



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

*Etude de la chimie des eaux souterraines au niveau  
du Haouz central*

*Réalisé par :*

*Elkhaloua Amal & Elhatimy Meriem*

*Encadrées par :*

- ✚ Pr. EL HARIRI Khadija : Faculté des Sciences et Techniques – Marrakech
- ✚ Mr SGHIR Fathallah : Office de Mise en Valeur agricole du Haouz
- ✚ Mr. MORRENO Abdessamad : Office de Mise en Valeur agricole du Haouz

*Soutenu: Le 09 Juin 2016*

**Devant le jury composé de :**

- Pr EL HARIRI Khadija: (FST- Marrakech), Encadrante**  
**Mr SGHIR Fathallah: (Organisme d'accueil), Encadrant professionnel**  
**Pr Mr. HANICH Lahoucine: (FST- Marrakech), Examinateur**

# Dédicace

A nos parents

Qu'aucune dédicace ne serait exprimé à juste valeur tout l'amour, le respect et le dévouement  
que nous portons envers eux.

A nos enseignants & professeurs

Pour leur patience, dévouement et sacrifice.

A nos amis & frères

Et à tous ceux qui ont rendu ce rapport finalement réalisable.

# Remerciements

C'est avec un réel plaisir que nous exprimons ici notre reconnaissance à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Nous tenons à exprimer notre gratitude et nos remerciements aux membres de jury. Veuillez trouver dans ce travail notre sincère respect et notre profonde reconnaissance.

Nous voudrions remercier du fond du cœur toutes celles et ceux qui ont bien voulu apporter leur contribution à la réalisation de ce travail et particulièrement:

Notre encadrant **Professeur EL HARIRI Khadija** pour sa réactivité, sa grande disponibilité, ses conseils concernant l'orientation de notre mémoire et aussi son soutien tout au long de notre projet.

Nos professeurs du département des Sciences de la terre de la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech, qui nous ont apportés du soutien durant nos études et envers tous nos amis qui ont été toujours près de nous avec leurs encouragements, tous ceux qui ont, d'une manière ou d'une autre, contribué à la réalisation de ce travail.

Nous remercions l'équipe de l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Haouz, en particulier **Monsieur MORENO Abdessamad** pour son encadrement, sa présence, ses remarques constructives et ses encouragements et **Monsieur SGHIR Fathallah**.

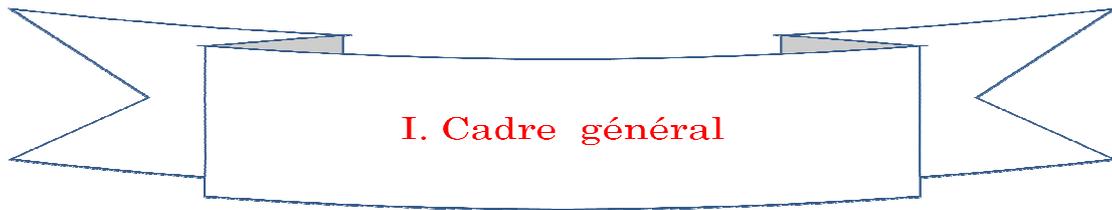
Nous remercions chaleureusement nos parents et nos proches pour leur aide, leur patience et leur dévouement, qui nous a aidés tout au long de notre stage et de la réalisation de notre mémoire.



# SOMMAIRE

<b>I. Cadre général.....</b>	<b>6</b>
<b>1. Introduction.....</b>	<b>6</b>
<b>2. Présentation de l'Office Régional de la Mise en Valeur Agricole du Haouz (ORMVAH).....</b>	<b>7</b>
<b>a. La zone d'action de l'ORMVAH du Haouz .....</b>	<b>7</b>
<b>b. Rôle et mission.....</b>	<b>9</b>
<b>II. Contexte général du bassin du Haouz .....</b>	<b>10</b>
<b>1. Contexte Géographique.....</b>	<b>10</b>
<b>2. Contexte Géologique.....</b>	<b>11</b>
<b>a. La lithologie.....</b>	<b>11</b>
<b>b. La structure.....</b>	<b>13</b>
<b>3. Contexte climatique.....</b>	<b>15</b>
<b>4. Contexte Hydrogéologique.....</b>	<b>15</b>
<b>a. La nappe phréatique du Haouz .....</b>	<b>16</b>
<b>▪ Description.....</b>	<b>17</b>
<b>▪ Les ressources en eau.....</b>	<b>18</b>
<b>▪ La vulnérabilité de la nappe du Haouz .....</b>	<b>19</b>
<b>5. Contexte Hydrologique.....</b>	<b>20</b>
<b>III. Les systèmes d'irrigation dans la région du Haouz .....</b>	<b>21</b>
<b>a. Les systèmes traditionnels.....</b>	<b>21</b>
<b>b. Les systèmes modernes.....</b>	<b>25</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>27</b>
<b>IV. L'impact des eaux d'irrigation sur la chimie de la nappe du Haouz central.....</b>	<b>28</b>
<b>A. Travail au terrain.....</b>	<b>28</b>
<b>a. Le choix du site.....</b>	<b>28</b>
<b>b. La méthodologie de prélèvement.....</b>	<b>29</b>

<b>B. Travail au laboratoire.....</b>	<b>30</b>
<b>a. Les analyses physico-chimiques :.....</b>	<b>30</b>
-La température.....	30
-Mesure de pH.....	31
-Mesure de la conductivité.....	33
-Mesure de la salinité.....	33
-Dosage des éléments majeurs :.....	34
❖ Les anions.....	34
*Dosage des chlorures.....	34
*Dosage du sulfate.....	35
*Dosage du nitrate.....	35
*Dosage les bicarbonates (l'alcalinité de l'eau).....	35
❖ Les cations .....	36
*Dosage du calcium.....	36
*Dosage du magnésium.....	36
<b>Conclusion.....</b>	<b>37</b>
<b>C. Résultats des analyses physico-chimiques.....</b>	<b>38</b>
<b>a. Résultats et interprétation.....</b>	<b>38</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>54</b>
<b>b. La qualité des analyses physico-chimiques.....</b>	<b>56</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>57</b>
<b>IV. Conclusion général.....</b>	<b>58</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>59</b>
<b>Webographie.....</b>	<b>60</b>
<b>Liste des figures.....</b>	<b>62</b>
<b>Liste des photos .....</b>	<b>63</b>
<b>Liste des tableaux.....</b>	<b>64</b>
<b>Liste des diagrammes.....</b>	<b>65</b>



## Introduction

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 se basant sur des systèmes d'irrigation afin de mieux répondre aux besoins en agriculture.

L'objectif de notre travail consiste à analyser l'impact des différents types des eaux (les eaux des pluies, les eaux usées et les eaux industriels) surtout les eaux d'irrigation, étant donné que la région est caractérisée par une activité agricole dépendant essentiellement de la nappe du Haouz central.

Notre travail est subdivisé en 4 parties :

- La 1ère partie est réservée pour la présentation de l'ORMVAH.
- La 2ème partie définit le contexte général du bassin du Haouz et de la zone d'étude.
- La 3ème partie est consacrée à une présentation sur les systèmes d'irrigation.
- La 4ème partie est consacrée à l'analyse de l'impact des eaux d'irrigation sur les eaux de la nappe, des analyses sur des échantillons prélevés dans la région, les résultats et les interprétations de ces analyses.

## **1. 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.

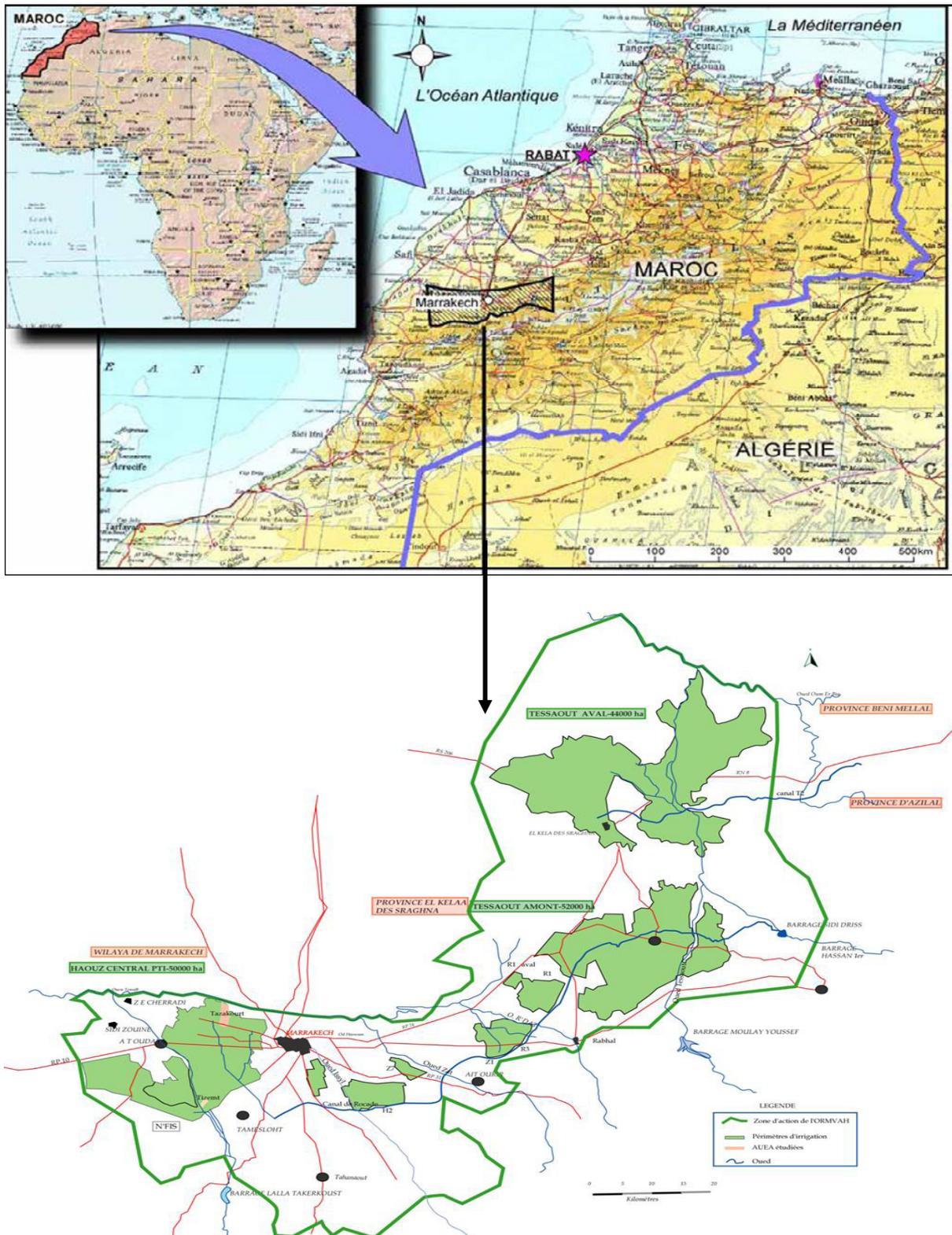
### **a. La zone d'action de l'ORMVAH du Haouz :**

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

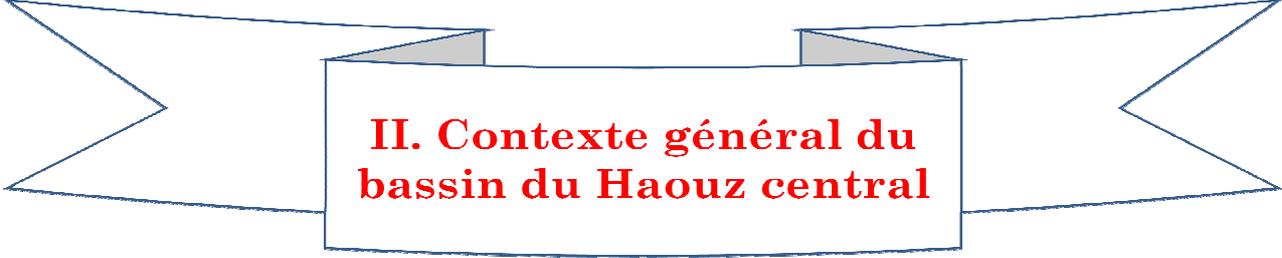
**Population totale : 1.735.000 habitants dont 745.500 ruraux.**



**Fig. 1 : Périmètre irrigues du Haouz zone d'action de l'ORMVH(JICA, al, 2007) ; (YANOGO, 2006)**

## **b. Rôle et mission :**

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



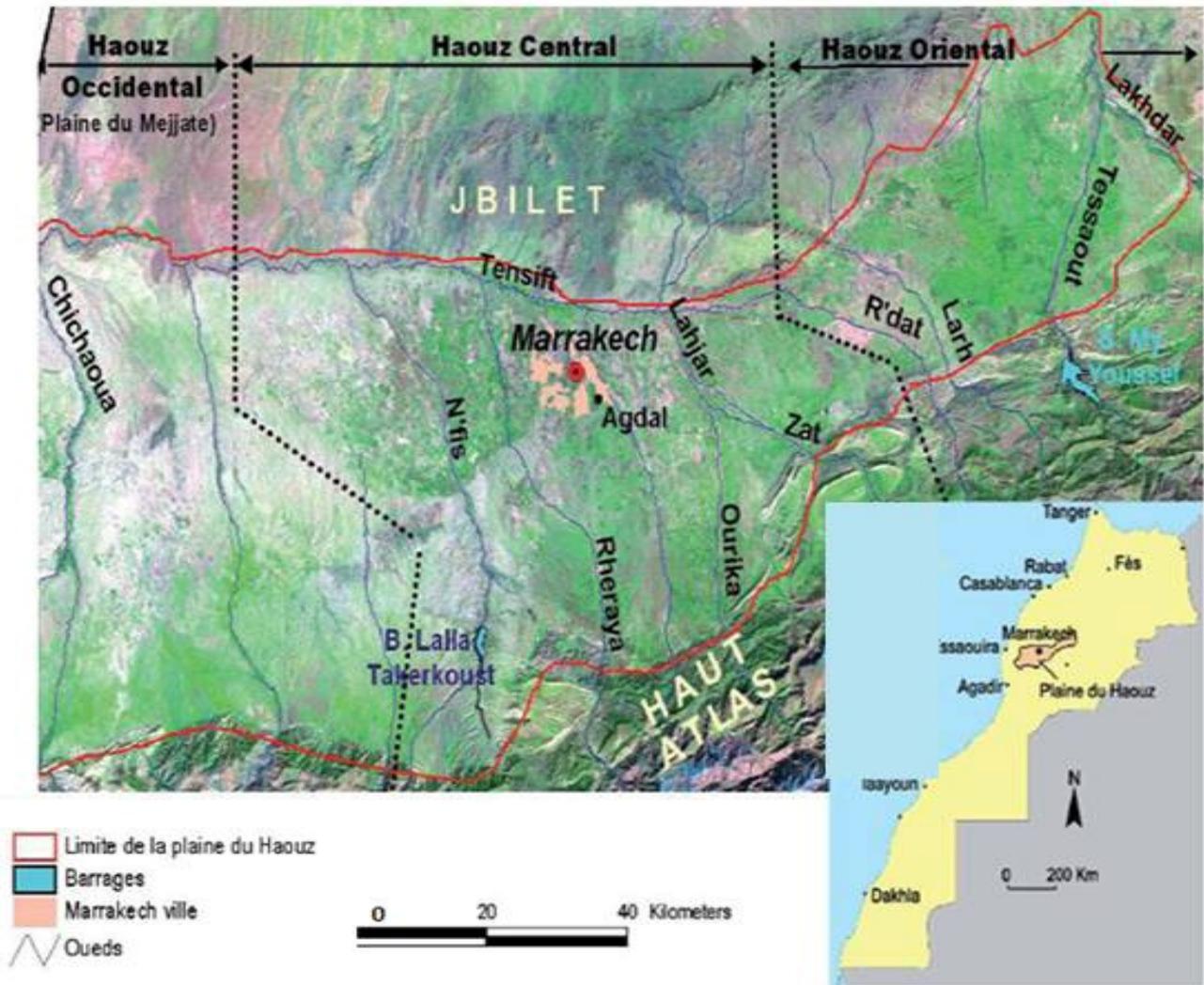
## II. Contexte général du bassin du Haouz central

### 1. Contexte Géographique

Au centre du Maroc se situe la plaine du HAOUZ entre ( $7^{\circ}2'$  et  $9^{\circ}1'$ ) W, ( $31^{\circ}5'$  et  $32^{\circ}$ ) N, cette plaine qui fait partie du bassin Tensift, limitée par la chaîne atlasique au sud et les chaînons de Jbilet au nord. Elle a pour largeur de 40km et sa superficie d'environ 6000 km<sup>2</sup>.

La plaine du Haouz peut être subdivisée en trois parties qui sont d'est en ouest :

- **Le Haouz oriental** : sa superficie est d'environ 1500km<sup>2</sup>, limitée entre l'oued Lakhdar à l'est et l'oued R'dat à l'ouest.
- **Le Haouz central** : recouvre une superficie de l'ordre 2000km<sup>2</sup>, limitée entre l'oued R'dat à l'est et l'oued N'fis à l'ouest.
- **Le Haouz occidental** : s'étend sur une superficie de l'ordre de 2500km<sup>2</sup>, limitée par l'oued N'fis à l'est à l'ouest et par la bordure orientale du plateau Essaouira-Chichaoua.

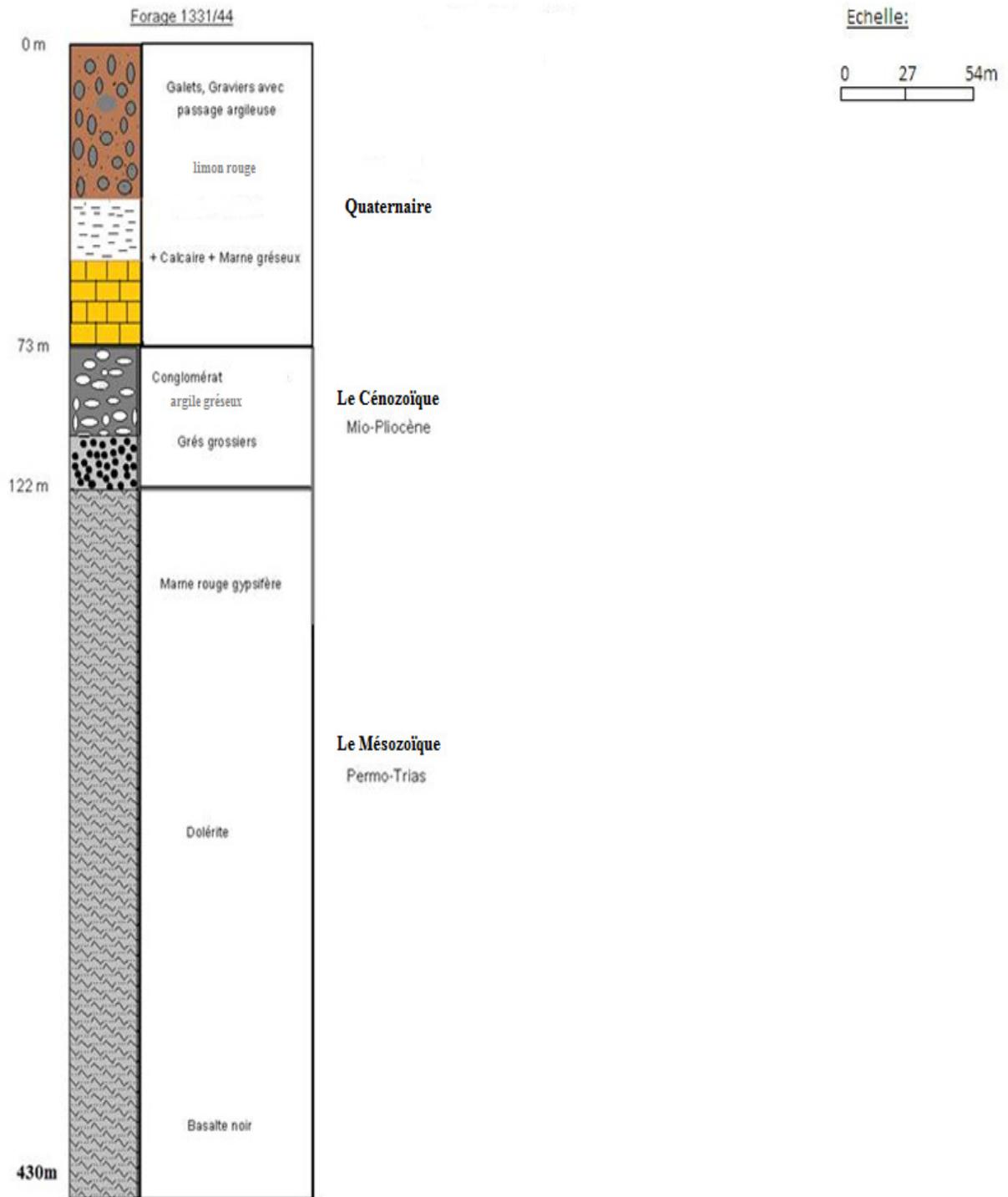


**Fig. 2 : Situation géographique du Haouz Central (Landsat, TM 2007.) Modifié.**

## 2. Contexte Géologique

### a. La lithologie

Du point de vue géologique la plaine de HAOUZ est un bassin de sédimentation d'origine tectonique, constitué de formations détritiques (alluvions et conglomérats) issues de l'érosion de la chaîne atlasique. La chaîne atlasique présente les formations allant de primaire jusqu'au quaternaire récent dont le faciès et l'épaisseur sont très variables.

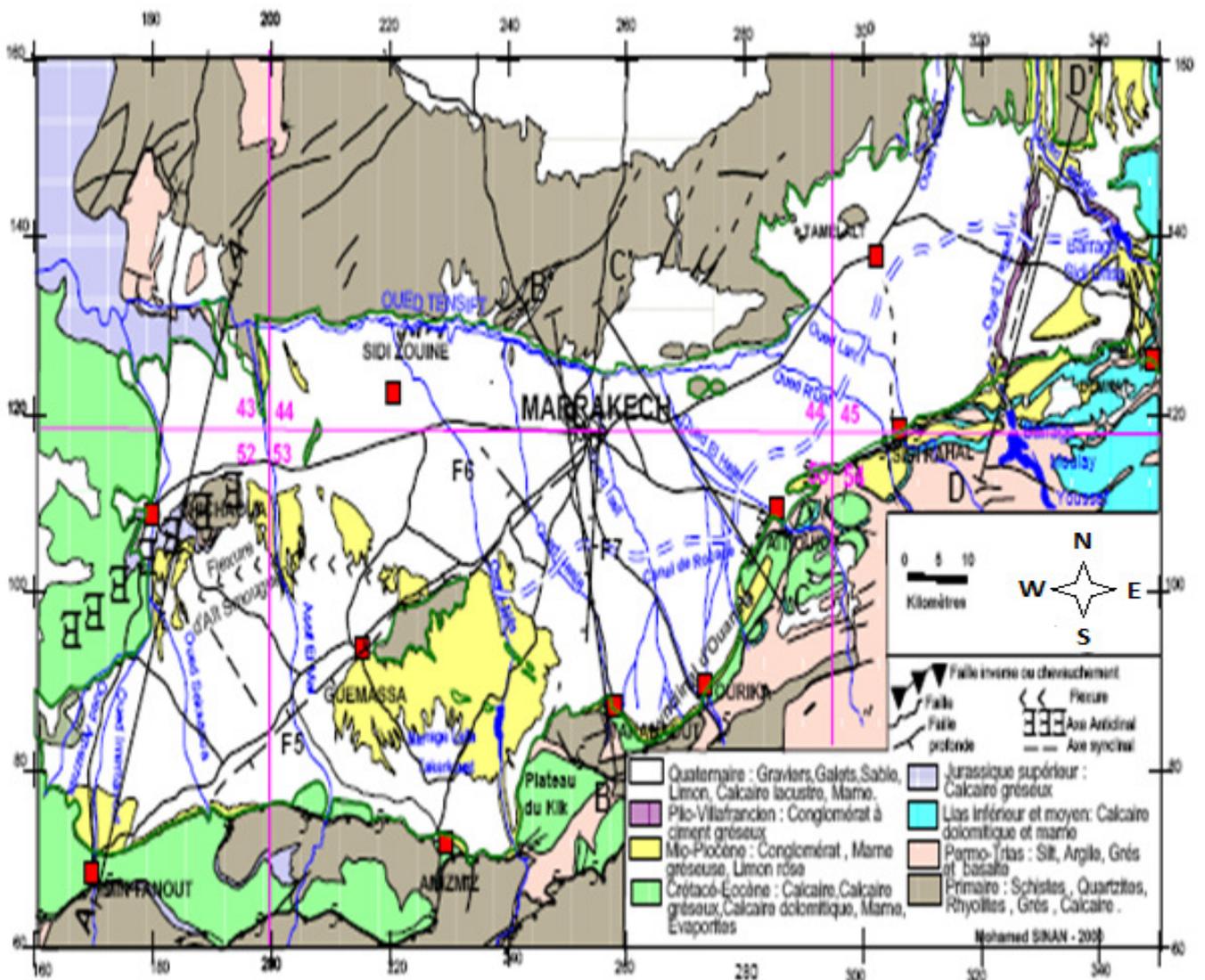


**Fig.3 : Coupe lithologique du forage minier 1331/44 (Sinan) Modifié**

**b. La Structure :**

Le Haouz de Marrakech est un bassin de sédimentation modérément subsidant, il correspond à une dépression d'origine tectonique, qui s'est formée au Tertiaire et au Quaternaire, et dans laquelle se sont accumulées au Néogène des formations détritiques continentales et fluviales issues du démantèlement de la chaîne atlasique (Fig.3).

- L'étude stratigraphique du bassin de Haouz montre l'existence de deux grands domaines ;
- Un domaine oriental formé, pour l'essentiel, de calcaire dolomitique du Jurassique inférieur ;
  - Un domaine occidental dans lequel prédominent les formations crétacées et éocènes caractérisées par des faciès gréseux, marneux et calcaires.



**Fig.4 : Carte géologique simplifiée du bassin du Haouz (d'après Sinan,)**

- **Le Mésozoïque :**

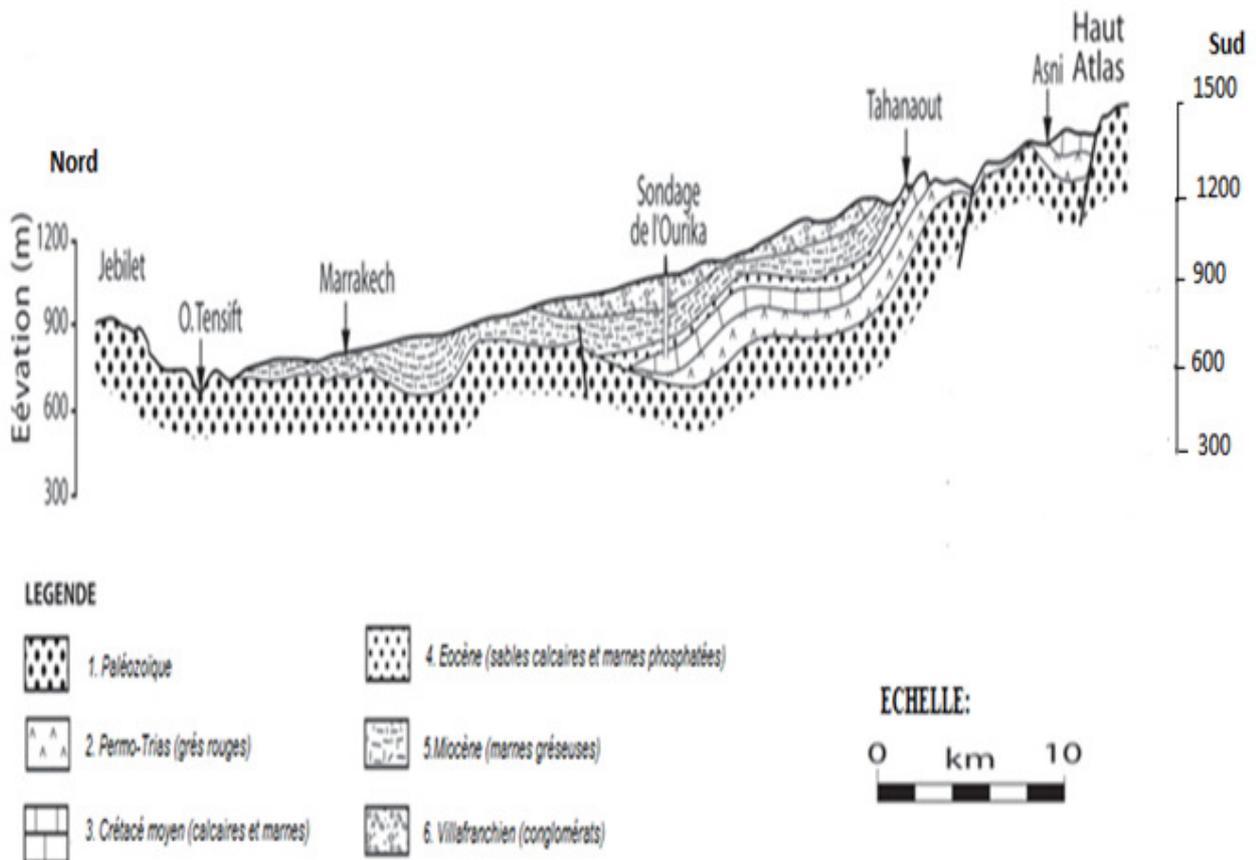
*Permo-trias* : Les dépôts permo-triasiques sont constitués d'une série argileuse-salifère. Le Trias supérieur-Lias a été marqué par l'individualisation du bassin haut atlasique.

- **Le Cénozoïque :**

Mio-Pliocène : Il affleure au sud sous forme de époinçements avec un faciès essentiellement gréseux à la base et devenant argilo-gréseux avec des conglomérats au sommet.

- **Le Quaternaire :**

Ses sédiments sont des produits de démantèlement de la chaîne atlasique. Les dépôts sont constitués essentiellement par des calcaires et des marnes gréseuses, des limons rouges et des graviers avec un passage argileux.

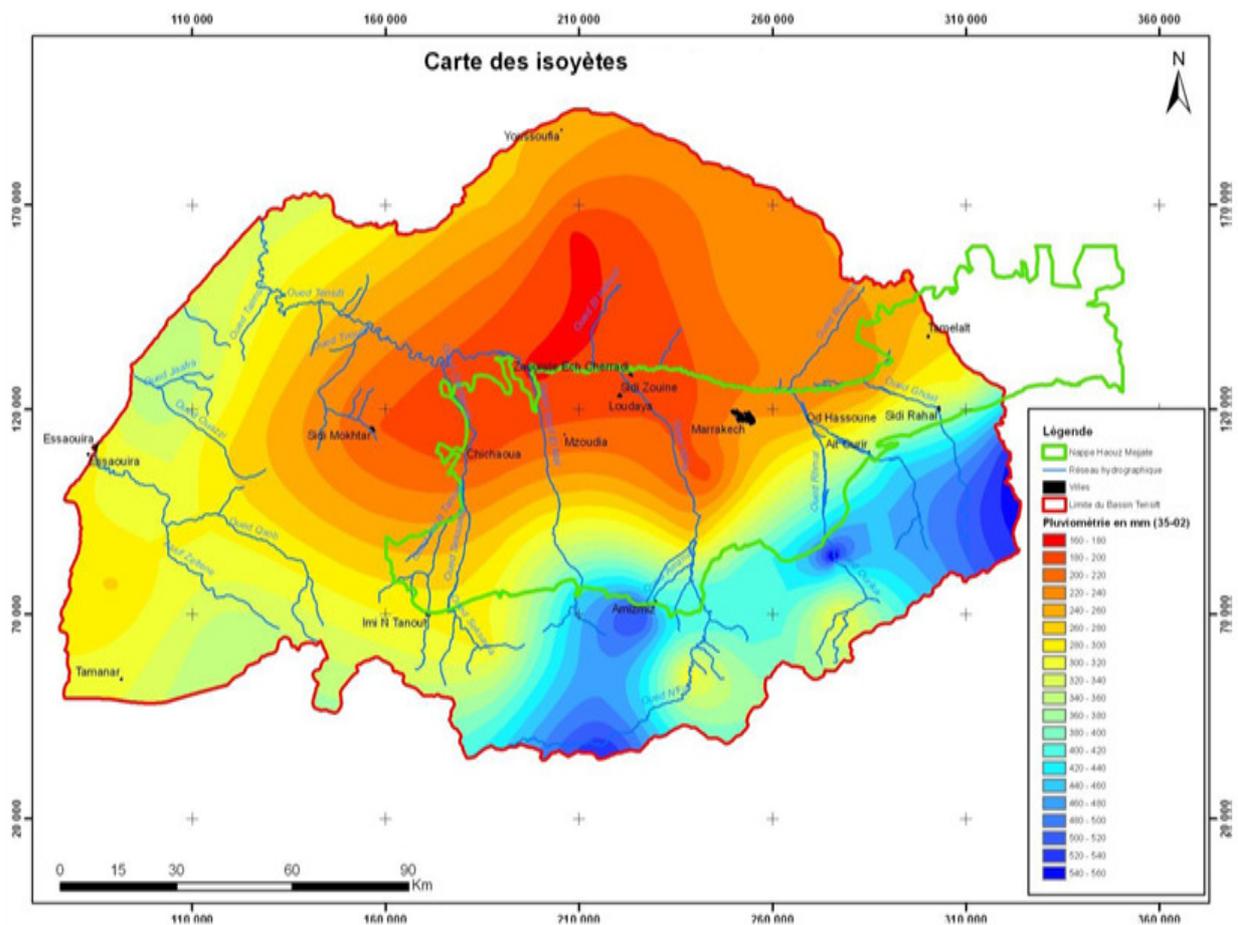


**Fig.5 : Coupe géologique du bassin du Haouz (d'Après Ambroggi et Thuille, 1952).**

### 3. Contexte climatique :

Le climat qui règne sur le Haouz est semi aride de type continental, caractérisé par des faibles précipitations varie entre 170 à 300 mm/an et des amplitudes thermique assez important entre l'hiver et l'été avec respectivement 5°C et 45°C.

Aussi le périmètre du Haouz est caractérisé par la succession des périodes des sécheresses.



**Fig.6 : Contexte hydro-climatologie de la région du Haouz ( Réf ABHT, 2013).**

## 4. Contexte Hydrogéologique :

### a. la nappe phréatique d'Haouz :

- **Définition :**

Une nappe phréatique : est une masse d'eau contenue dans les fissures du sous-sol.

- **Nappe libre :**

Caractérisée par :

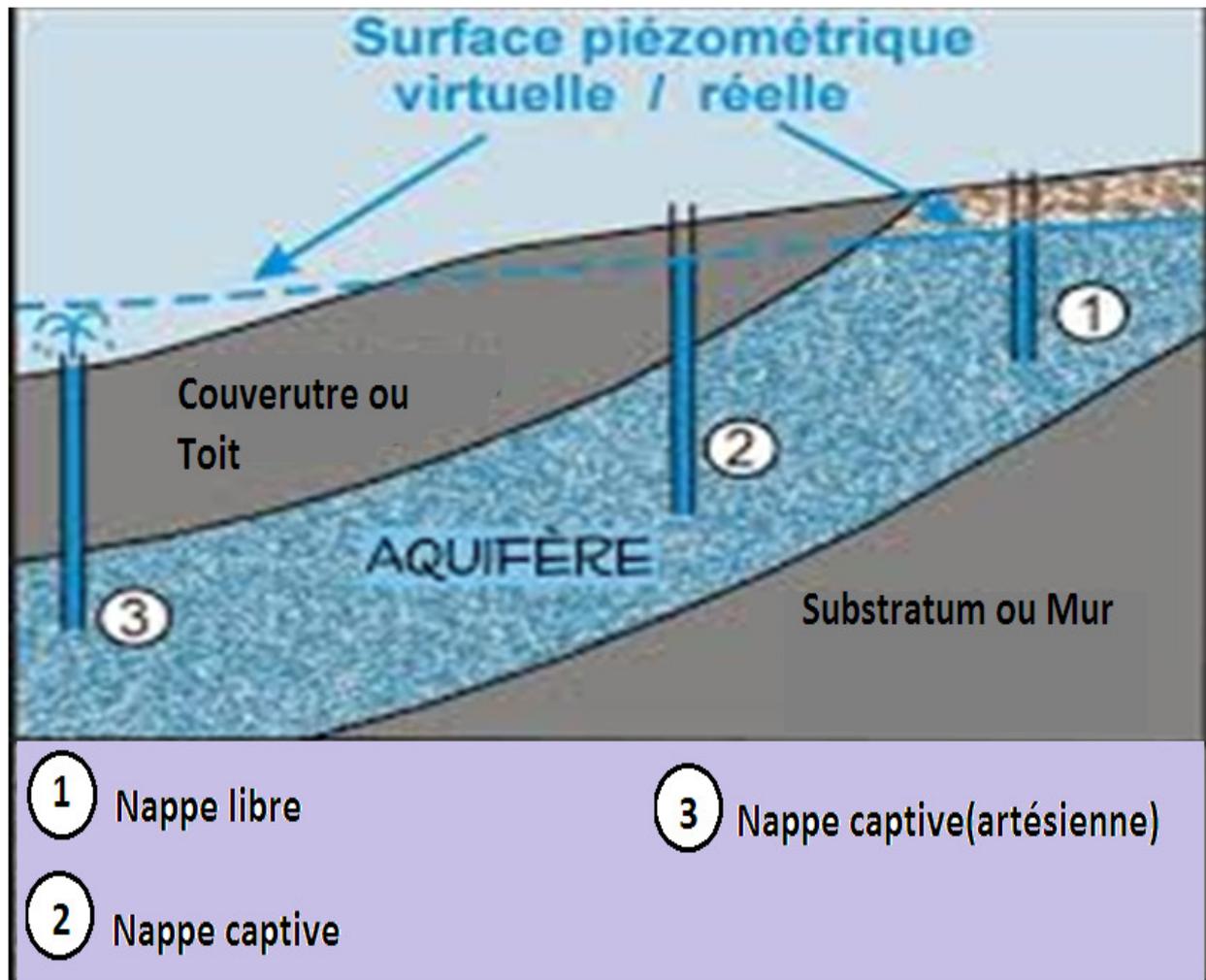
- Un substratum appelé mur de la nappe.
- Un niveau piézométrique appelé surface libre ou toit

- **Nappe captive :**

C'est une nappe qui est surmontée par une formation peu perméable où la surface de l'aquifère est très poreuse. Elle est sous pression.

On trouve 2 types :

- **Nappe artésienne.**
- **Nappe semi-captive.**



**Fig.7 : Les types de nappes phréatiques**

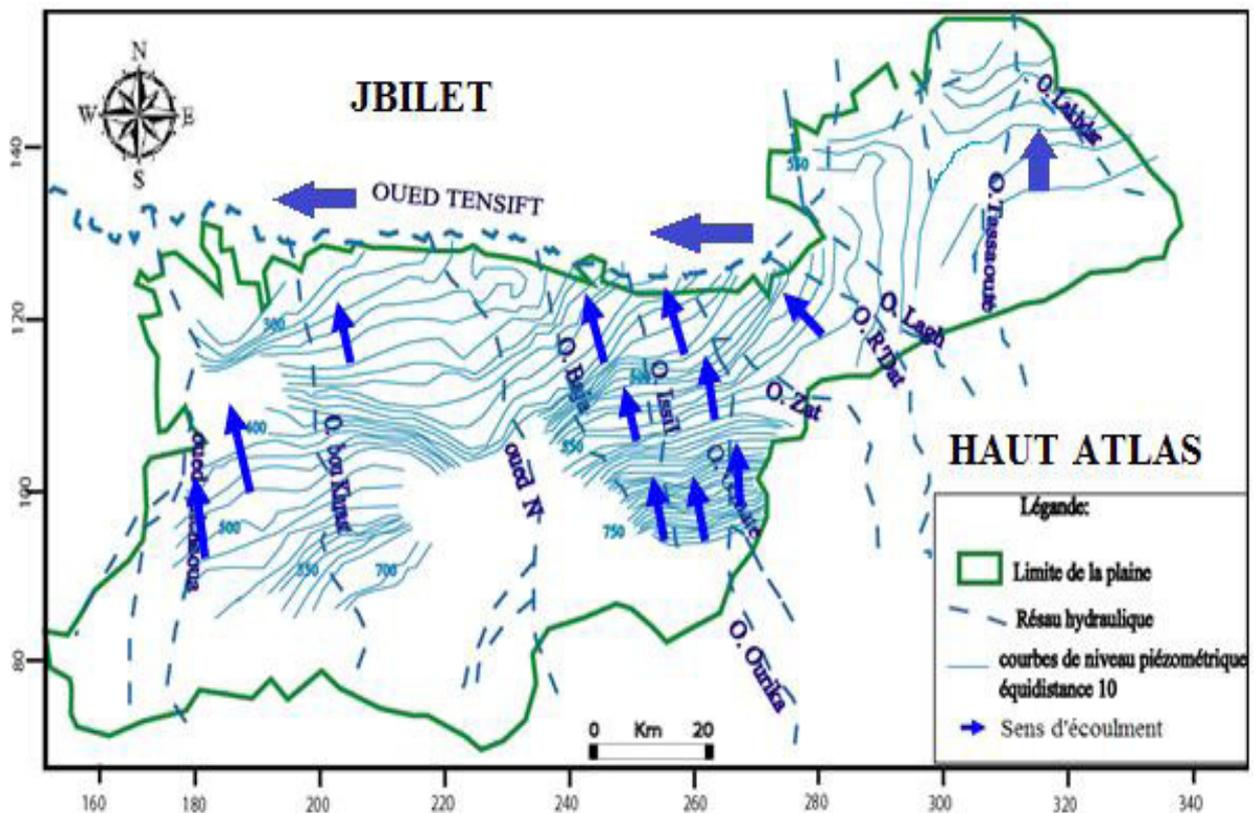
- **Description de la nappe du Haouz :**

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 Jbilets, 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.10) 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.



**Fig.9: Carte piézométrique général de l'aquifère du Haouz central (Abourida, 2007).**

#### • Les ressources en eau :

La plaine du Haouz, d'une superficie d'environ 6000Km<sup>2</sup>, couvre toute la partie nord de la province qui s'élève à 1/3. Considérée comme la nappe la plus importante de la région économique du Tensift, sa productivité au niveau de la province d'Al Haouz varie du piémont vers l'intérieur de la plaine.

L'alimentation de la nappe du Haouz se fait à partir des sources suivantes **selon**

#### **L'ORMVAH :**

- **Infiltration des eaux de pluie :** l'estimation d'infiltration des eaux pluviales à 98 Mm<sup>3</sup>/an.
- **Recharge à travers les lits d'oueds :** L'infiltration est estimée un volume de 84 Mm<sup>3</sup>/an.
- **Recharge par abouchement :** La recharge par abouchement est estimée à 98 Mm<sup>3</sup>/an.
- **Recharge par retour des eaux d'irrigation :** La recharge par retour d'irrigation est ainsi estimée à 242 Mm<sup>3</sup>/an.

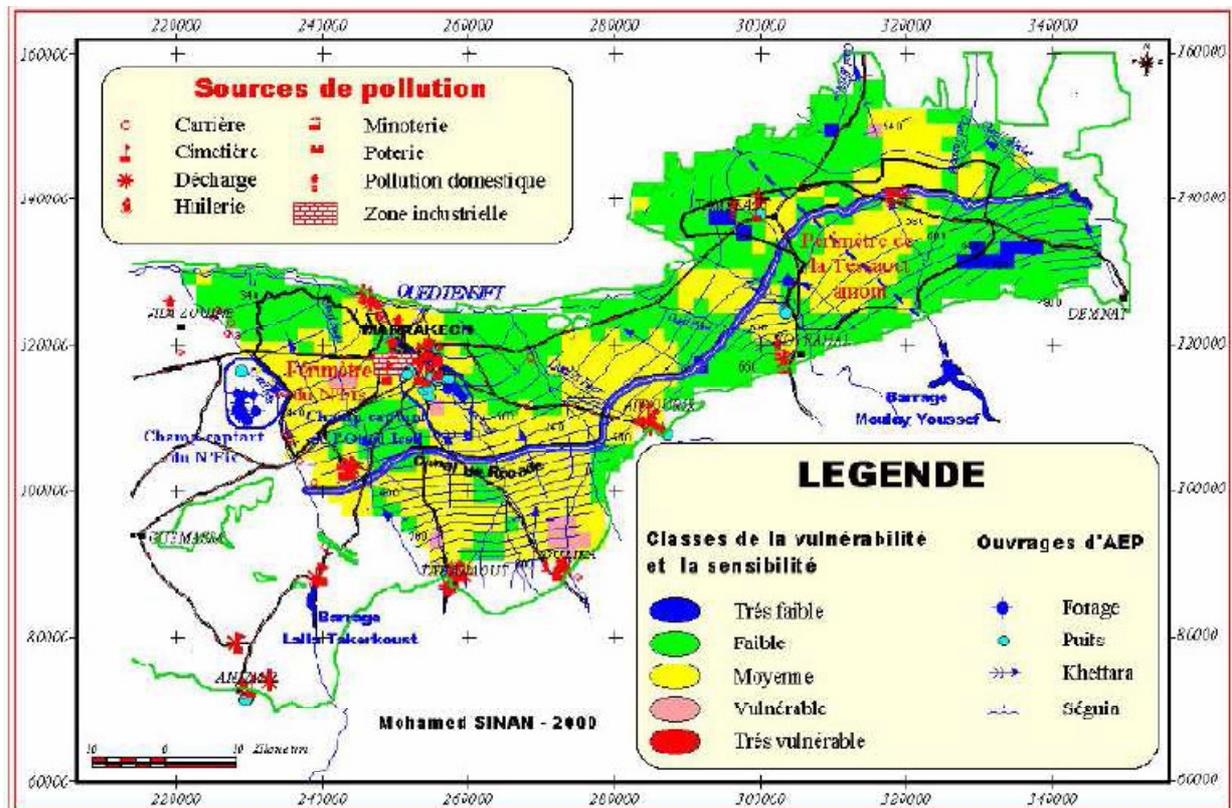
- **La vulnérabilité de la nappe Haouz**

La vulnérabilité d'une nappe traduit la facilité avec laquelle elle peut être atteinte par une pollution provenant de la surface du sol.

Plusieurs paramètres interviennent dans le transfert vertical de la pollution à partir de la surface du sol, notamment:

- Recharge de la nappe (à partir des précipitations, cours d'eau, infiltration des eaux d'irrigation)
- Nature et épaisseur du sol.
- Caractéristiques (lithologie, perméabilité, etc. ) de la zone non saturée ;
- Profondeur de l'eau par rapport au sol;

D'après SINAN, 2000 la nappe est caractérisée par une vulnérabilité et une sensibilité globalement moyenne à faible.



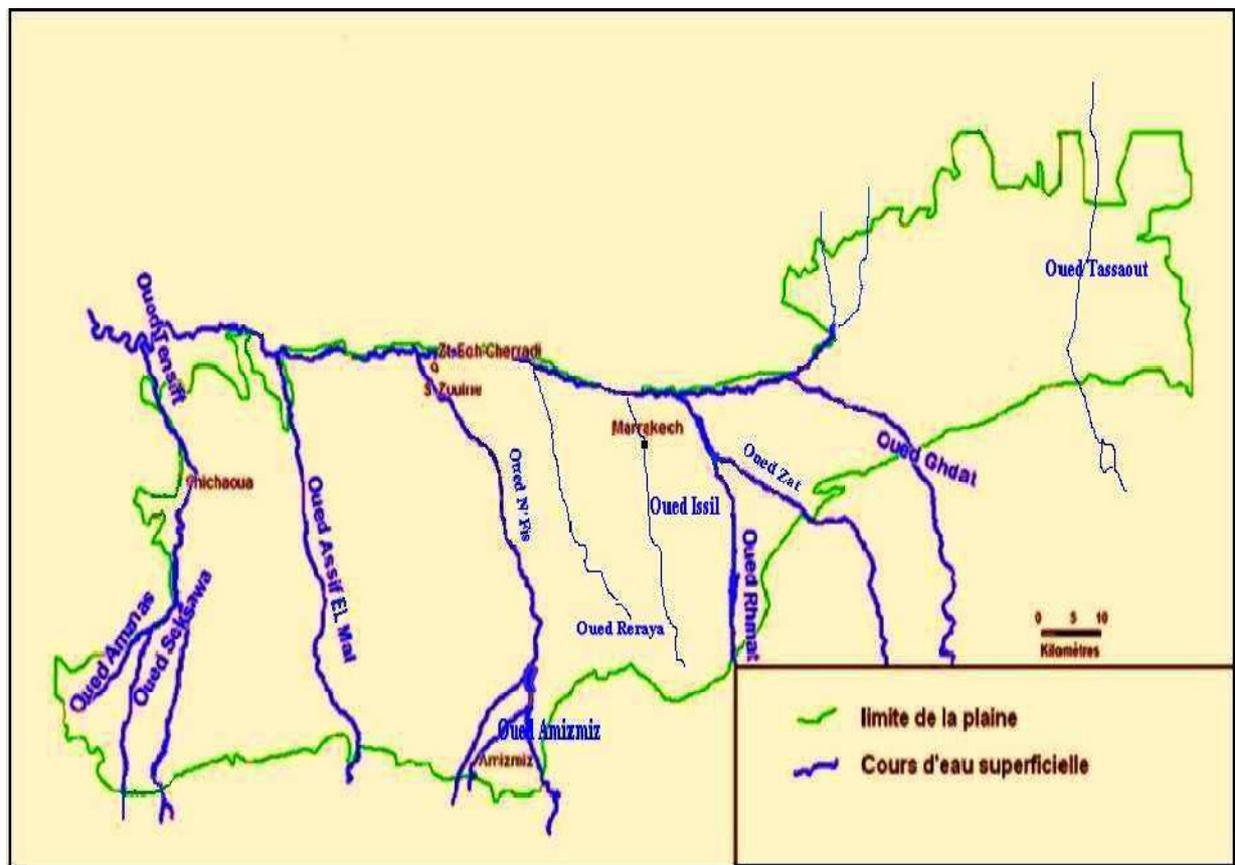
**Fig.10:La vulnérabilité est moyenne dans le périmètre du Haouz (SINAN, 2000)**

## 5. Contexte 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'da, Ourika, Rheraya, N'Fis et Chichaoua.. (Projet Sud Med, Hydrogéologie de la plaine du Haouz)



**Fig.11: Contexte hydrogéologique du bassin du Haouz.(Source, ABHT)**

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

Le Haouz est une région de très longue tradition d'agriculture irrigués, tant à partir des eaux superficiels que des eaux souterraines. La sévérité des conditions climatiques résulte un manque d'eau dans la région avec l'accroissement des besoins en eau dans l'agriculture.

L'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Haouz (ORMVAH) effectue un plan d'aménagement dans la région pour faciliter la gestion des ressources en eau, cette gestion des eaux se base sur des systèmes d'irrigation :

- Les systèmes traditionnels.
- les systèmes modernes.

#### a. Les systèmes traditionnels :

##### ➤ Les séguias :

Le système **de la séguia** était présent sur les 3 quarts de la superficie irriguée avant les aménagements de grands hydraulique, soient 210000 ha.

A l'aval d'une simple prise sur la rive de l'oued, un canal en terre constitué d'une tête morte plus ou moins longue et d'une partie aval distributrice, domine un périmètre de superficie variable quelque douzaine à plusieurs milliers d'hectares.

Les séguias étaient initialement présentes dans la partie amont des oueds , à leurs débouche dans la plaine , ce système c'est ensuite entendu dans la plaine sur les cônes des oueds.



**photo.1 : Système d'irrigation séguia**

➤ **Les puits :**

Un **puits à eau** : est le résultat d'un 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 et 3 : Puits traditionnel en brique**

### **b. Les systèmes modernes :**

Ces systèmes sont composées des techniques modernes, plus efficaces car elles permettent de diminuer la consommation d'eau, mais nécessitent une infrastructure coûteuse. Elles sont de deux types :

- **Le goutte-à-goutte**
- **l'aspersion**

#### **➤ 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.4 : Système d'irrigation type : goutte à goutte**

➤ **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.



**Photo5 : Système irrigation plein champ par l'aspersion**

## **Conclusion :**

Dans le bassin du Haouz les eaux souterraines jouent un rôle primordial dans l'alimentation, en eau potable et l'irrigation agricoles. L'unique origine de toutes ces ressources est la nappe phréatique du Haouz.

Du point de vue géologique, la nature des terrains constituant la plaine du Haouz correspond essentiellement à des formations détritiques perméables, ce qui facilite l'infiltration de tous les types des eaux (les eaux des pluies, les eaux d'irrigation, les eaux usées et les eaux industrielles) et donc la contamination de la nappe est plus importante, elle n'est dotée d'aucun système de protection vis-à-vis des différents foyers de pollution.

Aussi du point de vue climatique, la région caractérisée par un climat semi aride à aride, et subit des périodes de sécheresses augmentant ainsi le taux d'exploitation de la nappe phréatique, se qui résulte un rabattement au niveau piézométrique de la nappe à cause de la super-exploitation.

Selon le contexte hydrogéologique, les eaux de cette nappe circulent dans les alluvions et des conglomérats et des roches calcaires ayant une hétérogénéité complexe, ce qui donne l'origine de la variation des caractéristiques hydrodynamiques de la nappe.

On a aussi les systèmes d'irrigation qui jouent un rôle très important pour faciliter l'infiltration des produits utilisés dans la fertilisation du sol, dans la nappe du Haouz.

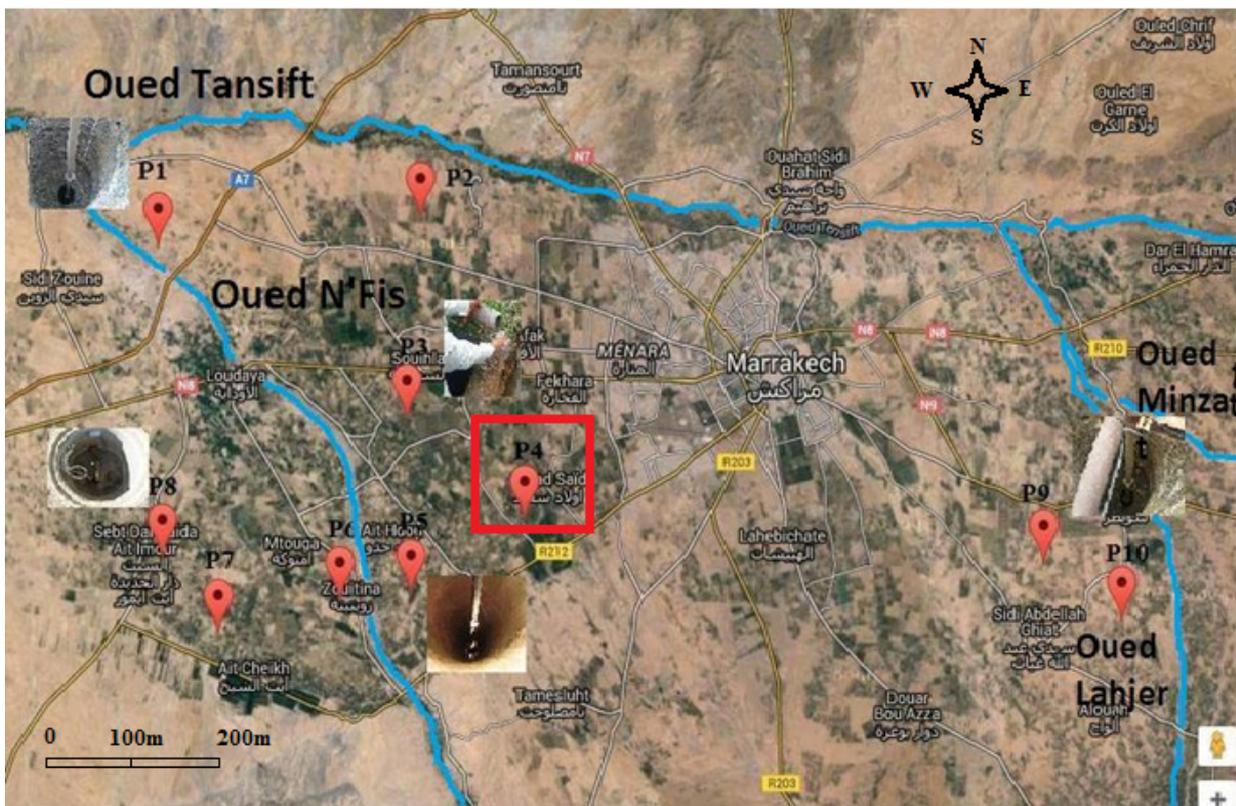
Donc l'objectif de cette étude est de poursuivre l'impact de ces eaux sur la chimie de la nappe du Haouz central et surtout les eaux d'irrigation qui sont les plus dominants dans la région.

## IV. L'impact des eaux d'irrigation sur la chimie de la nappe du Haouz central

### A. Travail de terrain :

#### a. Le choix du site :

Pour étudier l'impact d'irrigation sur les eaux souterraines au niveau du périmètre irrigué du Haouz central, à l'aide du ORMVAH on a choisi 10 sites de prélèvement des échantillons des eaux souterraines.



**Fig.14 : Carte satellite montrant l'emplacement des puits de prélèvement des échantillons des eaux souterraines**

périmètre	N° du puits	Type	Coordonnées géographiques		Coordonnées Lambert	
			latitude	longitude	X	Y
Haouz central	P1	Nappe	008°16.028	31°31.503	227686	106960
	P2	Nappe	008°12.293	31°32.271	233502	108274
	P3	Nappe	008°10.224	31°32.482	236920	108522
	P4	Nappe	008°20.028	31°33.064	221332	110133
	P5	Nappe	008°17.900	31°33.373	215087	110429
	P6	Nappe	007°48.799	31°31.824	270794	122878
	P7	Nappe	007°35.960	31°40.951	291465	116463
	P8	Nappe	008°10.365	31°36.796	236908	116497
	P9	Nappe	008°09.787	31°41.575	270799	125647
	P10	Nappe	008°06.890	30°34.202	298183	129380

**Tableau n°1 : Caractéristiques du réseau de prélèvement des échantillons des eaux souterraines**

### **b. Méthodologie de prélèvement**

Dans le but déterminer l'impact des eaux d'irrigation sur les eaux souterraines dans la zone d'étude, nous avons réalisé une campagne d'échantillonnage durant le mois Mai 2016, nous étions dans l'obligation de répartir nos points de prélèvement dans le périmètre choisi.

Au total, 10 échantillons des eaux souterraines ont été prélevés.

Les échantillons des eaux souterraines ont été prélevés à partir des puits, qui sont espacés les uns aux autres.

Ces eaux prélevées étaient échantillonnées dans des bouteilles en plastique bien fermées, nommées par des codes et conservées dans une glacière jusqu'au moment d'analyse.

## **B. Travail au laboratoire :**

### a. Analyses physico-chimique :

#### ✚ Mesure de la Température :

##### ➤ Principe :

La température joue un rôle important dans la solubilité et la dissolution des sels dissous, dans la solubilité des gaz, sur la conductibilité électrique et dans la détermination du pH.

##### ➤ Appareillage :

La mesure de la température doit être faite sur place au moment de prélèvement à l'aide soit d'un thermomètre soit d'une sonde (en °C). (Assiri A., 2001).



**Photo4 : mesure de la température**

## 🚦 Mesure du pH :

### ➤ Principe :

Le pH donne une idée sur l'acidité ou l'alcalinité d'une solution. Il fournit une valeur sur une échelle de 0 à 14 : une valeur de 7 est dite neutre, une valeur inférieure à 7 est dite acide, et une valeur supérieure à 7 est dite alcaline (ou basique). Plus on se rapproche de 0, plus la solution est acide, et de la même façon, plus on se rapproche de 14, plus la solution est alcaline.

### ➤ Mode opératoire :

- On place une quantité suffisante d'eau dans un bécher de 100 ml.
- On étalonne le pH mètre avec des solutions tampon dont le pH est bien connus.
- Après l'étalonnage de l'appareil, on rince abondamment l'électrode avec de l'eau distillée avant de commencer la mesure, qui consiste tout simplement à placer, l'électrode dans le bécher et de lire la valeur donnée par l'appareil.

### ➤ Appareillage :

L'appareil utilisé Pour déterminer le PH des eaux est un pH-mètre.



**Photo 5 : pH-mètre (Labo d'ORMVAH du Haouz)**

**✚ Mesure de la Conductivité :**

➤ **Principe :**

La conductivité électrique permet de connaître la minéralisation totale d'une eau.

➤ **Mode opératoire :**

- On place dans un bécher de 100 ml une quantité suffisante de l'échantillon.
- On règle la température du conductimètre pour chaque mesure.
- On place ensuite l'électrode du conductimètre dans le bécher, et on lit la valeur donnée par l'appareil tout en agitant à l'aide d'un agitateur magnétique.
- On ne doit pas oublier et de rincer l'électrode après chaque mesure.

➤ **Appareillage :**

Elle est mesurée à l'aide d'un conductimètre et exprimée en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .



**Photo 6: Mesure de la conductivité de l'eau (Labo d'ORMVAH)**

**📊 Mesure de la salinité :**

La Mesure de la salinité se fait par une méthode indirecte on basant sur la conductivité électrique par la relation suivant :

$$\text{SA (mg/L)} = 0.64 * \text{CE}$$

## Dosage des éléments majeur

### ❖ Les anions :

#### \*Dosage des chlorures :

##### ➤ Principe :

La quantité des chlorures contenus dans les échantillons a été déterminée, par dosage, elle est exprimée en mg/l.

##### ➤ Mode opératoire :

- On place dans un erlenmeyer 10 ml d'échantillon.
  - On ajoute 3 gouttes de chromate de potassium ( $K_2CrO_4$ ), la couleur deviendra jaune.
  - On remplit la burette par la solution de nitrate d'argent ( $AgNO_3$ ).
  - On ouvre la burette en laissant les nitrates d'argent s'écouler lentement on agite.
- On arrête la titration quand la solution prend une couleur rougeâtre.

#### \* Dosage Les sulfates :

##### ➤ Mode opératoire :

- Dans un erlenmeyer on place 10 ml de l'échantillon à l'aide d'une pipette.
- On ajoute 2 ml d'acide sulfurique( $H_2SO_4$ ).
- On ajoute 2ml d' $HCO_3^-$  et la quantité trouvée dans la mesure du bicarbonate.
- on chauffe jusqu'à l'apparition des bulles dans la solution.
- On ajoute de 05 ml du chlorure de baryum ( $BaCl_2$ ).
- On refroidisse la solution par l'ajoute 10 ml d'une solution tampon ( $NH_3$ ) et 2 ml du chlorure de magnésium ( $MgCl_2$ )
- on ajoute 2 goutte d'eriochrome et on dose par l'acide éthylène diamine tétra acétique (E.D.T.A.).

**\*Dosage du nitrate :**

➤ **Principe :**

Le nitrate est l'un des paramètres les plus marquant de la qualité des eaux, elle peut avoir plusieurs origine, elle provient essentiellement des rejets des eaux urbaines ou rejet industriel, de l'emploi abusif des engrais azotés ou de la forte minéralisation des matières organiques.

➤ **Mode opératoire :**

- On prise 5 ml de l'échantillon.
- On ajoute 05 ml d'une solution tampon ajusté à 50 ml de l'eau distillée.
- On coule les premières 25 ml et récupérer les seconde 25 ml.
- On ajoute 0.5 de réactif de diazotation.
- On dose à 537 nm après 36 min.

**\*Dosage Les bicarbonates (l'alcalinité de l'eau) :**

➤ **Principe :**

L'alcalinité correspond à la capacité d'une eau à accepter ou à consommer les protons  $H^+$ , elle est essentiellement due à la concentration importante des ions  $[HCO_3^-]$ ,  $[OH^-]$ , et  $[CO_3^{2-}]$  dans l'eau ( $CO_3^{2-}$  se trouve dans un milieu basique dont le  $pH \geq 8.5$ ).

➤ **Mode opératoire :**

La technique utilisée pour la mesure des bicarbonates est la suivante :

- On prélève à l'aide d'une pipette 10 ml d'échantillons qu'on place dans un erlenmeyer.
- On ajoute trois gouttes du verre-Boromo-crésol qui donne la couleur bleu à la solution.
- on commence le dosage par une solution d'acide sulfurique 0.02N.
- Quand la couleur de la solution change du bleu vers le jaune, on détermine le point du virage.

## ❖ Les cations :

### \*Dosage du calcium :

#### ➤ Mode opératoire :

- On place 10 ml de l'échantillon dans un erlenmeyer.
- On ajoute 40 ml d'eau distillé et 4 ml de la soude (NaOH).
- On met une petite quantité du murexide comme indicateur coloré.
- On dose par l'acide éthylène diamine tétra acétique (E.D.T.A.).

### \*Dosage du magnésium:

#### ➤ Mode opératoire :

- On place 10 ml de l'échantillon dans un erlenmeyer
- On ajoute 02ml d'une solution tampon
- On ajoute trois gouttes de l'eriochrome (NET) comme indicateur coloré
- On dose par l'acide éthylène diamine tétra acétique (E.D.T.A.).
- Quand la couleur de la solution change du violet vers le bleu foncé, on détermine le point du virage.



**Photo8 : dosage de Calcium et Magnésium**

**Conclusion :**

Dans cette partie de travail, après avoir effectué des mesures sur terrain et au laboratoire, on s'est essentiellement intéressé à la détermination de la qualité des eaux souterrains pour donner une idée sur l'impact des différents types des eaux (les eaux des pluies , les eaux d'irrigation , les eaux usées et les eaux industriels) sur la nappe . Les analyses physico-chimiques sont pour but de l'interprétation des différents éléments chimiques. Ainsi ces analyse des eaux souterraines sont réalisées au laboratoire nous a permis d'établir un tableau de résultats des différents puits étudiés.

### C. Résultats des analyses physico-chimiques :

#### a. Résultats et interprétation :

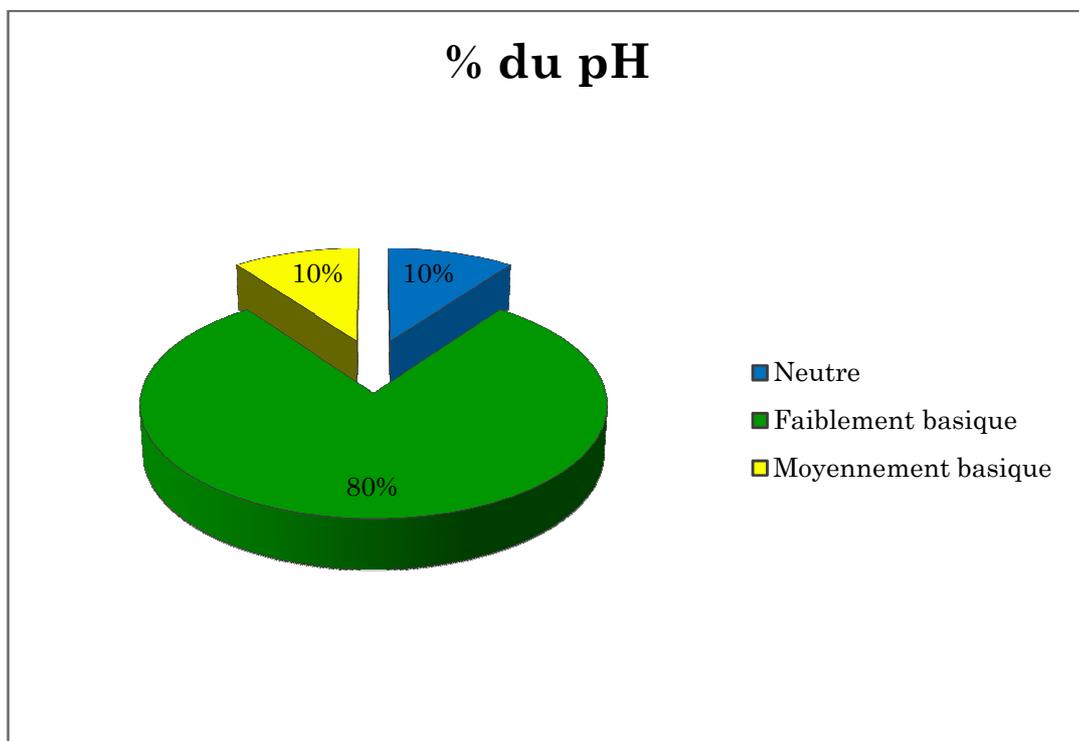
N° du puits	T°C	pH	CE µs/cm	La salinité mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	Mg <sup>2+</sup> mg/l	Ca <sup>2+</sup> mg/l	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l
P1	23.5	7.5	1090	771	35	105.20	148.88	34.32	70	7.5
P2	23	7.56	686	485	33.4	19.20	75.02	16.62	44	10.5
P3	23.5	7.58	1156	818	22.8	74.40	109.93	20.01	80.9	12.4
P4	22	7.74	3590	2539	12.00	547.20	1333	157.1	650	6.3
P5	23.5	7.89	1040	735	10.8	58	86.05	21.5	66	6.4
P6	22.5	7.16	1360	962	48	81	170.65	23.47	96	7.5
P7	23	7.58	1212	857	32.8	48	155.02	5.89	36.02	8.3
P8	22.5	7.56	1560	1103	39	62	122.00	4.84	124	4.5
P9	23	7.61	1740	1231	22	196.40	280.13	19.52	188	8.9
P10	23	7.71	1864	1318	11.35	98.50	166	15.41	39	9.9
moyenne	22,8	7,60	1529,8	1081,9	36	69,5	470,40	15,41	101,79	9,9
Écart-type	0,44	0,14	803,88	568,59	10,85	20,41	258,36	10,1	87,63	7,7
Cf.v	0,013	1,92	52.54	59.19	30,34	28.56	54,92	65,54	86,08	77,77

**Tableau 2 : Résultats des analyses des échantillons des eaux prélevé dans le périmètre du Haouz Central**

### ✚ Le pH :

Classes du PH		Haouz central	
Désignation	Valeurs	nombre	Pourcentage
Neutre	6.7-7.3	1	10
Faiblement basique	7.3-7.8	8	80
Moyennement basique	7.8-8.5	1	10

**Tableau N°3 : Répartition des classes du pH des eaux souterraines en (%)**



**Diagramme N°1 : Répartition des classes du pH des eaux souterraines en (%)**

#### **Interprétation :**

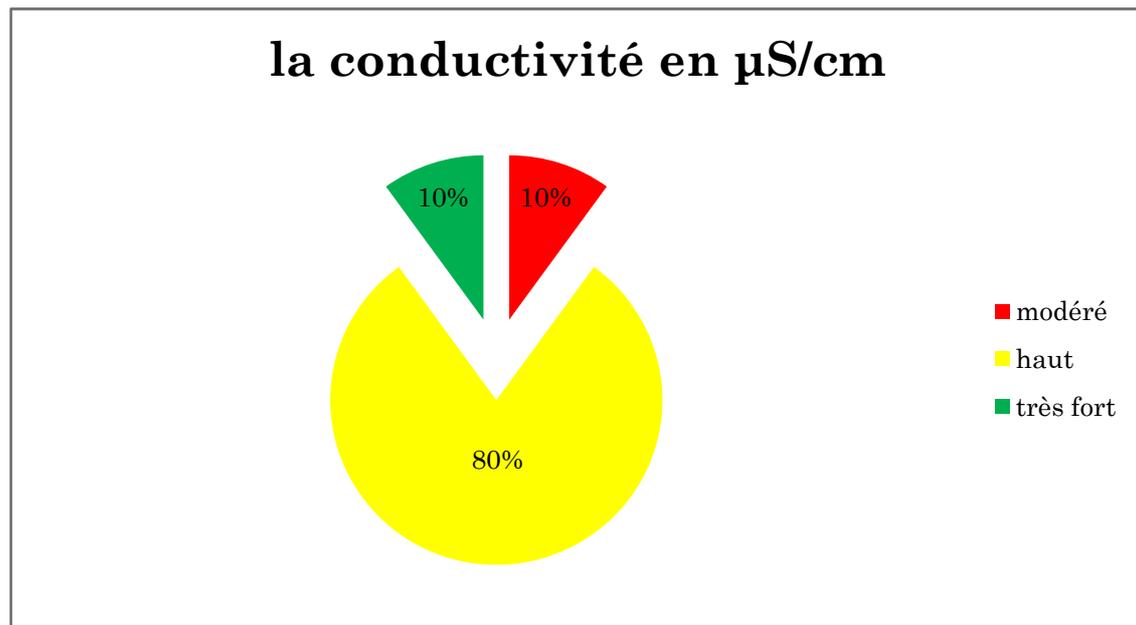
- Les résultats des analyses monteraient que le pH de la majeure partie des eaux souterraines au niveau du Haouz central varie entre 7.89 et 7.16 avec une moyenne de 7.60 et un coefficient de variation (Cf.V) de 1.92 %.
- Selon le Tableau N°3 et le Diagramme N°1 on distingue que :
  - 10% des puits analysés au niveau du Haouz central ont un pH neutre qui varie entre 6,7-7,3.

- 80% % des puits analysés au niveau du Haouz central ont un pH Faiblement basique varies 7,3-7,8.
  - 10% des puits analysés au niveau du Haouz central ont un pH Moyennement basique varies 6,7-7,3.
- En se basant sur le tableau des classifications des eaux selon leur pH (tableau.3), on peut conclure que nos échantillons ont un pH faiblement alcalin.

#### ✚ La conductivité :

Classe de La conductivité en $\mu\text{S}/\text{cm}$		Haouz central	
Désignation	Valeur	Nombre	%
Basse conductivité	< 250	0	00
Conductivité modéré	250 à 750	1	10
Haute conductivité	750-2000	8	80
Fort conductivité	2000-2500	0	0
Trfes fort conductivité	>2500	1	10

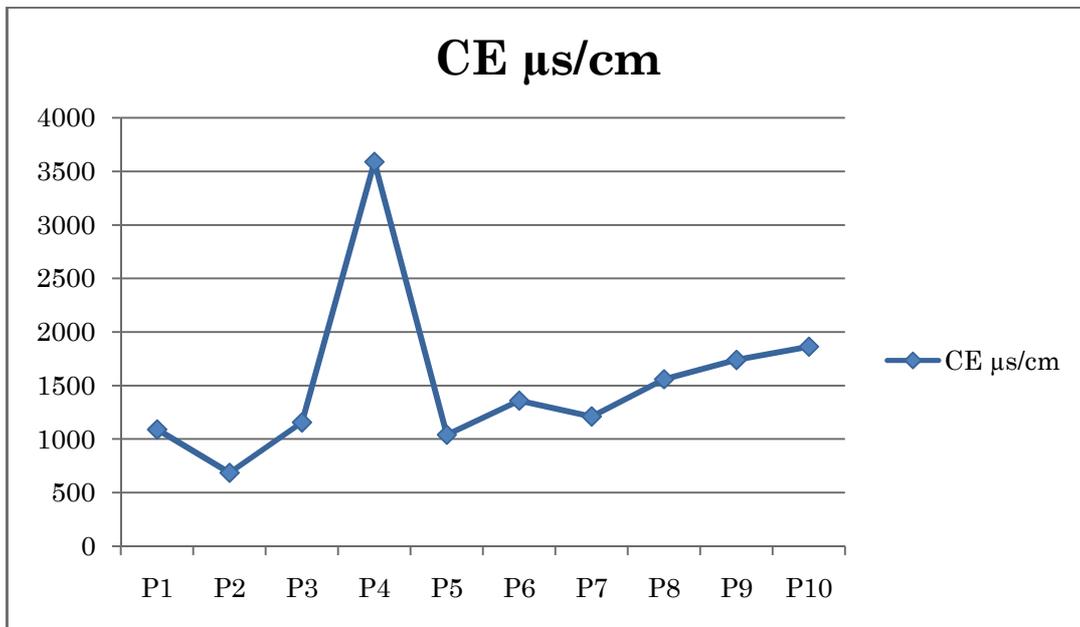
**Tableau N°4: Répartition des classes de la conductivité électrique en % dans les eaux souterraines**



**Diagramme N°2 : Répartition des classes de la conductivité électrique en % dans les eaux souterraines**

### Interprétation :

- Les résultats des analyses montraient que la conductivité des eaux souterraines au niveau du Haouz central varie entre  $4590\mu\text{s}/\text{cm}$  et  $685\mu\text{s}/\text{cm}$  avec une moyenne de  $1529.8\mu\text{s}/\text{cm}$  et un coefficient de variation (Cf.V) de 52.54 %.
- Selon le Tableau N°4 et le Diagramme N°2 on distingue que :
  - 10% des puits analysés au niveau du Haouz central ont une conductivité modérée.
  - 80% des puits analysés au niveau du Haouz central ont une haute conductivité.
  - 10 des puits analysés au niveau du Haouz central ont une très forte conductivité.



**Diagramme N°3 : variation de la conductivité électrique des eaux souterraines**

- D'après le diagramme ci-dessus, on remarque une différence de la conductivité entre le puits N°4 et les autres puits, cette conductivité élevée dans l'eau du puits N°4 due à la nature lithologique des couches de terre qu'a traversé l'eau depuis son point de chute (bassin versant) jusqu'à la plaine.

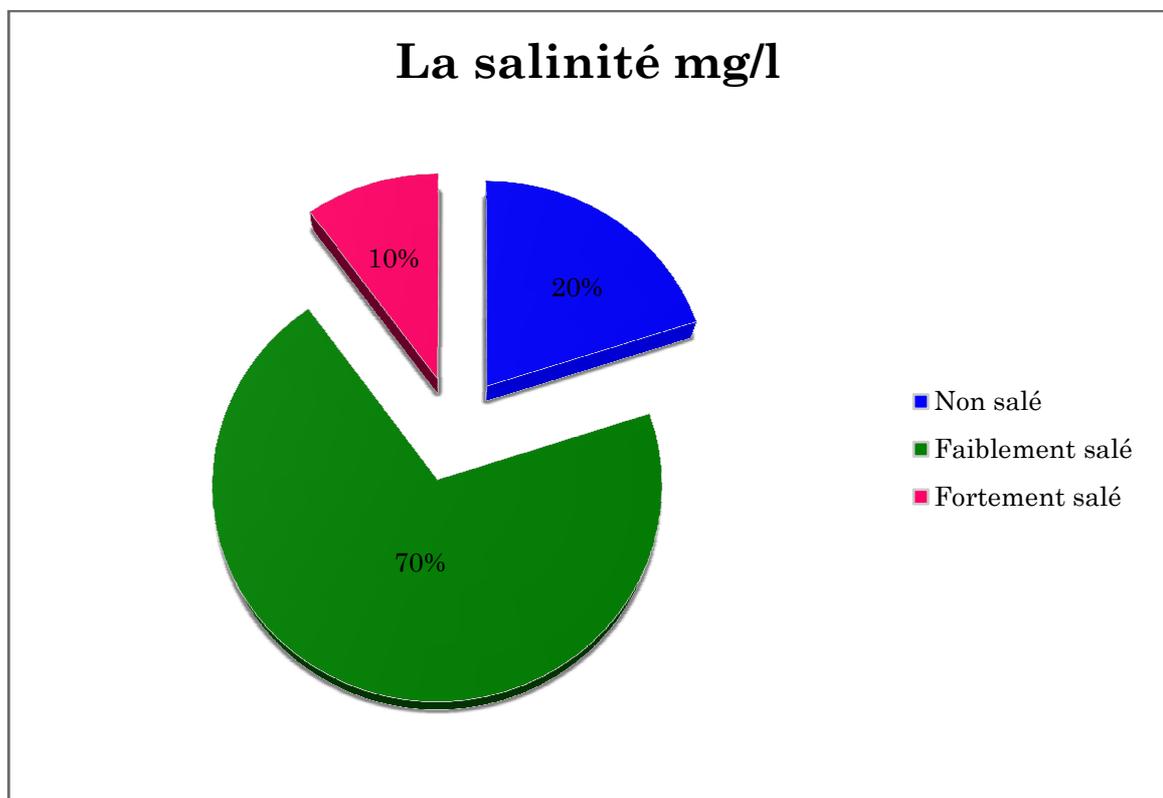
### ✚ La salinité :

La salinité des eaux peut se mesurer de deux façons, soit par les sels dissous totaux (TDS) exprimé en mg /L en mesurant le résidu sec ou plus couramment, soit par la conductivité électrique  $\mu\text{s/cm}$  selon cette relation :

$$\text{SA (mg/L)} = 0.64 * \text{CE}$$

Classe de La salinité en $\mu\text{S/cm}$		Haouz central	
Désignation salinité	Valeur	Nombre	%
Non salé	< 750	02	20
Faiblement salé	750 à 1500	07	70
Moyennement salé	1500-2250	00	00
Fortement salé	2250-5000	01	10
Tres fort salé	>5000	00	00

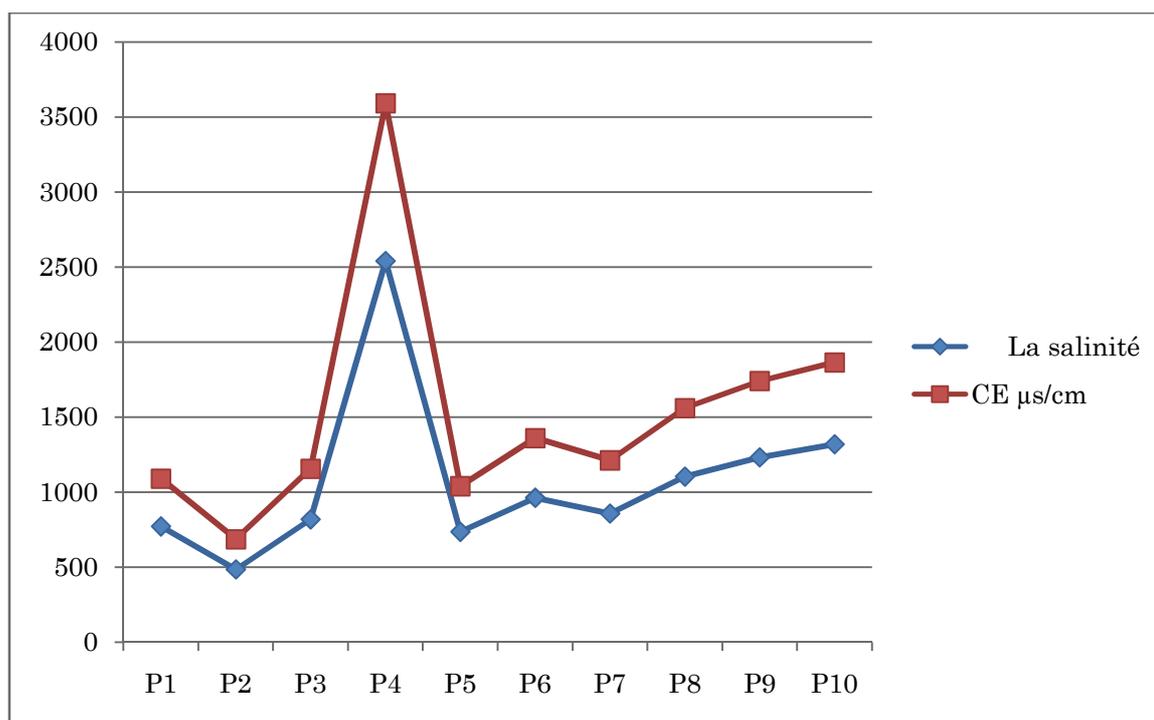
**Tableau N°5: Répartition de la salinité en % dans les eaux souterraines**



**Diagramme N°4 : La répartition des classes de la salinité des eaux souterraines en %**

**Interprétations :**

- Les résultats des analyses montraient que La salinité des eaux souterraines au niveau du Haouz central varie entre 2539mg/l (très fortement salée) et 485.mg/L(faiblement salée) avec une moyenne de 1081.9,mg/l et un coefficient de variation (Cf.V) de 59.19 %.
  
- Selon le Tableau N°5 et le Diagramme N°4 on distingue que :
  - 20% des puits analysés au niveau du Haouz central sont non salés ont une qualité excellente pour l'irrigation, ces eaux ne présentent aucun risque de salinisation.
  - 70% des puits analysés au niveau du Haouz central sont faiblement salés, ont une qualité bonne pour l'irrigation ces eaux présentent un risque faible de salinisation et elles peuvent être utilisées sans contrôle pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes aux sels.
  - 10% des puits analysés au niveau du Haouz central sont fortement salés ont une qualité mauvaise pour l'irrigation ; ces eaux présentent un risque de salinisation très fort et pratiquement inutilisable en irrigation.



**Diagramme N°5 : La variation de la conductivité et de la salinité des eaux souterraines en %**

- Selon le diagramme N° 5 on constate que la courbe de la conductivité électrique et des sels solubles est similaire elle varie de la même manière ; donc la conductivité électrique est l'expression indirecte de la salinité.

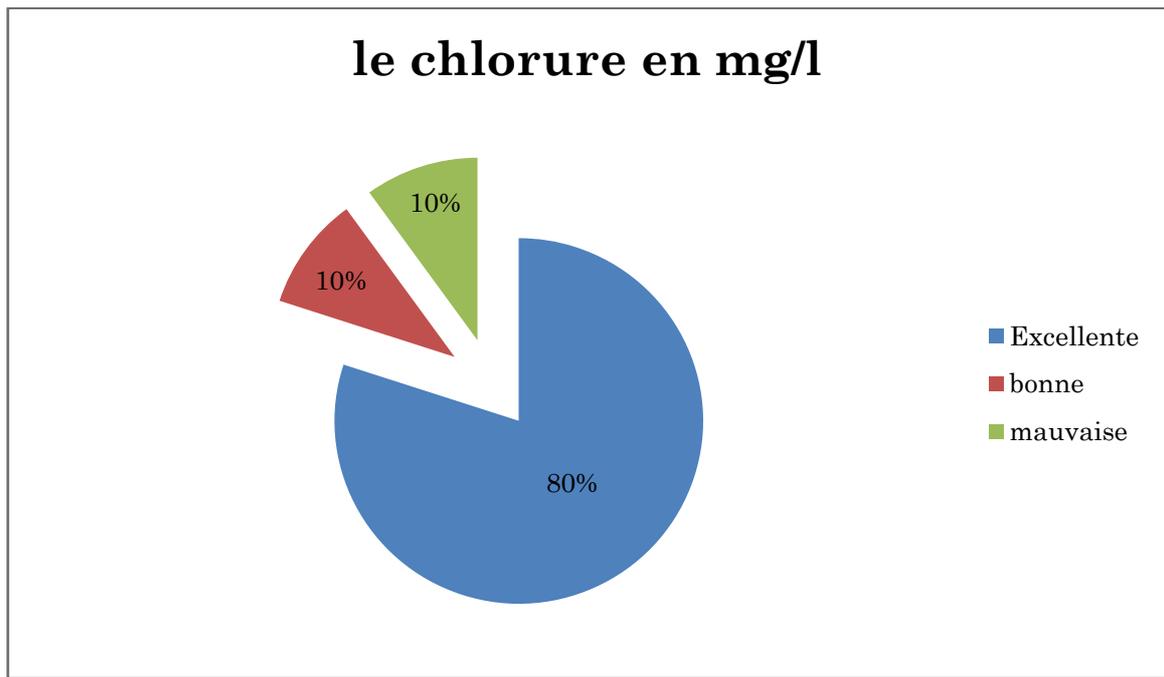
#### Les résultats des éléments majeurs :

##### ❖ Les anions :

##### ✚ Les chlorures :

Classe des chlorures en mg/l		Haouz central	
Désignation	Valeurs	Nombre	%
Excellente	<200	08	80
Bonne	200-300	01	10
Moyenne	300-750	00	00
Mauvaise	750-1000	01	10
Très mauvaise	>1000	01	00

**Tableau N°6: Répartition des classes des teneurs des chlorures en % des eaux souterraines**



**Diagramme N°6: Répartition des classes des teneurs des chlorures en % des eaux souterraines**

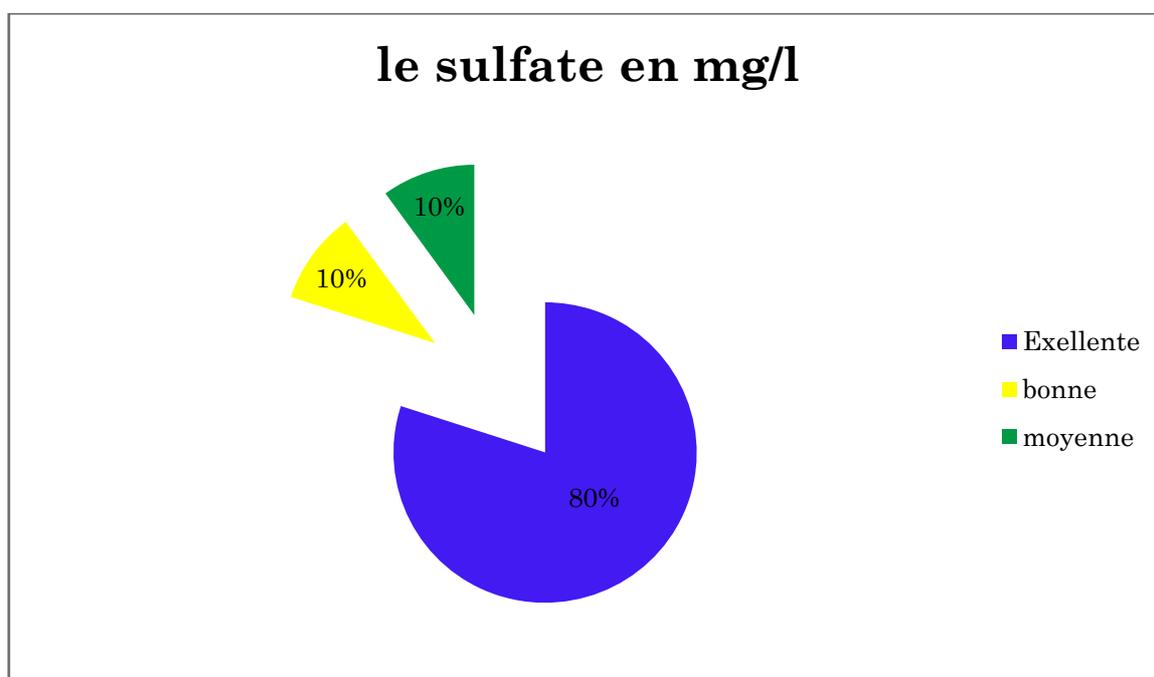
**Interprétation :**

- Les résultats des teneurs des chlorure dans les eaux souterrains varient entre une valeur maximale de 1333 mg/L et une minimale de 75.02 mg /L avec une moyenne de 470.40mg/L et un coefficient de variation 54.92%.
- Selon les tableaux N°6 et le diagramme N°6 on constate que :
  - 80% des eaux souterraines sont classées de qualité excellente
  - 10% des eaux souterraines sont classées de qualité bonne
  - 10% des eaux souterraines sont classées de qualité mauvaise
- Il est important de signaler que la concentration élevée des chlorures peut être nocive pour les cultures sensibles et peut entraîner dans le cas extrême la mort des plantes.

### Les sulfates:

Classe des chlorures en mg/l		Haouz central	
Désignation	Valeurs	Nombre	%
Excellente	0-192	08	80
Bonne	192-336	1	10
Moyenne	336-575	1	10
Mauvaise	576-960	00	00
Très mauvaise	>960	00	00

**Tableau N°7: Répartition des classes des sulfates en % des eaux souterraines.**

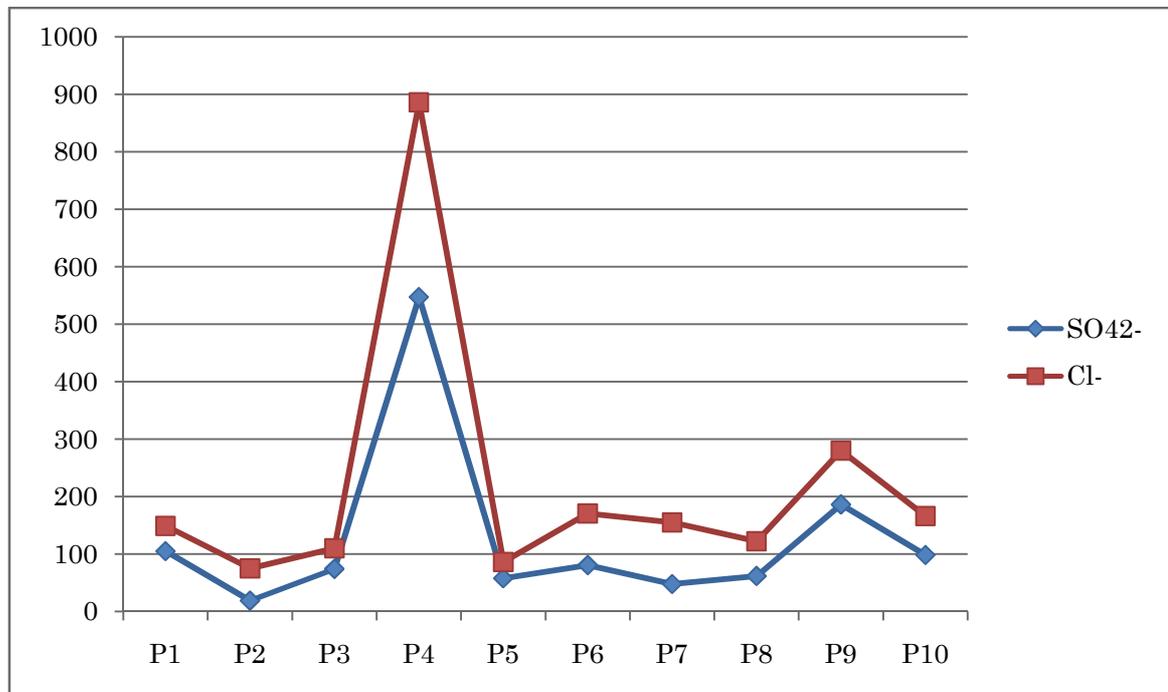


**Diagramme N°7: Répartition des classes des sulfates en % des eaux souterraines.**

#### Interprétation :

- Les résultats des teneurs en sulfates dans les eaux souterraines varient entre une valeur maximale de 574 mg/L et une minimale de 19.20 mg/L avec une moyenne de 69.5 mg/L et un coefficient de variation de 28.56%.
- Selon les tableaux N°7 et diagramme N°7 on constate que :
  - 80% des eaux souterraines sont classées de qualité excellente
  - 10% des eaux souterraines sont classées de qualité bonne
  - 10% des eaux souterraines sont classées de qualité moyenne.

- On note actuellement que les teneurs en sulfates des eaux souterraines aux niveaux du périmètre du Haouz central est faible.



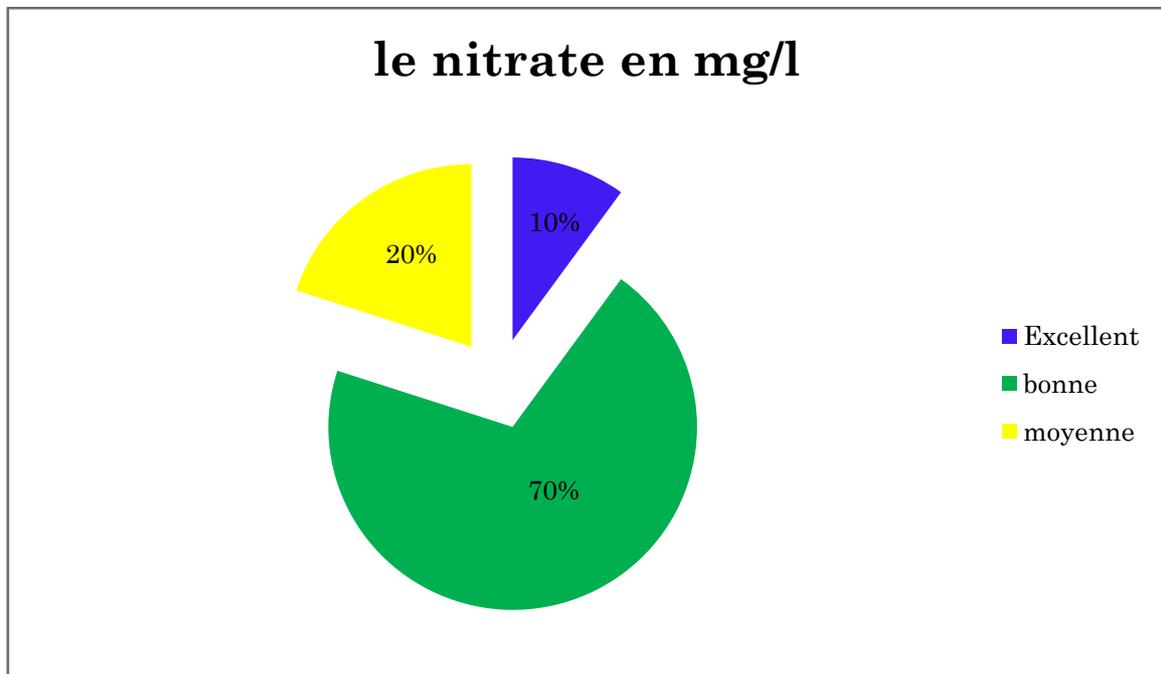
**Diagramme N°8: Concentrations des anions des eaux souterraines**

- D'après le diagramme on observe une prédominance de l'ion chlorure Cl<sup>-</sup> suivi par l'ion SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> «Cl<sup>-</sup> > SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > ».
- Le puits N° 4 présente des concentrations élevées en chlorure et en sulfate issus de l'infiltration des eaux de pluies dans le bassin versant d'oued N'fis pour le chlorure, et la contamination à cause des engrais agricoles utilisé pour l'agriculture (K<sub>2</sub> SO<sub>4</sub>) principalement pour le sulfate.

### ✚ Les nitrates :

Classes des Nitrate NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg /l)		Haouz central	
Désignation	valeur	Nombre	%
Excellente	<5	01	10
Bonne	5-10	07	70
Moyenne	10-25	02	20
Mauvaise	25-50	00	00
Très mauvaise	>50	00	00

**Tableau N°8: Répartition des classes des teneurs en nitrates en % des eaux souterraines**

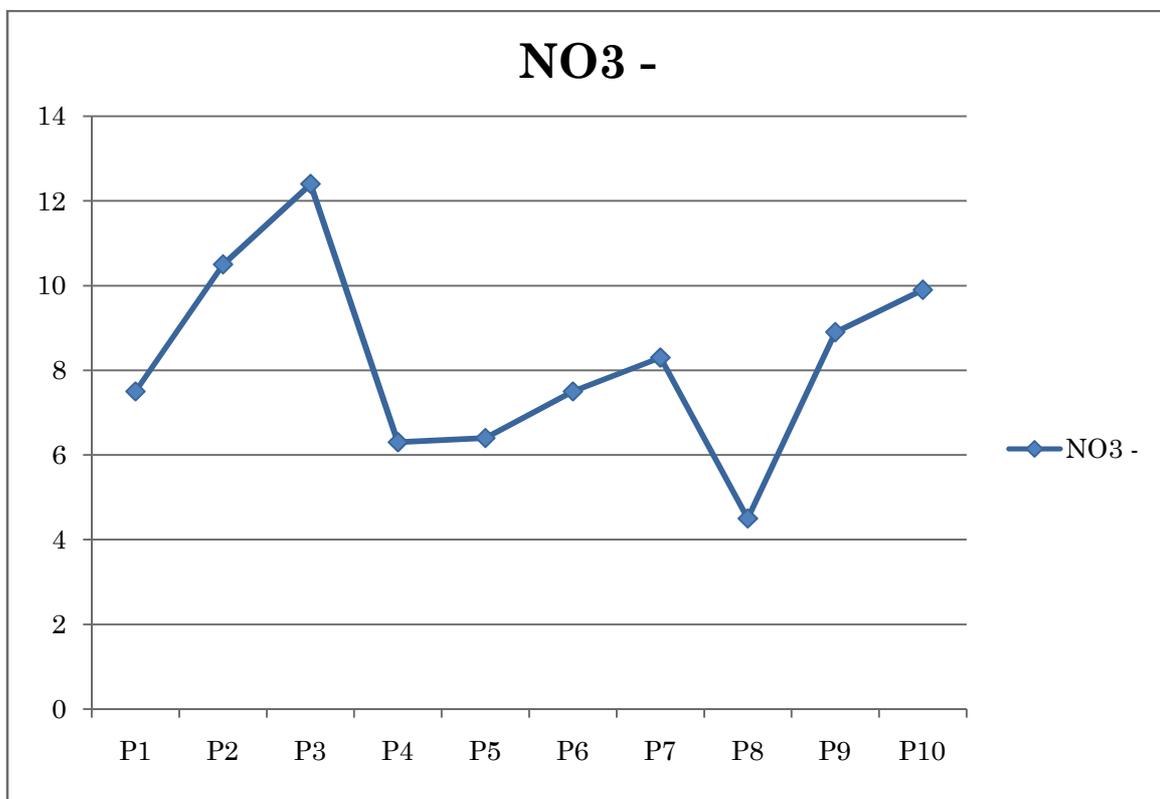


**Diagramme N°9: Répartition des classes des teneurs en nitrates en % des eaux souterraines**

### Interprétation :

- les résultats des teneurs en nitrate dans les eaux souterraines varient entre une valeur maximale de 12.4 mg/L et une minimale de 4.5 mg/L avec une moyenne de 9.9 mg/L et un coefficient de variation de 77.77%.

- Selon les tableaux N°8 diagramme N°9 on constate que :
  - 10% des eaux souterrains sont classées de qualité excellente
  - 70% des eaux souterrains sont classées de qualité bonne
  - 20% des eaux souterrains sont classées de qualité moyenne
- On note actuellement que la situation de la pollution nitrique des eaux souterraines aux niveaux du périmètre du Haouz central est satisfaisante. car Le taux nitrates dans ces eaux reste faible par rapport au seuil qui est de 50 mg/L (OMS).



**Diagramme N°10 : La variation des concentrations des nitrates des eaux souterraines**

- D'après le diagramme N°10 l'eau des puits N° 2 et 3 présentent des teneurs élevées en nitrate provient essentiellement des rejets des eaux urbaines ou rejet industriel, de l'emploi abusif des engrais azotés ou de la forte minéralisation des matières organiques

aux contraire de puits N°8 présente de faibles teneurs en nitrates traduisant l'état sain de l'aquifère due principalement à une utilisation très minimes des engrais .

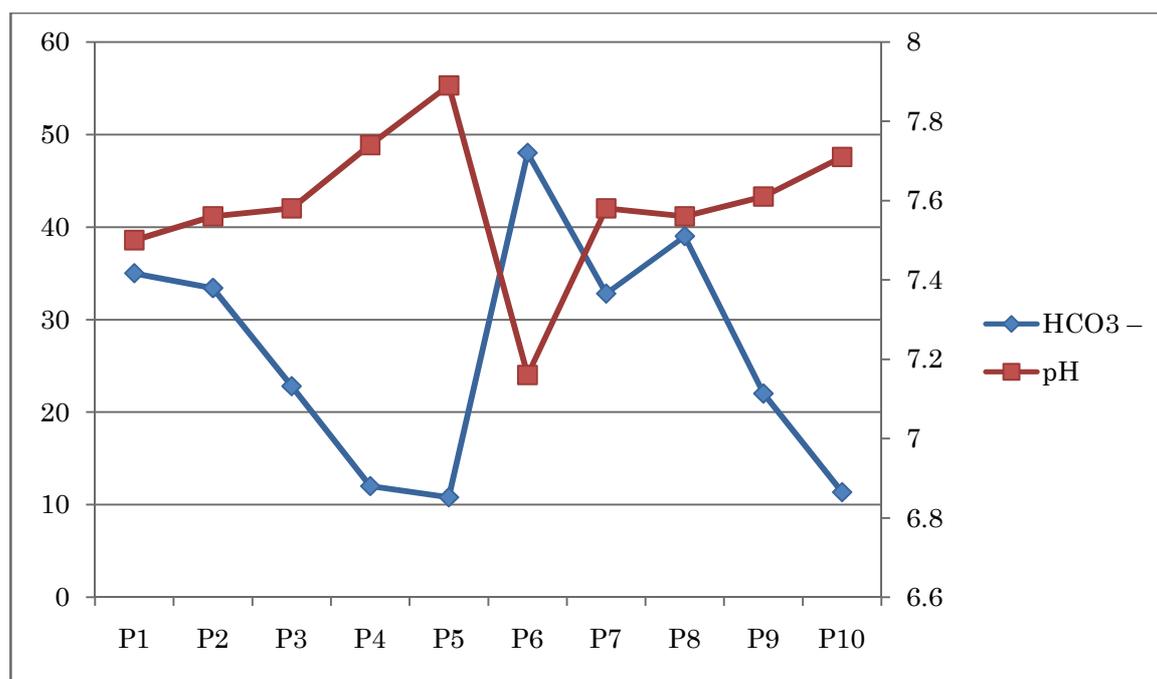
#### ✚ Les bicarbonates (l'alcalinité de l'eau) :

Classe d'alcalinité en mg /L		Haouz central	
Désignation	Valeur	Nombre	%
basse alcalinité	< 76.25	10	100
Alcalinité modéré	76.25 à 152.5	0	0
haute Alcalinité	> 152.5	0	0

**Tableau N°9 : Répartition des classes des bicarbonates des eaux souterraines en (%)**

#### Interprétation :

- les résultats concentrations des bicarbonates dans les eaux souterrains varient entre une valeur maximal de 39mg/L et une minimal de 11.35 mg /L avec un moyenne de 36.34 mg/L et un coefficient de variation 30.34%.
- Selon les tableaux N°9 on constate que :
  - 100% des eaux souterraines sont faiblement alcalins.
- On note que la teneur en bicarbonates est faible au niveau du Haouz



**Diagramme N°11: Variations des concentrations des bicarbonates et du pH des eaux souterrains**

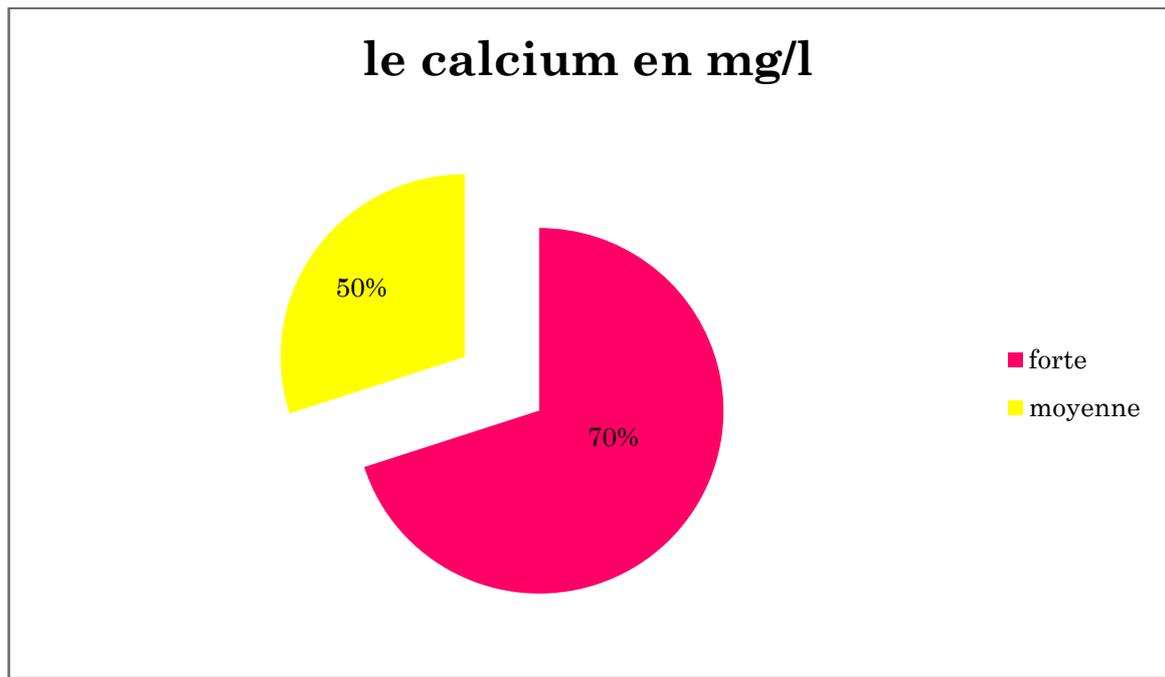
- Les résultats du diagramme N°11 montre une évolution inverse entre le pH et les bicarbonates des eaux souterraines, lorsqu'on a des faibles teneurs en bicarbonate le pH des eaux souterrains devient plus acide ; on observe aussi des concentrations élevées en ions HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> dans les puits N°1 et 6 et 8 résultent de lessivage des affleurements carbonaté, et les différentes sources de pollution issues de l'activité anthropiques et domestiques liés à la population.

❖ **Les cations :**

✚ **Le calcium :**

Classe des Calcium en mg /L		Haouz central	
Désignation	Valeur	Nombre	%
Faible	12 à 30.2	0	0
Moyenne	30.2-52	3	30
Forte	>52	7	70

**Tableau N°10: Répartition des classes du Calcium en % des eaux souterraines**



**Diagramme N°12: Répartition des classes du Calcium en % des eaux souterraines**

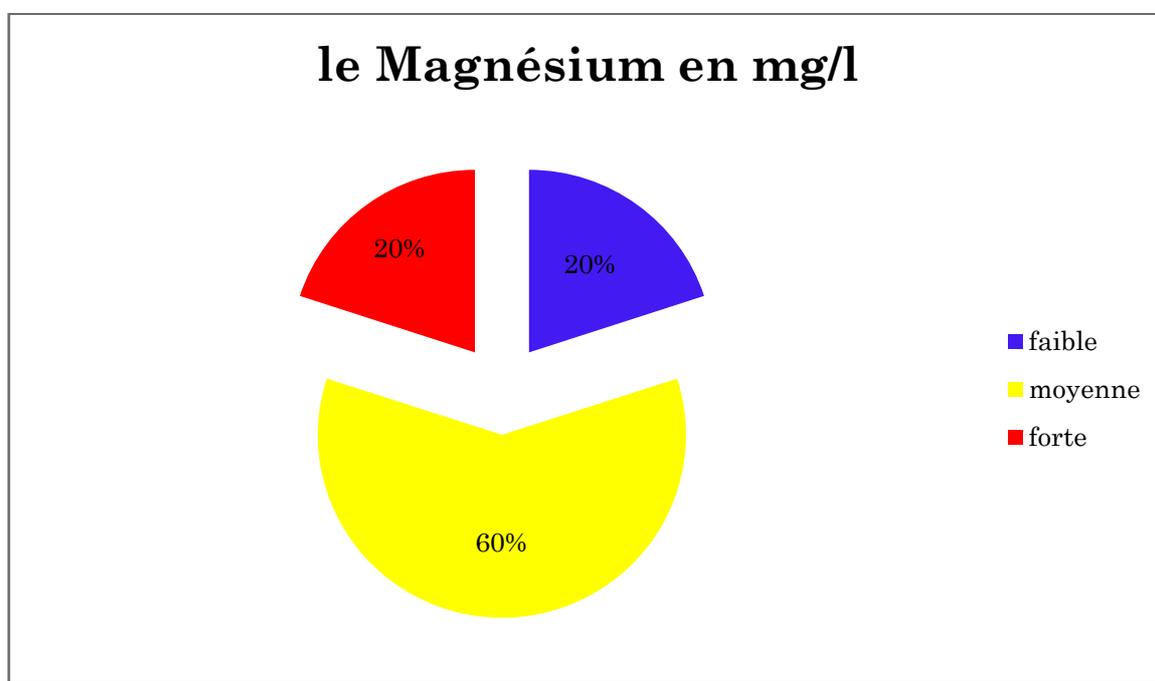
**Interprétations :**

- Les résultats des concentrations en calcium des eaux souterraines varient entre une valeur maximale de 650 mg/L et une minimale de 36.02 mg/L avec une moyenne de 101.79 mg/L et un coefficient de variation de 86.08%
- Selon les tableaux N°10 et diagramme N°12 on constate que :
  - 30% des eaux souterraines ont une concentration moyenne
  - 70% des eaux souterraines ont une concentration forte
- On note actuellement que les eaux souterraines aux niveaux du périmètre du Haouz sont riches en calcium, cela est dû à la présence des formations de calcaires que l'eau traverse pendant son parcours depuis son point de chute jusqu'à son arrivée à la nappe du Haouz central.

### Le Magnésium :

Classe de Magnésium en mg /L		Haouz central	
Désignation	Valeur	Nombre	%
Faible	3.64 à 9.35	2	20
Moyenne	9.35-24.3	6	60
Forte	>24.3	2	20

**Tableau N°11: Répartition des classes du Magnésium en % des eaux souterraines**

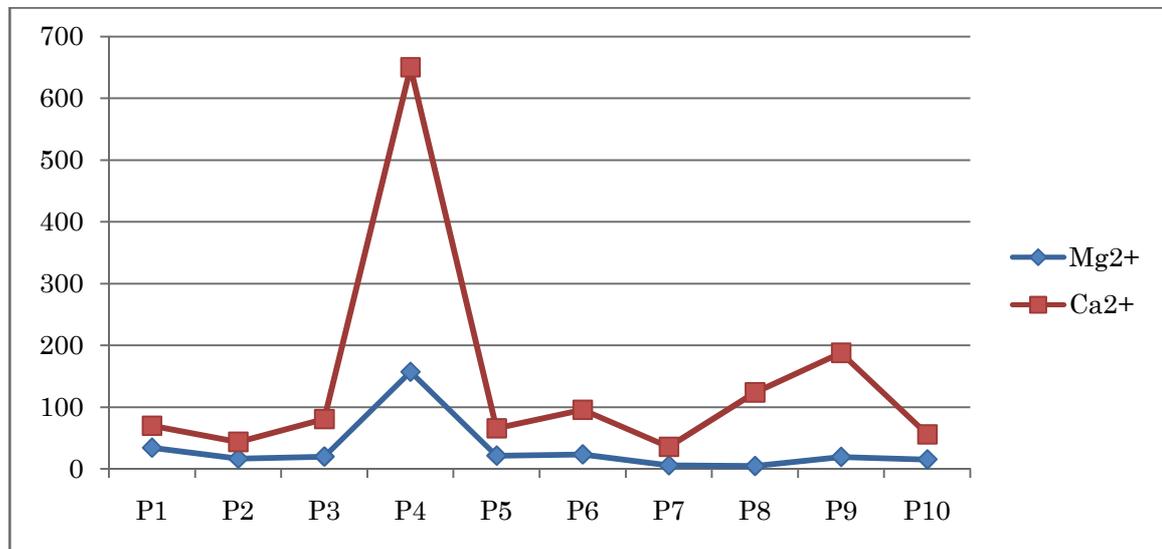


**Diagramme°13: Répartition des classes du Magnésium en % des eaux souterraines**

#### Interprétations :

- les résultats des concentrations en magnésium des eaux souterraines varient entre une valeur maximale de 175 mg/L et une minimale de 4.84 mg/L avec une moyenne de 15.41 mg/L et un coefficient de variation de 65.54%.
- Selon les tableaux N°11 et diagramme N°13 on constate que :
  - 20% des eaux souterraines ont une concentration faible

- 60% des eaux souterraines ont une concentration moyenne
- 20% des eaux souterraines ont une concentration forte.



**Diagramme N°14 : Les concentrations des cations des eaux souterraines**

- On note actuellement que les eaux souterraines aux niveaux du périmètre du Haouz présentes des concentrations relativement moyennes en calcium et magnésium, Sauf dans le puits 4 qui présente une teneur élevée en Ca<sup>2+</sup> cela dû à la présence des formations de calcaires, et les cations Mg<sup>2+</sup> issus de la décomposition des minéraux ferromagnésiens présentes dans les roches de la région.
- D'après ce diagramme on observe une prédominance des cations Ca<sup>2+</sup> suivi des cations Mg<sup>2+</sup> « Ca<sup>2+</sup> > Mg<sup>2+</sup> ». l'origine de ces ions dans les eaux souterraine est due essentiellement a la dissolution des roche calcaire (C a Co<sub>3</sub>) aussi le lessivage des minéraux Ferro- magnésienne.

### ➤ La dureté des eaux de la nappe :

La dureté d'une eau est due essentiellement à la présence des sels de calcium et de magnésium. L'origine du  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  est attribuée à la dissolution des roches calcaires et dolomitiques en présence de  $\text{CO}_2$  provenant de l'atmosphère et des couches superficielles du sol (TARDAT-HENRY & BEAUDRY, 1984).

Le calcium et le magnésium sont des éléments très solubles à l'état naturel et ils possèdent une grande mobilité aquatique.

Il existe plusieurs manières d'exprimer la dureté, dans nos calculs on a utilisé le degré hydrotimétrique, avec  $1^\circ\text{F} = 10\text{mg/l}$  de  $\text{CaCO}_3$ . Elle est calculée par la formule suivante :

$$\text{TH} = (\text{Ca} + \text{Mg}) * 5$$

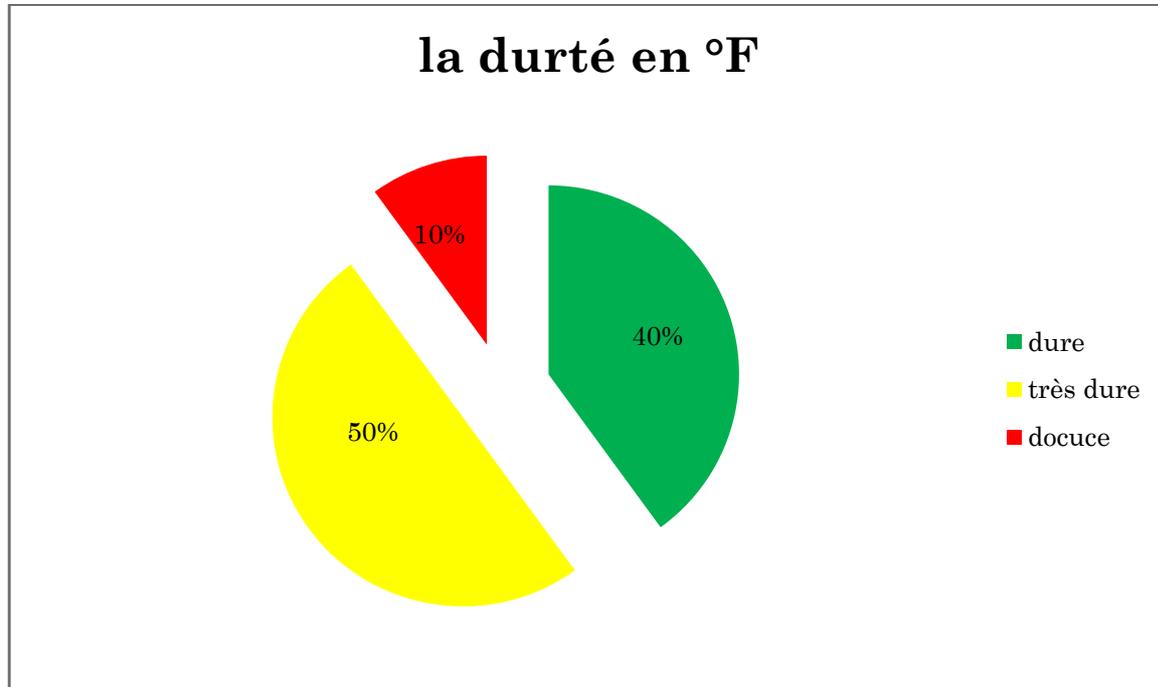
Où  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  sont exprimés en meq/l.

Dureté en °F	Caractérisation
3 à 15	Douce
15 à 30	Dure
>30	Très dure

**Tableau.12 : Classification de la dureté utilisée au Maroc (Ouyse, 2005)**

	Mg <sup>2+</sup> (meq /L)	Ca <sup>2+</sup> (meq/L)	Dureté en °F	Caractérisation
P1	2.82	3.5	31.6	Très dure
P2	3.83	2.2	30.15	Très dure
P3	1.64	4.04	28.42	Dure
P4	12.9	32.5	22.7	Dure
P5	1.76	3.3	25.3	Dure
P6	2	4.8	34	Très dure
P7	0.48	1.8	11.4	Douce
P8	0.39	6.2	32.9	Très dure
P9	1.6	9.4	55	Très dure
P10	1.26	1.96	16.05	Dure

**Tableau13: Mesure et classification de la dureté des eaux souterraines**



**Diagramme N°15 : classification de la dureté des eaux souterraines**

**Interprétation :**

- Les eaux de la nappe Haouz centrale classent dans la catégorie des eaux dures à très dures seule les eaux de puits 7 qui sont douce, moyennement chargées en ions bivalent ( $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ) (Tab. 13). Ce résultat n'est pas étonnant, si on sait qu'il y a des formations géologiques de nature calcaire dans la zone d'étude.
- Comme le pH, la dureté des eaux est due à la dissolution des carbonates et de calcium contenus dans les roches calcaires (Ouyse, 2005).

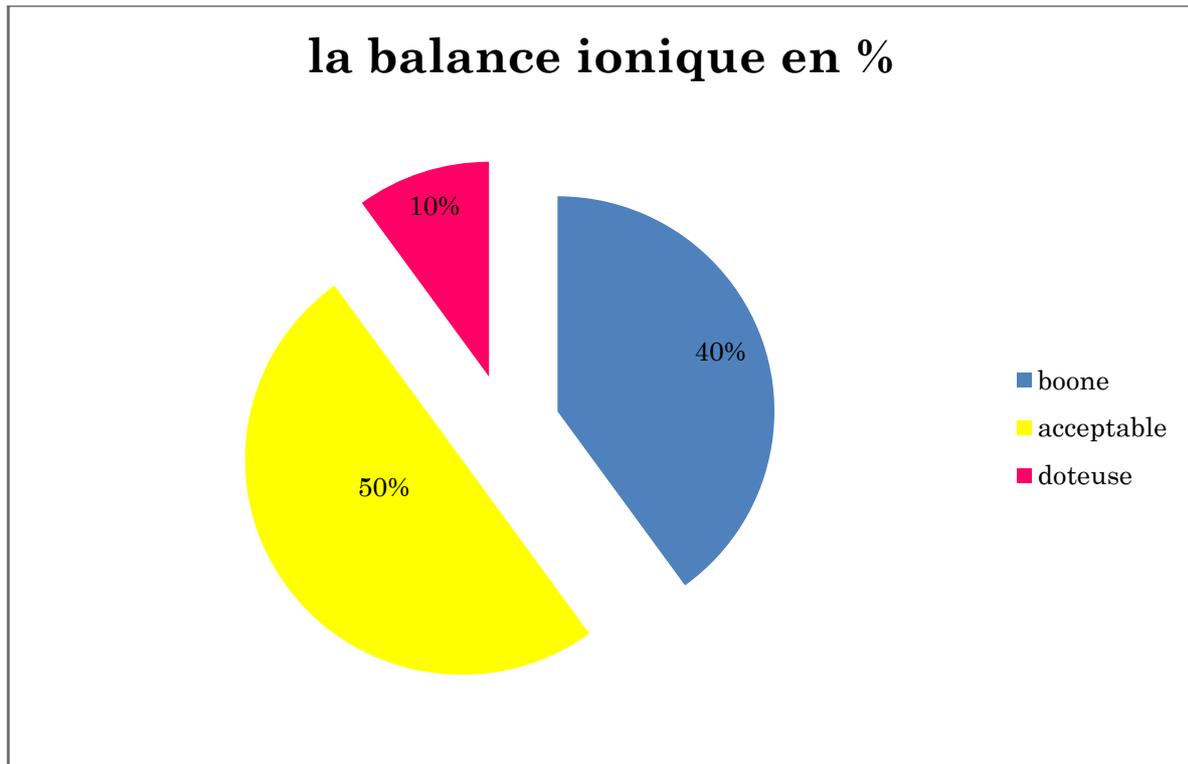
**b. La qualité des analyses physico-chimiques :**

Avant de traiter et d'interpréter les analyses des eaux prélevées au niveau des Différentes puits (eaux souterraines) il faut analyser la fiabilité des résultats des ces analyses chimiques. La méthode utilisée est de calculer la Balance Ionique (BI), qui est exprimé par les **relations suivantes :**

$$BI (\%) = \left[ \frac{\sum (\text{anions-cations})}{\sum (\text{anions+cations})} \right] * 100$$

Classe de la balance ionique en %		Haouz central	
Désignation	BI	Nombre	%
Bonne	< 5 %	04	40
Acceptable	5%- 10%,	05	50
Douteuse	> 10%	01	10

**Tableau 14 : Variation des classes de la balance ionique en %**



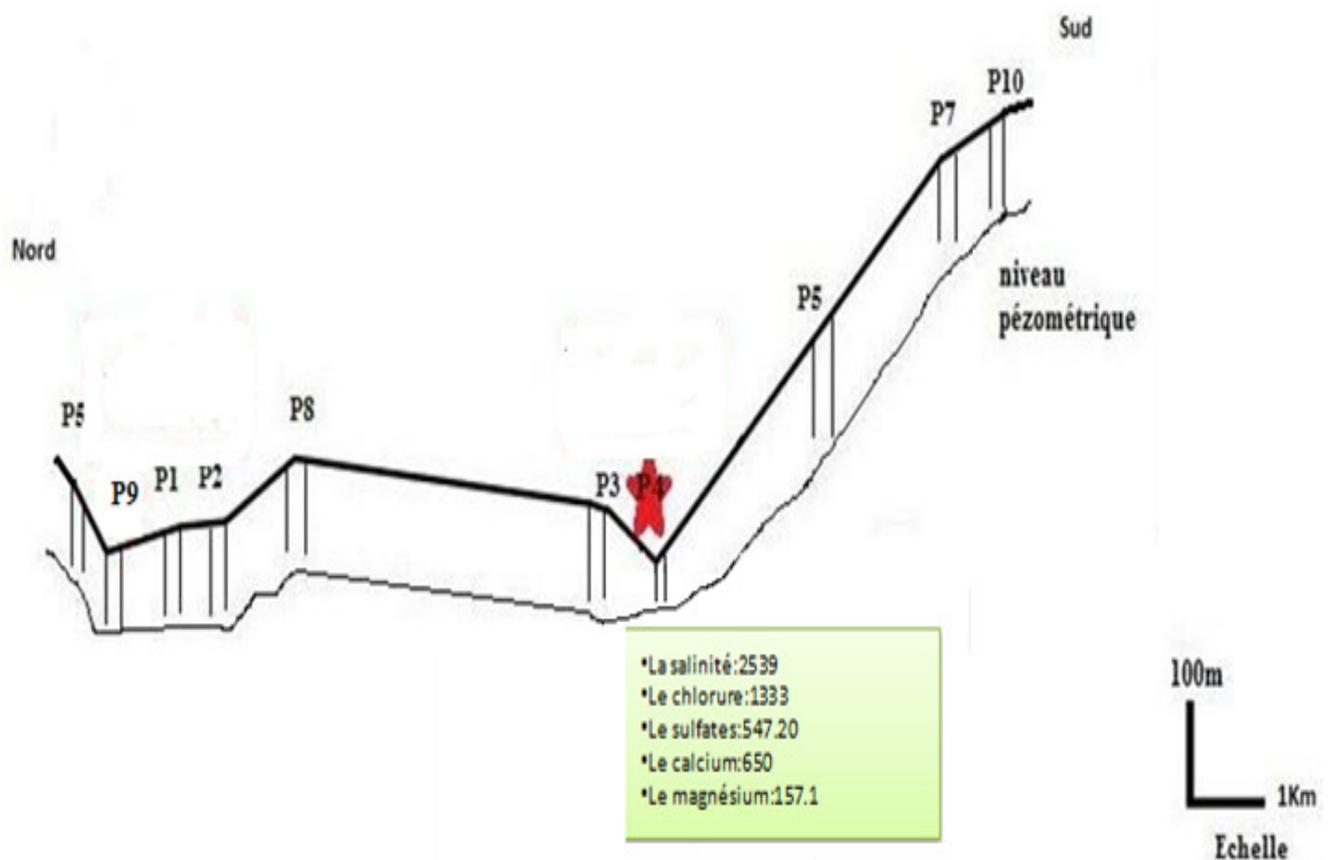
**Diagramme N°15:Variation des classes de la balance ionique en %**

- En ce qui concerne les données des eaux souterraines traitées dans le cadre de notre étude, Les résultats obtenus est la suivante :
- 40% des analyses sont de qualité Bonne (BI < 5 %)
  - 50% ont une qualité acceptable (5% < BI < 10%)
  - 10% sont douteuses (BI > 10)

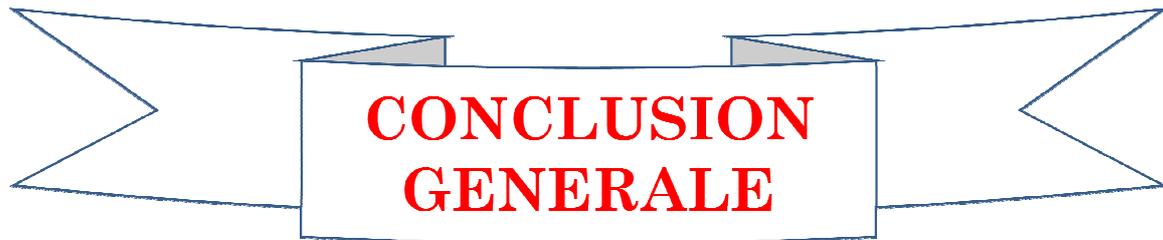
## Conclusion

Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux souterraines montrent que ces eaux sont de qualité acceptable à bonne.

Selon ces résultats la majorité des puits présentent des teneurs qui ne dépassent pas les normes d'irrigation, sauf le puits N°4 qui contiennent des teneurs élevés en sels solubles, en particulier les chlorures. Donc les eaux de ce puits ne peuvent pas être utilisées sans contrôle pour l'irrigation des cultures moyennement tolérant aux sel, qui peuvent être toxique lorsqu'ils sont présent en grandes quantité dans les eaux d'irrigation.



### Répartition des différents puits sur le profil topographique de la région du Haouz central (N-S)



## CONCLUSION GENERALE

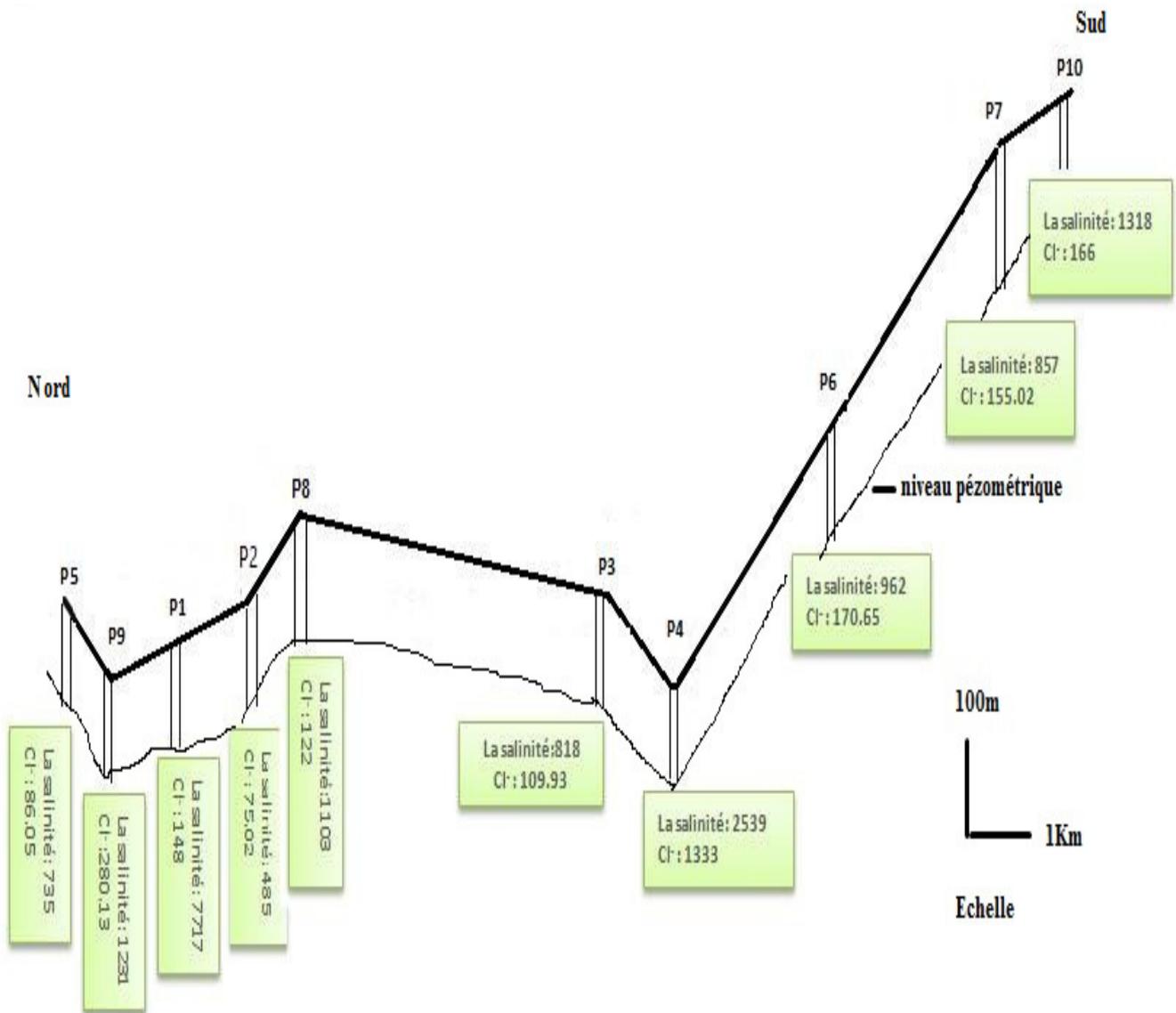
Au cours de ce stage professionnel, nous avons beaucoup approfondi nos connaissances et notre savoir faire relatifs au suivi de l'impact d'irrigation sur la qualité des eaux souterraines. L'ensemble des compétences acquises lors de notre cursus de formation nous a permis de détecter les anomalies des concentrations des différents éléments chimiques, d'analyser l'impact de l'irrigation sur les eaux souterraines au niveau du Haouz central et d'étudier leur qualité.

Dans l'objectif de la détermination de l'impact des différents types des eaux (les eaux des pluies, les eaux d'irrigation, les eaux usées et les eaux industrielles) sur la nappe, nous avons effectué des mesures sur terrain et au laboratoire, qui nous permettent de détecter les effets suivants :

- Des anomalies faibles de salinité.
- Une faible pollution nitrique résulte de l'engrais azoté.
- Un risque de toxicité (présence chlorures et les sulfates).
- Une dureté varie entre dure à très dure.

Dans l'objectif d'éviter la détérioration de la qualité des eaux, et à la lumière des résultats mentionnés ci-dessus, plusieurs pourraient être envisagées les recommandations suivantes :

- Une bonne gestion des ressources en eaux.
- Une garantie de bon drainage souterrain.
- La substitution des produits chimiques par des produits biologiques dans la fertilisation du sol.
- Un labour profond pour l'amélioration des sols sodiques.
- Une surveillance régulière la qualité des eaux et d'une façon périodique



**Répartition des différents puits sur le profil topographique de la région du Haouz central (N-S)**

## Références bibliographiques

**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.

**BERROUCH H. (2011)** : Etude de la qualité des eaux d'irrigation et du sol dans le périmètre de Saada. Mémoire de fin d'études

**BENJELLON S. ET ELOUAHABI K. (2013)** : performance de l'irrigation localisée et son impact sur le sol du périmètre de N'Fis. Mémoire de fin d'études

**ORMOVAH (2013)** : Etude de la qualité des eaux d'irrigation des secteurs concernés par le projet de reconversion des systèmes d'irrigation existants à l'irrigation localisé, Rapport interne, Marrakech, 3p,

**B.SOUDI, M. AGBANI, F. Id AHMAD, 2002.** Situation actuelle de la pollution des eaux souterraines dans le périmètre irrigué des DOUKKALA. Revue H. T. E. n° 123.

**RAZOUKI B., ERROUANC S. ET ELHB A. (2000)** : Piézométrie et optimisation du réseau de contrôle de la nappe plioquaternaire du Haouz. /Juil.

**Haissoune A. et Idhssaine A., (2013)** - Caractérisation de la qualité des eaux superficielles et souterraines du bassin de N'Fis. Rapport LST EE, FST.

**ABOURIDA A., RAZOUKI B. ET ERROUANE S. (2003)** : Impact de l'irrigation sur la piézométrie du secteur N'fis au Haouz Central de Marrakech(Maroc).

**Rapport d'état d'avancement n°1. RESING, ABHT, 2006** : Etude de gestion des principales nappes de la région hydraulique du Tensift.

## WEBOGRAPHIE

[http : //www.lstee.cla.fr](http://www.lstee.cla.fr)

[http://www.water.gov.ma/index.cfm?gen=true&id=13&ID\\_PAGE30](http://www.water.gov.ma/index.cfm?gen=true&id=13&ID_PAGE30)

<http://www.lenntech.fr/francais/irrigation/salinite-risqueirrigation.htm>

<http://www.eau-tensift.net/fileadmin/userfiles/pdf/publication/3-irrigation.pdf>

[http://servicesurbains.lillemetropole.fr/public/doc/eauxPluviales/03Guide\\_Partie2.pdf](http://servicesurbains.lillemetropole.fr/public/doc/eauxPluviales/03Guide_Partie2.pdf)

<http://www.lenntech.fr/francais/irrigation/salinite-risqueirrigation.htm>

[http://www.agrireseau.qc.ca/legumeschamp/documents/texte % 20finapdf](http://www.agrireseau.qc.ca/legumeschamp/documents/texte%20finapdf)

<http://www.afriquescience.info/docannexe.php?id=3016>

### Liste des figures

**Fig. 1 : Périmètre irrigues du Haouz zone d'action de l'ORMVH**

**Fig. 2 : Situation géographique du Haouz Central (Landsat) Modifié.**

**Fig.3 : Carte géologique simplifiée du bassin du Haouz (d'après Sinan,)**

**Fig.4 : Coupe lithologique du forage minier 1331/44 (Sinan) Modifié)**

**Fig.5 : Coupe géologique du bassin du Haouz (d'Après Ambroggi et Thuille).**

**Fig.6 : Contexte hydro-climatologie de la région du Haouz**

**Fig.7 : Les types des nappess phréatiques**

**Fig.8: Schéma piézométrique général de l'aquifère moi-plio-  
quaternaire du Haouz central**

**Fig.9:La vulnérabilité est moyenne dans le périmètre du Haouz**

**Fig.10: Contexte hydrogéologique du bassin de Haouz**

**Fig. 11 : Schéma du Fonctionnement d'une khattara**

**Fig.12 : Carte satellite montrant l'emplacement des puits de prélèvement  
des échantillons des eaux souterraines**

**Liste des photos**

**photo.1 : Système d'irrigation séguia**

**Photo. 2 et 3 : Puits traditionnel en brique**

**Photo.4 : Système d'irrigation type : goutte à goutte**

**Photo.5 : Système irrigation plein champ par l'aspersion**

**Photo.4 : mesure de la température**

**Photo. 6: Mesure de la conductivité de l'eau (Labo d'ORMVAH)**

**Photo.7 : dosage de Calcium et Magnésium**

**Liste des Tableaux**

**Tableau N°1 : Caractéristiques du réseau de prélèvement des échantillons  
des eaux souterraines**

**Tableau N° 2 : Résultats des analyses des échantillons des eaux prélevés du  
périmètre du Haouz centrale**

**Tableau N°3 : Répartition des classes du pH des eaux souterraines en (%)**

**Tableau N°4: Répartition de la conductivité en % dans les eaux souterraines**

**Tableau N°5: Répartition de la salinité en % dans les eaux souterraines**

**Tableau N°6: Répartition des classes des teneurs des chlorures en % dans**

**Les eaux souterraines**

**Tableau N°6: Répartition des classes des teneurs en nitrates en % dans les**

## **eaux souterraines**

**Tableau N°7: Répartition des classes des sulfates en % dans les eaux**

**Souterraines.**

**Tableau N°8: Répartition des classes des teneurs en nitrates en % dans les**

**eaux souterraines.**

**Tableau N°9 : Répartition des classes des bicarbonates des eaux souterraines en (%).**

**Tableau N°10: Répartition des classes des Calciums teneurs des en % dans les eaux souterraines.**

**Tableau N°11: Répartition des classes des Magnésiums teneurs des en % dans les eaux souterraines.**

**Tableau.12 : Classification de la dureté utilisée au Maroc (Ouyse, 2005)**

**Tableau.13: Mesure et classification de la dureté des eaux souterraines**

**Tableau14 : Variation des classes de la balance ionique en %**

## **Liste des diagrammes**

**Diagramme N°1 : Répartition des classes du pH des eaux souterraines en (%)**

**Diagramme N°2 : variation de la conductivité électrique des eaux souterraines**

**Diagramme N°3 : variation de la conductivité électrique des eaux souterraines**

**Diagramme N°4 : La répartition des classes de la salinité des eaux souterraines en %**

**Diagramme N°5 : La variation de la conductivité et de la salinité des eaux souterraines en %**

**Diagramme N°6: Répartition des classes des teneurs des chlorures en % des eaux souterraines**

**Diagramme N°7: Répartition des classes des sulfates en % des eaux souterraines**

**Diagramme N°8: Répartition des classes des teneurs en nitrates en % des eaux souterraines**

**Diagramme N°9 : La variation des concentrations des nitrates des eaux souterraines**

**Diagramme N°10: Variations des concentrations des bicarbonates et du pH des eaux souterrains**

**Diagramme N°11: Répartition des classes des Calciums teneurs des en % des eaux souterraines**

**Diagramme°12: Répartition des classes des Magnésiums teneurs des en % des eaux souterraines**

**Diagramme N°13 : Les concentrations des cations des eaux souterraines**

**Diagramme N°14 : classification de la dureté des eaux souterraines**

**Diagramme N°15:Variation des classes de la balance ionique en %**