

Faculté des Sciences et Technique, Marrakech

Département des Sciences de la Terre

Licence Sciences et Technique

Eau et Environnement

Mémoire de Fin d'Étude

**Étude de la qualité de l'eau et du sol dans la zone de la
grande hydraulique du Haouz (Haouz Central)**

Réalisé par : FLIEAU OUMAIMA & GAOU CHAIMA

Soutenu, le 10/06/2024

Encadrant : **Pr. L. DAOUDI** Faculté des Sciences et Technique, Marrakech

Encadrant : **Dr. M. ESSHAIMI** Laboratoire de l'Office Régional de la Mise en
Valeur Agricole du Haouz

Année universitaire : 2023/2024

Dédicace

A nos chers parents

En témoignage de profond amour, de grande reconnaissance et pour tous les sacrifices que vous avez consentis pour notre éducation et notre bonheur.

A nos enseignants & professeurs

Pour leur patience, dévouement et sacrifice.

A nos amis & frères

En témoignage de la fraternité, avec nos souhaits de bonheur, de santé et de succès.

Remerciement

Au terme de ce travail, il nous est agréable de nous adresser à toute personne qui a participé de près et de loin à son élaboration.

Un grand merci à notre encadrant Monsieur **L. DAOUDI**, Professeur à la faculté des sciences et techniques Marrakech, département des sciences de la terre, qui a toujours éclairé notre travail avec ses précieuses recommandations en sacrifiant beaucoup de son temps, et de ses efforts.

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.

C'est avec un grand plaisir que nous remercions les membres de jury pour avoir bien voulu en faire partie.

Par ailleurs, la réalisation de ce travail n'aurait pas été possible sans le soutien moral et effectif de nos familles. On remercie donc nos parents pour leur appui et leur soutien durant toutes nos années d'étude. On remercie également toute personne qui a aidé de manière directe ou indirecte à la réalisation de ce mémoire.

Table des Matières

Dédicace.....	1
Remerciement.....	2
Liste des figures.....	5
Liste des tableaux.....	6
Liste des abréviations.....	7
Introduction.....	8
CHAPITRE 1 : CADRE GÉNÉRAL DE L'ORMVAH.....	9
1- Présentation de l'Office Régional de la Mise en Valeur Agricole du Haouz (ORMVAH).....	10
1-1 Mission de l'ORMVAH.....	10
1-2 La zone d'action de l'ORMVAH.....	10
1-3 Les périmètres irrigués de l'ORMVAH.....	12
CHAPITRE 2 : CADRE GÉNÉRAL DE LA ZONE D'ÉTUDE HAOUZ CENTRAL.....	13
2-1 Situation géographique.....	14
2-2 Contexte géomorphologique.....	15
2-3 Contexte climatique.....	17
2-4 Contexte hydrologique et hydrogéologique.....	18
2-5 Types de sols.....	21
2-6 Occupation des sols.....	22
CHAPITRE 3 DESCRIPTION DES SYSTÈME ET DES TECHNIQUES D'IRRIGATION.....	23
3-1 Classification des systèmes d'irrigation.....	24
3-1-1 Irrigation gravitaire.....	25
3-1-2 L'irrigation goûte à goûte.....	27
3-1-3 L'irrigation par aspiration.....	29
3-2 Avantages et inconvénients de l'irrigation gravitaire.....	30
CHAPITRE 4 : CARACTÉRISTIQUES DES PARAMÈTRES DES SOLS.....	31
4-1 La texture des sols.....	33
4-2 PH du sol.....	34
4-3 Salinité des sols par conductivité de l'extrait à la pâte saturée.....	36
4-4 Taux de matière organique des sols.....	39
4-5 Capacité d'échange cationique.....	41
4-6 Taux de sodium échangeable (%ESP).....	42
CHAPITRE 5 : CARACTÉRISTIQUES DES PARAMÈTRES DES EAUX.....	45
5-1 CARACTÉRISTIQUE DES PARAMÈTRES DES EAUX SOUTERRAINES.....	46
5-1-1 Niveau piézométrique.....	48
5-1-2 PH des eaux souterraines.....	50
5-1-3 Salinité.....	51
5-1-4 Résidus secs.....	53
5-1-5 SAR (Sodium Adsorption Ratio).....	53
5-1-6 Nitrate.....	55
5-2 CARACTÉRISTIQUE DES PARAMÈTRES DES EAUX SUPERFICIELLES.....	56

5-2-1 PH des eaux superficielles.....	57
5-2-2 Salinité.....	57
5-2-3 Matière en suspension.....	58
5-2-4 Résidu sec.....	59
5-2-5 Azote ammoniacal (NH ₄ ⁺).....	59
5-2-6 DBO ₅ , DCO et autres paramètres.....	60
CONCLUSION GÉNÉRAL.....	63
BIBLIOGRAPHIE.....	64
WEBOGRAPHIE.....	64
ANNEXES.....	65

Liste des Figures

Figure 1 : Position géographique et périmètres irrigues du Haouz.....	11
Figure 2 : Situation géographique du Haouz Central.....	14
Figure 3 : Carte géologique du bassin du Haouz.....	16
Figure 4 : Contexte hydro-climatique de la région du Haouz : 1935-2010 (ABHT 2010).....	17
Figure 5 : Cartes des aires connectées aux différents types de ressources en eau (T. Ruf & M.Kleiche-Dray, 2018).....	20
Figure 6 : Diagramme triangulaire montrant la texture des sols de la zone d'étude.....	21
Figure 7 : Graphe des principales cultures pratiquées dans le Haouz central.....	22
Figure 8 : Les différents systèmes d'irrigation.....	24
Figure 9 : Irrigation par planche.....	25
Figure 10 : Irrigation par bassin.....	26
Figure 11 : Irrigation a la raie.....	27
Figure 12 : Irrigation goûte à goûte.....	27
Figure 13 : Schéma d'irrigation goûte à goûte.....	28
Figure 14 : Irrigation par aspiration (Rampes mobile).....	29
Figure 15 : Irrigation par aspiration (Rampes fixes).....	30
Figure 16 : Localisation des Points de prélèvement des sols sur la carte du Haouz Central.....	33
Figure 17 : Carte de répartition du pH des sols du HC 2015 (Horizon 30 cm).....	35
Figure 18 : carte de répartition du pH des sols du HC 2024 (Horizon 30 cm).....	35
Figure 19 : Carte de répartition de CE des sols du HC 2015 (Horizon 30 m).....	38
Figure 20 : Carte de répartition de CE des sols du HC 2024 (Horizon 30 cm).....	38
Figure 21 : Carte de répartition de la matière organique des sols du HC 2015 (Horizon 30 cm).....	40
Figure 22 : Carte de répartition de la matière organique des sols du HC 2014 (Horizon 30 cm).....	40
Figure 23 : Répartition de la CEC par classe.....	42
Figure 24 : Points de prélèvement des eaux souterraines dans le périmètre du Haouz Central.....	48
Figure 25 : : La variation du niveau piézométrique au niveau du périmètre du Haouz Central en 2015 et 2024.....	49
Figure 26 : Points de prélèvement des eaux superficielles dans le périmètre du Haouz Central.....	56
Figure 27 : Répartition du PH des eaux superficielles dans la zone du Haouz Central.....	57
Figure 28 : Répartition de la conductivité électrique des eaux superficielles dans la zone du HC.....	58
Figure 29 : Répartition du MES des eaux superficielles dans la zone du Haouz Central.....	59
Figure 30 : Répartition du NH4+ des eaux superficielles dans la zone du Haouz Central.....	60

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Couverture de la zone d'action de l'ORMVAH.....	12
Tableau 2 : Caractéristiques des bassins versants des oueds de Haouz Central (Abourida 2007).....	18
Tableau 3 : Avantages et inconvénients de l'irrigation gravitaire.....	30
Tableau 4 : Coordonnées des points de suivi de la qualité des sols de Haouz Central.....	32
Tableau 5 : Les valeurs de PH 2015 et 2024 dans la zone du HC.....	34
Tableau 6 : Répartition du pH des sols du Haouz Central par classe.....	36
Tableau 7 : Répartition des classes de la salinité par horizon et par secteur.....	37
Tableau 8 : Répartition de la matière organique par horizon et par classe.....	39
Tableau 9 : CEC des sols du Haouz Central.....	41
Tableau 10 : Répartition des classes de la CEC des sols en %.....	41
Tableau 11 : Les valeurs d'ESP% en 2015 et 2024 dans la zone du HC.....	43
Tableau 12 : Répartition des classes de l'alcalinité par horizon et par secteur.....	44
Tableau 13 : Coordonnées des points de suivi de la qualité des eaux souterraines.....	47
Tableau 14 : Le niveau piézométrique (m) des eaux souterraines dans la zone du HC.....	49
Tableau 15 : Répartition du pH des eaux souterraines dans la zone du HC.....	50
Tableau 16 : Répartition du pH des eaux souterraines du Haouz Central par classe.....	51
Tableau 17 : Répartition de la conductivité électrique des eaux souterraines dans la zone du HC....	52
Tableau 18 : Répartition de la CE dans la zone du HC 2015.....	52
Tableau 19 : Répartition de la CE dans la zone du HC 2024.....	52
Tableau 20 : Caractéristique du résidu sec en g/l des eaux souterraines.....	53
Tableau 21 : Répartition de la minéralisation totale de la nappe %.....	53
Tableau 22 : Les valeurs de SAR en 2015 et 2024 dans la zone du HC.....	54
Tableau 23 : Répartition du SAR des eaux souterraines du Haouz Central en 2015 et 2024 par classe	55
Tableau 24 : Répartition des classes des teneurs en nitrates en % dans les eaux souterraines.....	55
Tableau 25 : Coordonnées des points de suivi de la qualité des eaux superficielles.....	56
Tableau 26 : Grille d'évaluation de la qualité des eaux superficielles : paramètre pH.....	57
Tableau 27 : Grille d'évaluation de la qualité des eaux superficielles : paramètre CE.....	58
Tableau 28 : Grille d'évaluation de la qualité des eaux superficielles : paramètre (NH ₄ ⁺).....	60
Tableau 29 : Grille d'évaluation de la qualité des eaux superficielles.....	61
Tableau 30 : Résultats d'analyse des sols dans le périmètre du Haouz Central.....	65
Tableau 31 : Résultats d'analyse des eaux souterraines dans le périmètre du Haouz Central.....	66
Tableau 32 : Résultats d'analyse des eaux superficielles dans le périmètre du Haouz Central.....	66

Liste des abréviations

CE : Conductivité Électrique.

CEC : Capacité d'Échange Cationique.

CPS : Cahier des Prescription Spéciales.

DBO : Demande Biochimique en Oxygène.

DCO : Demande Chimique en Oxygène.

ESP : Taux de Sodium Échangeable.

GPS : Global Positioning System.

HC : Haouz Central.

MES : Matière En Suspension.

MO : Matière Organique.

ORMVAH : Office Régional de la Mise en Valeur Agricole du Haouz.

PH : Potentiel Hydrogène.

RS : Résidu Sec.

SAR : Rapport d'Adsorption du Sodium.

TDS : Total Dissolved Solids.

Introduction

Le présent travail s'inscrit dans le cadre de notre projet de fin d'études, en vue de l'obtention du diplôme de Licence en Sciences et Techniques Eau et Environnement à la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech. Ce travail de recherche s'est déroulé au sein de l'Office Régional de la Mise en Valeur Agricole du Haouz (ORMVAH) du 15 avril au 26 mai 2024.

Le choix de cet établissement est motivé par trois raisons essentielles :

- L'ambition de s'initier aux activités pratiques et d'explorer le domaine professionnel sur la base des connaissances théoriques et des compétences acquises pendant les trois ans de notre formation ;
- L'amélioration de notre savoir-faire ;
- L'acquisition de nouvelles compétences.

La plaine de Haouz, notamment sa partie centrale, connaît une rareté d'un élément vital qui constitue une préoccupation à l'échelle mondiale : c'est « L'EAU ». Le manque de ce dernier et l'accroissement constant des besoins en eau en agriculture, conjugués aux conflits d'usage avec les autres secteurs, tels que l'industrie et la consommation en eau potable, nous amènent à constamment réfléchir sur les économies d'eau et d'énergie. L'un des outils qui favorise l'économie d'eau est la goutte à goutte ou l'irrigation localisée. En effet, ce système d'irrigation permet une économie d'eau de l'ordre de 50 % par rapport à l'irrigation gravitaire. Aussi, par le biais de la fertigation, ce système localisé garantit une production élevée et de bonne qualité et tend vers une utilisation efficiente des engrais dans la technique de la fertigation et par là une réduction des risques de pollution de la nappe phréatique.

L'objectif principal de ce projet de fin d'études est l'étude de l'évolution de la qualité de l'eau et du sol dans la zone de la grande hydraulique du Haouz (Haouz Central), à la lumière des installations d'irrigations introduites dans la zone dans l'année 2010. Ainsi nous allons comparer les données des analyses de l'eau et du sol des années 2015 et 2024 et on va en déduire la tendance évolutive.

Le présent Mémoire est subdivisé en quatre chapitres :

- Le chapitre 1 et 2 sont surtout bibliographiques, consacrés à la présentation de l'organisme d'accueil et de la zone d'étude.
- Le chapitre 3 est réservé à la description des systèmes et des techniques d'irrigation.
- Les derniers chapitres seront consacrés à la présentation des résultats des analyses de l'eau et des sols, à leur analyse et à leur interprétation.

L'ensemble des données obtenues et analysées va nous conduire à mieux évaluer la qualité de l'eau et du sol de la zone étudiée ainsi que leur tendance évolutive.

CHAPITRE 1 :
CADRE GÉNÉRAL DE L'ORMVAH

1- Présentation de l'Office Régional de la Mise en Valeur Agricole du Haouz (ORMVAH) :

Le présent travail a été réalisé à 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, pour gérer la plaine du Haouz (Maroc). Dotée de la personnalité civile et de l'autonomie financière. Il est tutelle du Ministère de l'Agriculture et la Pêche Maritime (ORMVAH,2014).

1-1 Mission de l'ORMVAH :

Parmi les Missions de l'ORMVAH, on peut citer :

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

1-2 La zone d'action de l'ORMVAH :

Cette zone 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 (**Figure 1**). Elle s'étend sur une superficie de 663 000 Ha, dont la superficie agricole utile est 473 000 ha (Bour 200 000 ha et irriguée 273 000 ha). La zone irriguée est de deux types : grande hydraulique, et petite et moyenne hydraulique. Répartie comme suit : La préfecture de Marrakech-La province d'Haouz-La province d'El Kelaa des Sraghnas-La province de Rhamna (**Tableau 1**).

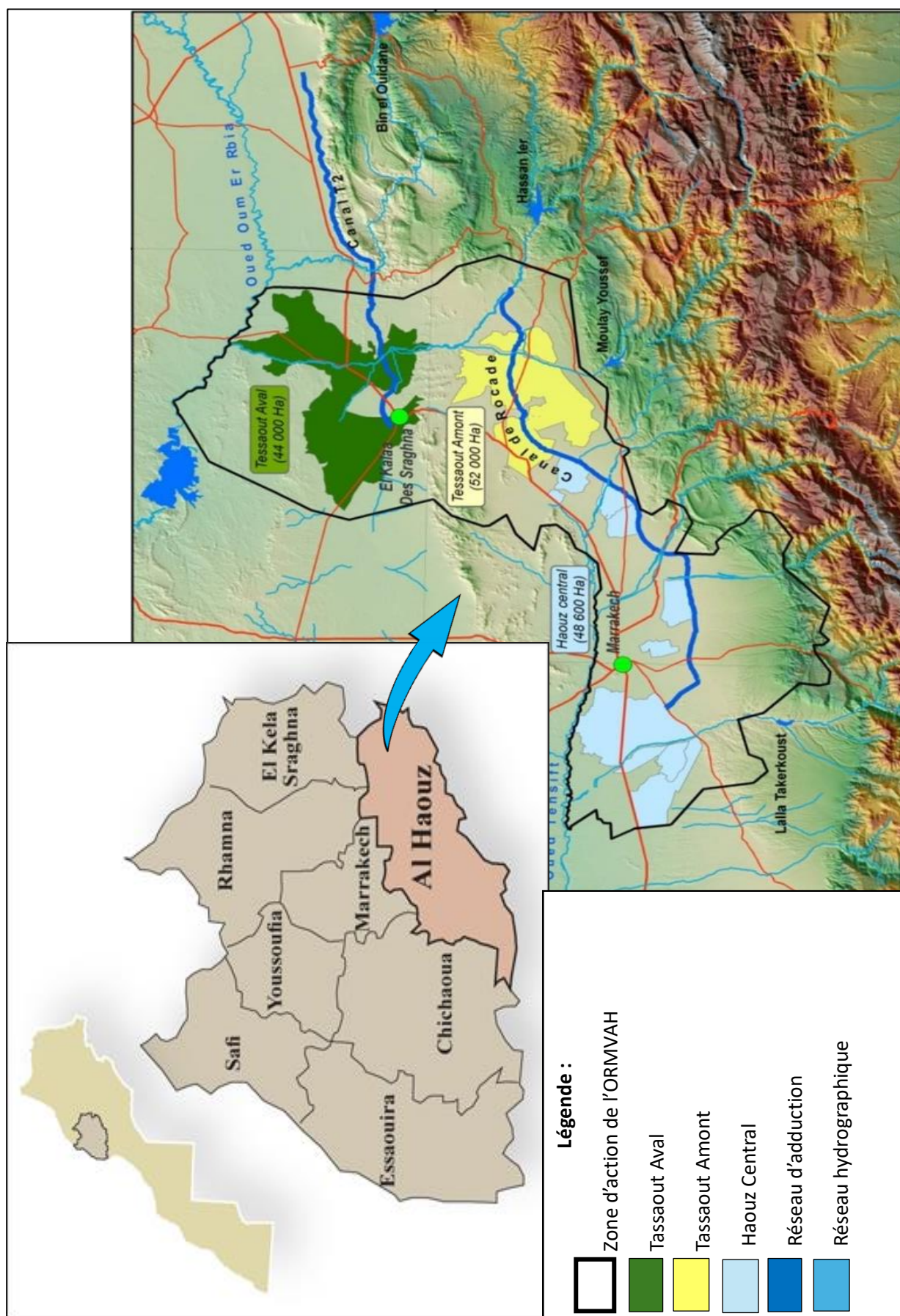


Figure 1 : Position géographique et périmètre irrigués du Haouz (ORMVAH 2011)

Tableau 1 : Couverture de la zone d'action de l'ORMVAH

	Marrakech	EL HAOUZ	El Kelaa sraghnas	Rhamna	Total
Nombre de communes rurales	12	11	42	4	69
Superficie de la zone (ha)	134 000	143 000	342 875	43 125	663 000

1-3 Les périmètres irrigués de l'ORMVAH

Les périmètres de la grande hydraulique sont divisés en trois grandes unités géographiques : « la Tessaout amont », « la Tessaout aval », et « le Haouz central », (**Figure 1**).

➤ **Tessaout amont** :

Le périmètre de la Tessaout amont a constitué les premiers aménagements de la grande hydraulique du Haouz, et ces secteurs modernes ont été mis en service entre 1909 et 1978. Il s'étend sur une zone délimitée au Nord par les jbilets, au Sud par le piedmont du Haut-Atlas, à l'Est par l'Oued lakhdar et à l'Ouest par la limite du bassin de l'Oued Tensift.

Les eaux alimentant la Tessaout amont sont régularisées par le barrage de Moulay Youssef et le barrage de compensation de timinoutine sur l'Oued Tessaout.

➤ **Tessaout aval** :

La Tessaout aval couvre la province d'El Kelaa des Sraghna et est bordée par l'oued Tessaout. Il est délimité par la chaîne des Jbilets au sud, par l'Oued Oum Er-Rbia au nord, par l'Oued El Abid à l'est et par les sols du Sed El Majnoun à l'ouest. Il y a deux zones hydrauliques dans cette région : celle située en amont du canal T2, qui est alimentée par les Oueds Lakhdar et Tessaout, qui sont régularisés par les barrages Hassan Premier et Moulay Youssef, et celle située en aval du canal T2, qui reçoit de l'eau de l'Oued El Abid régularisé à Bin El Ouidane via le canal GM du Tadla et le canal T2.

➤ **Haouz central** :

Le Haouz central est un vaste couloir sous forme de plaines, Il est encadré au Nord par l'Oued Tensift, au Sud par le Piedmont du Haut Atlas, à l'Est par le périmètre de la Tessaout Amont et à l'Ouest par l'Oued N'fis. On peut distinguer, dans le Haouz central : les périmètres du N'fis, en rive gauche et en rive droite d'une part, les secteurs centraux (H2, R1, CV, R3, Z1) d'autre part.

CHAPITRE 2 :
CADRE GÉNÉRAL DE LA ZONE D'ÉTUDE
HAOUZ CENTRAL

2-1 Situation géographique :

Le Haouz central est enserré entre les Jbilet au nord et par les chaînes montagneuses du Haut Atlas au Sud, et par Oued R'Dat à l'Est et Oued N'fis à l'Ouest, de superficie estimée à 48600 ha. Son allongement est en parallèle avec le couloir synclinal de la Bahira orientée Est Ouest (**Figure 2**).

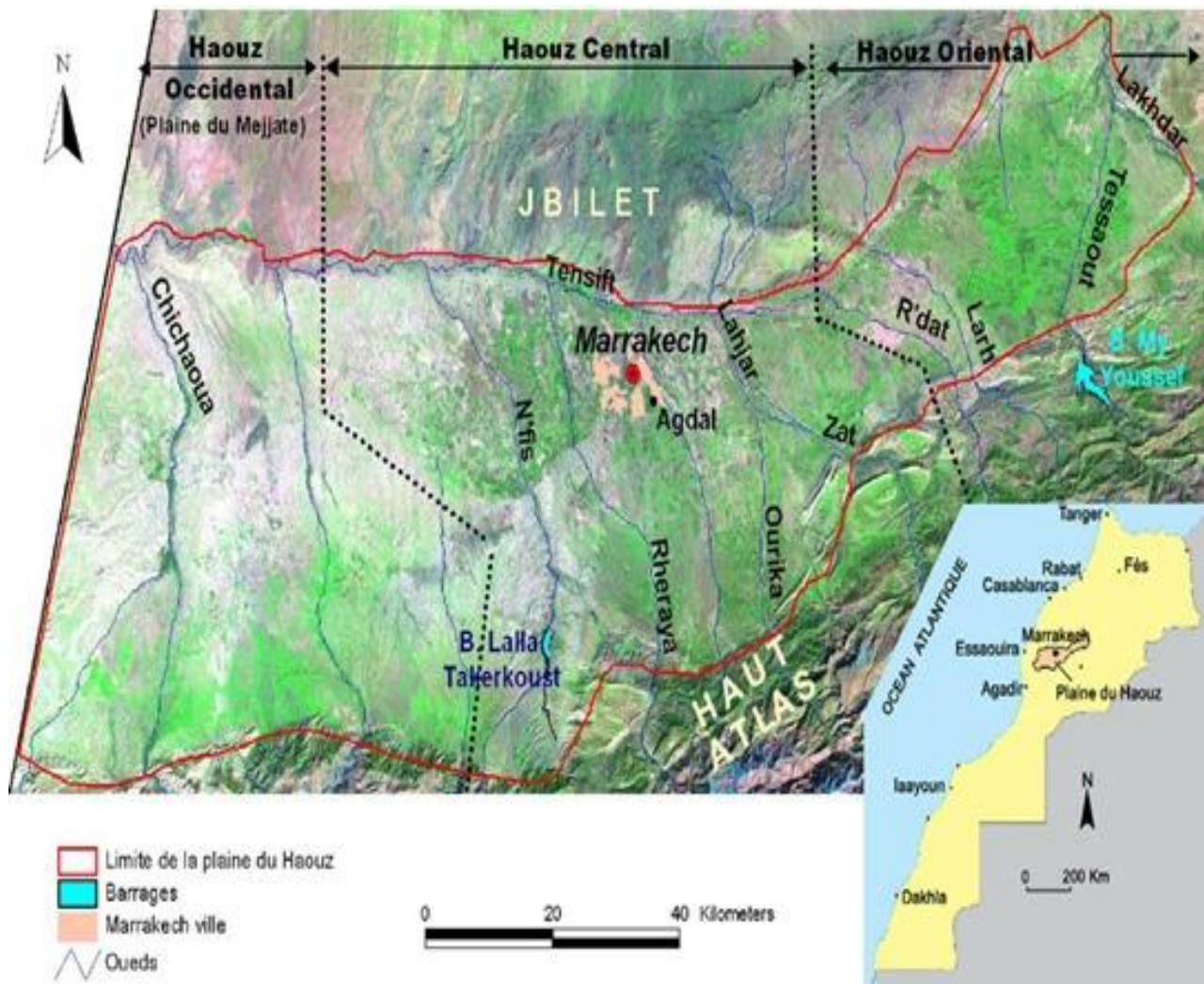


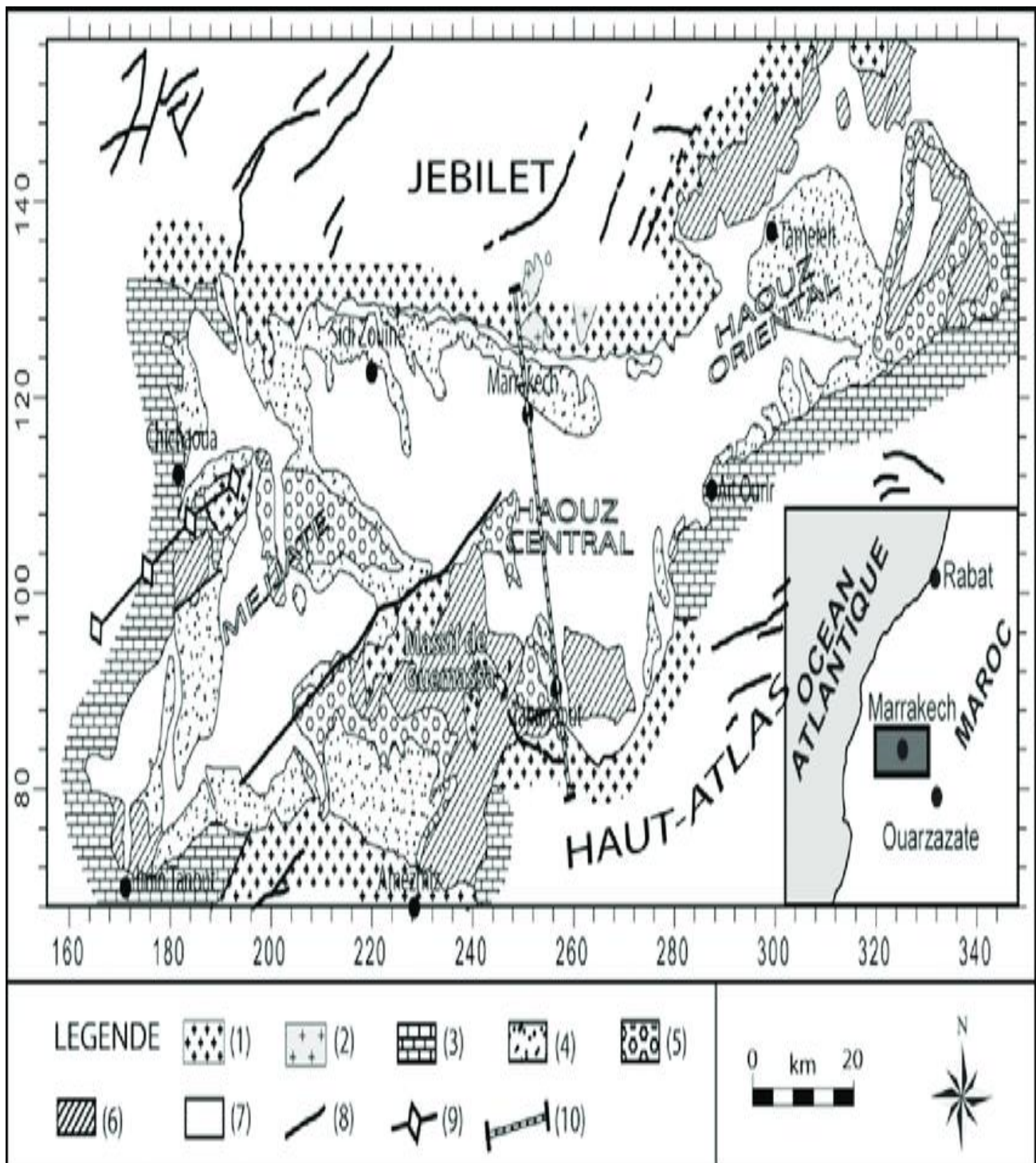
Figure 2 : Situation géographique du Haouz Central (Landast. TM 2007)

2-2 Contexte géomorphologique :

Le Haouz est un vaste bassin d'effondrement, situé entre le Haut Atlas au sud et les Jbillels au nord, résultant de mouvements tectoniques tertiaires. Ce processus d'affaissement est attribué au plissement Atlasique, qui a également entraîné l'élévation de la chaîne des Jbillels. En parcourant du bas vers le haut, on rencontre différentes formations géologiques :

- Un socle composé de schistes et de quartzites datant du Primaire, visibles le long de l'Oued Tensift et caractérisés par une faible profondeur vers le nord.
- Des formations silto-argileuses et calcaires-marneuses datant du Jurassique.
- Des formations marneuses, gréseuses et des conglomérats plus ou moins cimentés, d'âge miocène.
- Les formations quaternaires reposent sur ces couches précédentes et s'étendent sur de vastes étendus. Elles résultent de l'érosion de la chaîne Atlasique, principalement composées de limons croûteux, de calcaire, de marnes gréseuses, d'argile et de conglomérats.
- À l'amont de la plaine, les formations quaternaires sont entremêlées avec des dépôts du Pliocène, formant des cailloutis qui constituent les cônes de déjection actuels, tandis qu'à l'aval, des sédiments limoneux se déposent.

La transition de la plaine vers les sommets se fait progressivement. La pente, très douce et régulière, avoisine environ 1% dans la plaine, puis s'infléchit brusquement pour atteindre progressivement des valeurs beaucoup plus élevées (Abourida, 2007), **(Figure 3)**.



1. Paléozoïque (schistes grés et quartzite) ; 2. Granite hercynien ; 3. Mésozoïque et cénozoïque (alternance de séries carbonatées et de formations détritiques continentales) ; 4. Mio-pliocène (dépôts encroûtés) ; 5. Villafranchien (conglomérats) ; 6. Quaternaire moyen (dépôts encroûtés) ; 7. Quaternaire (alluvions-limons) ; 8. Faille ; 9. Axe anticlinal ; 10. Localisation de la coupe géologique.

Figure 3 : Carte géologique du bassin du Haouz

https://www.researchgate.net/figure/Carre-geologique-du-bassin-du-Haouz-1-Paleozoique-schistes-gres-et-quartzite-2_fig3_250311210

2-3 Contexte climatique :

Le climat du Haouz central similaire à celui de la plaine du Haouz, est de type continental aride et chaud (**Figure 4**). Généralement il est caractérisé par :

- Une température moyennement élevée, avec d'importants écarts journaliers et mensuels.
- La moyenne maximale en été est de l'ordre de 37,7°C, et suffisamment froides en hiver de l'ordre de 4,9°C moyenne des minimale.
- Pluviométrie faible et irrégulière, avec une moyenne annuelle de l'ordre de 240 mm.
- La hauteur évaporée est importante, elle est estimée à 2300 mm/an.

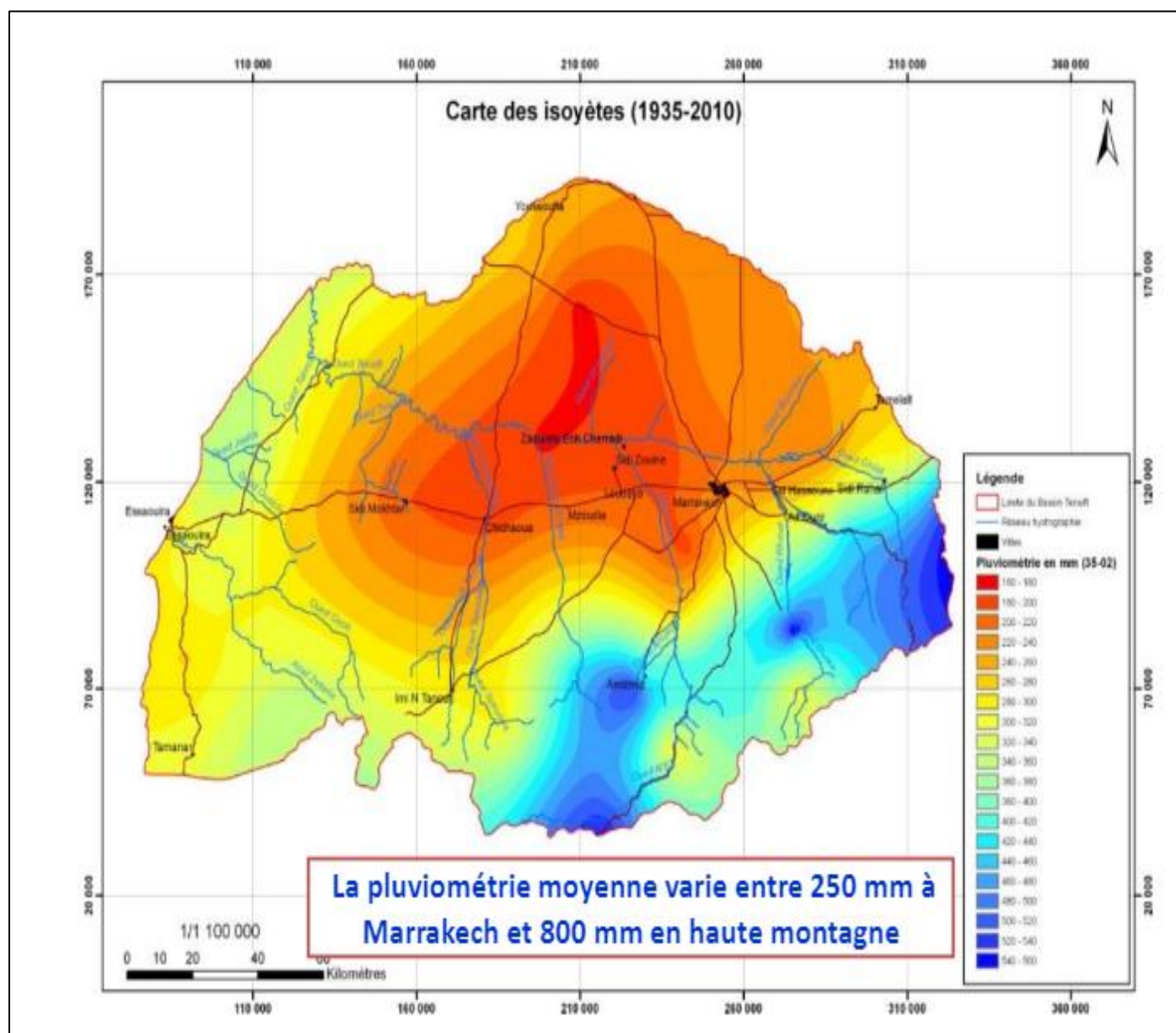


Figure 4 : Contexte hydro-climatique de la région du Haouz : 1935-2010 (ABHT, 2010)

2-4 Contexte hydrologique et hydrogéologique :

Les réserves d'eau du Haouz central sont sous deux formes :

- **Des eaux Superficielles :**

Le réseau hydrographique du Haouz est constitué de l'ensemble des Oueds issus du Haut Atlas et qui débouchent dans l'Oued Tensift. Ce dernier orienté vers l'Ouest joue un rôle de collecteur des eaux de surfaces (N'Fis, Rheraya, Issyl, Ourika, Mellah, Zat, R'Dat et Oueds secondaires) qui sont régularisés par le barrage Lalla Takerkoust et des eaux superficielles ruisselées sur le bassin versant de la Tessaout (Lakhdar, Tessaout et oueds secondaires) sont régularisés par le barrage Hassan Ier transportée par le canal de Rocade (**Figure 5**).

Les oueds de Haouz central sont issus en grande partie du ruissellement des eaux sur des pentes imperméables de schistes ou d'argiles primaires.

La zone du Haouz central connaît des aménagements hydro-agricoles en vue d'alimenter la ville de Marrakech en eau potable, et d'assurer l'irrigation des terrains agricoles via différents canaux et Seguia.

La construction du canal de la Rocade (longueur de 118,5 km avec un débit moyen de 20 m³/s dont 20 km de tête morte), a permis de dévier 350 Mm³ d'eau d'Oued Lakhdar (bassin d'Oum Rbia) vers le Haouz central. La surélévation du barrage Lalla Takerkoust sur Oued N'fis en 1980 a porté le volume régularisé à 85 Mm³ destiné aussi à l'irrigation (**Tableau 2**).

Tableau 2 : Caractéristiques des bassins versants des oueds de Haouz Central (Abourida 2007)

Bassin Versant	Caractéristiques Physiques			Caractéristiques Lithologiques		
	Altitude Moyenne (m)	Superficies (km)	Pente %	Formation perméable %	Formation semi- perméable %	Formation imperméable %
R'dat	1825	537	15	14	56	30
Zat	1960	525	18	14	40	46
Ourika	2700	503	21	6	39	55
Rhiraya	2000	225	21	26	15	59
N'fis	2320	1290	17	20	9	71

- **Des eaux souterraines :**

On distingue dans le Haouz trois nappes superposées qui sont :

- Une nappe libre de profondeur allant de 10 m au Nord à 80 m au Sud avec un débit de 30l/s.
- Une 2ème nappe à une profondeur moyenne de 300m et avec un débit plus faible.
- Une 3ème nappe très profonde (dépassé 500 m) et de débit négligeable.

La première nappe n'est autre que la nappe phréatique du Haouz qui fournit l'essentiel des débits souterrains du Haouz considéré comme l'une des plus grandes nappes du Maroc. Sa superficie est de 6000m² (Latitude : Nord 32°, Longitude : Est 8°), elle est alimentée principalement par l'infiltration des Oueds, les pertes des Seguias dans les zones irriguées traditionnellement et par infiltration des eaux de pluies à travers les formations jurassiques (calcaire et dolomie) du Haut Atlas (AGRINTER, 2010). Cette nappe fournit, au Haouz central, un volume mobilisable annuel estimé à 173 Mm³ destiné à l'irrigation des périmètres agricoles. Cependant, cette nappe souffre de problème de baisse de niveau piézométrique ces dernières années suite à la sécheresse et à l'important volume pompé au niveau des sites de pompage estimé à environ 10162 unités dans toute la plaine du Haouz (RESING.2006), (**Figure 5**).

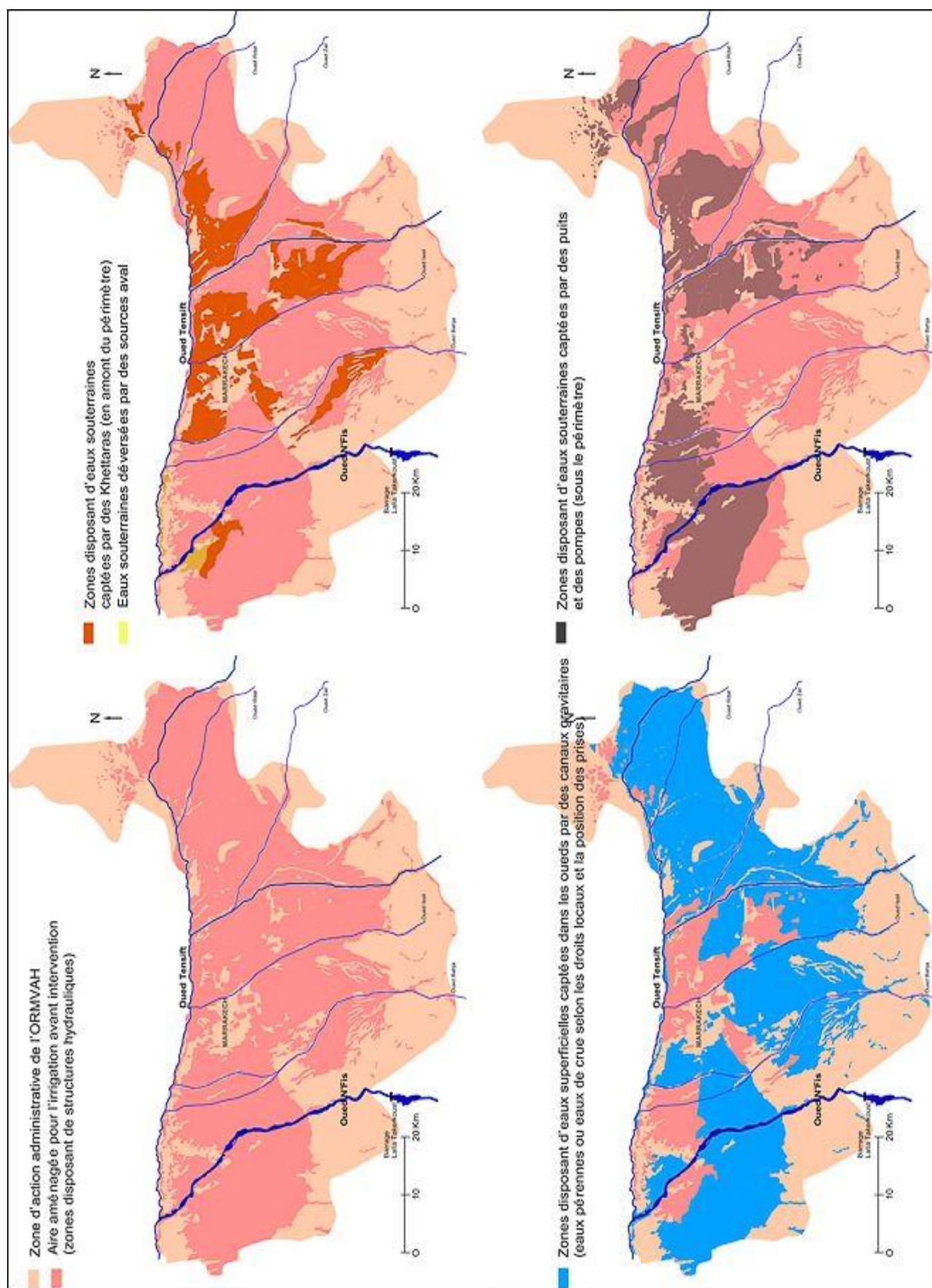


Figure 5 : Cartes des aires connectées aux différents types de ressources en eau (T. Ruf & M.Kleiche-Dray, 2018)

2-5 Types de sols :

Il y a 4 types de sols dans les zones du Haouz : rouges, bruns, châtains et gris avec des textures limono-argileuses, limoneuses ou limono sableuses. Les sols du Haouz central sont principalement composés de sables fins, de limons roses et d'argiles rouges. Les sols bruns iso- humiques subtropicaux présentent une forte prédominance, avec des textures équilibrées de type limoneuse, limono-sableuse et limono-argilo-sableuse (**Figure 6**). Ensuite, on retrouve des sols peu évolués d'origine alluviale, des sols châtains et des sols bruns iso-humiques salés et alcalisés avec des textures fines de type argilo-limoneuse et limono-argileuse.

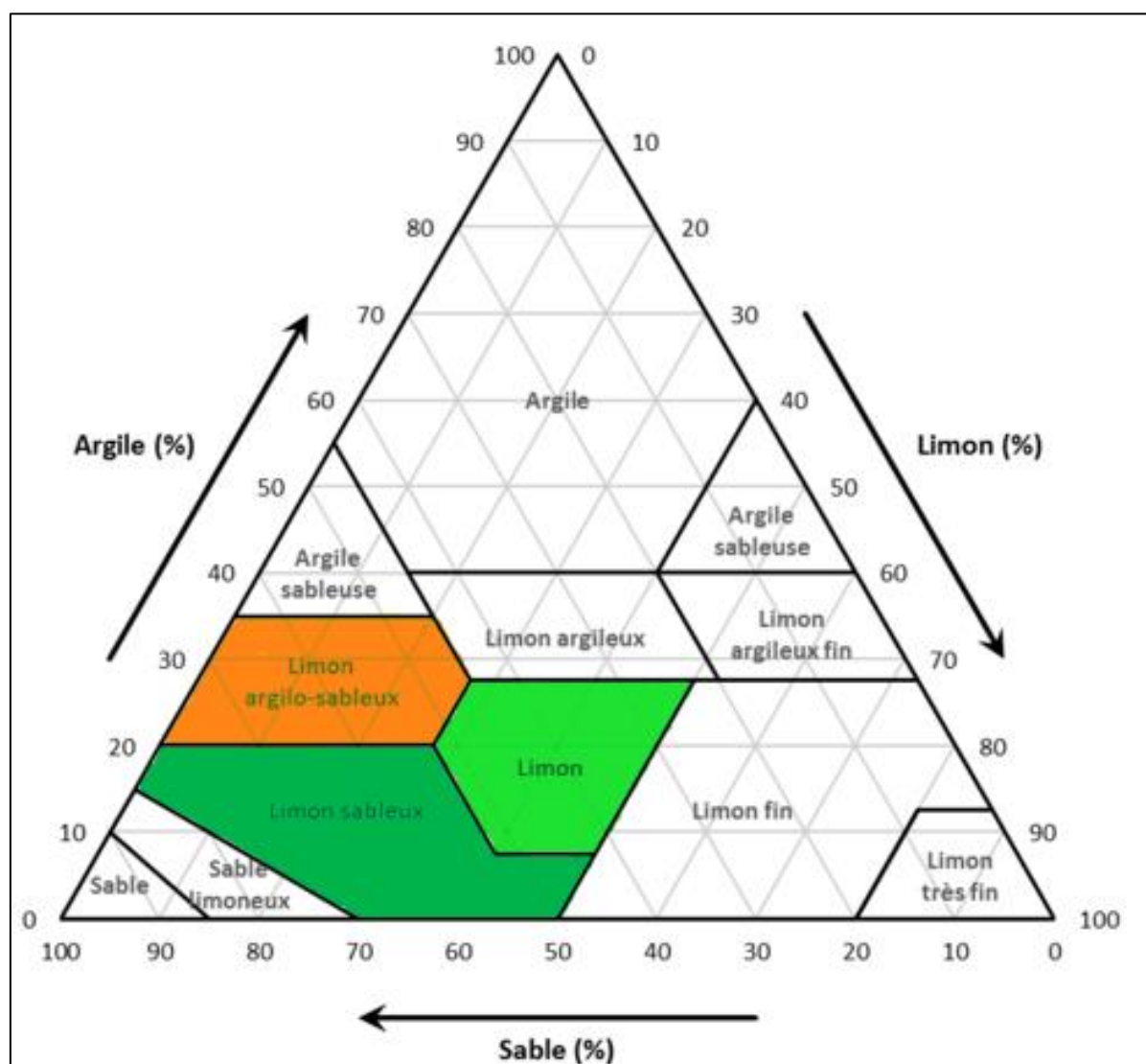


Figure 6 : Diagramme triangulaire montrant la texture des sols de la zone d'étude

2-6 Occupation des sols :

Au niveau du périmètre de Haouz central, 69% du périmètre est consacré à l'agriculture fruitière. On retrouve principalement l'olivier sur une superficie de 20 700 hectares, suivi de l'abricotier, des agrumes et du pommier. La céréale la plus répandue est le blé tendre (4410 ha), suivi du blé dur, de l'orge et du maïs. Les céréales représentent 15% de la surface du périmètre.

Environ 1887 hectares, soit 3% de la superficie totale du Haouz Central sont cultivés en cultures maraichères. Les cultures maraîchères sont très variées, avec la fève maraichère et la pomme de terre en tête, suivies du melon, du petit pois vert, de la courgette, de la tomate et de quelques autres légumes.

Le reste des sols cultivables est occupé par les cultures fourragères telles que la luzerne qui représente 13% des cultures de la région (**Figure 7**).

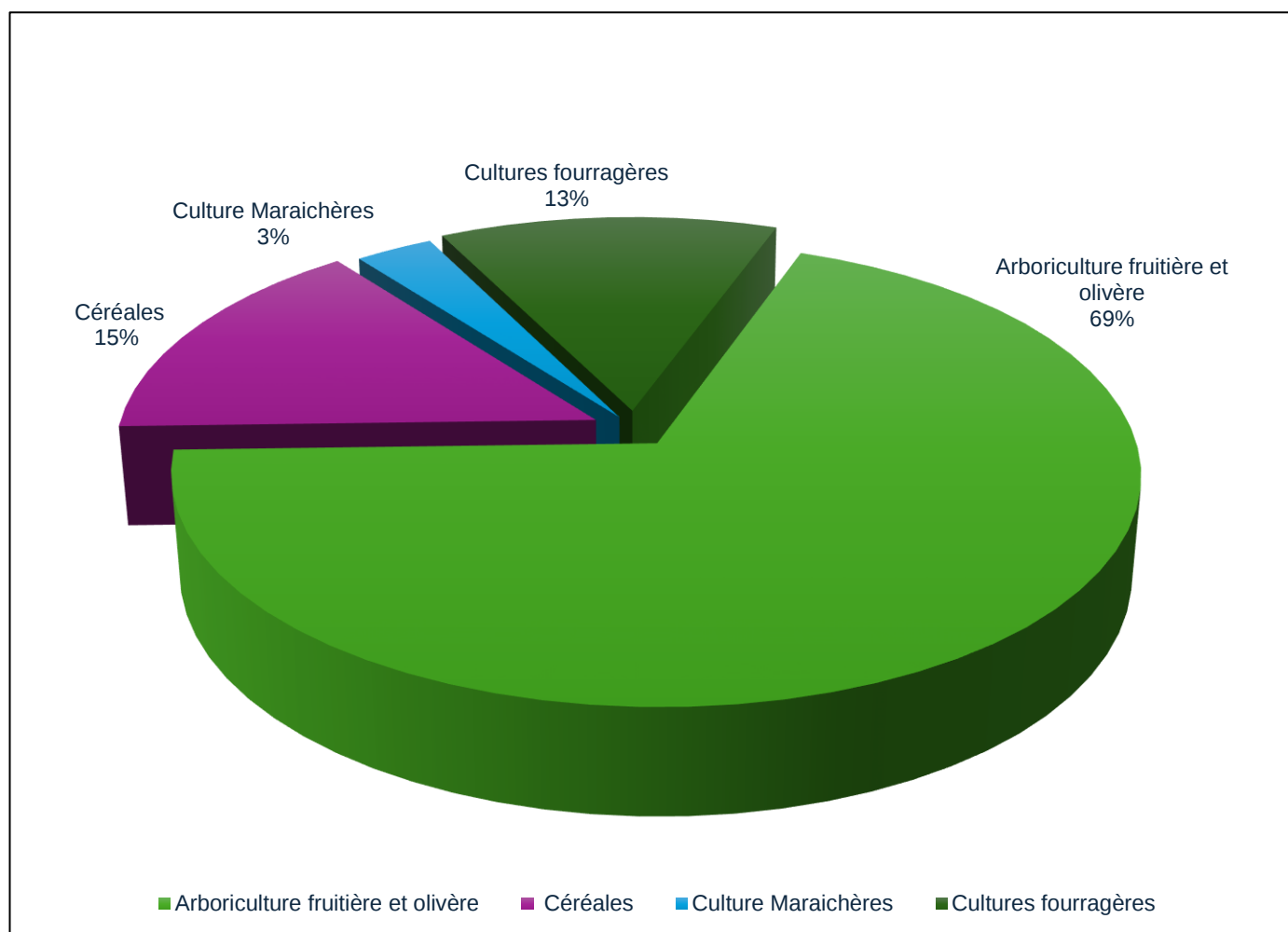


Figure 7 : Graphe des principales cultures pratiquées dans le Haouz central

CHAPITRE 3 :
DESCRIPTION DES SYSTÈME ET DES
TECHNIQUES D'IRRIGATION

Dans de nombreuses régions agricoles du Maroc, l'irrigation joue un rôle important puisqu'elle permet d'accroître la productivité agricole et permet de garantir aux agriculteurs un revenu plus important. Par ailleurs, elle permet de compenser, le manque d'eau qui s'intensifie avec les changements climatiques et l'accroissement constant des besoins en eau en agriculture. Au Maroc l'agriculture consomme entre 80 et 90% des ressources en eau. Les données disponibles montrent que les performances des systèmes d'irrigation actuels sont restées faibles à très moyennes. Les pertes en eau à la parcelle sont de l'ordre de 30 à 40%, en particulier les pertes par percolation. Ainsi l'irrigation gravitaire représente environ 80% de la superficie des grands périmètres irrigués du Maroc ce qui provoque une grande perte d'eau. La maîtrise de l'utilisation de l'eau d'irrigation devient donc urgente et nécessaire.

3-1 Classification des systèmes d'irrigation :

Les systèmes d'irrigation peuvent être classés en deux grandes catégories : L'irrigation gravitaire et l'irrigation sous pression. Cette dernière est classée en deux types l'irrigation goutte à goutte et l'irrigation par aspersion. La figure 8 présente une architecture de ces différentes méthodes d'irrigation pratiquées partout dans le monde (**Figure 8**).

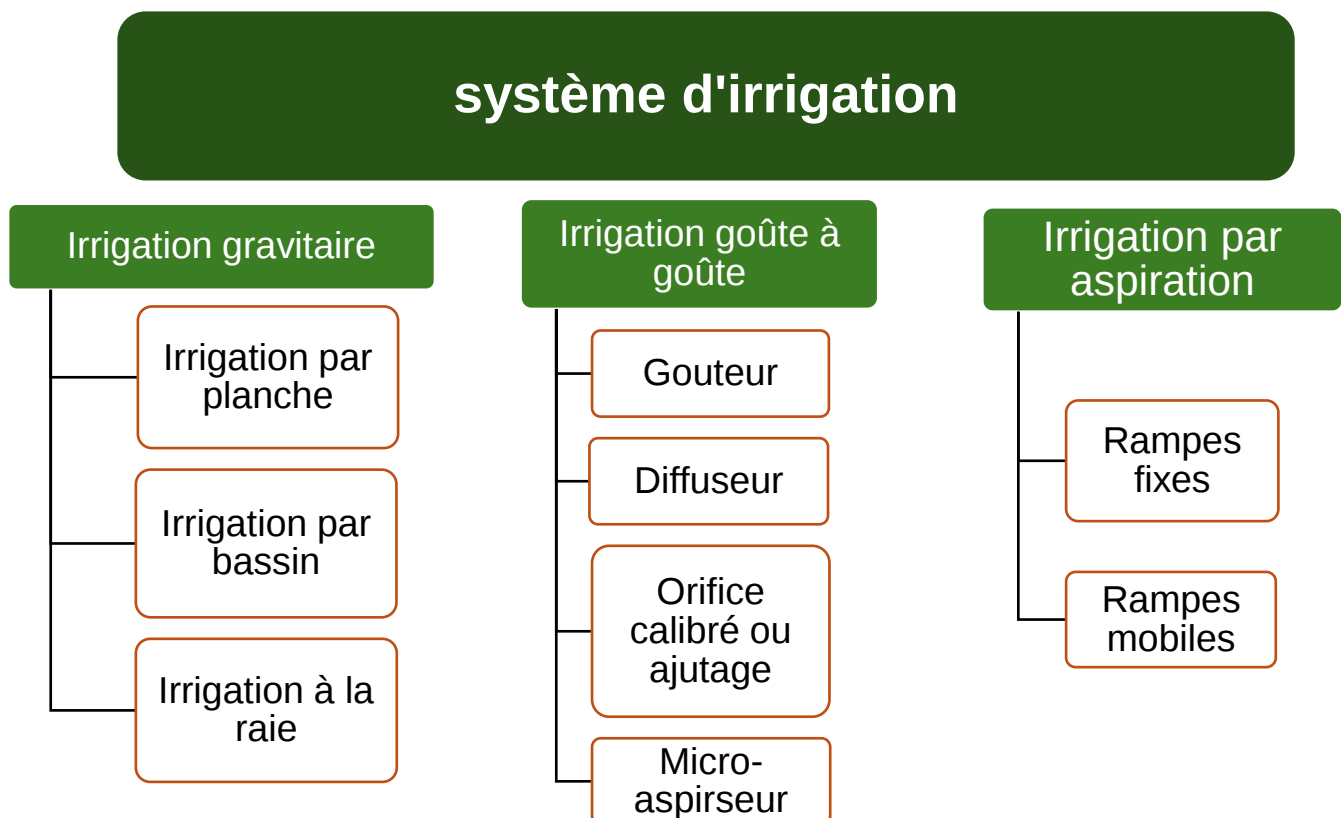


Figure 8 : Les différents systèmes d'irrigation

3-1-1 Irrigation gravitaire :

C'est la méthode d'irrigation la plus ancienne. L'irrigation des parcelles cultivées se fait par un canal à ciel ouvert qui apporte l'eau en fonction de la pente naturelle du sol à des canaux de plus en plus petits, irrigués par ruissellement dans les sillons (irrigation à la raie) ou en nappe (irrigation par planche ou calant) ou par submersion contrôlée (irrigation par bassin). Elle demeure la méthode la plus courante dans les zones irriguées à travers le monde. Selon les estimations, plus de 93% de la superficie de la grande hydraulique est irriguée par une méthode traditionnelle appelée "Robta", ce qui représente environ 88% des surfaces irriguées au Maroc. La méthode nécessite beaucoup d'eau, d'autant plus qu'une grande partie est perdue par évaporation.

Dans l'irrigation gravitaire il y a plusieurs types d'irrigation dont les trois suivantes sont les plus connus : l'irrigation par planche, l'irrigation par bassin ainsi que l'irrigation à la raie.

➤ L'irrigation par planche :

Il s'agit de l'apport d'eau par ruissellement sur de longues parcelles en pente et rectangulaires inclinées de 0,2 à 3%, avec des conditions de drainage à l'extrémité inférieure du champ. Les planches sont placées en direction de la plus forte pente.

Il s'agit de la méthode la plus complexe car il est nécessaire d'adapter le débit d'irrigation de chaque planche en fonction de toutes les autres variables (**Figure 9**).

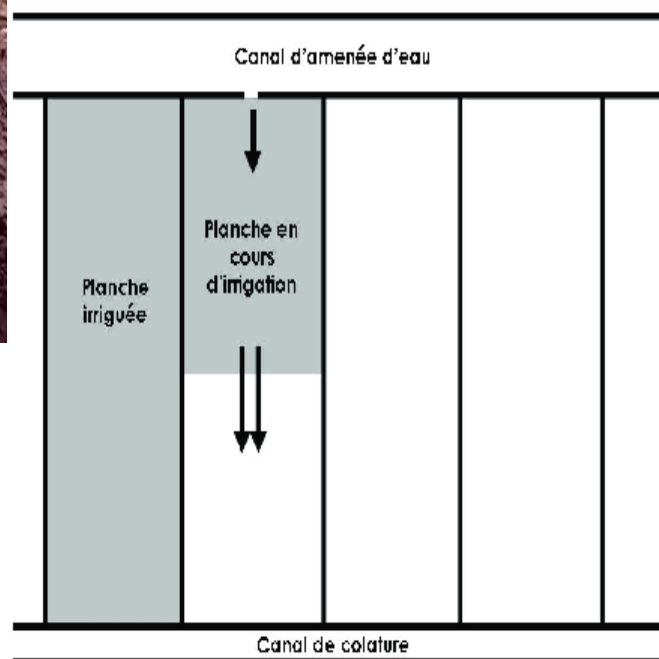


Figure 9 : Irrigation par planche

https://www.youtube.com/watch?v=YOiJ490rsoq&ab_channel=agriculturebiologique

➤ **L'irrigation par bassin :**

C'est la plus connue dans l'irrigation gravitaire, les bassins sont généralement de forme rectangulaire, Sa pratique sur un sol nivelé (pente 0,1 à 1%) entourés par une digue pour éviter le ruissellement, ainsi que la simplicité de l'opération, qui consiste à remplir le bassin, font que cette technique est fréquemment utilisée. Dans plusieurs régions du Maroc, la taille des bassins est de 40 à 50m² et cette technique est connue sous le nom "Robta". Cette dernière occasionne une perte importante de superficie, due au nombre important de cloisonnements, Quelques cultures et types de sol ne se prêtent pas à l'irrigation par bassins et elle convient mieux aux sols peu filtrants et aux cultures denses à enracinement profond (Walker 1989). Le nivellement du terrain est très important pour obtenir une uniformité et une efficacité élevées pour toutes les techniques d'irrigation de surface (**Figure 10**).



Figure 10 : Irrigation par bassin

<https://www.apb-energy.com/energie/pompage-solaire-sites-isoles/fournisseur-lorentz-pompe-solaire>

➤ **L'irrigation à la raie :**

Ou en rigole, il est idéal pour les sols avec une pente comprise entre 0,2 et 3%. Les sillons sont distants de 0,6 à 1,25 m, en fonction du type de sol et de la culture. En fonction du débit, il est possible d'irriguer un ou plusieurs sillons simultanément. Il est possible que les raies soient parallèles ou perpendiculaires à la rigole permanente d'envoi d'eau. En général, l'irrigation se fait selon un seul débit ou selon une succession de deux débits différents, un premier débit élevé, dit débit d'attaque, et un deuxième débit plus faible, dit débit d'entretien. La mécanisation est plus adaptée à l'irrigation à la raie : par siphon, par rampe à vannettes, par gaine souple ou par Trans irrigation (**Figure 11**).



Figure 11 : Irrigation a la raie

3-1-2 L'irrigation goûte à goûte :

L'irrigation goûte à goûte ou l'irrigation localisée est l'ensemble d'apport d'eau localisée au voisinage des racines des plantes, avec des doses réduites mais, à fréquences élevées. L'irrigation localisée n'est en réalité qu'une amélioration des méthodes traditionnelles dans son principe. Il implique d'introduire l'eau à faible pression jusqu'aux racines de chaque plante et de la répartir au compte-goutte, en surface ou en souterrain, à l'aide de petits tuyaux, placés sur le sol ou enfouis (**Figure 12**). Selon Azougagh (2001), cette méthode permet de réduire considérablement la consommation d'eau en n'humidifiant que la partie du sol qui se trouve à proximité immédiate des racines, ce qui limite les pertes causées par l'évaporation, le ruissellement ou l'infiltration profonde.

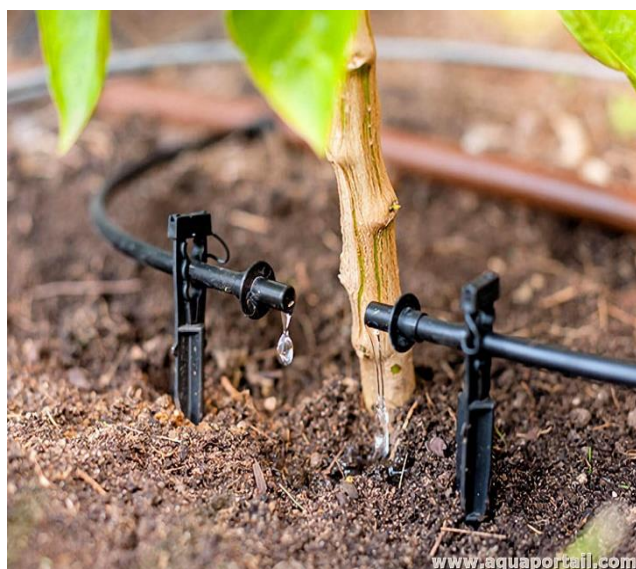


Figure 12 : Irrigation goûte à goûte

<https://images.app.goo.gl/ZXiUxi4JkUXP4STMA>

Dans l'irrigation goute à goute, il y a 4 types :

- Irrigation par goutteurs.
- Irrigation par diffuseur.
- Irrigation par orifice calibré ou ajustage.
- Irrigation par micro-asperseur.

Un système d'irrigation goute à goute comprend :

- Une pompe.
- Un système de filtration.
- Un indicateur de débit.
- Un ou plusieurs régulateurs de pression.
- Des tuyaux d'alimentation principale pour pouvoir rouler par-dessus.
- Des tuyaux d'alimentation secondaires.
- Des tuyaux perforés (ou des tuyaux avec goutteurs).
- Une unité d'injection pour la fertigation qui peut être ajoutée car des engrais utilisables en agriculture biologique pour la fertigation sont maintenant disponibles.
- Des raccords qui permettent de réparer une fuite (**Figure 13**).

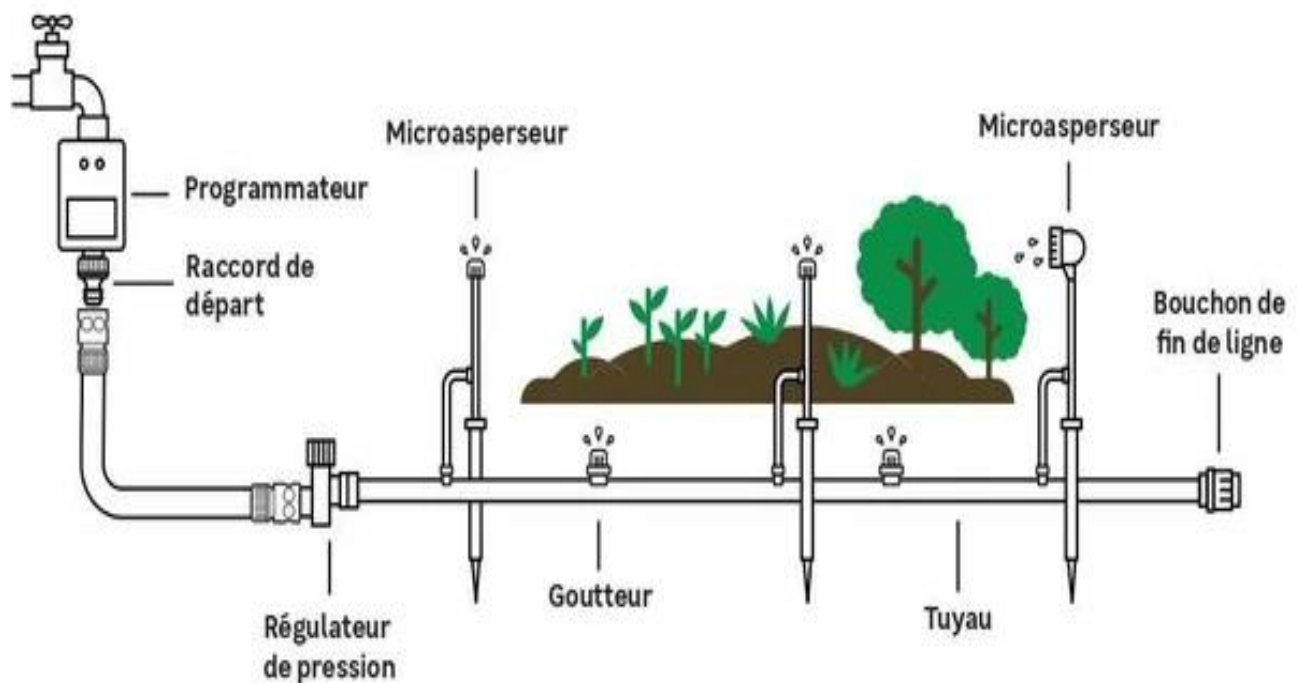


Figure 13 : Schéma d'irrigation goute à goute

3-1-3 L'irrigation par aspiration :

L'irrigation par aspiration consiste à fournir l'eau nécessaire aux cultures sous une forme analogue à la pluie naturelle. L'eau est mise sous pression, généralement par pompage, pour être ensuite diffusée par des asperseurs rotatifs sous la forme d'une pluie artificielle. La distribution d'eau est faite au moyen de rampes (fixes ou mobiles) d'arrosage équipées d'asperseurs (**Figure 14, 15**). L'eau sort sous la forme d'un jet et se répartit en gouttelettes d'eau qui tombent sur le sol sous forme de pluie artificielle.

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

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



Figure 14 : Irrigation par aspiration (Rampes mobile)

<https://images.app.goo.gl/U1fRFcWyqbi1qk6z5>



Figure 15 : Irrigation par aspiration (Rampes fixes)

<https://www.adn-global.com/fr/services/le-systeme-darrosage-par-aspiration/>

3-2 Avantages et inconvénients de l'irrigation gravitaire :

L'irrigation gravitaire caractérisé par des avantages et des inconvénients ; le **Tableau 3** récapitule l'ensemble des avantages et des inconvénients de l'irrigation gravitaire.

Tableau 3 : Avantages et inconvénients de l'irrigation gravitaire

Avantages	Inconvénients
• Les besoins énergétiques sont faibles ou nuls. • Techniques sont anciennes, bien connues et éprouvées et sont insensibles au vent. • Contribution à l'alimentation des nappes phréatiques. • Augmentation de la biodiversité. • Les techniques sont assez bien adaptées à l'épandage d'eaux de sortie de station d'épuration par exemple.	• Besoin en main d'œuvre important. • Pollution possible par déversement. • Techniques inadaptées sur des sols filtrants. • Salinisation des sols. • Nécessite un terrain plat ou un nivellement. • Estimation du volume réellement consommé difficile.

CHAPITRE 4 :
CARACTÉRISTIQUES DES
PARAMÈTRES DES SOLS

Les prélèvements ont été réalisés sur 23 sites sur l'horizon superficiel des sols (0-30 cm), (**Figure 16**) suivant les coordonnées fournies par le CPS (**Tableau 4**).

Tableau 4 : Coordonnées des points de suivi de la qualité des sols de Haouz Central

Numéro du point	x	y	Périmètre
S1	233 222	104 668	<i>Haouz Central</i>
S2	225 220	106 941	<i>Haouz Central</i>
S3	273 168	105 989	<i>Haouz Central</i>
S4	229 438	107 154	<i>Haouz Central</i>
S5	233 030	107 971	<i>Haouz Central</i>
S6	221 002	110 234	<i>Haouz Central</i>
S7	223 793	114 062	<i>Haouz Central</i>
S8	218 217	114 727	<i>Haouz Central</i>
S9	242 159	114 880	<i>Haouz Central</i>
S10	232 429	120 365	<i>Haouz Central</i>
S11	245 674	123 002	<i>Haouz Central</i>
S12	224 484	126 711	<i>Haouz Central</i>
S13	239 577	126 005	<i>Haouz Central</i>
S14	267 192	108 116	<i>Haouz Central</i>
S15	270 774	108 776	<i>Haouz Central</i>
S16	288 566	119 697	<i>Haouz Central</i>
S17	291 240	122 554	<i>Haouz Central</i>
S18	298 847	130 581	<i>Haouz Central</i>
S19	293 228	129 013	<i>Haouz Central</i>
S20	296 881	127 471	<i>Haouz Central</i>
S21	293 490	121 221	<i>Haouz Central</i>
S22	290 898	118 300	<i>Haouz Central</i>
S23	285 706	120 572	<i>Haouz Central</i>



Figure 16 : Localisation des Points de prélèvement des sols sur la carte du Haouz Central

Les échantillons du sol ont été prélevés en 2015 (année de référence) et 2024. Le tableau récapitulatif des résultats des analyses est reporté en annexe.

4-1 La texture des sols :

Au niveau de toute la plaine du Haouz, elle a révélé la présence de quatre types de sol de nature différent : rouge, gris, châtain et brun. 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. Les échantillons montrent une texture argilo-sableuse, sauf S16 et S17 qui ont une texture limono-argilo-sableuse.

La texture est un paramètre qui est invariable dans un sol, elle est la même entre les années 2015 et 2024.

4-2 PH du sol :

Le pH traduit l'état de saturation du complexe adsorbant et de la solution du sol en cations échangeables ou solubles. Il nous renseigne sur le pouvoir acidifiant du sol. Les sols dont le complexe est saturé en bases échangeables ont un pH basique : les sols désaturés en cations échangeables ont un pH acide.

L'impact négatif d'un pH fortement acide ou fortement basique sur un sol est l'inhibition d'absorption des éléments nutritifs par la plante, puis il affecte l'activité enzymatique des plantes.

Quand le pH du sol devient fortement alcalin ($\text{pH} > 8.5$), il traduit souvent un taux élevé en calcium sur le complexe absorbant.

Les résultats des analyses du pH des sols de la zone du Haouz central (**Tableau 5**) sont relativement stables au sein de la même campagne de mesure. Le pH est de l'ordre de 8,45 pour l'année 2015 et de 7,79 pour l'année 2024.

Tableau 5 : Les valeurs de PH 2015 et 2024 dans la zone du HC

Point	PH 2015	PH 2024
S1	8,51	7,87
S2	8,59	8,43
S3	8,37	7,78
S4	8,36	7,5
S5	8,06	7,77
S6	8,62	7,95
S7	8,58	7,94
S8	8,57	7,82
S9	8,52	7,71
S10	8,52	7,83
S11	8,25	7,58
S12	8,54	7,6
S13	8,05	7,54
S14	8,51	7,77
S15	8,59	7,4
S16	8,16	7,71
S17	8,69	7,98
S18	8,59	7,72
S19	8,58	7,96
S20	8,66	7,95
S21	8,39	7,74
S22	8,32	7,85
S23	8,28	7,85

- Le pH des sols dans la zone du Haouz central en 2015 est compris entre la valeur max 8,69 et la valeur min 8,05, avec une moyenne de 8,45.
- Le pH des sols dans la zone du Haouz central en 2024 est compris entre la valeur max 8,43 et la valeur min 7,40, avec une moyenne de 7,79.

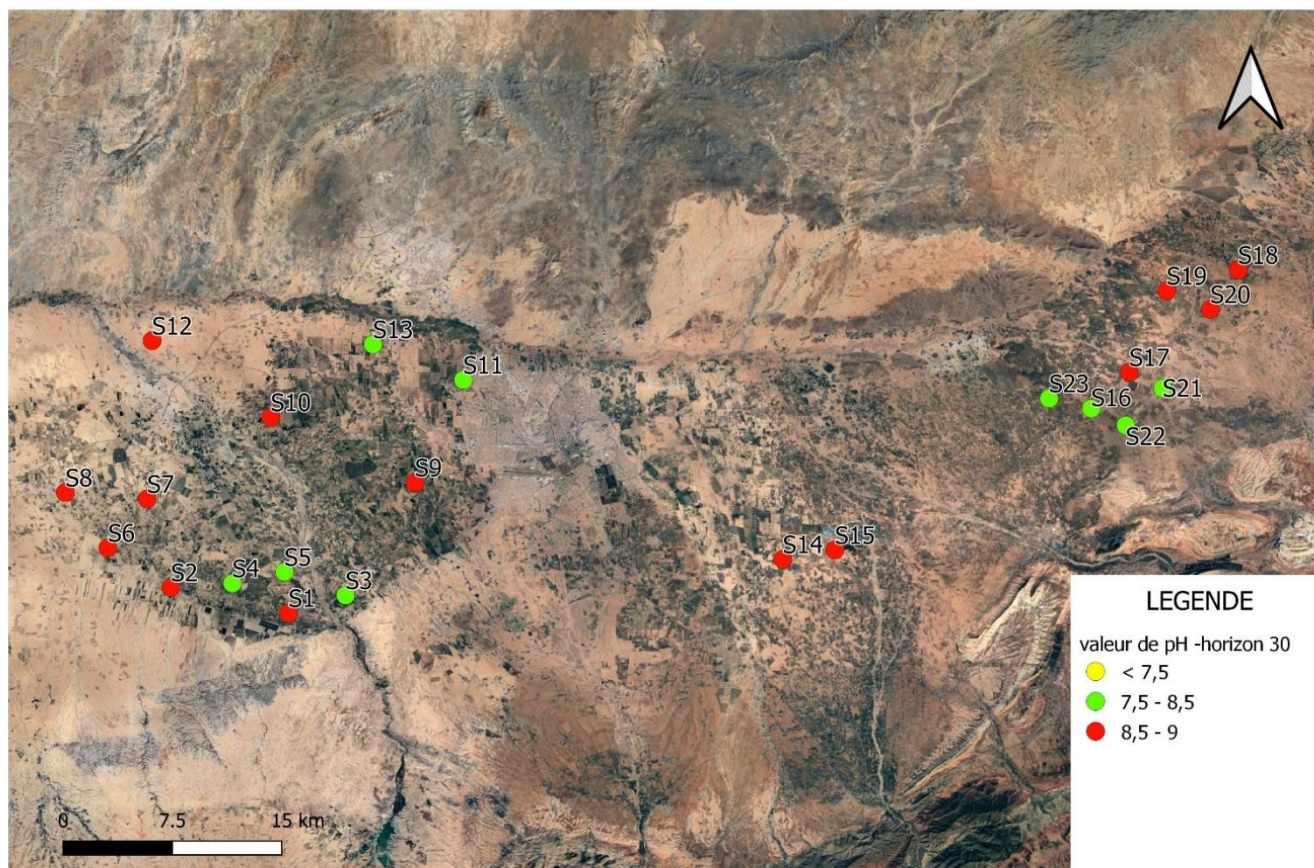


Figure 17 : Carte de répartition du pH des sols du HC 2015 (Horizon 30 cm)

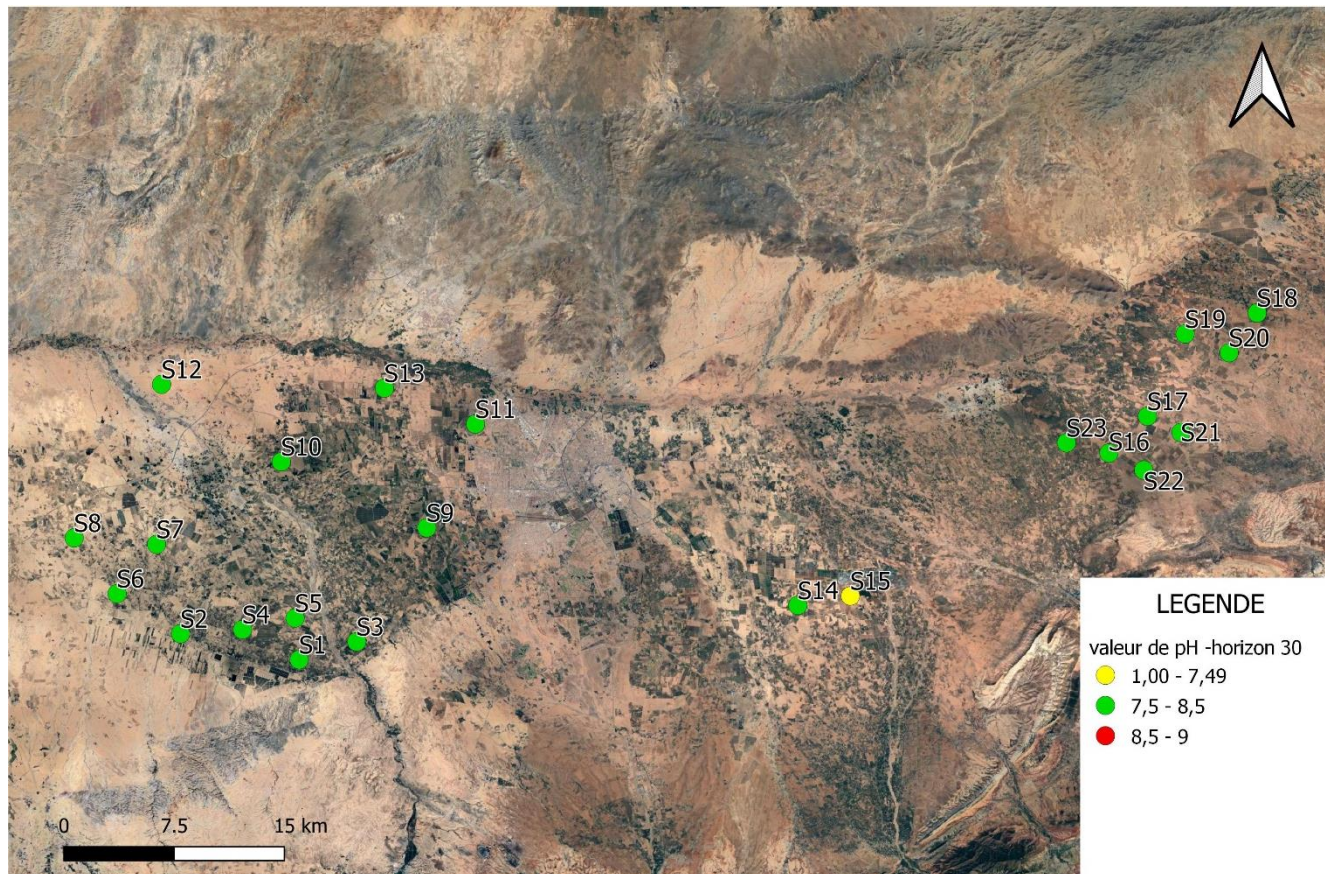


Figure 18 : carte de répartition du pH des sols du HC 2024 (Horizon 30 cm)

Tableau 6 : Répartition du pH des sols du Haouz Central par classe

Classe	Interprétation	Haouz Central 2015		Haouz Central 2024	
		Nb	%	Nb	%
< 7,5	Légèrement basique	0	0%	1	4%
7,5 à 8,5	Moyennement basique	9	39%	22	96%
8,5 à 9,0	Tendance alcaline	14	61%	0	0%
Total		23	100%	23	100%

L'ensemble des analyses (**Figure 17, 18 et Tableau 6**), effectuées montre que 96% des valeurs mesurées ont un pH moyennement basique (2024), par contre, dans les analyses de 2015 le PH moyen est fortement basique à 61%.

4-3 Salinité des sols par conductivité de l'extrait à la pâte saturée :

La conductivité électrique de la pâte saturée est une méthode qui a servi de standard pour mesurer la charge en sels solubles dans le sol. Elle nous renseigne sur la composition globale en sels dans le sol. Une conductivité électrique élevée indique une forte concentration en sels dans la solution du sol, ce qui augmente la pression osmotique dans la zone racinaire et entraîne une incapacité des racines à absorber l'eau, ce qui implique une mauvaise absorption des éléments nutritifs, donc une chute de rendement. Cette conductivité est appréciée par une lecture en mS/cm ou dS/m. Certains ions tels que le Bore, le sodium et les chlorures sont nocifs ou toxiques pour les plantes quand ils sont en grande quantité dans la solution du sol.

Tableau 7 : Répartition des classes de la salinité par horizon et par secteur

Secteur	Nombre d'échantillon	Classe de salinité (CE mS/cm)		HC 2015 (0-30 cm)	HC 2024 (0-30 cm)
		Désignation	Valeur	%	%
Haouz Central	23	Non salés	< 2	100	100
		Très peu salés	2 à 4	0	0
		Peu salés	4 à 8	0	0
		Salés	8 à 16	0	0
		Fortement salés	16 à 32	0	0
		Très fortement salés	> 32	0	0

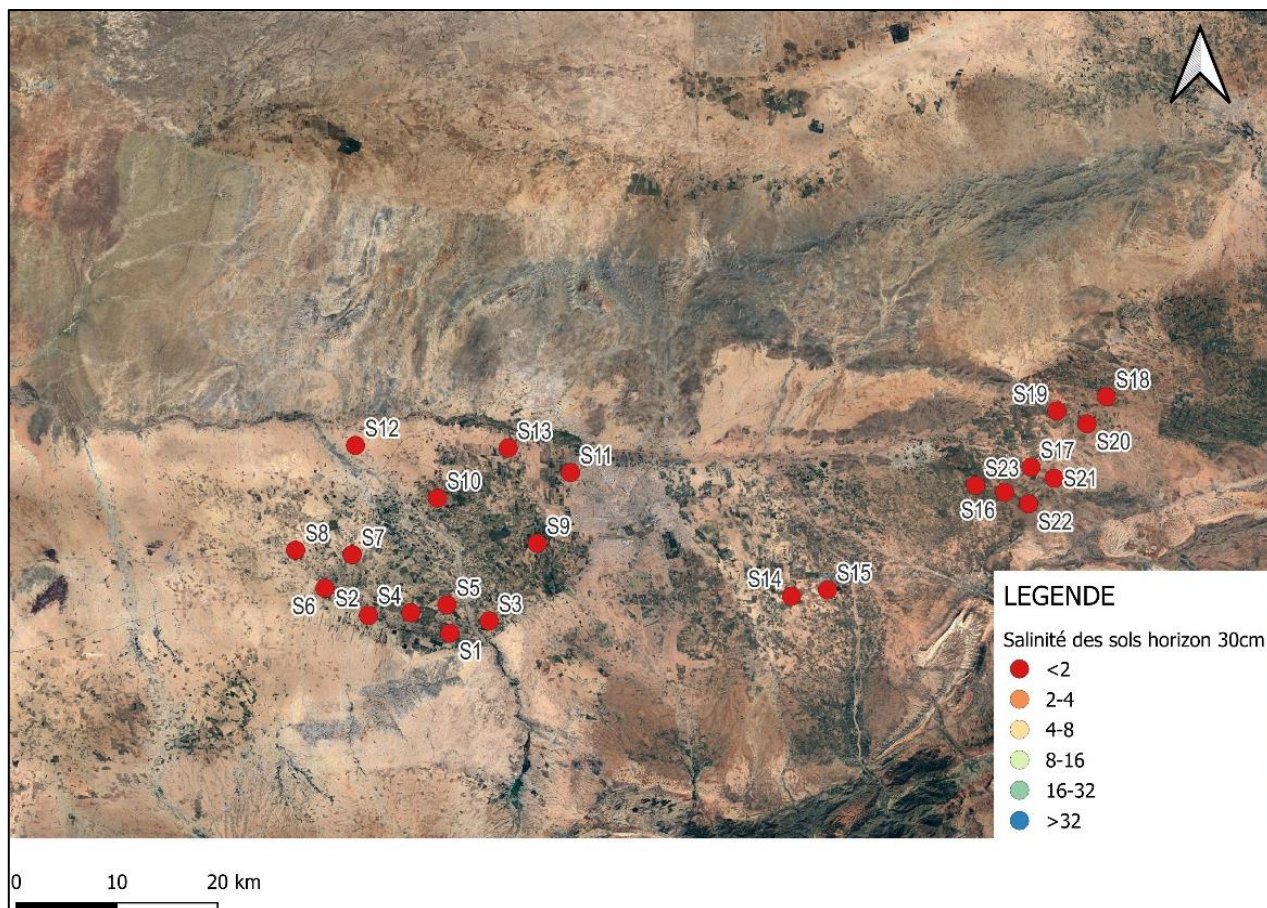


Figure 19 : Carte de répartition de CE des sols du HC 2015 (Horizon 30 m)

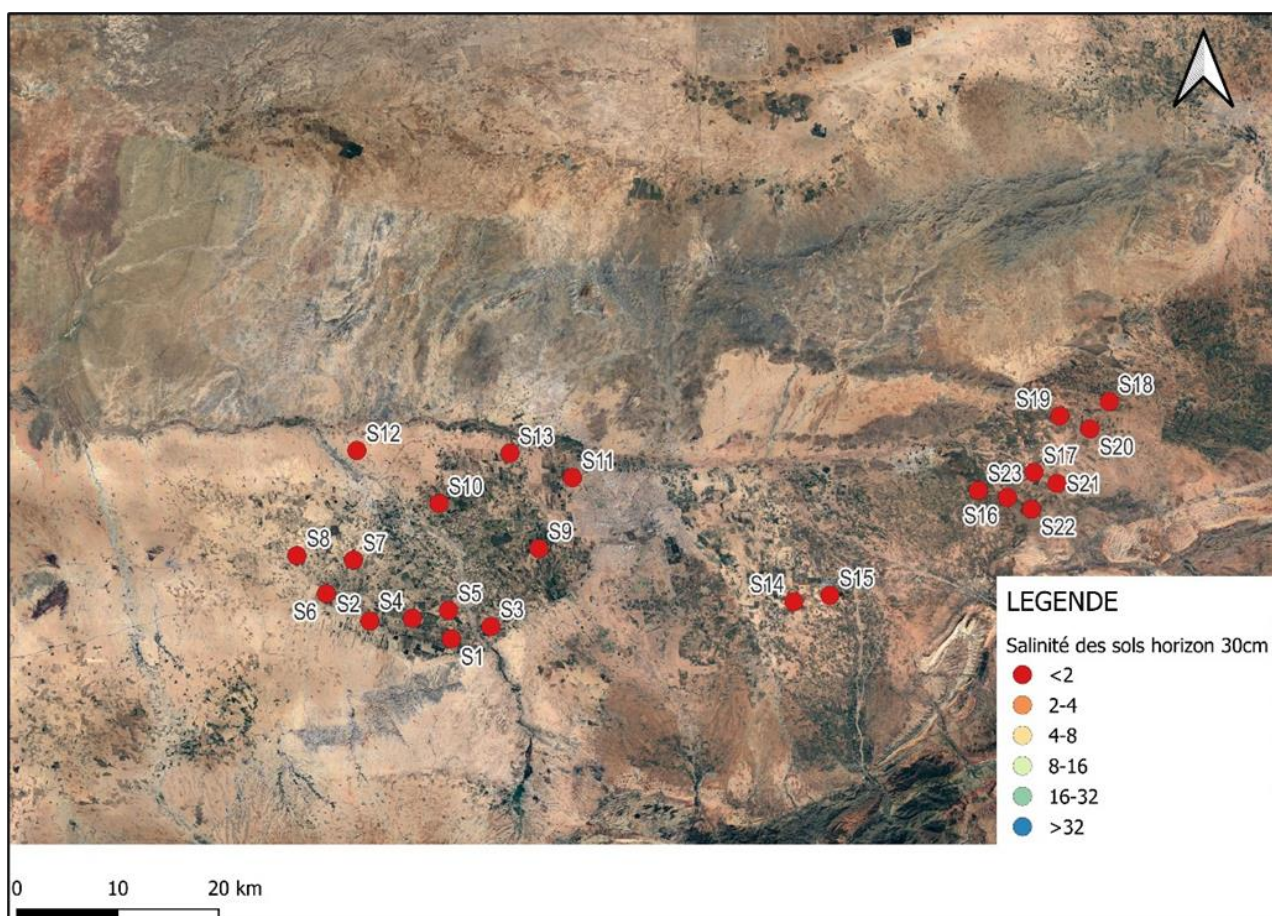


Figure 20 : Carte de répartition de CE des sols du HC 2024 (Horizon 30 cm)

Les sols affichent des conductivités de la pâte saturée inférieures à 4 mS/cm (**Tableau 7 et Figure 19, 20**). Ceci montre qu'il n'y a pas de problème de salinité dans les sols étudiés. Par ailleurs, aucun changement notable n'a été observé entre les années 2015 et 2024.

4-4 Taux de matière organique des sols :

La présence de matière organique joue un rôle important dans la fertilité du sol. Elle intervient Dans :

- La stabilité structurale du sol par l'intervention des produits colloïdaux associés à la fraction limono-argileuse du sol.
- L'amélioration de la rétention d'eau du sol.
- La fixation des éléments minéraux par le complexe argilo-humique.
- Le taux de matière organique nous donne des informations sur la fertilité des sols.

La MO des sols dans la zone du Haouz central en 2015 est comprise entre la valeur max de 0,66 et la valeur min de 3,83.

La MO des sols dans la zone du Haouz central en 2024 est comprise entre la valeur max de 0,38 et la valeur min de 3,57.

Tableau 8 : Répartition de la matière organique par horizon et par classe

Teneur en matière organique %	Appréciation	Haouz Central 2015 (0-30 cm)	Haouz Central 2024 (0-30 cm)
<0,7	Très pauvre	4,34 %	13,04 %
0,7 à 1,5	Pauvre	60,86 %	39,13 %
1,5 à 3	Moyennement pourvu	30,43 %	39,13 %
3 à 6	Riche	4,34 %	8,69 %
>6	Très riche	0 %	0 %

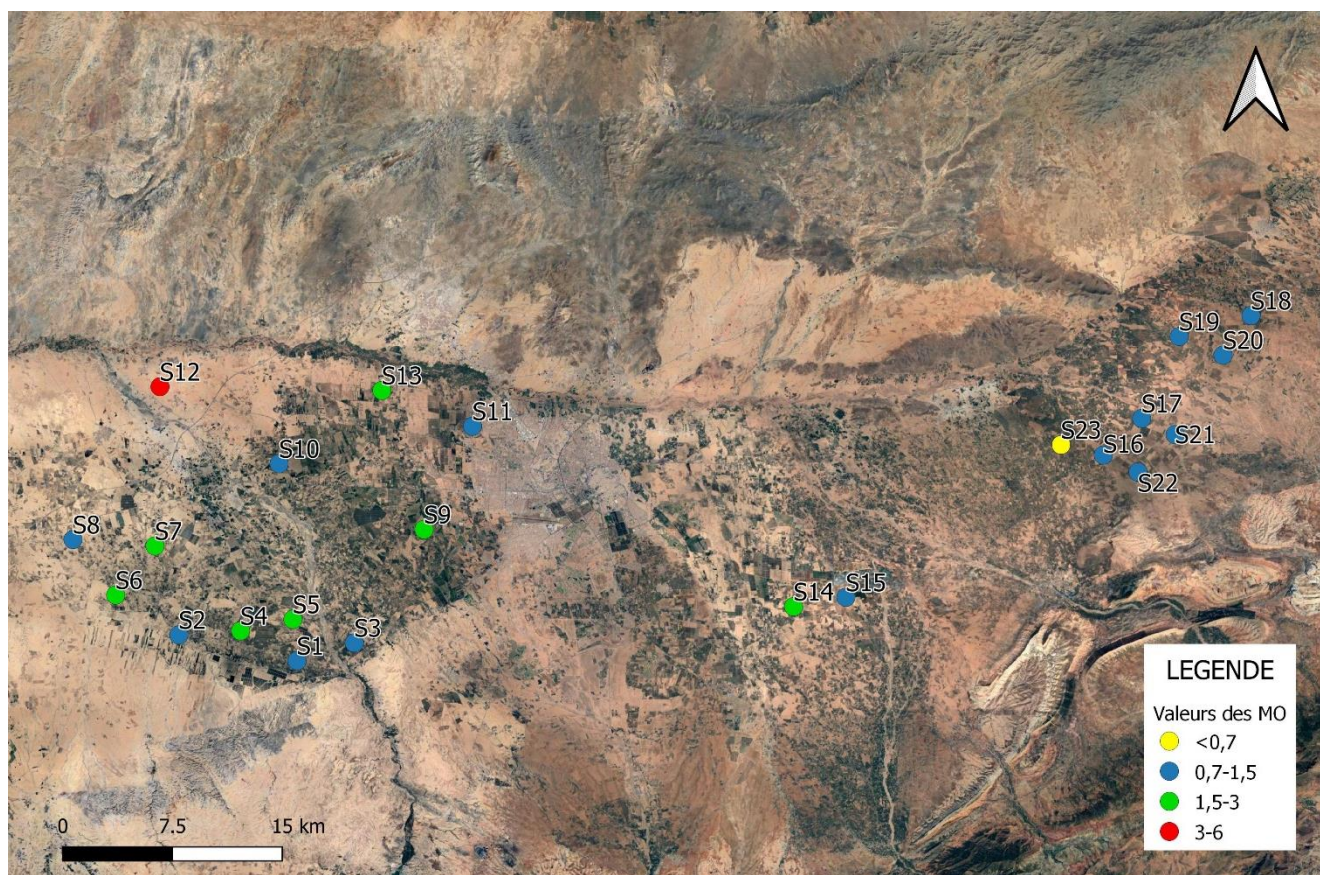


Figure 21 : Carte de répartition de la matière organique des sols du HC 2015 (Horizon 30 cm)

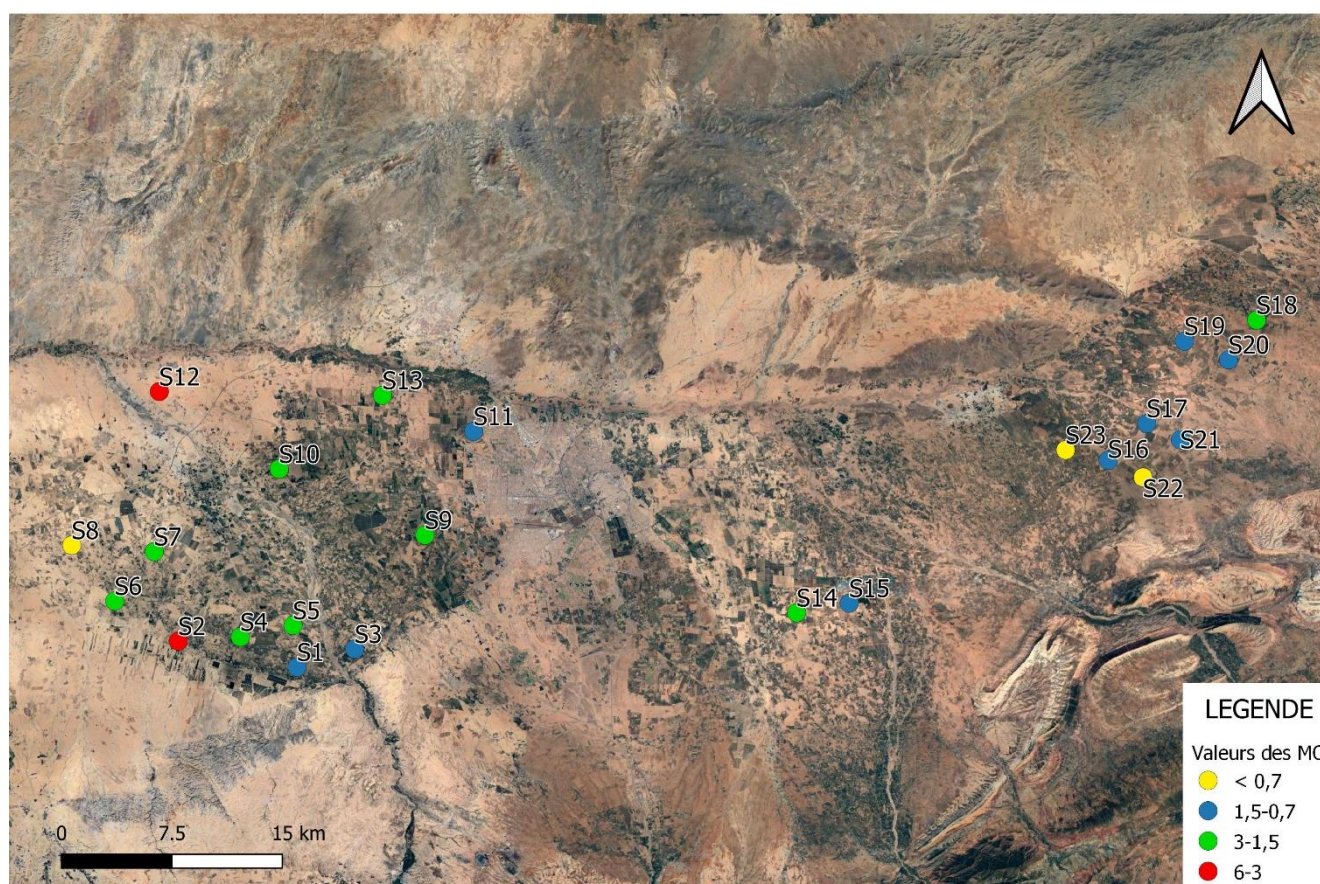


Figure 22 : Carte de répartition de la matière organique des sols du HC 2014 (Horizon 30 cm)

Les sols du Haouz central en 2024 sont caractérisés par une bonne stabilité structurale (**Figure 21, 22 et Tableau 8**), grâce à la présence de matière organique (pauvre à moyennement pourvue).

Le secteur de HC connut une dispersion des zones qui sont riches en MO, en revanche une réduction des zones qui sont pauvre en MO pour l'année 2024.

4-5 Capacité d'échange cationique :

La capacité d'échange cationique (CEC) d'un sol est la quantité de cations que celui-ci peut retenir sur son complexe adsorbant à un pH donné. La CEC est liée au complexe argilo-humique. La valeur de la CEC d'un sol est donc fonction des quantités d'argile et de MO qu'il contient, mais aussi de la nature de ces éléments et du pH du sol. Ce dernier influe beaucoup sur la capacité de réservoir. Plus le pH diminue, plus la CEC diminue, plus le pH augmente, plus la CEC sera élevée pour un même type de sol.

Tableau 9 : CEC des sols du Haouz Central

CEC	2015	2024
Min	11,25	8,46
Max	40,08	19,45
Moyenne	19,11	14,32

Tableau 10 : Répartition des classes de la CEC des sols en %

Classes de la CEC en méq/100g		HC 2015		HC 2024	
Désignation	Valeur	Nb	%	Nb	%
Faible	< 5	0	0	0	0
Moyenne	5-12	1	4,34	6	26,08
Elevée	12-25	18	78,26	17	73,91
Très élevée	>25	4	17,39	0	0

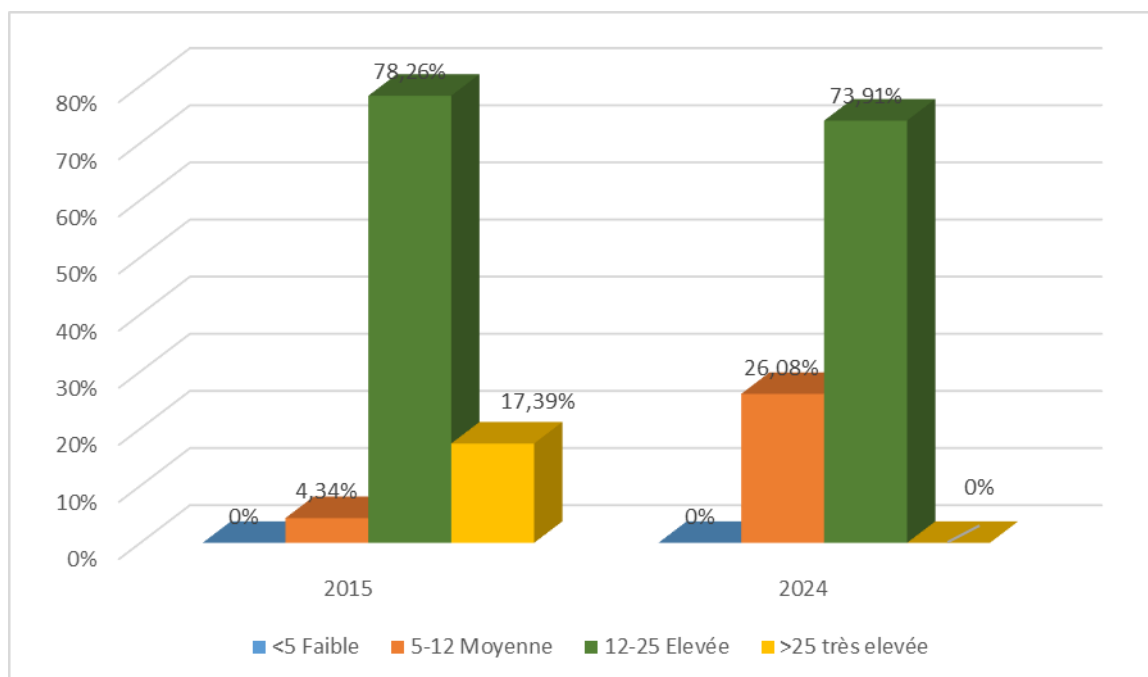


Figure 23 : Répartition de la CEC par classe

L'analyse des résultats de la CEC présente dans les **Tableaux 9** et **10** et de la **Figure 23**, montre que les sols de la région du Haouz central présentent dans l'ensemble des capacités d'échange cationique moyennes à élevées présentant des meilleures conditions de rétention des éléments nutritifs surtout en 2015.

4-6 Taux de sodium échangeable (%ESP) :

Le %ESP correspond au taux de sodium échangeable par rapport à la capacité d'échange cationique (CEC) du sol. Il indique le taux de saturation du complexe argilo-humique du sol par l'ion Sodium. Un sol sodique (alcalin), dont le %ESP dépasse 15 %, présente des signes de dispersion des colloïdes du sol et entraîne une dégradation de la structure du sol. Il en résulte une augmentation de la vitesse d'infiltration de l'eau, en plus le sol perd sa capacité de rétention en eau.

La sodicité des sols a pour origine :

- Une remontée capillaire des eaux souterraines chargées en sodium.
- Un matériau parental du sol riche en sodium.
- Un apport de sodium par les eaux d'irrigation (avec un SAR élevé).

L'alcalinité des sols est calculée à partir du taux du sodium échangeable ou l'ESP, qui correspond à la relation : $(ESP = Na^+ / CEC) * 100$.

Le ESP% des sols dans la zone du HC en 2015 est compris entre la valeur max 33,77 et la valeur min 3,48, avec une moyenne de 12,7.

Le ESP% des sols dans la zone du HC en 2024 est compris entre la valeur max 38,8 et la valeur min 2,87, avec une moyenne de 14,02 (**Tableau 11**).

Tableau 11 : Les valeurs d'ESP% en 2015 et 2024 dans la zone du HC

Point	2015			2024		
	CEC	Na⁺	ESP%	CEC	Na⁺	ESP%
S1	18,28	1,1	6,01	14,5	0,5	3,4
S2	17,22	3,2	18,58	18,34	4,1	22,35
S3	17,02	2,8	16,45	14,04	2,5	17,8
S4	15,13	1,4	9,25	15,44	1,5	9,71
S5	16,18	2,8	17,3	17,96	2	11,13
S6	16,08	3,7	23	13,74	4	29,11
S7	16,98	2,7	15,9	19,45	3,1	15,93
S8	16,02	2,8	17,47	10,05	3,9	38,8
S9	17,61	0,9	5,11	17,42	0,5	2,87
S10	13,12	2,2	16,76	13,4	1,4	10,44
S11	16,12	1,8	11,16	17	1,2	7,05
S12	11,25	3,8	33,77	12,91	4,2	32,53
S13	13,66	3,6	26,35	15,02	3,2	21,3
S14	16,48	1,4	8,49	12,08	0,5	4,13
S15	15,38	2,6	16,9	13,86	2,1	15,15
S16	25,82	0,9	3,48	10,16	0,4	3,93
S17	15,36	1,1	7,16	11,66	1,2	10,29
S18	31,90	1,3	4,07	10,37	1,4	13,5
S19	18,46	2,3	12,45	8,46	2,2	26
S20	27,15	1,6	5,89	11,66	1	8,57
S21	20,08	1,2	5,97	16,91	1,1	6,5
S22	40,08	1,8	4,49	17,64	1,2	6,8
S23	24,23	1,5	6,19	17,22	0,9	5,22

Tableau 12 : Répartition des classes de l'alcalinité par horizon et par secteur

Classe de l'alcalinité (ESP)		HC 2015 (0-30 cm)		HC 2024 (0-30 cm)	
Désignation	Valeur	Nb	%	Nb	%
Non alcalins	< 10	11	47,82	10	43,47
Alcalins	10-15	2	8,69	4	17,39
Fortement alcalins	15-20	8	34,78	3	13,04
Très fortement alcalins	20-30	1	4,34	4	17,39
Extrêmement alcalins	> 30	1	4,34	2	8,69
	Total	23	100%	23	100%

Nous remarquons que dans le **Tableau 12**, les sols ne présentent aucun changement au niveau de l'alcalinité, alors que les sols du secteur d'étude sont généralement peu sodiques.

CONCLUSION DES SOLS

En général, les sols :

L'examen des résultats des analyses montre que :

- ✓ La texture du sol de Haouz Central est généralement limono-argileuse, limoneuse et limono-sableuse.
- ✓ La conductivité électrique dans la région de HC, montre qu'il n'y a pas de problème de salinité dans les sols étudiés, la conductivité électrique des échantillons ne dépassent pas 4ms/cm (Non salé).
- ✓ Les résultats des analyses ont montré que le pH ne présente pas une grande variabilité entre l'année de 2015 et l'année de 2024, d'où le pH est moyennement basique.
- ✓ Les sols ne présentent aucun changement au niveau de l'alcalinité, alors que les sols du secteur d'étude sont généralement peu sodiques.
- ✓ La région de HC connut une augmentation au niveau de MO en 2024, la plupart des zones ont un sol stable.
- ✓ Les résultats des analyses présentent une capacité d'échange cationique moyenne à élevée présentant des meilleures conditions de rétention des éléments nutritifs.

À ce point, on peut dire que l'irrigation n'a aucun impact sur les paramètres des sols et surtout la salinité.

CHAPITRE 5 :
CARACTÉRISTIQUES DES
PARAMÈTRES DES EAUX

5-1 CARACTÉRISTIQUE DES PARAMÈTRES DES EAUX SOUTERRAINES

La qualité d'une eau est jugée d'après sa composition chimique, à savoir la concentration et la nature des ions constituants. Les indicateurs de qualité retenus sont : le pH, la salinité (Conductivité électrique), l'alcalinité (SAR) et les nitrates.

Les prélèvements des échantillons d'eau ont été réalisés sur 19 puits pour les eaux souterraines (**Figure 24**), suivant les coordonnées fournis par le CPS (**Tableau 13**). Il est à noter que les prélèvements et les analyses ont été réalisés durant l'été entre 2015 (année de référence) et 2024. Les résultats récapitulatifs des analyses sont reportés en annexe.

Tableau 13 : Coordonnées des points de suivi de la qualité des eaux souterraines

Numéro du point	X	Y	Périmètre
E1	227 686	106 960	Haouz Central
E2	225 220	106 941	Haouz Central
E3	237 168	105 989	Haouz Central
E4	229 438	107 154	Haouz Central
E5	233 030	107 971	Haouz Central
E6	221 002	110 234	Haouz Central
E7	223 793	114 062	Haouz Central
E8	218 217	114 727	Haouz Central
E9	242 159	114 880	Haouz Central
E10	232 429	120 365	Haouz Central
E11	245 674	123 002	Haouz Central
E12	224 484	126 711	Haouz Central
E13	239 577	126 005	Haouz Central
E14	267 197	108 116	Haouz Central
E15	270 774	108 776	Haouz Central
E16	288 566	119 697	Haouz Central
E17	291 240	122 554	Haouz Central
E18	298 847	130 581	Haouz Central
E19	293 928	129 013	Haouz Central



Figure 24 : Points de prélèvement des eaux souterraines dans le périmètre du Haouz Central

5-1-1 Niveau piézométrique :

Le niveau piézométrique de la nappe phréatique est le niveau d'eau à pression atmosphérique normale.

Le **Tableau 14** et la **Figure 25** montrent la variation du niveau piézométrique au niveau du périmètre comme suit :

- Haouz Central en 2015, il oscille entre 28,60 et 84,00 m avec une moyenne de 59,89 m.
- Haouz Central en 2024, il oscille entre 35,00 et 107,00 m avec une moyenne de 65,62 m.

Le niveau piézométrique est augmenté en 2024, et cela dû aux précipitations et à l'alimentation des nappes phréatiques par les oueds.

Tableau 14 : Le niveau piézométrique (m) des eaux souterraines dans la zone du HC

	2015	2024
Numéro du point	Niveau piézométrique (m)	Niveau piézométrique (m)
ES1	60,00	74,00
ES2	65,00	69,00
ES3	82,30	61,00
ES4	63,00	107,00
ES5	84,00	106,00
ES6	80,00	89,00
ES7	79,30	96,00
ES8	61,00	85,00
ES9	42,00	46,70
ES10	58,20	35,00
ES11	49,50	65,00
ES12	80,00	65,00
ES13	62,90	68,00
ES14	39,20	55,00
ES15	28,60	35,00
ES16	42,30	36,00
ES17	60,60	52,00
ES18	49,60	57,00
ES19	50,40	45,00
Min	28,60	35,00
Max	84,00	107,00
Moyenne	59,89	65,62

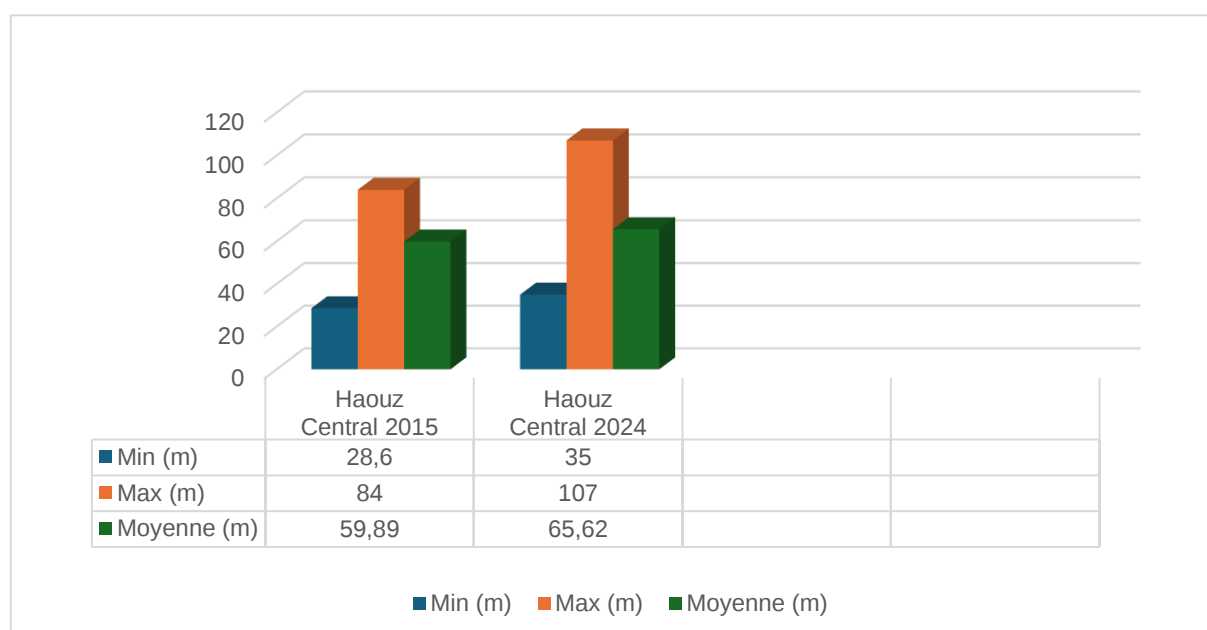


Figure 25 : La variation du niveau piézométrique au niveau du périmètre du Haouz Central en 2015 et 2024

5-1-2 PH des eaux souterraines :

Le pH donne une indication de l'acidité d'une substance. Il est déterminé à partir de la quantité des ions hydrogène libres (H^+) contenus dans la substance.

Les résultats des analyses du pH des eaux souterraines de la zone du HC (**Tableau 15**) sont faiblement variables :

Ils varient de 7,43 à 8,13 pour l'année 2015 et de 7,15 à 8,12 pour l'année 2024.

Tableau 15 : Répartition du pH des eaux souterraines dans la zone du HC

	2015	2024
Numéro du point	pH	pH
ES1	7,62	7,55
ES2	7,88	7,44
ES3	7,92	7,18
ES4	7,56	7,48
ES5	8,04	7,62
ES6	7,65	7,27
ES7	8,03	7,76
ES8	7,95	7,43
ES9	7,98	7,15
ES10	8,13	7,27
ES11	7,62	7,66
ES12	7,71	7,90
ES13	7,60	7,88
ES14	7,48	7,80
ES15	8,03	7,95
ES16	7,87	7,45
ES17	7,43	7,35
ES18	7,48	7,65
ES19	7,54	8,12
Min	7,43	7,15
Max	8,13	8,12
Moyenne	7,76	7,57

Tableau 16 : Répartition du pH des eaux souterraines du Haouz Central par classe

Classe du PH		Haouz Central 2015		Haouz Central 2024	
		Nb	%	Nb	%
Classe 1	< 6,5	0	0	0	0
Classe 2	6,5 à 7,5	3	15.78	9	47,36
Classe 3	7,5 à 8,0	12	63,15	9	47,36
Classe 4	8,0 à 8,5	4	21,05	1	5.26
Classe 5	> 8,5	0	0	0	0

Les résultats des analyses des eaux souterraines au niveau du périmètre du HC, présents dans le **Tableau 16**, montrent que le pH de ces eaux souterraines est légèrement alcalin à alcalin.

- Il oscille entre 7,5 et 8 pour 63,15 % des prélèvements, alors que 21,05 % entre 8 et 8,5 en 2015.
- Il oscille entre classe 2 et classe 3 pour 47,36 % en 2024 des eaux souterraines.

5-1-3 Salinité :

La salinité des eaux peut se mesurer de deux façons, soit par les sels dissous totaux (TDS) exprimés en mg/l ou, plus couramment, par la conductivité électrique.

La mesure de la conductivité électrique nous permet d'évaluer rapidement le degré de la salinité d'une eau, car elle est proportionnelle à la concentration en minéraux dissous ionisés présents dans cette eau. C'est une expression numérique de la capacité de l'eau à conduire un courant électrique mesurée en micro ou millisiemens par centimètre.

Les mesures de la salinité réalisées pour les eaux souterraines au niveau du HC (**Tableau 17**) sont relativement très variables, variant entre 0,61 et 5,93 en 2015, et pour l'année 2024 de 0,82 et 8,01. Les résultats des **Tableaux 18** et **19** montrent que les eaux en 2015 sont bonnes à moyennement non salée, et moyennement non salée pour l'année 2024.

Ce changement est dû à l'accumulation de sel causée par l'irrigation, l'utilisation de ces eaux souterraines en irrigation peut provoquer une salinisation rapide du sol qui se répercutera par la suite sur le rendement des cultures.

Tableau 17 : Répartition de la conductivité électrique des eaux souterraines dans la zone du HC

	2015	2024
Numéro du point	CE (ms/cm)	CE (ms/cm)
ES1	1,15	1,55
ES2	0,63	0,86
ES3	1,29	1,74
ES4	4,13	5,58
ES5	1,01	1,36
ES6	1,34	1,81
ES7	1,17	1,58
ES8	1,32	1,78
ES9	1,33	1,80
ES10	0,61	0,82
ES11	1,14	1,54
ES12	1,00	1,35
ES13	3,38	4,56
ES14	5,93	8,01
ES15	1,13	1,53
ES16	3,49	4,71
ES17	1,99	2,69
ES18	1,32	1,78
ES19	1,46	1,97
Min	0,61	0,82
Max	5,93	8,01
Moyenne	1,83	2,47

Tableau 18 : Répartition de la CE dans la zone du HC 2015

Classe de qualité	Excellente	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
CE (mS/cm)	0,1-0,75	0,75-1,3	1,3-2,7	2,7-3,0	3,0-8,0
% de répartition	10,52	36,84	31,57	0	21,05

Tableau 19 : Répartition de la CE dans la zone du HC 2024

Classe de qualité	Excellent	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
CE (ms/cm)	0,1-0,75	0,75-1,3	1,3-2,7	2,7-3,0	3,0-8,0
% de répartition	0	10,52	63,15	5,26	21,05

5-1-4 Résidus secs :

C'est un indicateur qui exprime le taux de minéraux recueillis après évaporation d'une quantité d'eau à 105°C. Pour sa part, le résidu sec (RS), suit parfaitement la conductivité électrique. L'examen des résultats des analyses des eaux souterraines au niveau du HC, présenté dans le **Tableau 20**, montre que la teneur du résidu sec dans les eaux souterraines varie entre :

- 0,37 g/l et 3,11 g/l avec une moyenne de 1,01 g/l et pour Haouz Central en 2015.
- 0,38 g/l et 2,12 g/l avec une moyenne de 1,01 g/l et pour Haouz Central en 2024.

Tableau 20 : Caractéristique du résidu sec en g/l des eaux souterraines

Résidus secs g/l	Haouz Central 2015	Haouz Central 2024
Min	0,37	0,38
Max	3,11	2,12
Moyenne	1,01	1,01

Tableau 21 : Répartition de la minéralisation totale de la nappe %

Résidus secs		Haouz Central	
Désignation	Valeur	2015	2024
Faiblement minéralisée	< 0,5	15,78	15,78
Moyennement minéralisée	0,5-1,50	63,15	63,15
Fortement minéralisée	> 1,50	21,05	21,05

En analysant le **Tableau 21**, nous constatons que :

- Pour le HC en 2015, environ 63,15 % des eaux de puits analysées ont des teneurs en sels comprises entre 0,5 - 1,50 g/l. Elles sont moyennement minéralisées.
 - C'est même aussi pour le HC en 2024, environ 63,15 % sont moyennement minéralisées.
- Les valeurs moyennes nous permettent de dire qu'il n'y a pas de changement au niveau du résidu sec.

5-1-5 SAR (Sodium Adsorption Ratio) :

L'alcalinité des eaux est déterminée en fonction du SAR (Sodium Adsorption Ratio), car ce dernier est proportionnel au risque d'alcalinisation. Il est défini comme le rapport de la concentration relative en sodium par rapport à celle du calcium et du magnésium.

Une grande quantité d'ions sodium dans l'eau affecte la perméabilité des sols et pose des problèmes d'infiltration. Ceci est dû au fait que le sodium présent dans le sol en forme échangeable remplace les calciums et les magnésiums adsorbés sur les argiles de sol et cause la dispersion des particules dans le sol (C-à-d si le calcium et le magnésium sont les cations prédominants adsorbés sur le

complexe d'échange du sol, le sol tend à être facilement cultivé et a une structure perméable et granulaire).

Cette dispersion a comme conséquence l'altération des agrégats des sols. Le sol devient alors dur et compact (lorsqu'il est sec), réduisant ainsi les vitesses d'infiltration de l'eau et d'air, affectant ainsi sa structure.

Il révèle des mesures réalisées sur les eaux souterraines du Haouz Central (**Tableau 22**), que le SAR est très identique :

- Il varie de 0,77 à 15,41 (meq/l)^{1/2} avec une moyenne de 5,08 (meq/l)^{1/2} en 2015.
- Il varie de 0,55 à 16,01 (meq/l)^{1/2} avec une moyenne de 5,06 (meq/l)^{1/2} en 2024.

Tableau 22 : Les valeurs de SAR en 2015 et 2024 dans la zone du HC

	2015				2024			
Point	Na⁺ (mg/l)	Ca²⁺ (mg/l)	Mg²⁺ (mg/l)	SAR (meq/l)^{1/2}	Na⁺ (mg/l)	Ca²⁺ (mg/l)	Mg²⁺ (mg/l)	SAR (meq/l)^{1/2}
ES 1	92,95	107,36	22,62	0,77	120,00	53,16	37,60	4,35
ES 2	38,73	75,20	11,16	1,55	46,00	55,00	23,00	1,86
ES 3	140,30	67,94	45,49	4,57	72,00	88,00	21,80	2,51
ES 4	639,04	168,37	75,00	14,56	750,00	192,04	85,00	16,01
ES 5	139,43	68,58	23,76	5,21	114,00	90,08	27,20	3,81
ES 6	96,82	120,13	40,08	2,75	102,00	209,55	20,60	2,54
ES 7	100,70	70,47	48,38	3,19	92,00	200,00	32,80	2,24
ES 8	123,93	104,05	21,18	4,06	156,00	206,00	57,10	3,50
ES 9	77,46	157,96	27,48	2,11	110,00	177,50	40,10	2,74
ES 10	45,02	55,81	21,18	1,83	44,00	64,22	8,80	1,92
ES 11	75,52	61,48	68,70	2,05	58,00	165,63	35,20	1,50
ES 12	71,65	91,28	14,31	2,60	106,00	77,00	58,80	3,12
ES 13	527,69	161,75	50,96	13,10	600,00	230,00	41,30	13,48
ES 14	793,96	236,47	100,19	15,41	660,00	145,50	103,20	14,46
ES 15	124,90	79,45	34,35	4,17	166,00	133,52	26,70	4,84
ES 16	416,34	186,34	73,28	9,24	314,00	63,22	68,00	9,23
ES 17	154,92	203,37	40,65	3,66	132,00	46,55	48,60	4,55
ES 18	76,49	140,94	28,05	2,17	108,00	142,57	37,60	2,93
ES 19	116,19	89,39	43,80	3,55	164,00	238,54	57,00	0,55

Tableau 23 : Répartition du SAR des eaux souterraines du Haouz Central en 2015 et 2024 par classe

Classe du SAR		Haouz Central 2015		Haouz Central 2024	
		Nb	%	Nb	%
Classe 1	< 3	8	42,10	9	47,36
Classe 2	3-6	7	36,84	6	31,57
Classe 3	6-12	1	5,26	1	5,26
Classe 4	> 12	3	15,78	3	15,78
Total		19	100 %	19	100 %

D'après le **Tableau 23**, on constate que 42,10 % des valeurs de la qualité hydro-chimique des eaux souterraines, du point de vue SAR, sont excellentes, 36,84 % sont bonnes pour l'année 2015, et même pour l'année 2024, 47,36 % sont excellentes, 31,57 % sont bonnes.

Les valeurs du SAR du Haouz Central pour les années 2015 et 2024 sont d'une qualité bonne à excellente.

5-1-6 Nitrate :

Les nitrates constituent le paramètre indicateur d'une dégradation des ressources en eau. En effet, leur présence dans les eaux tant souterraines que superficielles est le résultat d'une activité humaine. Les nitrates sont très solubles dans l'eau, ils migrent donc aisément dans la nappe phréatique lorsque les niveaux excèdent les besoins de la végétation (Santé Canada, 1992).

Au niveau du Haouz central (**Tableau 24**), les eaux souterraines sont classées donc de qualité excellente à bonne en termes de teneur en nitrates, qui varient entre 3,17 et 13,41 mg/l avec une qualité moyenne de 7,52 mg/l pour l'année 2015, et une valeur minimum de 2,74 et maximum de 30,91 mg/l, avec une qualité moyenne de 12,72 mg/l pour l'année 2024.

Les résultats montrent une augmentation remarquable de la teneur en nitrate, mais ne dépassent pas les normes de la qualité des eaux destinées à l'irrigation (50 mg/l), cela peut être justifié par la fréquence des activités humanitaires.

Tableau 24 : Répartition des classes des teneurs en nitrates en % dans les eaux souterraines

Classes des Nitrates NO ₃ (mg/l)		Haouz Central 2015		Haouz Central 2024	
Désignation	Valeur	Nb	%	Nb	%
Excellent	< 5	6	31,57	2	10,52
Bonne	5-25	13	68,42	16	84,21
Moyenne	25-50	0	0	1	5,26
Mauvaise	50-100	0	0	0	0
Très mauvaise	> 100	0	0	0	0

5-2 CARACTÉRISTIQUE DES PARAMÈTRES DES EAUX SUPERFICIELLES :

Les prélèvements des eaux superficielles ont été réalisés sur 4 puits pour des eaux superficielles (Figure 26), suivant les coordonnées fournis par le CPS (Tableau 25).

Tableau 25 : Coordonnées des points de suivi de la qualité des eaux superficielles

Référence ORMVAH	Référence. Lab2A	Coordonnées. GPS	
		X	Y
Point ES6	5,37E-22	299641	126561
Point ES7	5,38E-22	270946	105388
Poin ES68	5,39E-22	248605	102796
Poin ES9	5,40E-22	239711	100111



Figure 26 : Points de prélèvement des eaux superficielles dans le périmètre du Haouz Central

Les analyses effectuées dans ce chapitre sont uniquement de l’année 2024. Les eaux de surface prélevées dans les canaux d’irrigation à ciel ouvert de prévenance des barrages.

5-2-1 PH des eaux superficielles :

Le pH des eaux de surface dans les points de prélèvement désignés de la zone d’étude est caractérisé par un pH alcalin variant entre 7,6 et 7,87 et avec une moyenne de l’ordre de 7,73 (**Figure 27**). Les eaux du secteur sont d’une excellente qualité pour l’irrigation. La norme est fixée entre pH 6,5 et 8,5 (**Tableau 26**).

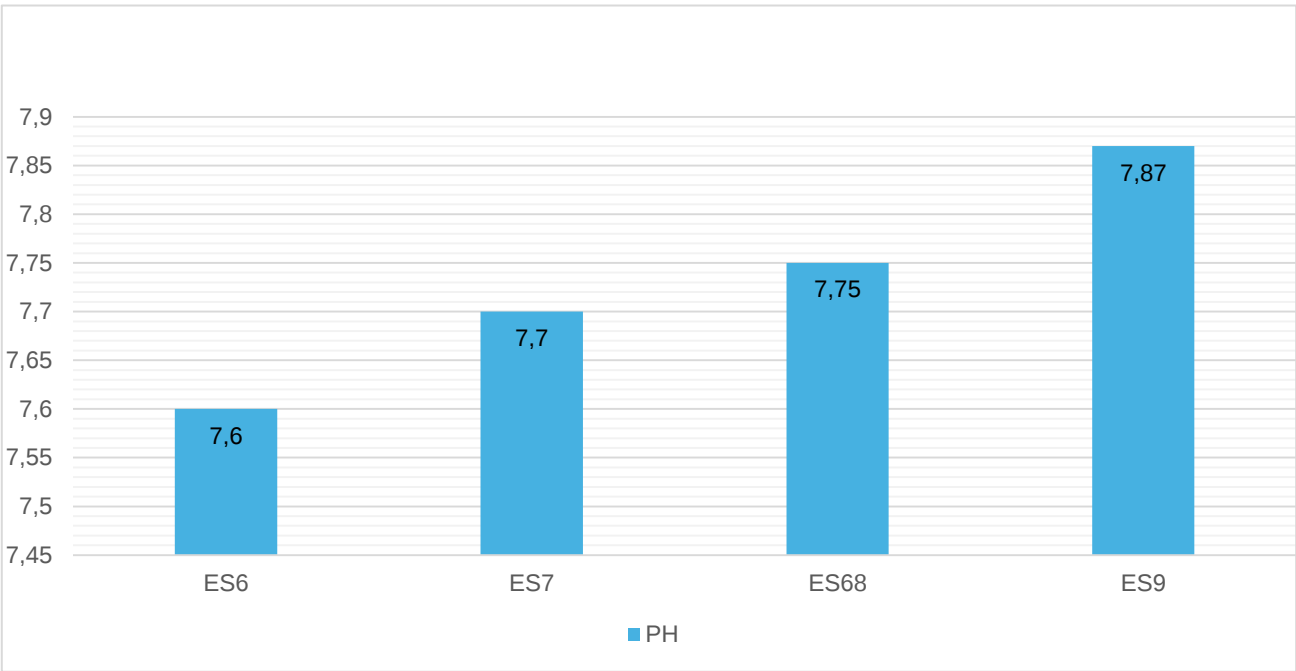


Figure 27 : Répartition du PH des eaux superficielles dans la zone du Haouz Central

Tableau 26 : Grille d’évaluation de la qualité des eaux superficielles : paramètre pH

Classe de qualité	Excellent	Moyenne	Mauvaise
pH	6,5 -8,5	8,5 – 9,2	3,0 – 6,5 et 9,2 – 10,0

5-2-2 Salinité :

Les mesures de salinité réalisées pour les eaux superficielles du Haouz central sont généralement non salées ; elles ont une teneur moyenne de CE d’ordre de 1,53 mS/cm, compris entre 1,41 et 1,66 mS/cm (**Figure 28**). La norme est fixée entre 1,3 et 2,7 mS/cm (**Tableau 27**).

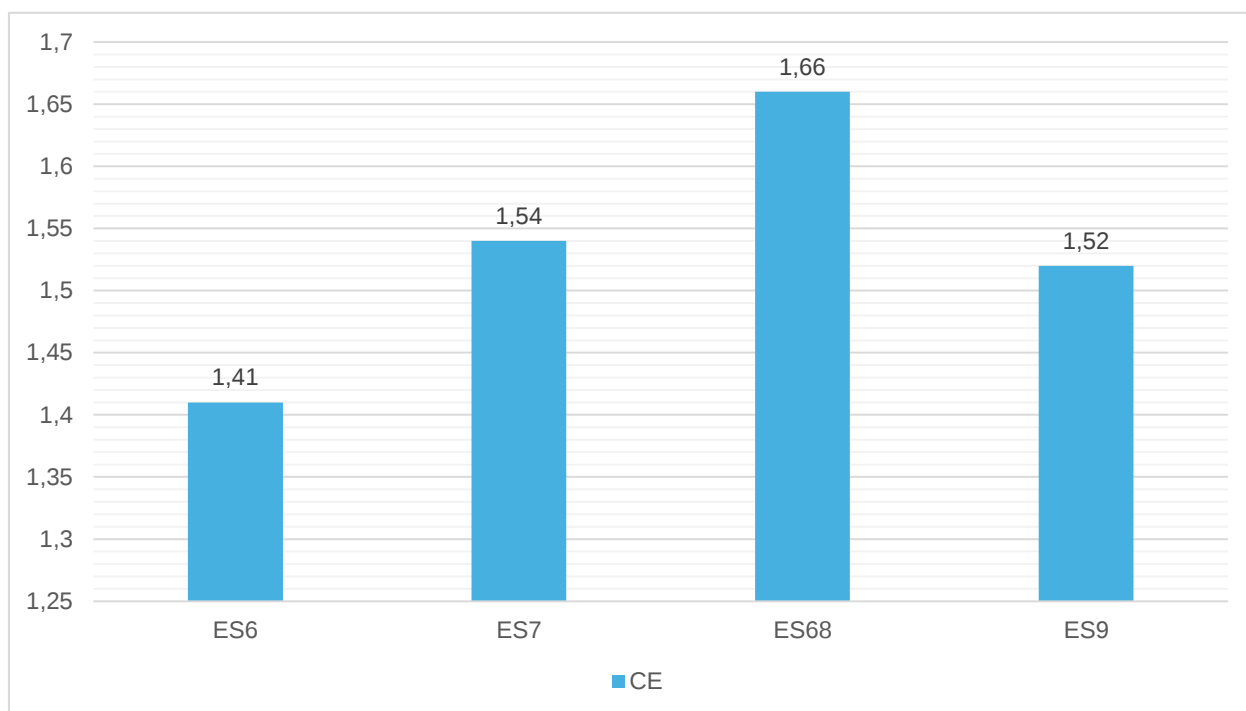


Figure 28 : Répartition de la conductivité électrique des eaux superficielles dans la zone du HC

Tableau 27 : Grille d'évaluation de la qualité des eaux superficielles : paramètre CE

Classe de qualité	Excellent	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
CE (mS/cm)	0.1 -0.75	0.75 – 1.3	1.3 – 2.7	2.7 – 3.0	3.0 - 8.0

5-2-3 Matière en suspension :

Les matières en suspension ou MES, sont des particules solides très fines en suspension dans l'eau. Elles peuvent être d'origine naturelle (produites par les précipitations ou l'érosion des sols) mais proviennent généralement de déchets urbains ou industriels, et elles troublent l'eau.

Les eaux de la surface de secteur Haouz Central ont une teneur moyenne en matières en suspension de l'ordre de 35,3 mg/l, les eaux d'irrigation provenant du barrage sont de qualité moyenne, avec un minimum de 25,2 mg/l et un maximum de 48,3 mg/l (**Figure 29**).

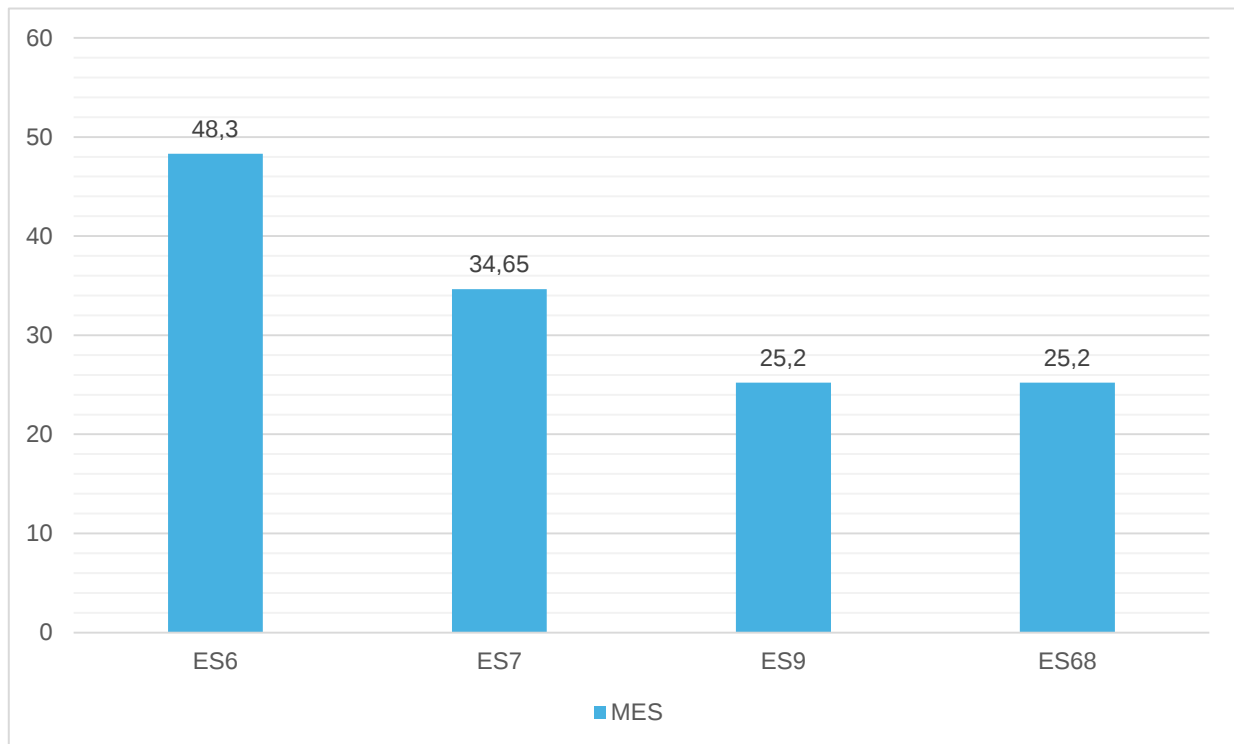


Figure 29 : Répartition du MES des eaux superficielles dans la zone du Haouz Central

5-2-4 Résidu sec :

La quantité de résidu sec ou RS correspond à la quantité de minéraux (calcium, magnésium, sodium, bicarbonates ...) qu'il reste après évaporation.

- Si le taux de minéraux est supérieur à 1,5g/L, l'eau est riche en minéraux.
- S'il est compris entre 0,5 et 1,5g/L, l'eau est moyennement minéralisée.
- S'il est inférieur à 0,5g / L, c'est une eau faiblement minéralisée.
- S'il est inférieur à 0,05g / L, c'est une eau très faiblement minéralisée.

Les eaux de HC sont moyennement minéralisées, les valeurs comprises entre 0,92 à 1,08 g/l, avec 1g/l comme valeur moyenne.

5-2-5 Azote ammoniacal (NH_4^+) :

La présence d'azote ammoniacal dans les eaux de surface indique généralement une pollution domestique. Un excès d'ammoniac peut endommager la végétation et est extrêmement toxique pour la vie aquatique, surtout à des niveaux élevés de pH et de température. La teneur en azote ammoniacal dans la zone de Haouz Central a une moyenne de 0,21 mg/l, et varié entre un minimum de 0,02 mg/L et un maximum de 0,5 mg/L (**Figure 30**). Ceci laisse présumer que les eaux de surface sont d'excellente à bonne qualité pour l'irrigation (**Tableau 28**).

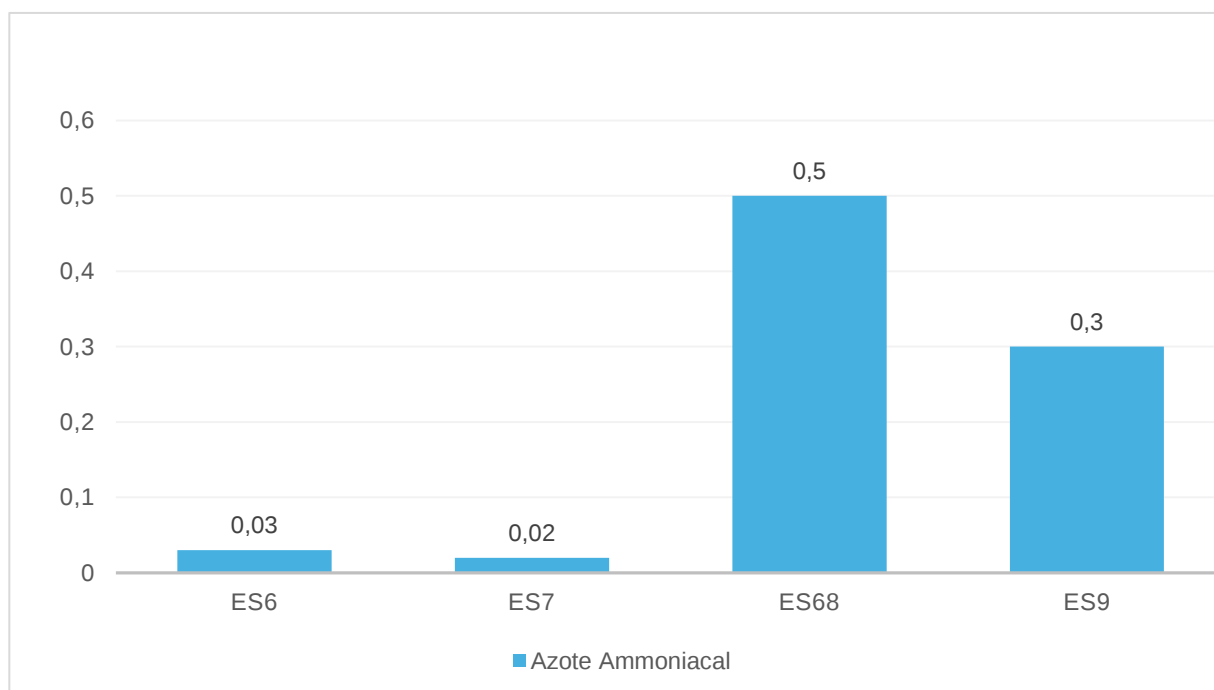


Figure 30 : Répartition du NH_4^+ des eaux superficielles dans la zone du Haouz Central

Tableau 28 : Grille d'évaluation de la qualité des eaux superficielles : paramètre (NH_4^+)

Classe de qualité	Excellente	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
NH_4^+ (mg/l)	0 – 0,1	0,1 – 0,5	0,5 - 2	2 - 8	8 – 50

5-2-6 DBO5, DCO et autres paramètres :

L'examen des résultats des eaux de surface montre que :

Les eaux de surface ont une qualité bonne à moyenne pour le paramètre de DBO5 et médiocre pour la DCO. En effet la teneur de la DBO5 est comprise entre 1,27 à 2,59 mg d' O_2 /l et celle de la DCO entre 7,73 et 12,88 mg d' O_2 /l.

- Les valeurs moyennes de Na^+ sont < 200 mg/l ce qui montre que les eaux superficielles ont une excellente qualité.
- Les valeurs moyennes de Ca^{2+} sont classées entre 31-160 mg/l, ce qui montre que les eaux de surface ont une excellente qualité.
- Les valeurs moyennes de Mg^{2+} sont < 50 mg/l ce qui montre que les eaux de surface ont une excellente qualité.

- Les valeurs moyennes de Cl⁻ sont classées entre 9-200 mg/l ce qui montre que les eaux de surfaces ont une excellente qualité.
 - Pour le NH⁴⁺ les valeurs moyennes ont montré que les eaux de surface sont d'excellente à bonne qualité.
 - Les valeurs moyennes de SO₄ ont montré que les eaux de surface ont une excellente qualité
- Les eaux de la surface de Haouz Central ne sont pas contaminées par les Métaux lourds.
Toutes les analyses de ces paramètres sont conclues d'après la grille d'évaluation (**Tableau 29**).

Tableau 29 : Grille d'évaluation de la qualité des eaux superficielles

	Excellente	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
NO₃- (mg/l)	<10	10 - 25	25 - 50	>50	-
Na⁺ (mg/l)	<200	-	-	>200	-
Ca²⁺ (mg/l)	31 - 160			< 32 ou >160	
Mg²⁺ (mg/l)	<50	50 - 75	75 - 100	100 - 400	>400
Cl⁻ (mg/l)	9 – 200	200 - 300	300 - 750	750 - 1000	1000 - 6000
SO₄-	1 - 100	100 - 200	200 - 250	250 - 400	400 - 2000

CONCLUSION

D'après les résultats obtenus, on peut tirer les conclusions suivantes :

1) Pour les eaux souterraines :

- ✓ Les valeurs moyennes des niveaux piézométriques en 2015 sont 59,89 m, et 65,62 m en 2024. Le niveau piézométrique est augmenté en 2024, et cela dû aux précipitations et/ou à l'alimentation des nappes phréatiques par les oueds.
- ✓ Les eaux souterraines en termes de pH est légèrement alcalin à alcalin.
- ✓ Les eaux souterraines sont non salées pour le secteur du Haouz Central, mais on remarque que le degré de salinité en 2024 augmente par rapport à l'année 2015.
- ✓ Les résultats des analyses des valeurs moyennes de résidu sec sont semblables à une valeur moyenne de 1,01 g/l, ce qui montre qu'il n'y a pas de changement.
- ✓ Les valeurs du SAR du Haouz Central pour les années 2015 et 2024 sont d'une qualité bonne à excellente.
- ✓ Pour les nitrates Les valeurs enregistrées dans le périmètre étudié ne dépassent pas la valeur recommandée par les normes de la qualité des eaux destinées à l'irrigation (50 mg/l).

2) Pour les eaux superficielles :

- ✓ Le pH moyen des eaux d'irrigation provenant des eaux de surface est alcalin. Il se situe dans la gamme normale.
 - ✓ Ces eaux d'irrigation sont moyennement à non salées selon la classification et varie entre 1,41 et 1,66 mS/cm.
 - ✓ Pour le NH_4^+ les valeurs moyennes ont montré que les eaux de surface sont d'excellente à bonne qualité pour l'irrigation.
 - ✓ Les eaux de surface ont une qualité bonne à moyenne pour le paramètre de DBO5 et médiocre pour la DCO. En effet la teneur de la DBO5 est comprise entre 1,27 à 2,59 mg d' O_2 /l et celle de la DCO entre 7,73 et 12,88 mg/l.
 - ✓ Les valeurs moyennes de Na^+ sont < 200 mg/l ce qui montre que les eaux superficielles ont une excellente qualité.
 - ✓ Les valeurs moyennes de Ca^{2+} sont classées entre 31-160 mg/l, ce qui montre que les eaux de surface ont une excellente qualité.
 - ✓ Les valeurs moyennes de Mg^{2+} sont < 50 mg/l ce qui montre que les eaux de surface ont une excellente qualité.
 - ✓ Les valeurs moyennes de Cl^- sont classées entre 9-200 mg/l, ce qui montre que les eaux souterraines ont une excellente qualité.
 - ✓ Les valeurs moyennes de SO_4 montrent que les eaux de surface ont une excellente qualité
- Les eaux de la surface de Haouz Central ne sont pas contaminées par les Métaux lourds.

CONCLUSION GÉNÉRAL

La région du Haouz constitue un périmètre où l'activité agricole se considère l'activité principale de la population. Et pour assurer la qualité des sols et les eaux souterraines et superficielles, l'ORMVAH a fait une expérimentation de l'irrigation dans le secteur pour montrer aux agriculteurs les bienfaits de cette dernière et pour leur présenter les résultats favorables de la goutte à goutte au niveau de la valorisation, de l'économie d'eau d'irrigation et du rendement et garantir une production élevée et de bonne qualité.

Notre objectif sur lequel cette étude fut réalisée est l'évolution de la qualité de l'eau et du sol dans la zone de la grande hydraulique du Haouz (Haouz Central), à la lumière des installations d'irrigations introduites dans la zone dans l'année 2010. Ainsi, nous allons comparer les données des analyses de l'eau et du sol des années 2015 et 2024 et on va en déduire la tendance évolutive.

D'après les normes d'appréciation des paramètres des sols du Haouz Central, présentent :

- Un pH généralement moyennement basique.
- Les sols du HC sont non salés, affichent des conductivités de la pâte saturée inférieures à 4 mS/cm.
- Les sols ne présentent aucun changement au niveau de l'alcalinité, alors que les sols du secteur d'étude sont généralement peu sodiques, c'est-à-dire pauvres en sodium.
- La région de HC connut une augmentation au niveau de MO en 2024, la plupart des zones ont un sol stable.

Les paramètres analytiques obtenus de la chimie des eaux souterraines montrent que :

- Les eaux souterraines en termes de pH sont légèrement alcalines à alcalines.
- Les eaux souterraines sont non salées pour le secteur du Haouz Central. Donc, elle ne représente aucun danger pour l'irrigation et pour le sol.
- Les valeurs du SAR du Haouz Central sont d'une qualité bonne à excellente.

Selon la grille d'appréciation de la qualité des eaux superficielles :

- Le pH moyen des eaux d'irrigation provenant des eaux de surface est alcalin. Il se situe dans la gamme normale.
- Les eaux d'irrigation sont moyennement à non salées selon la classification.
- Les valeurs moyennes de Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- et SO_4 ont montré que les eaux superficielles ont une excellente qualité.

L'irrigation localisée peut présenter aux agriculteurs que ce type d'irrigation est le meilleur pour assurer une production élevée et de bonne qualité et surtout d'économie l'EAU.

BIBLIOGRAPHIE

AZOUGGAGH M, (2001) : Transfert de technologie en agriculture bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA.MADREEF /DERD N 81, juin 2008.

N. Elbakhouch & M. El machichi, (2019) : Etude de la qualité d'eau et du sol avant la reconversion a l'irrigation localisée dans la zone d'OULAD SAID, p20.

OMRVAH, (2023) : Présentations de laboratoire pour la réalisation de campagnes d'analyses de l'eau et du sol pour l'étude et control de l'impact de l'irrigation sur les ressources naturelles dans les périmètres de la grande hydraulique du Haouz. Rapport définitif, pp (3-6).

S. Bencharda & A. Friou, (2014) : Synthèse hydrogéologique du bassin du Haouz central, région de Marrakech, Maroc, p14 et p26.

T. Fuf & M. Kleiche – Dray, (2018) : Les eaux d'irrigation du Haouz de Marrakech : un siècle de confrontations des modèles de gestion publics, privés et communautaires, p35.

Y. Salki & S. Aamoum, (2019) : Etude de la qualité du sol et des ressources en eau dans la zone d'action de l'office de Haouz. Zone grande hydraulique de Boudia, p24 et p25.

WEBOGRAPHIE

<https://ormvah.com/office/missions/>

<https://www.agriculture.gov.ma/sites/default/files/plaquette ORMVAH VF.pdf>

ANNEXES

Tableau 30 : Résultats d'analyse des sols dans le périmètre du Haouz Central

				2015	2024	2015	2024	2015	2024	2015	2024	2015	2024	2015	2024	2015	2024	2015	2024		
Point	X	Y	Perimètre	pH	pH	CE (ms/cm)	CE (ms/cm)	%MO 0-30c	%MO	CEC (méq/100g)	CEC (méq/100g)	(Ca++) (méq/100g)	(Ca++) (méq/100g)	(Na+) (méq/100g)	(Na+) (méq/100g)	(K+) (méq/100g)	(K+) (méq/100g)	CaCO3 Total	% CaCO3 Total	texture	
S1	233,222	104,668	Haouz Central	8.51	7.87	0.18	0.25	0.9	0.8	18.28	14.5	13.4	12.39	1.1	0.5	0.02	0.02	10.66	12.1	AS	
S2	225,220	106,941	Haouz Central	8.59	8.43	0.42	0.57	1	3.5	17.22	18.34	16.1	11	3.2	4.1	0.04	0.03	0.17	6	AS	
S3	237,168	105,989	Haouz Central	8.37	7.78	0.23	0.32	1.45	1.48	17.02	14.04	16.6	16.17	2.8	2.5	0.07	0.08	0	6.35	AS	
S4	229,438	107,154	Haouz Central	8.36	7.5	0.19	0.26	2.25	2.56	15.13	15.44	10	7.42	1.4	1.5	0.04	0.03	0	6.33	AS	
S5	233,030	107,971	Haouz Central	8.06	7.77	0.45	0.61	2.35	2.35	16.18	17.96	15.6	13.89	2.8	2	0.04	0.03	0	6.22	AS	
S6	221,002	110,234	Haouz Central	8.62	7.95	0.65	0.88	1.93	1.8	16.08	13.74	13.2	11	3.7	4	0.02	0.02	0	6.33	AS	
S7	223,793	114,062	Haouz Central	8.58	7.94	0.24	0.33	2.87	2.62	16.98	19.45	14.5	13.08	2.7	3.1	0.04	0.05	6.78	6.78	AS	
S8	218,217	114,727	Haouz Central	8.57	7.82	0.43	0.58	0.75	0.5	16.02	10.05	17.6	13.8	2.8	3.9	0.04	0.04	0	8	AS	
S9	242,159	114,880	Haouz Central	8.52	7.71	0.19	0.26	1.61	2.25	17.61	17.42	13.5	12.11	0.9	0.5	0.02	0.03	0.82	5.13	AS	
S10	232,429	120,365	Haouz Central	8.52	7.83	0.27	0.37	1.37	1.51	13.12	13.4	12	9.89	2.2	1.4	0.03	0.05	8.54	8.54	AS	
S11	245,674	123,002	Haouz Central	8.25	7.58	0.22	0.29	1.2	1.18	16.12	17	15.2	12.89	1.8	1.2	0.03	0.04	12.09	12.09	AS	
S12	224,484	126,711	Haouz Central	8.54	7.6	0.29	0.39	3.83	3.57	11.25	12.91	15.8	15.54	3.8	4.2	0.05	0.05	4.29	4.29	AS	
S13	239,577	126,005	Haouz Central	8.05	7.54	1.23	1.66	2.29	2.25	13.66	15.02	11.6	12.56	3.6	3.2	0.02	0.03	0	7	AS	
S14	267,192	108,116	Haouz Central	8.51	7.77	0.29	0.39	2.35	2	16.48	12.08	15.3	15.02	1.4	0.5	0.01	0.02	3.67	4	AS	
S15	270,774	108,776	Haouz Central	8.59	7.4	0.41	0.55	1.2	1.18	15.38	13.86	10.5	9.12	2.6	2.1	0.04	0.05	6.87	7	AS	
S16	288,566	119,697	Haouz Central	8.16	7.71	0.49	0.66	1.05	1.05	25.82	10.16	9.4	6.43	0.9	0.4	0.03	0.04	0	4	LAS	
S17	291,240	122,554	Haouz Central	8.69	7.98	0.68	0.92	0.98	0.8	15.36	11.66	12.4	10.26	1.1	1.2	0.03	0.03	0	5.45	LAS	
S18	298,847	130,581	Haouz Central	8.59	7.72	0.32	0.44	1.06	1.71	31.90	10.37	13.3	10.24	1.3	1.4	0.01	0.02	4.7	5.2	AS	
S19	293,928	129,013	Haouz Central	8.58	7.96	0.26	0.35	1.37	1.49	18.46	8.46	11.8	10.46	2.3	2.2	0.02	0.03	5.8	5.55	AS	
S20	296,881	127,471	Haouz Central	8.66	7.95	0.23	0.31	1.41	1.4	27.15	11.66	8.9	5.79	1.6	1	0.03	0.04	0	6.3	As	
S21	293,490	121,221	Haouz Central	8.39	7.74	1.25	1.69	1.3	1.28	20.08	16.91	10.2	8	1.2	1.1	0.01	0.02	4.32	4.31	AS	
S22	290,898	118,300	Haouz Central	8.32	7.85	0.59	0.80	0.85	0.41	40.08	17.64	10.2	8.27	1.8	1.2	0.02	0.04	0	4.3	AS	
S23	285,706	120,572	Haouz Central	8.28	7.85	1.01	1.36	0.66	0.38	24.23	17.22	9.5	7.81	1.5	0.9	0.02	0.02	0	6	AS	
				min	8.05	7.40	0.18	0.25	0.66	0.38	11.25	8.46	8.90	5.79	0.90	0.40	0.01	0.02	0.00	4.00	
				max	8.69	8.43	1.25	1.69	3.83	3.57	40.08	19.45	17.60	16.17	3.80	4.20	0.07	0.08	12.09	12.10	
				moyenne	8.45	7.79	0.46	0.62	1.57	1.66	19.11	14.32	12.90	11.01	2.11	1.92	0.03	0.04	2.99	6.40	
				ecart type	0.16	0.15	0.23	0.32	0.60	0.70	4.75	2.56	2.20	2.38	0.81	1.05	0.01	0.01	3.29	1.45	
				ecartype	0.19	0.21	0.32	0.43	0.78	0.88	6.64	3.08	2.60	2.91	0.93	1.26	0.01	0.01	3.86	2.16	

Tableau 31 : Résultats d'analyse des eaux souterraines dans le périmètre du Haouz Central

			2015	2024	2015	2024	2015	2024	2015	2024	2015	2024	2015	2024	2015	2024	2015	2024	2015	2024	2015	2024
Numéro du point	Coordonnées Lambert(m)		Perimètre	2015 Niveau piézométrique (m)	Niveau piézométrique (m)	pH	pH	CE (ms/cm)	CE (ms/cm)	RS (g/l)	RS (g/l)	NO3 (mg/l)	NO3 (mg/l)	Ca (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	Na (mg/l)	
	X	Y																				
ES1	227,686	106,960	Haouz Central	60.00	74.00	7.62	7.55	1.15	1.55	0.62	0.58	8.41	10.58	107.36	53.16	22.62	37.60	5.00	5.12	92.95	102.00	
ES2	225,220	106,941	Haouz Central	65.00	69.00	7.88	7.44	0.63	0.86	0.37	0.38	8.05	4.99	75.20	55.00	11.16	23.00	4.00	4.09	38.73	46.00	
ES3	237,168	105,989	Haouz Central	82.30	61.00	7.92	7.18	1.29	1.74	0.68	0.43	13.41	7.07	67.94	88.00	45.49	21.80	4.00	5.20	140.30	72.00	
ES4	229,438	107,154	Haouz Central	63.00	107.00	7.56	7.48	4.13	5.58	2.41	1.30	5.85	12.07	168.37	192.04	75.00	85.00	4.83	5.21	639.04	750.00	
ES5	233,030	107,971	Haouz Central	84.00	106.00	8.04	7.62	1.01	1.36	0.52	1.11	7.32	7.66	68.58	90.08	23.76	27.20	5.60	5.65	139.43	114.00	
ES6	221,002	110,234	Haouz Central	80.00	89.00	7.65	7.27	1.34	1.81	0.84	1.93	10.73	12.03	120.13	209.55	40.08	20.60	6.04	5.64	96.82	102.00	
ES7	223,793	114,062	Haouz Central	79.30	96.00	8.03	7.76	1.17	1.58	0.53	0.57	7.32	9.80	70.47	200.00	48.38	32.80	5.45	4.52	100.70	92.00	
ES8	218,217	114,727	Haouz Central	61.00	85.00	7.95	7.43	1.32	1.78	0.74	0.82	3.17	10.52	104.05	206.00	21.18	57.10	4.03	4.10	123.93	156.00	
ES9	242,159	114,880	Haouz Central	42.00	46.70	7.98	7.15	1.33	1.80	0.80	0.64	6.83	13.42	157.96	177.50	27.48	40.10	6.85	6.33	77.46	110.00	
ES10	232,429	120,365	Haouz Central	58.20	35.00	8.13	7.27	0.61	0.82	0.39	0.44	7.68	2.74	55.81	64.22	21.18	8.80	4.03	5.00	45.02	44.00	
ES11	245,674	123,002	Haouz Central	49.50	65.00	7.62	7.66	1.14	1.54	0.67	0.57	13.41	5.25	61.48	165.63	68.70	35.20	1.29	2.30	75.52	58.00	
ES12	224,484	126,711	Haouz Central	80.00	65.00	7.71	7.90	1.00	1.35	0.46	0.64	4.27	6.62	91.28	77.00	14.31	58.80	2.00	1.55	71.65	106.00	
ES13	239,577	126,005	Haouz Central	62.90	68.00	7.60	7.88	3.38	4.56	2.02	1.62	4.39	13.65	161.75	230.00	50.96	41.30	6.00	6.33	527.69	600.00	
ES14	267,192	108,116	Haouz Central	39.20	55.00	7.48	7.80	5.93	8.01	3.11	2.12	10.85	22.05	236.47	145.50	100.19	103.20	8.46	7.85	793.96	660.00	
ES15	270,774	108,776	Haouz Central	28.60	35.00	8.03	7.95	1.13	1.53	0.66	1.13	4.02	22.10	79.45	133.52	34.35	26.70	5.00	6.00	124.90	166.00	
ES16	288,566	119,697	Haouz Central	42.30	36.00	7.87	7.45	3.49	4.71	1.77	1.85	3.78	24.15	186.34	63.22	73.28	68.00	6.00	5.44	416.34	314.00	
ES17	291,240	122,554	Haouz Central	60.60	52.00	7.43	7.35	1.99	2.69	1.10	1.15	3.90	30.91	203.37	46.55	40.65	48.60	3.00	2.50	154.92	132.00	
ES18	298,847	130,581	Haouz Central	49.60	57.00	7.48	7.65	1.32	1.78	0.83	0.83	7.56	8.93	140.94	142.57	28.05	37.60	4.00	4.01	76.49	108.00	
ES19	293,928	129,013	Haouz Central	50.40	45.00	7.54	8.12	1.46	1.97	0.76	1.04	11.83	17.21	89.39	238.54	43.80	57.00	3.00	3.66	116.19	164.00	
			min	28.60	35.00	7.43	7.15	0.61	0.82	0.37	0.38	3.17	2.74	55.81	46.55	11.16	8.80	1.29	1.55	38.73	44.00	
			max	84.00	107.00	8.13	8.12	5.93	8.01	3.11	2.12	13.41	30.91	236.47	238.54	100.19	103.20	8.46	7.85	793.96	750.00	
			moyenne	59.89	65.62	7.76	7.57	1.83	2.47	1.01	1.01	7.52	12.72	118.23	135.69	41.61	43.71	4.66	4.76	202.74	205.05	
			ecart type																			
			moyenne	12.56	17.80	0.21	0.23	1.03	1.39	0.56	0.44	2.56	5.73	45.21	57.94	18.20	18.08	1.33	1.20	164.85	158.29	
			ecart type	16.09	22.61	0.23	0.28	1.39	1.88	0.76	0.54	3.27	7.46	53.75	66.42	23.64	23.51	1.71	1.54	220.04	216.52	

Tableau 32 : Résultats d'analyse des eaux superficielles dans le périmètre du Haouz Central

Réf.ORMVAH	Réf. Lab2A	Coord. GPS	pH	CE ds/m	HCO3 meq/l	Cl- mg/L	SO4 ²⁻ mg SO4/L	PO4 ³⁻ mg PO4/L	Ca2+ mg/L	Mg2+ mg/L	K+ mg/L	Na+ mg/L	DBO5 mgO2/L	DCO mgO2/L	MES mg/L	NH4+ mg/L	Cu mg/L	Pb mg/L	Cr mg/L	Cd mg/L	Hg mg/L	Ni mg/L	Zn mg/L	RS mg/L
Point ES6	5.37E-22	299641 ;126561	7.6	1.41	2.94	105	128.1	0.02	80.85	18.9	0.78	80.85	1.57	11.33	48.3	0.03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0.92
Point ES7	5.38E-22	270946 ;105388	7.7	1.54	4.31	129.15	74.55	0.02	68.25	24.15	0.58	131.25	1.27	9.27	34.65	0.02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	1
Point ES68	5.39E-22	248605 ;102796	7.75	1.66	4.16	283	80.9	0.01	93.45	24.15	3.17	225.75	2.59	7.73	25.2	0.5	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	1.08
Point ES9	5.40E-22	239711 ;100111	7.87	1.52	4.92	166	181.2	0.02	115.5	36.75	2.48	130.2	2.01	12.88	33.08	0.3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0.99
		min	7.6	1.41	2.94	105	74.55	0.01	68.25	18.9	0.58	80.85	1.27	7.73	25.2	0.02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0.92
		max	7.87	1.66	4.92	283	181.2	0.02	115.5	36.75	3.17	225.75	2.59	12.88	48.3	0.5	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	1.08
		moyenne	7.73	1.53	4.08	170.78	116.18	0.01	89.51	25.98	1.75	142.01	1.86	10.3	35.3	0.21	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	1

