



**Département des Sciences de la Terre**  
**Licence ès Sciences et Techniques**  
**Eau & Environnement**



**Projet de fin d'Etudes**

**Impact de l'irrigation ponctuelle sur la salinisation des sols agricoles dans le Haouz central (Maroc)**

**Réalisé par : BARRY YASSMINA & ELALAMI RIHAB & MESKINE LOUBNA**

**Soutenu le : 27 Juin 2022**

Devant la commission d'examen composée de:

- Pr. EL WAHIDI FARID **Encadrant interne, (FST Marrakech)**
- Mr. ESSHAIMI MOUHSSIN **Encadrant externe, (ORMVAH)**
- Pr. IGMOU LAN BRAHIM **Examineur, (FST Marrakech)**

**2021-2022**



## *Dédicace*

A nos chers parents pour leurs amour et sacrifices.

A nos sœurs et frères pour leur soutien et encouragement.

A tous nos amis.

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

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

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

## Remerciement

À l'issue de ce stage, nous exprimons nos sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué à sa réalisation.

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

Un grand merci à notre encadrant interne Monsieur **EL WAHIDI FARID** qui a toujours éclairé notre travail avec ses recommandations aiguisées en donnant beaucoup de temps et de professionnalisme.

Monsieur **H. AALIANE** responsable du Laboratoire pédologique d'ORMVAH, pour leurs soutiens et conseils afin de mener à bien nos analyses chimiques.

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

Nos chaleureux remerciements vont également à nos chers parents pour leurs soutiens et encouragements. Ainsi qu'à nos collègues et nos amis pour leur solidarité.

Merci enfin à toutes les personnes du département de géologie de la FST de Marrakech.

# Sommaire

<b>PREAMBULE .....</b>	<b>8</b>
<b>PLAN GENERAL .....</b>	<b>8</b>
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>9</b>
<b>PROBLEMATIQUE .....</b>	<b>9</b>
<b>CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE AUTOUR DE LA SALINISATION.....</b>	<b>10</b>
1-Les zones sèches .....	11
2- Les grands types des sols agricoles au Maroc.....	11
3- La salinisation des sols .....	14
3-1 - Définition de la salinisation des sols .....	14
3-2 - Les types de la salinisation.....	14
3-3 - Les normes des sels.....	14
4- Les facteurs d'accumulation des sels .....	15
4- 1 Les facteurs naturels d'accumulation des sels .....	15
4-2- Les facteurs anthropiques .....	15
5-Les effets de la salinité .....	16
5-1-Les effets de la salinité sur le sol .....	16
5-2-Les effets de la salinité sur la végétation.....	17
6-Concentration critique Cs en sels pour différentes cultures sensibles .....	17
7- Les techniques de prévention et de correction de la salinité.....	19
<b>CHAPITRE II : CADRE GENERAL DE L'ETUDE .....</b>	<b>20</b>
I. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE .....	21
1. Le cadre géographique .....	21
2 – Le cadre climatiques .....	21
3-Le cadre Hydrologique .....	22
4- Le cadre hydrogéologique.....	22
5-Le cadre pédologique.....	23
6 –occupation du sol des terrains cultivés .....	24
II. LES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA REGION DU HAOUZ.....	25
1. Les systèmes traditionnels .....	25
1-1- Les séguias .....	25
1-2- Les puits .....	25
2. Les systèmes modernes : .....	26
2-1 -Irrigation localisée ou le goutte à goutte.....	26
2-2-Irrigation par aspersion.....	26
III. LES AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS DES SYSTEMES D'IRRIGATION.....	27
1-L'irrigation gravitaire.....	27
2- L'irrigation par aspersion .....	28
3-L'irrigation par goutte à goutte.....	28

VI. PRESENTATION DE L'OFFICE REGIONAL DE LA MISE EN VALEUR AGRICOLE DU HAOUZ (ORMVAH) .....	28
1-La zone d'action de l'ORMVAH du Haouz .....	29
2-Les Missions de l'ORMVAH .....	29
<b>CHAPITRE III : LABORATOIRE D'ANALYSE DE L'ORMVAH.....</b>	<b>30</b>
I- LES DIFFERENTES ANALYSES EFFECTUEES AU LABORATOIRE .....	31
1- La technique d'échantillonnage du sol .....	31
1.1- Le dispositif de prélèvement du sol .....	31
1.2- Le protocole d'échantillonnage du sol .....	31
II- LES POSITION DE PRELEVEMENT .....	32
<b>CHAPITRE IV : TRAVAIL AU LABORATOIRE .....</b>	<b>33</b>
1. La méthodologie du travail .....	34
1-1. La préparation de l'échantillon .....	34
1-2. Analyses physico-chimiques du sol : .....	34
<b>CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS .....</b>	<b>39</b>
I – RESULTAT ET CONCLUSION .....	40
1-Résultat des analyses du sol .....	40
1.1-Le potentiel d'hydrogène .....	40
1.2- La conductivité électrique : .....	41
1.3-La matière organique .....	45
1.4-La texture de sol.....	47
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>48</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>49</b>
<b>WEBOGRAPHIE.....</b>	<b>49</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>50</b>

## Liste des figures

Figure 1: schéma d'une coupe de sol montrant les différents horizons du sol .....	12
Figure 2: Conductivité électrique des extrais de pâte saturée des sol (dS m <sup>-1</sup> ).....	18
Figure 3: situation géographique du Haouz Central (Landsat, TM 2007) .....	21
Figure 4: Contexte hydro-climatologie de la région du Haouz (Réf ABHT, 2013) .....	22
Figure 5: : Carte piézométrique général de l'aquifère du Haouz central (Abourida, 2007). ...	23
Figure 6 : Carte pédologique du Haouz (Direction de l'agriculture du Commerce et des forêts 1951).....	24
Figure 7: occupation du sol des terrains cultivés dans la région de Haouz (ORMVAH, 2020). 24	
Figure 8: la zone d'action de l'ORMVAH (JICA, 2007).....	29

## Liste des tableaux

Tableau 1: Besoin en macro et micro-éléments pour diverses cultures annuelles .....	14
Tableau 2: Les avantages et les inconvénients de l'irrigation gravitaire.....	27
Tableau 3: Les avantages et les inconvénients de l'irrigation par aspersion. ....	28
Tableau 4: Les avantages et les inconvénients de l'irrigation par goutte à goutte .....	28
Tableau 5: pH des horizons du sol (0-30 cm ; 30-60 cm) entre l'an 2015 et 2022 pour six échantillons. ....	40
Tableau 6: Conductivité électrique (a) et quantité des sels (b) des horizons du sol (0-30 cm ; 30-60 cm) entre l'an 2015 et 2022 pour 15 échantillons.....	44
Tableau 7 : Taux de la matière organique (MO %) de l'horizon supérieur pour 5 échantillons .....	46
Tableau 8: Texture des différents échantillons en fonction de la profondeur .....	47

## Liste des photos

Photo1 : Système d'irrigation séguia.....	25
Photo2 : Système d'irrigation puits.....	26
Photo 3 : Système d'irrigation goutte à goutte.....	26
Photo4 : Système d'irrigation plein champ par l'aspersion.....	27
Photo5 : Outil de prélèvement des échantillons de sol-Tarière.....	31
Photo6 et 7 : Tamisage des échantillons de sol à 2 mm.....	34
Photo8 et 9 : Mesure de la conductivité du sol.....	36
Photo10 et11 : Pesage à l'aide de la balance électrique.....	36
Photo12 : Préparation des mélanges à l'aide de l'agitateur mécanique.....	36
Photo13 : Manipulation de Matière organique.....	37

## Liste d'abréviation

MO : matière organique  
CE : conductivité électrique

pH : potentiel d'hydrogène

P : précipitations.

ETP : évapotranspiration potentielle.

IA : indice d'aridité.

ORMVAH : Office régional de la mise en valeur agricole Haouz

## Préambule

Ce document est un rapport de stage de fin d'étude, présenté en vue de l'obtention du diplôme de licence en sciences et techniques.

L'équipe de rédaction est composée du trinôme suivant : YASSMINA BARRY et RIHAB ELALAMI et LOUBNA MESKINE.

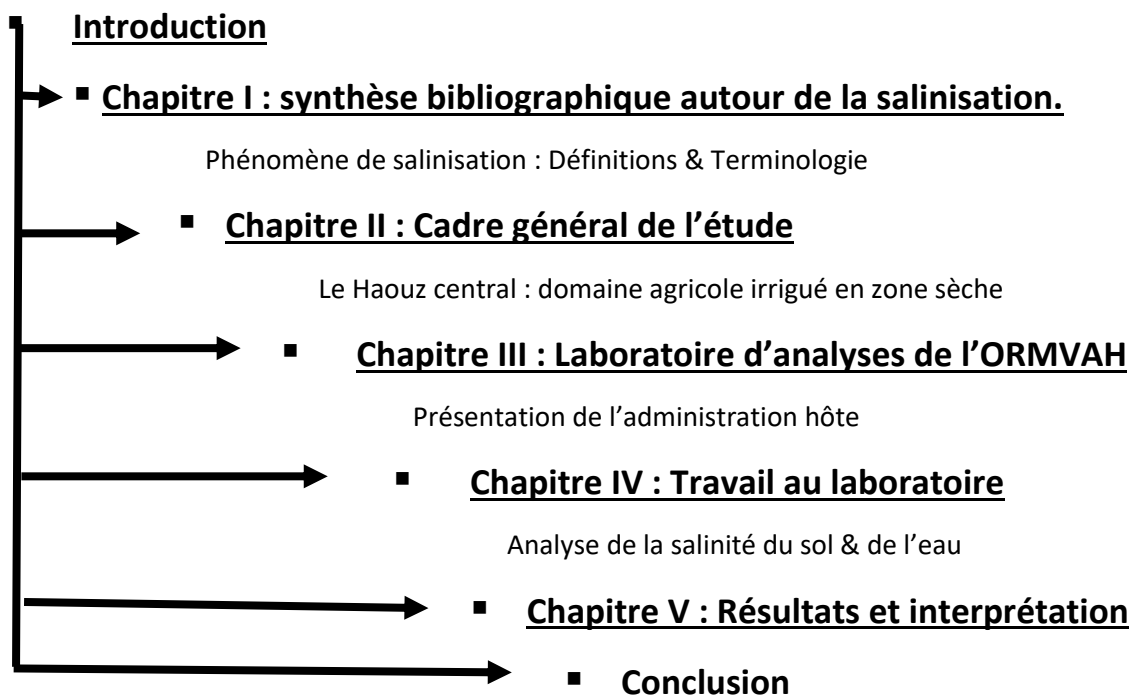
Le stage s'est déroulé au laboratoire d'analyse du sol et de l'eau relevant de l'office régional de mise en valeur agricole du Haouz (ORMVAH) sous la direction du monsieur MOUHSINE ESSHAIMI.

L'objet de ce rapport et du stage d'application est structuré en deux volets :

- Un volet bibliographique et conceptuel : à travers lequel nous tentons à comprendre les implications de la salinité des sols sur la productivité des terrains agricoles dans la région du Haouz central, un archétype des zones sèches. Il consiste également à comprendre les mécanismes de salinisation des sols agricoles irrigués et particulièrement l'irrigation par goûte à goûte.

- Un volet pratique : qui consiste, à travers des analyses laboratoires des échantillons du sol, à faire un suivi de l'évolution des concentrations des principaux éléments minéraux responsables de la salinité du sol.

## Plan général





## Introduction

Le Maroc est un pays aride et désertique, en effet 93% du territoire national se situe dans des étages bioclimatiques semi-arides, arides et désertiques. Au regard de cette inévitabilité climatique de sécheresse et aussi aux surexploitations des ressources hydrauliques, le Maroc fait face toujours à des défis pour améliorer le domaine agricole.

A l'occasion de préparation de notre projet de fin d'étude et notre stage au sein de l'ORMVAH, nous avons eu la chance d'aborder l'une des problématiques qui touche à la productivité agricole à savoir la salinité des sols.

Comme nous savons tous, la région du Haouz central est caractérisée par une forte pression démographique, urbanistique, économique et sociale. Il en résulte une surexploitation des ressources en eau très accentuée encore par l'impact des périodes successives de sécheresse. Pour faciliter la gestion des ressources en eau, l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Haouz (ORMVAH) possède un plan d'aménagement dans cette région qui se base sur des systèmes rationnels d'irrigation afin de mieux répondre aux besoins en agriculture.

L'objectif de notre travail se décline des points suivants :

- Étude de la qualité du sol de 15 échantillons récoltés sur des parcelles agricoles.
- Suivi de la qualité du sol par rapport à l'état de référence (irrigation gravitaire).
- Détermination de l'impact de l'irrigation localisée sur la qualité du sol.

## Problématique

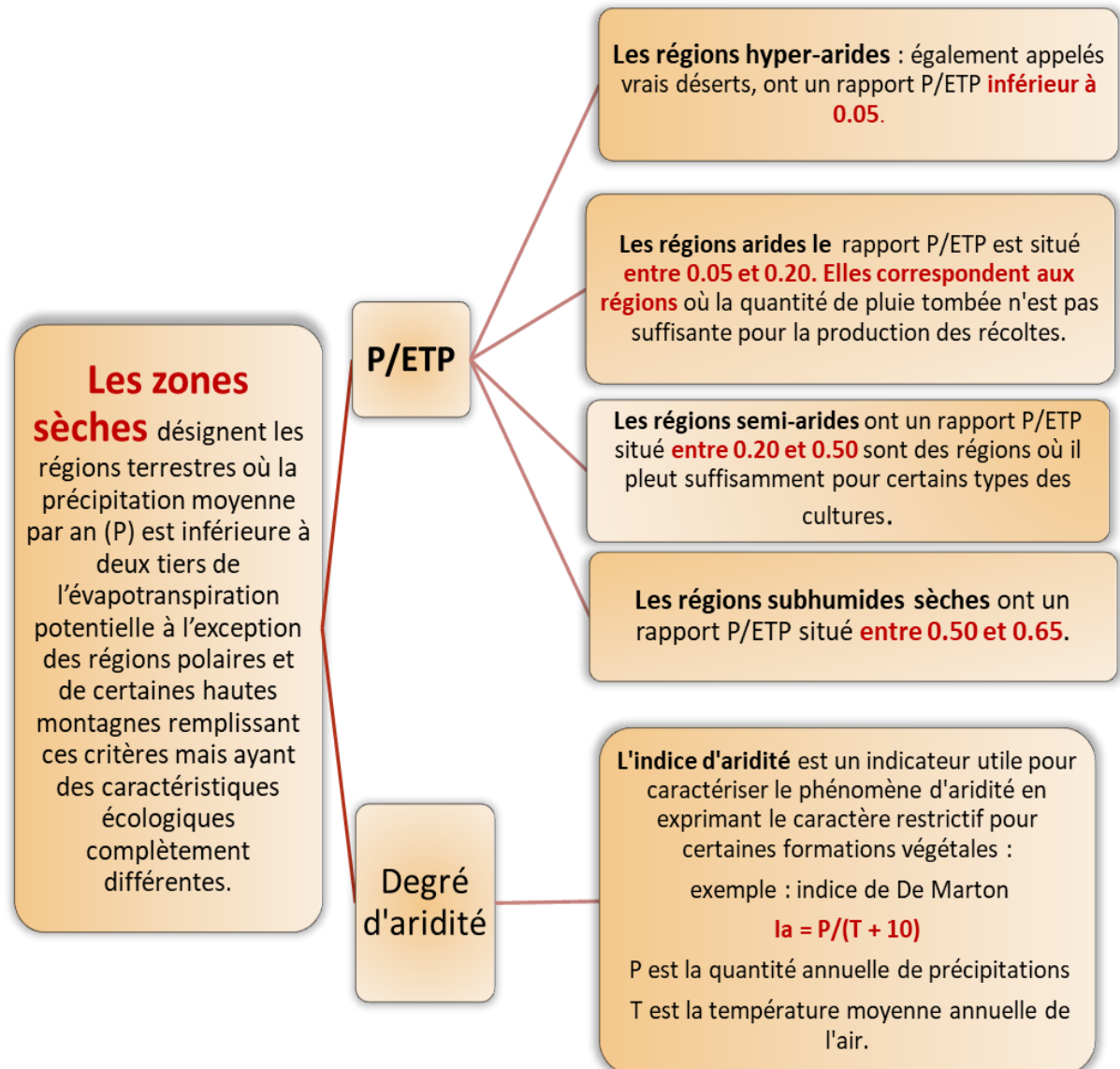
Nous avons effectué un stage au sein du laboratoire d'ORMVAH dans le but de mener une étude sur la région de HAOUZ CENTRAL. Cette étude pratique vise à identifier les caractéristiques des deux composants de vie sol et l'eau pour déceler l'effet du sol et des ressources en eau sur la mise en place d'une agriculture productive au sien de la région de HAOUZ CENTRAL cela nous mène à poser la problématique suivante :

Salinisation des sols agricoles dans le Haouz central suite à l'irrigation par goût à goût.

**Chapitre I : Synthèse bibliographique**  
**autour de la salinisation.**

## 1-Les zones sèches

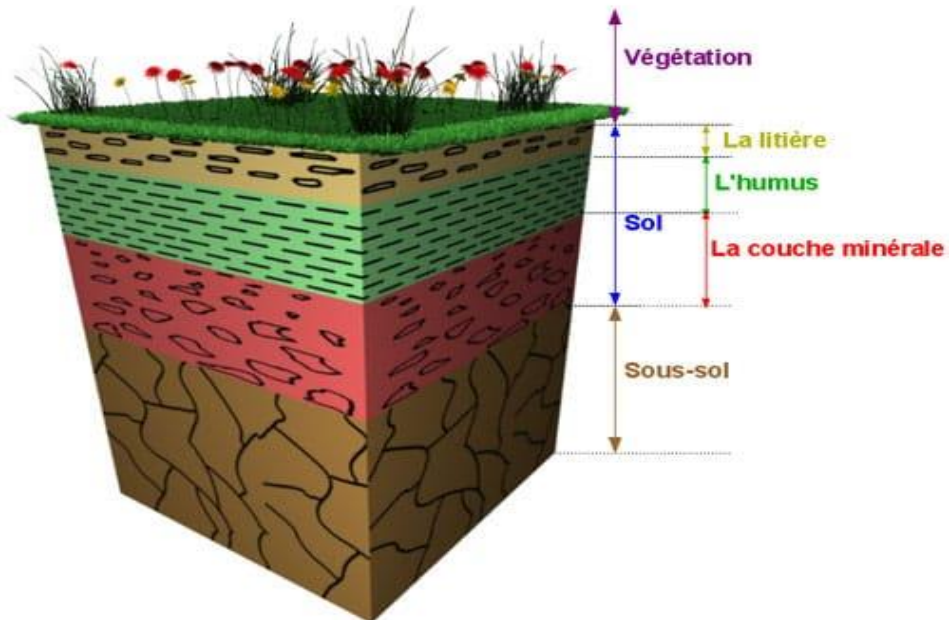
Les zones sèches correspondent aux régions bioclimatiques : subhumide ; semi-aride ; aride et désertique. Ce sont des zones connues par leur déficit hydrique et une production primaire réduite.



## 2- Les grands types des sols agricoles au Maroc

Le sol est un volume qui s'étend depuis la surface de la Terre jusqu'à une profondeur marquée par l'apparition d'une roche dure ou meuble, peu altérée, ou peu marquée par la pédogenèse. L'épaisseur du sol peut varier de quelques centimètres à quelques dizaines de mètres, ou plus. Il constitue, localement, une partie de la couverture pédologique qui s'étend à l'ensemble de la surface de la Terre. Il comporte le plus souvent plusieurs horizons correspondant à une organisation des constituants organiques et/ou minéraux (la terre). Cette organisation est le

résultat de la pédogenèse et de l'altération du matériau parental. Il est le lieu d'une intense activité biologique (racines, faune et micro-organismes).



**Titre: Schéma d'une coupe de sol**

Figure 1: schéma d'une coupe de sol montrant les différents horizons du sol

L'observation du terrain et l'analyse de laboratoire des prélèvements de sol permettent de caractériser les potentialités et les contraintes de développement des cultures. Il existe différents types de sol au Maroc :



### 1 – TIRS :

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



### 2 – HAMRI :

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



### 3 – RMEL :

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



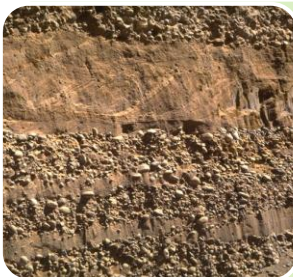
### 4 – HARCH :

Sols profonds dont la couleur varie selon leur situation alors que leur texture est généralement grossière. La teneur en matière organique est variable selon les apports



### 5 – BIAD :

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



### 6 – DEHS :

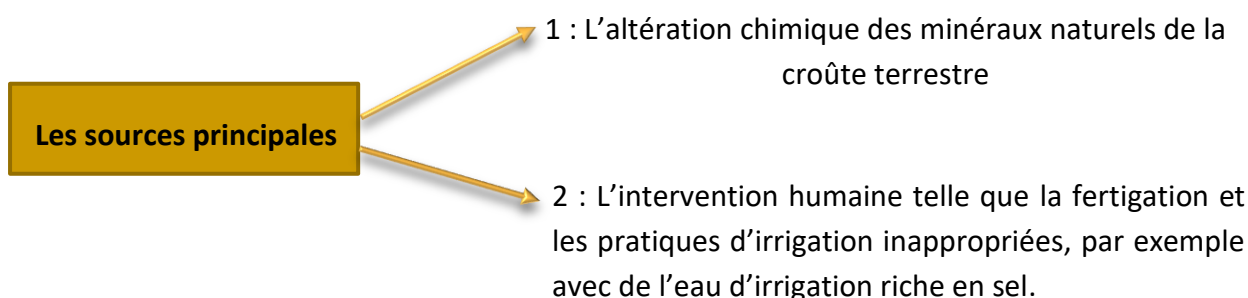
Sols très profonds, de texture grossière à très grossière, dont la genèse est dominée par des apports fluviatiles. Leur teneur en matière organique est variable. Ils sont situés le plus souvent aux bords des oueds.

### 3- La salinisation des sols

#### 3-1 - Définition de la salinisation des sols

La salinisation est l'accumulation de sels hydrosolubles dans le sol. Ces sels sont le potassium (K), le magnésium ( $Mg^{2+}$ ), le calcium ( $Ca^{2+}$ ), le chlorure ( $Cl^-$ ), le sulfate ( $SO_4^{2-}$ ), le carbonate ( $CO_3^{2-}$ ), l'hydrogénocarbonate ( $HCO_3^-$ ) et le sodium ( $Na^+$ ).

Les sels se dissolvent et se déplacent avec l'eau. Quand l'eau s'évapore, les sels se déposent.



#### 3-2 - Les types de la salinisation

- **La salinisation primaire** est liée à une présence naturelle relativement élevée de sels (à proximité des mers ou des océans, présence de dépôts de sels...).  
La salinisation primaire implique l'accumulation de sel par des processus naturels en raison d'une salinisation et d'une sodification élevées.
- **La salinisation secondaire** est étroitement liée à l'irrigation, c'est un processus de dégradation de la qualité des sols et des eaux qui s'auto-entretient lorsque les eaux de drainage ou de la nappe phréatique sont recyclées.

**Alors :**

- Source naturelle  $\Rightarrow$  Salinisation primaire
- Source humaine ou anthropique  $\Rightarrow$  Salinisation secondaire

#### 3-3 - Les normes des sels

Tableau 1: Besoin en macro et micro-éléments pour diverses cultures annuelles

			<b>Normes naturelles</b>
<b>Macroéléments</b>	Azote	N	100-300 kg /ha
	Potassium	K	100-400 kg/ha
	Calcium	Ca	40-200 kg/ha
	Phosphore	P	20-50 kg/ha
	Soufre	S	10-40 kg/ha
	Magnésium	Mg	10- 30 kg/ha
<b>Microéléments</b>	Fer	Fe	1000-2000 g/ha
	Manganèse	Mn	150 -700 g/ha
	Zinc	Zn	100-300 g/ha

Les macro-éléments et les micro-éléments ce sont des éléments nutritifs qui assurent la croissance et le développement des plantes, les normes du tableau 1 peuvent varier selon les types des cultures.

## 4- Les facteurs d'accumulation des sels

### 4-1 Les facteurs naturels d'accumulation des sels

- **Invasion marine ou Biseau marin** : Le phénomène de l'invasion marine, qui peut s'étendre sur plusieurs kilomètres à l'intérieur des terres est d'un grand risque pour les régions côtières tributaires des eaux souterraines. Sous certaines conditions, l'eau salée se propage à l'intérieur des terres et contamine les eaux de la nappe située à proximité de la mer. Par conséquent, cette invasion aura pour effet une dégradation des sols à cause de la salinisation des eaux d'irrigation (Morsli, 2007). En effet, la remobilisation d'eau marine piégée lors d'intrusions marines est un phénomène qui contribue largement à la salinisation des nappes.

-**Infiltration** : L'infiltration des eaux souterraines dans des zones se trouvant en-dessous du niveau de la mer, à savoir des micro-dépressions avec peu de drainage ou sans drainage provoquent une salinisation des ressources en eaux et en sols.

-**Inondation** : Les eaux d'inondation provenant des zones qui comportent des substrats géologiques libérant de grandes quantités de sels peuvent causer la salinisation des eaux et des sols.

-**Climat** : Les conditions d'aridité du climat et leurs conséquences hydrologiques sont des facteurs fondamentaux de la formation des eaux salines (Margat, 1961). En effet, plusieurs études ont montré que les climats arides, semi-arides et chauds sont ceux qui conviennent le mieux à la fois à la mobilisation et à l'accumulation des évaporites dans le sol.

-**Vent (embruns marins)** : L'action du vent dans les zones côtières, peut souffler des quantités modérées de sels vers les terres et susciter leur éventuelle salinisation.

### 4-2- Les facteurs anthropiques

- **L'irrigation** : L'irrigation avec des eaux riches en sels peut entraîner la fixation de sodium par le complexe adsorbant du sol, donc un processus de salinisation, avec ses conséquences éventuelles pour les propriétés du sol : tendance à la dispersion des argiles, à la dégradation de la structure, à la perte de perméabilité et à l'asphyxie des plantes. L'intensité du processus de salinisation dépend des caractéristiques du sol, de la qualité des eaux utilisées, des conditions de leur emploi et en particulier de l'efficacité du système de drainage. Cependant ces pratiques d'irrigation accroissent le risque de salinisation.

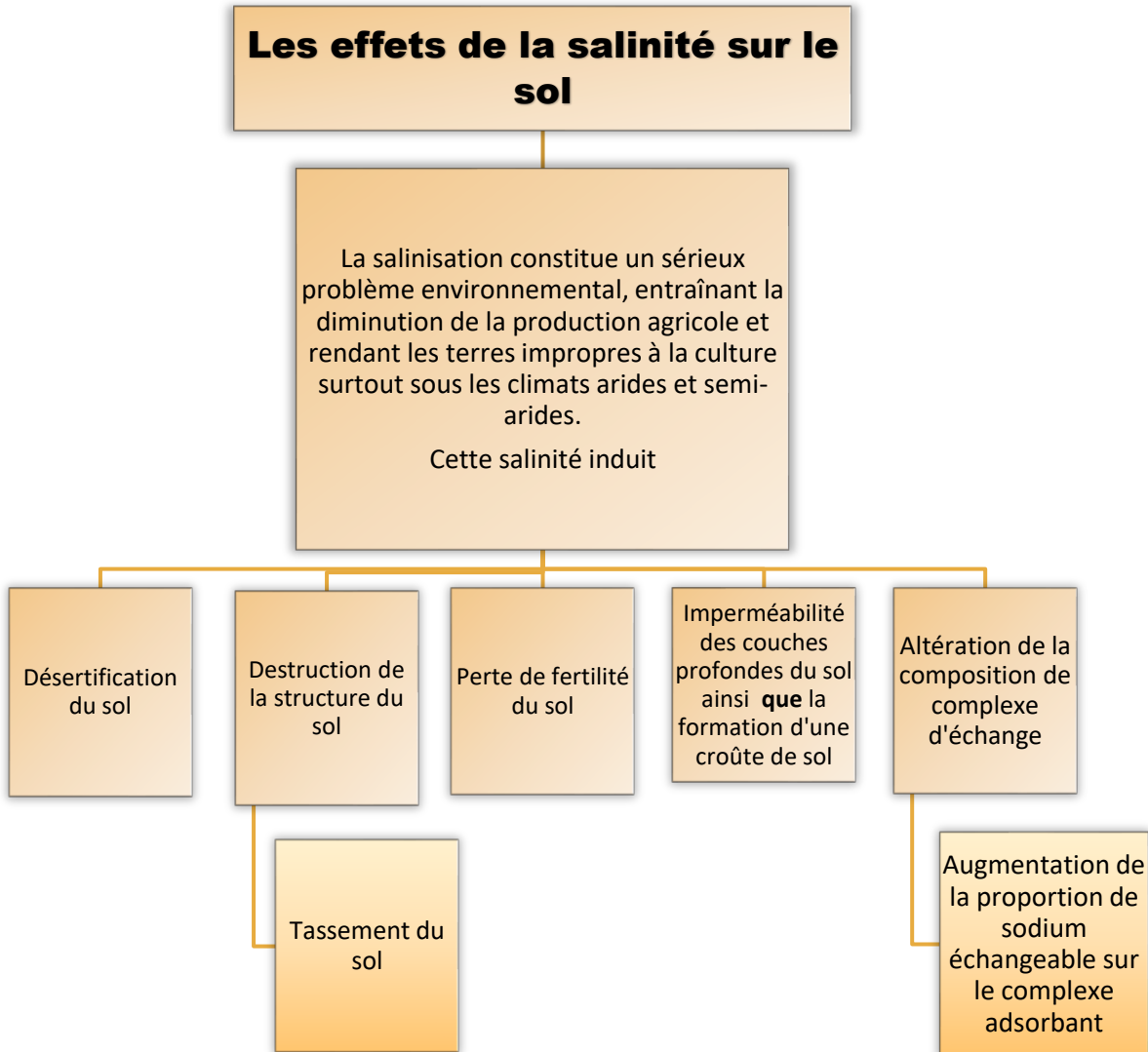
-**Élévation de la nappe phréatique** : l'utilisation excessive d'eaux pour l'irrigation couplée à la mauvaise gestion du drainage cause la salinisation et la solidification des sols suite à la remontée de la nappe phréatique à des niveaux très proches de la surface du sol.

-**Eaux usées** : La réutilisation des eaux usées pour l'irrigation devient de plus en plus une pratique courante notamment dans les pays semi-arides et arides. Les eaux usées épurées sont riches en éléments majeurs comme l'azote, le phosphore, et le potassium.

A titre indicatif, l'application d'une lame d'eau usée épurée de 100 mm apporte sous forme minérale (traitement par lagunage à Ouarzazate) 15.5 kg N/ha, 11.2 kg P/ha et 27.4 kg K/ha

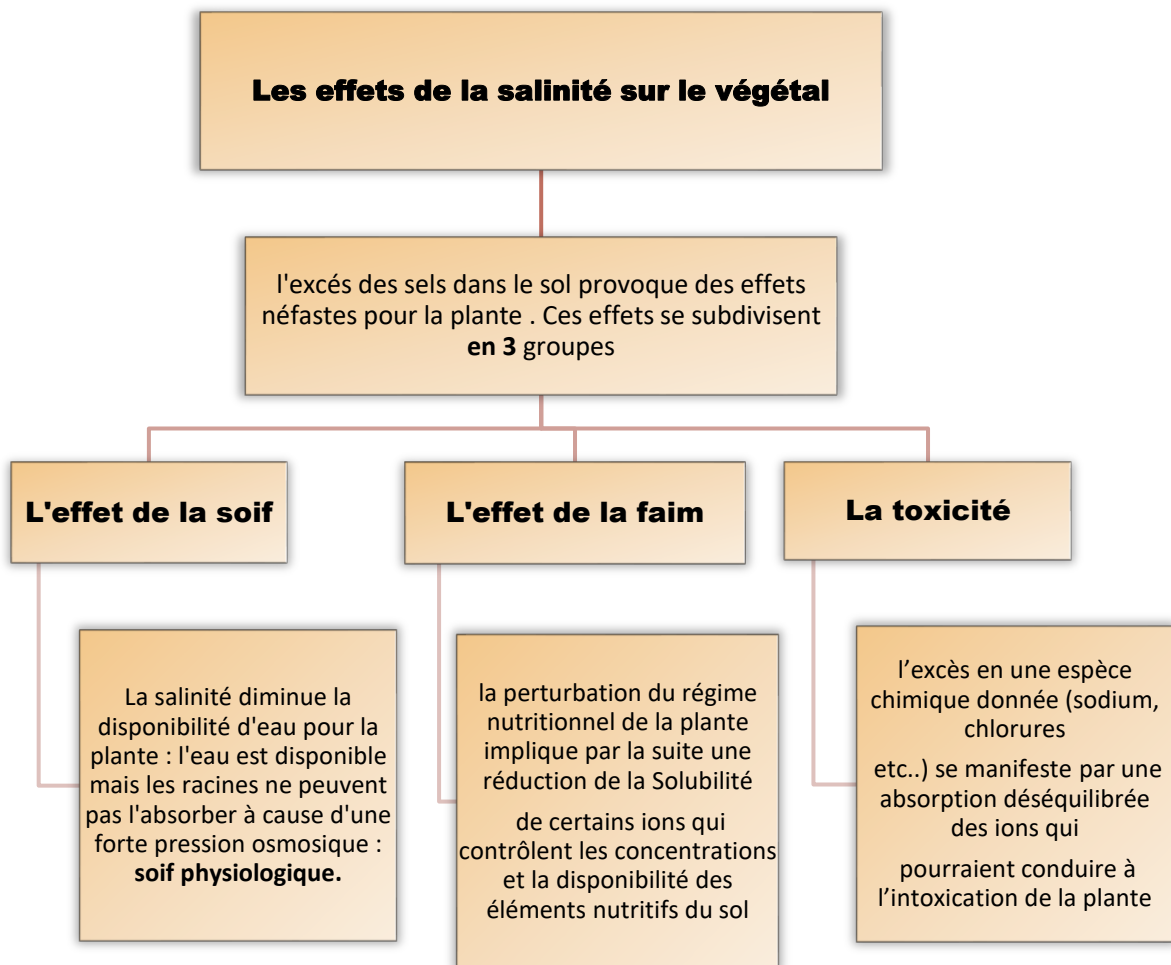
## 5-Les effets de la salinité

### 5-1-Les effets de la salinité sur le sol





## 5-2-Les effets de la salinité sur la végétation



## 6-Concentration critique Cs en sels pour différentes cultures sensibles

La conductivité électrique est l'une des paramètres fondamentaux qui influencent sur le choix des cultures, d'une autre manière chaque type de la culture a des conditions de vie pour avoir un bon rendement agricole, il y en a les classes suivantes :

### -Cultures sensibles :

$Cs1 = 2 \text{ ms. cm}^{-1} (1.3 \text{ g. l}^{-1})$

La plupart des fruits et arbres fruitiers ; quelques légumes (carotte, haricot, salade, radis)

### -Cultures à tolérance moyenne :

$Cs = 4 \text{ ms. cm}^{-1} (2.5 \text{ g. l}^{-1})$

Légumes, grandes cultures, quelques fruits (olive, raisin, figue, grenade,)

### -Cultures tolérantes :

$Cs = 8 \text{ mS .cm}^{-1} (5 \text{ g. l}^{-1})$

Prairies, coton, orge, colza, betterave à sucre, dattier,)

$1Cs$  : seuil critique au-dessus duquel une chute de rendement significative se manifeste (mesuré sur un extrait de pâte saturée).  $C (\text{g. l}^{-1}) \cong 0.64 \text{ CE (mS. Cm}^{-1})$ .

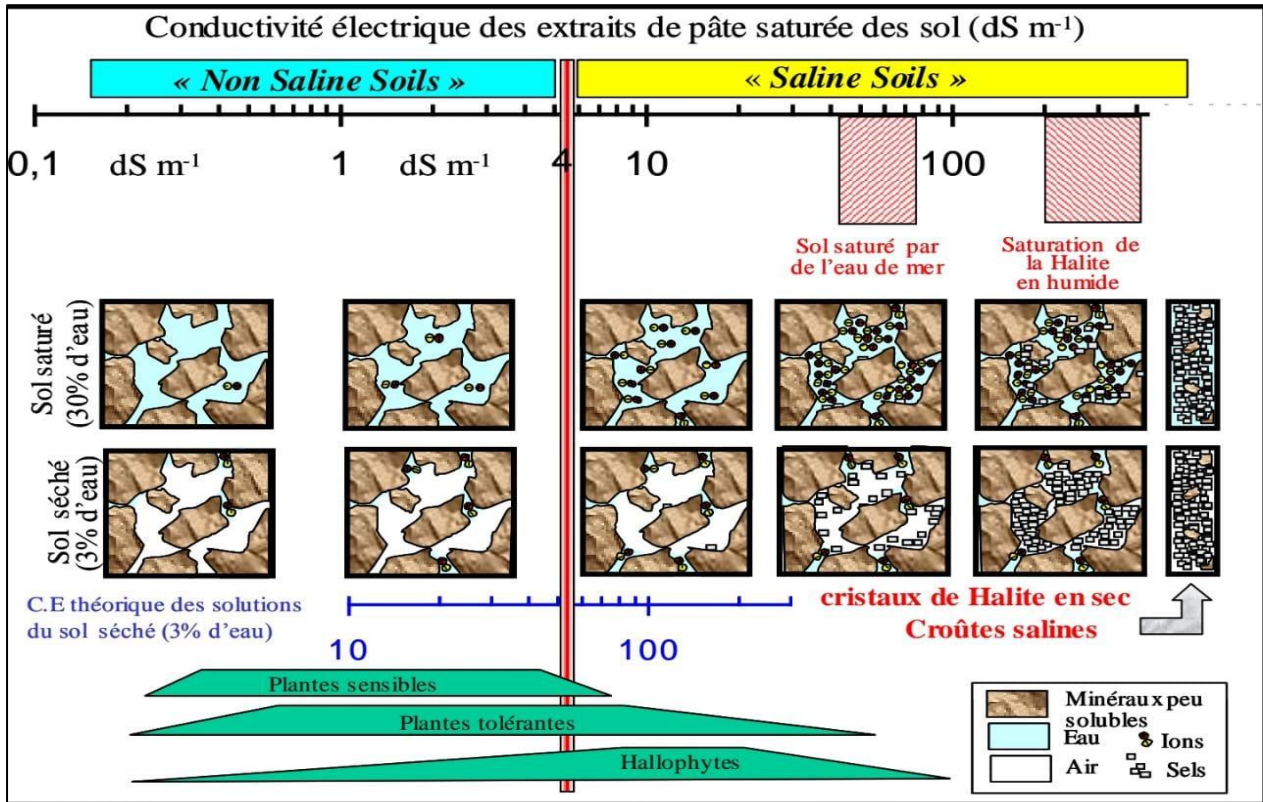
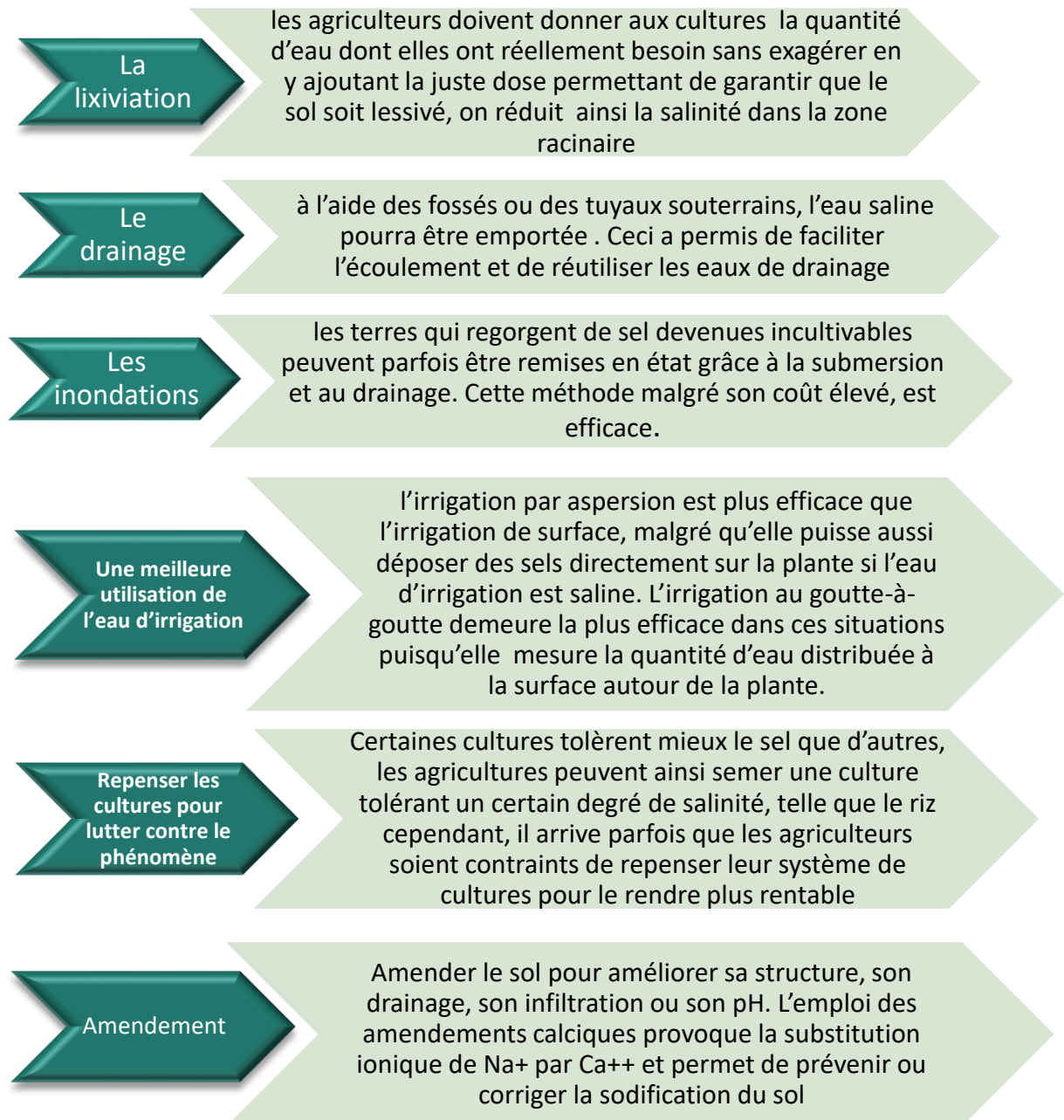


Figure 2: Conductivité électrique des extraits de pâte saturée des sol ( $\text{dS m}^{-1}$ )

## 7- Les techniques de prévention et de correction de la salinité

Pour prévenir les risques de salinité des sols, il existe plusieurs techniques qui agissent selon la méthode utilisée : La méthode d'irrigation, le choix de cultures, et l'amendement.



## **Chapitre II : Cadre général de l'étude**

# I. Présentation de la zone d'étude

## 1. Le cadre géographique

Le Haouz central est un vaste couloir sous forme de plaines, de superficie estimée à 2000 km<sup>2</sup>. Il est délimité au nord par les Jbilet, au sud par les chaînes montagneuses du Haut Atlas, et par Oued R'Dat à l'est et Oued N'fis à l'ouest (Abourida 2007)

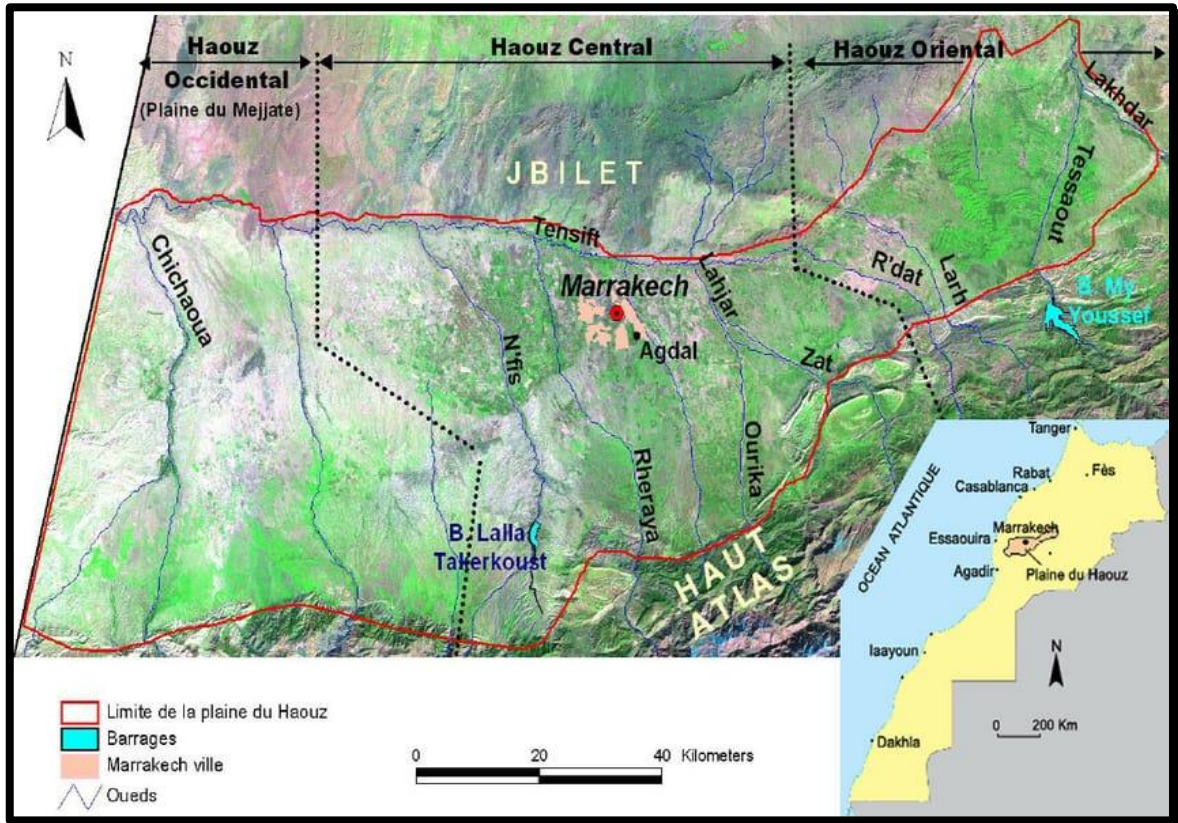


Figure 3: situation géographique du Haouz Central (Landsat, TM 2007)

## 2 – Le cadre climatiques

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

Il est caractérisé par :

- Des pluies faibles et variables avec une moyenne annuelle de l'ordre de 240 mm pour 40 jours de pluie environ ;
- Les températures maximales sont enregistrées au cours des mois de Juillet et d'Août, alors que les températures minimales sont enregistrées en Janvier et Décembre.
- Une température moyenne élevée, avec des écarts journaliers et mensuels importants. La moyenne des maxima (Juillet) est de 37 ° C et la moyenne des minima (Janvier) est de 4 ° C ;
- Une très forte évaporation : l'évaporation moyenne annuelle est d'environ 2.300 mm

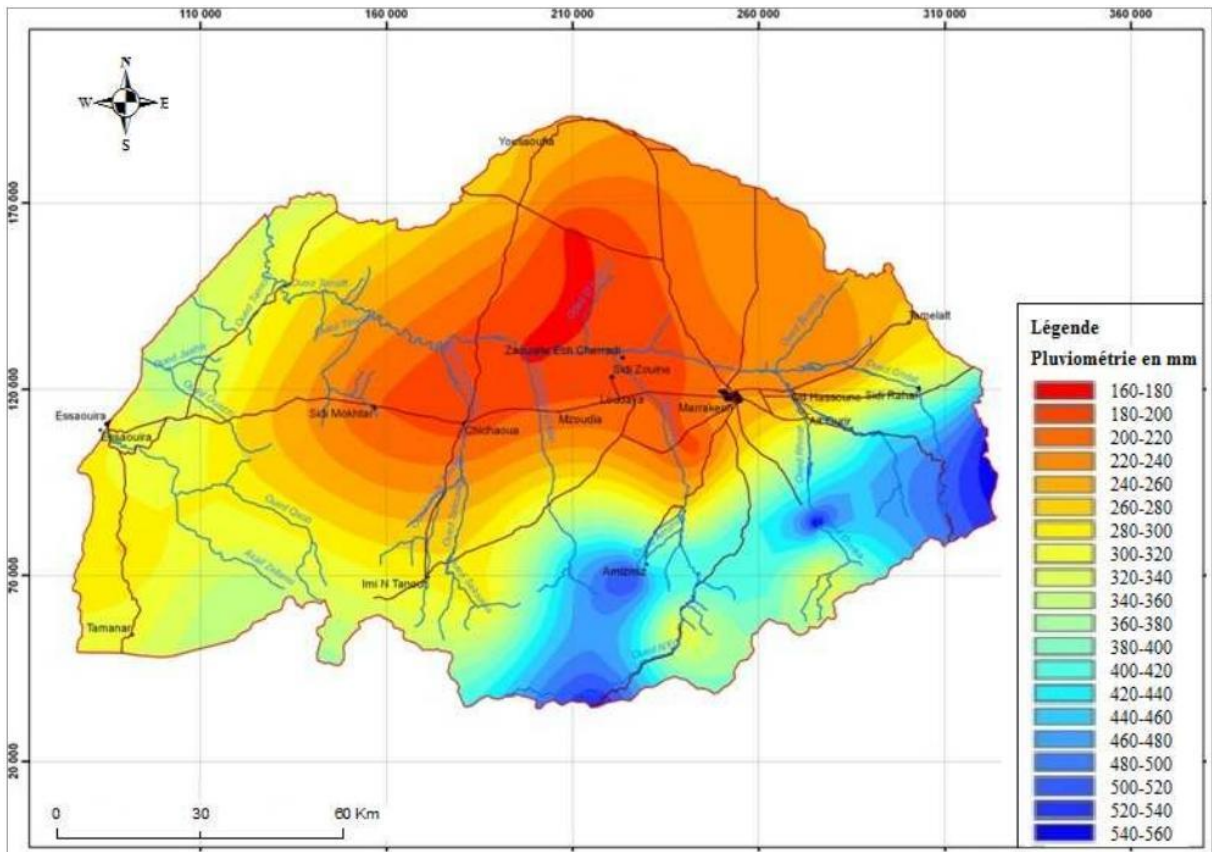


Figure 4: Contexte hydro-climatologie de la région du Haouz (Réf ABHT, 2013)

### 3-Le cadre Hydrologique

Le réseau hydrographique de la plaine du Haouz est constitué de deux systèmes, le Lakhdar-Tasseout et le Tensift

Le système Lakhdar-Tasseout : est situé à l'est de la plaine, dont l'écoulement se fait du sud vers le nord. La pente moyenne de l'oued est assez forte.

Le système de l'oued Tensift : est alimenté par les affluents atlasiques : R'dat, Ourika, Rheraya, N'Fis et Chichaoua. (Projet Sud Med, Hydrogéologie de la plaine du Haouz)

### 4- Le cadre hydrogéologique

#### ➤ Description de la nappe du Haouz :

Parmi les différentes nappes existantes, l'unique nappe qui présente une réelle importance dans la plaine du Haouz est la nappe phréatique du Haouz. Elle est limitée au Nord par les schistes imperméables des Jbilet, au Sud par la bordure nord du Haut Atlas, à l'Ouest par les calcaires du plateau de Chichaoua et à l'Est par l'Oued Lakhdar.

Les eaux de cette nappe circulent dans les alluvions et conglomérats du quaternaires ayant une hétérogénéité complexe, tant horizontale que verticale.

Cette complexité est à l'origine de la variation des caractéristiques hydrodynamiques de cette nappe.

La carte piézométrique (Fig.5) montre que l'écoulement s'effectue généralement du Sud vers le Nord, avec des zones de forts gradients hydrauliques au sud de la plaine, alors que vers le Nord les surfaces libres s'adoucissent très nettement.

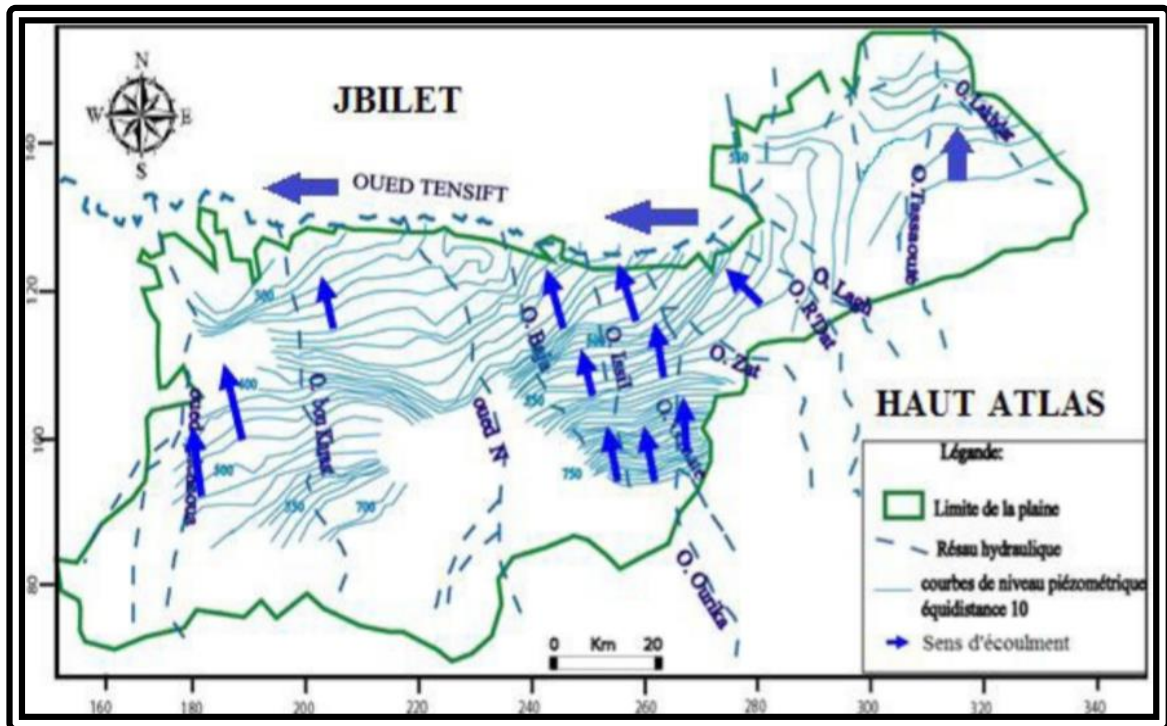


Figure 5: : Carte piézométrique général de l'aquifère du Haouz central (Abourida, 2007).

## 5-Le cadre pédologique

La dernière étude pédologique fut réalisée en 1951, au niveau de toute la plaine du Haouz. Elle a révélé la présence de quatre types de sol de différentes natures : Rouge, gris, Châtain et bruns. Leur texture est généralement limono-argileuse, limoneuse et limono-sableuse.

Dans le Haouz central le sol est constitué essentiellement par : des sables fins, des limons roses et des argiles rouges. Ils sont généralement pauvres en matière organique naturelle surtout dans les terrains cultivés. (Abourida, 2007)

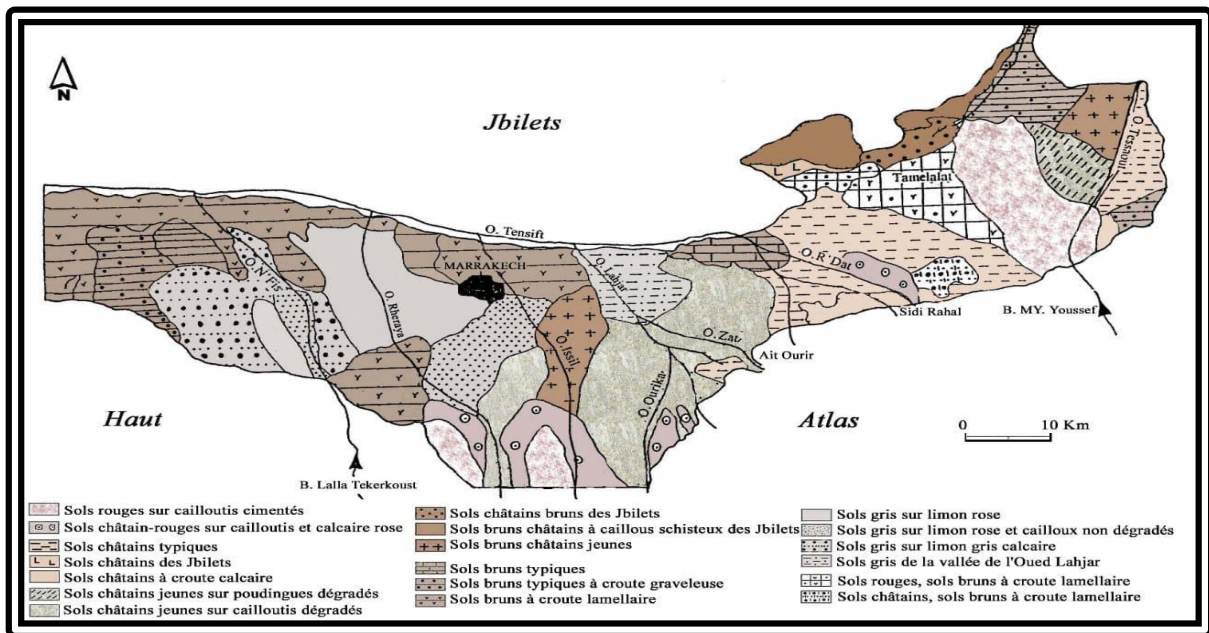


Figure 6 : Carte pédologique du Haouz (Direction de l'agriculture du Commerce et des forêts 1951).

## 6 –occupation du sol des terrains cultivés

D'après les statistiques de l'ORMVAH, 57,4 % des sols irrigués de la plaine sont destinés à la céréaliculture, 30,4 % à l'Olivier, 6 % à la production de fourrage (luzerne et bersim) et 1,9 % au maraîchage qui alimente la ville de Marrakech, et 1,9 % à la rosacée, 1,6% aux agrumes, 0,6% à la vigne.

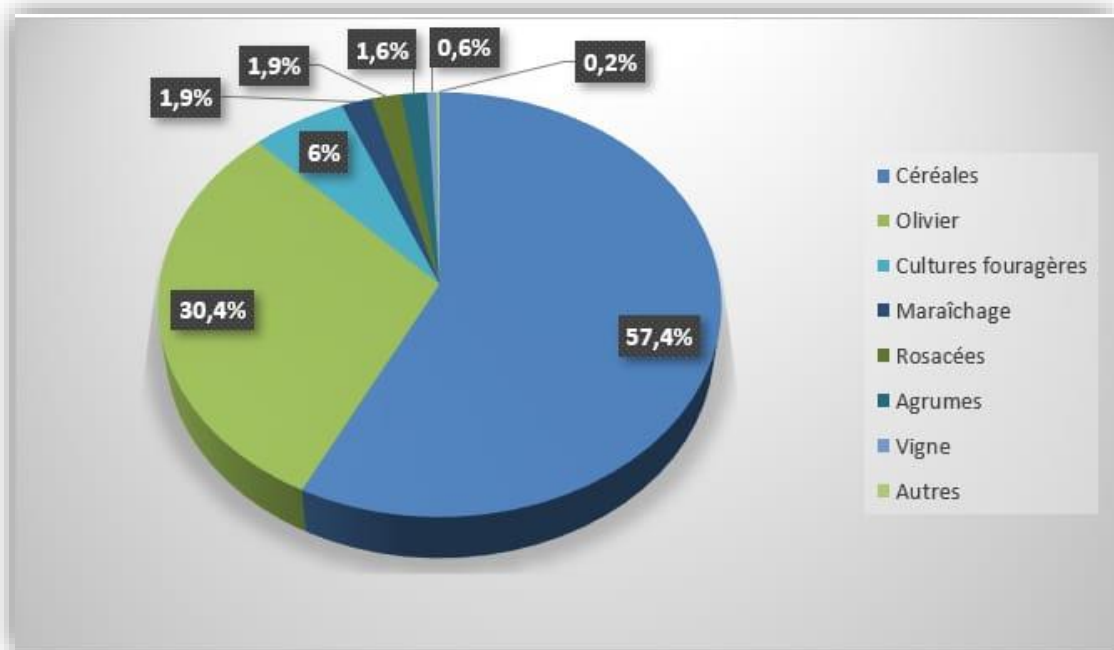


Figure 7: occupation du sol des terrains cultivés dans la région de Haouz (ORMVAH, 2020)



## II. Les systèmes d'irrigation dans la région du Haouz

Au Maroc, l'agriculture consomme entre 80% et 90% des ressources en eau. Les données disponibles montrent que les performances des systèmes d'irrigation actuels sont restées faibles à très moyennes.

Plus spécifiquement le Haouz est une région de très longue tradition d'agriculture irrigués, mais la sévérité des conditions climatiques résulte un manque d'eau dans la région ce qui constitue un vrai défi pour l'ORMVAH. Il a ainsi élaboré un plan d'aménagement dans la région pour faciliter la gestion des ressources en eau. Celle-ci se base principalement sur deux systèmes d'irrigation :

Les systèmes traditionnels et Les systèmes modernes.

### 1. Les systèmes traditionnels

#### 1-1- Les séguias

La Seguia est un canal d'irrigation à ciel ouvert, que l'on rencontre souvent dans les oasis. Compte tenu des climats des régions concernées, ces systèmes rudimentaires impliquent d'importantes pertes d'eau par évaporation.

Ce système d'irrigation gravitaire représente environ 80% de la superficie des grands périmètres irrigués du Maroc, par conséquent, les pertes en eau restent importantes.



**Photo 1 : Système d'irrigation par séguia**

#### 1-2- Les puits

Un puits à eau : est le résultat d'une excavation ou terrassement vertical, mécanisé (par forage etc....) ou manuel, permettant l'exploitation d'une nappe d'eau souterraine, autrement dit un aquifère. L'eau peut être remontée au niveau du sol grâce à un seau ou une pompe.



**Photo.2 : Système d'irrigation à partir d'un puits**

## **2. Les systèmes modernes :**

Ces systèmes sont composés de techniques modernes, plus efficaces permettant de réduire la consommation d'eau, mais nécessitent une infrastructure coûteuse. Elles sont deux types :

- . Le système de goutte - à - goutte**
- . Le système d'irrigation par aspersion**

### **2-1 -Irrigation localisée ou le goutte à goutte**

Cette technique consiste à apporter l'eau sous faible pression jusqu'aux racines et à la distribuer au compte - goutte, à l'aide de petits tuyaux, posés sur le sol ou enterrés. On irrigue avec précision et on fait des économies d'eau considérables ; ce système n'humidifie que la partie de terre située au voisinage immédiat des racines et limite les pertes par évaporation, ruissellement ou infiltration profonde.



**Photo.3 : Système d'irrigation type : goutte à goutte**

### **2-2-Irrigation par aspersion**

L'irrigation par aspersion est différente dans son principe car elle n'utilise pas la gravité mais des canalisations enterrées où l'eau circule sous forte pression. Ces canalisations distribuent

l'eau à des tuyaux mobiles qui alimentent des systèmes d'aspersion. L'aspersion permet de grandement limiter la consommation d'eau. Cette forme d'irrigation est adaptée à toutes les configurations et natures de terrains, ainsi qu'à toutes les cultures.



**Photo4 : Système irrigation plein champ par l'aspersion**

### **III. Les avantages et les inconvénients des systèmes d'irrigation**

Les avantages et les inconvénients de chaque type d'irrigation sont résumés dans les tableaux ci-dessous :

#### **1-L'irrigation gravitaire**

Tableau 2: Les avantages et les inconvénients de l'irrigation gravitaire.

Les avantages	Les inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Les coûts d'investissement sont souvent relativement faibles.</li> <li>➤ Les besoins énergétiques sont faibles ou nuls.</li> <li>➤ Les techniques sont anciennes, bien connues et sont insensibles au vent.</li> <li>➤ Ils contribuent à l'alimentation des nappes phréatiques.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Le besoin en main d'œuvre est important.</li> <li>➤ Les techniques inadaptées sur des sols filtrants, pertes d'eau (et parfois des vols) dans les canaux selon la nature du sol.</li> <li>➤ La nécessité d'un terrain plat ou un nivellement.</li> <li>➤ La pollution est possible par déversement</li> </ul>

## 2- L'irrigation par aspersion

Tableau 3: Les avantages et les inconvénients de l'irrigation par aspersion.

Les avantages	Les inconvénients
<ul style="list-style-type: none"><li>➤ La seule méthode permettant d'arroser convenablement, les sols trop perméables pour être irrigués par ruissellement.</li><li>➤ Elle permet un dosage précis, d'où une économie d'eau.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Le coût élevé des installations.</li><li>➤ La mauvaise répartition de l'eau dans les régions ventées</li><li>➤ Le mouillage des feuilles.</li><li>➤ Le développement des mauvaises herbes.</li></ul>

## 3-L'irrigation par goutte à goutte

Tableau 4: Les avantages et les inconvénients de l'irrigation par goutte à goutte

Les avantages	Les inconvénients
<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Le contrôle précis des quantités d'eau apportées à condition que l'installation soit bien dimensionnée.</li><li>➤ L'insensibilité au vent.</li><li>➤ La distribution dans le champ est uniforme,</li><li>➤ L'eau est apportée directement à l'endroit nécessaire, au niveau des racines.</li><li>➤ La possibilité d'apporter et de fractionner.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Le coût initial est plus élevé.</li><li>➤ La nécessité de filtrer l'eau pour Minimiser le risque de colmatage.</li><li>➤ La prise en compte limitée des pluies.</li><li>➤ Le traitement préventif contre l'intrusion des racines à l'intérieur des goutteurs.</li></ul>

## VI. Présentation de l'Office Régional de la Mise en Valeur Agricole du Haouz (ORMVAH)

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

## 1-La zone d'action de l'ORMVAH du Haouz

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

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

- La préfecture de Marrakech - Ménara (8 communes rurales) : 134 000 ha.
- La province du Haouz (11 communes rurales) : 143 000 ha.
- La province d'El Kelaa des Sraghnas (38 communes rurales) : 342 875 ha.
- La province de Rhamna (4 communes rurales) : 43 125 ha.

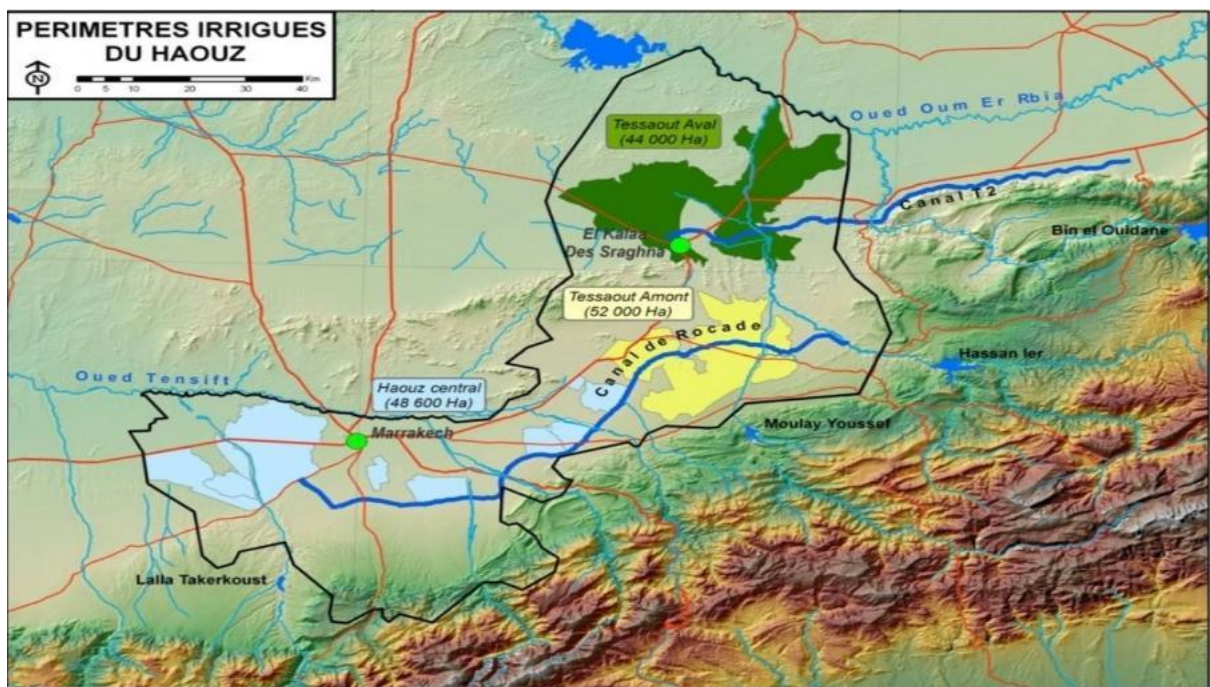


Figure 8: zone d'action de l'ORMVAH (JICA, 2007)

## 2-Les Missions de l'ORMVAH

- La réalisation des études et l'exécution des équipements hydro-agricoles et de mise en valeur agricole.
- La gestion des équipements hydro agricoles et des ressources en eau à usage agricole.
- La vulgarisation des techniques culturales et formation professionnelle.
- Le développement de la production végétale et animale.
- La promotion de l'agro-industrie.

**Chapitre III : Laboratoire D'analyse  
de l'ORMVAH**

## I- Les différentes analyses effectuées au laboratoire

### 1- La technique d'échantillonnage du sol

- Le prélèvement des échantillons (terre) :

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

- Les prélèvements sont réalisés par une équipe professionnelle qui s'assure du bon déroulement des opérations d'échantillonnage. Au total, 15 échantillons des sols ont été prélevés du sol de 15 parcelles irriguées avec deux horizons :

Horizon 1 : 0-30 cm ; Horizon 2 : 30 -60 cm.

#### 1.1- Le dispositif de prélèvement du sol

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



**Photo 5 : Outil de prélèvement des échantillons de sol-Tarière.**

#### 1.2- Le protocole d'échantillonnage du sol

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

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

- Il faut tenir compte des éléments susceptibles d'influencer le prélèvement (Conditions hygrométriques (sol ni trop sec ni trop humide en évitant les périodes de pluie), température, localisation, description du site ...)
- La collecte de l'échantillon dans un récipient de collecte en adéquation avec les analyses prévues et la description de l'échantillon.
- Pour des raisons d'homogénéité, il est recommandé des subdiviser le champ selon sa couleur, l'orientation de la pente et ses pratiques de cultures.

- Des échantillons de sols ont été effectués en parallèle de l'échantillonnage des eaux, nous avons effectué des prélèvements du sol des parcelles par ces eaux.
  - Afin d'étudier une caractérisation à l'échelle verticale, nous avons procédé à un prélèvement à l'aide d'une tarière agricole dans les horizons 0-30 cm, et 30-60 cm
  - Le matériel nécessaire utilisé pour le prélèvement des échantillons est le suivant :
    - Une tarière en acier inoxydable pour éviter toute contamination.
    - Les seaux pour collecter l'échantillon
    - Des gants de terrain en prévision d'éventuelles ampoules.
    - Des sacs supplémentaires + marqueurs indélébiles.

## II- Les position de prélèvement

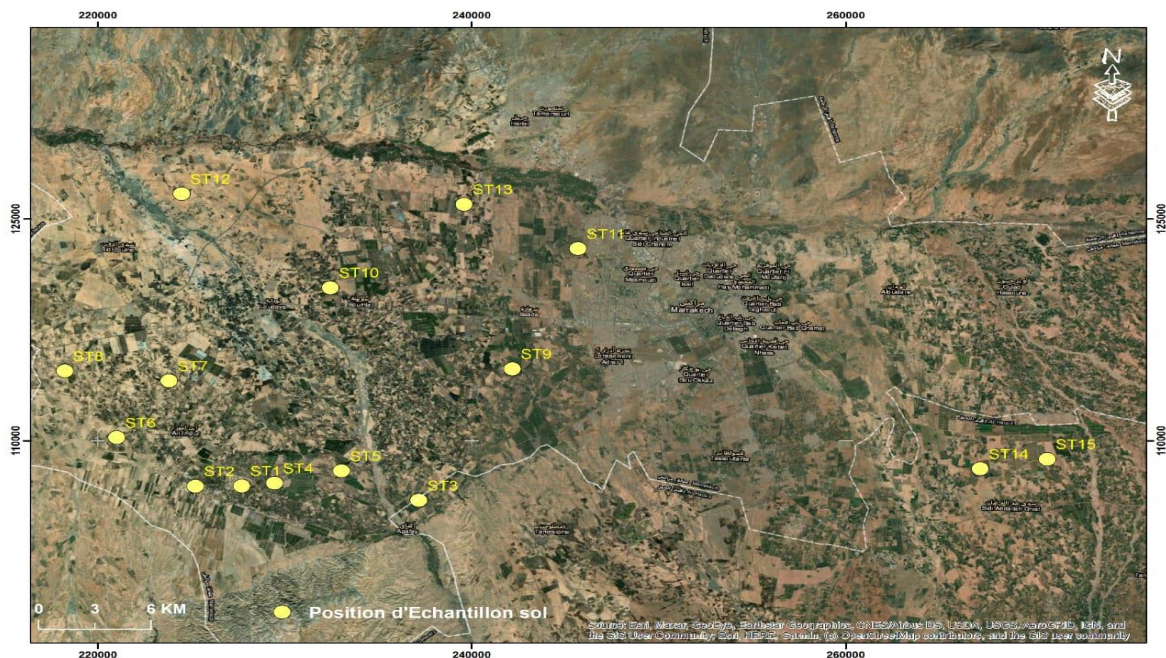


Figure 9 : Carte montrant l'emplacement des points de prélèvement des échantillons Dans la zone d'étude HAOUZ CENTRAL



## **Chapitre IV : Travail au laboratoire**

Durant la période du stage, nous avons effectué un ensemble d'analyse physico-chimique sur 15 échantillons du sol appartenant à notre zone d'étude « HAOUZ CENTRAL ».

L'analyse du sol est une procédure visant à caractériser la composition et la qualité physicochimique d'un sol. Ces analyses ont été effectuées sur 15 échantillons avec des profondeurs différentes classées en deux groupes P (0-30 cm) et P (30-60 cm) du sol répartis dans le secteur du HAOUZ CENTRAL, prélevés sur 15 sites ; de S1 jusqu'à S15.

## 1. La méthodologie du travail

### 1-1. La préparation de l'échantillon

La préparation de l'échantillon comprend :

#### ➤ Séchage :

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

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

#### ➤ Broyage :

Le broyage doit être assez doux. Cette méthode a pour rôle de :

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

#### ➤ Tamisage :

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



**Photo 6 et 7 : Tamisage des échantillons de sol à 2 mm**

### 1-2. Analyses physico-chimiques du sol :

#### ➤ Potentiel hydrogène (pH) :

La mesure du pH d'un sol permet de définir son état d'acidité ou d'alcalinité.

D'une manière générale le pH des sols agricoles est compris entre 4 et 9.

Le pH du sol va influencer la disponibilité des éléments nutritifs pour la plante, et donc son développement.

Le pH idéal varie en fonction de la plante et de ses besoins ainsi, en sol acide, les éléments nutritifs vont se dissoudre dans l'eau ou être lessivés, tandis que dans un sol alcalin, ils vont rester bloqués sans être accessibles pour les végétaux.

Un bon sol doit avoir un pH proche de la neutralité de 6 à 7,5

Méthodes de correction du pH

**- pour un sol trop alcalin :**

On peut abaisser le pH d'une manière rapide par l'ajout de :

Sulfate d'aluminium

Soufre sublimé

Aussi d'une autre manière moins puissante par l'ajoute du :

Phosphore de diamine

Sulfate ferrique

La tourbe

Nitrate d'ammonium

**-Pour un sol trop acide**

On utilise la technique de chaulage, qui consiste à apporter des produits basiques à base de calcium et magnésium (des molécules chargées positivement) pour réduire l'acidité du sol

Exemple : gypse

**❖ Mode opératoire :**

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

**➤ Conductivité électrique (CE) :**

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

L'accroissement de la salinité dans la zone racinaire augmente la pression osmotique de la solution du sol et cause une réduction aussi bien dans le taux d'absorption de l'eau par les plantes que dans la disponibilité en eau du sol. Ainsi, une carence continue en eau peut se produire même si le sol est abondamment irrigué. Même si la plante ne montre pas de symptômes de flétrissement, son développement et son rendement s'en ressentiront.

La croissance est retardée et le rendement est considérablement réduit.

La germination des semences est aussi affectée par la présence des sels ; elle est en général retardée et peut même ne pas se produire du tout.

Un bon sol doit avoir une conductivité électrique entre 30 à 60 mS / m pour les sols argileux, 10 à 20 mS / m pour les sols de limons et inférieure à 10mS / m pour les sables.

**❖ Mode opératoire :**

- On pèse 10 g de terre, on les verse dans un flacon d'agitation,
- Puis on ajoute 50 ml d'eau distillée,

- Agiter pendant 20 min par l'agitateur mécanique,
- Le conductimètre doit toujours être étalonné



**Photo 8 et 9 : Mesure de la conductivité du sol.**



**Photo 10 et 11 : Pesage à l'aide de la balance électrique**



**Photo 12 : Préparation des mélanges à l'aide de l'agitateur mécanique.**

## ➤ La matière organique :

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

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

La décomposition et la minéralisation de la matière organique peut agir sur la salinité des sols en libérant des éléments chimiques responsables.

La matière organique améliore la structure du sol et enrichie le complexe absorbant autour des racines des plantes.

### ❖ Mode opératoire :

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

#### 1 / Oxydation :

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

#### 2 / Dosage :

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



Photo 13 : Manipulation de la matière organique.

### ➤ **Texture du sol :**

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

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

#### ❖ Mode opératoire :

- On prélève une poignée de terre et on la mélange avec un peu d'eau.
- On essaye de façonner la terre pour obtenir un boudin.
  - Si la terre s'émiette et les particules refusent de s'agglomérer, le sol est Sableux.
  - Si on mouille le sol et on sent la même odeur caractéristique de la terre après sa pulvérisation par la pluie, on déduit qu'il s'agit du Limon.
  - Si on peut en former un cylindre fin et ferme, elle est Argileuse.

## **Chapitre V : Résultats et interprétations**

## I – Résultat et conclusion

### 1-Résultat des analyses du sol

#### 1.1-Le potentiel d'hydrogène

La mesure du pH du sol donne une idée de la disponibilité des nutriments. Un pH neutre favorise l'assimilation et le mouvement des éléments des nutriments. Selon son taux d'acidité, la plante va absorber plus ou moins facilement certains nutriments, comme le calcium, le magnésium ou le fer. Un pH non adapté aux cultures peut entraîner des carences chez certaines plantes. Plus on s'éloigne des valeurs de valence d'une culture donnée moins l'assimilation des nutriments est fluide.

Tableau 5: pH des horizons du sol (0-30 cm ; 30-60 cm) entre l'an 2015 et 2022 pour six échantillons.

	2015		2022	
	(0-30 cm)	(30-60cm)	(0-30 cm)	(30-60cm)
<b>S1</b>	8,51	8,74	8,2	8,39
<b>S4</b>	8,36	8,21	8,4	8,4
<b>S7</b>	8,58	8,55	8,26	8,49
<b>S10</b>	8,52	8,56	8,5	8,4
<b>S13</b>	8,05	8,16	8,8	8,35
<b>S15</b>	8,59	8,26	8,46	8,44
<b>Moyenne</b>	<b>8,435</b>	<b>8,41</b>	<b>8,43</b>	<b>8,41</b>
<b>Ecart type</b>	0,2	0,23	0,21	0,048
<b>Intervalle de confiance</b>	0,16	0,18	0,16	0,038

### Interprétation

A partir du tableau 5, il ressort que la moyenne calculée sur les six échantillons soit très proche et ne présente pas de différence significative ( $\alpha = 0,05$ ) avec celle calculée sur les anciennes 23 échantillons ; ( $8,50 \pm 0,07$ ), ceci conforte nos conclusions établies sur les six échantillons pour la suite de notre analyse.

#### ➤ pH 2015

Les échantillons possèdent pH basique d'une valeur moyenne de 8,4. Le sol est considéré basique à tendance alcaline.

#### ➤ pH 2022

Les échantillons possèdent un pH basique avec une moyenne de 8,5. Les propriétés basiques à tendance alcaline du sol reste inchangées durant les dernières 7 années.



## **Variation en profondeur**

A partir du tableau 5, on constate que la différence du pH du sol entre les deux horizons est non significative ( $\alpha = 0,05$ ). Le pH ne possède pas de gradient en profondeur pour les échantillons analysés.

Ce constat est expliqué par le fait que les terrains agricoles sont souvent travaillés au début de chaque campagne agricole, une préparation qui renversera les horizons du sol au moins deux fois par année sur une profondeur qui dépassera dans certains cas les 60 cm.

Ce constat, l'absence de gradient vertical du pH, est observé pour les deux années.

## **Variation temporelle**

A partir du tableau 5, la comparaison des moyennes est non significative ( $\alpha = 0,05$ ) entre 2015 et 2022. On conclure que le pH des sols étudiés n'a pas changé pendant le période étudié.

Cela suppose que le sol au niveau des parcelles agricoles étudiées n'a pas subi d'amélioration ou de travaux de correction du pH pendant cette période.

Globalement, les résultats des analyses montrent que le pH des sols au niveau du Haouz central varie entre 8,05 et 8,74, le sol est alors moyennement basique à tendance alcaline.

Compte tenu des normes en usage pour les sols agricoles, ces valeurs se situent dans la limite supérieure des valences des sols agricoles (4 à 9) (Rapport de l'office ORMVAH annexe 1).

La qualité des sols dans le Haouz central est moyennement satisfaisante.

Cette alcalinité provient essentiellement de la composition chimique de roches carbonatées du bassin du Haouz et des minéraux du sol.

De surcroit, les sols des zones arides, souffrent le plus d'une alcalinité prononcée dû à l'accumulation des sels et au faible drainage lié à une pluviosité faible.

### **1.2- La conductivité électrique :**

L'une des propriétés importantes des sols est la conductivité électrique (CE). Celle-ci-ci est très liée (corrélation positive) à la quantité de sels et à la capacité d'échange cationique du sol.

En général, la conductivité des solutions salines augmente à mesure que la quantité de sel dissous augmente.

Plusieurs facteurs peuvent affecter la conductivité électrique du sol. Les facteurs les plus courants sont le type de sol et son niveau d'humidité, la salinité, l'irrigation et les engrais, ainsi que la profondeur du sol.

Les sels sont très conducteurs et élèveront l'EC du sol. L'eau utilisée pour irriguer les cultures influera directement sur la qualité du sol en augmentant ou en diluant les sels et les éléments nutritifs disponibles. Ceci, à son tour, affecte la conductivité électrique.

Si la mesure du pH du sol donne une idée de la disponibilité des nutriments, la CE indique leur quantité réelle. De surcroit l'EC est un bon indicateur pour donner une mesure de la force des ions dans le sol. Cela permet de suivre les nutriments disponibles pour les plantes.

Les pluies naturelles dilueront la quantité de sel près des racines des plantes. Cela permet d'éviter que la plante « brûle » par excès de sels et d'éléments nutritifs. Cela signifie que les racines de la plante sont essentiellement bouchées par les sels et les nutriments. Ils deviennent incapables d'absorber les sels, ce qui peut freiner sa croissance.

Si l'eau d'irrigation a une forte teneur en sel, elle peut s'accumuler dans les champs, augmentant la salinité et la conductivité électrique. La plupart des champs cultivés sont considérés comme bons pour la plantation si la CE ne dépasse pas 0,4 ms/cm. Cependant, ce nombre variera selon les cultures à planter.

L'ajout d'engrais est un bon moyen d'encourager les cultures à atteindre une croissance optimale. Les engrais libèrent des nutriments et des sels dans le sol. Ces ions seront attribués à une conductivité électrique plus élevée du sol. Il est important de tenir compte de la conductivité électrique du sol. Ajoutez trop d'engrais et vous pouvez augmenter la salinité et EC au-delà des limites de sécurité.

La CE est d'ailleurs utilisée pour mesurer la salinité des sols. Ainsi, les sols non salés ont des conductivités variantes entre 0 et 0,5 mS/cm, les sols salés entre 1 et 2 mS/cm.

La CE et la quantité des sels mesurés en 2015 pour 23 échantillons montrent respectivement des valeurs de l'ordre de  $(0,46 \pm 0,11)$  et de  $(1,63 \pm 0,4)$ . A l'exception de quelques cas isolés, dans leur majorité les échantillons des sols analysés en 2015 paraissent non salés.

## **Interprétation**

La moyenne calculée sur les 15 échantillons (tableau 6) est similaire à celle calculée pour les 23 échantillons  $(0,46 \pm 0,11)$ , ceci nous permet de se baser sur les 6 échantillons pour la suite de notre analyse.

### **Variation temporelle :**

On se basant sur les résultats du tableau 6, la comparaison des moyennes est statistiquement significative ( $\alpha = 0,05$ ) entre 2015 et 2022 aussi bien pour la CE que pour la quantité de sel.

Ce qui implique que ces deux propriétés du sol (CE et quantité du sel) du secteur étudié ont changé pendant la période du 2015 jusqu'à présent.

#### **➤ En 2015**

La conductivité variée entre 0,18 ms/cm et 1,23 ms/cm avec une moyenne de  $0,41\text{ms/cm} \pm 0,14\text{ ms/cm}$ .

#### **➤ En 2022**

La conductivité variée entre 0,18 ms/cm et 2,1 ms/cm avec une moyenne de  $0,54\text{ ms/cm} \pm 0,28\text{ ms/cm}$ .

A la lumière de ces résultats, on note une augmentation des valeurs de conductivité ce qui implique une augmentation de salinité.

D'après les classes de salinité (Rapport d'office ORMVAH annexe 2), le sol de notre secteur étudié est salé, avec la présence de quelques parcelles fortement salées (parcelles 8-11-13).

Cette augmentation de salinité est due à une irrigation abondante accompagnée de forte évaporation. Ainsi, on peut conclure que ces changements peuvent être attribués à

Un changement dans les techniques d'irrigation. Soit que le terrain vient d'être équipé par un système d'irrigation au système de goutte à goutte, et qu'il était conduit avant 2015 en Bour, soit qu'il y a un changement d'un système d'irrigation par gravitation, permettant un lessivage partiel, vers un système de goutte à goutte.

Avec le plan Maroc vert (2008 – 2022), plusieurs agriculteurs ont eu accès aux subventions de l'Etat pour les aménagements hydro-agricoles. Ce qui pointe comme cause principale de cette augmentation de salinité au recours à l'irrigation et particulièrement par goutte à goutte.

### **Variation en profondeur**

A partir du tableau 6, on constate que la différence de la CE du sol entre les deux horizons est faible, et tend à être plus ou moins élevée pour l'horizon profond (30-60 cm) que l'horizon superficiel (0-30 cm).

Etant donné que les échantillons sont issus de parcelles agricole situées sur le même type de bioclimat et recevant la même quantité des précipitations, la petite variation observée entre les deux horizons peut être expliquée par deux hypothèse :

- 1- Les parcelles agricoles sont irriguées de manière abondante (ou par gravitation) permettant un lessivage de l'horizon supérieur et un transfert des sels vers l'horizon inférieur. Ce qui fait augmenter sa salinité et sa CE.
- 2- Les échantillons sont prélevés sur des sols à plancher argileux ou marneux faisant augmenter la CE de l'horizon inférieur. C'est cette hypothèse qui soit la plus proche du contexte de notre étude.

Tableau 6: Conductivité électrique (a) et quantité des sels (b) des horizons du sol (0-30 cm ; 30-60 cm) entre l'an 2015 et 2022 pour 15 échantillons

	La conductivité électrique (mS/cm) (a)			
	(0-30 cm)		(30-60 cm)	
	2015	2022	2015	2022
S1	0,18	0,38	0,24	0,339
S2	0,42	0,29	0,48	0,288
S3	0,24	0,32	0,21	0,309
S4	0,19	0,35	0,23	0,299
S5	0,45	0,42	0,66	0,348
S6	0,65	0,27	0,88	0,186
S7	0,24	0,32	0,52	0,307
S8	0,43	1,05	0,75	1,079
S9	0,19	0,49	0,23	0,462
S10	0,27	0,21	0,32	0,17
S11	0,22	0,93	0,38	1,063
S12	0,29	0,213	0,28	0,189
S13	1,23	2,1	1,01	2,268
S14	0,29	0,51	0,34	0,494
S15	0,41	0,47	0,29	0,367
Moyenne	0,38	0,56	0,45	0,54
Ecart type	0,27	0,49	0,26	0,55
Intervalle de confiance	0,14	0,25	0,13	0,28
	Quantité de sel (g/kg) (b)			
	(0-30 cm)		(30-60 cm)	
	2015	2022	2015	2022
S1	0,64	1,34	0,85	1,19
S2	1,49	1,01	1,70	1,01
S3	0,83	1,11	0,73	1,09
S4	0,67	1,25	0,82	1,05
S5	1,60	1,49	2,34	1,23
S6	2,29	0,96	3,12	0,65
S7	0,86	1,14	1,83	1,08
S8	1,50	3,70	2,65	3,81
S9	0,67	1,74	0,81	1,63
S10	0,96	0,75	1,14	0,60
S11	0,76	3,27	1,33	3,75
S12	1,02	0,75	0,99	0,66
S13	4,34	7,45	3,57	8,02
S14	1,02	1,81	1,19	1,74
S15	1,44	1,69	1,02	1,29
Moyenne	1,34	1,96	1,61	1,92
Ecart type	0,94	1,73	0,91	1,95
Intervalle de confiance	0,48	0,87	0,460	0,98

### 1.3-La matière organique :

La matière organique (MO) du sol est composée d'organismes vivants, de résidus de végétaux et d'animaux et de produits en décomposition. Elle ne représente, en général, que quelques pourcents (0,5 à 10 %) de la masse du sol. En zone aride et semi-aride, en raison de la forte minéralisation de la MO, cette fraction est plus réduite et se tient généralement entre 1 et 5%.

Cette petite quantité de matière organique, dont le carbone organique constitue à peu près la moitié, est très importante pour le fonctionnement du sol et de l'écosystème tout entier. En effet, la matière organique du sol joue de multiples rôles dans les processus écologiques :

- C'est le **substrat de base pour le réseau trophique détritovre** : les microorganismes saprophytes (composés de bactéries, d'archées et de champignons) et de nombreux organismes de la faune du sol, se nourrissent en métabolisant les composés organiques des litières et du sol. Ces organismes saprophages servent alors de substrats pour divers organismes prédateurs et omnivores.
- C'est un **réservoir d'éléments nutritifs**, qui grâce à la minéralisation peuvent être libérés et rendus disponibles pour l'absorption par les plantes ou d'autres organismes du sol.
- La matière organique retient à sa surface des cations et anions adsorbés. Elle a une **capacité d'échange cationique très élevée** :  $\sim 200 \text{ cmol kg}^{-1}$  contre  $\sim 30 \text{ cmol kg}^{-1}$  pour une argile de type illite. Ainsi, la teneur en matière organique du sol a une forte influence sur la capacité de ce sol à retenir et restituer les éléments nutritifs, en les protégeant de la lixiviation
- Les matières organiques contribuent à la **structuration du sol**. Certains composés produits par les organismes du sol, comme les polysaccharides, jouent un rôle de glu entre les particules minérales, contribuant ainsi à l'agrégation. Les MO stabilisées sont des matières colloïdales, qui participent à la formation du **complexe argilo-humique** grâce à leurs charges surfaciques. Cette liaison intime entre matière organique et argiles contribue également à la formation d'agrégats stables et donc de macroporosité, synonymes d'une structure favorable au bon enracinement et fonctionnement racinaire des plantes, ainsi qu'à la bonne infiltration et au drainage de l'eau.
- La matière organique a une **très forte capacité de rétention d'eau** et permet donc d'augmenter **la réserve utile** du sol.

Le tableau 7 présente les taux de MO pour 5 échantillons dont on a observé l'évolution entre 2015 et 2022. On constate que la moyenne calculée sur les cinq échantillons est très proche de celle sur les 23 échantillons mesurés par l'ORMVAH ( $1,45 \pm 0,3$ ). Ceci conforte nos conclusions établies sur les cinq échantillons pour la suite de notre analyse.

Tableau 7 : Taux de la matière organique (MO %) de l'horizon supérieur pour 5 échantillons.

	MO%	
	0-30 cm	
	2015	2022
S1	1,57	2,93
S5	0,69	0,86
S10	1,73	3,96
S12	4,07	3,62
S15	0,92	4,13
<b>Moyenne</b>	<b>1,79</b>	<b>3,10</b>
<b>Ecart type</b>	<b>1,34</b>	<b>1,33</b>
<b>Intervalle de confiance</b>	<b>1,17</b>	<b>1,17</b>

## Interprétation :

### Variation temporelle :

Selon le tableau 7, la comparaison des moyennes calculées est statistiquement significative entre 2015 et 2022 ( $\alpha = 0,05$ ). On peut conclure donc qu'il y a eu accumulation de MO de l'horizon supérieur depuis 2015 jusqu'à présent.

Selon le tableau des normes d'interprétation de la matière organique du sol (rapport de l'Office ORMVAH annexe 3, un bon sol doit contenir un pourcentage de MO supérieur à 3%).

#### ➤ En 2015

La moyenne de teneur en matière organique est de  $(1,79 \pm 1,17)$ . A l'exception de l'échantillon S12, à cette époque les sols étudiés sont faiblement pourvus de matière organique.

#### ➤ En 2022

Actuellement, la part de la MO est passée à 3,1% en moyenne. Le sol a accumulé de la matière organique pendant cette période.

Cette augmentation significative de la teneur en matière organique pendant la période d'étude peut être due à une activité agricole plus élevée de ce qu'elle l'était avant 2015. Une telle activité agricole a permis de restituer une part non négligeable de la matière organique à l'horizon superficiel. Cet apport peut être fait des restes des cultures établies sur ces parcelles (chaume, pastèques, etc.). Les opérations d'amendements de la matière organique sous forme de fumier constituent certainement un de ces facteurs d'enrichissement en MO. Cette augmentation en MO contribuera à améliorer la structure du sol, à enrichir le complexe absorbant et à l'amélioration de la capacité d'échange cationique autour des racines.

#### 1.4-La texture de sol

L'analyse granulométrique des éléments constitutifs des différents échantillons du sol étudié permet d'obtenir les résultats suivants :

La texture indique l'abondance relative des particules de sable, limon ou argile dans le sol

Tableau 8 : Texture des différents échantillons en fonction de la profondeur

	Texture	
	(0-30 cm)	(0-60cm)
<b>S1</b>	AL	AL
<b>S4</b>	AL	AL
<b>S7</b>	ALS	ALS
<b>S10</b>	AL	AL
<b>S13</b>	Als	Als
<b>S15</b>	Als	Als

**A : Argile ; L : Limon ; S : Sable.**

#### Interprétation :

Le sol de notre secteur d'étude constitué par les éléments sable, limons et argile mais avec des pourcentages différents. Notamment l'argile est le plus abondant dans tous les points de prélèvement du sol avec une quantité importante de limon, donc on a une texture du sol : Argileux-lumineux.

## Conclusion

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

- Des sols moyennement basiques à tendance alcaline
- Des sols salins, avec une teneur en matière organique faible

Donc le problème réside dans l'accumulation des sels minéraux au cours du temps dues au changement d'un système d'irrigation gravitaire en 2015 à un autre par goutte à goutte en 2022 d'une part, et aux conditions climatiques défavorables (l'aridité de la zone et l'évapotranspiration élevée) d'une autre part, cela a provoqué une augmentation remarquable de la salinité. C'est vrai que la technique d'irrigation par goutte à goutte reste économique, et la meilleure de point de vue de gestion des ressources hydrauliques, mais l'un de ses principaux inconvénients c'est faire favoriser l'augmentation de la salinité dans le sol. Tous ces résultats classent la région du HAOUZ CENTRAL avec un taux de salinité entre 35% et 45%.



## Bibliographie

**EL KHALOUA.A - EL HATIMI.M (2016)** : Etude de la chimie des eaux souterraines au niveau du HAOUZ CENTRAL. Mémoire de fin d'étude. Faculté des sciences et techniques Marrakech p 17-p23-p24.

**BENMAZHAR.H (2012)** : Etude de l'effet du fumier de bovin sur les propriétés physico-chimiques, la fertilité et dans la réduction de la salinité des sols sableux irrigués avec des eaux salines. Mémoire de fin d'étude. Faculté des sciences et techniques Marrakech p23-p24-p25-p26-p27-p28-p29-p30-p31-p32-p33

**ABOURIDA A. (2007)** : Approche hydrogéologique de la nappe du Haouz (Maroc) par Télédétection. Isotopie. SIG et Modélisation. Thèse Universitaire Cadi Ayyad- Faculté des Sciences Semlalia consulte

## Webographie

<http://ormvah.com/office/monographie/> (consulté le 1 juin 2022)

<https://www.afes.fr/sols-et-definitions/> (consulté le 1 juin 2022)

<https://fella.ma/ar/les-types-de-sol-au-maroc/> (consulté le 5 juin 2022)

[https://www.aqua6.info/blog/25\\_les-differents-systemes-d-irrigation.html](https://www.aqua6.info/blog/25_les-differents-systemes-d-irrigation.html) (consulté le 10 juin 2022)

<http://ormvah.com/> (consulté le 1 juin 2022)

<https://www.greenfacts.org/fr/glossaire/wxyz/zones-seches.htm#:~:text=Les%20zones%20s%C3%A8ches%20d%C3%A9signent%20les,certaines%20hautes%20montagnes%20remplissant%20ces> (consulté le 11 juin 2022)

<http://www.agriculture.com>(consulté le 5 juin 2022)

## Annexes

### 1-normes d'interprétation du pH du sol :

Classe	Interprétation
6.0 à 6.5	Faiblement acide
6.5 à 7.5	Neutre
7.5 à 8.0	Légèrement basique
8.0 à 8.5	Basique
8.5 à 9.0	Tendance alcaline
> 9.0	Très alcaline

### 2- normes d'interprétation la conductivité électrique en ms /cm

Teneur de la conductivité électrique en ms /cm	Appréciation
<0,28	Non salés
0,28 – 0,33	Faiblement salés
0 ,33 -0,66	Salés
0,66 - 1	Fortement salés
>1	Très fortement salés

### 3 - normes d'interprétation de la matière organique du sol :

Teneurs de MO en %	Appréciation
> 6%	Très riche
3% à 6%	Riche
1,5% à 3%	Moyennement pourvu
0,7% à 1.5%	Pauvre Très pauvre