



Université Cadi Ayyad
Faculté des Sciences et
Techniques- Marrakech



Office de Mise en Valeur
agricole du Haouz- Marrakech

MEMOIRE

Présenté pour obtenir le titre de :

Licence es Sciences et Technique

Eau et environnement

Gestion de la nappe phréatique du Haouz-Mejjate (Maroc)

Par : **Amkadni Youssef**
Alaoui Ismaili Soulaimane

Encadrés par :

- **Mr SAIDI Mohamed El Mehdi** (Faculté des Sciences et Techniques)
- **Mr SGHIR Fathallah** (Office de Mise en Valeur agricole du Haouz)

Soutenu le 01 /03/2012 devant la commission d'examen composée de :

- **MR. JAFFAL MOHAMED** (Faculté des Sciences et Techniques)
- **MR. TOUIL AHMED** (Faculté des Sciences et Techniques)
- **MR. SAIDI MOHAMED El Mehdi** (Faculté des Sciences et Techniques)

2011-2012

Dédicace

A nos parents

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

A nos enseignants & professeurs

Pour leur patience, dévouement et sacrifice.

A nos amis & frères

A citer un grand remerciement et gratitude envers nos amis, pour leurs aides et leurs sacrifices.

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

Remerciements

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

Nous remercions aussi tous les professeurs du département de science de la terre de la faculté des Sciences et Techniques, pour leurs soutiens et leurs conseils.

Par ailleurs, la réalisation de ce travail n'aurait pas été possible sans le soutien moral et effectif de nos familles. Nous remercions donc nos parents pour leur appui et leur soutien durant toutes nos années d'études.

On remercie également toute personne qui a aidé de manière directe ou indirecte à la réalisation de ce mémoire.

Nos amis et nos frères pour leur encouragement et leur soutien moral. Nous leur exprimons nos vifs remerciements.

Sommaire :

I-Introduction.....	7
I Définitions et différentes types de nappes	8
I-1:Définition.....	8
I-2:Types de nappes phréatiques.....	8
I-2-1:Nappe libre.....	8
I-2-2:Nappe captive.....	9
I-2-3:Nappe semi-captive.....	10
II:Conditions générales et naturelles de la région du Haouz.....	11
II-1:Localisation géographique de la région.....	11
II-2:Climat et hydrologie.....	11
II-3:Géologie et hydrologie.....	14
II-4:Végétation et sols.....	15
III:Les caractéristiques de la nappe Phréatique du Haouz-Mejjate.....	16
III-1:Niveau Piézométrique et qualité des eaux souterraines.....	16
III-1-1:Baisse du niveau piézométrique.....	16
III-1-2:Qualité des eaux souterraines.....	20
III-1-3:Réseau piézométrique.....	21
III-2:Conditions aux limites.....	22
III-3:Paramètres hydrologiques.....	22
IV:-Situation actuelle des eaux souterraines de la nappe Haouz-Mejjate.....	24
IV-1:Processus de recharge et de vidange naturelle de l'aquifère.....	24
IV-1-1:Processus de recharge naturelle de l'aquifère.....	24
IV-1-2:Processus de vidange naturelle de l'aquifère.....	27
IV-2:Prélèvement des eaux souterraines dans la zone de l'étude.....	29
IV-3:Prélèvement des eaux souterraines pour l'irrigation agricole.....	30
IV-3-1:Prélèvement des eaux souterraines dans la zone PMH.....	30
IV-3-2:Prélèvement des eaux souterraines dans la zone GH.....	31
IV-4:Prélèvement des eaux souterraines pour l'AEP.....	32
IV-5:Autres prélèvements d'eaux souterraines (secteurs urbains).....	33
V:-Bilan Hydrique et cas prévisionnels de la nappe du Haouz.....	34
V-1 :Bilans calculés.....	34
V-2:Les scénarios prévisionnels.....	36
V-3:Simulations des évolutions possible de la nappe.....	36
V-4:Impacts attendus des scénarios.....	36
V-4-1:scénario pour la continuation de la situation actuelle.....	36
V-4-2:scénario pour la demande en eau maximale.....	38
V-4-3:Scénario de sauvegarde de la nappe.....	39

a –Gestion de la demande en eau d'irrigation par le développement de la micro-irrigation.....	39
b –Réutilisation des eaux usées épurées de la ville de Marrakech.....	43
c –Mobilisation optimale des eaux de surface	44
d –Développement de la recharge artificielle de la nappe.....	45
VII-La politique de la gestion des ressources en eau et le Système juridique.....	50
VII-1 :Loi sur l'eau 10-95.....	50
VII-2 :Contrat de nappe.....	51
VII-2-1 :Elaboration du contrat de nappe.....	51
VII-2-2 :Etat des lieux.....	51
VII-2-3 :Perspectives du développement	51
Conclusion et Recommandations.....	53

Abréviations :

ABHT	Agence du Bassin Hydraulique du Tensift
AEP	Alimentation en eau potable
AEPI	Alimentation en eau potable et d'irrigation
CMV	Centres de Mise en Valeur Agricole
DBO5	Demande biochimique en oxygène en cinq jours
DPA	direction provinciale d'agriculture
DRH	Direction des ressources humaines
ETR	Evapotranspiration
GH	Grande Hydraulique
HYDRAUMET	Sté de prestations hydrauliques et météorologiques
INRA	Institut national de la recherche agronomique
ONEP	Office National de l'Eau Potable
ORMVAH	Offices Régionaux de Mise en Valeur Agricole
PMH	Petite et Moyenne Hydraulique
SAU	Superficie Agricole Utile
STI	Surface totale d'irrigation

Introduction :

Le Maroc a toujours fait du développement du secteur de l'eau une priorité et un choix stratégique. Ce secteur qui constitue un des principaux leviers du développement économique et social, se trouve confronté à deux défis essentiels:

- L'épuisement des ressources en eau en rapport avec l'accroissement de la demande en eau tout usages confondus, avec une tendance à la pénurie absolue d'ici 2025.
- La dégradation des ressources en eau qui subissent différentes formes de pollution.

La rareté des ressources en eau, et la forte irrégularité aussi bien spatiale, que temporelle, qui caractérisent le contexte marocain, ont conditionné les choix des pouvoirs publics à adopter une stratégie globale dont les résultats ont prouvé son efficacité particulièrement durant les périodes de sécheresse consécutives. Cette stratégie tout azimut a concerné aussi bien le plan législatif et réglementaire que le plan de la mobilisation et de la protection des ressources en eau.

La politique de mobilisation et de protection des ressources en eau, en particulier souterraine dont le potentiel mobilisable est de l'ordre de 4 milliards de m³ sur un total de 20 milliards, nécessite une gestion participative ainsi que le recours à de nouvelles approches et technologies pour compléter les méthodes conventionnelles utilisées jusqu'à présent.

Dans ce rapport on va s'intéresser d'une part aux caractéristiques de la nappe phréatique de Haouz-Mejjate, en plus de la situation actuelle des eaux souterraines dans cette nappe, et d'autre part au bilan hydrique et des cas prévisionnels de la nappe avec les différents scénarios qui existent, afin de donner une politique de la gestion des ressources en eaux.

I- Définitions et différents types de nappes :

I-1: Définition :

Une nappe phréatique. (en grec "phrear" qui veut dire "puits") est une masse d'eau contenue dans les fissures du sous-sol ; elle est accessible généralement par le puits ou par le forage. La nappe phréatique peut avoir pour plancher une couche imperméable tout comme elle peut avoir comme toit une couche imperméable : la nappe devient alors captive. Au plus proche de la mer, la nappe phréatique d'eau douce rencontre la nappe phréatique d'eau salée ; la nappe phréatique d'eau douce, ayant une densité plus grande, passe alors en dessous de la nappe phréatique d'eau salée.

I-2: Types de nappes phréatiques :

I-2-1: Nappe libre :

Caractérisée par :

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

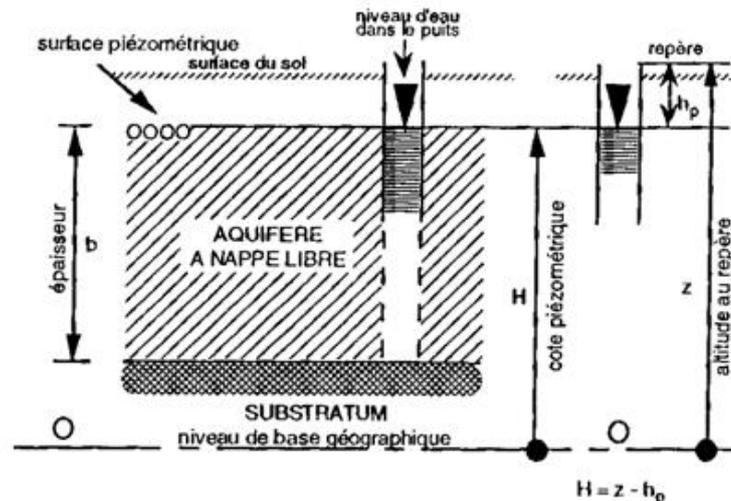


Fig.1: Schéma d'une nappe libre

I-2-2:Nappe captive :

Elle est définie par :

- Deux imperméables (un toit et un mur)

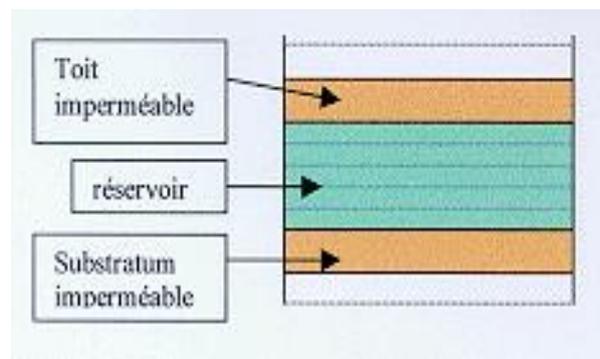


Fig.2:Schéma d'une nappe captive

Elle existe plusieurs types :

- **Nappe artésienne** : lorsque le niveau piézométrique est plus haut que la surface du sol, quand on fore un puits dans une nappe captive, l'eau remonte dans l'ouvrage, si la pression est suffisante, l'eau peut remonter jusqu'à la surface du sol et jaillir , la nappe captive est dite artésienne

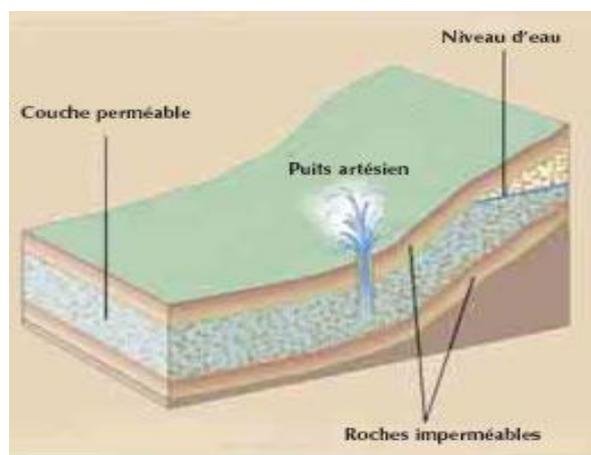


Fig.3 Schéma d'une nappe captive (artésienne)

- **Nappe fossile :**

Les nappes captives profondes qui se sont formées il y a plusieurs milliers d'années ont des taux de renouvellement très faibles. Certaines nappes captives très profondes (à 500 mètres sous terre, par exemple) sont appelées nappes fossiles car elles ne peuvent être alimentées facilement par des eaux de surface, du fait de leur grande profondeur.

I-2-3:Nappe semi-captive:

Le toit ou le substratum (ou les deux) de l'aquifère sont souvent constitués par un semi-perméable.

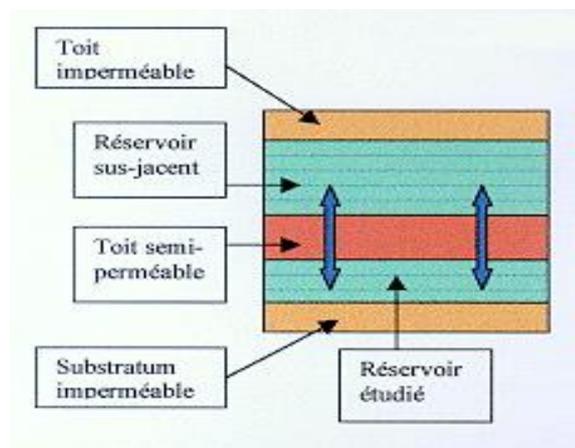


Fig.4 : Schéma d'une nappe semi-captive

II: Conditions générales et naturelles de la région du Haouz:

II-1: Localisation géographique de la région :

La plaine du Haouz , située entre le 31 et 32 ème degrés de latitude nord à 500m d'altitude moyenne, s'étend entre le haut Atlas au sud, les Jbilet au nord, le moyen Atlas à l'est et les collines de Mzoudia à l'ouest.

La plaine est divisée en 3 régions : Haouz occidental (plaine de Mejjate), Haouz central et Haouz oriental.

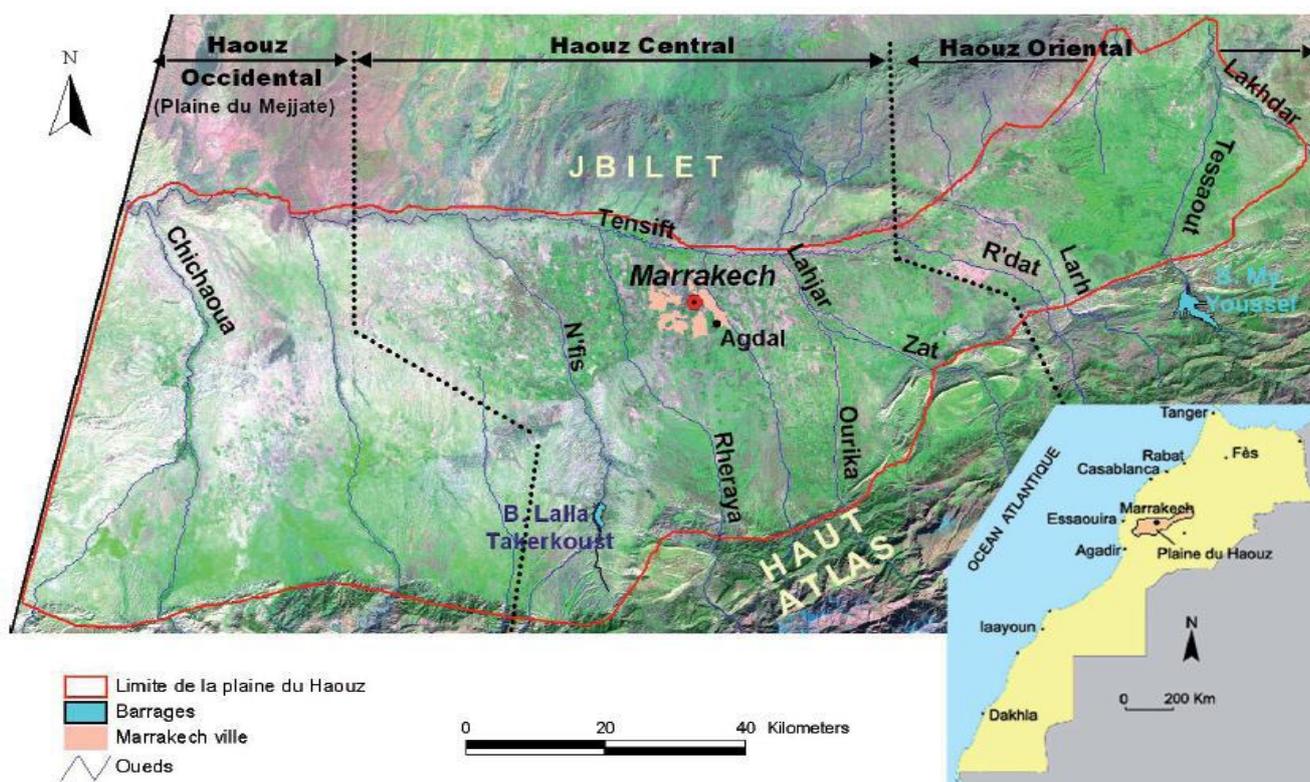


Fig.5: Situation géographique du Haouz Central (Landsat, TM 2007)

II-2: Climat et hydrologie :

Les conditions climatiques de la région de la plaine du Haouz sont celles du climat continental semi-aride. La température moyenne annuelle à Marrakech, située au centre de la plaine, est de 19,9°C et les températures moyennes mensuelles y varient entre 11,9 °C en janvier et 28,7 °C en juillet. A LallaTakerkoust, qui est située au pied des montagnes de l'Atlas, la température annuelle moyenne est de 18,0 °C.

La température moyenne mensuelle de janvier y est de 11,4 °C et celle de juillet de 26,6 °C. ASidi Rahal, qui est située à la limite de l'est de la Plaine du Haouz, la température moyenne annuelle est de 18,8 °C, et la température moyenne mensuelle de janvier est de 12,0 °C et celle de juillet est de 27,7 °C.

D'importantes précipitations sont observées le long des montagnes de l'Atlas situées au sud et au sud-est de la plaine, où la quantité moyenne annuelle des précipitations est de 259 mm à Lalla Takerkoust et de 535 mm à Aghbalou. Dans la région de la plaine, la quantité moyenne annuelle des précipitations est comparativement plus basse : 176 mm à Abadla et 216 mm à Marrakech.

En général, la saison des pluies commence en octobre et continue jusqu'en mars ou avril. 86% des précipitations annuelles à Marrakech (216 mm) interviennent entre octobre au mars et ce phénomène se voit dans toute la région.

L'évaporation annuelle est de 1830 mm à Lalla Takerkoust et de 2640 mm dans la partie centrale de la plaine du Haouz. (Tableau 1 et 2)

La quantité des précipitations dans la zone de l'étude a une tendance à diminuer à long terme. A la ville de Marrakech, située au centre de la plaine du Haouz, les précipitations diminuent au rythme de 0,18% en moyenne annuelle et à Sidi Rahal de l'est, au rythme de 0,21%.

En particulier, dans les 10 dernières années, les sécheresses étaient sévères. Tandis que la quantité moyenne annuelle à Marrakech depuis 1970 était de 220 mm, celle des 10 dernières années est de 204 mm. A Sidi Rahal aussi, le même paramètre était de 349 mm et celle des 10 dernières années est de 319 mm. Cela signifie que, dans les 10 dernières années, la quantité des précipitations marque une baisse de 8% par rapport à celle moyenne à long terme. (Fig. 6)

Le bassin de Tensift, dans lequel est située la plaine du Haouz, comprend les montagnes de l'Atlas comme un bassin du sud. Au nord de la plaine, la rivière de Tensift, qui est une rivière principale dans le bassin, coule de l'est à l'ouest et débouche dans l'océan Atlantique.

La longueur totale de la rivière de Tensift est 260 km et la superficie du bassin est de 19800 km². La zone de l'étude est délimitée entre la zone du confluent de la rivière de Chichaoua et la plaine située sur la rive gauche de la rivière de Tensift à l'est.

Les principaux affluents de la rivière de Tensift qui concerne la zone de l'étude sont : l'oued Chichaoua, l'oued d'Assif El Mal, l'oued N'Fis, l'oued Rheraya, l'oued Ghmat et l'oued R'dat. Dans sa partie amont, la rivière de Tensift prend le nom de l'oued Lahr.

Le débit de la rivière de Tensift et de ses affluents commence à augmenter en novembre, après le début des pluies. Le débit maximum est observé de mars jusqu'en avril où la neige commence à fondre et un débit important reste mesuré en général jusqu'au mois de mai. Le débit de ces rivières se varie d'une saison à l'autre : plus de 80% du débit total est observé de novembre à mai et il s'épuise souvent de juillet à septembre pendant la saison sèche, y compris pour la rivière de Tensift.

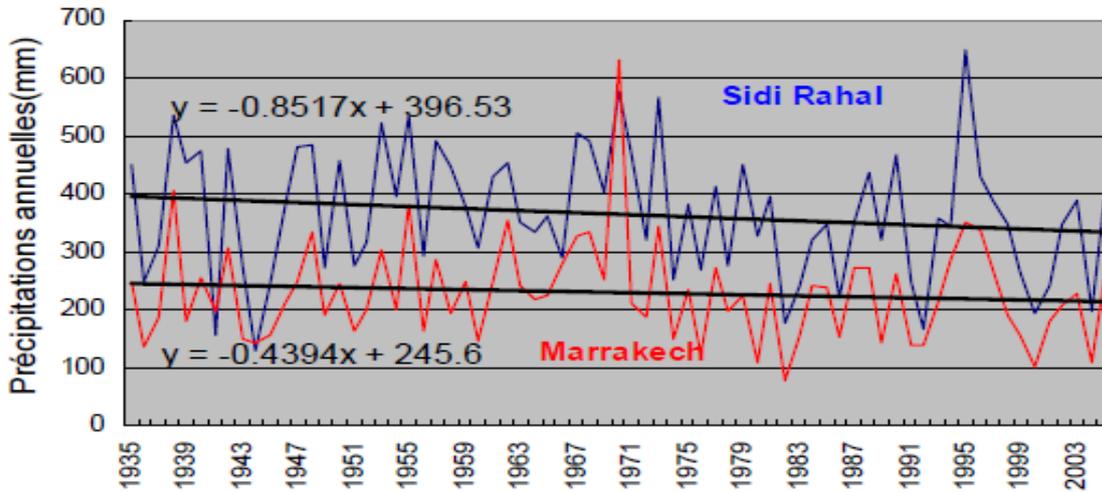


Fig .6: Evolution des précipitations annuelles dans la zone de l'étude
Source : ABHT.

Station	Sidi Rahal	Aghbalo	Tahenaout	Lalla Takerkoust	Marrakech	Abadla	Chichaoua	Sidi Bouathmane	Illoudjane
Altitude (m)	690	1070	925	630	460	250	340	820	757
Précipitation: Annuelles (m)	349	535	368	259	216	176	135	345	339

Tableau 1: Quantité moyenne des précipitations annuelles dans la plaine du Haouz

Station	Altitude (m)	Precip. Et Temp.	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Moyenne Annuelle
Sidi Rahal	690	Temp moy (C°)	24.2	19.9	15.9	12.6	12	13.3	14.8	15.9	18.7	22.7	27.7	27.3	18.8
		Precip moy (mm)	10.1	33.4	43.4	36.3	46.6	41.9	47.7	47.5	24.9	8.2	2.8	5.7	349
Lalla Takerkoust	630	Temp Moy (C°)	22.9	18.8	14.8	12.7	11.4	13.1	14.6	15.7	18.8	21.1	26.6	25.7	18
		Precip moy (mm)	9.1	25.1	33.4	24.3	29.9	31.4	34.6	38.5	19.1	7.4	3.6	2.4	259
Marrakech	470	Temp Moy (C°)	25.3	21.1	16.3	12.8	11.9	13.8	16.1	18	21.2	24.5	28.6	28.7	19.9
		Precip moy (mm)	5.9	16.3	25.5	22.4	26.4	26.1	39.6	29.8	10.5	5.1	1	2.1	216

Tableau 2: Température et précipitations moyennes dans la zone de l'étude

II-3:Géologie et hydrogéologie :

Les caractéristiques géologiques et hydrogéologiques du bassin de Tensift sont résumées comme suit :

Plaine du Haouz :

Les dépôts du néogène au quaternaire alluvial forment la plaine. La couche de calcaire existe autour de Chichaoua et en amont jusqu'au pied du Haut Atlas. Ces formations sont généralement perméables et l'eau souterraine peut être exploitée. Quelques dépôts paléozoïques sont dispersés dans le sud du centre de la plaine, et au sud-est de Guemassa. Cette formation paléozoïque est constituée de schiste, quartzite, calcaire et elle est presque imperméable.

Essaouira-Chichaoua

Le plateau est formé par les dépôts allant du Crétacé à l'Eocène. Ces formations consistent en dolomie et calcaire marne. Elles sont perméables et sont exploitées pour l'alimentation en eau potable et pour l'agriculture.

Montagnes de Jbilet

Les Montagnes de Jbilet appartiennent au Paléozoïque et sont composés de schiste, micaschiste, quartzite, et du calcaire. Les formations sont presque imperméables et aucune aquifère ne peut se former.

Montagnes du Haut Atlas

Les Montagnes du Haut Atlas dans le bassin de Tensift appartiennent essentiellement au Paléozoïque et en partie en Précambrien. Il se peut qu'il y ait des fissures ou des fentes dans les roches perméables.

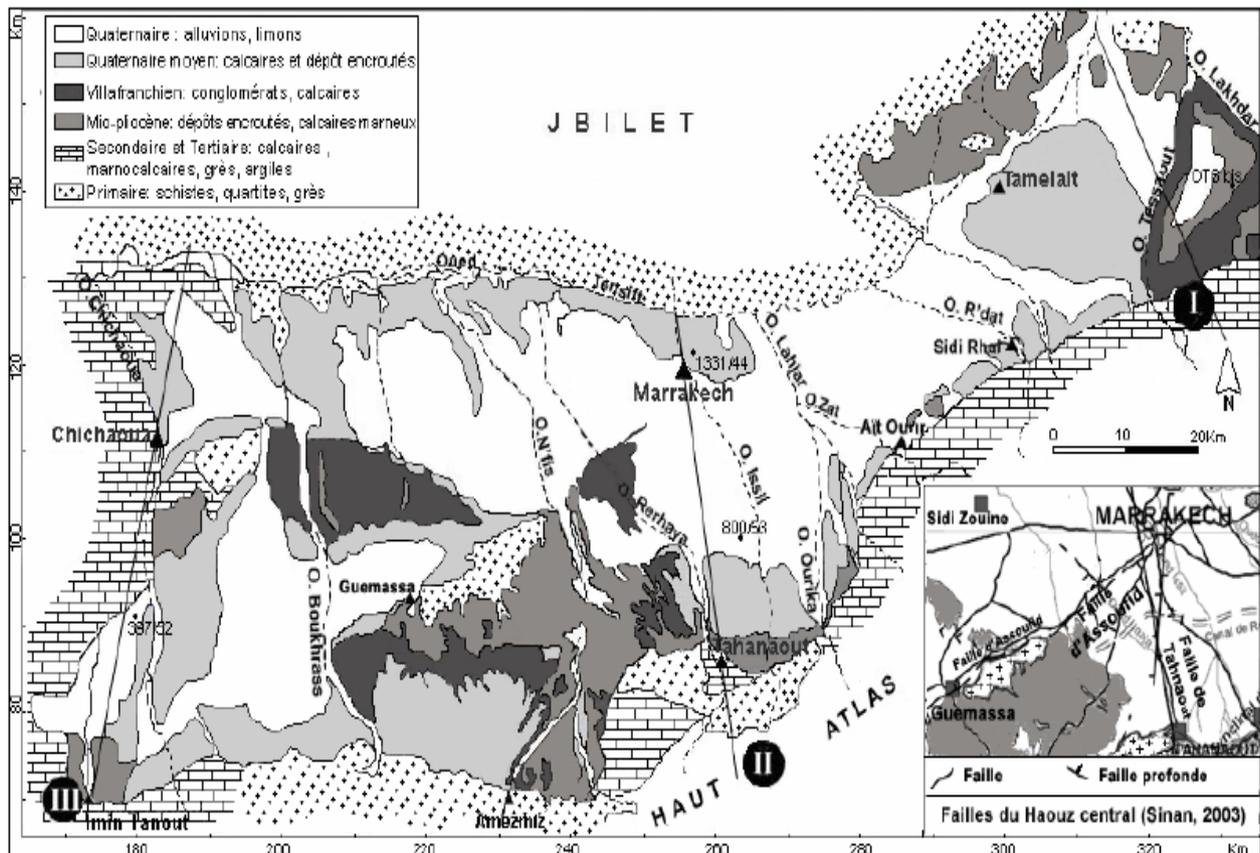


Figure 7 : Carte géologique du Haouz (D'après la carte 1/500 000 Du Haouz)

II-4: Végétation et sols :

Dans la zone de l'étude, la couverture végétale est généralement pauvre. Les trois quarts de la superficie sont presque nus. Les types de végétation varient selon l'altitude et la nature des terrains.

Les forêts de chêne à feuilles persistantes (Arganiers, Thuya, Genièvre rouge, etc.) s'étendent sur la chaîne de montagnes de l'Atlas jusqu'aux collines de Rhamna.

Les forêts couvrent 541000 ha. La végétation autour des montagnes de l'Atlas constitue en une partie important des ressources écologiques du Maroc au point de vue de la diversité de l'écosystème.

La conservation de la végétation dans la région, à côté de l'oasis des palmiers de Marrakech et les forêts d'Arganiers à Essaouira, est à prendre en considération.

La végétation par les plantes agricoles regroupe une grande variété, y compris les céréales, l'olivier, l'abricotier, l'oranger, les rosiers, les pommiers et les plantes fourragères. Pour la province d'Al Haouz, 75,6 % de la zone cultivée totale est couverte avec des plantations des arbres fruitiers, alors que le reste est couvert par d'autres cultures.

Le sol de la région de Marrakech-Tensift-Al Haouz s'étend entre Jbilet et les montagnes de l'Atlas.

Les différents sols de la région sont comme suit :

Sol Isohumique (Fluvisols, Regosols, Lithisols) appelée localement « Requane » et couvre 75% de la surface.

Sol Cacemagnésic (Rendzians, Yermosols, Xerosols) appelée localement « Biad » couvre environ 15% de la surface. Ce type de sol existe au nord-ouest de N'Fis, sud-est de la région centrale et au nord d'El Kalaa d'Essraghna.

Sol inexploité localement appelé « Hach » il couvre une petite partie de la zone 10% le long des rivières de la Plaine de Haouz et au pied des montagnes de l'Atlas.

III-: Les caractéristiques de la nappe phréatique du Haouz-Mejjat :

Nappe libre caractérisée par un écoulement général vers le nord-est, La surface libre de la nappe s'établit en moyenne à 30 m sous le niveau du sol, mais se situe entre 5 à 10 m le long de l'Oued Tensift et peut descendre jusqu'à 80 m le long du piémont de l'Atlas.

Dans les zones où l'eau souterraine fait l'objet d'une exploitation intensive, elle s'établit aux environs de 40 à 50 m.

Les productivités de la nappe sont généralement bonnes. Elles sont de quelques litres par seconde et peuvent atteindre par endroit 50 l/s ; mais en se rapprochant de la zone piémontaise, elles deviennent de plus en plus faibles.

III-1: Niveau piézométrique et qualité des eaux souterraines:

III-1-1: Baisse du niveau piézométrique :

La figure 8 montre les variations des niveaux piézométriques depuis 1965 sur une sélection de piézomètres représentatifs.

Les mesures piézométriques les plus anciennes montrent que la baisse du niveau est enregistrée depuis le début des années 1970, notamment dans la partie centrale de l'aquifère (voir IRE 2941/44 et IRE 2162/44) où elle peut atteindre 1 m/an.

Dans la plaine de Mejjate, bordure ouest, un rabattement est aussi enregistré, mais significativement plus faible : de l'ordre de 0,1 m/an. Cette baisse de la surface piézométrique se poursuit jusqu'au début des années 1990. Elle s'est même interrompue plus tôt au droit de certains périmètres irrigués où le niveau piézométrique s'est quelquefois localement élevé.

Ensuite et jusqu'en 1998, la plupart des piézomètres montrent des variations interannuelles autour d'une valeur moyenne, reflétant ainsi un état globalement stationnaire de l'aquifère (Fig.9).

Cet état pseudo-permanent est confirmé par la comparaison des cartes piézométriques dressées pour les années 1986 et 1998 (Fig. 10 et 11).

A partir de ces cartes, le calcul de la variation du volume mouillé de l'aquifère montre que celle-ci est quasi nulle (le volume mouillé de l'aquifère semble même légèrement augmenter entre 1986 et 1998).

Depuis 2001, la plupart des piézomètres montrent un rabattement important, de 1 à plus de 10 mètres en une seule année en certains points (IRE 0385/53).

L'année 2001 est caractérisée par un important déficit des précipitations, ce déficit impacte à la fois la recharge directe de l'aquifère par les eaux de pluies ou par les eaux

de surface utilisées par l'irrigation qui diminue, mais également les prélèvements d'eaux souterraines qui augmentent.

L'année 2001 semble bien être la première caractérisée par un déficit dans le bilan et par voie de conséquence par un épuisement de la réserve aquifère.

Les calculs de variation du volume mouillé de l'aquifère réalisés à partir des cartes piézométriques dressées pour les années 1998 et 2002 (Fig. 11 et 12) montrent que ce déficit est important : entre 200 et 1 600 Mm³ pour une interstice moyenne comprise en 1 et 8% (d'après les résultats des essais par pompage rapportés par BERNERT et PROST).

Un bilan préliminaire des eaux souterraines confirme qu'un déficit est bien enregistré pour la campagne agricole 2000/01, mais probablement pas pour la période 1993-2000, même si une baisse du niveau piézométrique peut être observée par endroits.

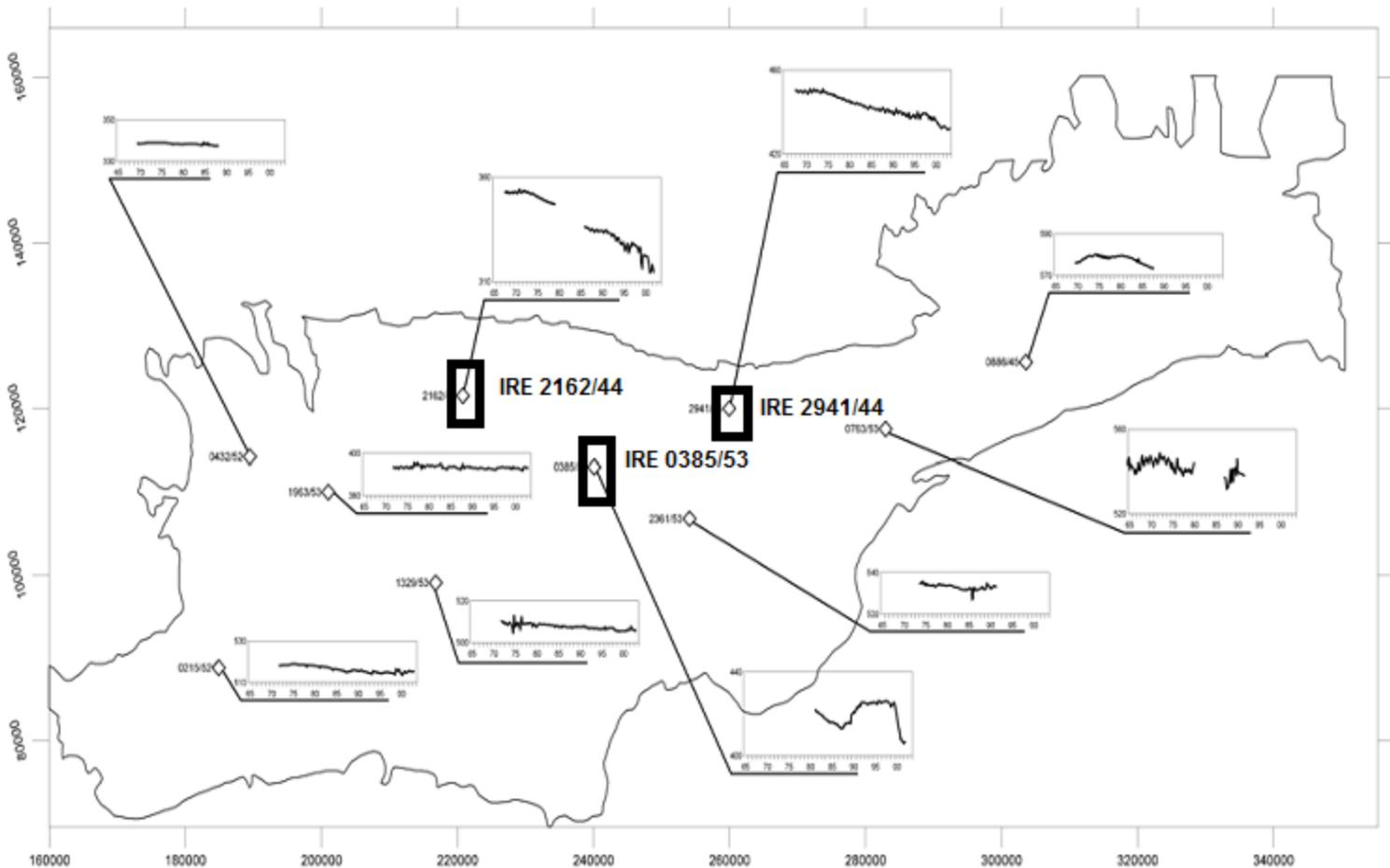


Figure 8 : Evolution du niveau piézométrique dans l'aquifère de la plaine Haouz.

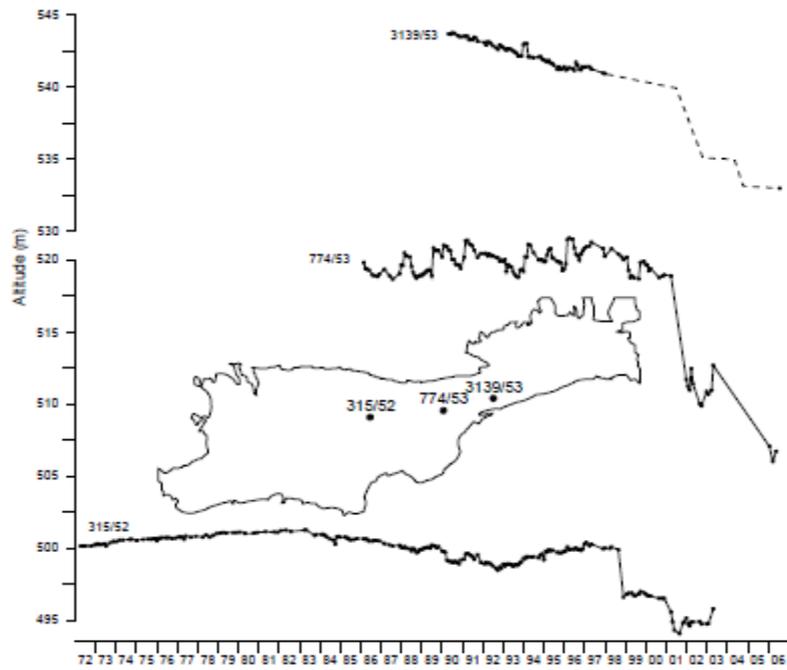


Fig.9: Variation piézométrique dans le Haouz centrale

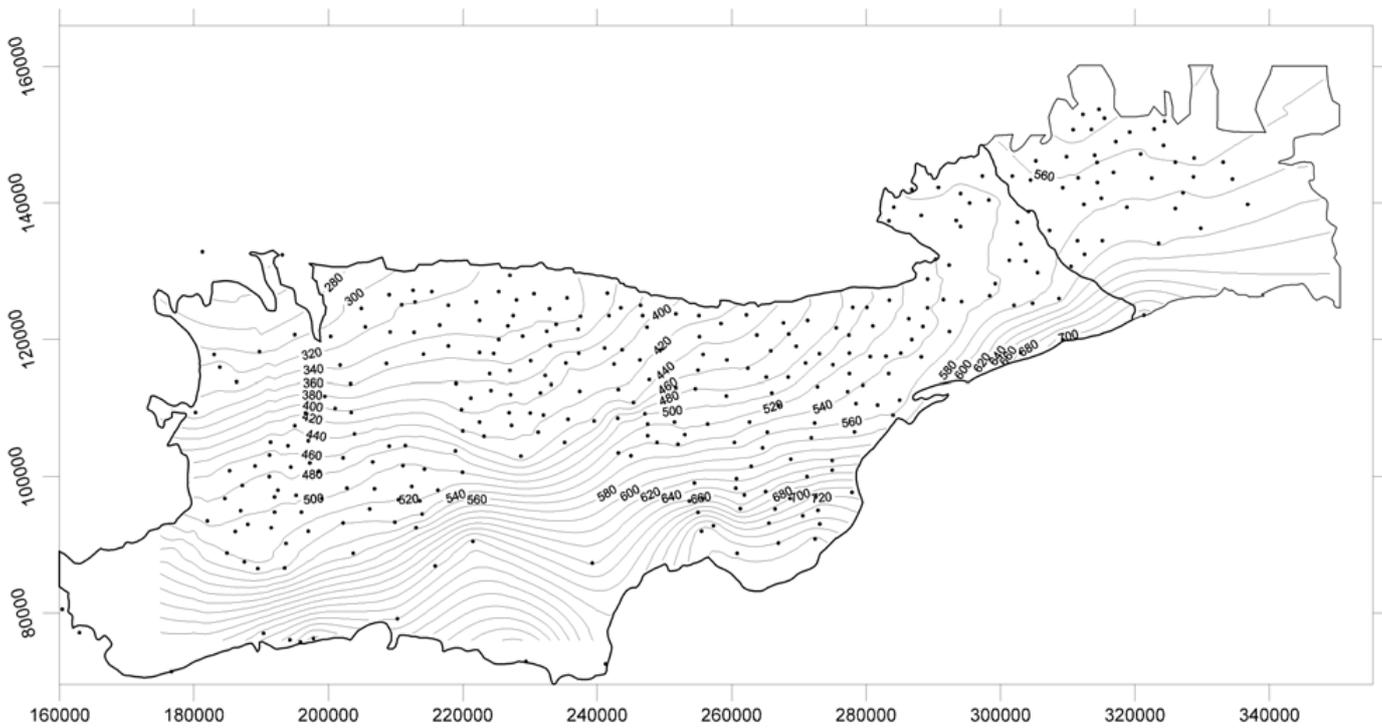


Fig.10:Carte du niveau piézométrique de l'aquifère de la plaine du Haouz-1986

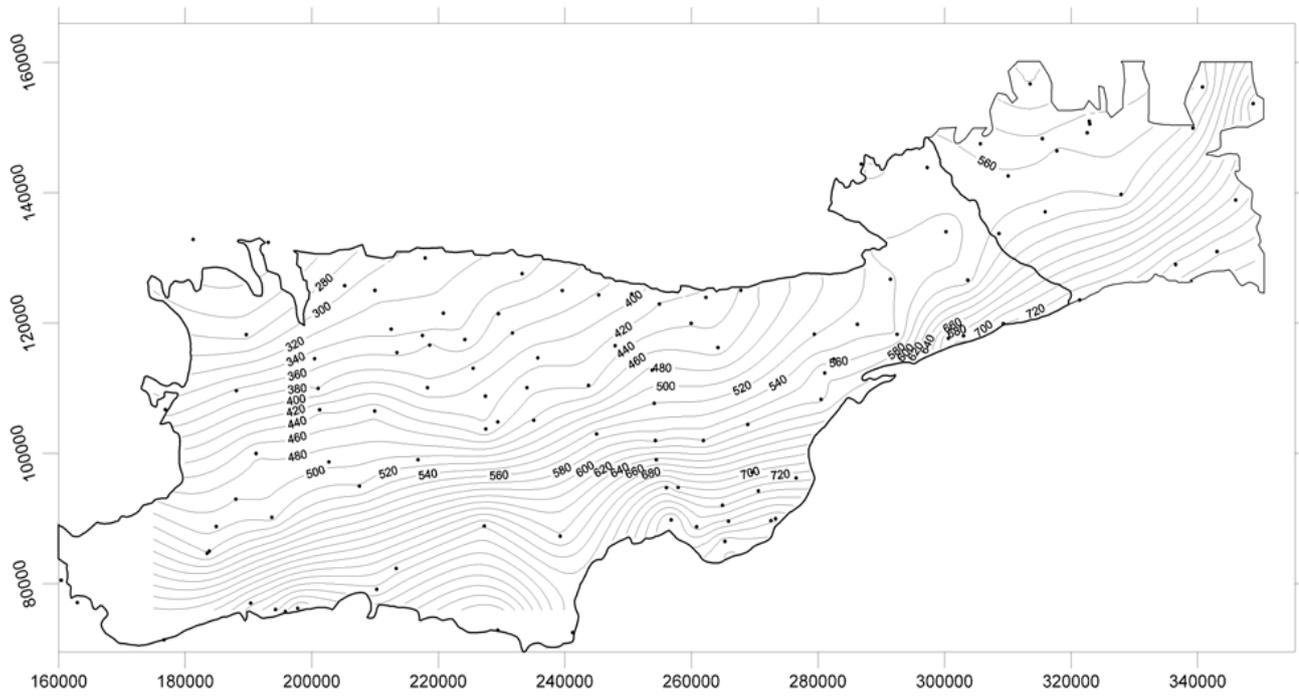


Fig.11: Carte du niveau piézométrique de l'aquifère de la plaine du Haouz - 1998

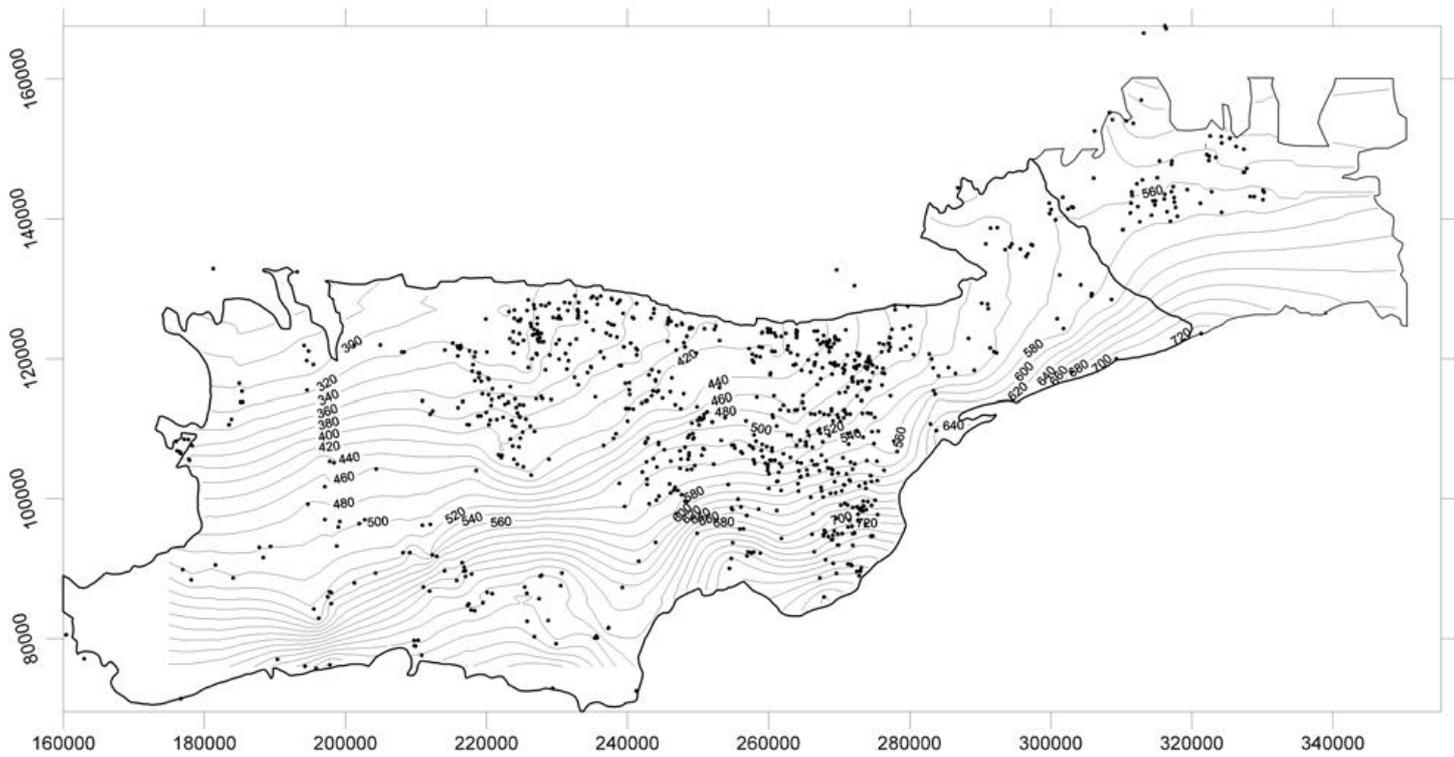


Fig.12: Carte du niveau piézométrique de l'aquifère de la plaine du Haouz - 2002

III-1-2: Qualité des eaux souterraines:

Le Tableau.3 donne les standards de qualité des eaux souterraines tels que proposés au Ministère par l'ABHT, dans l'attente d'une approbation finale.

Des analyses qualitatives des eaux souterraines ont été conduites régulièrement par l'ABHT sur des forages de production et sur quelques ouvrages de suivi.

Les renseignements apportés par les 2,349 puits analysés sont les suivants :

- La conductivité des échantillons s'établit au niveau « bon » à « moyen », à l'exception de quelques échantillons remarquables qui montrent une minéralisation de niveau « très mauvais »

- Les matières oxydables sont globalement faibles pour la plupart des échantillons testés.

- Les chlorures s'établissent le plus souvent à un niveau « excellent » à « moyen », à l'exception de quelques échantillons remarquables qui montrent un niveau « très mauvais » .

- L'azote sous la forme ammoniacque et nitrates montre une tendance à un niveau «excellent » à « moyen ». Le processus de décomposition de l'azote est observé sur la plupart des échantillons analysés.

- Les taux de coliformes fécaux sont toujours « excellents » à « bons ».

- Plus de 90% des échantillons analysés ressortent « excellents » à « moyens » et au final, les eaux souterraines de l'aquifère de la plaine du Haouz montrent une qualité acceptable.

- Cependant, il faut noter que quelques 8% des échantillons montrent une contamination. Sur ces échantillons, des contre-mesures doivent être prises

Qualité des eaux	Conductivité Ms/cm	Permanganate de potassium (KmnO4) Mg/L	Clorure (Cl-) Mg/L	Ammonium NH4+ Mg/L	Nitrate NO3- Mg/L	Coliformes fécaux Fécal/100ml Mg/L
Excellente	< 400	<3	<200	<0.1	<5	<20
Bonne	400-1300	3-5	200-300	0.1-0.5	5-25	20-2000
Moyenne	1300-2700	5-8	300-750	0.5-2	25-50	2000-20000
Mauvaise	2700-3000	>8	750-1000	2-8	50-100	>20000
Très mauvaise	>3000	-	>1000	>8	>100	-

Tableau.3: Normes relatives au standard des eaux souterraines

III-1-3: Réseau piézométrique existant :

En plus de nombreux forages et puits privés de la zone, des centaines de piézomètres ont été forés par la DRH et maintenant par l'ABHT en particulier depuis 1983.

Les campagnes piézométriques sur l'aquifère de la plaine du Haouz sont maintenant conduites par quatre organismes :

- **Le service des eaux de la Willaya** est en charge de la tournée piézométrique sur la plaine de Mejjate. La dernière campagne a été conduite en juin 2005. Onze niveaux piézométriques ont alors été relevés.
- **Le service des eaux de la province du Haouz** est en charge du suivi des piézomètres dans le Haouz Central. Des campagnes de mesures sont régulièrement réalisées, dont la dernière en août 2006. Neuf mesures ont alors été faites.
- **La société HYDRAUMET** a été mandatée par l'ABHT pour mesurer les niveaux piézométriques sur vingt et un points répartis sur l'ensemble de l'aquifère, chaque deux mois. Parmi ces 21 points, 5 sont aussi suivis par la Willaya et 5 par le Service Provincial.
- **L'ABHT** procède directement au suivi de cinq piézomètres équipés d'enregistreurs automatiques.

En complément de ces suivis réguliers, des campagnes piézométriques peuvent être menées (le plus souvent par des consultants) dans le cadre d'études spécifiques, comme cela a été le cas en 2002.

Du fait du nombre peu élevé de piézomètres régulièrement suivis, ces campagnes sont les seules qui fournissent une information suffisamment complète pour l'établissement de cartes piézométriques.

Dans la partie aval de l'aquifère, au droit du secteur Nord-ouest (secteur de Ain Beïda/Sidi Chirek) le gradient hydraulique contrôlant la vidange du système aquifère n'est connu qu'avec peu de précision : le piézomètre le plus proche de l'exutoire en est éloigné de quelques 20 Km.

L'amélioration de la connaissance du gradient ne pourra se faire sans un suivi piézométrique quelque part autour d'Oulad Mbarek, au nord d'Ain Beïda.

En amont écoulement, au droit de la partie sud de l'aquifère, dans le secteur de Zgaggma/Zawia au sud de Gamassa, le gradient hydraulique doit également être précisé.

Des piézomètres additionnels sont nécessaires dans ce secteur, pour mieux cerner les apports latéraux depuis l'Atlas.

Sur la limite extrême est de la plaine du Haouz Central, l'information piézométrique n'est pas dense, en particulier pour positionner la crête piézométrique qui sépare le Haouz Central du Haouz Oriental. Deux piézomètres complémentaires doivent être réalisés le long de cette limite.

A ce jour, l'altitude et les coordonnées des puits piézométriques ne sont données que par les cartes topographiques à l'échelle du 1:50,000. Les cartes piézométriques tracées à partir de cette information ne peuvent prétendre à une précision supérieure à 5 m (l'équidistance des courbes de niveau des cartes topographiques est de 10 m).

Tous les piézomètres inclus dans les campagnes de mesure, y compris les puits et forages privés, doivent impérativement faire l'objet d'un nivellement de précision, en vue de l'établissement de cartes piézométriques les plus représentatives possibles.

III-2: Conditions aux limites :

- Le contact entre le Haouz et le haut Atlas considéré comme une limite a flux nul, sauf au débouché du oued Ourika et Rheraya dans la plaine ,et au niveau la limite est, que ce contact est pris comme une limite a potentiel imposé .
- Le contact entre le Mejjate et le Haut atlas, de l'embouchure de l'oued Nfis a celle de l'oued Chichaoua, est considérée comme une limite a potentiel imposé .
- La portion sud de la limite de Haouz central et oriental est à potentiel imposé .Le reste de la limite est considéré comme une limite étanche
- Sur toute leur longueur ,l'oued Tensift limitant la zone au nord ainsi que l'oued Chichaoua a l'ouest , constituent une limite de drainage

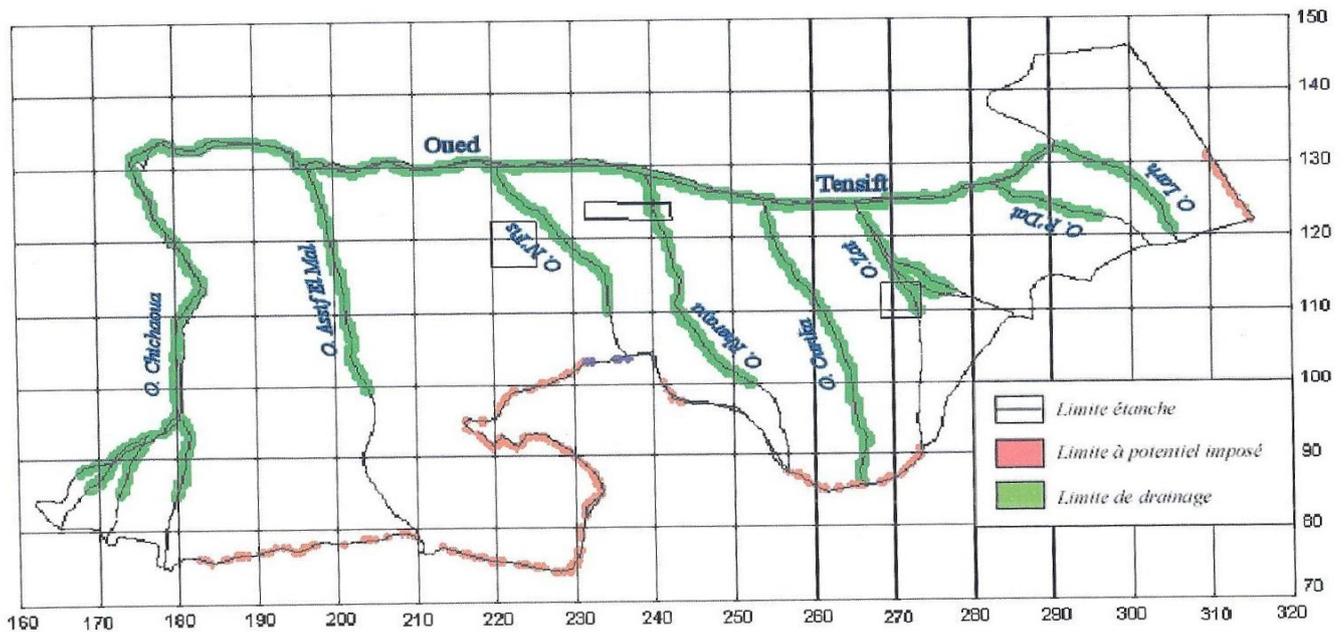


Fig.13 : Conditions aux limites du modèle Haouz-Mejjate (Source : ABHT)

III-3: Paramètres hydrologiques :

Les paramètres hydrologiques des aquifères sont simulés comme suit :

- Tous les tronçons avalés des oueds atlasiques , Larh , R'dat ,Zat ,Issil , Rheghaya ,N'fis , Assif El Mal ,ainsi que le cours de l'oued Ourika sont représentés par des drains . Les débits drainés par ces oueds sont donc calculé automatiquement par le modèle.
- Des débits d'infiltration a partir des écoulements de surface non dérivés par les seguias sont assignés aux tronçons amont de l'oued Rheraya , Zat , et Rdat selon un coefficient d'infiltration de 40%

- L'infiltration direct des eaux de pluies est considéré négligeable dans tout le Haouz .Dans le Mejjate elle est considéré négligeable avant 1986 est constante depuis cette date de l'ordre de 18 mm/an.

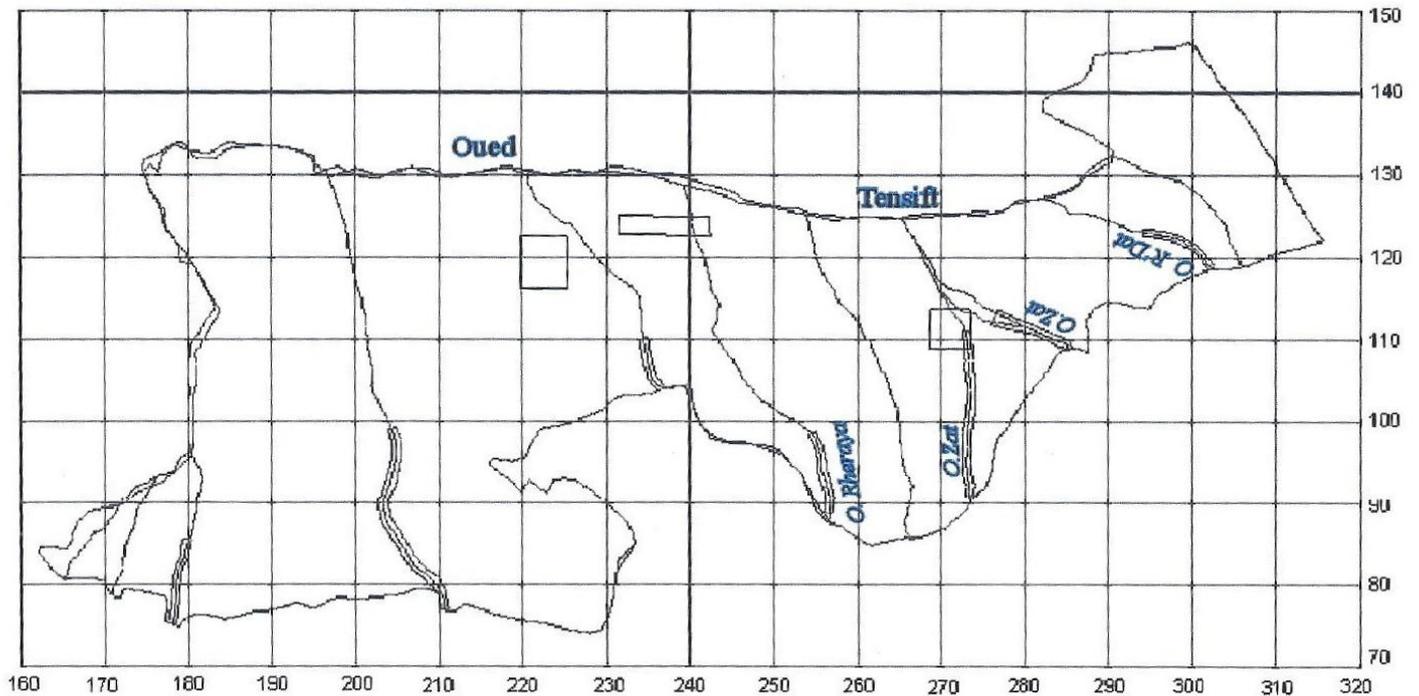


Fig.14 Zones d'infiltration dans les lits des oueds , dans le modèle du Haouz-Mejjate
Source : ABHT

Coefficient d'emmagasinement et transmissivité: (Fig.15)

Grande variation du coefficient d'emmagasinement et de transmissivité selon les régions de la nappe Haouz :

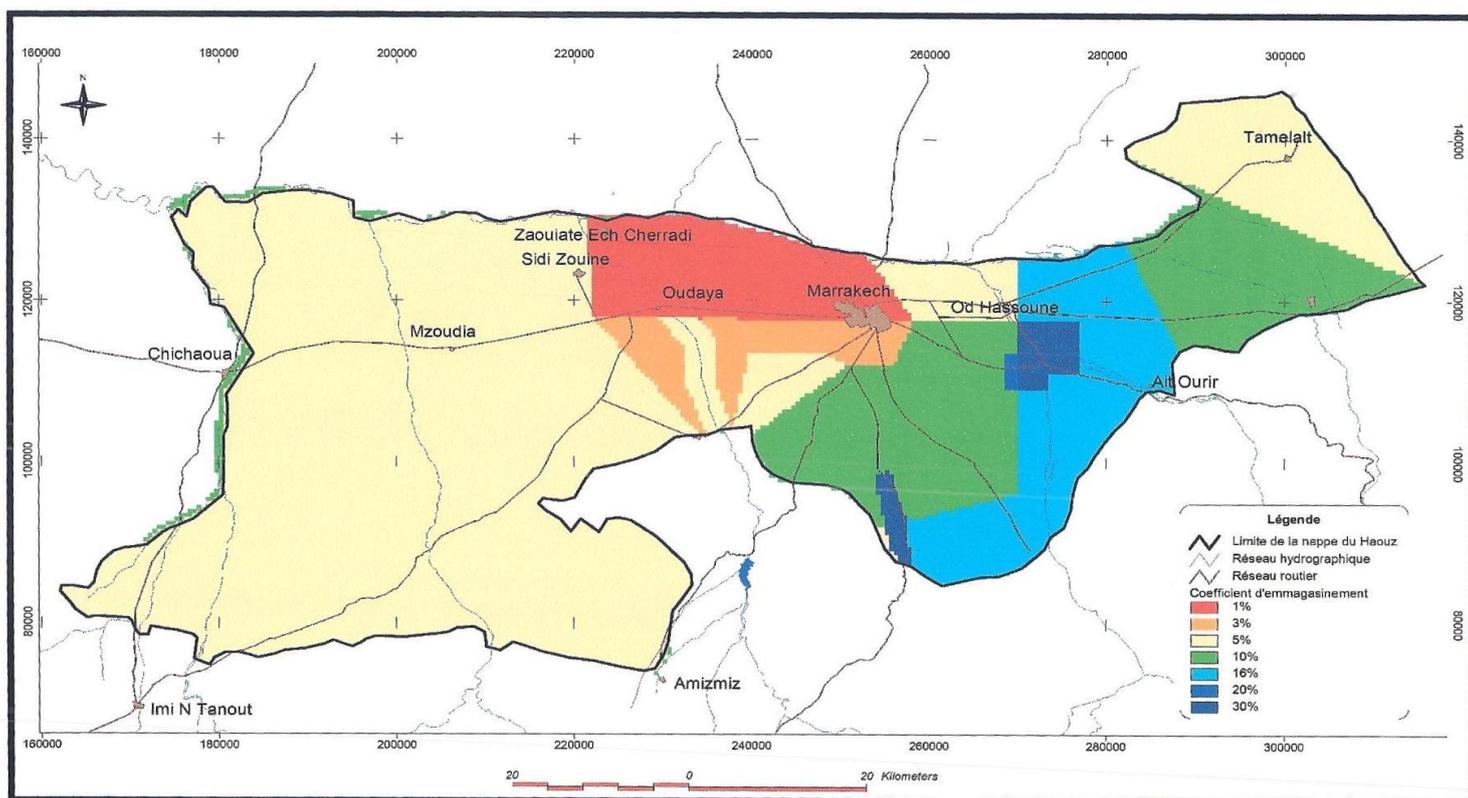


Fig.15: Carte de coefficient d'emmagasinement restitué par le modèle du Haouz-Mejjate
Source : ABHT

IV- Situation actuelles des eaux souterraines de la nappe du Haouz-Mejjate :

IV-1: Processus de recharge et de vidange naturelle de l'aquifère :

IV-1-1: Processus de recharge naturelle de l'aquifère :

La recharge naturelle de l'aquifère est certainement l'un des paramètres les plus difficiles à quantifier.

Au minimum, cette recharge peut se faire selon cinq processus concomitants dans la plaine du Haouz:

- Infiltration directe des eaux de pluie .
- Au droit des secteurs irrigués, infiltration de l'eau d'irrigation en excès (qu'elle provienne d'eaux souterraines ou de surface)
- En période de crue, infiltration préférentielle le long des lits mineurs des oueds et le long du réseau de séguias traditionnelles
- Apport latéral depuis les formations géologiques des montagnes de l'Atlas.

- Drainance ascendante depuis les formations aquifères eo-crétacées qui foment le substratum des séries plio-quaternaires de l'aquifère de la plaine du Haouz.

Infiltration directe des eaux de pluie : l'infiltration directe des eaux de pluie est un processus annoncé par la plupart des auteurs comme peu significatif et probablement négligeable.

Au moyen de techniques isotopiques, montrent que la recharge naturelle de l'aquifère se fait par des eaux infiltrées à des altitudes comprises entre 1200 et 1900 mètres, très éloignées des altitudes de la plaine du Haouz (250 à 800 m).

Ces auteurs n'ont pu quantifier la part de l'infiltration des eaux des pluies qui se fait directement sur la plaine.

Au stade actuel, il convient de retenir que celle-ci ne doit pas dépasser 10 à 20% de la totalité du flux entrant dans le système.

Les auteurs des derniers travaux de modélisation hydrogéologique ont estimé une infiltration directe des eaux de pluies de 6% environ du volume des précipitations au droit de la plaine de Mejjate. Sur le Haouz Central, ils n'ont pas conservé cette proportion mais ont estimé une valeur globale de recharge, dominée par le retour des eaux d'irrigation en excès. Si le chiffre de 6% peut difficilement être appliqué à l'ensemble de la plaine (l'infiltration directe représenterait alors près de 25% de la totalité des flux entrants dans l'aquifère), une valeur globale de 4% des précipitations est certainement réaliste.

Appliquée aux 6 149 Km² de la plaine, ce ratio conduit à une recharge directe de l'ordre de 40 à 110 Mm³ (voir le Tableau ci-après)

	Campagne agricole										
	93/94	94 /95	95/96	96/97	97/98	98/99	99/00	00/01	01/02	02/03	03/04
Pluviométrie moyenne sur la plaine en (mm)	289	304	446	380	298	251	223	153	214	262	299
volume d'infiltration directe (Mm3)	71.0	74.9	109.7	93.5	73.2	61.8	54.9	37.6	52.7	64.4	73.5

Tableau.4 : Estimation de l'infiltration directe des eaux de pluie sur la période 1993-2004

Pour un flux entrant total de l'ordre de 465 Mm³/an, une estimation de l'ordre de 40 à 110 Mm³/an est cohérente avec l'ordre de grandeur donné ci-dessus (la valeur moyenne de 70 Mm³/an représente 15% du flux entrant total).

Infiltration des eaux d'irrigation en excès : selon les auteurs de la dernière étude par modèle mathématique, la plus grande part de l'infiltration sur le Haouz Central se fait à partir des eaux d'irrigation en excès. Ces auteurs montrent la remontée des niveaux

piézométriques au droit des périmètres irrigués du N'Fis, lorsque les eaux de surface alors distribuées pour l'irrigation atteignent des niveaux maximums. Ils concluent à une importante recharge au droit de ce site.

Cependant, la remontée des niveaux piézométriques pourrait également s'expliquer par une diminution des prélèvements d'eau souterraine

lorsque suffisamment d'eau de surface est distribuée pour l'irrigation. Il est probable que ces deux phénomènes se combinent.

Le volume total infiltré à partir des eaux d'irrigation est très excessivement difficile à évaluer. Au droit des périmètres irrigués, il est certainement plus pertinent d'évaluer des prélèvements nets, c'est-à-dire les prélèvements effectifs aux droits de ces périmètres, diminués de cette infiltration.

Infiltration préférentielle le long du lit mineur des oueds en crues : les lits mineurs des oueds sont principalement constitués de matériaux grossiers, qui favorisent l'infiltration des eaux de crue.

BERNERT et PROST (1971) évaluent cette infiltration préférentielle le long des oueds et du système de séguias traditionnels dans le Haouz Central à 183,3 Mm³ pour une année moyenne. Ce chiffre représente 20 à 30% du volume des crues qui atteignent la plaine.

Les auteurs du bilan d'eau souterraine préparé en 2004 estiment que l'infiltration vers la nappe représente quelques 30% du volume qui atteint la plaine diminué du volume dérivé pour l'irrigation, pour une valeur globale de 65,2 Mm³ en 2004.

La différence entre les deux estimations provient du non prise en compte du système des séguias traditionnels lors de l'évaluation de 2004 : ici, le volume infiltré au droit des séguias est comptabilisé comme retour des eaux d'irrigation.

En première approximation, un coefficient moyen de 25% du volume total des crues sera retenu pour la quantification de l'infiltration le long des oueds et des principaux séguias traditionnels.

Les variations du volume ainsi infiltré peuvent être estimées pour chaque campagne agricole, tel que présenté sur le Tableau 5 :

		Campagnes agricoles										
		93/94	94/95	95/96	96/97	97/98	98/99	99/00	00/01	01/02	02/03	03/04
Imintanout	Volume des Crues (Mm3)	47.3	15.6	122	26.8	34	0.9	63.6	1.8	8.7	14.5	12.4
Seksaoua		42.9	14.2	110.7	24.3	30.8	0.9	57.7	1.6	7.9	13.2	11.3
El mal		50.1	9.8	75.7	46.4	13.7	8.9	50.8	0.8	11.3	11.5	7.1
N'fis		159.7	81.8	485	254.4	225	52.9	159.5	25.7	37	80.6	94.1
Reghraya		64.3	30.6	101.5	27.8	40.4	16.6	34.4	2.6	18.1	14.9	21.4
Ourika		287	100.6	211.9	86.7	74.7	76.3	102.2	14.5	95.6	65.9	124.9
Zat		135.3	61.5	199	60.9	108.2	41.3	183.2	20.5	16.8	46.4	79.2
R'dat		106.3	32.8	234	72.2	46	77.6	44.2	8.1	12.6	27.4	127.7
Volume totale		892.9	346.9	1539.9	599.4	572.8	275.4	695.5	75.8	207.9	274.4	478.1
Volume infiltré le long des oueds		223.2	86.7	385	149.9	143.2	68.9	173.9	18.9	52	68.6	119.5

Tableau.5 : Estimation d'infiltration préférentielle le long des oueds de 1993 à 2004

Flux latéral depuis l'Atlas voisin et drainance ascendante depuis les formations aquifères eo-crétacées sous-jacentes : plusieurs estimations quantitatives du flux entrant dans le système de la plaine du Haouz en provenance des systèmes aquifères voisins ont été faites, souvent très différentes les unes des autres.

BERNERT et PROST (1971) ont évalué le flux latéral dans le Haouz Central à 45.2 Mm³ pour une année moyenne.

Ces travaux, modifiés en 2004 et étendus à la plaine de Mejjate, donnent quelques 152 Mm³ (incluant 67 Mm³ depuis le sud et le sud-est de la plaine de Mejjate).

Les derniers travaux de modélisation mathématique concluent à une valeur proche de 221 Mm³ en 2000/01 (dont 86 Mm³ depuis le sud et le sud-est de la plaine de Mejjate). Au vu des cartes piézométriques, et en particulier de celle dressée pour 1972 avant le fort développement des périmètres irrigués et probablement la plus proche d'un régime non influencé, il apparaît clairement qu'une large part du flux entrant dans le système provient du secteur Sud du Haouz Central : ils y sont facilités par d'importantes structures colluviales.

Aucun indice ne laisse supposer que les apports latéraux au Sud de la plaine de Mejjate sont plus importants. Les deux dernières estimations, qui donnent des apports latéraux au niveau du Haouz Central de 1,3 à 1,6 fois plus importants qu'au niveau de la plaine de Mejjate, reflètent certainement correctement la répartition de ces flux, la bordure de l'aquifère étant environ 1,7 fois plus longue ici qu'au Sud de la plaine de Mejjate. Le flux latéral entrant dans le système est certainement de l'ordre de 180 à 230 Mm³/an.

Selon l'estimation quantitative proposée par l'ABHT en 2004, la plus grande part de cet apport se fait par sous-écoulement au niveau des cônes alluviaux, à l'entrée des oueds dans la plaine.

Ces auteurs estiment une entrée latérale de l'ordre de 17,5 Mm³/an: 4,0 Mm³ pour le Haouz Central et 13,5 Mm³ pour la plaine de Mejjate. Ces chiffres anormalement bas (en particulier pour le Haouz Central) doivent être rapprochés de l'estimation quantitative de la ré-infiltration des eaux d'irrigation, qui atteint pour ces auteurs quelques 250 Mm³/an, chiffre certainement très surestimé.

Pour les trois dernières études citées, il n'a pas été tenu compte de la possible drainance ascendante depuis les aquifères eo-crétacés qui forment par endroit le substratum des séries plio-quadernaires de la plaine du Haouz. En 1972, le flux en provenance du réservoir du Lias (y compris vers le Haouz Oriental) a été estimé à 50,5 Mm³/an. En 1987, une estimation du flux en provenance de l'aquifère du Cénomanién-Turonien a donné un chiffre de l'ordre de 9,5 Mm³/an.

Au final, le flux total en provenance des aquifères en contact hydraulique avec le système de la plaine du Haouz devrait atteindre 190 à 290 Mm³/an.

En première approximation, cette valeur peut être estimée à 220 Mm³/an en l'état actuel d'avancement de l'étude. Ce volume doit certainement légèrement augmenter avec l'augmentation du rabattement de la nappe du Haouz qui induit une augmentation du gradient hydraulique entre cet aquifère et ses voisins.

IV-1-2 : Vidange naturelle de l'aquifère :

Les cartes piézométriques dressées pour les années 1986, 1998 et 2002 (voir les Figures 10, 11 et 12) montrent que les flux souterrains convergent vers le secteur de Sidi Chiker en limite nord-ouest de l'aquifère, où affleurent les calcaires du substratum de la plaine. Ces calcaires jurassiques sont très clairement en continuité hydraulique avec les dépôts sédimentaires de la plaine du Haouz.

Dans ce secteur, une partie de cours d'eau tient de l'eau pendant toute l'année et une forte évaporation intervient au niveau du lit de l'oued de Tensift.

Le flux sortant dans ce secteur peut être approximé selon deux méthodes :

Méthode 1 : Le long des 15 000 m de ce cours pérenne de l'oued Tensift, le lit mineur est large d'environ 30 m en moyenne. L'évaporation dans la plaine du Haouz étant de l'ordre de 2 700 mm par an, l'évaporation au droit du lit mineur pourrait alors atteindre quelques 1,2 Mm³/an.

Localement, des prélèvements d'eau de sub-surface (épuisement de trous creusés dans les alluvions grossières de l'oued) pour l'irrigation s'ajoutent à cette évaporation. Ces prélèvements sont de l'ordre de 4,3 Mm³ pour la campagne agricole 2002/2003, valeur estimée à partir de l'ETR calculée sur ce secteur de Sidi Chiker (une bande de 2 Km de large de part et d'autre de l'oued).

Cette valeur d'ETR, calculée selon la méthode FAO à partir de la masse végétale, exclue l'évaporation directe au niveau de l'oued.

Le flux total sortant de l'aquifère au niveau de cette limite Nord-ouest peut alors être estimé à 5,5 Mm³/an.

Méthode 2 : Une autre estimation peut être faite à partir de la carte piézométrique, en appliquant la loi de Darcy :

Le flux sortant (Q) dans le secteur de Sidi Chiker est égal au flux calculé le long de la ligne piézométrique +250 m : $Q = \partial h.K.D.L$, où dh est le gradient hydraulique ici de 5‰ (stable sur toutes les cartes piézométriques), K est le Coefficient de Darcy (perméabilité), probablement de l'ordre de 3.10⁻⁵ m²/s, D est l'épaisseur mouillée de l'aquifère le long de cette ligne (de l'ordre de 40 m), et L est la longueur de cette ligne piézométrique, 22 000 m.

L'application de la formule ci-dessus donne un flux sortant de l'ordre de 4 Mm³/an. Il faut cependant noter que cette estimation est très sensible à la transmissivité de l'aquifère, encore peu précisément connue dans ce secteur.

Le flux sortant dans le secteur de Sidi Chiker est probablement de l'ordre de 5 Mm³/an, et certainement inférieur à 8 Mm³/an. Aucune évolution majeure de cet ordre de grandeur n'a été enregistrée au cours des 20 dernières années.

L'autre (et souvent le plus important) phénomène de vidange naturelle de l'aquifère est son drainage par les oueds. Ce processus intervient lorsque le niveau piézométrique atteint la cote altimétrique du lit des oueds, souvent dans leur partie aval.

Le volume de cette vidange dans le système hydraulique du Tensift pour le Haouz Central, estimé en 1971 au moyen d'un modèle de simulation mathématique à un total de 106,6 Mm³/an pour une année moyenne. Le détail par oued est donné dans le Tableau ci-après : Tableau 6.

Oueds	Drainage moyen (Mm ³ /an)
Oued R'dat	5.0 Mm ³ /an
Oued El-Hajar	13.4 Mm ³ /an
Oued N'fis	14.4 Mm ³ /an
Oued Tensift	73.9 Mm ³ /an
Total	106.6 Mm ³ /an

Tableau.6 : Estimation de drainage moyen des oueds par simulation mathématique (Bernet et Prost)

Cette simulation, étendue pour l'ensemble du bassin du Tensift (c'est-à-dire en incluant la plaine de Mejjate) donne un drainage total de 142 Mm³/an. Ce chiffre moyen est certainement très variable d'une année sur l'autre, notamment en fonction de la recharge du système aquifère. Les derniers travaux de modélisation mathématique montrent qu'il n'a représenté que 81 Mm³ pour la saison 2001/02. Cette vidange peut même être nulle si la surface piézométrique s'abaisse jusque sous le niveau des oueds.

IV-2: Prélèvement d'eaux souterraines dans la zone de l'étude : Inventaire des puits et volumes pompés :

Les ouvrages exploités pour l'alimentation en eau potable des villes et petits centres urbains sont bien connus dans la plaine du Haouz et le volume des eaux souterraines pompées est reconnu dans quelques petites et grandes villes. Par contre, ceux exploités pour l'irrigation des surfaces agricoles, pour l'approvisionnement en eau du bétail ou alors par les particuliers en zone urbaine ne peuvent être qu'estimés. L'ABHT a engagé une démarche d'inventaire exhaustif des puits dans les communes rurales.

Les premiers résultats partiels montrent cependant qu'un grand nombre de ces ouvrages privés ne sont toujours pas déclarés à l'administration : sur les 22 communes rurales où cet inventaire a été conduit depuis 2003, le nombre total de puits inventoriés est de 7598, inférieur de 13% au nombre total des ouvrages autorisés sur ces mêmes communes selon la base de données de l'ABHT (Fig. 16)

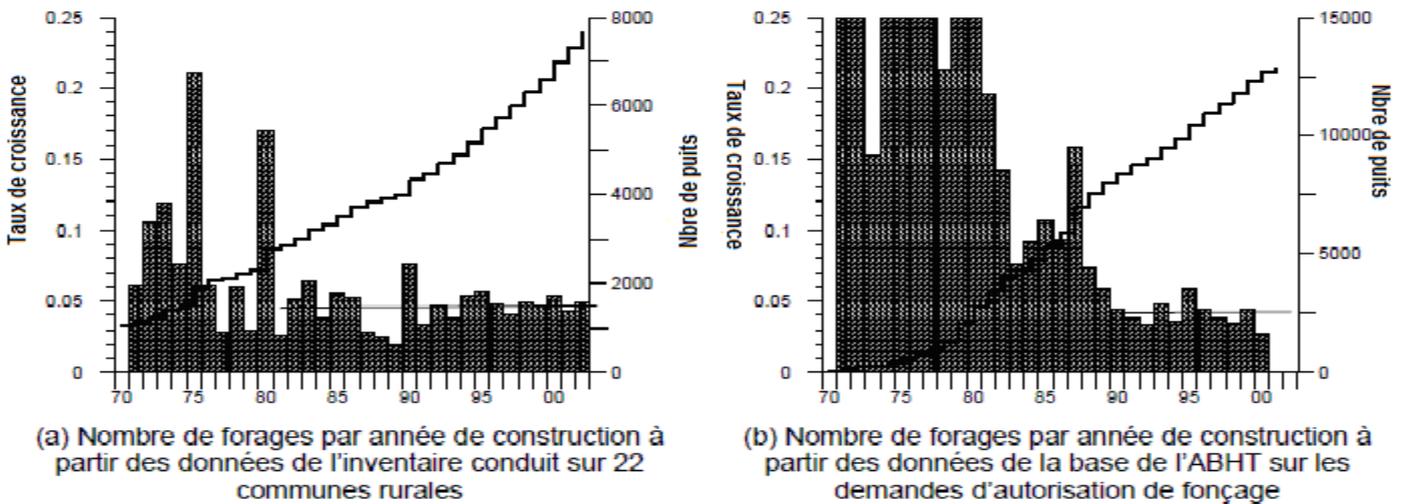


Fig.16 : Evolution du nombre de puits et de forages selon les années de construction. Source : ABHT

Une estimation du nombre d'ouvrages en zone rurale peut cependant être conduite, à partir des données de l'enquête conduite en 2001.

La proportion de puits et forages non-autorisés n'a pas été directement enquêtée, mais peut être approchée à partir d'un travail cartographique sur 1151 puits et forages (ceux construits avant 2001, date des derniers enregistrements dans la base de données ABHT relative aux demandes d'autorisation de travaux) positionnés par GPS : dans la mesure où l'emplacement des puits et forages autorisés n'est pas connue avec une précision supérieure à 500 m, chaque puits et forage enquêté positionné à moins de 500 m d'un puits autorisé a été considéré comme tel. Ces travaux donnent un total de 16% d'ouvrages non-autorisés.

Ce même travail cartographique, réalisé sur les ouvrages positionnés lors de l'inventaire exhaustif (5232 ouvrages construits jusqu'en 2001 et précisément positionnés dans la plaine du Haouz), donne une proportion de 46% d'ouvrages non-autorisés.

La différence entre ces deux chiffres provient de la répartition géographique des plaines alors que l'inventaire exhaustif ne couvre que 22 communes, où pour certaines un très faible nombre de demande d'autorisation a été enregistré. La proportion d'ouvrages non-autorisés est certainement comprise entre ces deux valeurs de 16 et 46%. En première approximation, elle peut être prise à 31% pour les présents travaux.

Ce rapport entre nombre de puits non-autorisés et nombre total de puits peut être appliqué sur de larges zones dans la plaine. Pour le secteur de la PMH (c'est-à-dire en dehors des périmètres de l'ORMVAH et des zones urbaines), quelques 10 701 puits et forages ont été autorisés en septembre 2001 selon la base de données de l'ABHT. Parmi ceux-ci, 9 900 seraient potentiellement utilisés pour l'irrigation (801 des 10 701 puits sont situés à plus de 500 m d'une zone irriguée telle qu'elles apparaissent sur les données d'ETR et donc probablement hors d'état ou utilisés pour un autre usage). Le nombre total de puits pour la PMH atteint alors 14 349 en additionnant 31% de puits non-enregistrés.

Que ce soit à partir des dates de réalisation telles qu'elles ressortent de l'inventaire exhaustif de l'ABHT ou des dates de demande d'autorisation telles qu'enregistrées dans la base de données ABHT, le taux d'accroissement du nombre de puits et forages peut être estimé à 4%/an sur l'ensemble de la plaine depuis 1990 (Fig 16).

Sur la base du nombre estimé pour l'année 2001 pour le secteur de la PMH (14 348), ce nombre de puits et forages peut être évalué à 10 900 pour la campagne agricole 1993/94 et jusqu'à 16 140 pour la campagne 2003/04.

Pour le secteur de la Grande Hydraulique (GH), significativement moins étendu que celui de la PMH, et où le nombre de forage y est bien moins important, l'application d'une proportion globale de puits non enregistrés ne peut conduire à une estimation pertinente. Ce nombre d'ouvrage peut ici difficilement être approché. Il a été jugé que l'estimation du volume total prélevé au point de vue de l'utilisation de l'eau est pertinente.

IV-3: Prélèvement d'eaux souterraines pour l'irrigation agricole :

IV-3-1: Prélèvement d'eaux souterraines dans la zone PMH

Dans la zone de la PMH, le prélèvement d'eaux souterraines pour l'irrigation agricole peut être estimé à partir du nombre des puits et forages.

Selon les chiffres de l'enquête réalisée en 2001, le système de pompage fonctionne en moyenne quelques 2 291 heures/an, avec un débit de 8,81m³/heure.

Les prélèvements annuels moyens par puits ressortent donc à 20 184 m³/an. Appliqué aux 15 520 puits et forages en service sur le secteur de la PMH pour la campagne agricole 2002/03, ce prélèvement moyen donne un prélèvement total de 313,2 Mm³.

Le prélèvement total d'eaux souterraines peut aussi être approché à partir de valeurs mesurées d'évapotranspiration (ETR).

Ces chiffres ont été estimés pour la campagne agricole 2002/03 dans le cadre du projet Sud Med, par application de la méthodologie FAO.

Pour les valeurs d'ETR de 3 000 m³/ha/an, il a été considéré que la surface correspondante est irriguée de façon pérenne, c'est-à-dire par des eaux souterraines. Il a été également considéré que sur toutes les surfaces agricoles irriguées par des eaux souterraines, une demande d'autorisation a été enregistrée au niveau de l'ABHT.

Une première estimation fait ressortir à 84 750 ha la surface irriguée par des eaux souterraines en zone PMH : ces surfaces enregistrent une ETR supérieure à 3 000 m³/ha/an, elles sont en dehors des périmètres GH et d'une zone urbaine, et à moins de 500 m d'une demande d'autorisation de creusement de puits. L'ETR totale sur cette surface est de 483,8 Mm³/an (i.e. une moyenne de 5 708 m³/ha/an) pour la campagne agricole 2002/03.

Une partie de cette ETR est couverte par les eaux de pluie. En région semi-aride, la plupart des outils méthodologiques développés pour estimer la proportion des eaux de pluies qui participent à l'ETR (« pluie efficace ») donnent des valeurs comprises entre 72 et 92% des précipitations. Au stade actuel d'avancement, cette proportion peut être estimée à 82% des précipitations.

La moyenne des précipitations sur la zone PMH est de 263 mm pour la campagne agricole 2002/03.

L'application d'une proportion de 82% sur la totalité de la surface PMH irriguée par des eaux souterraines (84 750 ha) donne un total de 182,1 Mm³. La part des eaux de surface dans l'ETR étant ici estimée négligeable, les pompages agricoles ressortent à 301,7 Mm³ pour la campagne agricole 2002/03, cohérents (moins de 4% de différence) avec la valeur de 313,2 Mm³ estimée à partir du nombre de puits et forages.

Remarque sur la cohérence des chiffres : d'après l'enquête réalisée en 2001, les puits et forages permettent d'irriguer en moyenne 5,2 ha, en prenant une SAU moyenne de 13,92 ha/exploitation pour les exploitations enquêtées, avec une surface irriguée de quelques 42% de cette SAU (selon la proportion moyenne observée sur la plaine du Haouz) et une valeur moyenne de 1,12 puits ou forages par exploitation. Pour la campagne agricole 2002/03, la surface totale irriguée par des eaux souterraines est alors estimée à 80 700 ha (15 520 puits et forages couvrant chacun 5,2 ha). Ce chiffre est cohérent avec le 84 750 ha issu des données de télédétection.

Pour le secteur de la PMH, les prélèvements d'eaux souterraines peuvent alors être estimés à quelques 310 Mm³ pour la campagne agricole 2002/03, correspondant à une surface irriguée de quelques 82 700 ha (cette surface s'accroît certainement de 4%/an comme le nombre de forages).

IV-3-2: Prélèvement d'eaux souterraines dans la zone GH :

Dans la zone de la grande hydraulique (GH), les prélèvements nets (prélèvements totaux diminués de la ré-infiltration des eaux d'irrigation en excès) peuvent être estimés à partir de la consommation en eau des cultures.

Les surfaces irriguées dans la zone GH, calculées à partir des données de télédétection (43 530 ha pour les secteurs du Haouz Central) ne sont pas très différentes des chiffres annoncés par l'ORMVAH (48 600 ha pour les secteurs équivalents). La demande en eau moyenne dans ces secteurs GH a été estimée à 6 300 m³/ha/an.

La zone	La zone Physique (ha)	SAU (ha)	Surface d'irrigation (ha)	Irrigation gérée par DPA				
				Grande Envergure du system d'irrigation (ha)	Petit et moyen system d'irrigation (ha)	Eau Régulier (ha)	Eau Saisonnier (ha)	Alimentation par les eaux des inondations (ha)
ORMVA	303 380	222 004	158 188	50 286	107 902	-	-	-
DPA Marrakech	56 117	20 721	8 896	-	-	2 250	2 431	4 216
DPA Chichaoua	229 279	108 895	29 118	-	-	6 627	8 875	13 617
Total	588 776	351 620	196 203	50 286	107 902	8 876	11 306	17 833

Tableau.7: Superficie agricole utile et les surfaces irrigables dan la plaine du Haouz

Ce chiffre est par contre significativement différent des 5 621 m³/ha/an de consommation mesurée à partir des données ETR.

Cette différence signe le manque d'eau pour les cultures agricoles, confirmé par les agronomes du projet SudMed. Pour la présente évaluation des prélèvements, les valeurs de consommation en eau des cultures seront préférées aux valeurs de demande en eau.

Une part de cette évapotranspiration est couverte par les eaux de pluie. La même proportion de 82% appliquée sur la zone PMH pour estimer la « pluie efficace » à partir de la pluie annuelle peut être appliquée aux secteurs GH.

Une part importante de la demande en eau dans les secteurs GH est couverte par les eaux de surface. Les volumes d'eaux de surface distribués dans les secteurs GH ont été extraits des bases de données de l'ORMVAH. Pour le secteur de la Tessaout Amont, une estimation du volume distribué dans la zone du bassin du Tensift a été réalisée à partir des travaux de FADIL.

Ces travaux montrent que 35% du volume alloué à la Tessaout Amont en 2002/03 a été distribué dans les secteurs de Bouidda et Tamalet, dans le bassin du Tensift.

Les valeurs d'ETR non couvertes par la « pluie efficace » et les apports d'eau de surface, correspondent aux prélèvements nets d'eaux souterraines.

IV-4: Prélèvements d'eaux souterraines pour l'alimentation en eau potable :

Une part des eaux distribuées pour l'alimentation en eau potable de la ville de Marrakech provient des eaux souterraines, captées au droit de neuf sites : une galerie de drainage à l'Aguedal et huit champs captants à Oued Issil, Menara, Ourika, Isiki, Drain Bouzougouar, N'Fis, Bahja et Saada. En 2003, les prélèvements totaux ont atteints à 10,3 Mm³ (Figure 17).

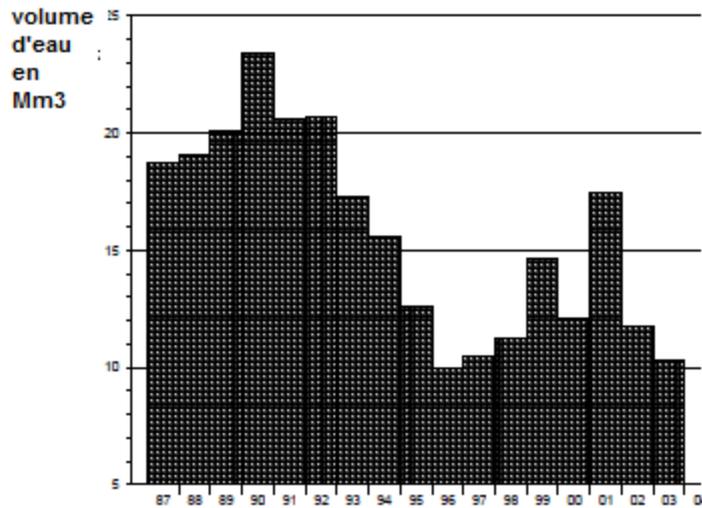


Figure .17 : Volumes annuels d'eaux souterraines pour l'alimentation en eau potable de la ville de Marrakech. Source :ABHT

En plus de Marrakech, les eaux souterraines sont utilisées pour l'alimentation en eau potable de l'ensemble des petits centres urbains et des villages de la plaine. Pour 7 principaux centres urbains (Sid Zouine, Tahnaout, Ait Ourir, Chichoua, Sid Rahal Oudaya -aussi appelée Loudaya- et Tamellatet), les prélèvements de l'ONEP atteignent quelques 2,7 Mm³ en 2003 (d'après les services de production de l'ONEP). L'ONEP assure également la distribution dans six autres petits centres urbains (Tameslohte, Ghmate, Sidi Abdallah Ghiat et Lalla Takarkoust), pour un volume annuel en 2003 de 0,16 Mm³.

Les eaux souterraines sont également exploitées pour l'alimentation en eau potable des zones rurales :

Les eaux de surface ne sont ici pratiquement pas utilisées. La population rurale de la plaine du Haouz est estimée à 526 210 personnes. Pour une consommation de 30 l/personne/jour, le volume total pour l'alimentation en eau potable des zones rurales atteint 5,8 Mm³/an.

Les eaux souterraines prélevées en 2003 pour l'alimentation en eau potable de la ville de Marrakech, de 6 petits centres urbains et de la population rurale peuvent être évaluées à 14,9 Mm³.

IV-5: Autres prélèvements d'eaux souterraines (secteurs urbains) :

Les prélèvements opérés dans Marrakech pour l'irrigation des espaces verts peuvent être estimés à 7,3 Mm³ pour l'année 2003 :

1) La Commune de Marrakech est en charge de quelques 393,5 ha d'espaces verts, 100% irrigués par les eaux souterraines. En considérant une irrigation de l'ordre de 5 600 m³/ha/an, les prélèvements totaux ressortent ici à 2,20 Mm³/an. Les domaines royaux d'Agadal et de Ménara (respectivement 500 et 80 ha) ne sont irrigués qu'à partir des eaux de surface.

2) Les Arrondissements sont en charge de quelques 5,5 ha d'espaces verts supplémentaires, également à 100% irrigués par les eaux souterraines. En considérant une même chiffre moyen de 5 600 m³/ha/an, les prélèvements totaux ressortent ici à 0,03 Mm³/an.

3) Il y a trois terrains de golfs dans Marrakech (Royal, Amelkis et Palmeraie), pour une demande en eau globale de 2,5 Mm³/an. Une partie de cette demande est couverte par les eaux de surface (environ 1,8 Mm³ dans les années 1990 et environ 1,0 Mm³ depuis 2002.

En moyenne, 60% de la demande en eau des terrains de golfs est couverte par les eaux souterraines, ce qui représente 1,5 Mm³/an ;

4) Le domaine de le l'INRA est un espace vert de 30 ha. Considérant ici encore une couverture moyenne de 5 600 m³/ha/an, 100% à partir des eaux souterraines, les prélèvements ressortent ici à 0,17 Mm³/an ;

5) Les espaces verts des principaux hôtels couvrent approximativement 511 ha. Considérant ici encore une couverture moyenne de 5 600 m³/ha/an, 100% à partir des eaux souterraines, les prélèvements ressortent ici à 2,86 Mm³/an ;

6) On estime en général que de très nombreux particuliers disposent d'un puits ou d'un forage pour leur jardin et/ou leur piscine. Les eaux souterraines prélevées par ces particuliers peuvent être estimées à 0,5 Mm³/an.

Ce total de 7.3 Mm³ est cohérent avec les 11.5 Mm³ d'évapotranspiration calculés au droit de la zone urbaine de Marrakech, diminués de 1.0 Mm³ correspondant aux 40% de la demande en eau des golfs couverts par les eaux de surface, et des 3.25 Mm³ correspondant à l'ETR au droit des domaines royaux irrigués depuis les eaux de surface.

V- Bilan Hydrique et cas prévisionnels de la nappe du Haouz-Mejjate:

V-1 : Bilans calculés :

D'après les restitutions du modèle, l'historique des bilans calculés (Tableau.8) montre que la nappe du Haouz-Mejjate connaît un déficit hydrique depuis les années 1970.

Les entrées à la nappe sont particulièrement soutenues par des apports occultes provenant de la bordure haute atlasique. Le drainage par les oueds constitue un terme très consistant de sortie. d'où le rôle confirmé des oueds et de l'arrière pays haute atlasique dans l'hydrologie du système aquifère simulé.

Au niveau des sorties, puisque les prélèvements par pompage sont conceptualisés en zone de recharge (négative) , les bilans calculés ne fournissent pas des valeurs des pompages nets introduites au modèle. ils présentent le bilan entre les recharges positive et négative.

		1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
Entrées	Déstockage (Mm3)	200	225	205	208	232	221	212	195	194	214	228	243	251	227	218
	Alimentation par la bordure atlasique (Mm3)	193	149	159	162	163	166	167	169	170	172	175	178	180	183	206
	Recharge positive (Mm3)	151	110	105	89	66	73	73	93	94	73	60	48	42	50	42
	Total (Mm3)	344	259	264	251	229	239	240	262	264	244	235	226	222	232	248

Sorties	Stockage (Mm3)	102	49	35	24	13	10	8	12	10	5	4	3	3	3	18
	Fuites occultes par la bordure atlasique (Mm3)	39	29	28	27	27	27	26	26	26	26	25	24	23	23	23
	Drainage par les oueds (Mm3)	310	317	319	316	307	302	297	297	294	287	281	276	270	265	259
	Recharge négative (Mm3)	93	89	88	92	115	122	121	123	129	142	153	167	178	169	167
	Total (Mm3)	442	435	434	435	449	450	445	446	449	454	459	466	471	458	449
	Entrées-Sorties (Mm3)	-98	-177	-170	-184	-220	-211	-204	-184	-185	-210	-224	-240	-248	-225	-201

		1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Entrées	Déstockage (Mm3)	204	170	154	151	151	167	174	171	167	149	190	209	216	269	274
	Alimentation par la bordure atlasique (Mm3)	220	224	232	227	226	228	229	230	231	232	233	235	238	241	246
	Recharge (Mm3)	60	96	128	148	150	101	82	81	87	105	61	40	31	18	18
	Total (Mm3)	280	320	360	375	376	329	311	311	318	337	294	275	269	259	275

Sorties	Stockage (Mm3)	39	47	60	52	43	13	6	4	5	10	6	1	0	0	0
	Fuites occultes par la bordure atlasique (Mm3)	23	28	32	34	34	34	34	34	33	33	33	33	32	31	30
	Drainage par les oueds (Mm3)	256	258	264	272	277	271	265	260	257	258	251	242	235	227	217
	Recharge négative (Mm3)	166	156	157	169	174	178	180	185	189	185	195	209	218	240	286
	Total (Mm3)	445	442	454	474	485	483	479	479	480	477	479	483	485	497	533
	Entrées-Sorties (Mm3)	-165	-122	-94	-99	-108	-154	-168	-168	-162	-140	-185	-209	-216	-238	-269

Tableau.8 : Bilans calculés par le modèle Haouz-Mejjate

V-2: Les scénarios prévisionnels : éléments d'évaluation quantitative pour une meilleure vision stratégique:

La pérennité de l'approvisionnement en eau d'irrigation et d'alimentation en eau d'une part, et l'inscription dans une logique de développement durable et de gestion intégrée et équitable des ressources en eau d'autre part, imposent aux gestionnaires des prises de décisions nouvelles dans différents secteurs de l'eau.

Le modèle numérique de la nappe du Haouz-Mejjate couvrant la période 1971-2001, outil d'aide à la décision, offre la possibilité de tester et d'évaluer, dans l'espace et dans le temps, l'impact de ces prises de décisions sous forme de scénarios prévisionnels. Les résultats de ces scénarios, relayés par des études d'ordre socio-économique, technique et financier, permettront une meilleure visibilité pour les décideurs à des échéances variées, afin d'arrêter et mettre en application le programme de leurs actions prioritaires.

V-3: Simulations des évolutions possibles de la nappe :

✓ **Scénario pour la continuation de la situation actuelle :**

La situation actuelle de l'utilisation se continue et les mesures préventives ne seront pas prises.

✓ **Scénario pour la demande en eau maximale (critique) :**

La situation où 100% de la quantité d'eau nécessaire sera utilisée par chaque secteur.

✓ **Scénario de sauvegarde de la nappe:** Maintien du degré

de satisfaction des besoins agricoles au niveau actuel, introduction de l'irrigation de goutte-à-goutte, développement de l'utilisation des eaux usées traitées et la mise en place des systèmes de recharge artificielle.

V-4: Impacts attendus des scénarios prévisionnels

V-4-1: Scénario pour la continuation de la situation actuelle :

Ce scénario est basé sur le fait que l'état avancé de déséquilibre hydrodynamique actuel de la ressource ne permet pas d'étendre les exploitations agricoles ou autre type d'exploitations basées sur la mobilisation des eaux souterraines.

Le débit de prélèvement net actuel de l'ordre de 300 Mm³/an, sera maintenu constant jusqu'à l'horizon 2030.

Il représente la persistance de l'état actuel de plafonnement de l'exploitation des eaux souterraines pour l'irrigation. ce scénario envisageables dans les cas :

- d'absence de toute nouvelle stratégie de gestion durable des ressources en eau, conduisant un changement de la politique actuel de l'eau des modes d'utilisation de la ressource.

- d'absence de tout investissement visant l'amélioration des conditions techniques de mobilisation et de distribution des eaux.

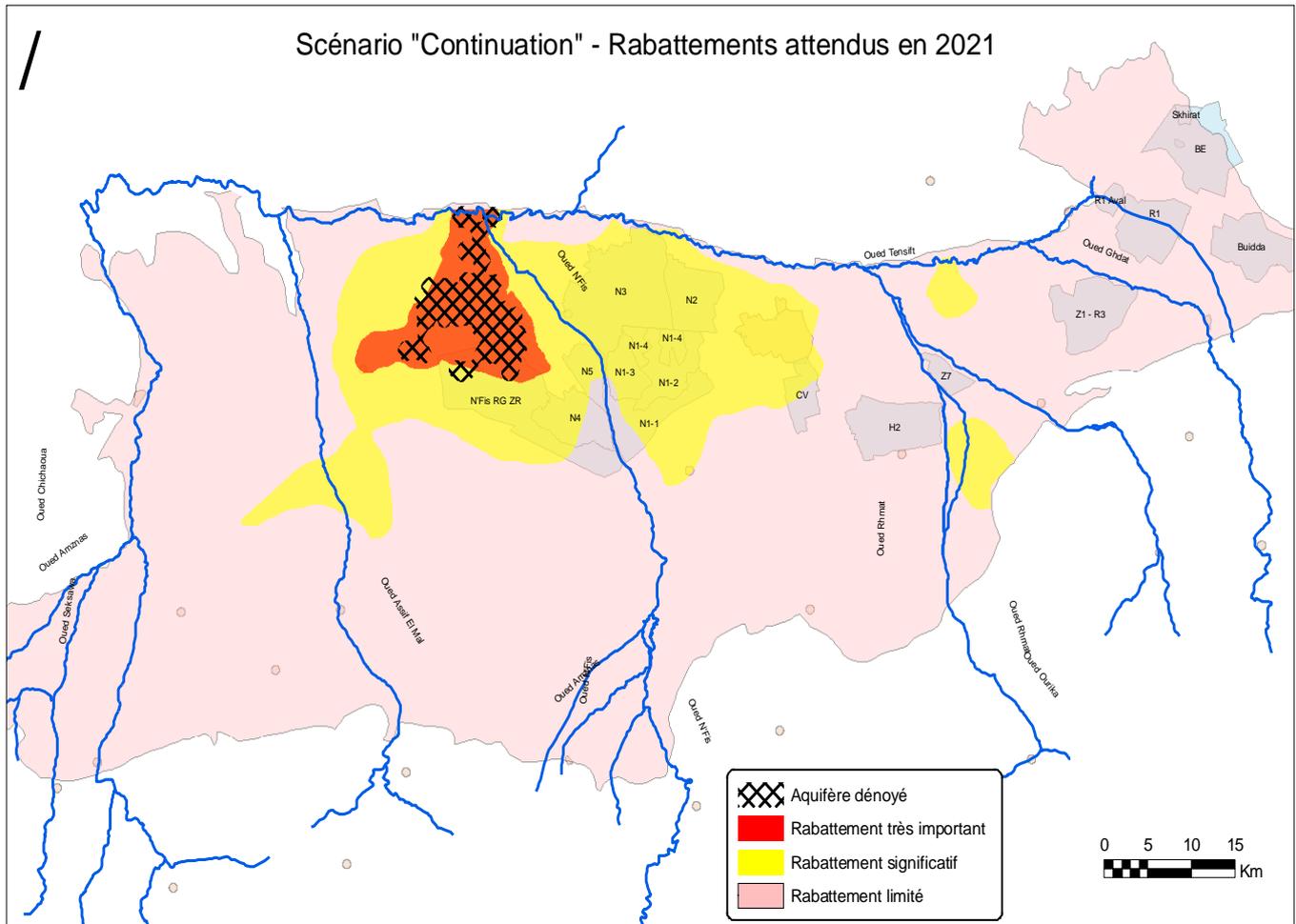


Fig.18 : Scénario pour la continuation de la situation actuelle

Résultats du scénario de continuation:

- Baisse de niveau d'eau au-delà de 100 m dans plusieurs secteurs
- Assèchement de 1800 points d'eau : perte de 250 Millions de Dirhams
- 15 communes rurales (22.700 ha) sans eau potable
- Dénoyage de la nappe sur 9000 hectares dans la zone de N'Fis : Perte de 450 Million de Dirhams
- Assèchement de tous les champs captant qui alimentent la ville de Marrakech.
- Perte des périmètres de la PMH au niveau de Ghmat , Tamesloht et Sidi Rahal.
- Perte de plus de 4300 postes d'emplois.

V-4-2: Scénario pour la demande d'eau maximale:

Ce scénario intègre une augmentation des prélèvements d'eaux souterraines dans les années à venir.

En absence de la mise en œuvre d'une politique d'intervention et de gestion de la demande, et de volonté consensuelles pour la limitation du niveau de prélèvement d'eau souterraine, les contextes actuel et futur demeurent ouverts à un accroissement des prélèvements d'eau souterraines, lié à des demandes en eau potentielles générées par différentes activités.

a) Extension des superficies agricoles :

Dans la zone du Haouz-Mejjate, l'agriculture représente le secteur clef de l'économie régional. Elle occupe plus de 50% de la population active. Les terres irriguées occupent près de 35% de la surface totale de la région.

Au sein des zones irriguées, plus de 60% est occupée de céréalicultures.

Au Vu de ces données, le potentiel aussi bien d'extension des terres agricoles que celui de conversion de la céréaliculture en spéculations plus rentables mais plus consommatrice en eau, est existant. Les acteurs possibles de ces extensions sont autant du secteur public que privé.

Actuellement, le dernier plan d'action agricole dans le Haouz prévoit à moyen terme l'extension des cultures d'olivier, d'agrumes et de primeurs en vue d'un rééquilibrage de l'assolement céréalier à travers la réduction de la superficie des céréales au profit de ces cultures.

b) Augmentation de la demande en eau d'irrigation pour cause de réchauffement climatique :

Les études de changement au Maroc corroborent l'éventualité d'un réchauffement probable pour les décennies à venir. Un des impacts majeurs est que la demande en eau risque, avec des températures plus élevées de croître notamment en agriculture irriguée.

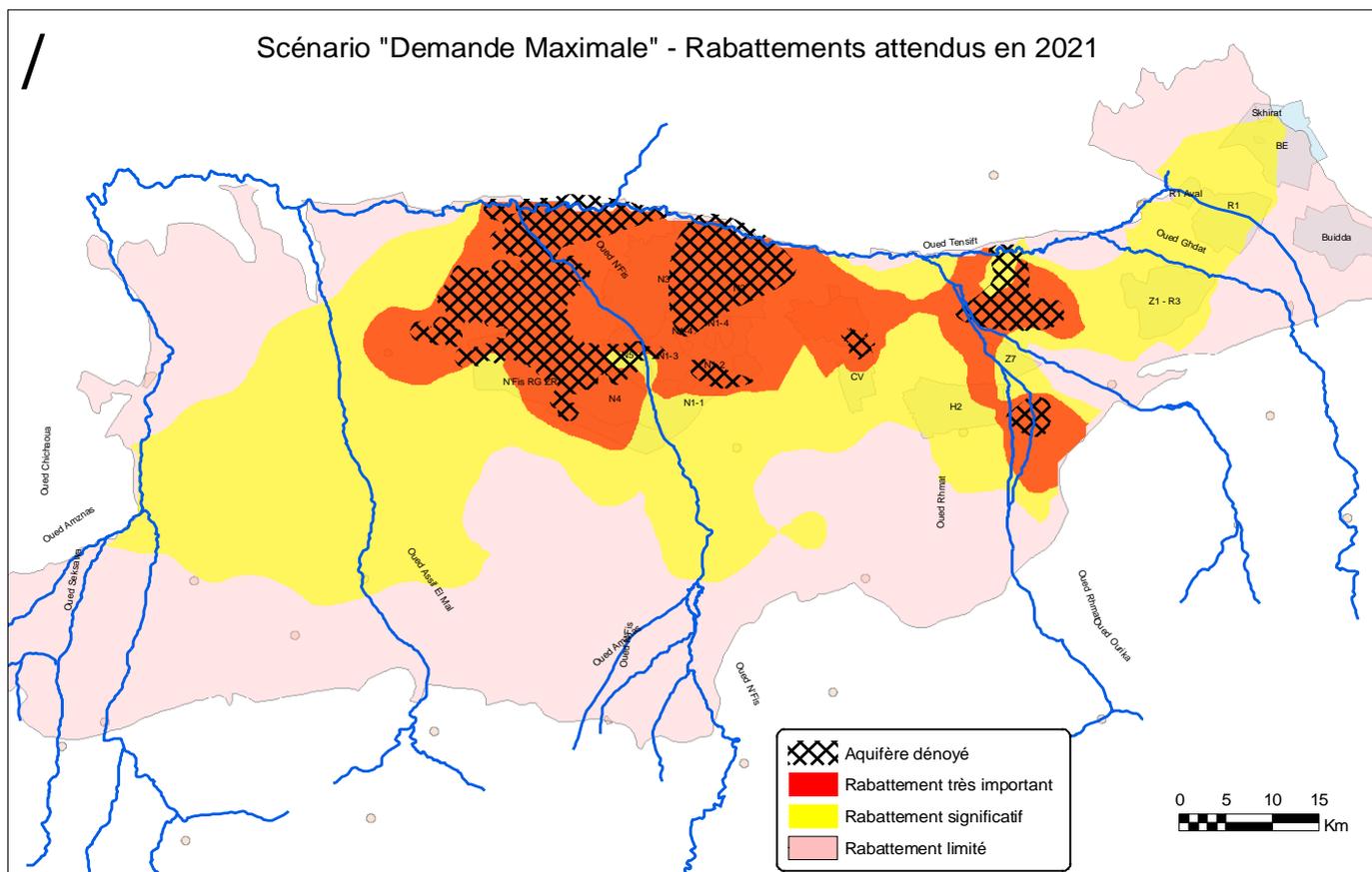


Figure.19 : Scénario pour la demande d'eau maximale

V-4-3: Scénario de sauvegarde de la nappe:

Les scénarios de sauvegarde envisagés sont les suivants:

- a- gestion de la demande en eau d'irrigation par le développement de la micro-irrigation.
- b- réutilisations des eaux usées épurées de la ville de Marrakech.
- c- mobilisation optimale des eaux de surface.
- d- développement de la recharge artificielle.

a- Gestion de la demande en eau d'irrigation par le développement de la micro irrigation:

Pour économiser l'eau dans les champs, l'irrigation par goutte-à-goutte a un rôle important en particulier dans les zones qui, comme la zone du Haouz, ne bénéficient que de faibles précipitations et souffrent d'une évaporation importante.

L'intérêt de l'irrigation par goutte-à-goutte est bien connu des agriculteurs. Son expansion ne progresse cependant pas comme attendu. L'état actuel de développement de cette technique dans la zone de l'ORMVAH est donné dans le Tableau 9. La surface équipée en juillet 2006 par un système de goutte-à-goutte est de 9 644 ha selon

l'enquête de l'ORMVAH et il est de 5,4% de la totalité de la zone irriguée, ce qui est plus élevé que le rapport de 3,8% dans toute la zone de l'ORMVAH. Les pourcentages de surfaces couvertes varient de 1,4% à 9,3% selon les CMV. 53% des systèmes de goutte-à-goutte se trouvent dans les secteurs de la GH. La plupart de ces systèmes fonctionnent à partir d'eaux souterraines.

Sur la base de la situation reconnue sur quelques CMV, l'irrigation par goutte à- goutte est essentiellement utilisée pour l'arboriculture et le maraîchage. Les oliviers et les agrumes occupent 62% de la zone équipée et le maraîchage 22%.

Le Ministère de l'Agriculture et l'ORMVAH ont pris conscience de l'importance de l'expansion des technologies de l'économie d'eau d'irrigation. L'ORMVAH a initié un programme de développement de l'irrigation par goutte-à-goutte dans le Haouz en 2003. 24 000 ha devraient être équipés par ce système d'irrigation entre 2003 et 2008 dans le cadre d'un programme national visant l'équipement de 115 000 ha sur l'ensemble du pays. Selon l'ORMVAH, 6 000 ha d'irrigation par goutte-à-goutte ont déjà été mis en place. La surface totale équipée serait maintenant de 11 000 ha y compris la surface équipée avant le programme dans la zone du Haouz.

Pour promouvoir l'expansion de l'irrigation par goutte-à-goutte, le gouvernement subventionne les agriculteurs qui veulent. La subvention est appliquée pour la construction des puits et l'installation des pompes et aussi les équipements comme les tubes et les systèmes de filtration. Pour le moment, le taux de subvention est de 40% pour les équipements et 30% pour les puits et pompe. Une augmentation de ce taux est envisagée : il pourrait atteindre 60% pour les équipements et les pompes des puits. Malgré les actions de promotion du système conduite par l'ORMVAH et la mise en place de la subvention pour l'équipement, l'expansion de cette technique n'a que peu progressé du fait des difficultés de financement des petits et moyens agriculteurs et de la complexité des applications de la subvention.

L'introduction de la technologie de l'irrigation par économie d'eau, par ex. irrigation par goutte à goutte, au niveau des périmètres pourra réduire la quantité de l'eau pour l'irrigation. Cette réduction de l'eau pour l'irrigation pourra apporter l'effet de la baisse du coût du prélèvement des eaux souterraines et l'effet de la diminution de la perte d'eau par évaporation au niveau des périmètres.

a) Réduction de la quantité de l'eau par le système d'irrigation par goutte-à-goutte. Après l'introduction du système d'irrigation de goutte-à-goutte, le coefficient d'application de l'irrigation au niveau des périmètres sera beaucoup amélioré et la quantité de l'eau sera économisée. Actuellement, tandis que le coefficient d'application dans le système d'irrigation par épandage ou aux sillons est de 0,6-à 0,7, le même coefficient du système d'irrigation par goutte à goutte sera à peu près 0,95. Cela signifie que la quantité de l'eau pour l'irrigation serait réduite de 25%-35% en calcul simple. La réduction de cette quantité contribuera à la réduction de la quantité du prélèvement localisé et à la baisse du coût de l'eau par l'intermédiaire de l'amélioration du coût de l'opération de la pompe.

Cependant, étant donné que la perte d'eau par infiltration dans les anciens systèmes d'irrigation est une source de recharge des eaux souterraines, la réduction de la quantité évaporée ne contribuera qu'à l'amélioration du bilan de l'eau dans une vaste étendue.

b) Le système d'irrigation par goutte-à-goutte pourra maîtriser la quantité d'eau par infiltration de l'eau dans le sol et en même temps la quantité d'eau par évaporation de la surface de sol. La perte d'eau par évaporation ne donne aucun effet dans la recharge des eaux souterraines, c'est-à-dire c'est une perte pure. Par conséquent, la maîtrise de cette perte économisera une quantité nette de la consommation d'eau dans les

systèmes d'irrigation et contribuera non seulement à la réduction de la quantité du prélèvement localisé, mais aussi à l'amélioration du bilan de l'eau dans une vaste étendue. La spéculation agricole principale du système d'irrigation par goutte-à-goutte est la culture des oliviers. D'après le calcul approximatif, le coefficient de culture des oliviers dans le système d'irrigation par épandage était estimé à $K_c = 0,94$ (selon la période de développement à 0,66-1,21), le même coefficient dans le système d'irrigation par goutte-à-goutte estimé à $K_c = 0,84$ (selon la période de développement à 0,66-1,01). Cela signifie que le système d'irrigation de goutte-à-goutte réduit une quantité de la perte et baissera de 10% de la quantité de la consommation d'eau par rapport au système d'irrigation par épandage.

CMV	Surface physique (ha)	SAU(ha)	Zone Irrigable (ha)	Zone équipée par le système de goutte-à-goutte (ha)	Rapport d'irrigation par goutte-à-goutte Pour les zones irrigables	Zone équipée par le système d'irrigation du goutte-à-goutte			Nombre des fermes équipées par les cultures multiples				
						Hors Control (ha)	Zone sous commande des GH	Inconnu (ha)	olivier	Vergere excepte pour les oliviers	Légumes	Fourrage	Céréale
406	24 275	22 995	14 131	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
407	23 895	22 425	9550	690	7.2 %	307	383		15	1	25	-	-
408	15 120	14 164	5003	146	2.9%	50	96		24	-	24	-	-
422	43 125	38 004	22 680	989	4.4%	836	113	40	19	5	33	3	3
425	21 100	15 900	15 200	209	1.4%	165	44		-	12	21	-	-
426	25 100	22 300	16 400	1133	6.9%	1133			50	30	35	-	-
427	42 925	20 800	14 300	1323	9.3%			1323	29	29	36	2	-
429	55 200	19 680	8575	175	2.0%	175			-	13	7	1	-
430	20 700	15 650	6250	321	5.1%	192	129		9	4	27	3	-
431	41 000	29 750	21 300	1330	6.2%	757	573		-	26	11	-	-
432	30 200	26 700	24 200	1640	6.8%	816		1640	23	41	59	1	-
434	29 925	24 580	22 580	1689	7.5%	816	874		23	65	77	-	-
Sous-total	372 565	272 948	180 169	9644	5.4 %				192	226	355	10	3
Hors du Bassin de Tensift	275 829	216 616	97 576	765	0.8 %	593	172	-	45	14	39	-	-
Total	648 394	489 564	277 745	10 536	3.8 %	5120	2412	3004	237	240	394	10	3

Tableau.9 : Situation de la propagation de l'irrigation par goutte-à-goutte dans la zone de l'ORMVAH. Source : ORMVAH

b-Réutilisation des eaux usées épurées de la ville de Marrakech

La réutilisation des eaux usées est une pratique courante à des fins essentiellement agricole, au voisinage de la plupart des agglomérations urbaines. Elle est encouragée par la disponibilité de quantité d'eaux importantes , avec des débits réguliers et facilement utilisable. Les eaux utilisées sont soit à l'état brut soit faiblement dilués.

Le rejet direct des eaux usées dans le milieu naturel comporte un double inconvénient:

- ❖ Pertes de volumes d'eaux importants, pouvant être récupérées pour des usages planifiés.
- ❖ Pollution des ressources en eaux et de l'environnement.

Il est à signaler que sur le plan réglementaire, il est interdit au Maroc d'irriguer les cultures avec des eaux usées brutes.

La réutilisation des eaux usées doit passer d'abord par leur épuration .si les nombreux diagnostics effectués sur le secteur de l'assainissement liquide en milieu urbain s'accordent sur l'immense déficit en terme d'équipement enregistré par ce secteur, la composante épuration constitue le maillon le plus faible de la chaîne de l'assainissement.

L'objectif principale de la réutilisation des eaux usées épurées et non seulement de fournir des quantités supplémentaire d'eau selon des normes réglementaires, mais également d'assurer la protection du milieu environnant.

Sur le plan de la gestion quantitatif de la ressource, c'est une action volontaire et planifié qui vise la production du quantité complémentaire en eau pour différentes usages afin de combler des déficits hydriques.

Le Volume Total des eaux usées et des eaux de drainage : Aucune donnée d'enquête sur l'écoulement n'était disponible. Selon l'hypothèse que 80% de la quantité d'eau consommée est déchargée comme eaux usées et que le réseau d'assainissement couvre 82% de la ville, la quantité des eaux usées déchargées dans l'oued Tensift serait de 62 000 m³/jour.

La Consommation moyenne de l'Eau par jour en 2005 : 94 800 m³/jour

La Quantité des eaux usées générées : 76 000 m³/jour

Eaux Usées Déchargées sur la rivière de Tensift : 62 000 m³/jour

Possibilité de réutilisation des eaux usées traités:

Le fonctionnement de la station de traitement des eaux usées de Marrakech est prévu en deux phases:

Le processus de traitement primaire de la phase 1 vise essentiellement à réduire les matières en suspension à moins de 200 mg/l avec le taux d'enlèvement de 66% dans un bassin de sédimentation.

Le processus de traitement biologique et le bassin de sédimentation final seront construits dans la phase 2 pour réduire DBO5 à moins de 25 mg/l avec la fonction de décomposition des matières organiques. Le niveau des matières en suspension et DBO5 des eaux usées traitées du processus de la phase 1 est plutôt élevée et elles sont encore trop corrosives pour la réutilisation. Les eaux usées traitées au processus de la phase 2 seront à un niveau acceptable et pourront être utilisées pour l'irrigation et l'arrosage des espaces verts.

Le mélange des eaux usées industrielles aux eaux usées domestiques peut causer une contamination par des substances potentiellement dangereuses et pourrait limiter leur réutilisation. Les mesures de prétraitement doivent être contrôlées par les organismes responsables pour forcer le déchargeur à éliminer les substances potentiellement dangereuses jusqu'à ce que la qualité des eaux traitées soit au niveau acceptable pour connecter aux égouts publics.

Les volumes d'eau épurée seront utilisés pour l'irrigation autour de la ville de Marrakech (espaces verts, jardins et golf des complexes hôteliers, ceinture verte).

		2005	2010	2015	2020	2025	2030
Loudaya	Demande en AEP	0.22	0.25	0.28	0.32	0.35	0.38
	Eaux usées	0.14	0.16	0.18	0.20	0.23	0.25
Sidi zouine	Demande en AEP	0.25	0.28	0.32	0.38	0.38	0.41
	Eaux usées	0.16	0.18	0.20	0.25	0.25	0.27
Tahenaout	Demande en AEP	0.22	0.22	0.25	0.28	0.28	0.32
	Eaux usées	0.14	0.14	0.16	0.18	0.18	0.20
Ait Ourir	Demande en AEP	0.54	0.63	0.73	0.82	0.88	0.98
	Eaux usées	0.35	0.41	0.47	0.53	0.57	0.64
Tameslouht	Demande en AEP	0.16	0.19	0.19	0.22	0.25	0.25
	Eaux usées	0.10	0.12	0.12	0.14	0.16	0.16
Ghmat	Demande en AEP	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
	Eaux usées	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Sidi abdellah Ghiyate	Demande en AEP	0.03	0.03	0.03	0.05	0.05	0.06
	Eaux usées	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04
Chichaoua	Demande en AEP	0.47	0.60	0.73	0.85	0.98	1.14
	Eaux usées	0.22	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
Sidi Rahal	Demande en AEP	0.14	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
	Eaux usées	0.14	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Tamellalt	Demande en AEP	0.32	0.38	0.44	0.50	0.54	0.57
	Eaux usées	0.20	0.25	0.29	0.33	0.35	0.37
Totale	Eaux usées	1.60	1.82	2.07	2.37	2.55	2.81

Tableau.10 : Demande en eau et potentiel en eaux usées

c- Mobilisation optimale des eaux de surface:

✓ *Etat actuel de mobilisation des eaux de surface par les barrages :*

Le bassin de Tensift admet une faible mobilisation des eaux de surface par les barrages. En effet le seul grand barrage est celui de lalla Takerkoust, mis en service depuis 1935 et régularisant un volume de 85 Mm³. Les petits barrages existants régularisent un volume de l'ordre de 2.5 Mm³.

- ✓ Les grands et moyens barrages en projet:

Dans le but d'évaluer les possibilités des mobilisations des eaux de surface par les barrages, le plan d'aménagements des ressources en eau approuvé en 2001 a répertorié au sein de la région du Haouz-Mejjate ,12 sites favorables à la construction des moyens et grands barrages.

Les études d'impact ont permis de retenir 5 barrages .Ces ouvrages permettront de régulariser un volume supplémentaire de près de 133 Mm3 pour le renforcement de l'AEPI de Marrakech (barrage Wirgane) et pour le développement des périmètres de GH du Haouz dans le cadre de la STI ainsi que des périmètres de PMH.

Barrage	Oued	Destination		Volume régularisé (Mm3)	Superficie Irriguée (ha)
Wirgane	N'Fis	AEPI	Marrakech	17	-
Herrissane	Lahr	Irrigation	STI-Haouz	8	885
Boulaouane	Seksaoua	Irrigation	PMH-Douirane	14	2000
Taskourt	Assif Elmal	Irrigation	PMH-assif	24	6460
Ait Ziat	Zat	Irrigation	STI-Haouz	70	9255
Totale		-	-	133	18600

Tableau.11 : Barrages en projet dans la zone du Haouz-Mejjate

d- Développement de la recharge artificielle de la nappe:

- ✓ **Généralités sur la mise en œuvre de la recharge artificielle des nappes:**

L'utilisation croissante des eaux souterraines pour l'irrigation et l'AEPI, en concomitance avec la succession d'années particulièrement sèche ,fait que l'extraction annuelle des eaux souterraines de la nappe du Haouz Mejjate dépasse de loin et depuis plusieurs décennies, la recharge naturelle moyenne nette de la nappe. On conséquence les eaux souterraines, sont retirés des réserves propres de la nappe dont les niveaux sont en baisse continus.

Vu les retombées négatives sur les plans économiques, sociaux et environnementaux, le recours à la recharge artificielle de la nappe est l'une des orientations stratégiques à cours terme pour la sauvegarde de la ressource.

Le terme de (recharge artificielle) regroupe toutes les actions anthropiques qui visent à agir positivement sur le processus naturel d'alimentation des nappes d'eaux souterraines. Elle est réalisée pour le stockage souterrain intersaisonnier ou interannuel de l'eau de surface excédentaire, Là ou cela présente des avantages sur le stockage de surface également pour le recyclage des eaux usées.

Il peut viser plusieurs objectifs :

- Régulariser un déphasage dans le temps entre les variations de la demande en eaux et celles de sa disponibilité.
- Atténuer les baisses piézométriques.
- Contribuer à la restauration des réserves
- Et améliorer la qualité de l'eau (par dilution ou prétraitement de l'eau)

La recharge artificielle constitue par conséquent un outil essentiel de gestion intégrée des eaux de surface et souterraines. L'imprimé ci-dessous présente un aperçu général sur le processus de la recharge artificielle :

AVANTAGES

- Stocker l'eau dans les aquifères pour un usage futur
- Réduire les fluctuations entre l'offre et la demande
- Élément d'une stratégie intégrée de gestion de l'eau
- Stabiliser ou rétablir les niveaux d'eaux souterraines dans les secteurs surexploités
- Applicable là où cela présente des avantages sur le stockage d'eaux de surface
- Réduire la perte par évaporation et écoulement
- Empêchez les inondations et l'érosion des sols
- Améliorez la qualité de l'eau et adoucir ses fluctuations
- Contrôler l'intrusion marine ou les phénomènes de subsidence
- entreposage/réutilisation des eaux usées ou pluviales

ORIGINE DE L'EAU

- Ecoulement pérenne Oued / affluent / canal
- Ecoulement intermittent Oued / affluent / crue
- Eaux régularisées par barrage
- Eaux pluviales urbaines
- Eaux potables traitées
- Eaux usées

EVALUATION DES SITES DE RECHARGE

- Elaborer un modèle conceptuel hydrogéologique
- Analyses hydrologiques
- Estimer la tranche aquifère pour stocker l'eau additionnelle
- Mesurer les termes du bilan hydrique
- Évaluer la qualité des eaux souterraines et de l'eau de réalimentation
- Utiliser les modèles numériques pour évaluer différents scénarios
- Mesurer les impacts en aval des sites

DISPOSITIFS UTILISES

- Bassins d'infiltration
- Bassin d'épandages
- Modification des lits des oueds
- Puits perdus, tranchées et fossés
- Forage d'injection
- Infiltration sur berges

IMPLICATIONS SUR LA QUALITÉ DE L'EAU

- Elimination des éléments en suspension, microbes pathogènes, métaux lourds, produits organiques, nitrates etc.. de l'eau de réalimentation

- Dilution des eaux souterraines de qualité médiocre
- Contamination possible des eaux souterraines de meilleure qualité
- Augmentation des teneurs en solutés par mélange et dissolution
- Réactions géochimiques défavorables

BESOINS INSTITUTIONNELS ET SUIVI

- Droits d'eau
- Statut fonciers des terres
- Aspects législatif et réglementaire
- Payeurs et bénéficiaires
- Contrôle par :
 - Communauté / ONG?
 - Autorité locale / centrale ?
 - Agence publique ou compagnie privée ?
- Gestion intégrée (utilisateurs / ONG)
- Utilisation conjointe
- Gestion de la demande

EVALUATION DES RETOMBÉES

- Niveaux piézométriques stabilisés / en hausse
- Augmentation des écoulements de base dans les cours d'eau
- Réduction de l'intrusion marine
- Réduction des phénomènes de subsidence du sol
- Pérennité des eaux souterraines
- Pérennités de l'irrigation
- Érosion stabilisée des sols
- Analyses positives des coûts / bénéfiques
- Amélioration de la qualité de vie

PROBLÈMES POTENTIELS

- Phénomènes de colmatage
 - Mauvaise connaissance de la géologie et de l'hydrologie
 - Mauvaise conception technique des procédés de recharge
 - Stabilité des ouvrages dans les conditions réelles de fonctionnement
 - Mise en oeuvre et gestion des opérations
 - Eaux souterraines de qualité médiocre
 - Protection de la qualité des eaux souterraines
 - Perte de l'eau infiltrée ou injectée
 - Passage de l'étape expérimentale à l'étape d'exécution réelle
 - Conflits politiques ou sociaux
 - Disponibilité et diffusion des informations et connaissances
 - Qualifications et ressources humaines
-

Source : ABHT

- **L'expérience de la recharge artificielle dans le Haouz :**

Les premières études de la recharge artificielle de la nappe du Haouz remonte a 1956. Ces études ont portés principalement sur l'identification des zones favorables à une infiltration provoquée. Les dépôt fluviatiles du Oued Rheghaya , Ourika , Zat, et N'fis ont été reconnu les plus absorbants.

En 1984-85 (Dans le cadre du projet **PNUD RAB 80/011**), deux sites on été choisie pour conduire des expériences différentes de recharge :

- L'un sur l'oued N'fis pouvant bénéficié des apports régularisé du barrage Lalla Takerkoust , en utilisant des bassins en chaine. Le volume infiltré a été de 1 256 000 m³ avec un débit instantané a l'entrée entre 300 et 320 l/s pendant 43 jours.
- L'autre sur l'oued Zat, par dérivation des eaux de crues du lit de l'oued. Des débits de l'ordre de 1.2 à 1.5 m³/s se sont totalement infiltré en 8 à 10 jours.

Plus récemment, en 2004, a été conduite l'étude des potentialités de recharge artificielle de la nappe du Haouz, axée sur le bassin du N'fis. Dans ce cadre, le modèle numérique du N'fis élaboré en s'appuyant sur le modèle Haouz Mejjate, A été mise en œuvre pour simuler l'impact de la recharge artificielle sur la nappe le long de l'oued N'fis, sur la base des conditions expérimentales de 1984-85.

- **Elaboration de la recharge artificielle:**

Schématiquement, les ressources en eaux de surface disponible et pouvant permettre la recharge de la nappe du Haouz Mejjate se limitent aux apports d'eaux sortant du système d'affluents actifs et évacues dans l'oued Tensift. Le potentiel ainsi défini représente les déversements du barrage Lalla Takerkoust et les apports nets produits par les oueds non aménagés.

Les déversements du barrage Lalla Takerkoust sont évalués à 18 Mm³/an. Pour les bassins non aménagés, les volumes d'eau potentiellement mobilisable pour la recharge artificielle sont approchés, de façon uniforme, à partir de leur bilan moyen interannuel.

Bassin	Chichaoua	Assif EL Mal	N'fis	Rheghaya	Ourika	Zat	R'dat	Total
Apports moyens annuels	56	38	124.3	45.6	173.4	101.2	67.8	606.3
Prélèvements moyens annuels par seguias	30	21	82	26	88	48	40	335
Recharge naturelle a partir des lits des oueds (30%)	7.7	5.3	0	5.9	25.6	16	8.3	68.8
Volume régularisé, fournis pour l'irrigation moderne (p1 et P2)	–	–	23	–	–	–	–	23
Déversement	–	–	18	–	–	–	–	18
Bilan	18.1	12.3	19.3	13.7	59.8	37.2	19.5	179.8

Tablea12: Bilan moyen interannuel des bassins hydrologiques de la zone d'étude (Mm3/an)

Les apports moyens annuels des principaux bassins du Haouz Mejjate sont évalués sur la période 1971-2006, à 606Mm3 distribués comme suit:

Bassin	Apport moyen Annuel (Mm3)
Ourika	173
N'fis	124
Zat	101
R'Dat	68
Chichaoua	56
Rheraya	46
Assif El Mal	38
Total	606

Tableau.13 : Apports moyens annuels de oueds (Mm3) (1971-2006)

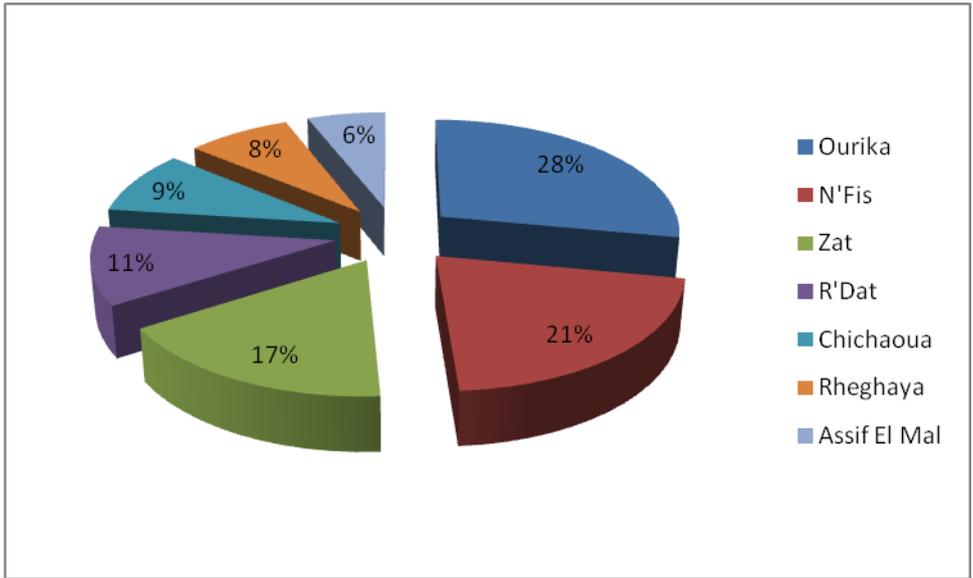


Figure 20 : Contribution des oueds dans les apports en eau de surface

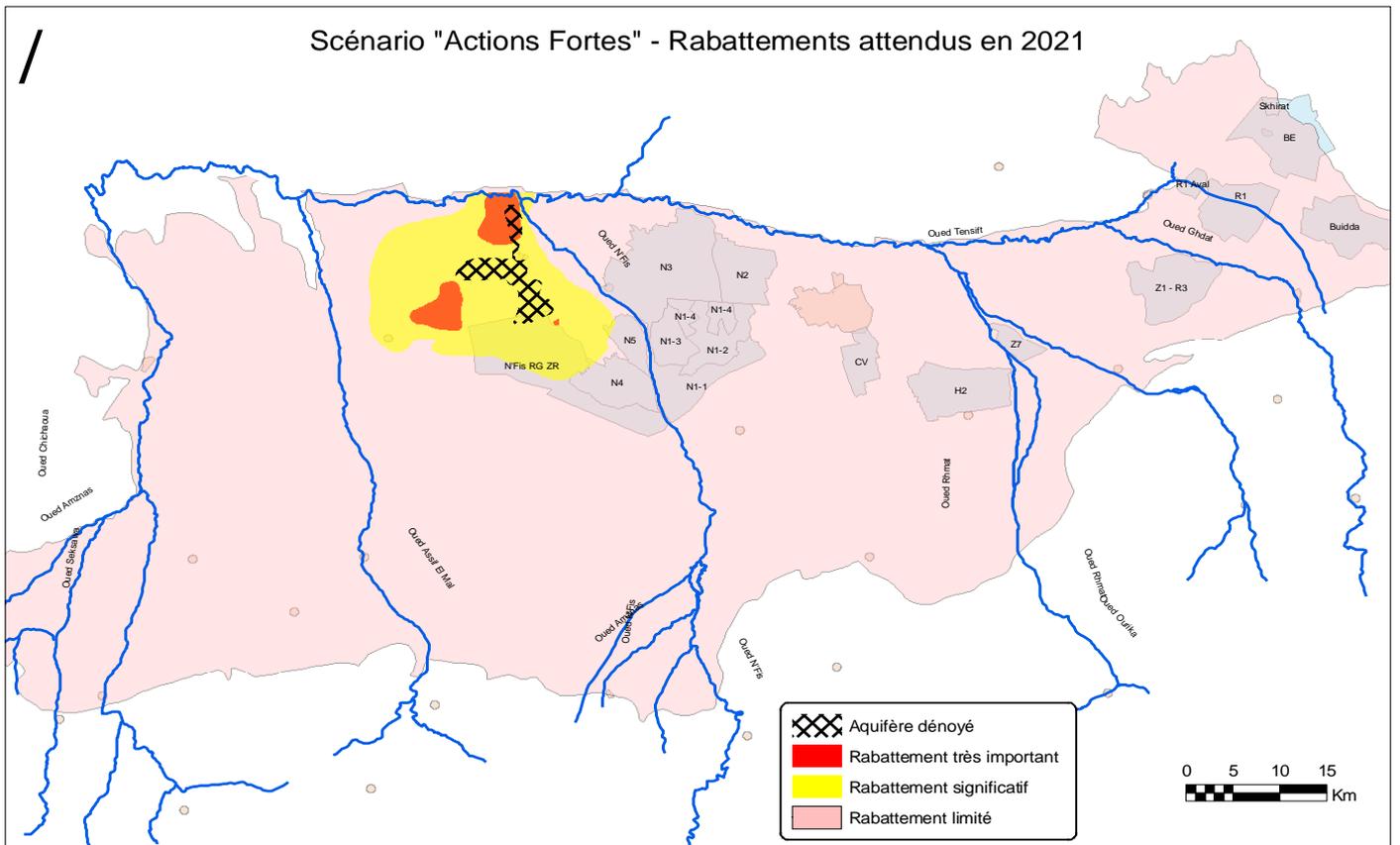


Figure 21 : Scénario de sauvegarde de la nappe

VI : La politique de la gestion des ressources en eau et le système juridique:

VI-1-La loi sur l'eau n10-95 :

la loi sur l'eau a pour objectif de rendre le processus de gestion des ressources en eau dynamique, interactif et durable .Elle vise à mettre en place une politique nationale de l'eau basée sur une vision prospective qui tient compte d'une part de l'évolution des ressources et d'autre part des besoins nationaux en eau. Elle prévoit des dispositions légales visant la rationalisation de l'utilisation de l'eau, la généralisation de l'accès à l'eau, la solidarité inter-régionale, la réduction des disparités entre la ville et la campagne dans le cadre de programmes dont l'objectif est d'assurer la sécurité hydraulique sur l'ensemble du territoire Royaume.

Dans le cadre de la préservation des nappes phréatiques les deux articles 26 et 36 du chapitre 5 de la loi sur l'eau n10-95 viennent pour donner un règlement pour creuser les puits avec des autorisations et en fixant le seuil de profondeur des puits.

✓ CHAPITRE V De la loi sur l'eau : CONDITIONS GENERALES D'UTILISATION DE L'EAU

Section I : Droits et obligations des propriétaires :

ARTICLE 26 - Sous réserve des dispositions des articles 36 et suivants de la présente loi, tout propriétaire peut, sans autorisation, creuser sur son fonds des puits ou y réaliser des forages d'une profondeur ne dépassant pas le seuil fixé par voie réglementaire. Il a droit à l'usage des eaux, sous réserve des droits des tiers et des conditions de la présente loi.

ARTICLE 36 - Les autorisations et les concessions relatives au domaine public hydraulique, visées par la présente section et dont les formes d'approbation sont fixées par voie réglementaire, sont accordées après enquête publique. Elles donnent lieu à perception de frais de dossier.

L'enquête publique est effectuée par une commission spéciale chargée de recueillir les réclamations des tiers intéressés. A cet effet, le projet d'autorisation ou de concession doit être porté à la connaissance du public, par voie de presse ou de tout autre moyen de publicité approprié, quinze jours avant le commencement de l'enquête publique dont la durée ne peut excéder trente jours. L'agence de bassin est tenue de statuer sur la demande ou toute opposition d'un tiers, après avis de la commission d'enquête, dans un délai de quinze jours après la date de clôture de l'enquête.

Les modalités de déroulement de l'enquête publique et la composition de la commission sont fixées par voie réglementaire.

VI-2-Contrat de nappe :

Contrat-nappes = Contrat de gestion des ressources en eau souterraine qui :

- définit les obligations et les objectifs de chaque intervenant dans le secteur de l'eau
- Crée une dynamique dans le sens du développement durable
- Va dans le sens de la production d'une ressource de qualité et de la protection et de la sauvegarde des eaux souterraines

VI-2-1 - Elaboration du contrat de nappe:

- Phase 1 : faire un état des lieux pour définir les termes Du contrat
- Phase 2 : Rédaction des termes du contrat par les différents partenaires (Conseil de la région, ORMVAH, ONEP, ABHT, Associations d'utilisateurs) et mise en application

VI-2-2 - Etat des lieux :

- Réalisation d'une étude sur la gestion des ressources En eau souterraine en tenant compte des contraintes actuelles
- Recensement des utilisateurs des ressources en eau souterraine et des intervenants du secteur de l'eau
- Recensement des actions en matière de protection et de sauvegarde des ressources en eau souterraine
- Evaluation de la demande en eau
- Collecte et examen approfondi des expériences internationales.

VI-2-3 - Perspectives du développement :

Développement de la ressource

- **Recharge artificielle :**

- Réaliser une étude sur les possibilités de recharge artificielle de la nappe du Haouz;
- Réaliser un projet pilote de recharge artificielle ;
- Intensifier l'irrigation à partir du réseau de séguias.

- **Économie de l'eau:**

- Irrigation eaux souterraines-eaux de surface régularisées;
- Alimentation en eau potable.
- Industrie.

- **Réutilisation des eaux usées**

- **Gestion participative :**

- État des lieux de l'organisation des agriculteurs de la plaine du Haouz ;
- Identification et mise en œuvre de procédures d'implication des usagers dans la gestion de la nappe.
- Développement des outils de communication, d'information et de sensibilisation.

Conclusion et Recommandations:

Après l'analyse de l'état général de la nappe du Haouz-Mejjate, nous observons que les niveaux piézométriques varient selon les années et les régions avec la demande progressive des eaux en fonction de la croissance démographique.

La plus grande diminution des eaux de la nappe phréatique du Haouz est enregistrée au début du 21ème siècle avec le déficit des précipitations et les prélèvements des eaux souterraines qui ont augmenté. Cette diminution varie entre 1 à 10 m en une seule année en certains points, ce qui a conduit à l'élaboration d'un projet de sauvegarde de la nappe pour la maintenir.

A titre de recommandations et afin de protéger et développer les ressources en eaux souterraines de la nappe phréatique du Haouz- Mejjate, nous proposons :

- De limiter la consommation annuelle des eaux souterraines de la nappe phréatique du Haouz.
- De diminuer la quantité des eaux souterraines destinée à l'irrigation agricole (passage à l'irrigation par goutte à goutte) .
- Trouver d'autres ressources hydriques afin de limiter la baisse des niveaux piézométriques de la nappe.
- Utilisation des eaux usées traitées dans l'irrigation des espaces verts et les terrains de golf.
- Application du programme de la recharge artificielle pour développer la nappe du Haouz.

BIBLIOGRAPHIE ET WEBOGRAPHIE:

- **Abdelhamid Fadil** (2006) Spatialisation de variables hydrologiques pour le bilan hydrique annuel et l'estimation des pompages dans la plaine du Haouz de Marrakech. Mém. de Master, Uni. Marne la Vallée
- **ABHT, 2007** : Etude de plan de gestion intégrée des ressources en eau dans la plaine du Haouz.
- **Abourida A.**, 2007 : Approche hydrogéologique de la nappe du Haouz (Maroc) par Télédétection. Isotopie. SIG et Modélisation. Thèse Université Cadi Ayyad-Faculté des sciences Semlalia.
- **BERNERT G. et PROST J.P.** (1975). Le Haouz de Marrakech et le Bassin du Majjate. *Note et Mém. Du serv. Géol.*, 231
- **Pacific consultants international, Japon**, 2006 : Etude de plan de gestion intégrée des ressources en eau dans la plaine du Haouz Royaume du Maroc. Rapport d'état d'avancement n° 1
- **RESING, ABHT**, 2006 : Etude de gestion des principales nappes de la région hydraulique du Tensift. Mission 2 : Définition et mise en œuvre des scénarios de développement des ressources en eaux souterraines dans le bassin de Tensift.

Webographie:

<http://fr.wikipedia.org>

<http://www.water.gov.ma/>

