOGETA-SOGHREA, 1969-1970 in HAFOUDA, 2005**).

V. HYDROGEOLOGIE

Les études antérieures ont montré que la région d'étude regroupe trois formations géologiques multicouches, réputées perméables et alternées par d'autres formations hétérogènes et imperméables. Dans la région d'étude, on y distingue trois aquifères qui sont respectivement de haut en bas :

- Nappe phréatique.
- Nappe ou système aquifère du Complexe Terminal (CT).
- Nappe ou système aquifère du Continental Intercalaire (CI)

V.1. Nappe phréatique

C'est une nappe libre dont la profondeur varie entre 0-60m. Elle affleure sur le sol en plusieurs endroits de la vallée ; la lithologie dominante est constituée de sables ou sables argileux avec gypse. Son eau est généralement très salée et excessivement chargée dans les zones mal drainées ; le résidu sec dépasse 13g/l ; l'alimentation de cette nappe provient essentiellement de l'excédent d'eau d'irrigation et avec un très faible pourcentage des précipitations (**Berguiga et Bedoui, 2012**).

V.2. Complexe Terminal

Le Complexe Terminal contient plus d'une nappe (Mio-pliocène, sénonien carbonates et l'Eocène) d'extension considérable de 350 000 Km², une puissance moyenne de 50 à 100 m et une profondeur varient entre 200 à 500 m. On distingue trois aquifères principaux :

- **La première nappe** : dans les sables et argiles du pliocène, qui est en fait un réseau de petites nappes en communication.
- **La deuxième nappe** : dans les sables grossiers à graviers du Miocène supérieurs.
- **La troisième nappe** : dans les calcaires fissurés et karstiques de l'Eocène inférieur.

Historiquement, ces trois nappes étaient artésiennes sur l'ensemble de la région de l'Oued Righ; cette région est caractérisée par la présence de la nappe sénonien carbonaté et le Turonien; mais l'exploitation croissante de ces nappes a conduit à l'utilisation de pompes visant à assurer des débits réguliers pour l'irrigation. (**Sayah Lembarek, 2008**).

V.3. Continental Intercalaire

C'est un aquifère de 1500m et plus de profondeur; composé de sables gréseux ou argileux qui s'étend sur plus de 600 000 Km², son épaisseur peut atteindre 1000 m au Nord Ouest du Sahara. Il se situe entre 700 et 2000 m de profondeur, le continental intercalaire est formé par une succession de couches de sables, de grès, de grès argileux et d'argile.

La qualité de l'eau est bonne (la minéralisation totale est généralement < 3,5 g/l; dont la température est supérieure à 50 °C quand elle jaillit, ce qui pose des problèmes de refroidissement préalable à l'irrigation. Cette eau provoque des dépôts abondants de carbonate de calcium qui rendent sa distribution délicate. (**Sayah Lembarek, 2008**).

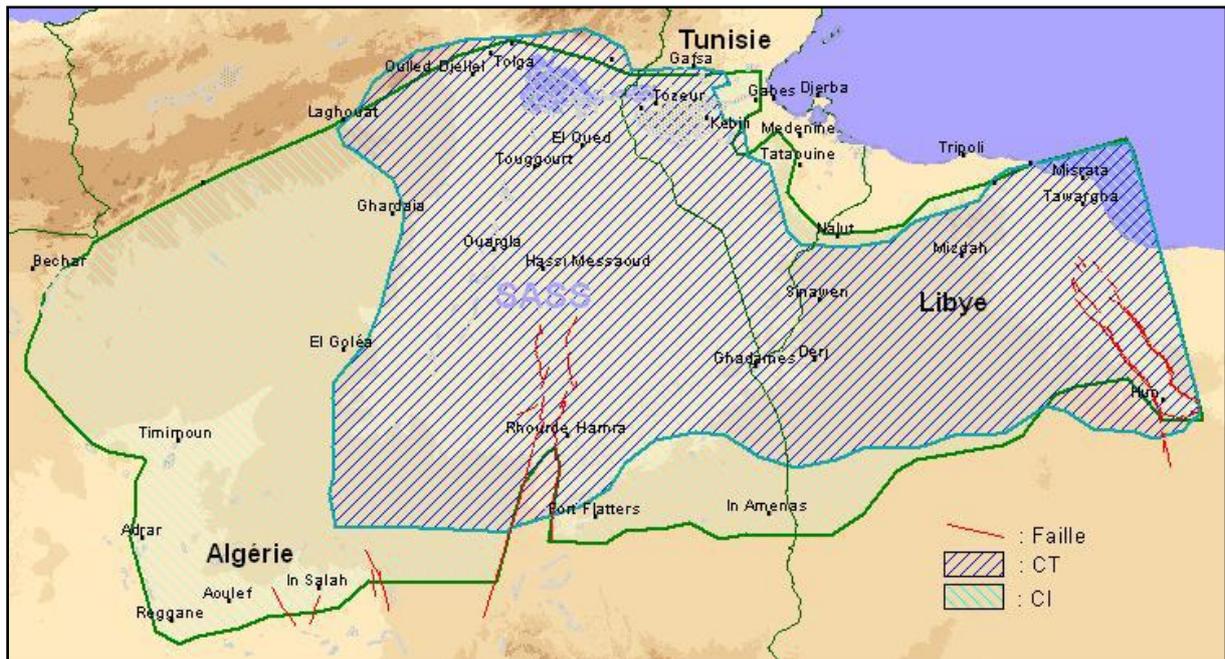


Figure 12: Carte des limites du continentale intercalaire et de complexe terminal (in HARKATI (2018),)

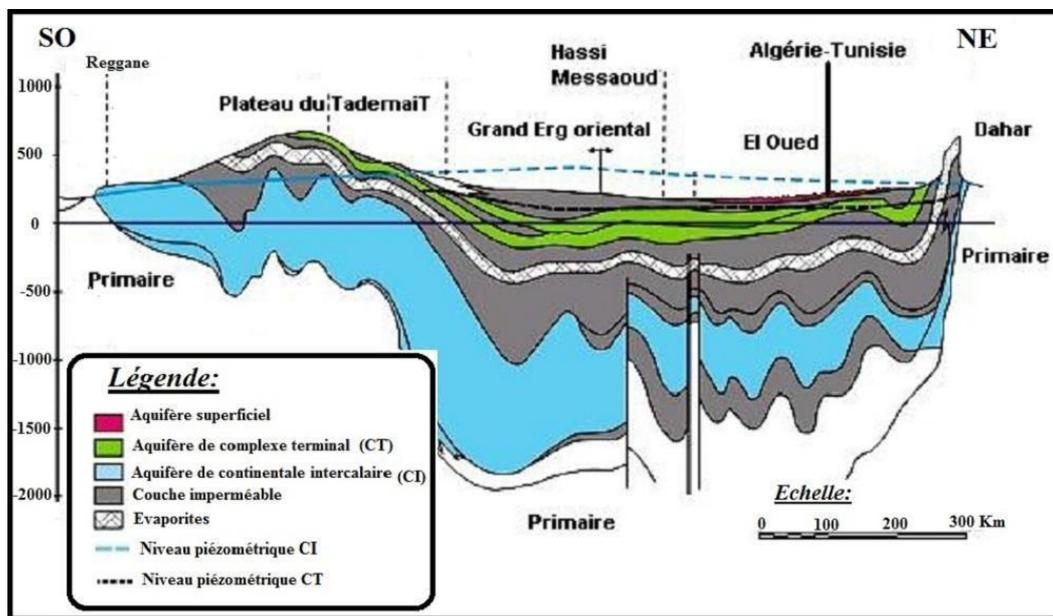


Figure 13: Coupe hydrogéologique des aquifères du Sahara septentrionale (UNESCO, 1972)

CHAPITER (II) : METHODOLOGIE DU TRAVAIL

I. METHODOLOGIE DU TRAVAIL

La méthodologie du travail adoptée pour la réalisation de notre travail est illustrée dans la figure 14.

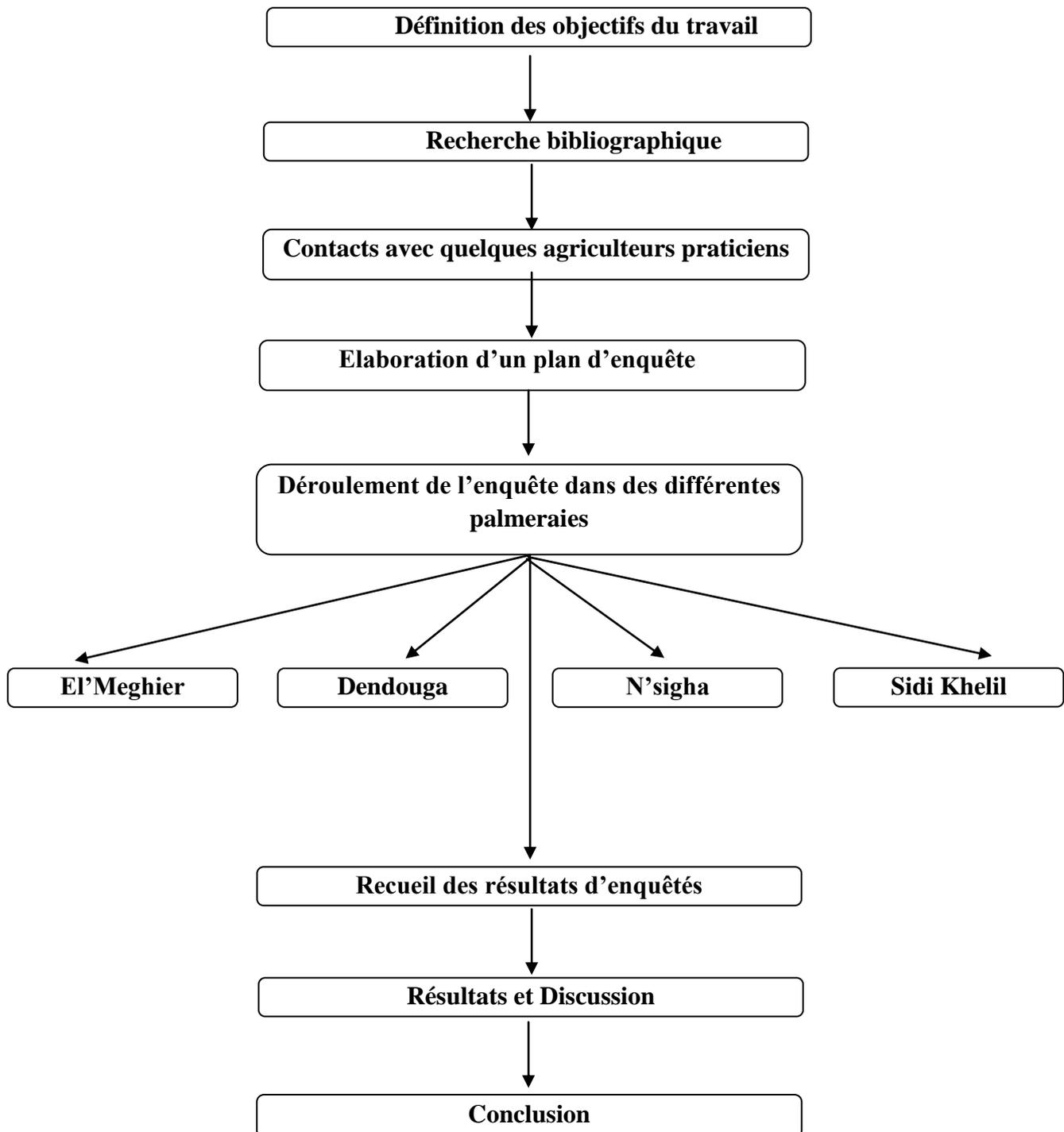


Figure 14:Schéma général de la méthodologie de travail

I.1. Objectifs de l'étude

L'objectif de la présente étude consiste à élaborer un état de lieu de l'utilisation de l'amendement sableux pour résoudre le problème de l'hydro-holomorphie des sols au niveau des oasis de la région d'El Meghaier .

Les objectifs spécifiques de l'étude peuvent être atteints moyennant les activités suivantes :

- Caractérisation de la situation actuelle des anciennes oasis et de la dégradation de la fertilité des sols.
- Description du phénomène de l'amendement de sa : composantes, épaisseur, coût, renouvellement.
- Analyse de la faisabilité technique et économique de l'opération.
- Identification des zones de prélèvement et de l'impact de l'amendement sur ces milieux.

I.2. Recherche bibliographique

La recherche bibliographique, c'est une phase parmi les phases du travail qui consiste à rechercher le maximum d'informations nécessaires pour notre travail. Elle s'est déroulée comme suit :

Premièrement, des recherches effectuées dans la bibliothèque du département des sciences agronomiques de l'université de Ouargla et aussi les bibliothèques numériques disponibles sur le web. Ensuite, la recherche et la collection du maximum d'informations auprès des structures publiques et personnes concernées.

I.3. Enquête

La méthodologie de l'étude est basée sur des enquêtes de terrain. L'objectif est d'élaborer un état de lieu de l'utilisation de l'amendement sableux pour résoudre le problème de l'hydro-holomorphie des sols au niveau de cette région. Et les réactions des exploitants envers cette pratique agricole.

Les éléments qui font l'objet de notre enquête sont :

- La détermination de l'épaisseur optimale de la couche de sable à épandre.
- L'Estimation du coût moyen d'une action d'amendement sableux par hectare.
- Estimation du gain additionnel engendré par la bonification sableuse du sol.
- Evaluation les effets de l'amendement sableux pour juger son efficacité.

Le questionnaire a touché les aspects suivants :

1. **Identification de l'exploitant et sa famille**
2. **Identification de l'exploitation**
3. **Caractérisation du sol** : Texture, nature
4. **Irrigation** :
Source d'irrigation, fréquence d'irrigation, coût de l'irrigation
5. **Système de drainage** :
Présence ou non du système de drainage, caractérisation et fonctionnalité
6. **Système de production** :
Caractérisation du système de production et des activités agricoles
7. **Travail du sol et fertilisation** :
Caractérisation des travaux et des façons culturales pratiqués
8. **Hydromorphie et salinisation** :
Caractérisations des principaux phénomènes de la dégradation, période d'observation et actions de lutte contre les deux formes
9. **Dégradation du sol et épandage du sable** :
Causes de la dégradation, Identification des causes de la dégradation, et de l'année de leur observation
10. **Effets de la dégradation** :
Identification des effets de la dégradation au niveau des pieds de palmiers, rendements, irrigation, système de production, revenu, occupation de l'exploitation, offre de journées de travail
11. **Contraintes qui ont entravé l'amendement du sol** :
Identification des contraintes physiques, financières et sociales ayant affecté ou pouvant altérer l'amendement

12. Objectifs d'intervention pour amendement du sol :

Identification des objectifs de l'amendement : amélioration de la texture et de la structure du sol

13. Connaissance des opérations d'amendement :

Description des composantes, dimension, synchronisation, fréquence, épaisseur, qualité de la matière minérale, texture, coûts des opérations d'amendement, estimation du coût de l'amendement par type d'opération,

14. Moyens financiers et humains mise en œuvre pour faire l'amendement :

Nature du financement

15. Impacts attendus de l'épandage de sable au niveau de la parcelle :

Identification des impacts attendus, l'amélioration substantielle a été obtenue au niveau des rendements du palmier et des cultures associées introduites par suite de l'amendement

16. Impacts en dehors de l'oasis sur les zones de prélèvement :

Identification des effets sur l'environnement

17. Solutions de rechanges en dehors de l'amendement :

En dehors de l'opération d'amendement, décrire les solutions de rechange

I.3.1. Période d'investigation

La réalisation de l'enquête a été effectuée durant la saison hivernale de l'année 2022 (du 28/12/2021 au 31/03/2022).

I.3.2. Zone d'investigation

La wilaya El'Meghier est située dans le sud de l'Algérie, dont la chef-lieu porte le même nom. Elle se situe dans la région de l'Oued Righ (le bas Oued Righ) entre Biskra et l'Oued Souf. Sa superficie est de 8 835 km².

Elle est délimitée :

- au nord par la wilaya de Biskra ;
- à l'est par la wilaya d'El Oued ;
- à l'ouest par la wilaya d'Ouled Djellal ;
- et au sud par la wilaya de Touggourt et d'Ourgla.

I.3.3. Choix des exploitations

L'enquête a touché plusieurs exploitations agricoles dans la région d' El Meghaier repartis entre la commune d' El'Meghier, Dendouga , N'sigha et Sidi Khelil. Les exploitations enquêtées, sont des exploitations entretenues ou le pratique de l'amendement est remarqué. Elles ont été choisies aléatoirement, en fonction de la disponibilité des propriétaires, pour avoir le maximum d'information sur les exploitations. Pour ce faire, un questionnaire a été élaboré. 20 exploitations ont fait l'objet de nos enquêtes dont 19 exploitations amendées et 01 exploitation non amendée.

Partie (03)

**Résultats
Et
Discussion**

CHAPITRE : RESULTATS ET DISCUSSION

I. LES SOLS DES OASIS ET L'AMENDEMENT SABLEUX

La forme de dégradation dominante qui affecte un grand nombre d'oasis est l'hydro-halo morphie. Elle est liée à plusieurs facteurs (excès d'eau d'irrigation, présence d'une nappe proche de surface du sol, drainage interne et externe défectueux, fortes charges salines de l'eau d'irrigation). Elle entraîne des chutes considérables des rendements jusqu'à les annuler dans certaines oasis en l'absence de drainage efficace. L'hydro-halomorphe devient plus grave lorsque les excès d'eau qui affectent l'oasis sont chargés en sels. Dans ce cas, la correction des sols devient double, assainissement et désalinisation.

La faiblesse des moyens de production et la baisse du niveau de la capacité financière des agriculteurs accentuent les formes de dégradation. En effet, l'agriculteur qui n'irrigue pas convenablement sa parcelle et n'entretient pas son système d'irrigation et de drainage voit son oasis se dessécher, subir les effets **de la salinisation du sol et de l'hydromorphie**. Aussi, celui qui ne restitue pas les éléments minéraux exportés sous forme organique et minérale voit son sol tendre vers la fatigue entraînant une baisse appréciable des rendements et ainsi se déclenche un cycle infernal qui conduit à l'abandon des exploitations irrigués.

Devant cette situation de gestion difficile des ressources naturelles, l'agriculture oasienne est confrontée à un ensemble de problèmes et de défis dont : L'émiettement des exploitations et la dégradation de la situation foncière à l'intérieur des oasis, ce qui rend difficile la mise en œuvre de projets de développement ; la situation difficile de certaines oasis et leur incapacité de prendre en charge les activités de maintenance et d'entretien du réseau d'irrigation et drainage

Confronté à ces situations, l'agriculteur doit chercher des solutions aux problèmes liés à son exploitation. C'est ainsi qu'il a préconisé l'amendement en tant que moyen permettant d'une part de contre carrer la baisse de la fertilité du sol et le recul de la productivité des plantations, et d'autre part permettant de mieux exploiter sa parcelle et diversifier ses activités et assurer en fin un revenu acceptable.

Les sols des oasis se caractérisent par une texture sableuse dans les nouvelles créations et sablo-limoneuse à limono-sableuse pour les anciennes oasis. Dans les deux cas, il s'agit de matériaux très perméables à faible capacité de rétention de l'eau. Ces matériaux possèdent une teneur assez élevée en gypse qui provient du matériau initial sablo-gypseux et également

de la précipitation du sulfate de calcium contenu dans les eaux d'irrigation. Les sols reposent également dans certains cas sur des assises gypseuses sous formes de croûtes et d'encroûtement gypseux réduisant leur perméabilité.

En fait, dans une première phase, le matériau initial sablo-gypseux sous l'effet de l'eau et des sels subit une pédogenèse qui se traduit par une redistribution du gypse. Une partie migre en profondeur et une autre se réorganise en surface. Dans les deux cas, il contribue à la création d'une nouvelle structure moins poreuse, plus compacte et moins perméable. Après plusieurs cycles d'irrigations intensives, un affaissement et un tassement du sol se produit. Cette compaction du sol affecte la fertilité physique du sol en réduisant son aération, la dynamique de l'eau et la lixiviation des sels. L'augmentation de la microporosité augmente la capillarité du sol et le transfert des sels depuis la nappe.

L'enrichissement de ces sols en sable dunaire en tant qu'amendement est considéré parmi les meilleures solutions pour résoudre le problème de l'hydro-halomorphie stérilisant les sols oasiens.

Ce matériau provenant des dunes sableuses est pauvre en matière organique. Néanmoins, comme il était exposé au soleil et à des conditions désertiques, il est également indemnes des semences des mauvaises herbes et des vecteurs de maladies (KARBOUT, 2021). Par ailleurs, le sable dunaire est caractérisé généralement par une faible salinité (BENAAFI et al., 2020), et une texture très grossière, ce qui facilite d'avantage à la fois l'écoulement des eaux en excès et la circulation de l'oxygène, réduisant ainsi les effets de l'asphyxie liée au problème de l'hydro-halomorphie sur les plantes.

I.1. Les préalables à l'amendement sableux chez l'agriculteur

En se basant sur les éléments de l'enquête et ceux des visites de terrain aux exploitations qui ont pratiqué l'amendement, il s'est dégagé des préalables que l'agriculteur considère comme condition sine-qua-non pour procéder à l'exécution des opérations d'amendement.

Parmi ces préalables, on cite :

- L'apparition de l'un au moins des facteurs de dégradation des sols tels que : la salinisation, l'hydromorphie, l'appauvrissement du sol, la baisse de la fertilité ; la chute des rendements, ...etc.

- La propriété de la parcelle ou la parfaite entente entre les héritiers.
- La présence d'un milieu d'approvisionnement en sable, la proximité de ce milieu de l'exploitation est un stimulant qui favorise l'opération.
- L'existence d'engins et de moyens matériels facilitant l'exécution de l'opération, certains agriculteurs se mettent d'accord avec des entrepreneurs disposant d'engins pour assurer les opérations mécaniques.
- La disponibilité de la main d'œuvre occasionnelle et ou familiale, plusieurs agriculteurs comptent sur la contribution de la main d'œuvre familiale.
- La capacité financière de l'exploitant pour couvrir toutes les opérations d'amendement, parfois les opérations sont financées à crédit, parfois en numéraire avec beaucoup de facilités.

I.2. Pratiques actuelles de l'amendement

Selon les données collectées, les visites de terrain et les enquêtes dans les oasis traditionnelles les pratiques effectuées sont :

- Dans la quasi-totalité des amendements sableux, l'amendement d'argile n'a pas été invoqué par les agriculteurs.
- Les pratiques de l'amendement ne touchent pas seulement les oasis traditionnelles, elles concernent aussi les nouvelles créations que ce soit dans les oasis modernes, ou dans les oasis organisées et même dans les extensions autour des anciennes oasis.
- Les pratiques de l'amendement sont étroitement liées à la nature de l'exploitant. notamment, la connaissance et la maîtrise des différentes opérations d'amendement et la pratique d'une autre activité lucrative.
- Les pratiques de l'amendement sont liées aussi à la nature de l'exploitation. En effet, la taille de l'exploitation, l'effectif de palmier dattier qui y existe.
- Les composantes des opérations d'amendement diffèrent d'un exploitant à un autre en fonction de plusieurs paramètres dont on cite : les objectifs recherchés par cet amendement, l'emplacement de la parcelle dans l'oasis et par rapport au chott, les composantes de l'amendement, la quantification physique de

chaque action, la qualité des produits, la dimension (épaisseur, envergure), la succession des opérations et les priorités fixés, le milieu d'approvisionnement en matière première et en outils,... etc.

- La pratique de l'amendement est une action qui nécessite de l'organisation sur terrain pour tenir compte de l'accessibilité à l'intérieur de la parcelle, des aménagements hydrauliques et des infrastructures d'irrigation et de drainage.

I.3. Déroulement des actions d'amendement

Le démarrage des opérations s'effectue généralement après la récolte, ce démarrage est souvent précédé par des opérations de taille des palmiers et des opérations de préparation du sol.

La durée des opérations d'amendement s'élargit et se rétrécit en fonction de l'envergure des opérations, de la capacité financière de l'exploitant, des moyens mis par l'exploitant pour activer l'exécution des actions tels que petits outils, main d'œuvre familiale, main d'œuvre occasionnelle, gros engins : tracteurs et autres dans sa possession, cette durée peut s'étaler sur plusieurs campagnes.

Le déroulement se fait par étape, les étapes peuvent être agrégées en fonction de la dimension des actions et de leur envergure, pour des petites parcelles le déroulement sera simultané, par contre pour des parcelles plus importantes l'exploitant agit par étape.

La durée la plus indiquée correspond à la période de l'hiver et le printemps tout en évitant les journées des pluies et de l'irrigation.

I.4. Composantes de l'amendement sableux et les aspects techniques

Les opérations d'amendement sont multiples et reste liées à la nature de la dégradation du sol, les caractéristiques des aménagements hydrauliques et de drainage mis en place, l'épaisseur retenu et les objectifs recherchés par l'agriculteur. L'opération de l'amendement sableux peut être effectuée en quatre phases :

I.4.1. Les opérations de préparation du sol

Les opérations de préparation du sol: labour, binage, nivellement, excavation de certaines portions de la parcelle pour remplacer tous le sol, confections de rangées à l'intérieur de la parcelle, déplacement des conduites d'irrigation en PVC , 80% des exploitants ont déclaré ayant précédé l'amendement par des opérations de préparation du sol.

I.4.2. Les opérations de l'apport du sable, des matières minérales et des matières organiques

Les opérations de l'apport de la matière minérale et de la matière organique : utilisation des engins mécaniques pour l'apport et le transport : bulldozer, tracteur, camion, utilisation de charrettes, brouettes, 97% des exploitants ont déclaré ayant effectué ces opérations par des engins mécaniques et 3% par des moyens manuels.

I.4.3. Les opérations d'épandage du sable

Les opérations d'épandage du sable sur le tronc des palmiers pour arriver à couvrir les racines démolies, 100% des exploitants ont déclaré ayant procédé à ces opérations (Photos 14,15).



Photos 15: Epandage du sable remise en place et d'adaptation des systèmes d'irrigation

I.4.4. Les opérations de remise en place des systèmes d'irrigation

Les opérations de remise en place et d'adaptation des systèmes d'irrigation et de drainage et de leurs outils : réhabilitation des infrastructures, rehaussement de regards, réinstallation des conduites, 10% seulement des exploitants ont déclaré avoir effectué ces adaptations au niveau de leurs parcelles, 90 % n'ont pas été obligé d'intervenir pour rehausser ces infrastructures.



Photos 16: Confection de cuvettes

I.5. Les zones de prélèvement

D'après l'enquête réalisée, l'entretien avec les agriculteurs a montré que les zones de prélèvement se situent à des distances allant de 5 à 20 km en dehors des oasis. Les zones d'empreinte s'agissent des Erg et des Nebkhas formées par des sables fin et moyen, très pauvre en matières organique (Photos 17).

Les amendements sableux sont prélevés à partir des accumulations de sable éolien. Etant donné leur mobilité, ces accumulations éoliennes ne présentent pas d'horizon pédogénétique. Elles sont classées parmi les sols minéraux bruts. Aucun type de culture ne peut être pratiqué sur ces sols. Cependant, lors des années pluvieuses, le développement d'une végétation naturelle adapté au sable transforme ces régions en terrains de parcours. Ces matériaux provenant des dunes sableuses est pauvre en matière organique. Néanmoins, comme il était exposé au soleil et à des conditions désertiques, il est également indemnes des semences des mauvaises herbes et des vecteurs de maladies.

Les caractéristiques des zones de prélèvement des matériaux d'amendement sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 3: Caractéristiques des zones de prélèvement des matériaux d'amendement

Palme raie	Exploitation	Distance entre les parcelles et les zones de prélèvement	Direction	Nature de la zone de prélèvement
Dendouga	Dendouga	8-10 km	Est	Erg (sable eolien)
	Derdiba	10- 14 km	Sud-est	Erg (sable eolien)
	Tarfaiat chekaoui	10- 12 km	Sud-est	Erg (sable eolien)
Sidi khelil	Ain chikh	18- 20 km	Sud-est	Erg (sable eolien)
	Sidi khelil	20-24 km	Sud-est	Erg (sable eolien)
N'sigha	N'sigha	8,5-14 km	Nord-est	Erg (sable eolien)
El Barghajia	El Barghajia	2 - 4 km	Ouest	Erg (sable eolien)

**Photos17:** Zones de prélèvement des matériaux d'amendement (01)



Photos18: Zones de prélèvement des matériaux d'amendement (02)

I.6. Impact actuel du prélèvement des matériaux sur l'environnement

Actuellement, aucun impact environnemental négatif visible au niveau des sites exploités et de leurs environs ne s'est manifesté. Ce constat peut être lié à la petite taille de la plupart des exploitations visitées. Néanmoins, certains, agriculteurs utilisent le sable des brises vents disponibles dans leurs palmeraies.

I.7. Coût moyen d'une action d'amendement sableux par hectare

Les premiers résultats d'éléments de l'enquête permettent de dire que le coût de l'amendement varié avec :

- L'épaisseur de la couche du sable apporté au sol,
- L'éloignement de la source d'approvisionnement ;
- Les moyens de transport.

Selon les données collectées et confirmées par l'enquête, le coût de l'amendement sableux varie de 42 500 DA à 300 000 DA par hectare, avec un coût moyen de 146883 DA / ha.

Tableau 4: Coût de l'amendement sableux (ha)

Coût par ha (DA)	% des exploitants
< 70 000	25%
70 000 - 120 000	20%
140 000- 185 000	30%
240 000- 300 000	25%
Total	100%

Le transport du sable est généralement effectué par des tracteurs (charge 5 m³), mais aussi avec des grands camions (charge 18 m³). Le truck permet le nivellement du sol. La terre ramenée est toujours sableuse.

L'épaisseur de la couche de sable apportée varie de :

- **0,5 à 1 m quand l'opération vise la réduction de la remontée capillaire des sels (nappe sub-affleurante).**
- **0,1 à 0,4 m quand il s'agit d'améliorer la fertilité de la terre.**

L'opération de l'amendement est généralement réalisée tous les 4 à 10 ans.

I.8. Gain additionnel engendré par la bonification sableuse du sol.

Les résultats de l'enquête ont révélé les effets positifs de l'amendement sableux sur :

- L'amélioration de la fertilité des terres.
- La réduction de la remontée capillaire et de la salinité à partir de la nappe.
- La lutte contre les mauvaises herbes.
- La rénovation des palmiers de leur racines.
- L'amélioration de la rentabilité des cultures oasiennes.
- La couverture de la partie basse du tronc du palmier qui se découvre à cause de l'érosion.
- La lutte contre les maladies des palmiers.
- Le remplacement de la terre qui devient infertile à cause de son exploitation intensive durant plusieurs années.

- La limitation de l'effet de la remontée de la nappe perchée salée.
- L'augmentation du rendement

D'après les agriculteurs enquêtés :

la réponse des palmiers commence à partir de la deuxième année. Des augmentations de rendement estimé de 10 à 15 % ont été enregistrées . Elles atteignent 50 % les années suivantes avec une amélioration de la qualité .

Ces biens faits de l'amendement sableux varient en fonction de :

- L'épaisseur de l'amendement.
- La qualité du sable apportée.
- La maîtrise de l'irrigation et du drainage.

Les résultats de l'enquête ont dégagé un impact sur le rendement qui varie d'un cas à un autre et d'une année à l'autre. La proportion moyenne déclarée pour l'accroissement de la productivité et des rendements en année de croisière était de 50 %, soit de l'ordre de deux tiers de la production de base. D'après les agriculteurs enquêtés, l'année de croisière correspondait à la quatrième année après l'amendement, l'accroissement du revenu était graduel, principalement pour les années 2, 3 et 4 D'après eux, en première année il n'y a pas eu d'amélioration de la production de palmier.

Conclusion

La présente étude a porté sur l'effet des amendements sableux dans la lutte contre l'hydro-halomorphie et ces impacts sur le rendement des plantes dans les régions oasiennes de la région de Oued Righ qui se situe au Sahara septentrional central.

La collecte des informations été effectuée grâce à des visites sur terrain et un entretien avec les exploitants sélectionnés. En effet, cette étude a permis de conclure ce qui suit :

Les amendements sableux est aujourd'hui la principale réponse apportée par les agriculteurs. Il s'agit d'une technique traditionnelle dans les oasis qui s'est fortement développée avec l'amélioration des moyens de transport.

Les effets exposés sont multiples :

L'amélioration de la fertilité des terres, la réduction de la remontée capillaire et de la salinité à partir de la nappe, la lutte contre les mauvaises herbes, la rénovation des palmiers de leur racine, l'amélioration de la rentabilité des cultures oasiennes, la protection la partie basse du tronc du palmier qui se découvre à cause de l'érosion, la lutte contre les maladies des palmiers, remplacement la terre qui devient infertile à cause de son exploitation intensive durant plusieurs années, la limitation de l'effet de la remontée de la nappe perchée salée. La création d'un mulch limitant l'évaporation...etc.

Les opérations de l'amendement sont moins coûteuses par rapports aux autres procédés et engagent l'exploitant à suivre une démarche d'exécution des actions en fonction de sa capacité financière (moyens financiers) de la disponibilité de la main d'œuvre familiale et occasionnelle, de sa capacité humaine à gérer un chantier de travaux sur différentes parcelles souvent éloignées l'une de l'autre, des facilités de paiement accordées par le propriétaire des engins de terrassement, transport, nivellement pour l'exploitant.

A la lumière des résultats dégagés de cette première phase, on pourrait retenir les recommandations qui pourraient servir de lignes directrices pour l'organisation et la mise en œuvre de l'opération d'amendement :

- Inventorier les sites d'emprunt actuel et potentiel par oasis et établir des cartes de situation.
- Faire l'analyse physico-chimique de leurs sols et retenir les sites d'emprunt.

- destiné à utiliser en tant qu'amendement sableux.
- Etablir un programme de suivi annuel de quelques exploitations types et élaborer des rapports de suivi.
- Associer les institutions de recherche, les centres, les pôles régionaux et les structures concernées dans les décisions prises relatives à l'amendement.
- Retenir les composantes d'amendement et les normes requises et faire des séances de vulgarisation avec les structures concernées et les agriculteurs.
- Penser à l'incorporation des apports organiques avec le sable des dunes pour améliorer la fertilité du sol.
- Réaliser une étude économique détaillée pour bien optimiser l'utilisation rentable de ce type d'amendement en milieu oasien.
- Faire une caractérisation analytique poussée (physiques, physico-chimiques) du sable

Références bibliographiques

1. **ABDELJAOUAD G., ARSLAN A., GHAIBAA, KADOURIF., 2003-** Effects of saline irrigation water management and salt tomato varieties on sustainable production of tomato in Syria. Proceeding of an international workshop : sustainable strategies for irrigation, 33-45.
2. **ADJ M. D. et BRINIS L. 2011-** remontée des nappes phréatiques à Oued Righ : situation actuelle et perspectives d'aménagement (Sud Est Algérien). annales des Sciences et Technologie Vol. 3, N° 1, Juin 2011.
3. **ASHRAF M., and FOOLADM.R., 2007-** Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environ Exp Bot.*, **59** : 206–216
4. **AUBERT G., OLLATCH., 1969-** Observation sur l'utilisation d'eaux saumâtres pour l'irrigation et sur l'amélioration des sols salés. *Acad., d'agric. De France* 19/02/69, 244-254.
5. **BADRAOUI M., AGBANI M., et SOUDI B., 2000-** Evolution de la qualité des sols sous mise en valeur intensive au Maroc. Séminaire 'Intensification agricole et qualité des sols et des eaux'. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II. Rabat. Maroc. 11p.
6. **Ben Naceur M. ; Rahmoune C. ; Sdiri H. ; Meddahi M.L. et Selmi M., 2001-** Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques variétés maghrébines de blé ; *Science et changements planétaires / Sécheresse*, Volume 12,(3) p.167-74.
7. **BENAAFI, M., HANAFY, S. M., AL-SHUHAIL, A., EL-HUSSEINY, A., & DVORKIN, J., 2020-** Integrated Geological, Hydrogeological, and Geophysical Investigations of a Barchan Sand Dune in the Eastern Region of Saudi Arabia. *Water*, **12**(3), 682.
8. **BOLT H.M. et al., 1978-** *International Archive on Occupational Environmental Health*, **60** (3), 141-4.
9. **BOUARFA, S., MARLET, S., DOUAOUI, A., & HARTANI, T. (2009).** Salinity patterns in irrigation systems, a threat to be demystified, a constraint to be managed: field evidence from Algeria and Tunisia. *Irrigation and*.
10. **BOUMARAF BELKACEM, 2013.** caractéristiques et fonctionnement des sols dans la vallée d'oued righ, sahara nord oriental, algérie université de reims champagne-ardenne , thèse pour obtenir le grade de docteur de l'université de reims champagne-ardenn
11. **BOUTEYRE G, LOYERJ.Y., 1992-** Sols salés, eaux saumâtres des régions arides tropicales et méditerranéenne. In *L'aridité : une contrainte au développement*. p. 69 – 80.
12. **BRUAND A., HARTMANN C., LESTURGEZ G., 2005-** Physical properties of tropical sandy soils: A large range of behaviours. *Management of Tropical Sandy Soils for Sustainable Agriculture*, Khon Kaen, Thailand, FAO. p. 148-158.
13. **CHESWORTH W., 2008** - *Encyclopedia of Soil Science*, Ed. Springer Dordrecht, Berlin, 902 p.

14. **DADDI BOUHOUN M., 2010** - Contribution à l'étude de l'impact de la nappe phréatique et des accumulations gypso-salines sur l'enracinement et la nutrition du palmier dattier dans la cuvette de Ouargla (Sud Est algérien). Thèse de Doctorat. Université BADJI Mokhtar, Annaba. 365 p.
15. **DADDI BOUHOUN M., SAKER M. L., BOUTOUTAOU., BRINIS L., KEMASSI. ET OULD EL HADJ.2012.** Impact des eaux phréatiques sur la salinité et le rendement du palmier dattier à Ouargla *Algerian journal of Arid Environment*. 71-77.
16. **DADDI BOUHOUN M., SAKER ML., BOUTOUTAOU D., BRINIS L, KEMASSI A., et OULD EL HADJ MD., 2012** - Impact des eaux phréatiques sur la salinité et le rendement du palmier dattier à Ouargla. *Algerian journal of arid environment*, vol. 2, n° 2 : 71-77.
17. **DADI BOUHOUN M., SAKER M.L, HACINI M., BOUTOUTAOU D., and OULD EL HADJ MD.,(2013)** - The soil degradation in the Ouargla basin : a step towards the desertification of the palm plantations (north East Sahara Algeria). *International Journal of the Environment and Water*. Vol. 2, Issue 1 : 93-98.
18. **DAOUD Y et HALITIM A 1994-** Irrigation et salinisation au Sahara algérien. *Sécheresse*. p. 5, 151-160. 11.
19. **DEHNI, A. 2018-** "Télé-détection de La Salinité Des Sols à l' Aide Des Techniques de Traitement d' Images Satellitaires — Application à La Région d' Oran
20. **DIARRA L., 1991** - Contribution a l'étude de la résistance de quelques espèces fourragères aux phénomènes de salinisation – alcalinisation. Mémoire d'Ingénieur, Ministère de l'éducation Nationale du Mali. Sciences Appliquées de IIPR de Katibougou. spécialité Agriculture.63p.
21. **DIOP TÉGAYE, NDIAYE RAMATOULAYE, SOW SEYDOU ALASSANE et DJIBRIROU DAOUA BA., 2019-** Analyse des effets du phosphogypse et du fumier sur la salinité de la cuvette de Ndiol dans le Delta du fleuve Sénégal Afrique *SCIENCE15(4)71 – 80*.
22. **DUBOST D., 1991** – Ecologie, aménagement et développement agricole dans les oasis algériennes. Thèse de doctorat, université de Tours, France.
23. **GAUCHER G., BUBDIN S., 1974** - Géologie, géomorphologie et hydrologie des terrains salés. Université de France. 230p .
24. **GHAZOUANI W., 2009-** De l'identification des contraintes environnementales à l'évaluation des performances agronomiques dans un système irrigué collectif. Cas de l'oasis de Fatnassa Nefzaoua, sud tunisien. Thèse de doctorat Agro. Paris.Tech.
25. **GHAZOUANI, W., MARLET, S., ET MEKKI, I. 2009-** Farmers' perceptions and engineering approach in the modernization of a community-managed irrigation scheme. A case study from an oasis of the Nefzawa.
26. **GIRARD J. F., LEGCHENKO A., BOUCHER M., 2005** - Stability of MRS signal and estimating data quality. *Near Surface Geophysics*. 187 -194p.

27. **GRATTAN S.R., and OSTER J.D., 2003**-Use and reuse of salinesodicwaters for irrigation of crops. *Journal of Crop Production*. 7(1-2) : 131–162.
28. **GRÜNBERGER O., 2015** - Dynamiques salines des sols des milieux arides et semi-arides. Sciences de la Terre. Université de Montpellier.
29. **HACHICHA M., KHALDI R., et MOUGOU A., 2012**- Irrigation avec l'eau géothermale salée dans leSud tunisien. Étude et gestion des sols, volume 19,2. p. 91 - 103.
30. **HALITIM A., 1988** - Sol des régions arides d'Algérie. O.P.U. Alger. 384p.
31. **HAMOUDA A., 2017** - Amendement sableux dans les oasis continentales. École Handbook. N°60. 160p.
32. **HARKATI D., 2018**. PrévisioEn de la salinité de la couche active des sols et optimisation du régime d'irrigation à caractère lessivant des terres mise en valeurs dans le sud-est Saharien : cas de Biskra et l'Oued Righ Université Mohamed Khider – Biskra
33. **HILLEL D., 1998**- Environmental Soil Physics. New York, Academic Press, 771p.
34. **Hillel, D.** Salinity Manahgement for Sustainable Irrigation: Integrating Science, Environment, and Economics; World Bank Publications: Washington, DC, USA, 2000; 92p.
35. **IPTRID., 2006**. Conférence électronique sur la salinisation. Extension de la salinisation et stratégie de prévention et réhabilitation: 2-11.
36. **KARBOUT N., DHAOUIDIL., BOUGHDIRI A., JAOUED M., MOUSSA M., BOUSNINA H., 2019**- Qualitative analysis of the indicators of degradation of theNefzaoui oases and quantitative study of their impacts on the socio-economic level of the region farmers.*Journal of new sciences, Agriculture and Biotechnology*, **65**(7), 4114-4124.
37. **KARBOUT. N 2021**, Impact de la dégradation des Oasis de Nefzaoua sur les moyens de subsistance et de sécurité alimentaire des agriculteurs de la région, International Review of Economics , Management and Law.Katibougou. spécialité Agriculture.63p.
38. **LACHARMEM., 2001** - Le contrôle de la salinité dans les rizières (Fascicule 9). Coopération Française du Développement Rural et de l'Environnement Direction de la Recherche Formation Vulgarisation. Sénégal.16p.
39. **MAATOUG SOUAD, BRAHIM NADHEM AND HATIRA ABDESSATAR, 2019**- Amendment of Saline Soils by Adding Sand in the Old Oasis of Nefzaoua in Tunisia. *Res. J. Appl. Sci. Eng. Technol.*, **16**(4) : 153-159.
40. **MARLET Serge, MEKKI Insaf, ZAIRI Abdelaziz, 2009**- Quelles perspectives pour un développement durable des systèmes oasiens du Nefzaoua ? Acte de l'atelier Sirma « Gestion des ressources naturelles et développement durable des systèmes oasiens du Nefzaoua », 25-27 février 2009, Douz, Tunisie.
41. **MATHIEU C., 2009** - Les principaux sols du monde .Lavoisier. 260p.
42. **MATHIEU C., LOZET J., 2011**- Dictionnaire encyclopédique de science du sol.

Lavoisier. Edition Tech&Doc. Paris. 733 p.

43. **MERMOUD., 2006** - Maitrise de la salinité des sols. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne.15p.

44. **MESSAHEL M., 1988** - L'irrigation au goutte à goutte, régime d'irrigation, O.P.U, Alger, 338p.

45. **MISSAOUI Y., 1991**. Evolution de la salinité en fonction des doses d'irrigation. Mémoire de Magistère. L'ITDAS de Biskra. 91p.

46. **Munns, R., R.A. James and A. Lauchli., 2006**. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *J. Exp. Bot.*, 57: 1025-1043

47. **NAHAL I., 1975** - Principe de conservation du sol, Masson, Paris, 136p.

48. **NAHAL I., 2004** - La désertification dans le monde : Causes – Processus – Conséquences – Lutte, édit harmattan, Paris, 150p.

49. **OMEIRI N., 1994** - Contribution à l'étude de la dynamique saisonnière des sels solubles dans la cuvette de Ouargla, Mémoire d'Ingénieur, INFS/AS (Institut National de Formation Supérieure en Agronomie Saharienne), Ouargla, Algérie, 72p.

50. **OMEIRI N., 2008**- Gestion intégrée de la fertilité d'un sol salé au sein d'un agroécosystème oasien : cas de la palmeraie du ksar de Ouargla, mémoire de Magister, université de Ouargla, 208p.

51. **OMEIRI N., 2016** - Diagnostic des composantes de la salinité et de la fertilité des sols de la palmeraie du ksar de Ouargla. *Revue des Bio-Ressources*. Vol 5 N° 1. 58- 68p.

52. **OMEIRIN.,2016**-Contribution à la définition d'une approche de lutte contre la dégradation des sols des oasis algériennes : cas de l'oasis de Ouargla. Thèse de doctorat, Université de Ouargla, 319p.

53. **OUSTANI M., HALILAT M. T., & CHENCHOUNI H. 2015**. Effect of poultry manure on the yield³⁴⁹ and nutrients uptake of potato under saline conditions of arid regions. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, **27** (1), 106 -120.

54. **REGUIG Hadj L., 2007**- Contribution à l'étude de la relation sol-végétation dans la région sud de la zone humide de chott et Hodna.Mém., d'ing., en biologie Msila.

55. **REZAGUI D., BOUHOUN M. D., BOUTOUTAOU D., & DJAGHOUBI A., 2016**- Study of hydro-saline characteristics of soils a palm grove in basin of Ouargla (Northern Algerian Sahara).doi :10.1063/1.4959419.

56. **ROOSE E., SARRAILH J-M., 1990**- Érodibilité de quelques sols tropicaux vingt années de mesure en parcelles d'érosion sous pluies naturelles. OROSTOM, sér. pédol., vol.28, pp.7-30.

57. **SERVANT J., SERVAT E., 1966** - Introduction à l'étude des sols salés littoraux

de Languedoc-Roussillon. Ann. Agro., 17(1), 53-73.

58. **SMEDEMA LK., SHIATI K., 2002-** Irrigation and salinity: a perspective review of the salinity hazards of irrigation development in the arid zone, *Irrig. Drain. Syst.* **16** 161–174.

59. **USSL., 1954** - Diagnostic and improvement of saline and alkali soils. U.S.A.D,

60. **VAN HOORN JW., 1970** - Réaction des cultures à la salure et aménagement de l'agriculture sur des sols salins, Bul. d'irrigation et drainage n° 7, FAO, Rome, pp 153-158.

61. **VAN HOORN JW., VAN ALPHEN JG., 1998** - Maîtrise de la salinité, bilan de sels et besoins de lessivage des sols irrigués, Cours d'irrigation, IAM/Bari, Italie, 95p.

62. **ZAMAN 2018b.** "Soil Salinity: Historical Perspectives and a World Overview of the Problem." Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques, p 43–53.

63. **Zid E. & Grignon C.,1991.** Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes aux stress. Cas des stress salin et hydrique. L'amélioration des plantes.

Résumé

Les oasis du Sahara algérien, comme dans le cas de la vallée de l'Oued Righ subissent un problème majeur d'hydro-halomorphie, qui constitue le principal facteur de dégradation du sol en milieu oasien. Pour résoudre ce problème plusieurs agriculteurs en recours à l'amendement sableux qui est une pratique agricole très ancienne dans les oasis Algériennes. C'est dans ce cadre que s'inscrit l'objectif de notre travail d'enquête qui vise à chercher l'état de lieu de l'amendement sableux dans la lutte contre les formes de la dégradation du sol des oasis.

Les résultats de l'enquête ont dégagé un impact sur le rendement qui varie d'un cas à un autre et d'une année à l'autre. La proportion moyenne déclarée pour l'accroissement de la productivité et des rendements en année de croisière était de 50 %, soit de l'ordre de deux tiers de la production de base. D'après les agriculteurs enquêtés, l'année de croisière correspondait à la quatrième année après l'amendement, l'accroissement du revenu était graduel, principalement pour les années 2, 3 et 4. D'après eux, en première année il n'y a pas eu d'amélioration de la production de palmier.

Mots clés : Hydro-halomorphie, Amendement sableux, Oasis, Oued Righ

الملخص

تعاني واحات الصحراء الجزائرية ، و منها واحات وادي ريغ ، من مشكلة كبيرة تتعلق ملوحة الماء-تربة التي تشكل العامل الرئيسي لتدهور التربة في بيئة الواحات. لحل هذه المشكلة ، يلجأ العديد من المزارعين إلى تعديل الرمال وهي ممارسة زراعية قديمة جداً في الواحات الجزائرية. وفي هذا الإطار ، يقع هدف عملنا الاستقصائي ، والذي يهدف إلى البحث عن حالة تعديل الرمال في مكافحة أشكال تدهور التربة في الواحات.

أظهرت نتائج المسح تأثيراً على الأداء يختلف من حالة إلى أخرى ومن سنة إلى أخرى. كان متوسط النسبة المعلنة للزيادة في الإنتاجية والعائد في عام الذروة 50% ، أو حوالي ثلثي الإنتاج الأساسي. وفقاً للمزارعين الذين شملهم الاستطلاع ، فإن عام الذروة يتوافق مع السنة الرابعة بعد التعديل ، وكانت الزيادة في الدخل تدريجية ، بشكل رئيسي للسنوات 2 و 3 و 4 وفقاً لهم في العام الأول لا يوجد أي تحسن في الإنتاج

الكلمات المفتاحية: ملوحة الماء-تربة، إضافة الرمل، واحات، وادي ريغ

Abstract

The oases of the Algerian Sahara, as in the case of the Oued Righ valley, suffer from a major problem of hydro-halomorphy, which constitutes the main factor of soil degradation in the oasis environment. To solve this problem, many farmers resort to sand amendment which is a very old agricultural practice in the Algerian oases. It is in this context that the objective of our investigative work falls, which aims to seek the state of the sand amendment in the fight against the forms of soil degradation of the oases.

The results of the survey showed an impact on performance that varies from case to case and from year to year. The average proportion declared for the increase in productivity and yields in the year of cruising was 50%, or about two-thirds of the base production. According to the farmers surveyed, the peak year corresponded to the fourth year after the amendment, the increase in income was gradual, mainly for years 2, 3 and 4. According to them, in first year there is no there has been no improvement in palm production.

Keywords: Hydro-halomorphy, Sand amendment, Oasis, Oued Righ