



*Université Cadi Ayyad*

**RAPPORT DE STAGE DE FIN D'ETUDES**  
**Licence des sciences et techniques**  
**Eau et Environnement**  
**LST – EE**

**Evolution du dispositif de la recharge  
artificielle de la nappe de Souss  
Région de Souss-Massa (MAROC)**

*Réalisé par*

**Karima OUHAJOU**  
**Fatima-Zohra SAGHIR**

*Soutenu, le 16 juin 2015*

**Encadrant :**  
**Mme Yamina Bourgeoini** (FST-  
Marrakech)

**Parrain :**  
**Mme Fatiha FDILE** (ABHSMD)  
**Mr. Hamza** (ABHSMD)

**Membres du jury: Mme Yamina Bourgeoini**  
**Mr. Hakkou Rachid**

**ANNEE UNIVERSITAIRE : 2014-2015**

# Sommaire

Introduction.....	1
Chapitre I : Généralités sur la recharge artificielle .....	3
I-1- Définition de la recharge artificielle de la nappe (RAN) .....	4
I-2- Expérience de la RAN.....	4
I-2-1- Expérience de la RAN à l'échelle nationale.....	4
I-2-2- Expérience de la RAN à l'échelle internationale .....	5
I-3- Conditions d'application de la RAN .....	5
I-3-1- Conditions hydrologique.....	5
I-3-2- Conditions hydrogéologique.....	6
I-4- Dispositif de la RAN .....	6
I-4-1- La RAN par injection .....	6
I-4-2- La RAN par infiltration .....	6
Chapitre II : Présentation de la zone d'étude.....	7
II-1- La région du Souss .....	8
II-2- Contexte climatique .....	8
II-3- Contexte géologique .....	8
II-4- Dynamique de la nappe :.....	11
II-4-1- Bilan de la nappe du Souss .....	11
II-4-2- Baisse piézométrique de la nappe du Souss .....	13
II-4-3- Conditions aux limites.....	14
II-5- La surexploitation des ressources en eaux.....	15
Chapitre III : Application de la recharge artificielle dans la nappe du Souss.....	16
III-1- Caractéristiques principales de l'aquifère .....	17
III-1-1- Généralité .....	17
III-1-2- La nappe du Souss .....	17
III-2- Dispositif de la recharge artificielle .....	19
III-2-1- Barrage Aoulouz .....	19
III-2-2- Seuils.....	19
III-3- Impact des lâchers sur la nappe du Souss .....	21
Chapitre IV : Évaluation du rendement de la RAN dans la nappe du Souss.....	27
IV-1- Problème rencontré .....	28
IV-2- Dégradations des seuils :.....	28
Conclusion.....	33
Présentation de l'Organisme .....	34
Liste des figures :.....	35
Liste des tableaux :.....	36
Liste des acronymes :.....	36
Référence:.....	37

## **Remerciements**

Nous tenons tout spécialement à remercier notre professeur et encadrant Mme Bourgeoini pour la gentillesse et la spontanéité avec lesquelles elle a bien voulu diriger ce travail.

Nous avons eu le grand plaisir de travailler sous direction, et nous avons trouvé en vous le conseiller et le guide qui nous a reçues en toute circonstance.

Nous espérons être dignes de la confiance que vous nous avez accordée et vous prions cher professeur de trouver ici le témoignage de notre sincère gratitude.

Nos remerciements s'adressent également à Mr. Rachid Hakkou pour avoir accepté de siéger parmi les membres du jury.

Nos vives gratitudes pour les professeurs Mr Lakbir Ouhajou et Mr Hassan Mehddad qui ont été d'un grand soutien pour nous et n'ont pas hésité à nous porter toute leur aide et leur savoir faire pour mener à bien notre mission. Merci pour leur disponibilité, leurs conseils et leur écoute.

Nous voulons aussi remercier les encadrants de notre stage Mr Hamza El Hamri et Mme Fatiha Fdil pour leurs explications et les critiques constructives qu'ils nous ont données.

**A mes très chers parents**

Aucun mot ne saurait exprimer ma profonde gratitude et ma sincère reconnaissance en vers vous.

Je vous dois ce que suis, vos prières et vos sacrifices m'ont comblés tout au long mon existence. Puisse Dieu tout puissant vous procure santé, bonheur et prospérité

**A mes chers frères**

Avec toute mon affection, je vous souhaite tout le bonheur et toute la réussite. Trouvez dans ce travail, mon estime, mon respect et mon amour.

**A la famille Ouhajou**

A tous les moments passés avec vous, à tous nos souvenirs, merci pour votre générosité. Je vous souhaite à tous longue vie pleine de bonheur et de prospérité

**A mes amies**

Vous m'avez soutenu et comblé tout au long de mon séjour, que ce travail soit un témoignage de mes sentiments les plus sincères et les plus affectueux

- *Fatima Zohra Saghir* -

A mes très chers parents

Sans lesquels la vie n'aura aucun sens, des parents que l'on serait trouver des mots les décrivant. Je vous remercie du fond du cœur pour votre amour

inconditionnel, Vos sacrifices, votre confiance

J'espère que j'ai pu être à la hauteur de vos attentes

Que dieu vous protège

A mes chères sœurs Mounia et Ghizlane et à mon chère frère Habib

Pour votre tendresse et précieux encouragements

A toute ma famille

A mon binôme Fatima-Zohra et toute la famille Saghir

A mes amies pour votre aide ainsi que vos conseils si précieux

- *Karima Ouhajou* -

# Introduction

---

Dans l'attention de l'obtention du diplôme de licence en Eau et Environnement, on a effectué un stage de fin d'études au sein de l'Agence du Bassin Hydraulique de Souss-Massa (ABHSM) à Agadir durant le mois de Mai 2015.

De nos jours les ressources en eau rencontrent de nombreux problèmes ce qui rend l'accès à l'eau potable de plus en plus difficile. Parmi ces problèmes on cite :

- La perpétuelle augmentation de la population. Elle est passée de 4,8 milliards en 1984 à 6,8 milliards en 2008.
- La surexploitation des eaux souterraines et leur mauvaise gestion à l'échelle internationale cause ainsi une baisse du niveau des nappes souterraines voire même leur assèchement et/ou l'avancement du front marin

Aux problèmes cités ci-dessus s'ajoutent les changements climatiques (sécheresse, les inondations, la fonte des glaciers). Les pays à risques sont :

En Asie : l'Irak, l'Ouzbékistan, la Syrie, le Pakistan etc. ;

En Afrique : la Somalie, la Mauritanie, le Soudan, le Niger, etc. Ces régions sont considérées comme les plus vulnérables.

En Europe : l'Espagne, la Bulgarie, la Belgique...

En plus des Etats-Unis, de l'Australie et bien d'autres pays.

Cet état de fait nécessite des interventions localement et mondialement. C'est ainsi que la recharge artificielle fut adoptée comme éventuelle solution. Les Etats unis sont l'un des pays pionnier dans l'utilisation de la recharge artificielle de la nappe (RAN). A long terme la recharge artificielle des nappes a évolué d'une simple opération d'augmentation de l'infiltration naturelle à une technique plus complexe : Son utilisation pour la lutte contre la pollution dans les aquifères alluviaux poreux (formation d'une barrière hydraulique) et pour la lutte contre les intrusions salines dues aux surexploitations des aquifères .Elle utilise comme dispositif les bassins d'infiltration des eaux de surfaces, ou des puits d'injections en profondeur.

Le Maroc a adopté cette technique en premier lieu en 1951 dans la région de Tanger, puis en 1991 dans la région du Souss. Elle a pour but la réhabilitation des niveaux piézométriques de la nappe .Cependant le dispositif aménagé dans la nappe du Souss a rencontré de nombreux problèmes.

La nappe de Souss a connu une évolution exhaustive de l'utilisation des eaux souterraines. Une surexploitation inquiétante, que ça soit les prélèvements d'eau potable et industrielle ou les prélèvements d'eau d'irrigation, a causé une baisse alarmante du niveau de la nappe. Ce qui a poussé l'état à prendre des mesures afin de réhabiliter le niveau piézométrique de la nappe, et parmi les mesures prises on retrouve l'application du dispositif de la recharge artificielle (RNA)

L'objectif de notre travail est d'effectuer une étude sur l'évolution du dispositif de la recharge artificielle de la nappe du Sous. Ceci par le rendement de la recharge artificielle après l'installation des seuils et du barrage.

Le présent rapport traite le sujet en quatre chapitres :

- Un premier chapitre à propos des généralités sur la recharge artificielle
- Un deuxième chapitre consacré à la présentation de la zone d'étude
- Un troisième chapitre porte sur l'application de la recharge artificielle dans la nappe du Sous
- Un quatrième chapitre sur l'évaluation du rendement de la recharge artificielle dans la nappe du Sous

### **Méthodologie :**

Durant notre stage à l'Agence du Bassin Hydraulique on a achevé ce travail en suivant la méthodologie ci-dessous :

- Collecte de données : Les données nécessaires pour la réalisation de ce travail ont été fournis au fur et à mesure par l'encadrant au sein de ABH-SM
- Visite de terrain : Une sortie sur le terrain a été effectuée afin de visiter les seuils réalisés par ABH-SM et de voir le problème que rencontre me système de la recharge artificielle.



# **Chapitre I :**

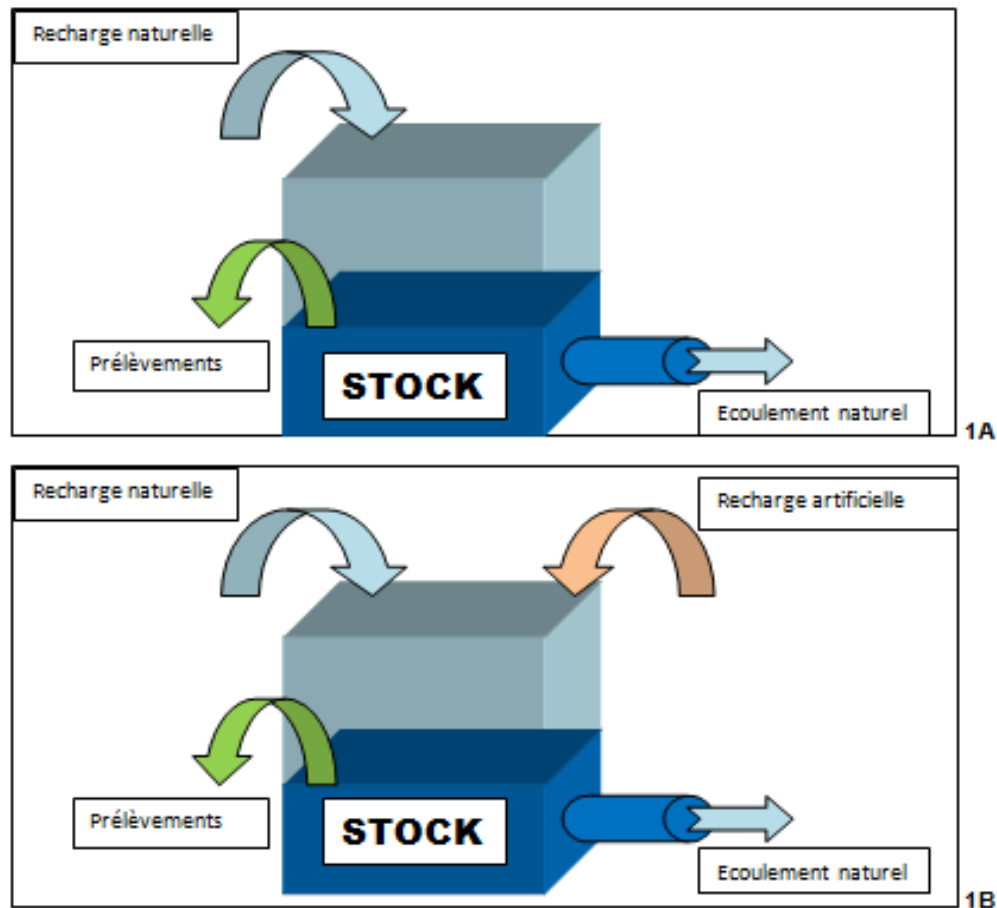
# **Généralités sur la**

# **recharge artificielle**

---

## I-1- Définition de la recharge artificielle de la nappe (RAN)

La Recharge Artificielle de la Nappe (RAN) est une nouvelle technique intégrée dans la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE). Elle a pour but de recharger une nappe donnée à l'aide de méthodes artificielles et de façon intentionnelle en utilisant ainsi des ressources en eau non exploitées telles que les eaux pluviales, les eaux des crues, les eaux usées traitées ...Elle permet aussi de stocker l'eau à long et à court terme, et de rétablir ainsi les niveaux initiaux des nappes. Cette restitution permet d'augmenter la capacité d'extraction au niveau des nappes.



**Figure 1** : Illustration du rôle de la recharge artificielle dans l'augmentation de la capacité d'extraction d'un aquifère

## I-2- Expérience de la RAN

### I-2-1- Expérience de la RAN à l'échelle nationale

Le Maroc est l'un des pays qui a commencé la technique de la recharge artificielle des nappes souterraines depuis les années 50 du 20<sup>ème</sup> siècle ; les premières expériences de la recharge artificielle ont été faites sur la nappe de Charf El Akab. Par la suite, le Maroc a utilisé cette technique au niveau de la nappe de Haouz Mejjate et la nappe de Souss.

✓ **Nappe de Charf El Akab: (superficie 20km<sup>2</sup>)**

La nappe de Charf Al Akab est située au Sud ouest de Tanger. Cette nappe, qui alimente la ville de Tanger en eau potable, a connu une baisse rapide du niveau piézométrique due au faible débit de renouvellement qui est estimé à 1,3 Mm<sup>3</sup>/an. Face à cette problématique, une recharge artificielle par infiltration par fossés à été mise en place dès 1958 à partir des oueds Mharhar et El Hachef.

✓ **Nappe du Haouz Mejjate:**

Deux méthodes de recharge artificielle ont été faites dans cette région durant une période de 3ans (1981-1984). La première méthode de réalimentation de la nappe par infiltration à partir des eaux du barrage Lalla Takerkoust à travers un ensemble de quatre bassins. Au terme de 43 jours ce dispositif a permis d'injecter un débit instantané de 0,3 m<sup>3</sup>/s (300l/s). La deuxième méthode de réalimentation par infiltration des eaux est faite au niveau du lit de l'oued Zat.

### ***I-2-2- Expérience de la RAN à l'échelle internationale***

Les débuts de la RAN étaient avec une expérience d'épandage conduite par L'USGS (United States Geological Services) à Pasadena (États-Unis) en 1895. Au cours du 19<sup>ème</sup> siècle certains pays européens (Pays-Bas, Angleterre, Allemagne) ont eu recours à cette technique suite aux pollutions engendrées par l'industrialisation. Les premiers dispositifs expérimentaux ont été effectués durant les années 50 du 20<sup>ème</sup> siècle dans l'Etat de Californie, suivis par les dispositifs opérationnels dans les Etats de Californie et Floride en 1969. suite à l'évolution de la technique et aux expériences conduites au Canada en Australie, et en Grande-Bretagne pendant les années 80 et 90., La RNA est devenue aujourd'hui un outil efficace pour l'alimentation en eau de plusieurs villes mondialement .Ex : Pays-Bas 13% des besoins en eau potable sont assurés par la RAN ,En Allemagne 60% de l'eau potable est assurée par RAN.

Actuellement, la plupart des pays industriels ont adoptés cette technique grâce à ses nombreux bénéfices sur le plan social, économique...

## **I-3- Conditions d'application de la RAN**

### ***I-3-1- Conditions hydrologique***

- La qualité d'eau destinée à la recharge artificielle de la nappe doit répondre à un certain nombre de normes
- Une bonne connaissance du climat de la région ; variation climatiques saisonnières (pluviométrie, température, évaporation, fréquence des crues, périodes de sécheresse, Fonte de la neige...)
- Présence d'une ressource d'eau capable d'assurer des volumes d'eau de recharge (période de crue, station de traitement des eaux usées, station de désalinisation, barrage ...)

### ***I-3-2- Conditions hydrogéologique***

- Formations perméables permettant la percolation des eaux de recharges
- Formations capable de stocker l'eau (épaisseur de la zone non saturée assez importante permettant unhaussement du niveau piézométrique)
- Une transmissivité adéquate (ni trop élevée ni trop basse) permettant un stockage efficace de l'eau de recharge

## **I-4- Dispositif de la RAN**

On peut regrouper les dispositifs en deux grandes catégories : la première catégorie correspond aux dispositifs ayant recours à une injection d'eau de recharge directement dans l'aquifère, tandis que la deuxième catégorie correspond aux dispositifs qui mettent en œuvre l'infiltration des eaux destinées à la recharge à travers des terrains perméables.

### ***I-4-1- La RAN par injection***

- Cette méthode consiste à utiliser des puits pour en faire un double usage (alimentation ou extraction en eau) généralement utilisé lorsqu'une couche imperméable sépare la nappe de la surface du sol, toutefois ce dispositif ne peut être utilisé pour recharger les nappes captives . Exemple du (ASR)\* *Aquifer Storage and Recovery* ;  
Les puits d'injections sont utilisés actuellement dans la région de Doukkala, Maroc.

\*(ASR) : Technique de stockage et de récupération. Elle permet de stocker l'eau en période d'abondance et la réutiliser en période de forte demande.

### ***I-4-2- La RAN par infiltration***

La RAN par infiltration se fait à partir des eaux de surface dans des bassins, des tranchées, des fossés, parmi les dispositifs de la RAN par infiltration on retrouve :

- a) Bassins spécialisés : constitué d'un bassin de décantation et de bassins d'infiltration. Ces deux bassins doivent être alimentés par un débit régulier.
  - b) Bassins en chaîne non spécialisés : une série de bassins séparés par des diguettes déversant l'un dans l'autre. ils conviennent aux écoulements s'étendant de 15 jours à 3 mois.
- Dignes et seuils : ils ont pour but d'augmenter l'infiltration de l'eau soit en étalant la lame d'eau dans plusieurs chenaux soit par retardement de l'écoulement...

# **Chapitre II :**

# **Présentation de la**

# **zone d'étude**

---

## II-1- La région du Souss

La région du Souss se trouve au Sud-ouest du Maroc dont la capitale est Agadir, avec un bassin versant de 16200km<sup>2</sup>. La nappe de Souss se trouve au niveau de la plaine de Souss sur une superficie de près 4150km<sup>2</sup>. La région du Souss située entre le 30<sup>ème</sup> et le 31<sup>ème</sup> parallèle nord, et autour du 9<sup>ème</sup> degré de longitude. Elle est limitée au Nord par la chaîne alpine du Haut-Atlas et au Sud par l'Anti-Atlas et à l'Est par le Siroua qui constitue une montagne de liaison entre les deux chaînes. Ces trois derniers englobent la plaine du Souss qui débouche à l'Ouest sur l'Océan Atlantique. Se référer à la carte citée ci-dessous

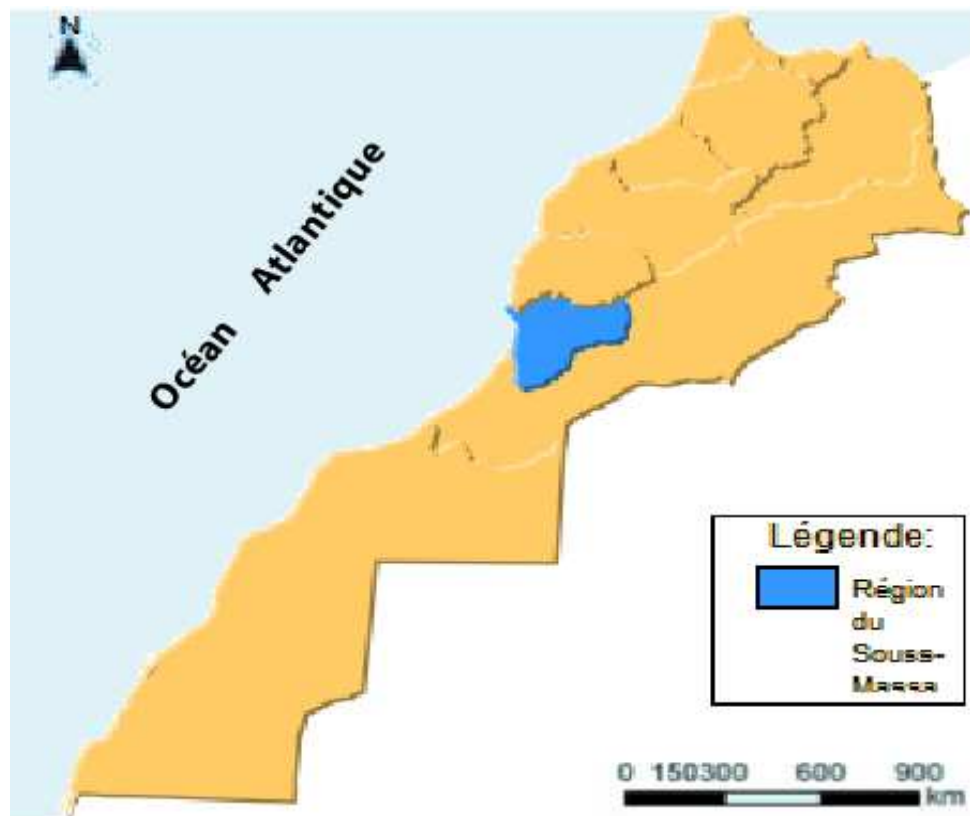


Figure 2 : Carte géographique de la région du Souss (water.gov.ma)

## II-2- Contexte climatique

Le Souss est essentiellement considéré comme région aride à semi-aride, il est influencé par le relief, la côte océanique et le Sahara.

Les précipitations dans le Souss sont en moyenne de 30 jours par an, avec 200mm dans la plaine du Souss, 300 à 600 mm dans le Haut-Atlas et de 120 à 15mm dans le sud.

L'évaporation dans cette région est de 2000 à 3000 mm annuellement.

## II-3- Contexte géologique

Le bassin de Souss est sous forme d'une dépression située entre le Haut Atlas et l'Anti-Atlas. Il est limité au Sud et à l'Est par l'Anti-Atlas, au nord par le Haut atlas occidental, à l'ouest par l'océan Atlantique.

Le bassin de Souss est décrit comme une structure synclinale d'âge tertiaire, présentant une pente de 1% vers l'Aoulouz, 0,5% dans la région de Taroudant et de 0,3% à l'embouchure.

La plaine est caractérisée par une absence de reliefs à l'exception de quelques collines du crétacé (ère secondaire) qui reposent sur des formations de remplissage du plioquaternaire.

-Les formations géologiques reconnues soit par forage, ou grâce aux affleurements de surface au piémont du Haut Atlas et de l'Anti Atlas et aussi au niveau de quelques buttes-témoins au milieu de la plaine, s'étendent depuis le Précambrien jusqu'au Quaternaire.

✓ **Le Précambrien** : Il se distingue par des formations sédimentaires et cristallines.

Le Précambrien I révèle des granites, des micaschistes, des gneiss et des roches basiques. Tandis que le Précambrien II présente une tendance sédimentaire constituée de Quartzites et schistes surmontée par des conglomérats et des roches métamorphiques et magmatiques (granites...)

✓ **Le Paléozoïque** : le Cambrien est représenté par des schistes-calcaires (Cambrien inférieur) et des schistes imperméables (Cambrien moyen). Il est reconnu à l'aide de forages hydrogéologiques effectués au niveau de la bordure Nord de l'Anti-Atlas.

✓ **Le Trias** : rencontré au niveau du Oued Issen, essentiellement détritique est constitué par une succession de : conglomérats, grès, argiles gréseuses, des marnes rouges ; le tout est couronné par des argiles gypsifères et salifères.

On note que la salinité des eaux de la nappe de Souss au niveau d'Issen est due aux évaporites du Trias.

✓ **Le Jurassique** : caractérisé par sa nature calcaire, forme un aquifère Karstique assez important dans le Haut-atlas

✓ **Le Crétacé** : Le crétacé inférieur est marqué par des formations carbonatées avec dominance des calcaires et les dolomies gréseuses avec intercalation de niveaux marneux ou gréseux. Le tout est surmonté par des dolomies et calcaires à silex du Turonien.

Le Sénonien est formé par des dolomies et calcaires gréseux ou marneux avec des intercalations d'anhydrite.

✓ **Le Cénomano-turonien** : est un aquifère profond dans la plaine du Souss.

✓ **Le Crétacé** : est reconnu grâce à des sondages et grâce à des affleurements discontinus au niveau des buttes.

✓ **L'Eocène** : Les trois niveaux de l'Eocène ont été observés plus au Nord de la plaine. L'Eocène inférieur composé principalement de marnes sableuses et gréseuses de couleur rouge.

✓ **L'Eocène moyen** : est formé par des conglomérats et des calcaires à silex. L'Eocène supérieur est formé par des marno-calcaires et marnes gréseuses. Les formations perméables de L'Eocène peuvent former à une épaisseur suffisante d'éventuels aquifères.

- ✓ **Le Pliocène** : Le Pliocène ancien est représenté par des grès, calcaires, des couches lumachelliques et des marnes. On remarque une discordance entre le Pliocène ancien et le Moghrébien. Ce dernier est formé par des grès coquilliers, des calcaires gréseux et des conglomérats.

Au niveau de la Plaine Chtouka une seule formation constitue le Miocène et le Pliocène, elle est formée par des marnes, des calcaires, des sables marneux d'une épaisseur allant de 50 à 200 m.

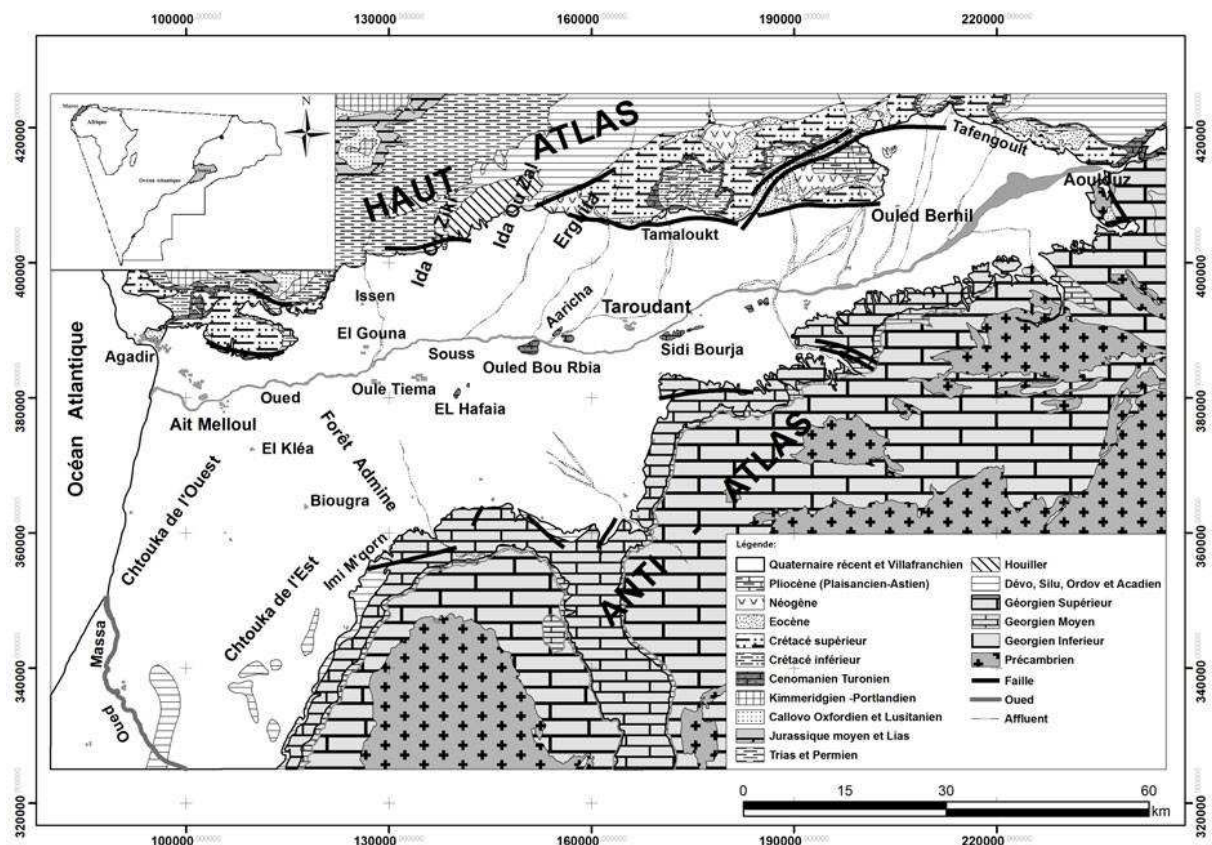
- ✓ **Le Quaternaire** : se présente sous forme d'alluvion fluviales, cône de déjection, dépôts lacustres et dunes de sables. On distingue Le quaternaire ancien : -cône de déjection.

Quaternaire moyen : -Formation de Souss.

Quaternaire récent : - Alluvions et limons.

Au niveau de la plaine de Chtouka qui s'étend au sud-ouest de la plaine de Souss, le quaternaire récent est formé essentiellement de dune sableuses le long du littoral d'une épaisseur de 100m.

Des formations gréseuses, dunaires et calcareuses caractérisent le Quaternaire moyen et inférieur, ses formations sont intercalées par des couches de calcaires lacustres marneux .Ces changements important des formations sédimentaires peuvent être liés a des changements climatiques au cours du Plio-Quaternaire.



**Figure 3** : Carte de situation géographique et géologique du bassin de Souss-Massa (extraite de la carte géologique de Marrakech 1:500000 dressée par G. CHOUBERT, 1957, modifiée)



## II-4- Dynamique de la nappe :

### II-4-1- Bilan de la nappe du Souss

Bilan Hydraulique « PDAIRE » de la nappe de Souss en Mm<sup>3</sup> en 2007

Les entrées de la nappe de Souss sont de 268 Mm<sup>3</sup>/an:

- Infiltration des pluies : 31 Mm<sup>3</sup>
- Les apports des Oueds sont estimés de 160 Mm<sup>3</sup>
- Retour des eaux d'irrigation superficielle : 4,5 Mm<sup>3</sup>
- La recharge artificielle à partir des deux barrages « Imin El Kheng » et « Aoulouz évaluée à 9 Mm<sup>3</sup>
- Drainance ascendante depuis les nappes profondes est de 3 Mm<sup>3</sup>
- Alimentation souterraine à partir des bordures est de 60 Mm<sup>3</sup>

Les sorties de la nappe de Sous sont évaluées en moyenne à 551 Mm<sup>3</sup>/an :

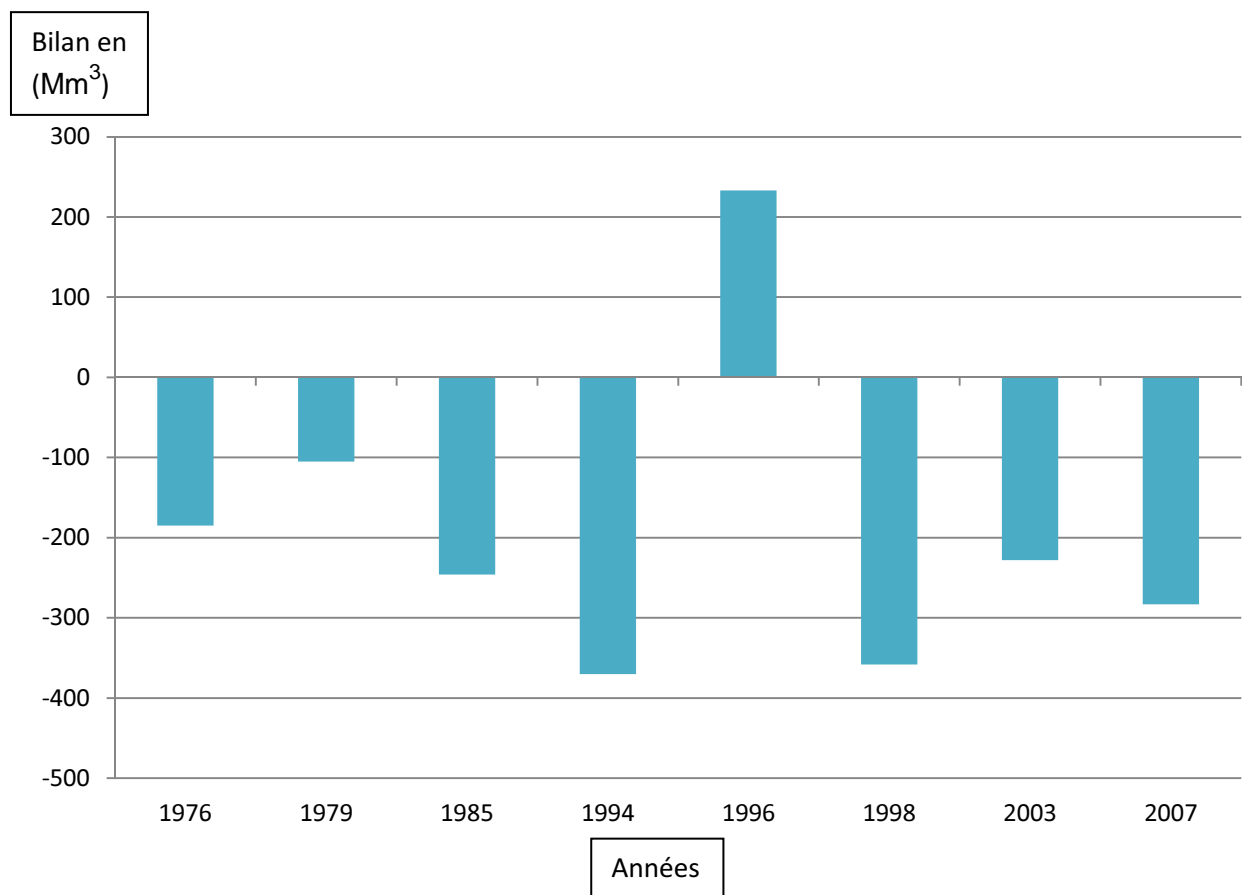
- Ecoulement souterrain vers la mer : 4 Mm<sup>3</sup>
- Drainage par le Souss Aval : 0
- Prélèvement net d'irrigation du secteur traditionnel, ainsi que par pompages des secteurs publics et privés modernes est de 521 Mm<sup>3</sup>
- Prélèvement d'eau potable et industrielle : 26 Mm<sup>3</sup>

**Tableau 1 : Bilan hydrauliques de la nappe de Souss en Mm<sup>3</sup>, « PDAIRE »**

Nappe de Souss	1976	1979	1985	1994	1996	1998	2003	2007
<b>Recharge de la nappe</b>								
Infiltration de la pluie et du ruissellement dispersé	66.2	62.8	57.8	31.3	105	29.7	39.6	31
Infiltration dans les lits des oueds	88.7	208.5	50.2	17.3	490	31	199	160
Retour des eaux d'irrigation superficielles	14.3	13.7	8	10.2	80	17.4	15.8	4.5
Recharge artificielle	-	-	-					9
Drainance ascendante à partir des nappes profondes	3	3	3	3	3	3	3	3
Apport par abouchement des nappes	48	48.8	43.7	46.2	192	174.9	65	60
<b>Total entrées</b>	<b>220</b>	<b>337</b>	<b>163</b>	<b>108</b>	<b>870</b>	<b>256</b>	<b>323</b>	<b>268</b>
<b>Sorties de la nappe</b>								
Ecoulement souterrain vers la mer	22	19.9	15	19	142	16.4	4	4
Drainage par le Souss aval	8.2	60.5	0	0	0	0	0	0
Prélèvement net d'irrigation du secteur traditionnel	116	73.7	11.1	65.4	33.8	67.6	519	521
Prélèvement net d'irrigation par pompage des secteurs publics et privés modernes	250.6	278.1	365.4	375	431	488		
Prélèvement d'eau potable et industrielle	8.1	9.8	16.8	18.6	30	41.9	28.7	26
<b>Total sorties</b>	<b>405</b>	<b>442</b>	<b>408</b>	<b>478</b>	<b>637</b>	<b>614</b>	<b>551</b>	<b>555</b>
<b>BILAN</b>	<b>-185</b>	<b>-105</b>	<b>-246</b>	<b>-370</b>	<b>233</b>	<b>-358</b>	<b>-228</b>	<b>-283</b>

D'après l'analyse des bilans hydrauliques de la nappe de Souss on constate que le bilan est de plus en plus déficitaire. En 1976 le bilan été estimé de  $-185 \text{ Mm}^3$ , ce dernier est en diminution continue pour en arrivé à  $-283 \text{ Mm}^3$  en 2007 à l'exception de l'année 1996 qui est considérée comme étant une année pluvieuse très humide avec un bilan de  $233 \text{ Mm}^3$ . En cette année la nappe a connu une recharge exceptionnelle évaluée à  $870 \text{ Mm}^3$ , ce qui a permit une amélioration relative de l'état des ressources en eau. La figure 4 montre l'évolution du bilan hydrique.

Ce bilan déficitaire, a poussé les gestionnaires des ressources en eau à hausser le niveau de la nappe de Souss en la rechargeant de façon artificielle à partir des deux barrages Aoulouz et Mokhtar Soussi, ainsi que des seuils au niveau de l'Oued de Souss et ses affluents.



**Figure 4 : Évolution du bilan hydrique de la nappe du Souss**

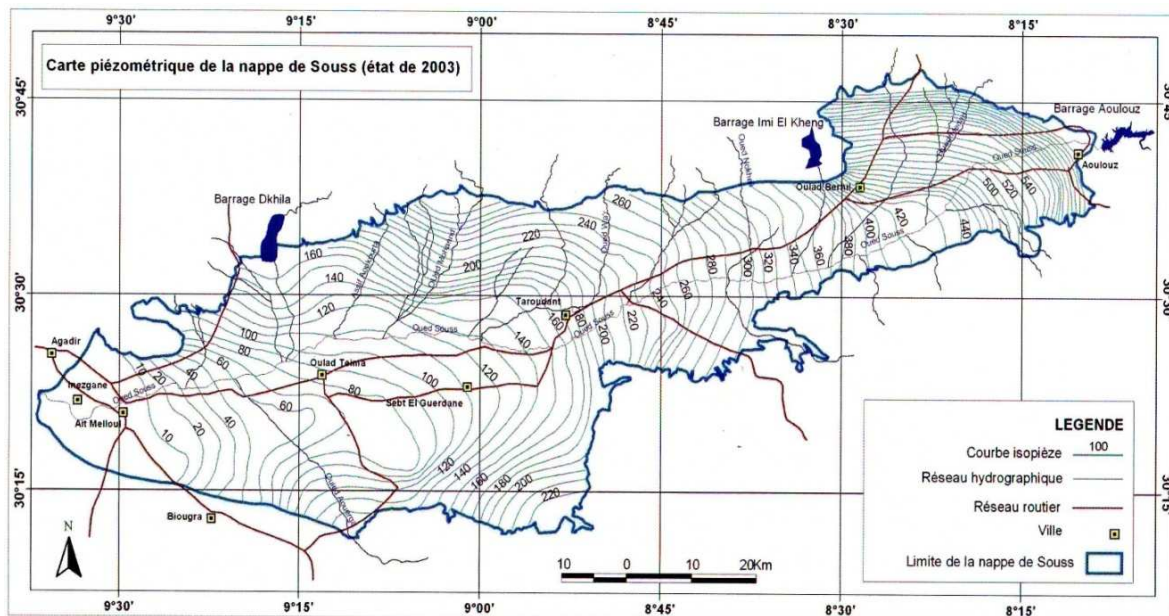
## II-4-2- Baisse piézométrique de la nappe du Souss

Plusieurs piézomètres (Figure 5) ont été réalisés pour un suivi continu du niveau piézométrique de la nappe de Souss.

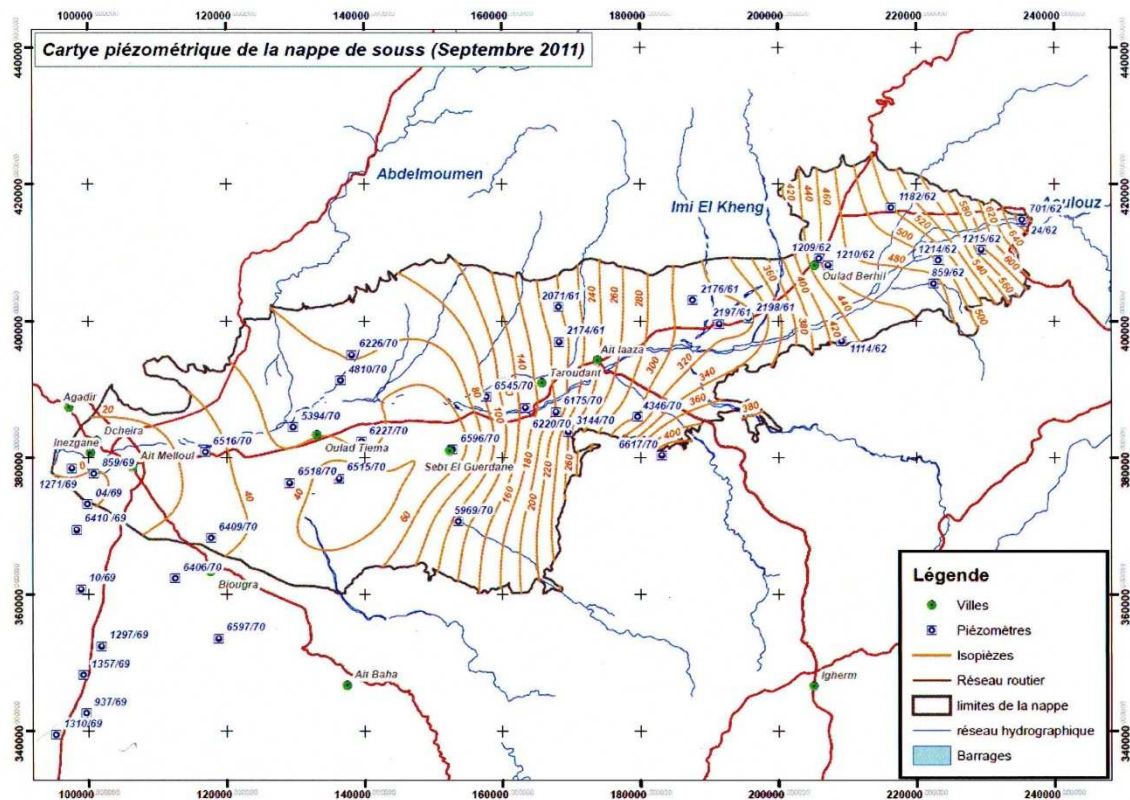


**Figure 5 :** piézomètre installé dans la région du Souss

Ceci a permis d'effectuer les cartes piézométriques présentées dans les figures 6 et 7.



**Figure 6 :** Carte piézométrique de la nappe de Souss (état de 2003), étude d'évaluation du dispositif de la recharge artificielle de la nappe de Souss, Mission III (ABHSM 2011)



**Figure 7 :** Carte piézométrique de la nappe de Souss (état de 2011), étude d'évaluation du dispositif de la recharge artificielle de la nappe de Souss, Mission III (ABHSM 2011)

D'après les deux figure 6 et 7, on constate une diminution du gradient hydraulique de l'Est vers l'Ouest, c'est-à-dire de l'amont vers l'aval. Depuis l'année 2003 jusqu'à l'année 2011 une baisse du niveau piézométrique est remarquable, ce dernier est passé d'une moyenne de 80m à une moyenne de 40m.

On remarque aussi une chute notable au niveau de la zone Sebti El Guerdane et Ouled Taima.

### **II-4-3- Conditions aux limites**

L'aquifère de la nappe du Souss se distingue par une hétérogénéité horizontale des formations. La nappe circule dans des formations aquifères plio-quadernaires et également dans le Turonien.

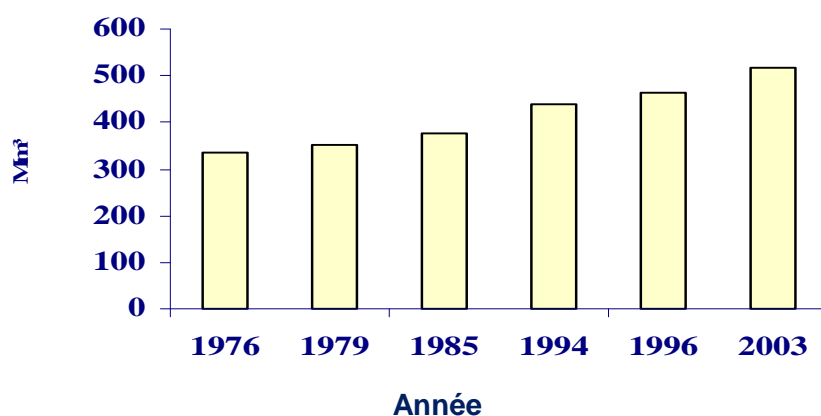
Les conditions aux limites de la nappe sont comme suit : la limite avec l'océan Atlantique à l'ouest qui constitue l'exutoire des eaux de la nappe (Flux non nul).

Les zones d'alimentations : l'alimentation se fait à partir des affluents provenant des bordures du Haut Atlas et de l'Anti-Atlas, à partir des zones d'entrée des ces oueds dans la plaine (Flux non nul).

On note l'existence de limites imperméables entre les tronçons d'alimentations cité ci-dessus.

## II-5- La surexploitation des ressources en eaux

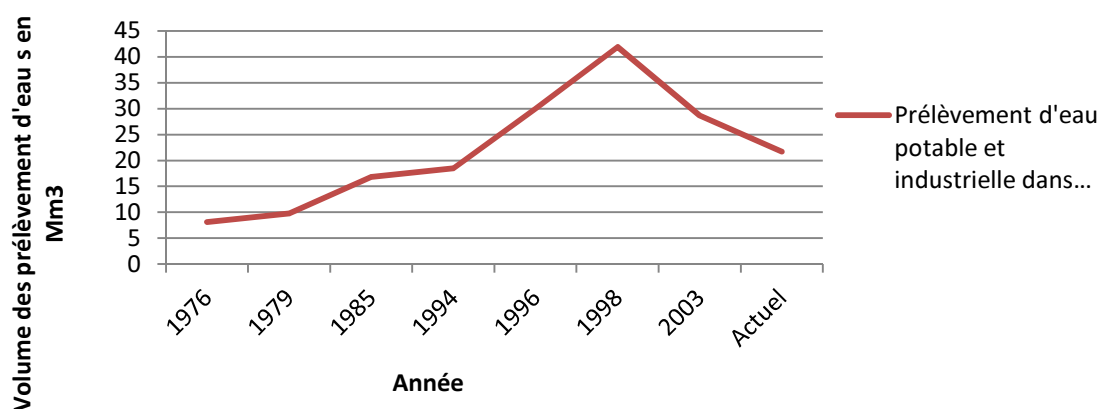
L'évolution de l'utilisation des eaux souterraines de la nappe de Souss augmente de plus en plus. En 1976 le volume net de ces prélèvements était de 355 Mm<sup>3</sup>, pour arriver à un volume de 516 Mm<sup>3</sup> en 2003 avec un taux d'accroissement de 41%. Figure en dessous montre l'évolution de l'utilisation des eaux souterraines :



**Figure 8 :** Evolution de l'utilisation des eaux souterraines – Nappe du Souss

Les surexploitations :

- Les prélèvements d'eau potable et industrielle voir figure 9
- Irrigation intensive
- Croissance de la population urbaine



**Figure 9 :** Graphe illustrant les prélèvements d'eau potable et industrielle dans la nappe du Souss en Mm<sup>3</sup>

# **Chapitre III :**

# **Application de la**

# **recharge artificielle**

# **dans la nappe du**

# **Souss**

---

## III-1- Caractéristiques principales de l'aquifère

### III-1-1- Généralité

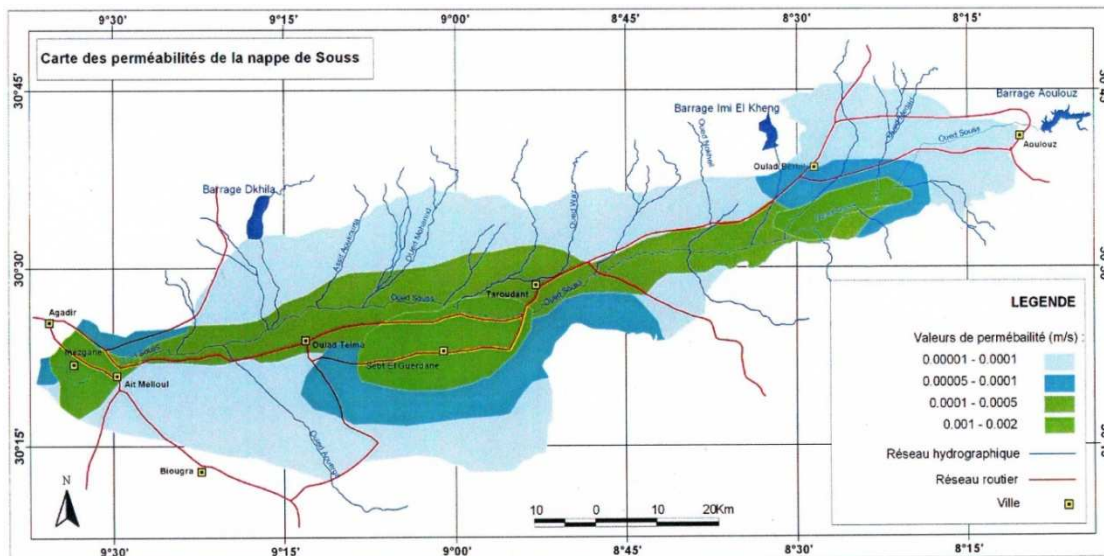
#### La diffusivité, la transmissivité et le coefficient d'emmagasinement :

Lors d'une opération de recharge artificielle, il est nécessaire de prendre en compte les paramètres suivants : la transmissivité, le gradient hydraulique, la diffusivité et le coefficient d'emmagasinement.

- ✓ **La transmissivité :** " Paramètre régissant les flux d'eau transitant par unité de largeur (dimension orthogonale à la direction d'écoulement) de la zone saturée d'un aquifère continu, par unité de gradient hydraulique : produit du coefficient de perméabilité par la puissance aquifère, en milieu isotrope, ou produit du tenseur de perméabilité parallèle à la direction de l'écoulement par la puissance aquifère en milieu anisotrope" Glossaire International d'Hydrogéologie (UNESCO, 1978)
- ✓ **La diffusivité :** "le rapport entre la transmissivité et le coefficient d'emmagasinement d'un aquifère donné. Elle reflète la vitesse de réaction d'un aquifère suite à une perturbation (variation du niveau de la rivière, pompage, dans notre cas injection d'eau). Une diffusivité élevée indique un écoulement rapide et facile, alors qu'une faible diffusivité indique un écoulement lent. Elle doit être de telle sorte que l'écoulement soit lent, le stockage important, cela correspond à une anisotropie des couches avec une perméabilité verticale importante et une perméabilité horizontale modérée. "
- ✓ **Coefficient d'emmagasinement :** C'est le rapport du volume d'eau libéré ou emmagasiné, par unité de surface de l'aquifère, à la variation de charge hydraulique correspondante. Le coefficient d'emmagasinement est utilisé pour caractériser plus précisément le volume d'eau exploitable, il conditionne l'emmagasinement de l'eau souterraine mobile dans les vides du réservoir. Pour une nappe captive ce coefficient est extrêmement faible ; il représente en fait le degré de compression de l'eau. Il est sans unité.

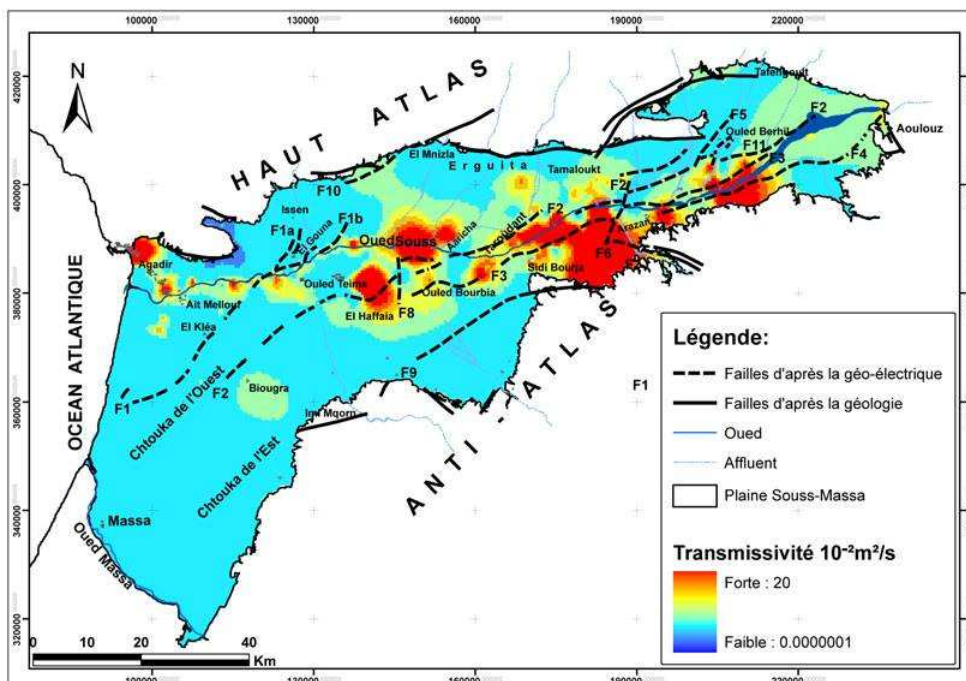
### III-1-2- La nappe du Souss

La plaine du Souss présente des caractéristiques hydrodynamiques variés, ceci est dû à l'hétérogénéité de l'aquifère voir figure 10



**Figure 10 :** Carte des perméabilités de la nappe, étude d'évaluation du dispositif de la recharge artificielle de la nappe de Souss, Mission I (ABHSM 2011)

Près de 90% des valeurs de transmissivité sont comprises entre  $1.10^{-3}$  et  $1.10^{-1}$  voir la carte de transmissivité figure 11. Cependant leur répartition le long de la plaine n'est pas homogène ; une grande partie des ouvrages testés se trouve dans le lit d'Oued Souss. Les plus grandes transmissivités sont situées à l'Est de Taroudant avec une valeur  $T > 5.10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ . Les faibles valeurs sont situées aux pieds des montagnes atlasiques.



**Figure 11 :** Carte de la répartition spatiale de la transmissivité de l'aquifère superficiel étude d'évaluation du dispositif de la recharge artificielle de la nappe de Souss, Mission XII (ABHSM 2011)



On retrouve ici un tableau simulant les caractéristiques hydrodynamiques de la nappe libre de Souss :

**Tableau 2 : Caractéristiques hydrodynamiques de la nappe libre de Souss, Ref**

Caractéristiques hydrodynamiques	Faciès lithologique du réservoir		
	Lits fossiles	Formations du Souss	Affleurements du Turonien
$T.10^{-2}$	2 à 6	1 à 6	2 à 20
$K.10^{-4}(m/s)$	8	1 à 10	4 à 40
$S.10^{-2}$	3 à 10	1 à 5	3

La présence des formations perméables permet un échange entre la nappe et les eaux de l'Oued au niveau du lit (nappe libre). Le choix de la méthode de recharge artificielle par infiltration s'est basé sur la perméabilité des formations surmontant l'aquifère. En effet les eaux destinées à la recharge artificielle s'infiltrer au niveau du sol ce qui rendu habile l'alimentation de la nappe.

## III-2- Dispositif de la recharge artificielle

Une mauvaise gestion et une surexploitation des eaux souterraines, a impliqué une diminution du niveau piézométrique de la nappe du Souss. Suite à cela une recharge artificielle de cette dernière a été faite en 1991 par le biais des deux barrages Aoulouz (108 Mm<sup>3</sup>) et Imi El Kheng (12 Mm<sup>3</sup>), ainsi que neuf seuils tout au long de l'oued Souss.

### III-2-1- Barrage Aoulouz

Le barrage Aoulouz est de type poids en béton compacté au rouleau, ce barrage a été réalisé en 1991 à environ 150km à l'est de la ville d'Agadir, il régularise un volume de 120 Mm<sup>3</sup>/an. Le barrage d'Aoulouz est construit à l'amont immédiat du débouché en plaine de l'oued Souss, au niveau du resserrement des deux chaînes du Haut-Atlas et de l'Anti-Atlas. Il est implanté à l'entrée d'un verrou constitué de versants raides taillés dans des formations calcaires dolomitiques très fracturées et karstifiées.

Ce barrage est destiné principalement à la recharge artificielle de la nappe, dont 18 Mm<sup>3</sup> sont réservés annuellement à l'irrigation du secteur traditionnel au pied du barrage.

### III-2-2- Seuils

Neuf seuils (figure 10) ont été construits sur le cours principal de l'Oued Souss, afin de renforcer ce procédé de recharge artificielle à partir du barrage d'Aoulouz. Ces dispositifs ont un principal rôle qui est d'accroître la capacité d'infiltration par le retardement de l'écoulement, l'augmentation des plages d'infiltration, lutter contre les intrusions des eaux marines et essentiellement d'atténuer les baisses piézométriques (tableau 3).

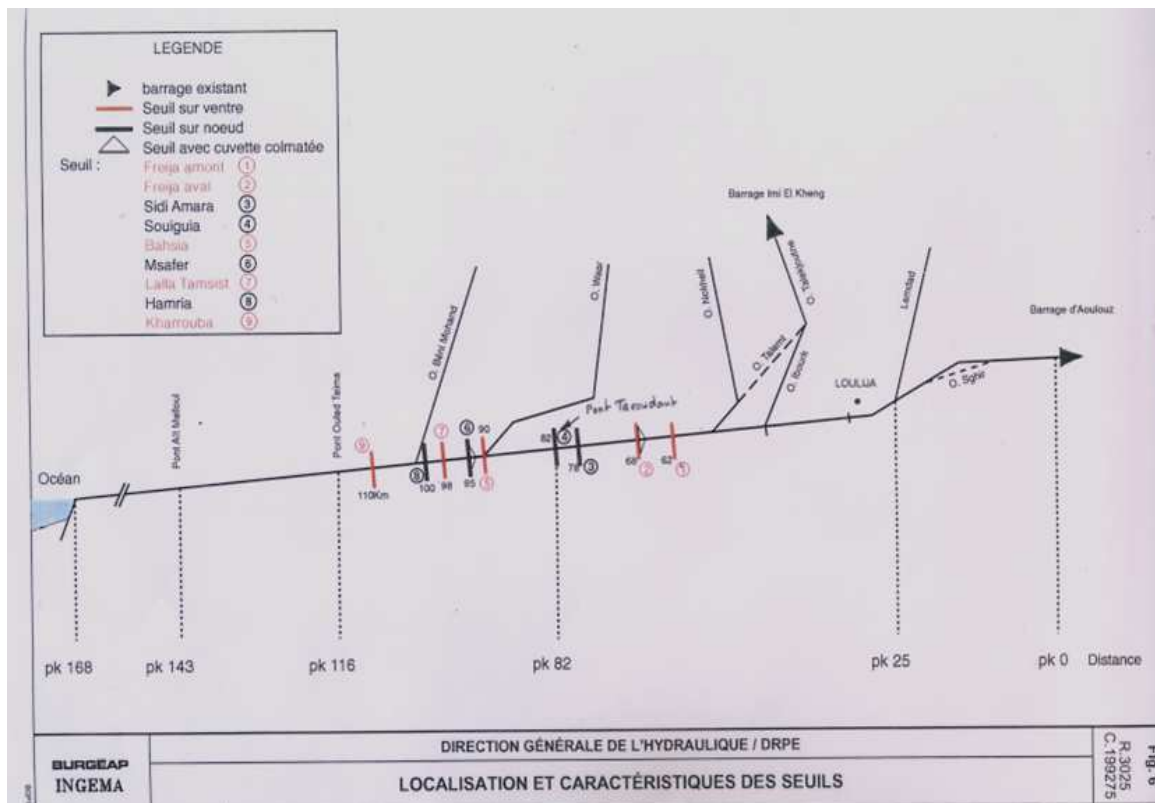


Figure 12: Schéma de situation des seuils

Tableau 3 : Situation et Typologie des ouvrages, , étude d'évaluation du dispositif de la recharge artificielle de la nappe de Souss, Mission II ( ABHSM 2011)

Les Seuils	Date de mise en service	Type de l'ouvrage	Distance au barrage Aoulouz en (Km)	observations
Freija Amont	1990	Alvéoles	62	Prise de seguia sur chaque rive
Freija Aval	1990	Alvéoles	68	
Sidi Amara	1993	Alvéoles	78	Alimentation de la seguia Tarhouziat
Souguia	1990	Alvéoles	82	Prise d'alimentation de la seguia Souguia
Bahsia	1992	Gabion	90	
Oulad Mfaser	1998	Alvéoles	95	
Lala Tamsiste	1998	Gabion	98	
Hamria	1988	Gabion	100	Seguia Hamria en rive droite
Kharouba	1988	Gabion	110	

Sept seuils (Tableau 4) ont été ajoutés récemment au niveau des affluents de l

**Tableau 4 :** *Date de mise en service et typologie des ouvrages, étude d'évaluation du dispositif de la recharge artificielle de la nappe de Souss, Mission II ( ABHSM 2011)*

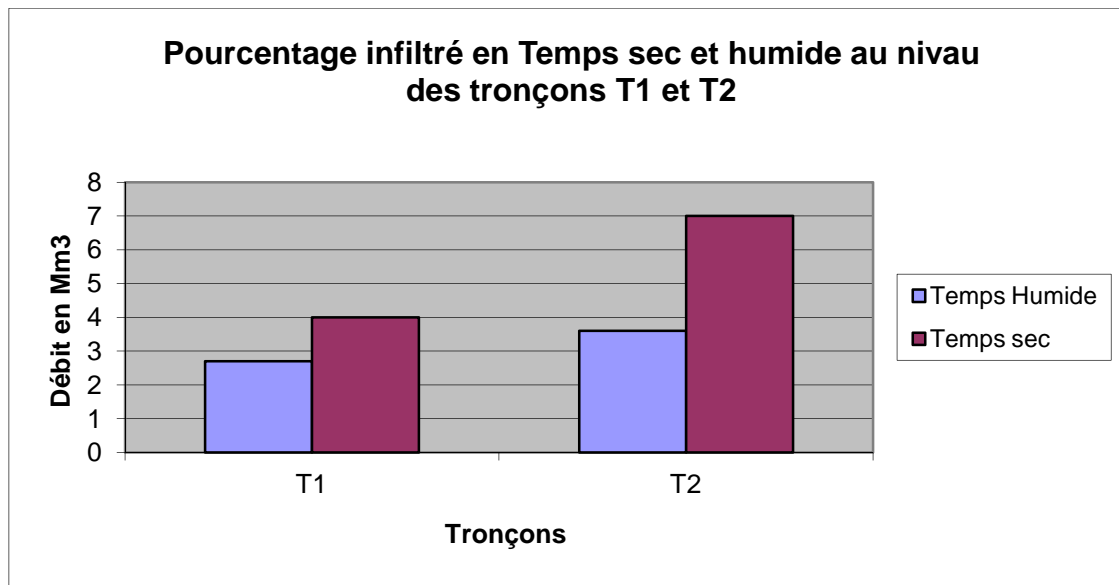
Les seuils	Date de mise en service	Type
Talkjount	2005	Alvéoles
Targa Aval	2011	Alvéoles
Targa Amont	2009	Alvéoles
Bousriouil	2011	Alvéoles
Tiout Aval	2010	Alvéoles
Mesgui Amont	2011	Alvéoles
Mesqui Aval	2010	Alvéoles

### III-3- Impact des lâchers sur la nappe du Souss

Le barrage Aoulouz et les seuils sont destinés essentiellement à la recharge artificielle de la nappe de Souss. En effet, le barrage permet de régulariser la ressource par des lâchers programmés et les seuils ont pour principal rôle de ralentir la propagation de l'onde et d'améliorer localement les surfaces d'échange : eaux de surfaces-eaux souterraines.

Les lâchers sont consacrés essentiellement à la recharge artificielle de la nappe, 14% de ces lâchers sont destinées à l'irrigation par la dérivation des seguias au niveau de l'Oued Souss.

Deux lâchers ont été réalisés le premier en Novembre 1993 et le deuxième en Mai 1994, sous des conditions différentes (Figure11)

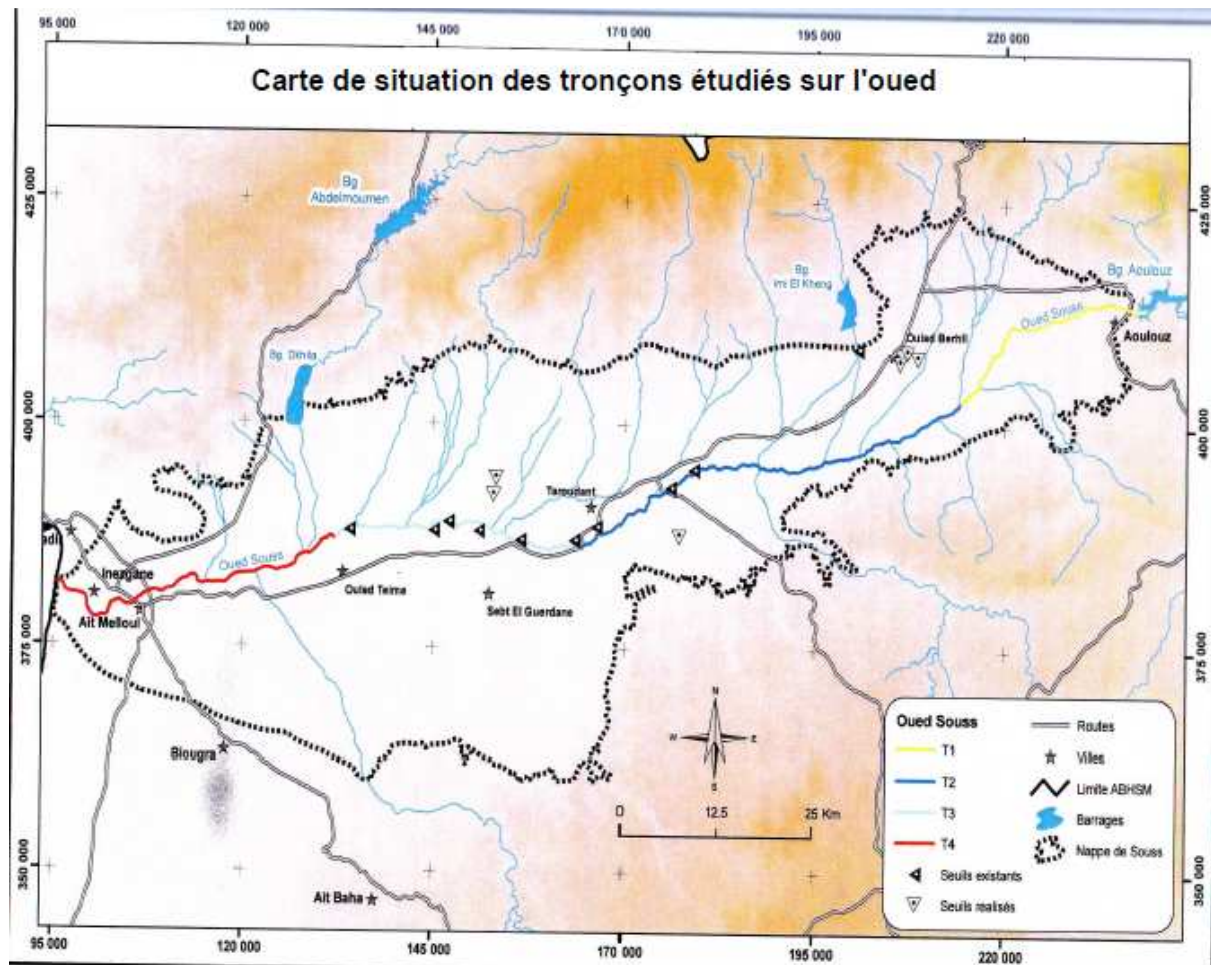


**Figure 13 :** Pourcentage infiltrée en temps sec et humide au niveau des tronçons T1 et T2

1. **Le premier lâcher - Novembre 1993 :** ce lâcher a été réalisé en un temps humide juste avant la crue qui a eu lieu le 22 et 23 Novembre 1993. Lors du lâchers les affluents étaient a sec contrairement à l'oued Souss qui coulait. Au niveau du tronçon T1 les prélèvements au fil de l'eau sont estimés à environs 2.7 m<sup>3</sup>/s cependant que le tronçon T2 est de 3,6 m<sup>3</sup>/s. Ce qui a approuvé que l'état d'humidité du lit est à prendre en considération.

2. **Le deuxième lâcher - Mai 1994 :** ce lâcher a été achevé en temps sec. L'oued Sous ainsi que ses affluents ont été secs en aval. Le lit de l'oued était en un faible état d'humidité. Au niveau du tronçon T1 les prélèvements au fil de l'eau sont estimés à environs 4 m<sup>3</sup>/s et pour le tronçon T2 sont de 7 m<sup>3</sup>/s

Les simulations ont été réalisées pour une gamme de lâchers assez large de 5Mm<sup>3</sup> à 120Mm<sup>3</sup> à l'exception d'un lâcher qui a dépassé les 200Mm<sup>3</sup> qui concorde avec la crue historique de Février 2010. Voici le tableau 5 qui montre l'infiltration par chaque Tronçon ainsi que la figure11 :



**Figure 14:** Carte de situation des tronçons étudiés de l'oued Souss étude d'évaluation du dispositif de la recharge artificielle de la nappe de Souss, Mission II (ABHSM2011)

**Tableau 5 :** tableau synthétique des résultats des simulations des modèles d'infiltration au niveau de l'oued Souss, étude d'évaluation du dispositif de la recharge artificielle de la nappe de Souss, Mission II ( ABHSM 2011)

	Bge - Conf Lmdad		Conf Lmdad - Taroudant		Taroudant - Old Taima		Old Taima - Embouchure		Pertes en mer	
	34 Km		71 Km		43 Km		35 Km		-	
Volume lâché (Mm <sup>3</sup> )	VI T1 (Mm <sup>3</sup> ) T.Sec	VI T1 (Mm <sup>3</sup> ) T.humide	VI T2 (Mm <sup>3</sup> ) T.Sec	VI T2 (Mm <sup>3</sup> ) T.humide	VI T3 (Mm <sup>3</sup> ) T.Sec	VI T3 (Mm <sup>3</sup> ) T.humide	VI T4 (Mm <sup>3</sup> ) T.Sec	VI T4 (Mm <sup>3</sup> ) T.humide	Pertes (Mm <sup>3</sup> ) T.Sec	Pertes (Mm <sup>3</sup> ) T.humide
5	2.9	2.3	1.9	2.3	0.2	0.4	0	0	0	0
10	5	3.8	4.4	4.6	0.6	1.6	0	0	0	0
20	8.5	6.6	9	8.7	1.8	2.8	0.7	1.6	0	0.3
40	14.9	11.7	17.3	16.1	3.8	5.1	2.4	3.5	1.6	3.6
60	20.8	16.3	25.3	22.7	5.5	7.3	3.9	5.3	4.5	8.4
120	34.3	26.2	47.2	41.9	11.5	14.6	8.1	9.5	18.9	27.8

En évaluant les résultats des simulations pour les deux temps on peut déduire :

En temps humide : l'infiltration est plus pondérée sur les trois premiers tronçons c'est-à-dire entre le barrage Aoulouz et Ouled Taima. Cependant, les pertes en mer sont élevées pour des lâchers supérieurs à 20Mm<sup>3</sup>.

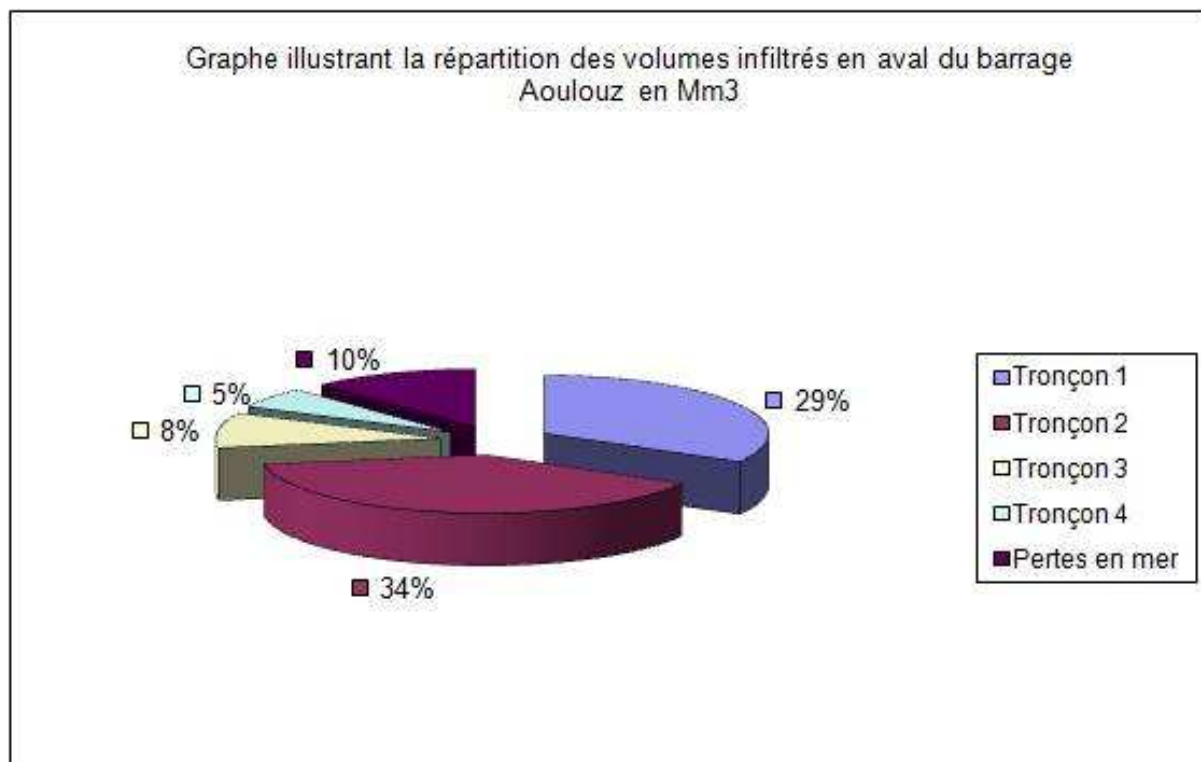
En temps sec : Une grande partie des eaux est infiltrée au niveau du premier tronçon (Barrage – Confluence Lmdad) vu sa capacité de filtration ainsi qu'au niveau du deuxième tronçon (Confluence Lmdad – Ouled Taima). Par contre les pertes en mer sont très faible vu la sécheresse du lit d'où une meilleure aptitude à s'infiltrer.

On se basant sur ces deux temps on constate d'une part que la propagation de l'onde du lâcher en temps humide est plus arrive plus en aval qu'en temps sec. D'autre part l'infiltration est beaucoup plus importante en temps sec qu'en temps humide par rapport au volume lâché.

D'après les résultats de ces lâchers pour une période de vingt ans (1991-2011) selon les deux temps sec et humide, les parts infiltrées depuis la mise en service du barrage sont de 1.8Md de m<sup>3</sup> qui corresponde à 75% des lâchers par contre la part totale des pertes en mer est d'environ 250 Mm<sup>3</sup> ; ce volume correspond a 10%. Voir tableau 6 et figure 12.

**Tableau 6 : répartition des volumes infiltrés en aval du barrage Aoulouz, étude d'évaluation du dispositif de la recharge artificielle de la nappe de Souss, Mission III (ABHSM 2011)**

	Lâchers (Mm <sup>3</sup> )	Prélèvements (Mm <sup>3</sup> )	VI T1 Mm <sup>3</sup>	VI T2 Mm <sup>3</sup>	VI T3 Mm <sup>3</sup>	VI T4 Mm <sup>3</sup>	pertes en mer Mm <sup>3</sup>
<b>1991-2011</b>	<b>2 381.6</b>	333.4	679.10	802.80	200.73	120.22	246.29
<b>Ratios</b>		<b>14.0%</b>	<b>28.5%</b>	<b>33.7%</b>	<b>8.4%</b>	<b>5.0%</b>	<b>10.3%</b>
<b>Longueur (Km)</b>			34	71	43	35	
<b>VI/Kml (Mm<sup>3</sup>)</b>			<b>20.0</b>	<b>11.3</b>	<b>4.7</b>	<b>3.4</b>	



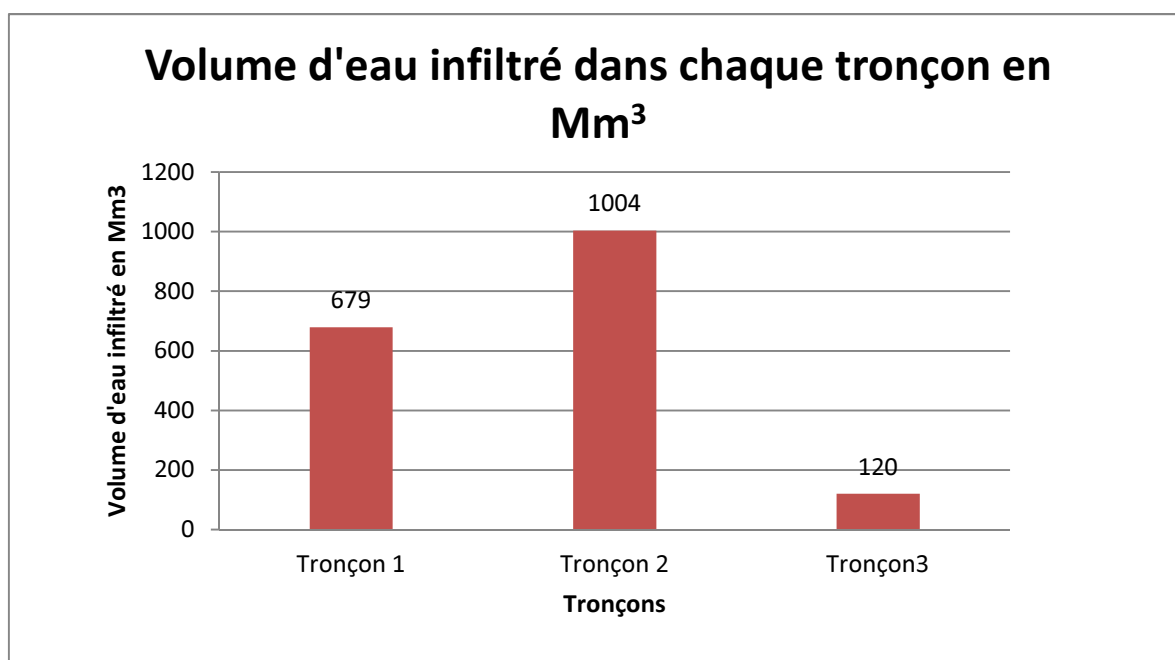
**Figure 15 :** Graphe illustrant la répartition des volumes infiltrés en aval du barrage Aoulouz en Mm3

On comparant les volumes infiltrés et les volumes disponibles en amont pour chaque tronçon on constate ce qui suit :

- Plus de 73% du volume disponible à l'amont du tronçon Oued Lmdad - Ouled Taima s'infiltré par contre l'infiltration au niveau des autres tronçons et aux alentours de 30%.
- Ce pourcentage élevé est dû aux nombreux seuils de recharge au niveau de ce tronçon ainsi que sa longueur importante.
- Un volume de 9 Mm<sup>3</sup>/Kml infiltré contre 3 Mm<sup>3</sup>/Kml pour le dernier tronçon
- Une faible capacité d'infiltration au niveau du dernier tronçon et ceci est due soit aux faibles volumes qui parviennent à son amont soit aux dépôts fins dans la partie aval de l'Oued Souss, ce qui limite la perméabilité du lit. (tableau 7 et figure 14)

**Tableau 7 :** Comparaison des volumes infiltrés et des volumes disponibles en amont pour chaque tronçon, étude d'évaluation du dispositif de la recharge artificielle de la nappe de Souss, Mission III (ABHSM 2011)

	Barrage-conf Lmdad (T1)	Lmdad-Old Taima (seuils de recharge - T2 et T3)	Old Taima- Embouchure (T4)
<b>Volume disponible en amont du tronçon (VD en Mm<sup>3</sup>)</b>	2048	1369	366
<b>Volume infiltré VI (Mm<sup>3</sup>)</b>	679	1004	120
<b>Pouvoir d'infiltration du tronçon (VI/VD)</b>	<b>33.16%</b>	<b>73.30%</b>	<b>32.88%</b>
<b>Longueur (Km)</b>	34	114	35
<b>VI/Km (Mm<sup>3</sup>)</b>	<b>20</b>	<b>9</b>	<b>3</b>



**Figure 16 :** Volume d'eau infiltré dans chaque tronçon en Mm3



# **Chapitre IV :**

# **Évaluation du**

# **rendement de la**

# **RAN dans la nappe**

# **du Souss**

---

## IV-1- Problème rencontré

Bien que ce dispositif de recharge artificielle a permis d'injecter un débit de 110 Mm<sup>3</sup>/an en une période de 11ans (1991-2002), la réalimentation de la nappe reste insuffisante dans les zones surexploitées. Ex : La zone de Sebt El Guerdane. En plus de cela plusieurs facteurs ont contribué au faible rendement de ce dispositif, on retrouve :

- Années de sécheresse
- Approfondissement continue des puits et forages
- Extension continue des superficies irriguées
- Hétérogénéité des formations superficielles du remplissage de la nappe de Souss

## IV-2- Dégradations des seuils :

Dans le cadre de notre projet de fin d'études la sortie effectuer dans la région du Souss au niveau de l'oued Souss, on pu visiter sur place le dispositif de la RAN. Ceci nous a permis de mieux comprend le fonctionnement de ce dispositif et de décerner les problèmes que rencontre ce dernier :

**Seuil Freija amont** : réalisé avec des alvéoles est grand ouvrage de recharge. Suite aux crues le seuil a subi des dégâts importants : affouillement (Figure 17A), déstabilisation et effondrement localisé de certaines parties de l'ouvrage. Atterrissements et Comblement de la retenue par des terres sableuses et la végétation (Figure 17B). On note aussi la présence de prises agricoles sur les deux rives qui sont actuellement non fonctionnelles (Figure 17C).



**Figure 17:** Photos montrant dégâts au niveau du Seuil Freija amont

**Seuil Freija aval** : réalisé en alvéoles, il a une longueur initiale de 640m et une largeur de 18m. L'ouvrage a subi des dommages important causés par les crues et par les présences de carrières d'extraction de sable et de granulats qui ont des conséquences sur le régime hydraulique du cours d'eau. Les crues ont causé le comblement de la retenue créant ainsi une barrière à l'écoulement. Ceci a généré des inondations qui avaient pour répercussions sur la berge rive droite la création d'un autre lit mineur.

Les principales causes de la détérioration des seuils sont l'érosion (Figure 18A) et les phénomènes hydrauliques tels que l'affouillement. Elles ont provoqué la dégradation du béton de liaisons des panneaux alvéolaires ou parfois le départ des caissons, l'écroulement presque total du mur (Figure 18B).



**Figure 18** : Photos montrant dégâts au niveau du Seuil Freija aval

**Seuil Sidi Amara** : Le seuil de Sidi Amara est bâti par des caisses alvéolaires construites de panneaux en béton armé préfabriqués. Le seuil a subi des dégâts très importants suites aux crues.

On constate un effondrement au niveau de la rive gauche (Figure 19). Au niveau de la retenue, toute la partie rive droite a été comblée.



**Figure 19** : Photo montrant l'effondrement au niveau de la rive gauche du Seuil Sidi Amara

**Seuil Souiguia** : Construit avec des alvéoles, le seuil de Souiguia est doté d'un système de vannes d'évacuation de crues, des prises d'irrigation et des dispositifs de protection des berges contre l'affouillement .On note aussi la présence d'une batterie d'épis en gabions installées pour dériver l'écoulement vers le centre afin d'éviter l'érosion au niveau de la rive gauche (figure 20A).

Le seuil Souiguia a subi des dégradations causées par les travaux de réaménagement du pont de Taroudant. La zone centrale reposait sur des nappes de gabions qui ont subi un affouillement causant ainsi une déstabilisation et départ des caissons d'alvéoles (figure 20B). Quand à la retenue elle a été comblée par le dépôt des sédiments emportés par les crues.

Les ouvrages d'évacuation des crues, les prises d'irrigations, les bassins d'accumulation et décantation, sont tous non fonctionnels et nécessitent des interventions (figure 20C).



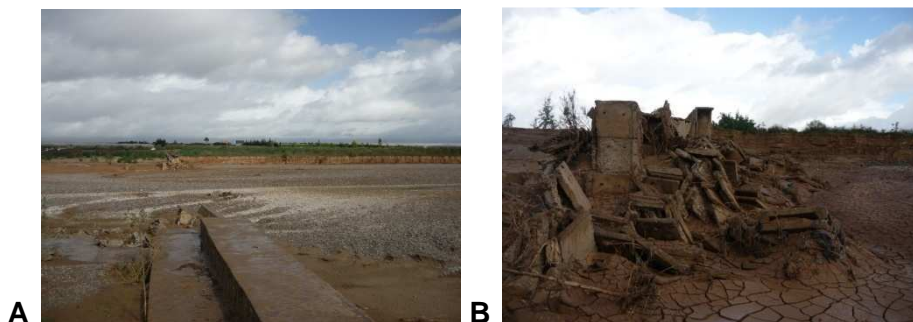
**Figure 20** : Photos montrant l'état du Seuil Souiguia

**Seuil Bahsia** : Contrairement aux ouvrages cités ci-dessus, le seuil Bahsia est construit avec des gabions afin de permettre une certaine flexibilité et résistance à l'ouvrage. Cependant le seuil a subi des dégâts très importants : Rupture et déstabilisations des cages de gabions (figure 21), désagrégations des matériaux.



**Figure 21** : Photo montrant la rupture des cages de gabions du seuil Bahsia

**Seuil M'safer** : Le seuil a subi des dommages importants. Parmi ces dégâts on retrouve : comblement de la retenue par le dépôt de sédiments et de végétation, effondrement et disparition totale de la partie centrale (figure 22A), basculement d'un certain nombre de blocs provoqué par l'affouillement et déstabilisation de certaines parties de la structure (figure 22B).



**Figure 22** : Photos montrant l'état du Seuil M'safer

**Seuil Lalla Tamsist** : Le seuil Lalla Tamsist est construit par des gabions qui sont détruits presque en totalité (figure 26). Les restes des gabions dans la rive gauche sont entièrement couverts de sédiments sableux (figure 23). Ces dégâts sont probablement causés par l'affouillement au moment des crues.



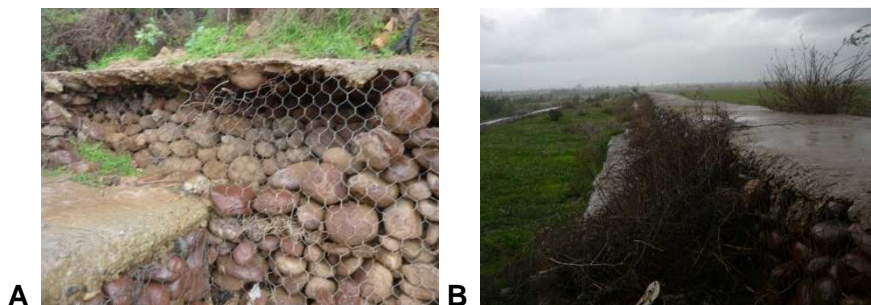
**Figure 23 :** Photo montrant les restes des gabions dans la rive gauche du Seuil Lalla Tamsist

**Seuil Hamria :** Construit par des gabions, le seuil Lalla Hamria montre un état de dégradation avancé. Suite aux crues les caissons de gabions ont été cassés et érodés. On note l'effondrement entier de la partie centrale (figure24).



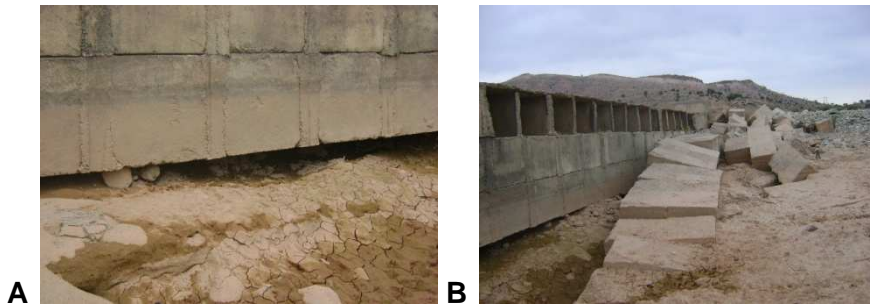
**Figure 24 :** Photo montrant l'effondrement de la partie centrale du Seuil Hamria

**Seuil Kharouba :** Bâti directement sur le lit de L'oued Souss avec des gabions protégés par du béton non armé. Les crues ont causé des dégâts important au niveau de l'ouvrage. Au niveau de la rive gauche on remarque une rupture des cages des gabions (photo 25A), avec un départ les matériaux qui les constituent. La rive droite a subi plus de dégradations en comparaison avec celle de gauche. L'affouillement a causé le départ de matériaux et le basculement des éléments de gabions et des blocs de béton préfabriqué. Quand à la retenue, elle a été comblée par des sables et des arbustes (photo 25B).



**Figure 25 :** Photos montrant l'état du Seuil Kharouba

**Seuil Talekjout** : Situé à l'aval du barrage Imi EL Kheng .Les dégâts subis par l'ouvrage sont de deux types : Superficiels affectant la rive gauche (quelques fissures), dégâts plus importants affectant la rive droite causés par la grande vitesse d'écoulement et par le phénomène d'affouillement (figure26). Ces deux facteurs ont pour conséquence une déstabilisation et départ de certains caissons d'alvéoles avec décollements de blocs de béton (figure26).



**Figure 26** : Photos montrant le problème d'affouillement le décollement de bloc au niveau du Seuil Talkjout

## Conclusion

Notre Travail qui concerne la recharge artificielle nous a permis d'une part de mieux connaître les méthodes appliquées pour la recharge artificielle de la nappe du Souss dans ses aspects pratiques par infiltration ou par injection ainsi que les difficultés de sa mise en œuvre sur le terrain.

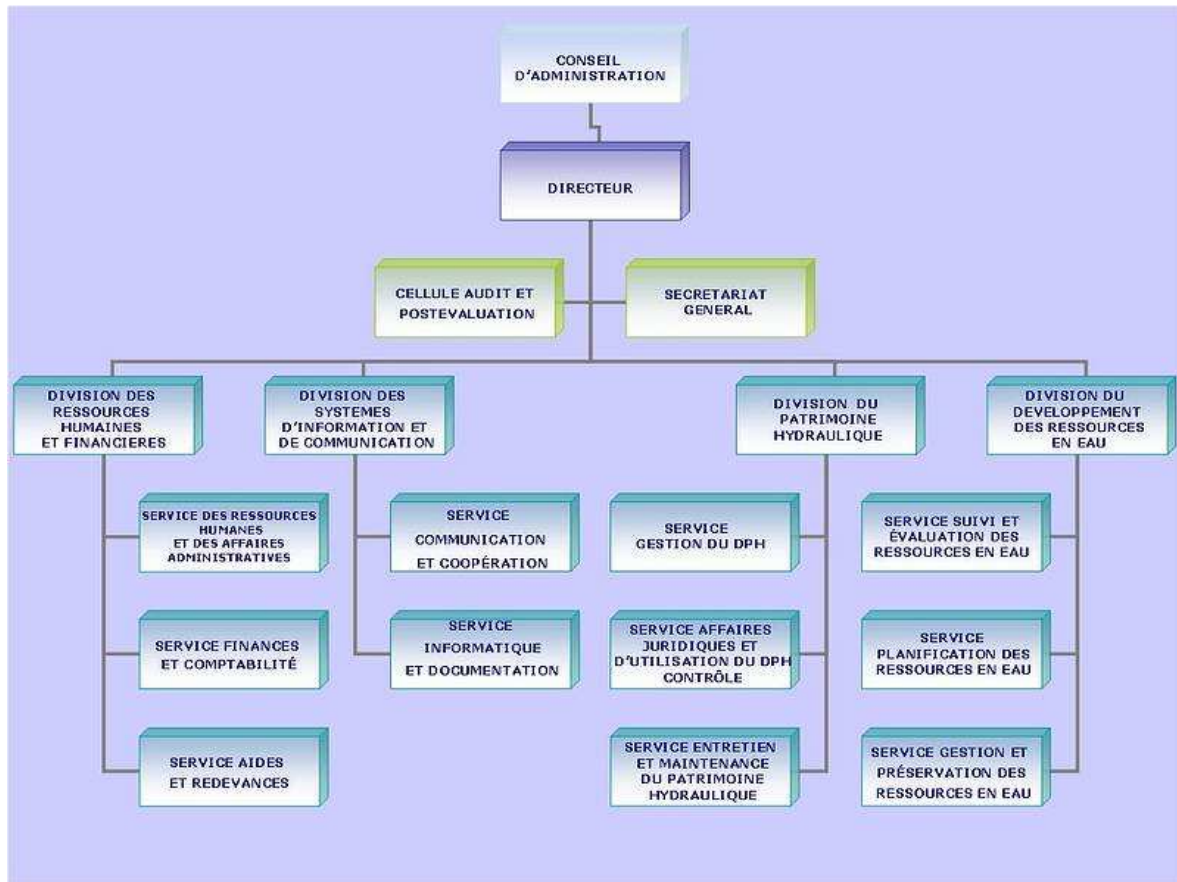
D'autre part nous avons pu mettre la relation existante entre les termes des processus géologiques, les difficultés qui engendrent ces méthodes et les impacts des seuils et des lâchers sur la nappe du Souss.

Le rendement serait meilleur si l'installation des barrages et des seuils tiendront compte des infrastructures, du développement urbain, des formations géologiques et des capacités de la nappe.

A l'avenir nous espérons avoir l'occasion d'approfondir nos recherches sur ce sujet pour améliorer le fonctionnement et la pérennité de ce dispositif.

## Présentation de l'Organisme

### - Organigramme



L'agence du bassin hydraulique de Souss Mass (ABHSM) sa mission principale est d'assurer une gestion intégrée et concertée des ressources en eau pour un développement durable du Bassin Hydraulique.

### - Les activités de l'ABH-SM :

Organiser le développement des ressources en eau par l'évolution, la gestion et le contrôle des ressources en eau, ainsi que le suivi qualitatif et quantitatif de ces dernières et en planifiant leur aménagement.

Veiller à la sécurité de la ressource du patrimoine à travers la sauvegarde du domaine public, la prévention et gestion des situations exceptionnelles, la maîtrise des ouvrages d'art de lutte contre les inondations et l'entretien maintenance et exploitation des ouvrages hydrauliques.



## Liste des figures :

Figure 1 : Illustration du rôle de la recharge artificielle dans l'augmentation de la capacité d'extraction d'un aquifère .....	4
Figure 2 : Carte géographique de la région du Souss (water.gov.ma) .....	8
Figure 3 : Carte de situation géographique et géologique du bassin de Souss-Massa (extraite de la carte géologique de Marrakech 1:500000 dressée par G. CHOUBERT, 1957, modifiée) .....	10
Figure 4 : Évolution du bilan hydrique de la nappe du Souss .....	12
Figure 5 : piézomètre installé dans la région du Souss.....	13
Figure 6 : Carte piézométrique de la nappe de Souss (état de 2003), étude d'évaluation du dispositif de la recharge artificielle de la nappe de Souss, Mission III (ABHSM 2011) .....	13
Figure 7 : Carte piézométrique de la nappe de Souss (état de 2011), étude d'évaluation du dispositif de la recharge artificielle de la nappe de Souss, Mission III (ABHSM 2011) .....	14
Figure 9 : Graphe illustrant les prélèvements d'eau potable et industrielle dans la nappe du Souss en Mm3.....	15
Figure 8 : Evolution de l'utilisation des eaux souterraines – Nappe du Souss.....	15
Figure 10 : Carte des perméabilités de la nappe, étude d'évaluation du dispositif de la recharge artificielle de la nappe de Souss, Mission I (ABHSM 2011).....	18
Figure 11 : Carte de la répartition spatiale de la transmissivité de l'aquifère superficiel étude d'évaluation du dispositif de la recharge artificielle de la nappe de Souss, Mission XII (ABHSM 2011).....	18
Figure 12: Schéma de situation des seuils.....	20
Figure 13 : Pourcentage infiltrée en temps sec et humide au niveau des tronçons T1 et T2	22
Figure 14: Carte de situation des tronçons étudiés de l'oued Souss étude d'évaluation du dispositif de la recharge artificielle de la nappe de Souss, Mission II (ABHSM2011) .....	23
Figure 15 : Graphe illustrant la répartition des volumes infiltrés en aval du barrage Aoulouz en Mm3 .....	25
Figure 16 : Volume d'eau infiltré dans chaque tronçon en Mm3.....	26
Figure 17: Photos montrant dégâts au niveau du Seuil Freija amont .....	28
Figure 18 : Photos montrant dégâts au niveau du Seuil Freija aval.....	29
Figure 19 : Photo montrant l'effondrement au niveau de la rive gauche du Seuil Sidi Amara	29
Figure 20 : Photos montrant l'état du Seuil Souiguia.....	30
Figure 21 : Photo montrant la rupture des cages de gabions du seuil Bahsia .....	30
Figure 22 : Photos montrant l'état du Seuil M'safer .....	30
Figure 23 : Photo montrant les restes des gabions dans la rive gauche du Seuil Lalla Tamsist .....	31
Figure 24 : Photo montrant l'effondrement de la partie centrale du Seuil Hamria .....	31
Figure 25 : Photos montrant l'état du Seuil Kharouba .....	31
Figure 26 : Photos montrant le problème d'affouillement le décollement de bloc au niveau du Seuil Talkjount.....	32

## Liste des tableaux :

Tableau 1 : <i>Bilan hydrauliques de la nappe de Souss en Mm3 , « PDAIRE»</i> .....	11
Tableau 2 : <i>Caractéristiques hydrodynamiques de la nappe libre de Souss, Ref.</i> .....	19
Tableau 3 : <i>Situation et Typologie des ouvrages, , étude d'évaluation du dispositif de la recharge artificielle de la nappe de Souss, Mission II ( ABHSM 2011)</i> .....	20
Tableau 4 : <i>Date de mise en service et typologie des ouvrages, étude d'évaluation du dispositif de la recharge artificielle de la nappe de Souss, Mission II ( ABHSM 2011)</i> .....	21
Tableau 5 : <i>tableau synthétique des résultats des simulations des modèles d'infiltration au niveau de l'oued Souss, étude d'évaluation du dispositif de la recharge artificielle de la nappe de Souss, Mission II ( ABHSM 2011)</i> .....	23
Tableau 6 : <i>répartition des volumes infiltrés en aval du barrage Aoulouz, étude d'évaluation du dispositif de la recharge artificielle de la nappe de Souss, Mission III (ABHSM 2011)</i> .....	24
Tableau 7 : <i>Comparaison des volumes infiltrés et des volumes disponibles en amont pour chaque tronçon, étude d'évaluation du dispositif de la recharge artificielle de la nappe de Souss, Mission III (ABHSM 2011)</i> .....	26

## Liste des acronymes :

**ABHSM:** Agence du Bassin Hydraulique du Souss-Massa

**RAN:** Recharge Artificielle de la Nappe

**GIRE:** Gestion Intégrée des Ressources en Eau

**UNESCO:** United Nations Educational Scientific and Cultural Organization

**AEP:** Alimentation en Eau Potable

**ASR:** Aquifer Storage and Recovery

**AEPI:** Alimentation en Eau Potable et Irrigation

**PDAIRE:** Plans Directeurs d'Aménagements et de gestion Intégrée des Ressources en Eau

**L'USGS:** *United States Geological Services*

## Références bibliographiques :

- Etude d'évaluation du dispositif de la recharge artificielle de la nappe. Mission I : Lecture rétrospective sur la recharge artificielle au niveau du Souss par ANZAR (ABHSM, 2011)
- Etude d'évaluation du dispositif de la recharge artificielle de la nappe. Mission II : Diagnostic de la situation actuelle par ANZAR (ABHSM, 2011)
- Etude d'évaluation du dispositif de la recharge artificielle de la nappe. Mission III : Proposition d'actions d'amélioration et de suivi du dispositif actuel par ANZAR (ABHSM, 2011)
- <http://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre6/chapitre6.html>
- <http://www.siee-pollutec.com/fr/colloque/Recharge%20Artificielle%20Aquiferes-Pollutec%202012-bis>
- <http://members.unine.ch/philippe.renard/hydrogen/node20.html>
- <http://pinstake.com/figure-1-localisation-du-bassin-du-souss-au-maroc/http>
- <http://norois.revues.org/3178>
- <http://ucowr.org>
- Plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau (PDAIRE) des bassins Souss Massa, Mission 1 : Collecte des données, diagnostic et évaluation des ressources en eau et état de leur utilisation. Volume 1 : Contexte général
- Plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau (PDAIRE) des bassins Souss Massa, Mission 1 : Collecte des données, diagnostic et évaluation des ressources en eau et état de leur utilisation. Volume 2 : Ressources en eau de surface
- Plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau (PDAIRE) des bassins Souss Massa, Mission 1 : Collecte des données, diagnostic et évaluation des ressources en eau et état de leur utilisation. Volume 3 : Ressources en eau souterraine