

Année Universitaire : 2012-2013



Licence Sciences et Techniques : Eau et Environnement

## PROJET DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du Diplôme de Licence Sciences et  
Techniques

Etude de la qualité des eaux et la recharge artificielle de la nappe phréatique

Fès-Meknès

Présenté par:

**Bouzafour Niama**

**Bekkour Fouad**

Encadré par:

-Mr. **LAHRACH Abderrahim**

Soutenu Le **12** Juin 2013 devant le jury composé de:

- Mr. **LAHRACH Abderrahim**
- Mr. **BENABDELHADI Mohamed**
- Mr. **BENAABIDATE Lahcen**

Stage effectué à : **ABHS, Fès**

# Dédicace

## **À mes très chers parents :**

Vous avez été toujours là pour nous, vous nous avez donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. Nous espérons que vous trouverez dans ce travail toute notre reconnaissance et tout notre amour.

## **À la mémoire de mes grands parents**

Vous êtes toujours gravé dans ma mémoire.

## **À mes très chères sœurs**

Nul mot ne pourra exprimer ma gratitude envers vous.

## **À tous mes amis**

Je vous dis merci

# Remerciement

Au terme de ce travail, je tiens à remercier vivement le directeur d'ABHS **Mr. Bouguenouch Bendaouad** qui a accepté de nous accueillir en stage au sein de son organisme.

On tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à **Mr Nourdine Serghini** , **Mme. El Haouet Samira** chef de division développement et gestion des ressources en eaux et mon encadrant pour tout le temps qu'ils m'ont consacré, leur directives précieuses, et pour la qualité de leur suivi durant toute la période de mon stage.

On voudrai remercier également toute l'équipe d'ABHS pour leur accueil et pour l'intérêt qu'ils ont manifesté envers notre travail

Mes profonds remerciements vont à notre encadrant de la FST **Mr. LAHRACH** qui a accepté d'encadrer nos travaux durant ces deux mois de stage.

Nos plus vifs remerciements s'adressent aussi à tout le cadre professoral et administratif de FST.

De même On n'oublie pas de remercier chaleureusement nos famille pour leur soutien moral.

Mes remerciements vont enfin à toute personne qui a contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

# Sommaire

Dédicace .....	2
Remerciement .....	3
Introduction.....	8
Chapitre I : Présentation général du bassin de Sebou .....	9
I. Présentation général du bassin de Sebou .....	10
1. Ressources en eau .....	10
2. Géologie.....	11
3. Population .....	12
4. Climatologie.....	13
4.1. Climat.....	13
4.2. Précipitations.....	13
4.3. Températures .....	14
4.4. Evaporation .....	14
5. Ressource en eaux souterraines :.....	15
Chapitre II : Etude hydrologique, hydrochimique et qualité des eaux de la nappe Fès-Meknès .....	16
II. Hydrogéologie de la nappe Fès-Meknès .....	17
1. Contexte géologique .....	17
2. Contexte Hydrogéologique: .....	18
2.1. Nappe phréatique.....	18
2.2. Nappe profonde .....	18
3. Evolution piézométrique du système aquifère de Fès-Meknès.....	19
4. Sens de l'écoulement.....	21
III. Hydrochimie de la nappe .....	22
1. Diagramme de Piper .....	22
2. Diagramme de Schoeller Bekaloff .....	23
IV. Etude de la qualité des eaux au niveau de la nappe Fès-Meknès.....	24
1. Interprétation des résultats :.....	28
Chapitre III : L'aménagement de la recharge artificielles de la nappe de Saiss .....	29
V. L'aménagement de la recharge artificielles de la nappe Saiss.....	30
1. Objectifs de la recharge artificielle.....	30
2. Conditions générales de Faisabilité de la recharge artificielle:.....	30
3. Conditions générales de l'alimentation artificielle.....	31
4. Exploration et tests: .....	31

4.1.	Topographie :	31
4.2.	Etudes géotechniques :	32
4.3.	Hydrologie :	32
4.4.	Hydraulique :	32
4.5.	Qualité des eaux :	32
5.	Les types des solutions :	33
6.	Injection superficielle :	34
7.	Présentation :	36
8.	Objectif et consistance de l'aménagement :	36
4.1.	Caractéristiques des seuils d'infiltration :	36
4.2.	Modélisation hydraulique:	37
4.3.	Estimation des volumes infiltrés :	37
4.4.	Coût:	37
4.5.	Puits d'injection :	39
4.6.	Secteur de l'Oued Ablouz :	40
4.7.	Secteur de l'Oued El Atchane :	40
9.	Eaux usées dans l'aire de l'étude :	44
10.	Recharge par infiltration des eaux épurées de la ville d'El Hajeb :	44
10.1.	Eaux usées dans la ville d'El Hajeb.....	44
10.2.	Objectif et consistance de l'aménagement .....	44
10.4.	Estimation des coûts d'investissement de la réalisation des dispositifs .....	48
Conclusion .....		49

## Listes des Figures

Figure 1: Découpage administratif du bassin du Sebou (PDAIRE).....	10
Figure 2: Carte géologique du bassin de Sebou .....	11
Figure 3: Carte de la population urbaine du bassin du Sebou (PDAIRE).....	12
Figure 4: Carte des isohyètes actualisée du bassin du Sebou (PDAIRE).....	14
Figure 5: Principaux nappes du bassin Sebou (ABHS).....	15
Figure 6: Coupe géologique de la nappe Fès-Meknès (ABHS) .....	18
Figure 7: L'évolution piézométrique pour IR (2278/1).....	19
Figure 8: L'évolution piézométrique pour IR(290/22) .....	20
Figure 9: Carte piézométrique de la nappe phréatique Fès-Meknès .....	21
Figure 10: Diagramme de Piper de la nappe Fès-Meknès .....	22
Figure 11: Diagramme de Schoeller Bekaloff de la nappe Fès-Meknès.....	23
Figure 12: Répartition des stations d'eau souterraine par niveau de qualité.....	26
Figure 13: Répartition des nitrates dans la nappe Fès-Meknès .....	27
Figure 14: Carte de la qualité des eaux au niveau de la nappe Fès-Meknès .....	28
Figure 15: Dispositifs de recharge artificielle (RA).....	33
Figure 16: Injection superficielle .....	34
Figure 17: Bassin de décantation .....	35
Figure 18: Deux bassins d'infiltration.....	35
Figure 19: Les différents dispositifs de RA par injection superficielle.....	35
Figure 20: Aménagement d'Oued Bourkaiz .....	36
Figure 21: Dispositifs de recharge sur oued Bourkaiz (ABHS).....	38
Figure 22: Dispositif de recharge artificielle par puits d'injection (ABHS) .....	39
Figure 23: Puits d'injection .....	39
Figure 24: Oued Ablouz .....	40
Figure 25: Oued Atchane Site1 (aval) (ABHS) .....	41
Figure 26: Oued Atchane Site (2) (ABHS) .....	41
Figure 27: Coupe transversale type d'un puits d'injection pour le secteur d'Ain Ablouz et Oued El Atchane (ABHS).....	41
Figure 28: Coupe type du canal d'amenée des eaux vers le dispositif d'injection (ABHS) ....	42
Figure 29: Puits d'injection à charge constante dans la zone non saturée (ABHS) .....	42
Figure 30: Carte des dispositifs d'injection dans le secteur Ain Ablouz et Atchane (ABHS). 43	43
Figure 31: Plan des tranchés d'infiltration(Réf.ABHS).....	45
Figure 32: Coupe en travers de tranchée .....	46
Figure 33: Lit d'infiltration (ABHS).....	47
Figure 34: Tranchées d'épandage parallèles à la pente.....	47

## Listes des tableaux et Equation

Tableau 1: paramètres de pollution physico-chimique, organique et bactériologique .....	24
Tableau 2: Tableau 2: Résultats des paramètres de pollution physico-chimique, organique et bactériologique au niveau de la nappe Fès-Meknès .....	25
Tableau 3: Dispositifs de recharge par seuils ou digues d'infiltration .....	34
Tableau 4: Caractéristiques de la digue du lac collinaire de Oued Bourkaiz .....	36
Tableau 5: Gain théorique en volumes infiltrés dans l'Oued Bourkaiz .....	37
Tableau 6: Les principales caractéristiques des deux variantes de dispositifs d'infiltration des eaux épurées de la ville d'El Hajeb.....	44
Équation 1: formule de Darcy .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

# Introduction

Le bassin de Sebou est le plus dynamique du Maroc, la délimitation d'unité hydrographique est faite de 66 masses d'eaux souterraines, 522 masses d'eaux de surface ,420 sources ,53 et 13 barrages et 27 petit barrages.

La loi sur l'eau en 1995 représente une évolution majeure de la politique sectorielle de l'eau au Maroc. Elle destinée a dotée le pays d'instruments technique, économique et institutionnelles efficaces permettant de faire face aux défis majeurs liés au secteur de l'eau.

Les enjeux liés à la dégradation de la qualité des eaux et à la surexploitation des eaux souterraines dans la plaine du Saïss sont importants : une contamination notable notamment par les nitrates essentiellement d'Origène agricole(les angrès et les pesticides) plus de 18.000 tonnes d'azotes et 360 tonnes de pesticides annuellement. A peu prêt 160000000 m<sup>3</sup>/an des eaux extraire pour l'irrigation de 30.000 hectares , plus de 100000000 m<sup>3</sup>/an pour l'AEP, impacts environnementaux liés à l'assèchement d'oueds, de sources et de plans d'eau.

Au cours de Ces enjeux l'ABHS à anticiper la réalisation des dispositifs de la recharge artificielle au niveau des sites favorable a cet effet et faire des compagnes des mesures chaque année pour maintenir une irrigation viable et limiter les impacts environnementaux dus aux baisses de niveaux d'eau et a la dégradation de la qualité des eaux souterraines au niveau de la nappe.

Pour faire face a ces enjeux on va essayer dans notre sujet () de déterminer la qualité des eaux dans la nappe Fès –Meknès et principalement au niveau les 20 points de mesure selon les compagnes de mesures 2012 et mise en œuvre les principaux sites et dispositifs de la recharge artificielle proposées par l'ABHS.

# **Chapitre I : Présentation général du bassin de Sebou**

## I. Présentation général du bassin de Sebou

Le bassin du Sebou, s'étend sur une superficie d'environ 40 000 km<sup>2</sup>, qui représente 6% de l'aire du territoire national. IL abrite une population de l'ordre de 6.2 millions d'habitants répartis sur:

- 17 Prefectures et Provinces
- 82 Commune Urbaines
- 287 Communes Rurales

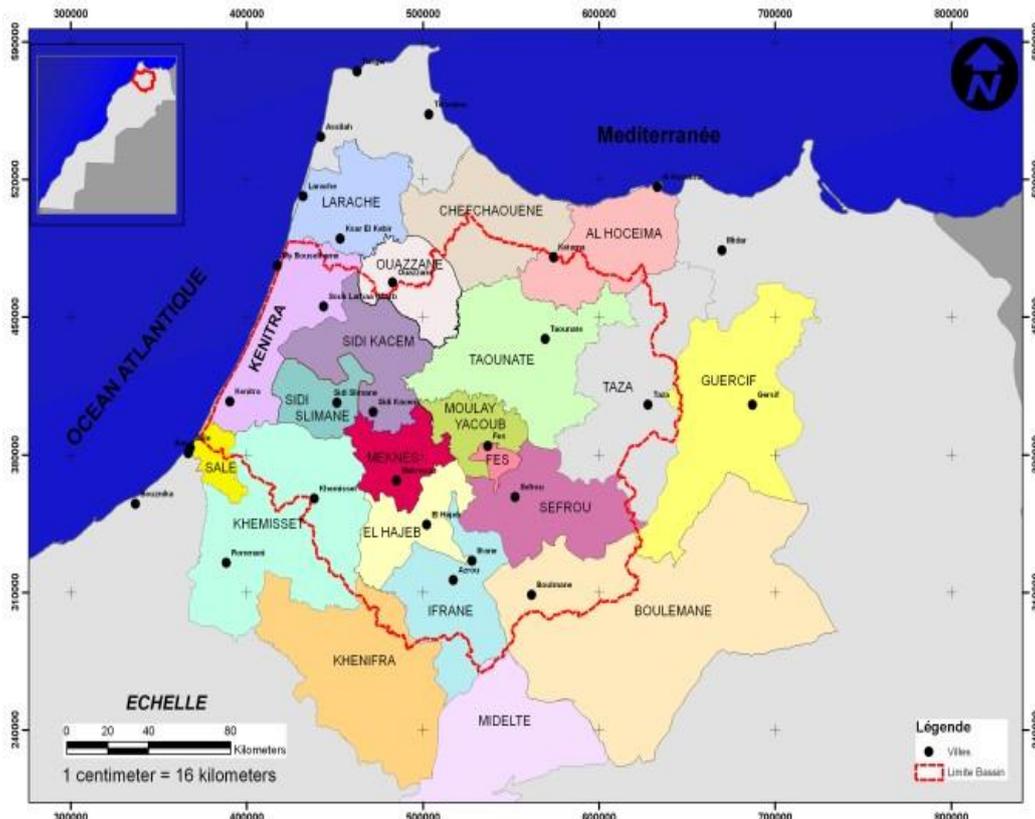


Figure 1: Découpage administratif du bassin du Sebou (PDAIRE, 2006)

### 1. Ressources en eau

Ce bassin qui comprend globalement 30% des ressources en eau de surface du Maroc, est drainé par l'oued Sebou qui prend naissance dans le Moyen Atlas et parcourt environ 500 km avant de rejoindre l'océan Atlantique près de Kénitra. Situé au nord ouest du Maroc, le bassin du Sebou est marqué par un contexte géographique très diversifié :

Dans la partie amont du bassin, on trouve, au Nord, le massif du Rif s'élevant jusqu'à 2450 m, et au Sud la chaîne du Moyen Atlas,

Entre ces deux massifs, dans la région de Fès / Meknès, se situe la plaine du Saïss, et, plus aval, on trouve les affluents rive droite et rive gauche du Moyen Sebou qui sont les oueds Ouergha et Beht,

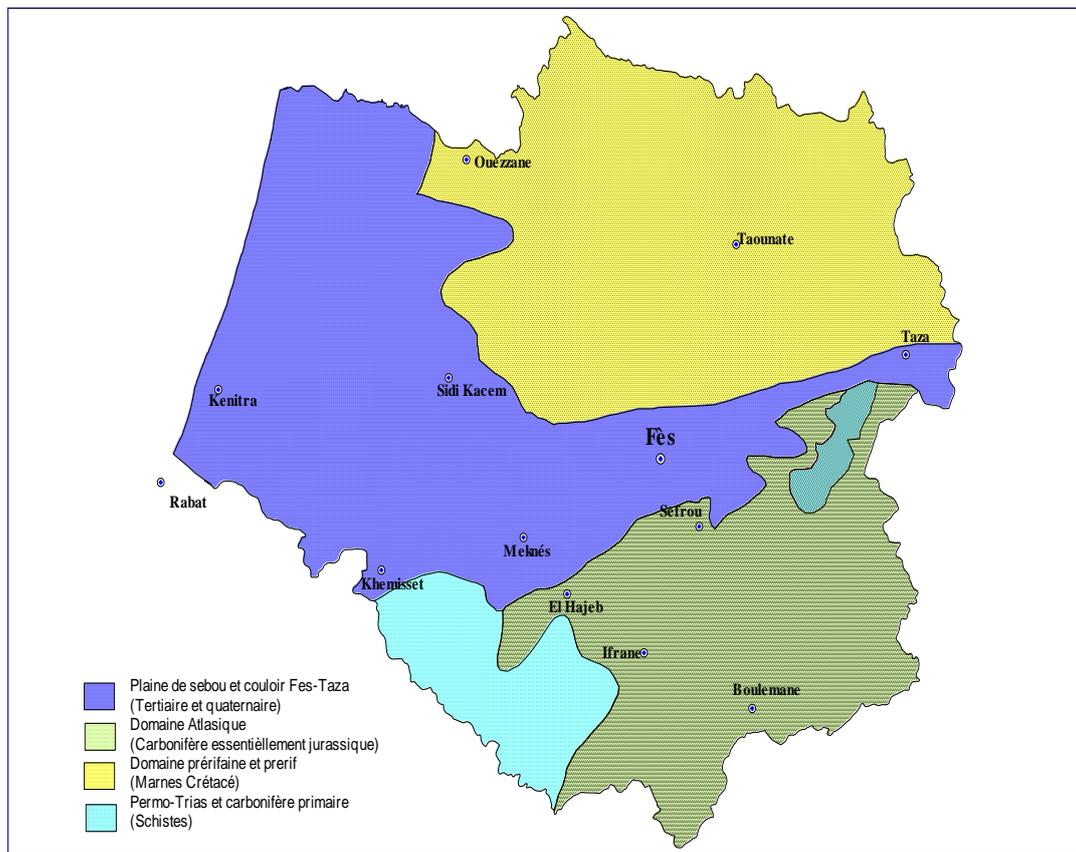
Dans la partie avale, le bas Sebou est constitué d'une grande plaine alluviale, la plaine du Gharb, qui s'ouvre largement sur la côte Atlantique.

## 2. Géologie

De point de vue géologique, les terrains du Rif sont constitués essentiellement de formations argilo-marneuses imperméables du crétacé. Au niveau des hauts sommets de l'Ouergha (à l'amont du barrage Al Wahda), on rencontre des formations gréseuses.

Les bassins du Gharb, du Saïss et le couloir de Fès-Taza sont à remplissage essentiellement tertiaire et quaternaire perméable. Les deux dernières unités renferment également des formations calcaires du Lias.

Le Beht (à l'amont d'El Kansera) est constitué par des formations permo-triasiques et carbonifères primaires imperméables. Le Haut Sebou qui fait partie du domaine atlasique est constitué essentiellement par les calcaires jurassiques perméables.



**Figure 2: Carte géologique du bassin de Sebou(PDAIRE,2006)**

### 3. Population

Le Bassin du Sebou est le deuxième bassin le plus peuplé du royaume, il compte 6,2 millions d'habitants, soit 21,3% du total de la population marocaine..

Sa population augmente plus rapidement que la moyenne nationale, avec un Taux d'accroissement moyen interannuel entre 1994 et 2004 de 2,0% contre 1,4% pour le Maroc. La population atteindra 7.8 millions d'habitants en 2020 et 9 millions d'habitants en 2030.

Le taux d'urbanisation reste sensiblement inférieur à la moyenne nationale (taux d'urbanisation de 49% contre 55% au niveau national). Le nombre de centres urbains est de 74 dont les plus importants sont Fès (près de 1 millions d'habitants) et Meknès (700 000 habitants).

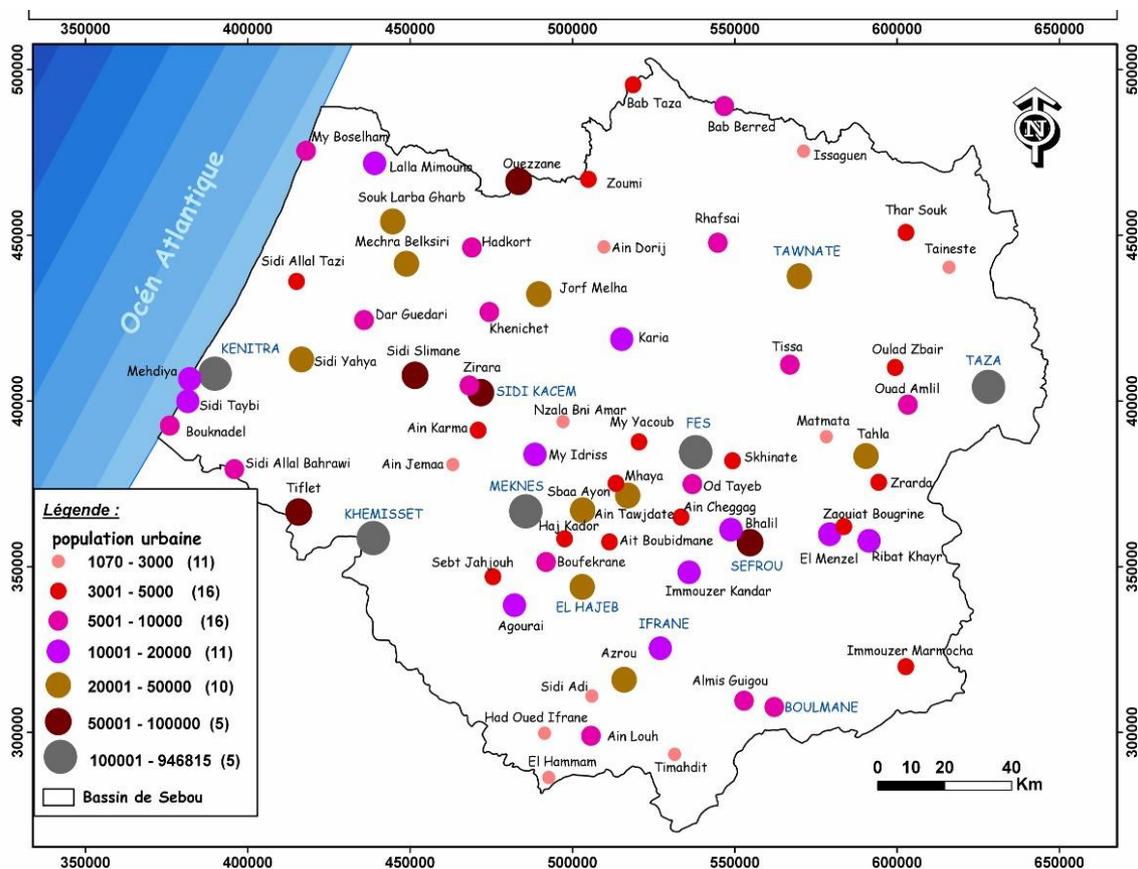


Figure 3: Carte de la population urbaine du bassin du Sebou (PDAIRE, 2006)

## **4. Climatologie**

### **4.1. Climat**

Le climat régnant sur l'ensemble du bassin du Sebou est de type méditerranéen à influence océanique et devient continental vers l'intérieur. Il se manifeste par des vents pluvieux de secteur Ouest et des précipitations qui diminuent en s'éloignant de la mer et dans les vallées protégées comme celles du Beht ou du haut Sebou avant d'augmenter rapidement sur les versants du Rif. Ces influences de l'altitude, de la latitude et de l'exposition se combinent pour constituer des microclimats locaux où le froid, le gel, la neige et les pluies d'hiver peuvent s'opposer aux chaleurs et orages d'été.

Ces microclimat se manifestent par :

- Des orages : la région la plus touchée du bassin est le Saïss (17 à 18 jours/an) avec deux périodes favorables : fin de l'été et la fin du printemps. Dans les montagnes, les fréquences sont naturellement plus élevées, le Moyen Atlas étant plus affecté que le Rif.
- De la grêle : dans les régions littorales, la grêle est totalement absente en été.
- Les collines et les plateaux de l'intérieur sont principalement touchés au début de l'hiver et du printemps. En montagne, le maximum est situé au printemps mais les fortes fréquences se prolongent en été.
- De la neige : Les chutes de neige affectent le bassin pour des altitudes situées au-dessus de 800 m. Ces évènements sont enregistrés entre novembre et mars (le Moyen Atlas et le Haut Rif).

### **4.2. Précipitations**

Les précipitations annuelles moyennes sur l'ensemble du bassin du Sebou, calculées sur la période 1973-2008, sont de 600 mm environ (640 mm sur la période 1939- 2008).

Les valeurs minimales, comprises entre 400 et 550 mm sont observées sur les bassins du Haut Sebou, puis du Moyen Sebou (région de Fès, oued Rdat, oued R'dom, oued Beth). Elles sont légèrement supérieures (500 à 600 mm) en bordure côtière et dépassent très largement ces valeurs en zone de relief (700 à 900 mm sur le Moyen Atlas à Ifrane, 1 000 à 1 500 mm sur les reliefs du Rif (bassin supérieur de l'oued Ouergha).

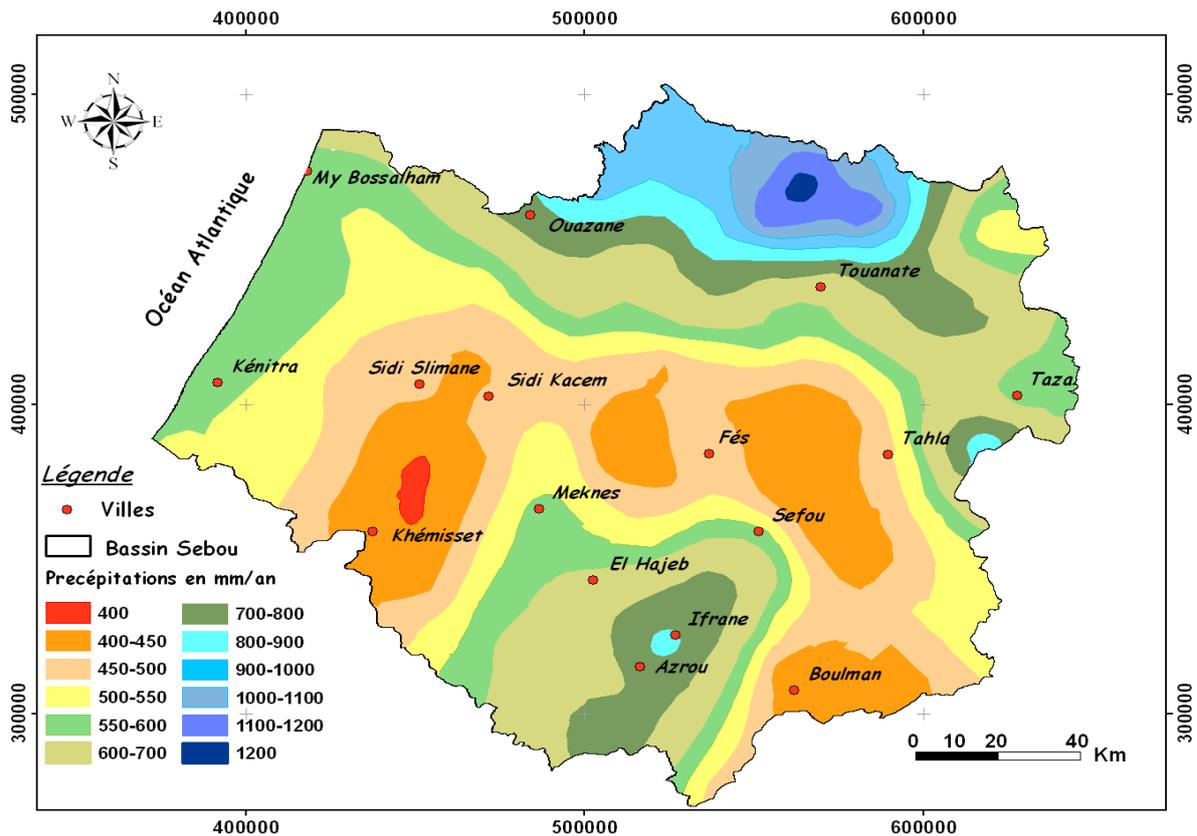


Figure 4: Carte des isohyètes actualisée du bassin du Sebou (PDAIRE, 2006)

### 4.3. Températures

En hiver, les épisodes froids et périodes tièdes ou même chaudes alternent, mais les températures minimales basses ne sont jamais absentes. Ces températures basses subissent des variations spatiales traduites par des gelées rares à Meknès (protégée par sa position en cuvette) et des gelés plus nombreuses à Fès. Enfin, Taza située sur le flux d'air continental, apparaît particulièrement touchée.

En été, la température se caractérise par deux types de comportement, un beau temps à températures maximales élevées ou modérées mais avec un refroidissement nocturne et un temps chaud aux températures très fortes sans refroidissement nocturne appréciable.

Les températures sont maximales en juillet et août et minimales en janvier. Les températures moyennes annuelles varient suivant l'altitude et la continentalité entre 10 et 20°C.

### 4.4. Evaporation

L'évaporation potentielle moyenne est assez forte dans le bassin. Elle varie entre 1600 mm sur la côte et 2000 mm vers l'intérieur. Elle est maximale en juillet-août avec près de 300 mm/mois et minimale en décembre –janvier avec moins de 50 mm/mois. Sur la côte et le centre du bassin, les fortes températures d'été, le quasi inexistance des précipitations significatives pendant cette période, expliquent l'évaporation élevée dans le bassin versant (1500 mm sur la côte et 2000 mm/an vers l'intérieur du bassin), justifiant des besoins unitaires en eau d'irrigation importants.

## 5. Ressource en eaux souterraines :

Le bassin du Sebou fait partie des bassins les plus riches en eau souterraine du Maroc. Ses ressources mobilisables (1020 Mm<sup>3</sup>) représentent environ 25% du potentiel mobilisable du Maroc.

Les ressources en eau souterraines du bassin du Sebou sont contenues dans plusieurs nappes, dont les plus importantes sont :

- ❖ la nappe de Dradère-Souière
- ❖ la nappe de la Maamora
- ❖ la nappe du Gharb
- ❖ la nappe de Bou Agba
- ❖ les nappes du couloir de Fès-Taza (phréatique et profonde)
- ❖ les nappes du Causse du Moyen Atlas (basaltes quaternaires et calcaires et dolomies du Lias)
- ❖ la nappe du Moyen Atlas plissé.
- ❖ les nappes du bassin du Fès-Meknès (phréatique et profonde)

Ces nappes sont exploitées avec un volume de 751 Mm<sup>3</sup>/an, pour l'AEP urbaine et rurale, pour usage industriel et pour l'irrigation.

Ces nappes productives sont vulnérables à la pollution, à la surexploitation et à la sécheresse. Bien gérées et protégées, elles représentent des atouts majeurs pour le développement d'activités liées à l'eau et pour le développement économique général du bassin.

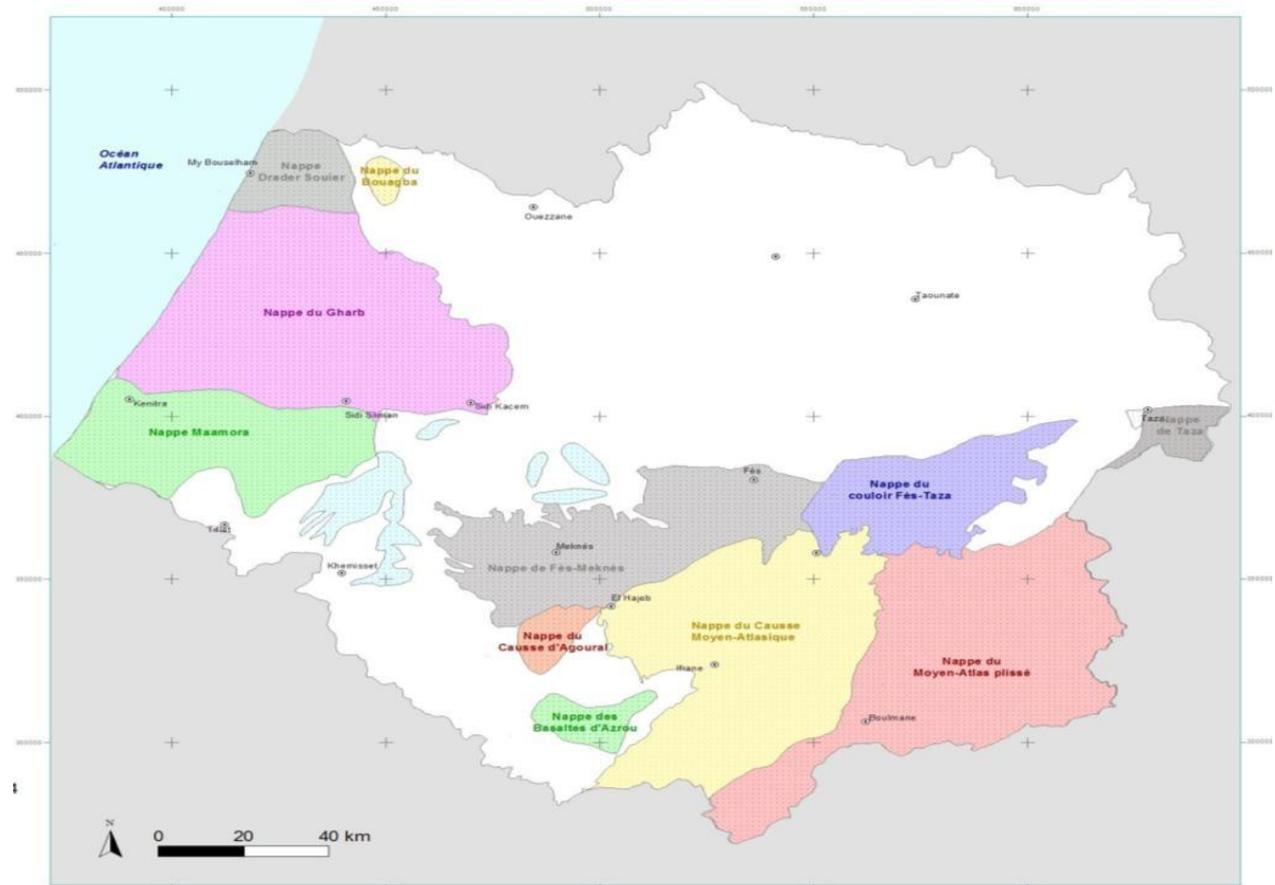


Figure 5: Principaux nappes du bassin Sebou (ABHS, 2007)

**Chapitre II** : Etude hydrologique,  
hydrochimique et qualité des eaux de la  
nappe Fès-Meknès

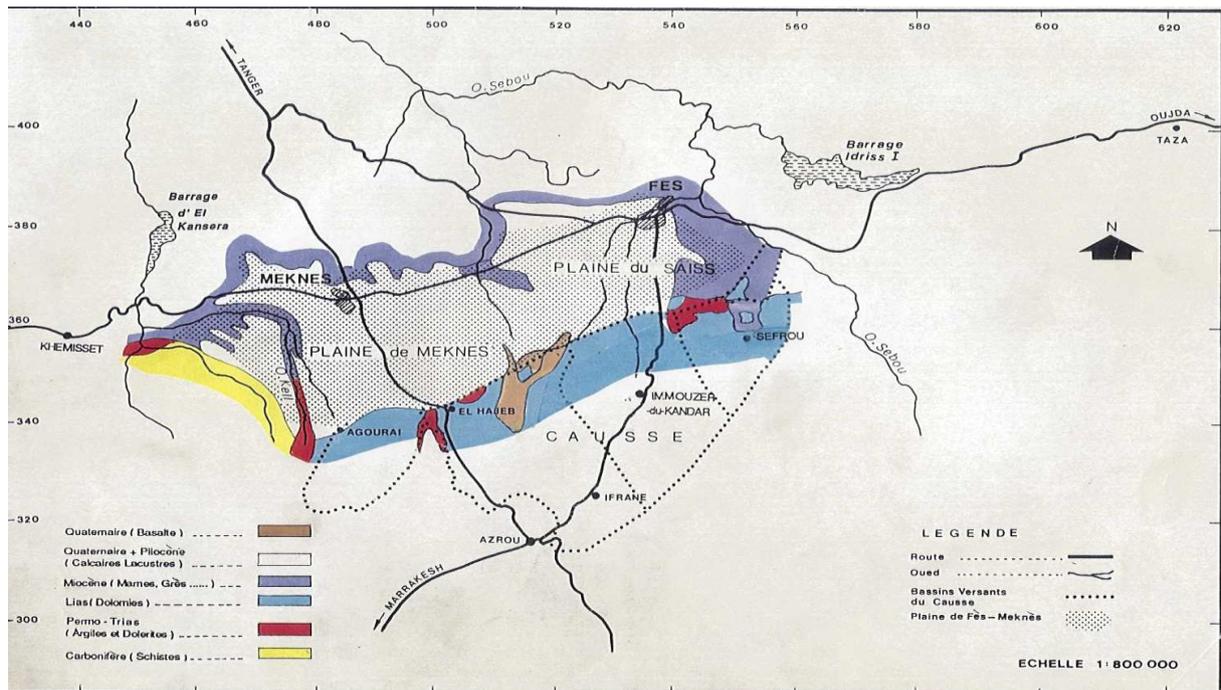
## II. Hydrogéologie de la nappe Fès-Meknès

Le bassin de Fès- Meknès est une plaine qui s'étend entre ces deux villes, il appartient au couloir Sud-rifain . Cette région s'étend sur environ 2200 Km<sup>2</sup>. Dans ce bassin, on distingue deux nappes importantes:

la nappe phréatique qui circule dans les formations du plio- quaternaire.

La nappe profonde du lias.

Ces deux nappes sont séparées par une épaisse série de marnes d'âge Miocène.



### 1. Contexte géologique

Le bassin est considéré dans son ensemble, comme un vaste synclinal dissymétrique de direction E-W, qui s'enfoncé progressivement du Sud vers le Nord, et se redresse brusquement au contact des rides pré rifaine Sur la coupe géologique simplifiée du bassin Fès-Meknès, on distingue :

La plus ancienne formation est le Permo-Trias principalement constitué d'Argiles et de dolérites. Cette formation dont l'épaisseur dépasse 900 m, forme un substratum imperméable pour les aquifères sus-jacents.

Le lias calcaro - dolomitique recouvre le substratum Permo-Triasique. Cette formation dont l'épaisseur est d'environ 300m recouvre la quasi-totalité du causeuse et représente le principal réservoir d'eau de la région.

Le Miocène, essentiellement marno-gréseux, recouvre le Lias. On le retrouve dans la quasi-totalité du bassin. Son épaisseur passe de quelques mètres au sud, à plus de 1000 m au Nord. Le Miocène constitue un aquitard important Le Plio - Quaternaire : comprend des calcaires lacustres, des sables, des conglomérats et des coulées basaltiques. Il atteint rarement une épaisseur supérieure à 100 m et il constitue le deuxième aquifère de la région.

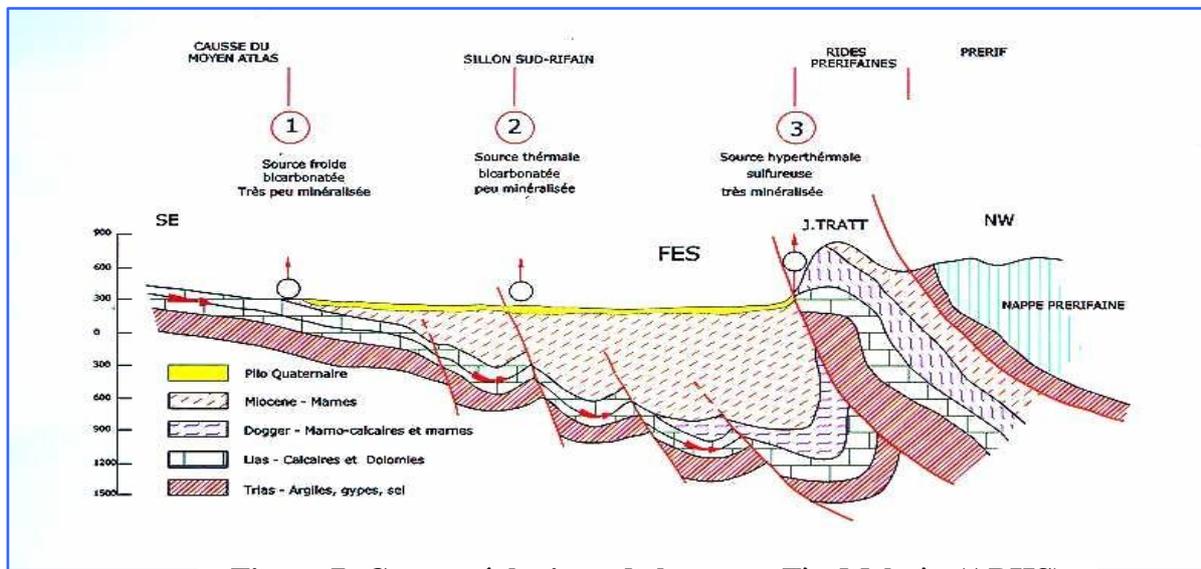


Figure 7: Coupe géologique de la nappe Fès-Meknès (ABHS)

## 2. Contexte Hydrogéologique:

Il existe deux principales formations aquifères dans la région : les calcaires liasiques et les calcaires lacustres quaternaires. Dans le bassin, le Lias forme un aquifère profond captif, artésien, avec des charges de plus de 150m au dessus du sol. Les calcaires quaternaires forment une nappe dont la piézométrie dépend fortement de la pluviométrie, de la recharge et de la topographie.

### 2.1. Nappe phréatique

D'une superficie d'environ 2100 Km<sup>2</sup>, la nappe phréatique circule principalement dans des grès et des conglomérats reposant sur des sables plus ou moins argileux au centre et à l'Ouest de la plaine, tandis qu'à l'Est, la nappe est siégée dans des calcaires lacustres. Dans la plus grande partie du Bassin, l'épaisseur de l'aquifère varie de 20 à 50 m. Elle devient plus importante dans les cuvettes miocènes tel est le cas au SE de Ain Lorma (30 à 70 m).

### 2.2. Nappe profonde

L'aquifère profond du bassin Fès- Meknès, couvre une superficie d'environ 3500 Km<sup>2</sup>, et siège dans les formations calcaires dolomitiques du Lias fortement fissurés. Sous l'effet de la tectonique, l'aquifère est subdivisé en plusieurs panneaux (Saiss, Haj Kaddour, Meknès...) qui sont probablement Inter-communicants par endroits.

#### 2.1.1. La profondeur de la nappe

L'épaisseur saturée de la nappe phréatique varie entre 10 et plus de 40m de profondeur. Au Nord de la plaine, les profondeurs sont faible, généralement inférieur à 20m. Au sud et à l'Ouest du bassin la profondeur de l'eau est généralement supérieur à 30m. Au centre cette profondeur est comprise entre 25m et 35m.

La profondeur moyenne par rapport au sol de la surface de la nappe phréatique est de 25m. Pour la nappe profonde L'épaisseur de l'aquifère varie de quelques dizaines de mètres sur la bordure sud à 760 m au nord de la plaine.

Le niveau d'eau se situe en moyenne à une profondeur de 50m par rapport au sol dans la partie captive.

### 2.1.2. Les paramètres hydrodynamiques

En général, l'aquifère présente des caractéristiques hydrodynamiques intéressantes. Pour la nappe phréatique La transmissivité est faible ( $10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s) dans les zones à dominance sablo-argileuse sur les bordures S et N du bassin, moyenne ( $10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s) dans les conglomérats et forte dans les calcaires lacustres karstifiés ( $6.6 \cdot 10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s). La transmissivité et la perméabilité sont très variables au niveau de L'aquifère profond en raison de la porosité de fissure de ce système aquifère. En moyenne, la transmissivité est de l'ordre de  $5 \cdot 10^{-1}$  m<sup>2</sup>/s et la perméabilité est de  $2 \cdot 10^{-2}$  m/s.

Les coefficients d'emmagasinement de la nappe varient entre 0.1 et 6.5, avec une valeur moyen des prés de 2.

### 2.1.3. L'alimentation

La recharge de la nappe phréatique se fait à travers l'infiltration pluviale, par drainance ascendante à partir de la nappe profonde et par les retours d'eau d'irrigation et la fonte des neiges que connaissent les affleurements calcaires des causses du Moyen Atlas au sud alimente nappe profonde.

### 2.1.4. L'exploitation de la nappe

La nappe est exploitée par des forages profonds destinés à l'AEP de la ville de Meknès, Fès et des centres situés dans la plaine (Ain Taoujtate, Ras El Ma, Sebaa Ayounne et Haj Kaddour) et également pour l'irrigation. La profondeur des ouvrages qui l'exploitent varie de 200 m au Sud à 1700 m au centre de la plaine.

## 3. Evolution piézométrique du système aquifère de Fès-Meknès

L'examen de l'historique piézométrique montre que les aquifères du Sais avaient une tendance relativement stable jusqu'à l'année 2004. Après cette date, le processus d'augmentation a été déclenché jusqu'à l'année 2005 après on remarque une stabilité du niveau piézométrique jusqu'au l'année 2010 après on a une évolution très importante attient 14 m. Cette baisse est due principalement aux pompages excessifs et à la sécheresse.

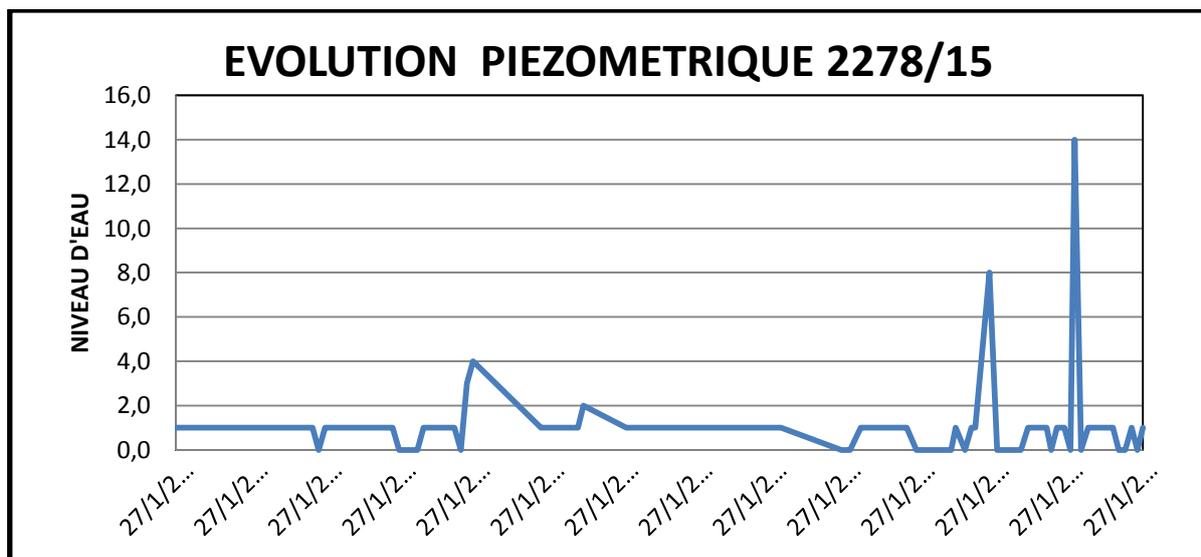
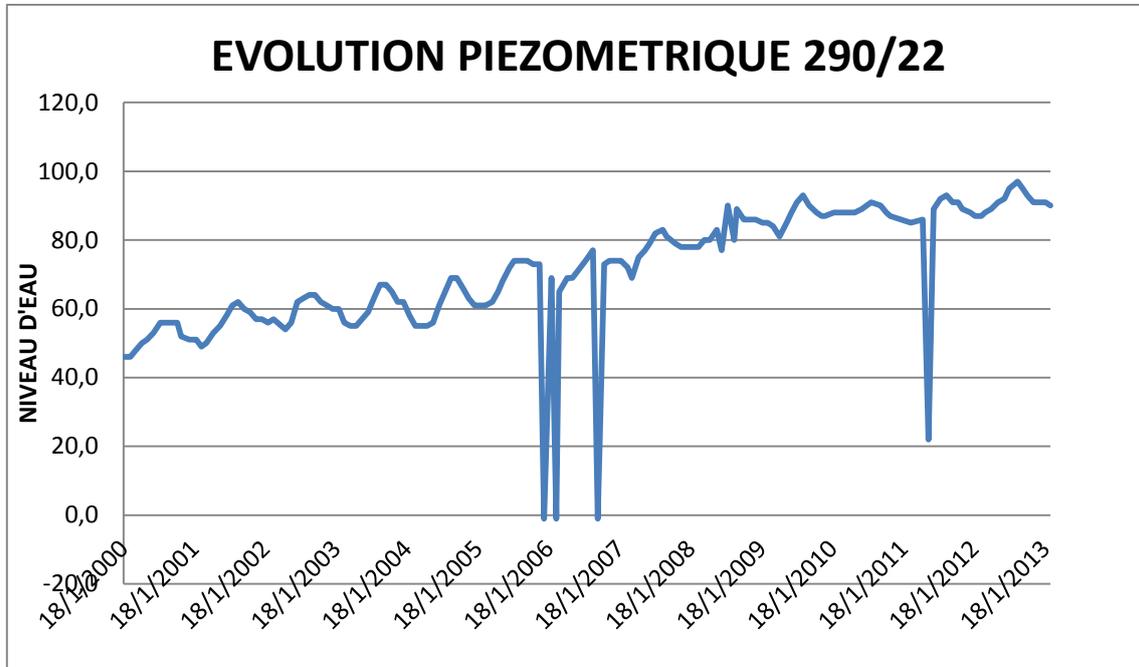


Figure 8: L'évolution piézométrique pour IR (2278/1) entre 2000 et 2013

Dans la figure 10 on a une évolution oscillaire du niveau de l'eau entre 2000 et 2005 (45m à 75m) et on remarque la même évolution pour les années (2008 ; 2011) et aussi (2012 ; 2013). Mais ce qui concerne les années 2006 ; 2007 ; 2011 on a des variations très importantes et brutal du niveau d'eau au niveau de forage où le niveau piézométrique dans le forage oscille entre (0 et 95m) durant ces années.



**Figure 9: L'évolution piézométrique pour IR (290/22) entre 2000 et 2013**

D'après les 2 diagrammes d'évolution piézométrique on induit que la variation est dû a l'exploitation irraisonnable du puit n° 2278/15 (BONNET SODEA), du forage n°290/22 (Haj Kaddour) et l'intendance des années sèche et humide au niveau de la

L'analyse de la carte géologique montre bien que le Lias peut être subdivisé en plusieurs unités Hydrauliques ou compartiments, séparés les un des autre par des failles. Ces failles peuvent servir comme barrière à l'écoulement souterrain et l'influencer. Entre deux panneaux adjacents on observe de grandes variations piézométriques, cependant il est probable qu'il y ait encore d'autre failles qui peuvent influencer l'écoulement souterrain et que le Lias dans cette région soit divisé en plusieurs compartiments reliés entre eux.

Chaque compartiment peut être caractérisé par sa propre piézométrie qui est différente de celle des autres.

#### 4. Sens de l'écoulement

L'écoulement général de la nappe se fait du SSE (piémont du causse Atlasique) vers le NNW (rides pré-rifaines) dans le plateau de Meknès et du SSW vers le NNE dans la plaine de Fès.

Une ligne de partage des eaux souterraines existe le long de la rive gauche de l'Oued Mikkes, séparant les écoulements de la nappe de part et d'autre vers le NNW et le NNE.

On remarque qu'on a un débit fort au niveau d'El Hajeb et à côté d'Ain Taoujtate (rapprochement des courbes piézométriques) et faible débit pour les régions suivantes Haj Kaddour, Ras El Ma, Fès (éloignement des courbes piézométriques).

Où on a des terrains de faible pente (plaine de saïss).

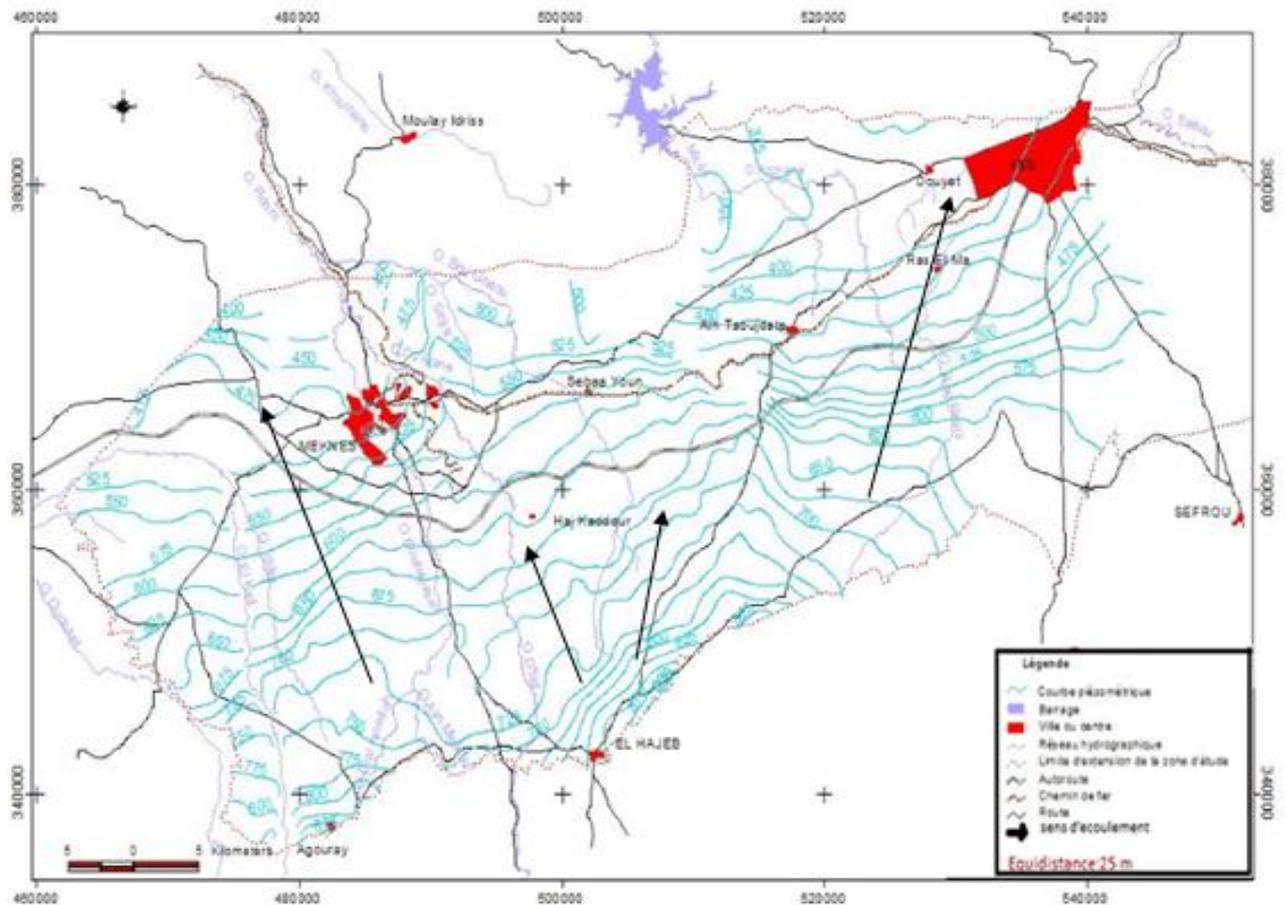


Figure 10: Carte piézométrique de la nappe phréatique Fès-Meknès

### III. Hydrochimie de la nappe

Pour comparer les analyses entre elles et mettre en évidence le type d'anion ou de cation dominant. Nous avons représenté les analyses chimiques de piper pour les différentes compagnes de mesure.

#### 1. Diagramme de Piper

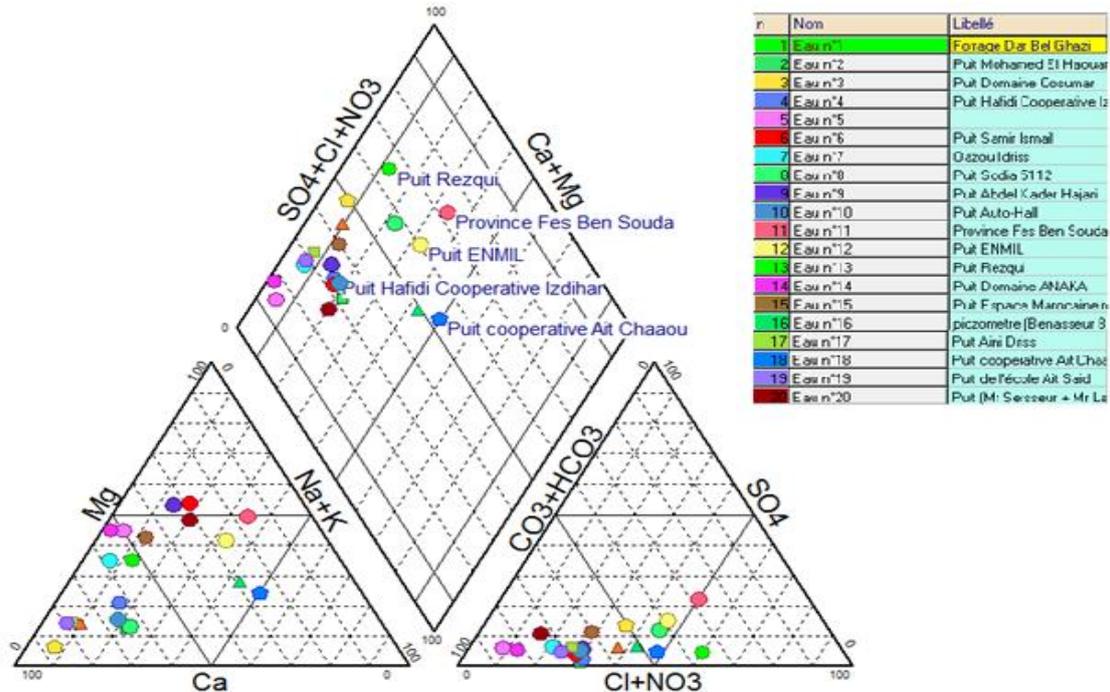


Figure 11: Diagramme de Piper de la nappe Fès-Meknès

Le report des analyses dans le diagramme de Piper (2012) montre que 75% des eaux constituées essentiellement des sources, des puits et des forages, ont une composition  $\text{CO}_3+\text{HCO}_3-\text{Ca}+\text{Mg}$  (Bicarbonatée calcique et magnésienne), 25% sont de type  $\text{Cl}+\text{SO}_4-\text{Ca}+\text{Mg}$ . (chlorure et sulfatée calcique et magnésienne), Ce qui veut dire que la dissolution des roches silicatées a été le mécanisme de l'acquisition de solutés dans les systèmes aquatiques. Toutefois, les produits d'altération des silicates sont difficiles à quantifier parce que leur dégradation génère une variété de phase solide (argiles principalement) ainsi que des espèces dissoutes. Les proportions relatives des divers ions en solution dépendent de leur abondance relative et de la solubilité de la roche d'accueil. L'abondance de divers ions peut être modélisée en termes d'altération de la roche formant divers minéraux.

Ainsi le diagramme ternaire des anions,  $\text{CO}_3+\text{HCO}_3-\text{SO}_4-\text{Cl}$  montre que la plupart des échantillons d'eau contiennent une grande quantité de  $\text{CO}_3+\text{HCO}_3$ . Le ratio  $\text{HCO}_3/(\text{HCO}_3+\text{SO}_4)$  équivalant à 0,85 dans la plupart des ressources en eau signifie que l'acide carbonique a été le principal producteur de protons au cours de l'altération (Pandey et al.1999). Les bicarbonates proviennent principalement du  $\text{CO}_2$  du sol et de l'altération des minéraux primaires.

## 2. Diagramme de Schoeller Bekaloff

A partir des analyses effectués au niveau des différents stations de la nappe Fès-Meknès et selon le diagramme de Scholler on va déterminer les parentés chimique du chaque faciès.

On remarque que :

- On a la même variation chimique pour les eaux n° (11,12, 6 ,9) ce qui concerne les éléments chimique (Ca, Mg, Na+K, Cl, SO4, HCO3+CO3, NO3).
- les eaux n° (1, 8, 10, 4, 2,3) se caractérisent par la même variation chimique.
- On a la même variation chimique pour les eaux n°(13,7).
- Les eaux n° (5 ,14) ont une variation en concordance.

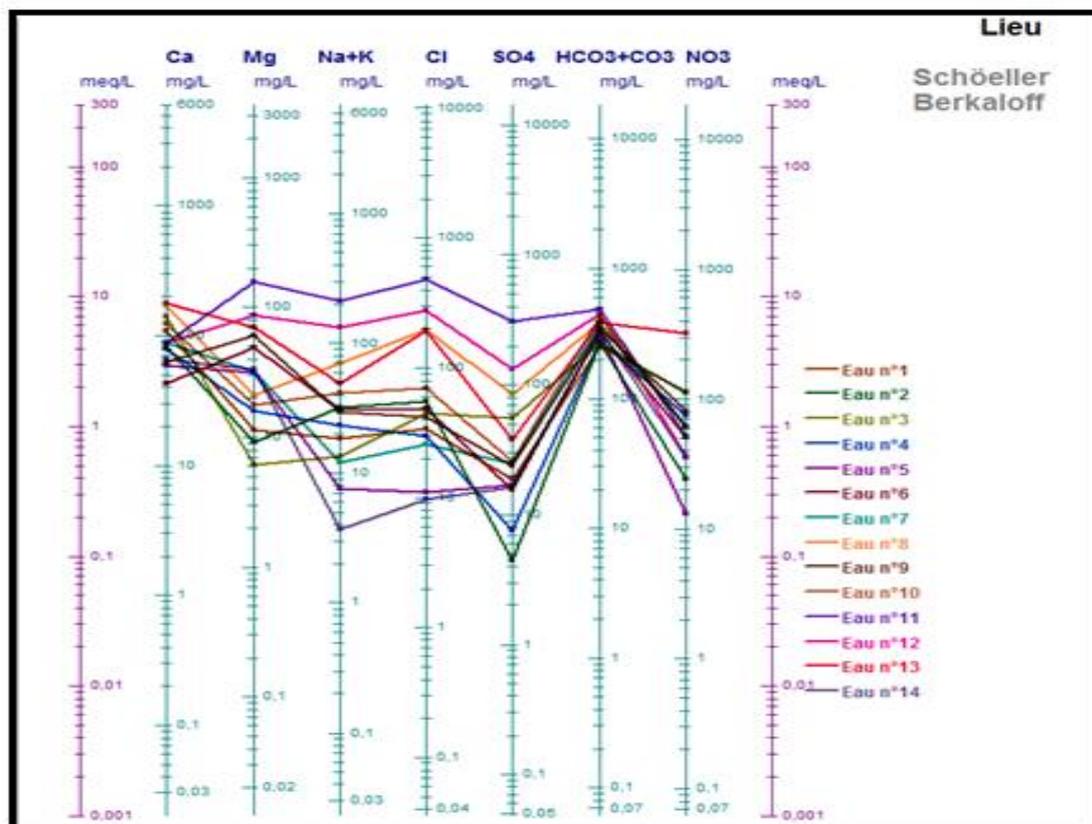


Figure 12: Diagramme de Schoeller Bekaloff de la nappe Fès-Meknès

Alors :

Cela nous permet de dire que les aquifères de ces stations et homogène et chaque groupe se caractérisent par une parenté chimique la plus dominante :

- Pour le groupe 1 : Chlore et magnésium.
- Pour le groupe 2: Chlore.
- Pour le groupe 3: Bicarbonate.
- Pour le groupe 4: Bicarbonate.

#### IV. Etude de la qualité des eaux au niveau de la nappe Fès-Meknès

Les nappes souterraines de Saïss, de la Maamora et du Gharb jouent un rôle stratégique dans la satisfaction des besoins en eau dans le bassin du Sebou

Particulièrement en période de sécheresse. Pour cela il faut prendre en considération la protection et la qualité des eaux souterraines.

Au cœur de la politique de l'eau et d'aménagement du territoire et en vue de l'arrêté (n° 1275-01 du 17 octobre 2002) de la loi 10-95 fixent cinq classes de qualité selon la grille ci-dessous :

Classes du qualité Paramètres	Excellent	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
Conductivité $\mu\text{S/cm}$	<400	400-1300	1300-2700	2700-3000	>3000
Chlorures mg/l	<200	200-300	300-750	750-1000	>1000
NO <sub>3</sub> mg/l	<5	5-25	25-50	50-100	>100
NH <sub>4</sub> mg/l	<=0.1	0.1-0.5	0.5-2	2-8	<8
MO mg/l	<3	3-5	5-8	>8	-
CF/100ml	<=20	20-2000	2000-20000	>20000	-

**Tableau 1: paramètres de pollution physico-chimique, organique et bactériologique**

A partir de ces normes et des analyses effectuées au niveau des nappes d'eaux souterraines on va étudier la qualité des eaux au niveau de la nappe Fès-Meknès.

Chaque année l'ABHS fait des analyses physico-chimique des eaux souterraines pour estimer la qualité des eaux au niveau bassin.

Dans notre projet on va étudier la qualité des eaux au niveau de la nappe Fès-Meknès pendant l'année 2012 au niveau de 20 stations.

X(Km)	Y(Km)	Nature du point de prélèvement	Cond	Cl	NO3	NH4	CF	Qualité globale
			mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	UCF/100ml	
470.95	367.044	Forrage Dar Bel Ghazi	752	33.3	114	0.017	20	très mauvaise
483.6	360.47	Puit Mohamed El Haouari	540	54.2	24	0.013	6300	Bonne
474	368.3	Puit Domaine Cosumar	645	43.6	112	<0,006	0	très mauvaise
499.35	362.95	Puit Hafidi Cooperative Izdihar	560	29.7	75	0.008	0	mauvaise
520.65	367.6		450	11	13.2	<0,006	0	très mauvaise
526.18	372.95	Puit Samir Ismail	635	47.8	51.8	0.012	66	mauvaise
522.483	359.507	Oazou Idriss	655	25.5	62.6	<0,006	0	très mauvaise
501.3	371.65	Puit Sodja 5112	1300	197	61	0.075	50	mauvaise
5380254	368.018	Puit Abdel Kader Hajari	753	41.5	81.5	<0,006	0	très mauvaise
487.4	362.7	Puit Auto-Hall	765	68.1	62	<0,006	0	très mauvaise
531.4	380.8	Province Fes Ben Souda	2310	475	52.2	0.015	0	mauvaise
530.019	382.011	Puit ENMIL	1535	274	36.4	0.006	20	moyenne
547.442	368.551	Puit Rezqui	1515	190	323	0.024	18	très mauvaise
510.8	348.9	Puit Domaine ANAKA	515	9.57	35.2	0.019	18	moyenne
477.25	348.9	Puit Espace Marocaine reuni	810	72	60.9	0.111	16	mauvaise
494.192	359.266	Piozometre (Benasseur Badriss)	935	157	27	<0,006	0	très mauvaise
508.5	357.2	Puit Aini Driss	560	32.3	53.3	0.031	26	mauvaise
493.8	354.81	Puit cooperative Ait Chaaou	945	172	45	<0,006	136	très mauvaise
505.65	305.25	Puit de l'école Ait Said	390	19.1	35.6	0.039	0	moyenne
496.416	349	Puit (Mr. Sersseur + Mr. Laoulaou)	600	26.6	15	<0,006	0	très mauvaise

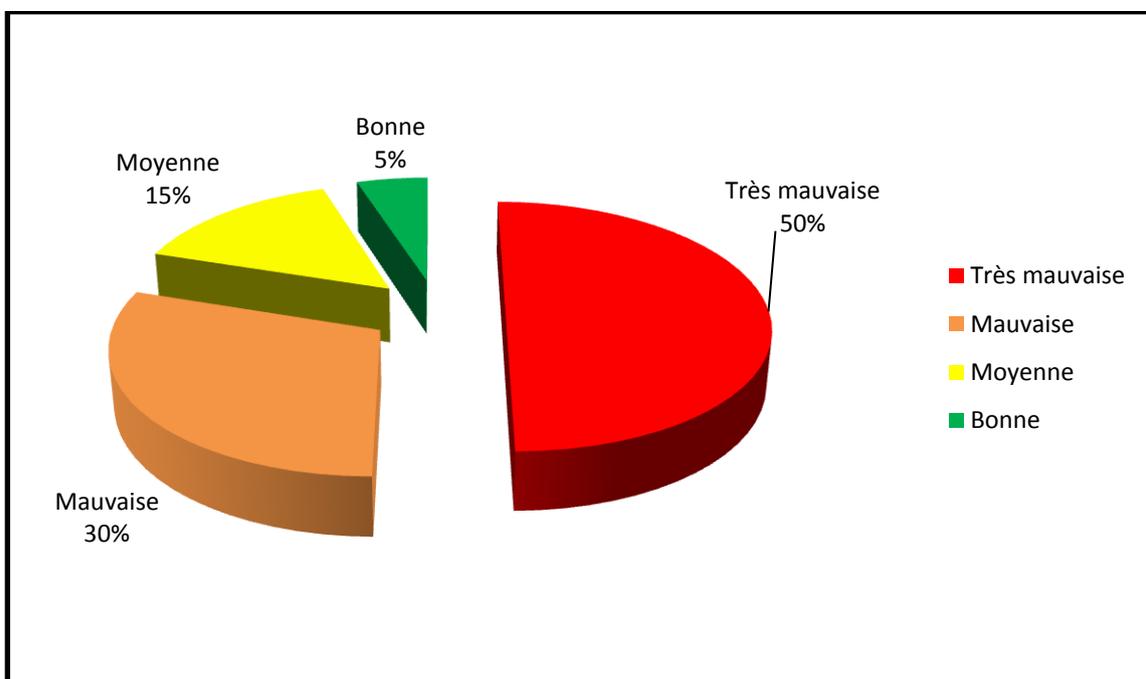
**Tableau 2: Résultats des paramètres de pollution physico-chimique, organique et bactériologique au niveau de la nappe Fès-Meknès**

Globalement, la pollution actuelle dans le bassin du Sebou est évaluée à près de 65000 tonnes de DBO5 par an dont près de 47% provient de la pollution domestique.

La production des margines constituent une part importante de la pollution globale. Elle est concentrée essentiellement dans les régions de Sefrou, de Taza, de Fès et de Taounate. Cette pollution est d'autant plus sensible qu'elle a des pics saisonniers extrêmement forts (atteint le triple de la charge de matières organiques des effluents non traités de la ville de Fès).

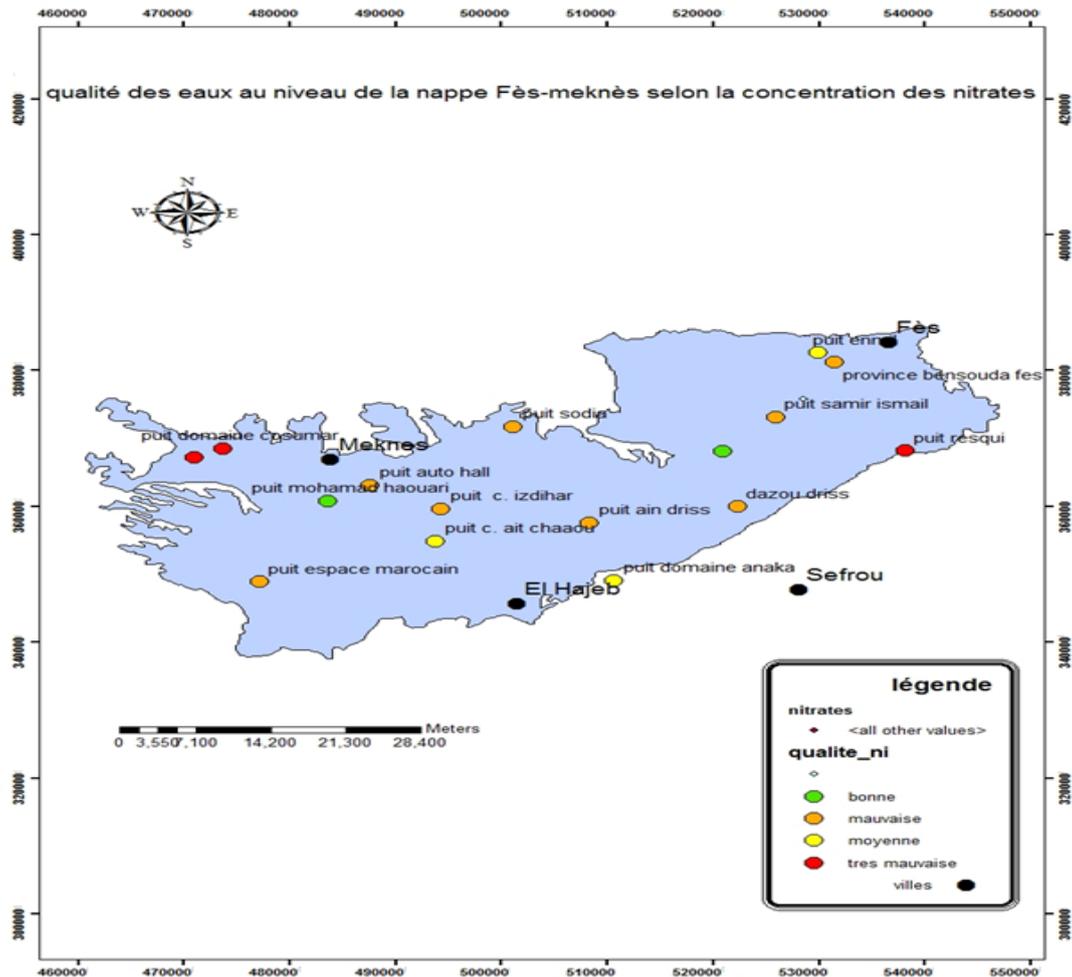
Les activités agricoles et les décharges publiques non contrôlées représentent également une part non négligeable dans la pollution des eaux de surface et souterraine.

Les pollutions accidentelles constituent également une menace croissante dont l'impact est de plus en plus grand sur les ressources en eau et le milieu naturel.



**Figure 13: Répartition des stations d'eau souterraine par niveau de qualité**

La qualité des eaux souterraines au niveau de la nappe de Fès-Meknès a été jugée bonne au niveau de 5% des stations prospectées, moyenne sur 15% et dégradée sur 80% (très mauvaise 50%et mauvaise 30%).



**Figure 14: Répartition des nitrates dans la nappe Fès-Meknès**

Le taux des nitrates est compris entre 13.2 et 323 mg /l .Les valeurs les plus élevées sont enregistrées dans les régions de Fès (puits resqui) et Meknès (puits domaine cosumar, forage dar bel Ghazi) de la nappe où on l’abondance des activités agricoles et industriels. 60% de ces stations dépassent le taux toléré par l’OMS pour une eau potable (50mg/l).15% des stations de mesure se caractérise par une qualité très mauvaise ; 40% mauvaise ; 15% moyenne ; 10%bonne.

L'activité agricole est effectivement l'activité répandue au niveau de la plaine de Sais, consommant plus de 18.000 tonnes d'azotes et 360 tonnes de pesticides annuellement.

Les zones les plus touchées par cette contamination coïncident avec les zones à fort potentiel d'irrigation notamment Ain Taoujdate, Sbaa Ayoune,

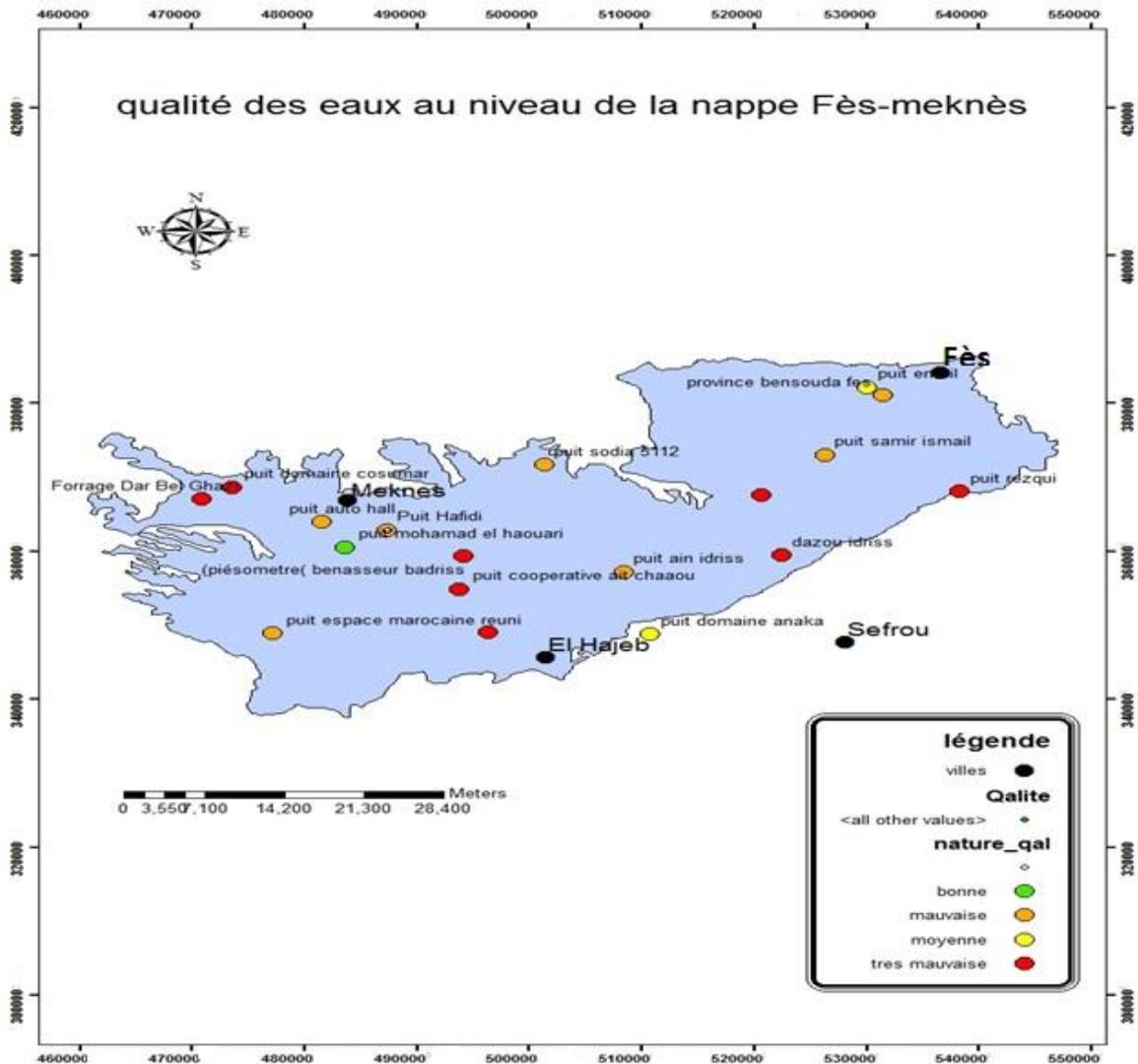


Figure 15: Carte de la qualité des eaux au niveau de la nappe Fès-Meknès

### 1. Interprétation des résultats :

Concernant la nappe profonde de Fès-Meknès, les eaux sont caractérisées par une excellente qualité, avec une minéralisation totale qui ne dépasse guère 0.5 g/l. En effet, sa grande profondeur conjuguée à sa captivité entre des couches marneuses imperméables lui confère un isolement parfait contre toute altération anthropique qui peut nuire à la qualité de ses eaux. Par ailleurs, concernant la nappe phréatique de Fès/Meknès, la qualité des eaux est caractérisée par une contamination notable notamment par les nitrates.

## **Chapitre III : L'aménagement de la recharge artificielles de la nappe de Saiss**

## **V. L'aménagement de la recharge artificielles de la nappe Saiss**

La recharge artificielle des nappes à partir des eaux de surface peut s'effectuer à partir d'un oued après l'installation d'une prise d'eau, implantée à partir de quelques travaux de terrassements; ou encore au moyen de canaux élémentaires à creuser ou à aménager pour amener l'eau jusqu'à un bassin à creuser. Dans ce dernier, des puits empierrés sont creusés au préalable, pour permettre l'infiltration de l'eau. En période pluvieuse (où on a des crues), quand des eaux s'écoulent dans l'oued, une partie de l'écoulement est détournée via les canaux jusqu'au bassin, où elles s'infiltrent pour réalimenter la nappe. Les eaux détournées de l'oued ne rejoignent plus la mer mais l'aquifère.

### **1. Objectifs de la recharge artificielle**

La recharge peut se faire par introduction d'eau directement dans l'aquifère par puits, galeries ou autres moyens comme on le verra ; elle peut être induite par pompage en abaissant les niveaux d'eau afin d'augmenter l'infiltration dans les lits des oueds, ou encore induite à partir de systèmes d'irrigation. Alors L'alimentation artificielle consiste à introduire de l'eau de surface dans une formation perméable par l'intermédiaire d'un dispositif aménagé à cet effet afin de :

- Stockage saisonnier et récupération d'eau.
- Création de réserve stratégique d'eau.
- Stockage à courte durée (où on a des averses) pour éviter les risques des crues.
- Remontée des niveaux d'eau et accroissement des débits dans les puits de production.
- Réduction des coûts de pompage par la remontée des niveaux.
- Stockage d'énergie hygrothermique.
- Protection et restauration de l'écoulement de cours d'eau.
- Contrôle des inondations.
- Dessalement des eaux d'aquifère (surtout au niveau des côtières).

### **2. Conditions générales de Faisabilité de la recharge artificielle:**

La faisabilité des techniques ou dispositifs de recharge varie selon les conditions hydrogéologiques, les formations géologiques doivent être aptes à conduire et à transporter l'eau de la surface vers la profondeur, à la transférer et à l'emmagasiner.

L'aptitude d'un réservoir à l'alimentation artificielle dépend entre autres de:

1. L'état de la nappe qui conditionne le volume de remplissage ou mobilisable.
2. L'épaisseur de la tranche non saturée en nappe libre.
3. L'épaisseur et de la structure de la tranche saturée.

Le réservoir recevant la recharge artificielle doit aussi présenter une transmissivité favorable, épaisseur importante, coefficient de perméabilité élevé. Si la perméabilité est trop faible, l'opération nécessite un dispositif trop important avec de grandes étendues et des ouvrages non rentables.

### 3. Conditions générales de l'alimentation artificielle

Les étapes nécessaires pour organiser, concevoir, construire, maintenir et opérer un système pour recharger les nappes souterraines, intègrent des considérations diverses, économiques, environnementales, et légales (les droits de l'eau, les lois et les règlements), aussi bien que l'état de connaissances hydrogéologiques, les données de terrain et les procédures de tests :

1. En terrain granulaire, l'infiltration est préférable à l'injection.
2. L'infiltration optimale nécessite la conservation d'une tranche non saturée suffisante sous le dispositif de recharge.
3. Le système de prétraitement des eaux chargées doit se limiter au décanteur horizontal pour éviter le colmatage d'aquifère.
4. Localisation et dimension de l'aire d'étude ;
5. La quantité et la qualité des eaux destinées à la recharge ;
6. Profondeur de la nappe.
7. Les puits existants, leurs profondeurs et localisation ;
8. Les problèmes d'environnement possible.
9. Le coût de projet.

Au début il faut:

Disposer d'eau au moment nécessaire, de bonne qualité (éliminer les substances argileuses et organiques) et en quantité suffisante. Disposer d'un aquifère à conditions favorables : perméabilité ( $K > 10^{-5}$  m/s), bonne transmissivité et diffusivité.

- Eau d'assez bonnes qualités chimiques et bactériologiques, pour ne pas altérer la qualité de l'eau de l'aquifère.
- $T^\circ$  de l'eau  $< 25^\circ$  (des températures élevées modifient la perméabilité du milieu récepteur).
- Turbidité  $< 3$  g/l pour éviter les risques de colmatage précoce des ouvrages d'infiltration ou de l'injection.
- un débit régulier.
- une couche filtrante au fond des bassins ( $d_{10} = 0.2$  mm,  $U = 2$ ). La capacité d'infiltration varie de 2-5 m/j sur sable à 0,2-0,4m/j dans bassin à végétation.

### 4. Exploration et tests:

#### 4.1. Topographie :

L'étude de la topographie du site est la première étape technique à réaliser afin de vérifier la faisabilité du projet : En fonction de la pente de terrain (de 0.5 jusqu'à 1%),

Des cotes de fil d'eau des collecteurs d'eaux pluviales d'arrivée et de départ, Par évaluation de la capacité de stockage pour différentes cotes du niveau de l'eau et pour plusieurs implantations de la digue si elle est prévue Par approche des volumes de terrassements nécessaires.

#### **4.2. Etudes géotechniques :**

Les études géotechniques permettent d'apprécier la faisabilité de réalisation d'un bassin et de valider les esquisses de conception. Ces études permettent de définir :

- si les matériaux du sol conviennent pour une bonne stabilité des talus et pour l'éventuelle digue,

la perméabilité des matériaux, leurs modalités de compactage,

- la fondation des ouvrages, les contraintes de mise en œuvre...

Les missions des cabinets géotechniques sont normalisées : dans la plupart des cas,

#### **4.3. Hydrologie :**

L'hydrologie permet de calculer les apports en eau du bassin versant et le volume d'eau à stocker. Elle influe sur l'opportunité de ralentir les eaux de ruissellement en un point donné d'un bassin versant plutôt qu'un autre (limiter le risque de l'effet de cumul des pics de crue).

#### **4.4. Hydraulique :**

L'hydraulique permet de dimensionner le réseau de transport amont et aval ainsi que les ouvrages techniques du bassin. Les calculs permettent de préciser le volume de stockage nécessaire et le comportement de l'ouvrage de rétention (temps de vidange, niveau des plus hautes eaux...).

#### **4.5. Qualité des eaux :**

Elle permet de cerner les objectifs de dépollution des eaux de ruissellement dans l'ouvrage de rétention. Cette étude est obligatoire dans le cas de bassin en eau, afin de prévenir les risques d'eutrophisation.

- ❖ Eau d'assez bonnes qualités chimiques et bactériologiques, pour ne pas altérer la qualité de l'eau de l'aquifère.
- ❖  $T^\circ$  de l'eau  $< 25^\circ$  (des températures élevées modifient la perméabilité du milieu récepteur).
- ❖ Turbidité  $< 3$  g/l pour éviter les risques de colmatage précoce des ouvrages d'infiltration ou de l'injection.
- ❖ Un débit régulier.
- ❖ une couche filtrante au fond des bassins ( $d_{10} = 0.2$  mm,  $U = 2$ ). La capacité d'infiltration varie de 2-5 m/j sur sable à 0,2-0,4m/j dans bassin à végétation.

## 5. Les types des solutions :

Les solutions retenues sont utilisées pour réalimenter la nappe libre située à des profondeurs d'une dizaine de mètres ou plus. Elles s'appuient à des degrés divers selon les dispositifs sur les processus hydrodynamiques de l'infiltration, le type d'eau et sa provenance, sa qualité, la situation ou non sur un cours d'eau, etc.

Les types de dispositifs ainsi que les secteurs favorables à la recharge sont choisis à la lumière des données et résultats de la mission.

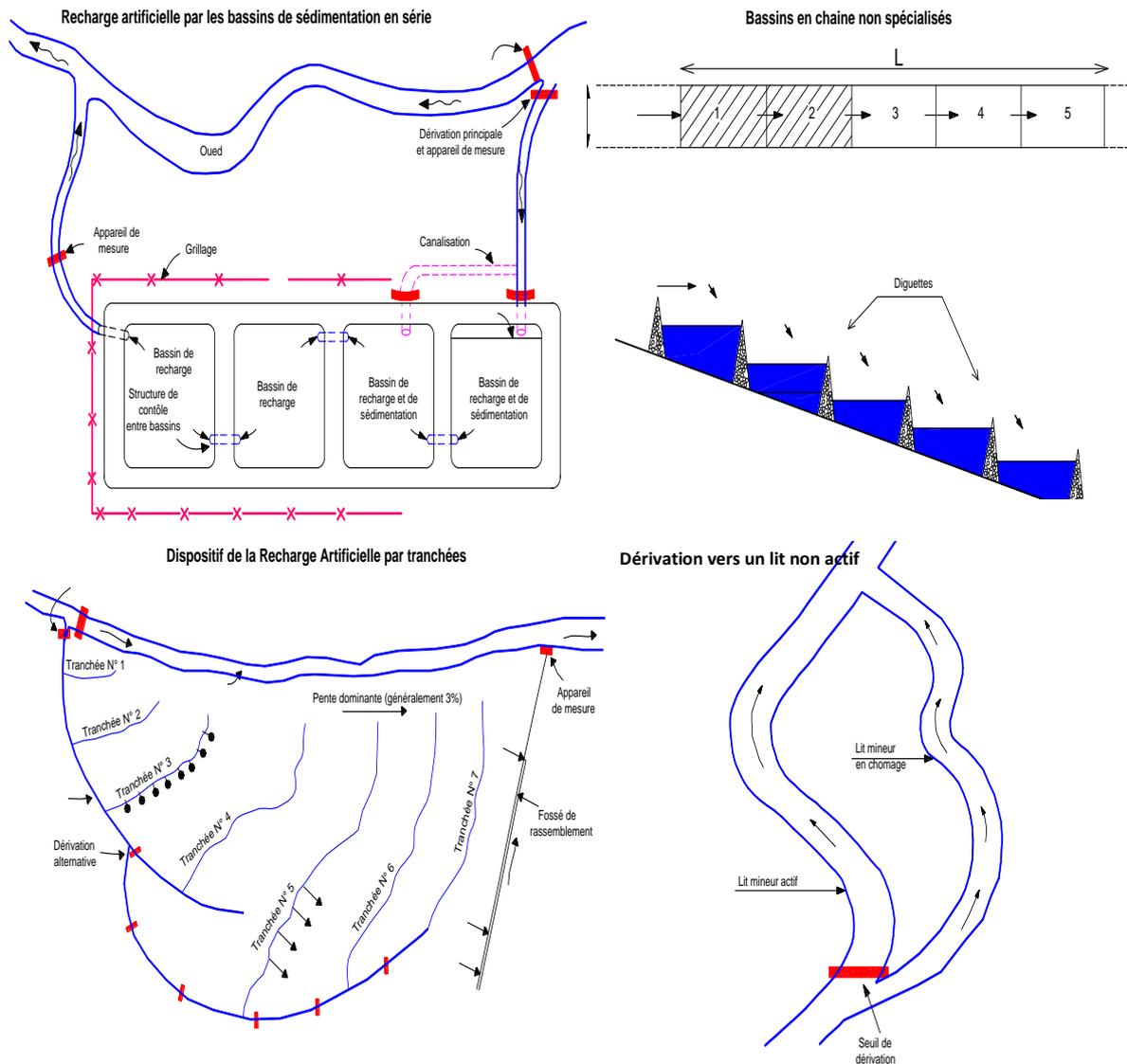


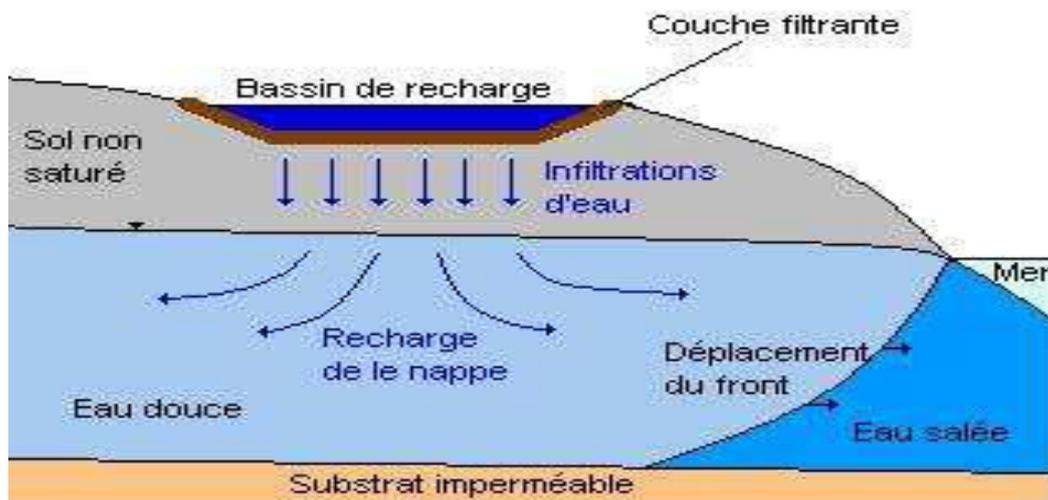
Figure 16: Dispositifs de recharge artificielle (RA)

Type	Solutions proposes
Type 1 : dispositifs de recharge par seuils ou digues d'infiltration	Seuils d'infiltration sur Oued Tizguit
	Digue et seuils d'infiltration sur Oued Chko
	Seuils d'infiltration sur Oued Bourkaiz
	Seuils d'infiltration sur Oued Atchane
Type 2 : dispositifs de recharge par injection (puits d'injection)	Puits d'injection dans le secteur d'Ablouz
	Puits d'injection dans le secteur d'El Atchane
	Puits d'injection dans le secteur de Bittit
Type 3 : dispositifs de recharge par infiltration des eaux épurées au niveau des stations d'épuration	Lits ou tranchées d'infiltration des eaux épurées de la ville d'El Hajeb

**Tableau 3: Dispositifs de recharge par seuils ou digues d'infiltration**

## 6. Injection superficielle :

Réalisée à partir d'eau de surface dans des bassins, des tranchées, Des fossés et d'autres dispositifs, où l'eau s'infiltré dans le sol et s'écoule vers le bas pour recharger les aquifères. Il faut alors aménager des cours d'eau, construire des canaux d'infiltration ou des bassins.



**Figure 17: Injection superficielle**

Le dispositif de recharge se compose de deux types des bassins:

- Un grand bassin de décantation des dimensions variables.
- des bassins d'infiltration des dimensions variables.

La prise d'eau se fait à partir de l'oued et ceci grâce à une amenée d'eau en béton.



**Figure 18: Bassin de décantation**



**Figure 19: Deux bassins d'infiltration**



**Figure 20: Les différents dispositifs de RA par injection superficielle**



**Figure 21: Aménagement d'Oued Bourkaiz**

## 7. Présentation

L'Oued Bourkaiz est issu de la source Ain Bou Rkaïz (100 à 800 l/s) et correspond à une incision particulièrement importante dans le relief. Les calcaires lacustres y occupent une importante superficie et sont très épais : plus de 50 m visibles. Elles surmontent toutes la zone d'artésianisme de la nappe profonde qui s'enfonce de plus en plus sous les marnes tortoniennes.

## 8. Objectif et consistance de l'aménagement :

L'aménagement a pour objectif l'amélioration de la recharge de la nappe du Saiss, au niveau de l'oued Bourkaiz, par une partie des eaux de la source d'Ain Bourkaiz.

Le lit de l'oued Bourkaiz présente une pente faible de 0.001 à 0.003 m/m. De plus, les formations sous-jacentes présentes une forte perméabilité grâce à leur nature karstique. L'oued Bourkaiz présente des conditions favorables à un dispositif de recharge par seuils d'infiltration en cascade.

Le dispositif proposé est constitué d'une batterie de trois (3) seuils d'infiltration répartis le long de l'oued Bourkaiz en aval de la source.

### 4.1. Caractéristiques des seuils d'infiltration :

Les calculs hydrauliques ont permis de caler les cotes projet des différents seuils sur terrain naturel (TN). La hauteur des seuils est de 1.2 m sur TN. La longueur des seuils varie en fonction de la géométrie du cours d'eau.

Sites	X (m)	Y (m)	Longueur (m)	Hauteur sur TN (m)
Seuil 1	527 366	370 639	20	1.2
Seuil 2	527 336	371 727	25	1.2
Seuil 3	527 694	372 740	25	1.2

**Tableau 4: Caractéristiques de la digue du lac collinaire de Oued Bourkaiz**

#### 4.2. Modélisation hydraulique:

Les simulations hydrauliques montrent l'impact des ouvrages sur la ligne d'eau au niveau de l'oued Bourkaiz.

On note une augmentation de la charge en amont des seuils couplée à une surface d'échange avec le terrain naturel plus importante. De plus le temps de séjour d'une particule d'eau dans l'oued est amélioré par le stockage occasionné par les différents seuils.

La surface de contact de l'eau avec le terrain naturel a augmenté d'environ 1 ha seulement, ceci est dû au caractère encaissé de la vallée de l'oued. Toutefois, l'impact des seuils sur la ligne de charge est très bien réparti le long du tronçon du fait de la faible pente du lit. Quant au temps de séjour des particules d'eau, il a été augmenté d'environ 5.63 h.

#### 4.3. Estimation des volumes infiltrés :

Les résultats obtenus pour l'estimation des volumes journaliers infiltrés avec et sans seuils sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Oued	Etat	Volume infiltré (m <sup>3</sup> )
Bourkaiz	Sans seuils	308 744
	Avec seuils	355 003
Gain théorique en infiltration (m <sup>3</sup> )		46 259
Débit théorique d'infiltration (m <sup>3</sup> /s)		0.535

**Tableau 5: Gain théorique en volumes infiltrés dans l'Oued Bourkaiz**

#### 4.4. Coût:

Les ouvrages proposés sont des seuils en béton armé permettant de ralentir l'écoulement au niveau de l'oued Bourkaiz afin de favoriser la recharge artificielle de la nappe. Les seuils sont disposés en une batterie de 3 seuils successifs répartis le long du cours d'eau. Le coût global de l'aménagement est estimé à 0.81 MDH TTC.

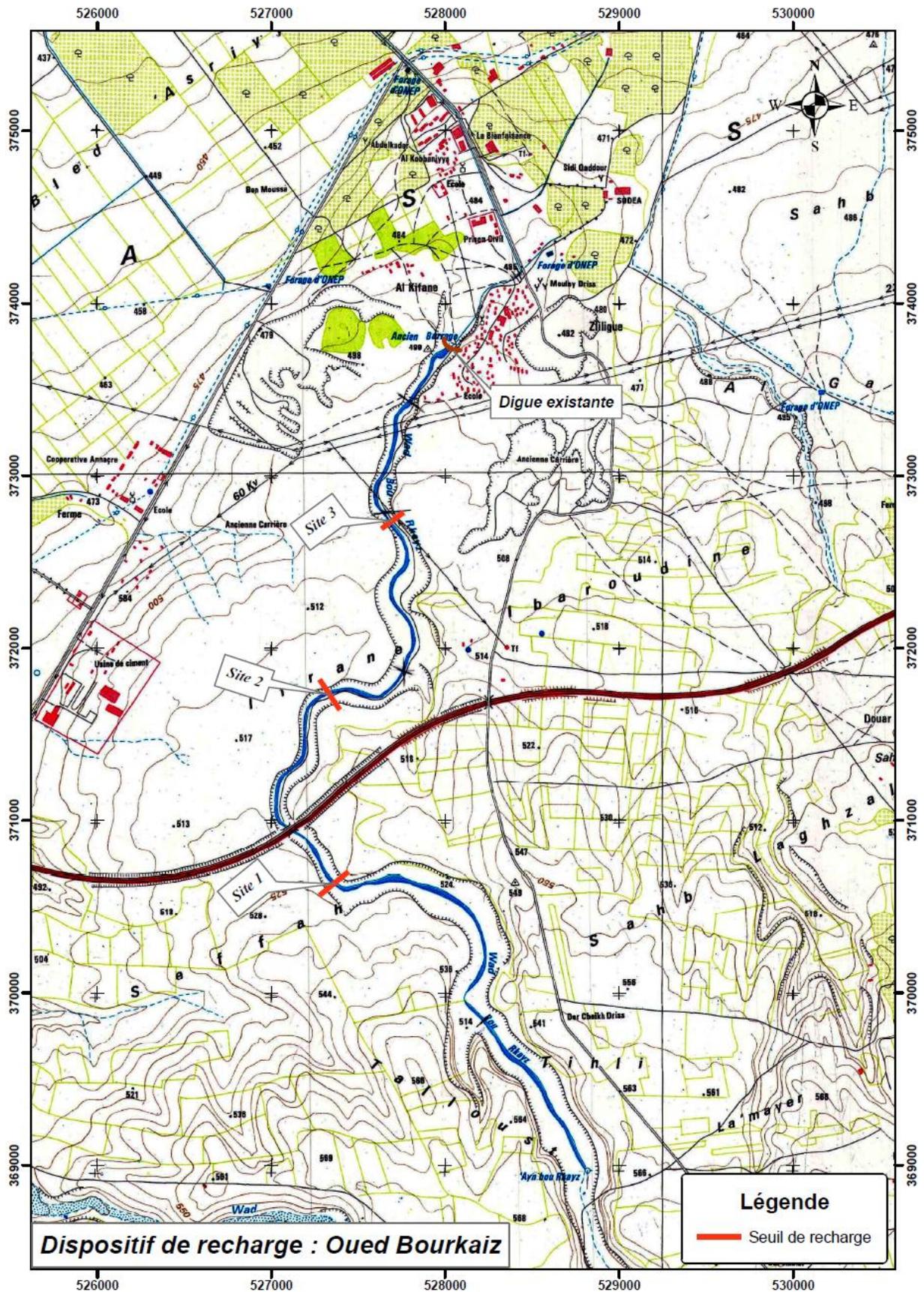


Figure 22: Dispositifs de recharge sur oued Bourkaiz (ABHS)



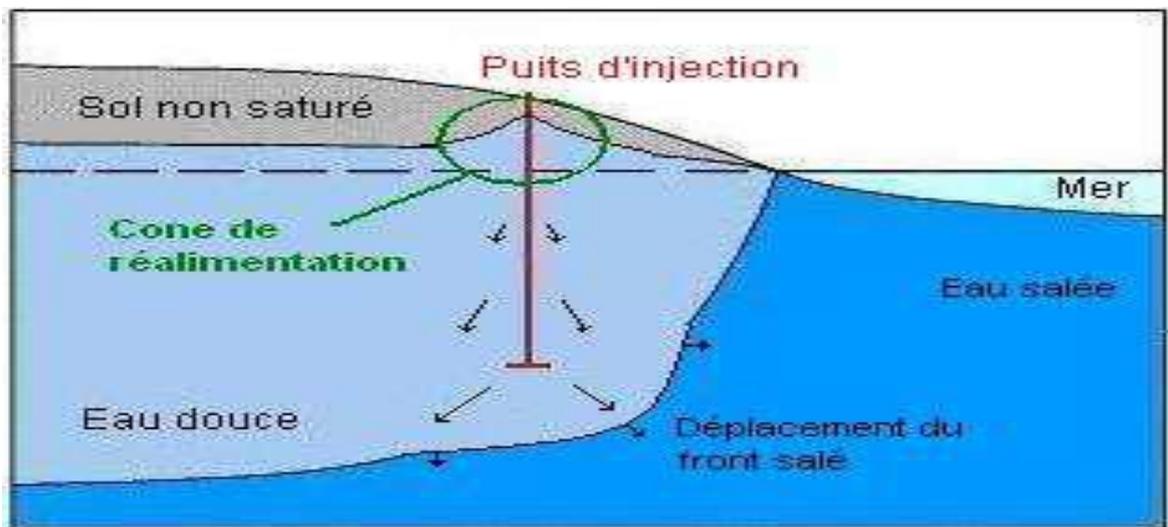
**Figure 23: Dispositif de recharge artificielle par puits d'injection (ABHS)**

#### **4.5. Puits d'injection**

Puits d'injection: puits avec gros massif filtrant à usage double, alimentation et extraction. Le débit spécifique d'injection (QSI) est proportionnel à différents paramètres.

Les solutions proposées visent une recharge de la nappe à travers sa zone non saturée en maintenant une charge plus ou moins constante tout en traversant les couches de surface.

Cette recharge consiste à injecter par déversement latéral, à partir de canaux ou séguias à construire ou existants à reprofiler, dans des puits avec débit maîtrisé par des vannes et des murs de contrôle.



**Figure 24: Puits d'injection**

#### 4.6. Secteur de l'Oued Ablouz :

Deux dispositifs de réalimentation sont proposés avec un espacement de 1 à 2 km.

Les secteurs choisis se situent à 4 km et à 5.5 km de la source Ain Ablouz, sur la rive droite de l'Oued Ablouz. La profondeur de la nappe dans ces secteurs est de 35 à 40 m.

Un dispositif est constitué de 4 puits de 1 m de diamètre, munis de massifs de graviers filtrants de 5 cm d'épaisseur, distants de 5 à 15 m. L'injection est envisagée à charge constante de 30 m. Avec une perméabilité de  $10^{-4}$  m/s, la capacité d'injection par puits est de 10 l/s (1000 m<sup>3</sup>/jour). Au total, 8 puits peuvent absorber ensemble 80 l/s.

L'eau injectée provient de l'excédent de la source Ain Ablouz, qui sera amenée par le réseau des seguias existants et des canaux à construire jusqu'aux sites de recharge. Les eaux de la source Ain Ablouz sont de bonne qualité. Aucune station de filtration n'est envisagée. Le coût estimatif du projet est de 3 950 000 Dh.:



**Figure 25: Oued Ablouz**

#### 4.7. Secteur de l'Oued El Atchane :

Deux dispositifs de réalimentation sont proposés. Les secteurs choisis se situent à 3 km et à 5.5 km de la source Ain Beida, respectivement sur la rive droite et la rive gauche de l'Oued Atchane. La profondeur de la nappe dans ces secteurs est de 35 à 40 m.

Chaque dispositif est constitué de 4 puits de 1 m de diamètre, munis de massifs de graviers filtrants de 5 cm d'épaisseur, distants de 5 à 15 m.

L'injection envisagée sera effectuée à charge constante de 30 m. Avec une perméabilité de  $10^{-4}$  m/s, la capacité d'injection par puits est de 10 l/s (1000 m<sup>3</sup>/jour). Au total, 8 puits peuvent absorber ensemble 80 l/s.

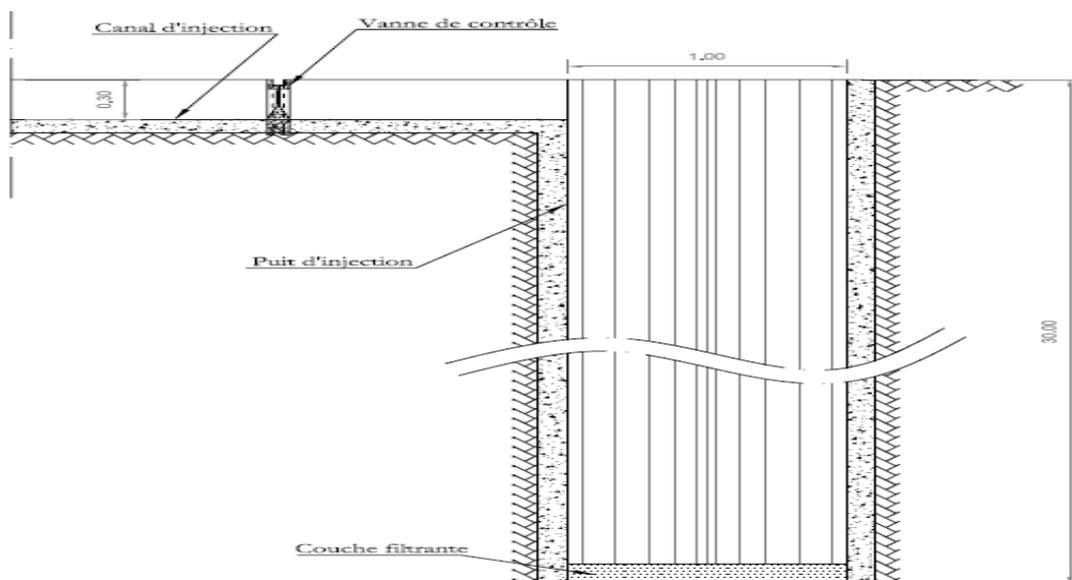
L'eau injectée provient de l'excédent de la source Ain Beida et sera amenée par le réseau des seguias existants et des canaux à construire jusqu'aux sites de recharge. Les eaux de la source Ain Beida étant de bonne qualité, aucune station de filtration n'est envisagée. Le coût estimatif du projet est de 3 950 000 Dh.



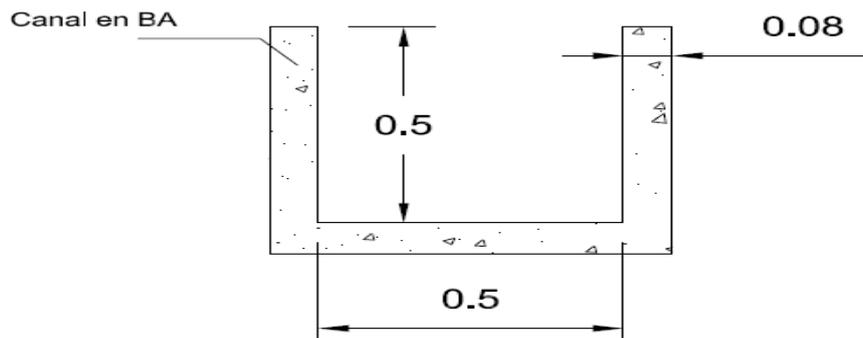
**Figure 26: Oued Atchane Site1 (aval) (ABHS)**



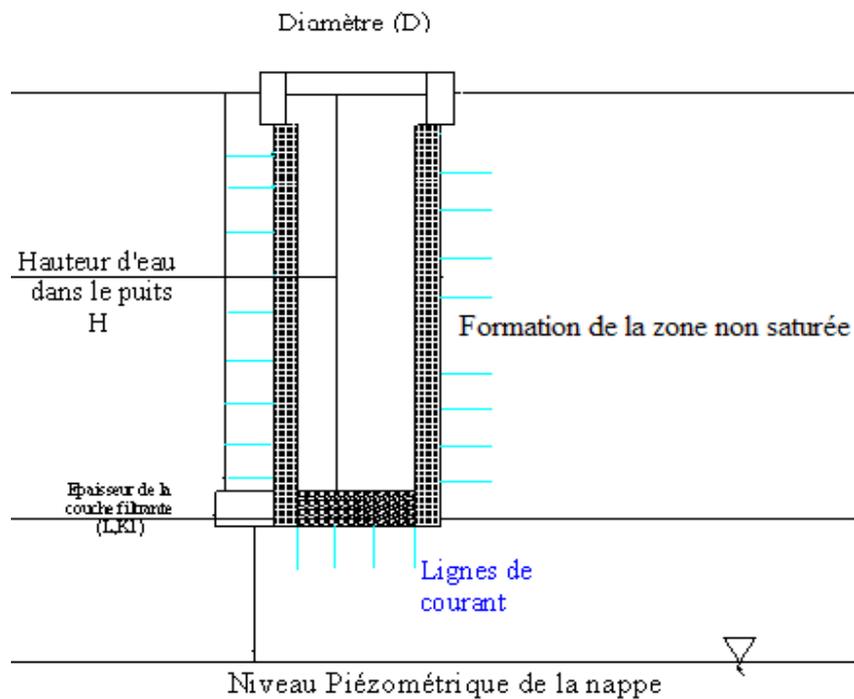
**Figure 27: Oued Atchane Site (2) (ABHS)**



**Figure 28: Coupe transversale type d'un puits d'injection pour le secteur d'Ain Ablouz et Oued El Atchane (ABHS)**



**Figure 29: Coupe type du canal d'amenée des eaux vers le dispositif d'injection (ABHS)**



**Figure 30: Puits d'injection à charge constante dans la zone non saturée (ABHS)**

Le débit d'infiltration est calculé par la formule suivante (formule de Darcy):

$$Q = 1000 \cdot \pi \cdot D \cdot K$$

**Équation 1: Formule de Darcy**

Q : débit d'infiltration en (l/s)

D : diamètre du puits (m)

K : perméabilité horizontale de la zone non saturée (m/s)

P : profondeur d'injection ou charge constante d'injection (m)

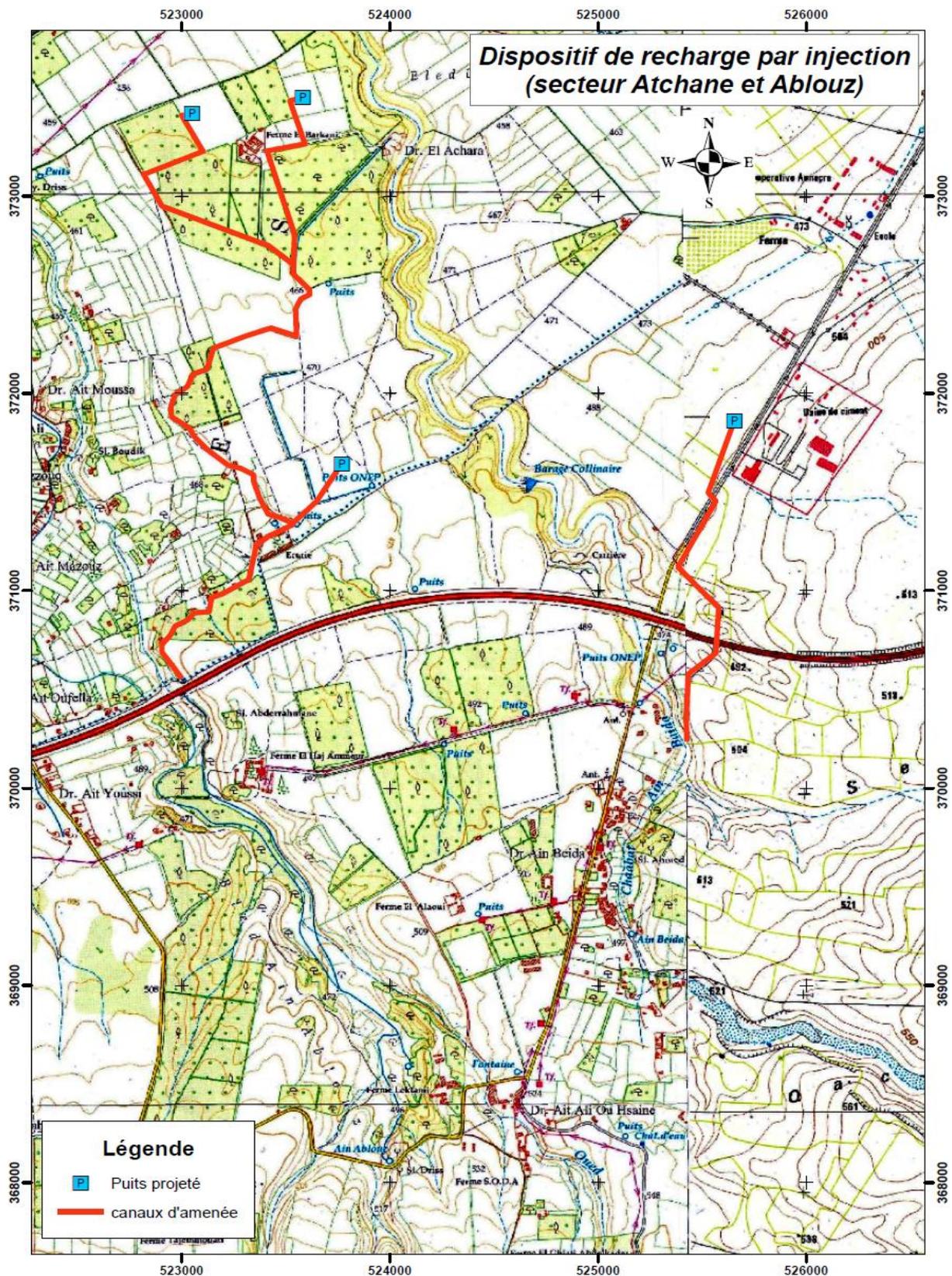


Figure 31: Carte des dispositifs d'injection dans le secteur Ain Ablouz et Atchane (ABHS)

## 9. Eaux usées dans l'aire de l'étude :

Le programme de dépollution du bassin de Sebou adopté dans le cadre du Programme National d'Assainissement Liquide et d'Épuration des Eaux Usées (PNALEEU), prévoit la réalisation de 4 stations d'épuration dans la zone d'étude.

## 10. Recharge par infiltration des eaux épurées de la ville d'El Hajeb :

### 10.1. Eaux usées dans la ville d'El Hajeb

La ville d'El Hajeb est dotée d'un réseau d'assainissement liquide principalement de type unitaire, totalisant une longueur d'environ 50 km et couvrant 85% de la zone urbanisée.

La ville d'El Hajeb a fait l'objet d'une étude d'implantation d'une STEP, prévue pour l'exploitation en 2011. Le site choisi est situé en aval de toutes les zones urbanisées au NE de la ville à droite de la route vers Fès.

La station est dimensionnée pour répondre aux exigences de la norme marocaine en ce qui concerne la qualité du rejet au milieu récepteur, à savoir :

- DBO<sub>5</sub> : 120 mg/l
- DCO: 250 mg/l
- MES : 150 mg/l.

L'horizon de calcul est l'année 2030. Le débit total moyen journalier calculé pour cet horizon à la sortie de la STEP est de 3089 m<sup>3</sup>/j. Il est en 2010 de 2191 m<sup>3</sup>/j et en 2015 de 2471 m<sup>3</sup>/j.

### 10.2. Objectif et consistance de l'aménagement

L'aménagement a pour objectif d'alimenter la nappe par l'infiltration des eaux épurées de la ville d'El Hajeb.

Deux variantes d'infiltration sont étudiées. Leurs caractéristiques sont résumées dans le tableau suivant :

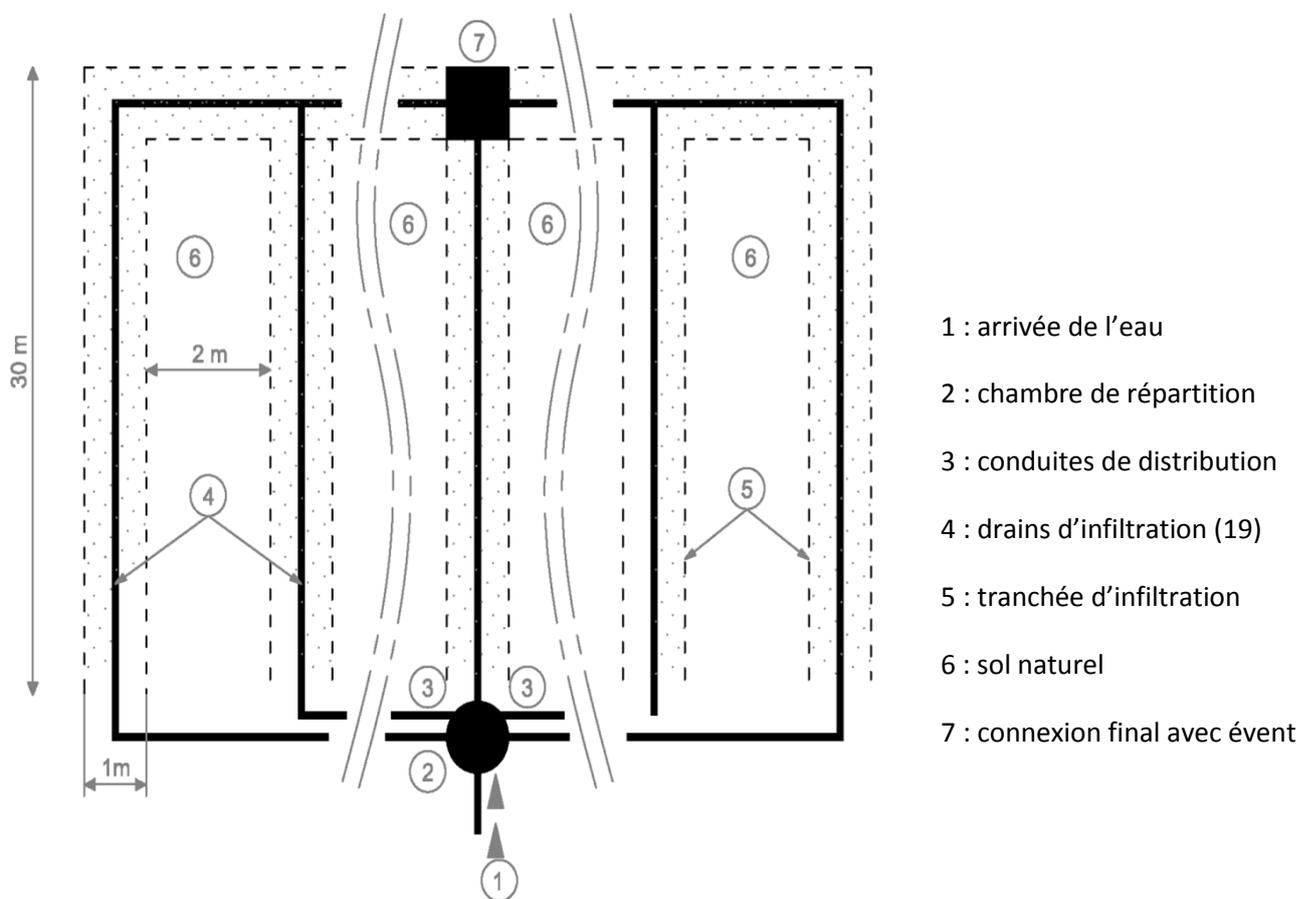
Caractéristique	Valeur	Unité
Debit	2015	m <sup>3</sup> /j
Vitesse d'infiltration	4.00E-05	m/s
Surface nécessaire	583	m <sup>2</sup>
<b>Variante 1 : Tranchées d'infiltration</b>		
Longueur	30	m
Largeur	1	m
Surface d'une tranchée	30	m <sup>2</sup>
Nb tranchées nécessaires	19	
Distance entre 2 tranchées	2	
Surface d'extension du dispositif	1650	m <sup>2</sup>
<b>variante 2 : Lits d'infiltration</b>		
Nombre de lits	2	
Surface de chaque lit	292	m <sup>2</sup>
Longueur	29	m
Largeur	10	m
Nb drains dispersants	19	

**Tableau 6: Les principales caractéristiques des deux variantes de dispositifs d'infiltration des eaux épurées de la ville d'El Hajeb**

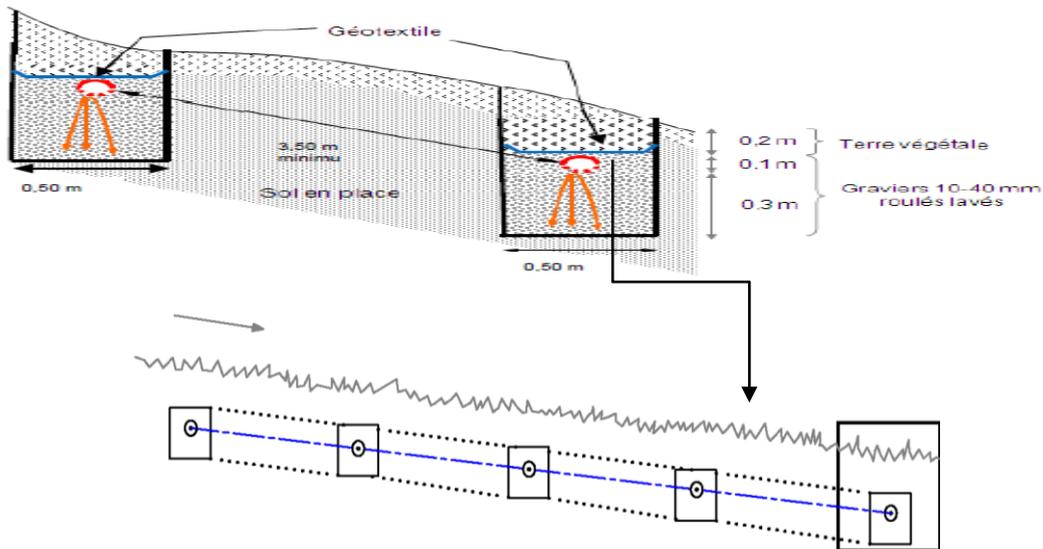
Un lit d'infiltration est un réseau de conduites perforées disposées dans des tranchées remplies de gravier pour dissiper l'effluent issu d'un système de stockage/traitement à base d'eau ou une technologie de traitement.

L'effluent est introduit dans une chambre de distribution qui répartit l'écoulement dans plusieurs canaux parallèles. Un petit système de dosage injecte l'effluent sous pression dans le champ d'infiltration à intervalles de temps déterminés par un minuteur (habituellement 3 à 4 fois par jour). Cela assure que toute la longueur du champ est utilisée et que des conditions aérobies sont établies entre les injections. Chaque tranchée est profonde de 0.3 à 1.5m et large de 0.3 à 1m. Le fond de chaque tranchée est rempli d'environ 15cm de cailloux propres et une conduite perforée de distribution est posée au dessus. Plus de cailloux couvrent la conduite de sorte qu'elle soit complètement entourée.

La couche de cailloux est couverte d'une couche de tissu géotextile pour empêcher les petites particules de colmater la conduite. Une couche finale de sable et/ou de terre végétale couvre le géotextile et remplit la tranchée jusqu'au niveau du sol. La conduite devrait être placée à 15cm de la surface du sol pour éviter que l'effluent ne s'écoule en surface. Les tranchées devraient avoir une longueur de moins de 20m pour un espacement de 1 à 2m.



**Figure 32: Plan des tranchées d'infiltration(ABHS)**

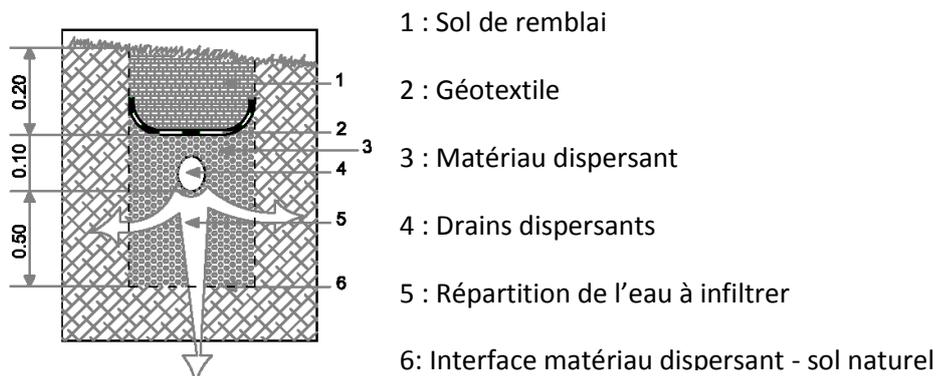


**Figure 33: Coupe en travers de tranchée**

### L'infiltration

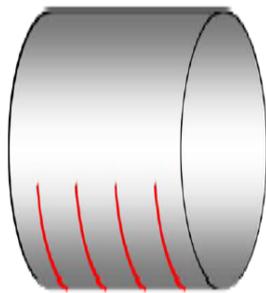
Les tuyaux d'épandage posés avec une pente régulière jusqu'à 1 % dans le sens de l'écoulement, sont placés dans un ensemble de tranchées parallèles. L'écartement d'axe en axe des tranchées doit être égal ou supérieure à 1,50 mètre. La largeur de chaque tranchée d'épandage est de 0,5 mètres ou 0,7 mètres. Le fond de fouille a une pente identique à celle des tuyaux. La longueur d'une ligne de tuyaux d'épandage ne doit pas excéder 30 mètres. Le choix du nombre de tranchée en dépend. Les tranchées sont composées de bas en haut:

- D'une couche de graviers roulés lavés (10-40 millimètres) de 0,3 mètres à 0,4 mètres d'épaisseur selon la largeur de la tranchée, dans laquelle sont noyés les tuyaux d'épandage.
- D'un géotextile perméable à l'eau et à l'air.
- D'une couche de terre végétale de 0,20 mètres d'épaisseur.



### 10.3. Tuyau d'épandage

Un lit d'infiltration se colmeta avec le temps, bien qu'avec une technologie fiable de traitement primaire, cela devrait prendre plusieurs années. En fait, un lit d'infiltration devrait exiger un entretien minimal, cependant si le système cesse de fonctionner efficacement, les conduites devraient être nettoyées et/ou enlevées et remplacées. Pour maintenir le lit d'infiltration, il ne devrait y avoir aucune plante ni aucun arbre au dessus de celui-ci, et aucune circulation dense qui pourrait écraser les conduites ou compacter le sol.



Canalisations rigides :  
diamètre : 100 millimètres  
avec fentes de 5 millimètres minimum, espacées tous les 0,1 à 0,15 mètres  
Pente : 0,5 à 1 %

**Figure 34: Lit d'infiltration (ABHS)**



**Figure 35: Tranchées d'épandage parallèles à la pente**

#### **10.4. Estimation des coûts d'investissement de la réalisation des dispositifs**

Le coût global des travaux pour chaque variante est estimé à 960 000 Dh (TTC). Ce prix n'inclut pas le coût du terrain à acquérir.

Les lits d'infiltration exigent de grands espaces et un sol de bonne capacité d'absorption pour une dissipation efficace de l'effluent.

Pour prévenir toute contamination, un lit d'infiltration devrait être localisé à au moins 30m de toute source d'eau potable. Les lits d'infiltration ne sont pas appropriés pour le milieu urbain dense. Ils peuvent être utilisés à presque toute température, bien qu'il puisse y avoir des problèmes de mélange avec l'effluent dans les zones où la terre gèle.

# Conclusion

Dans notre rapport nous avons réalisé une monographie pour la nappe Fès-Meknès. Les bases des données ont été fournies par l'Agence du Bassin hydraulique de Sebou.

La connaissance de la lithologie et l'hydrochimie de la nappe Fès-Meknès pour connaître les différents faciès chimiques qui les constituent et de suivre l'évolution piézométrique de la nappe et l'étude de la qualité des eaux au niveau de cette nappe à partir des paramètres de la qualité. Cette qualité est très mauvaise à cause de la teneur très élevée de nitrate.

À partir des analyses effectuées pendant les campagnes de mesure en 2012 au niveau des 20 points de mesure et selon les études que nous avons faites à l'intermédiaire des logiciels (ArcGIS, diagramme) des tableaux des normes, on peut dire que la qualité des eaux souterraines au niveau de la nappe de Fès-Meknès a été jugée bonne au niveau de 5% des stations prospectées, moyenne sur 15% et dégradée sur 80% (très mauvaise 50% et mauvaise 30%). Les zones les plus touchées par cette contamination coïncident avec les zones à fort potentiel d'irrigation notamment Ain Taoujtate, Sbaa Ayoune, dar Bel Ghahzi....

À ce qui concerne la recharge artificielle, nous avons remarqué qu'il faut faire des études préalables avant la faisabilité de la recharge artificielle où il faut choisir des terrains favorables à chaque type de dispositifs de la recharge artificielle comme le cas des dispositifs et les sites choisis par l'ABHS afin d'améliorer la recharge dans la nappe Fès-Meknès pour éviter les risques de la surexploitation des eaux souterraines au niveau de la nappe.

## **Bibliographie**

- ABHS 2006: rapport d'évaluation des ressources en eau souterraines.
- PDAIRE 2006:Présentation du bassin de Sebou.

## **Webliographie**

[WWW.AIN.FR](http://WWW.AIN.FR)