

---

## CHAPITRE IV : EVALUATION DES EAUX DE LA NAPPE PROFONDE

Cette nappe circule principalement dans des formations carbonatées du Lias. Son faciès est constitué également parfois par une molasse constituée de grès, de sables et de conglomérats de la base du Miocène transgressif, qui surmonte le Lias.

La découverte de cet aquifère a été effectuée pour la première fois en 1931 par le forage pétrolier 1566/15. En 2002, on dénombrait plus de 190 forages qui ont atteint les calcaires du Lias (en plus des forages des particuliers non inventoriés).

### I. STRUCTURE DE LA NAPPE DU LIAS

Plusieurs campagnes géophysiques ont été également menées depuis 1942, comprenant la sismique réflexion et les sondages électriques. Ces campagnes ont permis, avec les forages profonds, d'améliorer les connaissances de la structure profonde du Lias du bassin de Fès-Meknès.

Cette structure est très complexe, du fait de l'existence de plusieurs failles à fort rejet (pouvant atteindre 100 m), flexures, plissements, etc.

Cette structure, combinée à l'érosion anté-Néogène, a engendré la subdivision de l'aquifère en plusieurs panneaux distincts (horsts et grabens), de comportement hydrogéologique plus ou moins indépendant. On distingue notamment les unités structurales suivantes.

#### **Plateau de Meknès :**

- ▲ Môle primaire au nord d'EL Hajeb : correspond à une lacune de Lias, limité à l'Est et à l'Ouest par deux failles importantes, de direction NNE-SSO ;
- ▲ **Panneau de Haj Kaddour** : il est situé à l'Ouest du môle primaire du nord d'EL Hajeb, duquel il est limité (à l'Est) par la faille NNE-SSO de Bou Gnaou. Sa limite Ouest est constituée par la faille de Boufekrane – Haj Kaddour. Ce panneau constitue le prolongement vers le Nord du Causse d'Agourrai, leur connexion hydraulique est cependant interrompue localement par une érosion du Lias au Nord de la faille d'Ain Maarouf ;
- ▲ **Panneau de Meknès** : il correspond géographiquement à la partie centrale du plateau de Meknès et il est probablement subdivisé en plusieurs sous-panneaux.
- **Panneau du Saïss** : il est séparé du môle primaire du nord d'EL Hajeb par une faille de direction NNE-SSO et constitue le prolongement vers le Nord des formations liasiques de la partie orientale du causse d'EL Hajeb-Ifrane et celui d'Immouzer.

Au sud de la ville de Fès, une faille de direction ENE-WSW serait responsable du drainage des eaux de la nappe profonde du Lias vers les sources de l'oued Arrous (Sidi Harazem).

- **Panneau de la vallée du Sebou** : il constitue le prolongement vers le Nord des causses de Sefrou et de Bsabis-Annoceur et celui des formations liasiques du bassin de Meknès-Fès (vers le couloir de Fès-Taza).

## II. PIEZOMETRIE

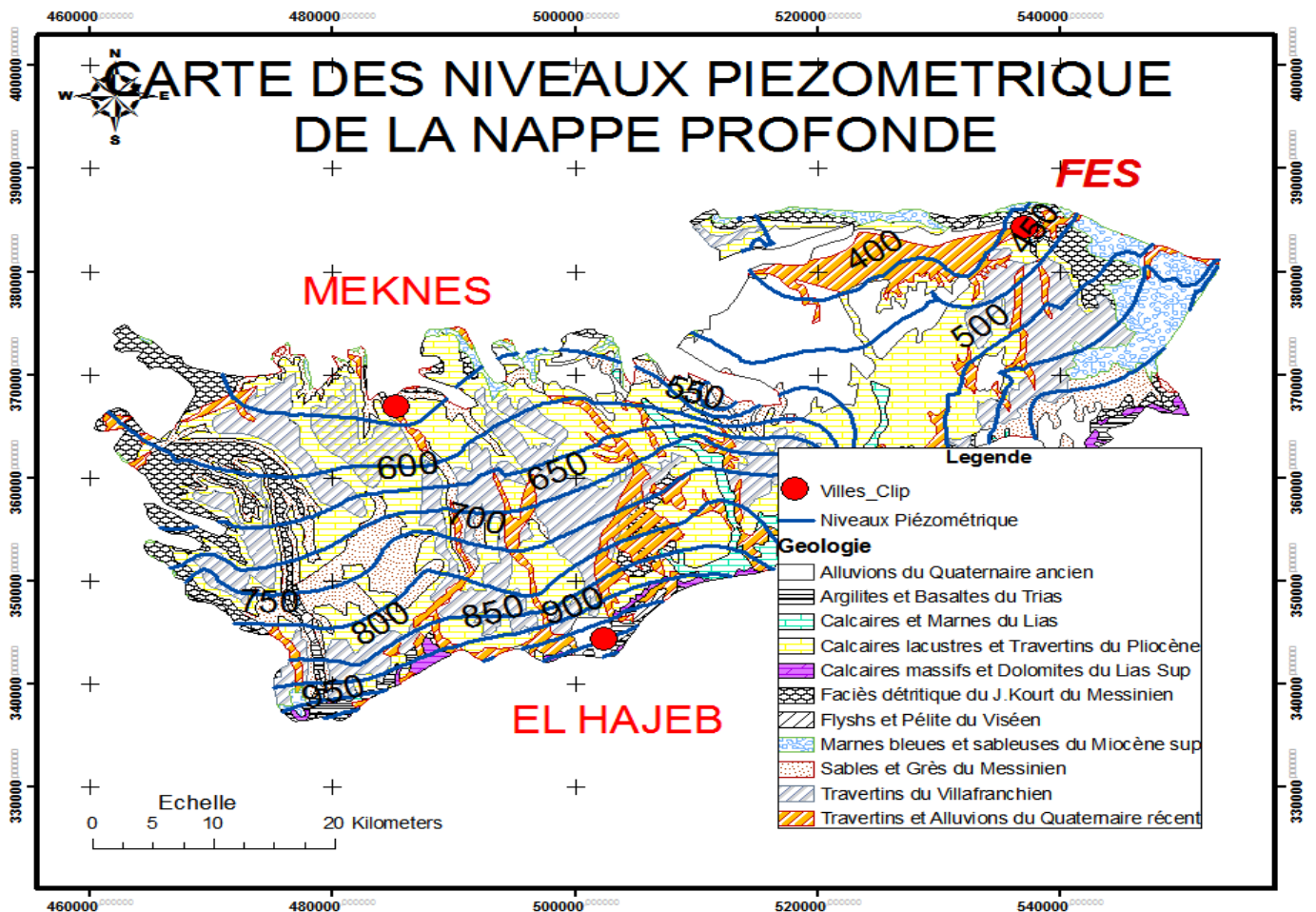


Figure 43 : Carte des niveaux piézométrique de la nappe du Lias

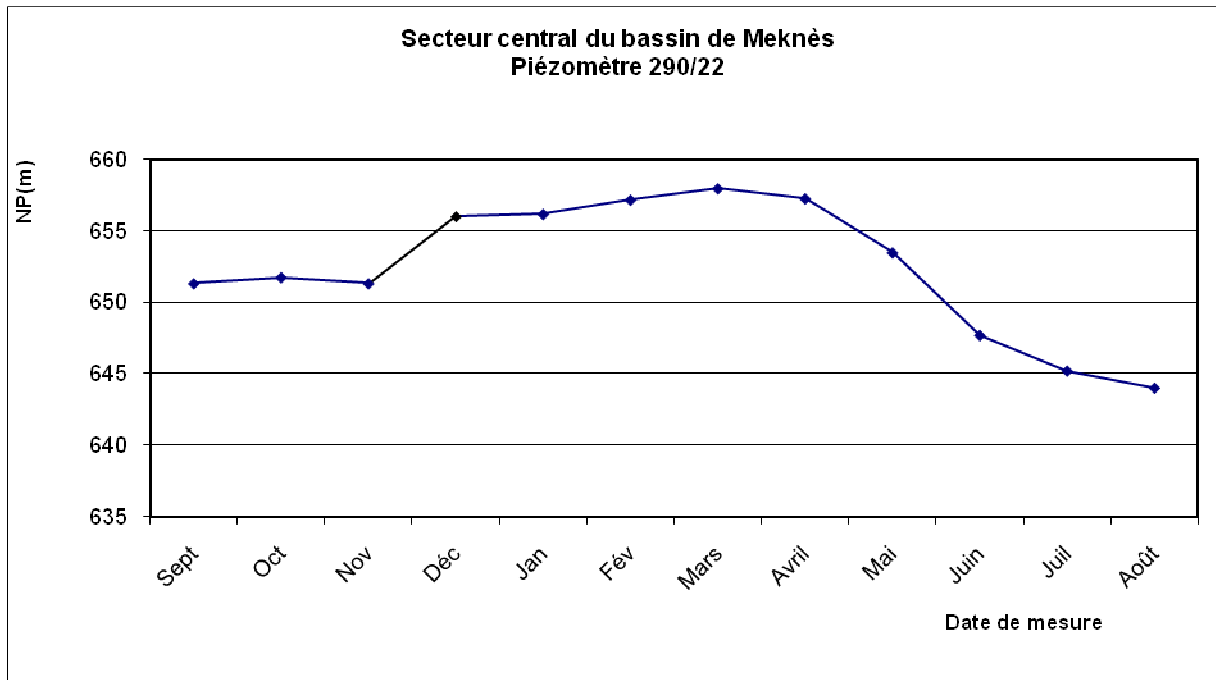
La carte piézométrique de la Fig. 43 a été élaborée à partir des mesures des niveaux d'eau effectuées par l'ABH Sebou en février 2005. 70 mesures ont été effectuées, au niveau de 3 forages et de 67 sources.

Les cotes de la surface piézométrique de la nappe varient entre 1000 m au sud (au voisinage d'EL Hajeb) et moins de 350 m au nord au niveau de la limite NO du bassin de Fès.

## 1. Fluctuations de la nappe

### a. Fluctuations saisonnières des niveaux de la nappe

Ces fluctuations varient énormément dans l'espace. Dans le secteur central du bassin de Meknès, ces fluctuations sont très importantes, atteignant environ 14 m, alors qu'elles ne sont que d'environ 1 m dans la plaine du Saïss (Fig. 44). Ces variations sont en rapport avec celles des valeurs du coefficient d'emménagement (influencées par l'épaisseur des marnes miocènes, qui atteint des valeurs importantes au nord du panneau de Haj Kaddour et au sud de la ville de Fès) et de l'importance des prélèvements effectués dans la nappe.



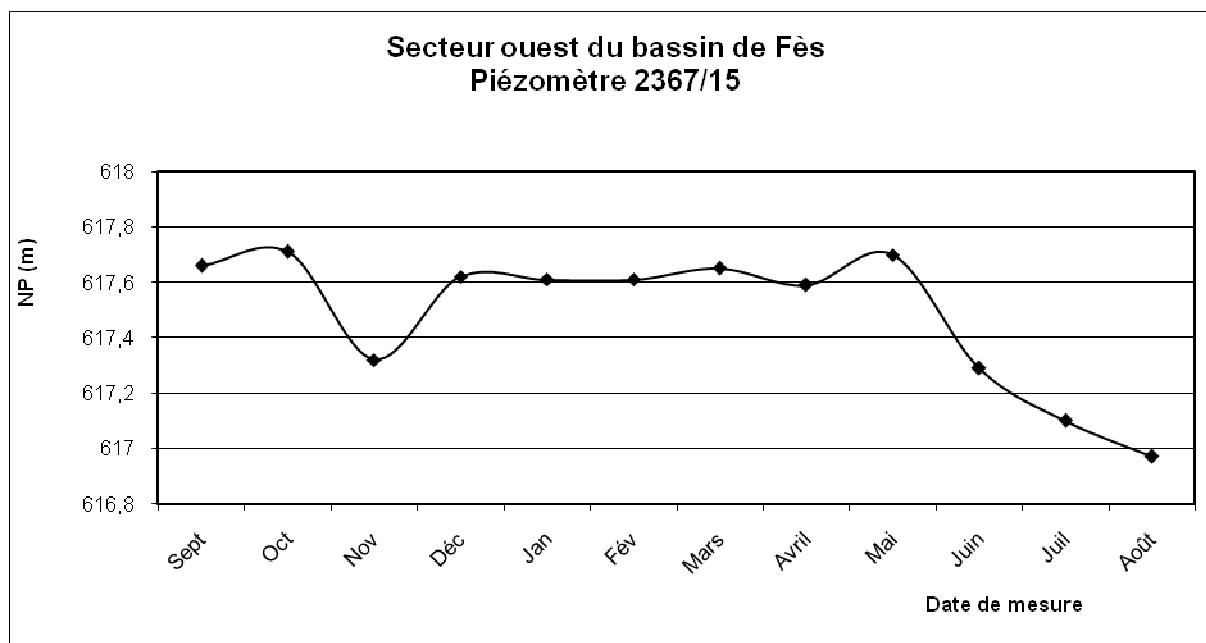


Figure 44 : Fluctuations piézométriques saisonnières de la nappe du Lias du bassin de Fès-Meknès

**b. Fluctuations interannuelles des niveaux de l'eau**

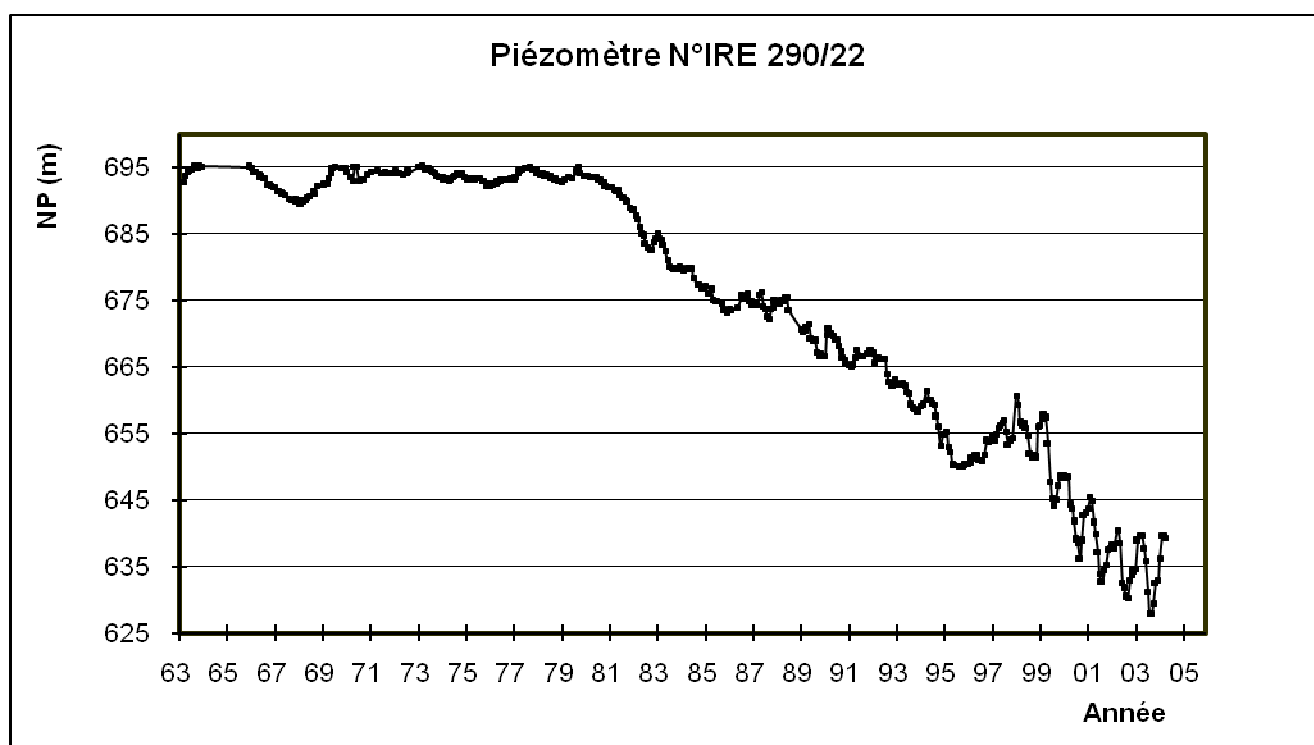


Figure 45 : Historique piézométrique de la nappe du Lias (Sud du plateau de Meknès)

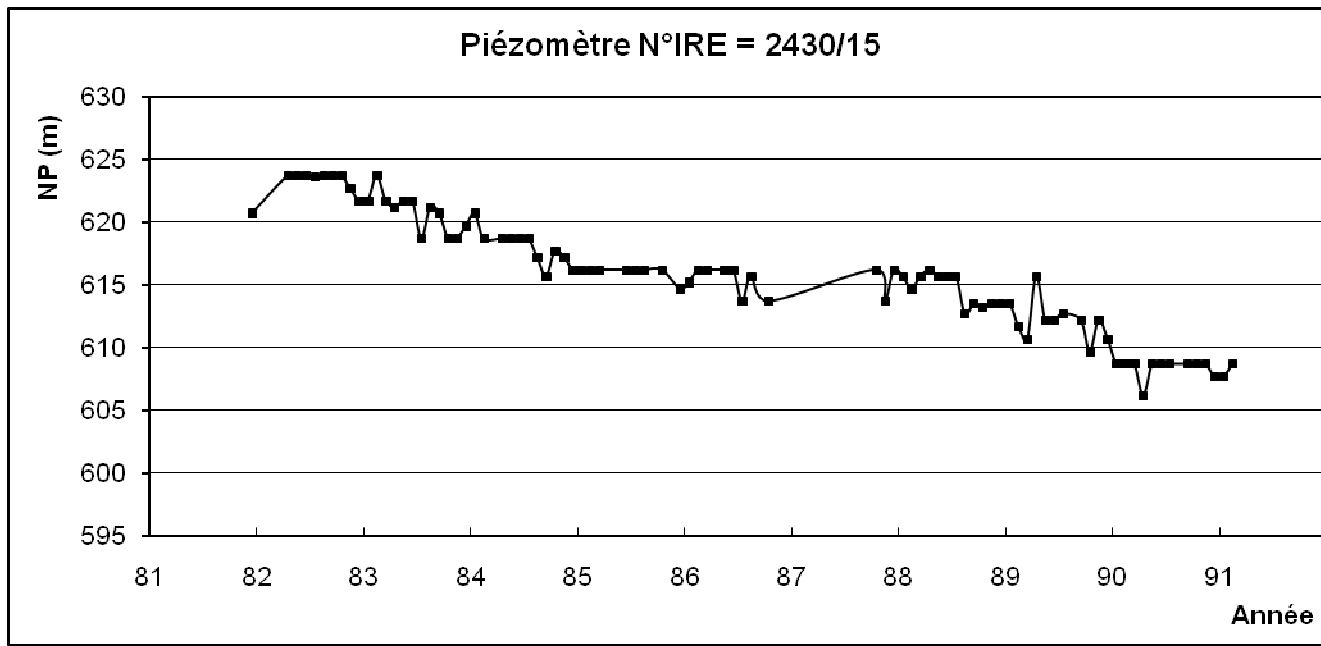
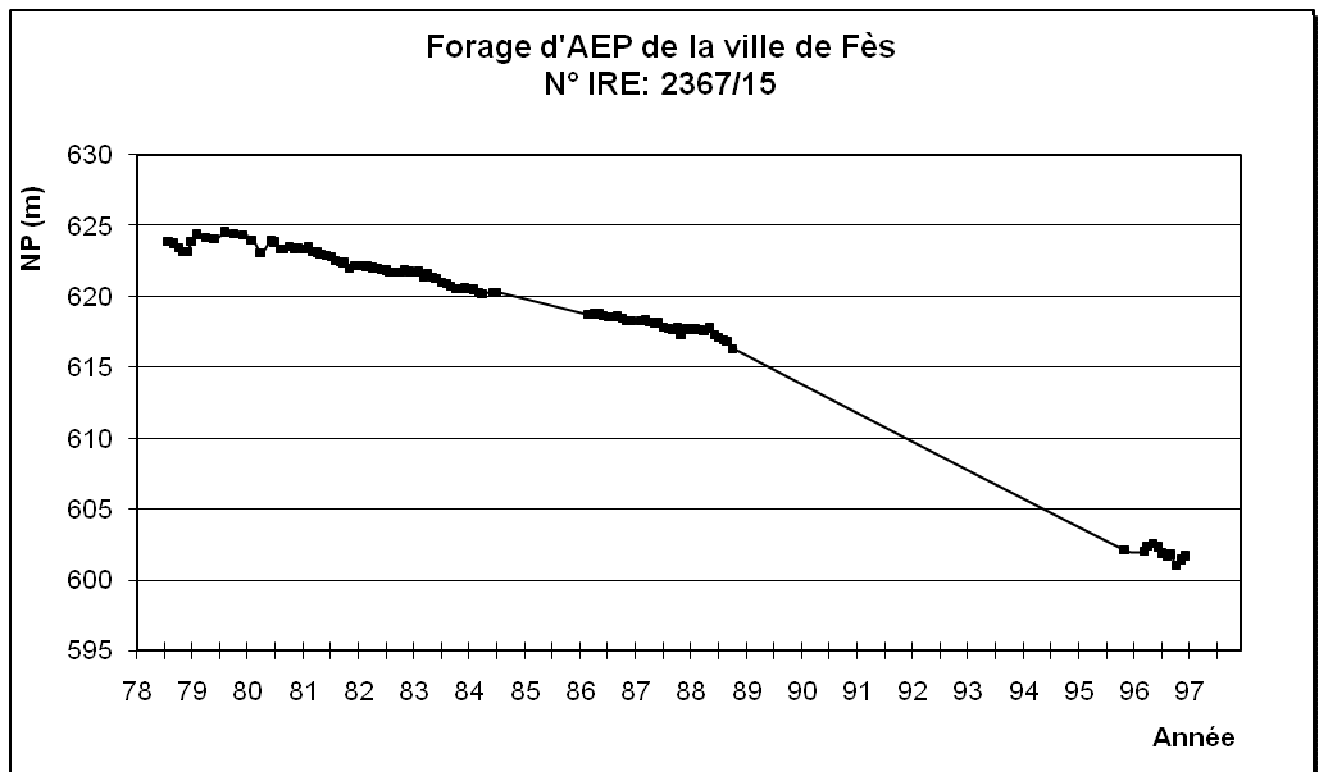


Figure 46 : Historique piézométrique de la nappe du Lias (Ouest du bassin de Fès)



**Figure 47 : Historique piézométrique de la nappe du Lias (limite Sud du bassin de Fès)**

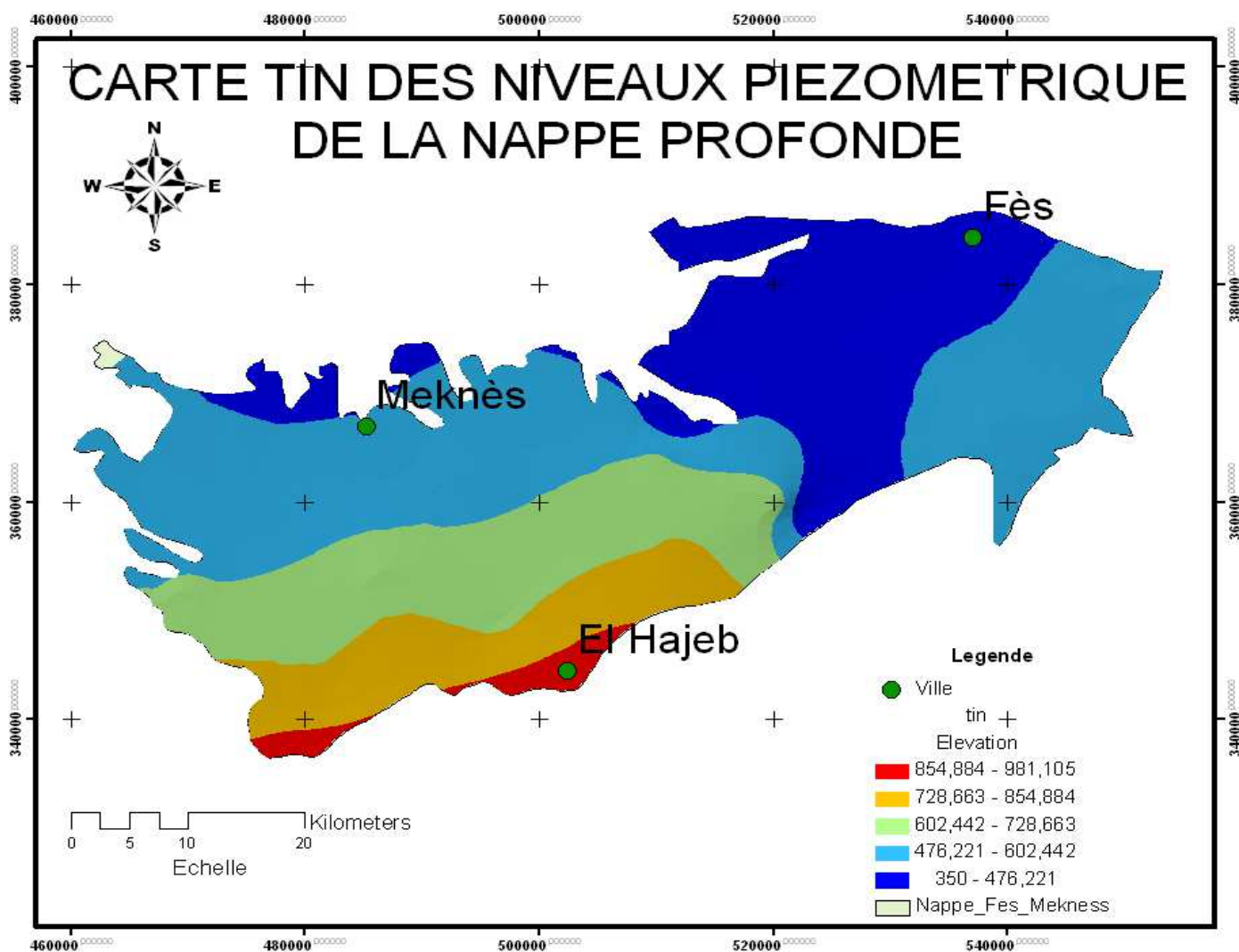
Le suivi piézométrique de la nappe montre qu'il y'a une baisse continue de ses niveaux depuis le début des années 80. Cette baisse est beaucoup plus importante dans le plateau de Meknès où elle est d'environ 2.6 m/an, soit plus 65 m entre 1979 et 2004 (Fig. 45).

Dans le bassin de Fès, cette baisse est plus faible, variant entre 1.4 et 1.9 m/an, soit une moyenne d'environ 1.5 m/an (Fig. 46 à Fig.47).

**La baisse approximative moyenne des niveaux de la nappe peut être estimée à environ 2 m/an.**

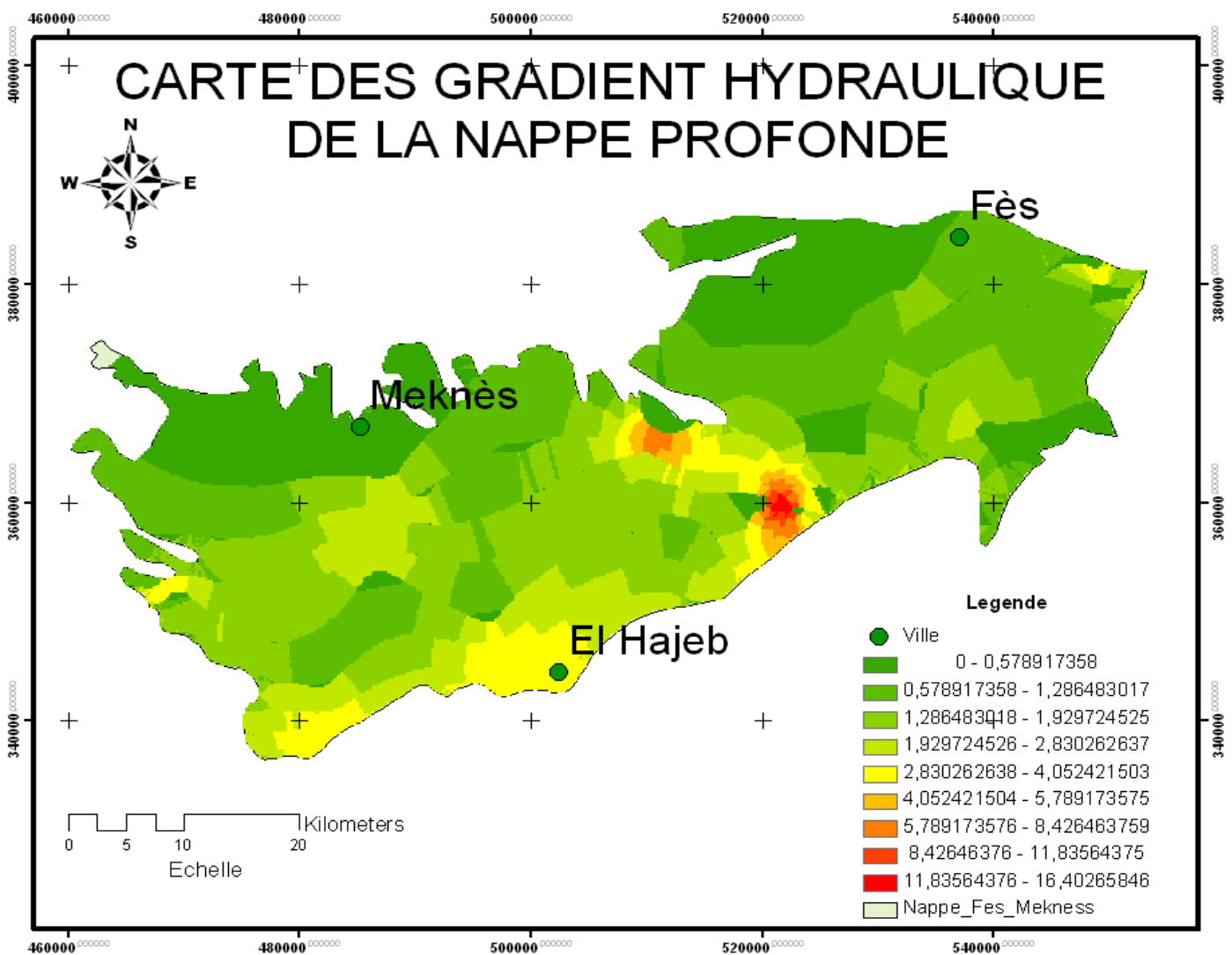
### **III. PARAMETRES HYDRODYNAMIQUE DE LA NAPPE**

#### **1. Gradient Hydraulique**



**Figure 48 : Carte TIN des niveaux piézométrique de nappe du Lias**

Pour évaluer le gradient hydraulique de la nappe profonde, nous avons généré une carte Tin à partir des courbes d'iso-épaisseur de la nappe du Lias. Cette carte sera ensuite utilisée pour créer la carte des gradients hydraulique mais également la carte des écoulements des eaux souterraine de la nappe profonde.



**Figure 49 : Carte des gradients hydraulique de la nappe du lias**

Le gradient Hydraulique de la nappe est en compris entre 0 (au Nord-est) et près de 16%. Dans la majeure partie de la nappe le gradient hydraulique est compris entre 0 et 2,8%.

Le gradient hydraulique diminue globalement du sud (où il atteint une moyenne de 2.8 %) vers le Nord où il est de 0.5 % en moyenne). Le gradient hydraulique moyen au niveau de l'ensemble de la nappe du Lias est d'environ 1.35 %.

Deux secteurs sont caractérisés par des gradients particulièrement faibles, ils sont situés au sud de Meknès et au nord du bassin de Fès.

## 2. Perméabilités



---

Les valeurs de la perméabilité de la nappe du Lias varient généralement entre  $10^{-7}$  et  $10^{-3}$  m/s. Les valeurs les plus représentées (environ 80 % des perméabilités) sont comprises entre  $10^{-6}$  et  $10^{-4}$  m/s (Amraoui, 2005).

Le secteur le plus perméable ( $K > 10^{-4}$  m/s) de la nappe est situé le long de l'axe compris entre Agourrai (au SW) et Fès (au NE), probablement du à un degré de fracturation plus important des calcaires liasiques.

### **3. Transmissivités**

Les transmissivités de la nappe varient entre  $10^{-5}$  et  $10^{-1}$  m<sup>2</sup>/s. Environ 80 % des valeurs sont comprises entre  $10^{-4}$  et  $10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s.

Les secteurs les plus productifs de la nappe ( $T > 10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s) sont situés entre Agourrai au SW (panneau du Haj Kaddour dans le plateau de Meknès) et au SE de la ville de Fès dans la plaine de Fès. Ce secteur est caractérisé par une perméabilité importante, une épaisseur maximale des calcaires liasiques (dépassant généralement 90 m) et par un gradient hydraulique relativement faible.

Les secteurs les moins transmissifs de la nappe ( $T < 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s) sont situés notamment au nord et au sud de l'axe Agourrai- Fès.

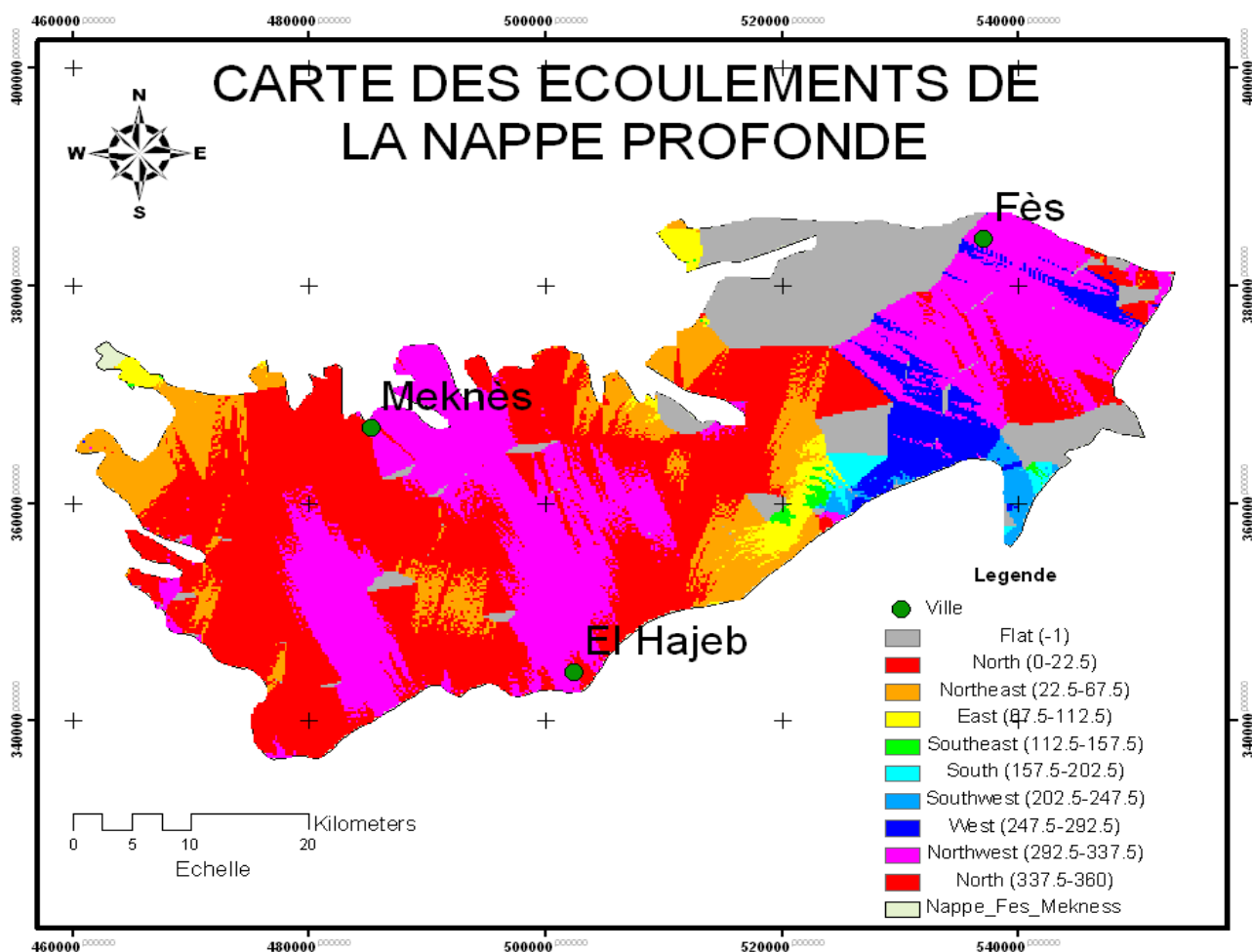


Figure 50 : carte des écoulements des eaux de la nappe du lias.

L'écoulement général de la nappe se fait du sud vers le NNE dans le bassin de Fès et vers le NNO dans le plateau de Meknès. Une ligne de partage des eaux souterraines se trouve dans la partie occidentale du bassin de Fès.

#### 4. Artésianisme de la nappe

Deux compartiments se distinguent nettement par l'importance de leur artésianisme mesuré au niveau de 58 forages profonds et sont séparés par la flexure d'Aïn Taoujtate (Amraoui, 2005).

Dans le bassin de Fès, les pressions en tête de forages varient entre quelques bars (à quelques kilomètres au nord de la bordure moyen atlasique) et 24 bars au niveau de la limite nord (du bassin).

Dans le plateau de Meknès, la pression des forages est comprise entre 2 et 5 bars.

#### IV. Productivités des ouvrages captant le Lias

---

Les débits des ouvrages varient entre quelques l/s à plus de 290 l/s (forage 2370/15, situé à l'Ouest bassin de Fès).

Les plus fortes productivités ( $> 100$  l/s) sont généralement localisées dans la plaine de Fès, dans le compartiment Est de la flexure d'Aïn Taoujtate (forages généralement artésiens).

Les plus faibles productivités ( $< 10$  l/s) sont généralement situées le long de la bordure sud du bassin, entre la flexure de Aïn Taoujtate à l'Est et la limite occidentale de la nappe.

## **V. Epaisseur et réserves totales en eau de la nappe**

### **1. Epaisseur**

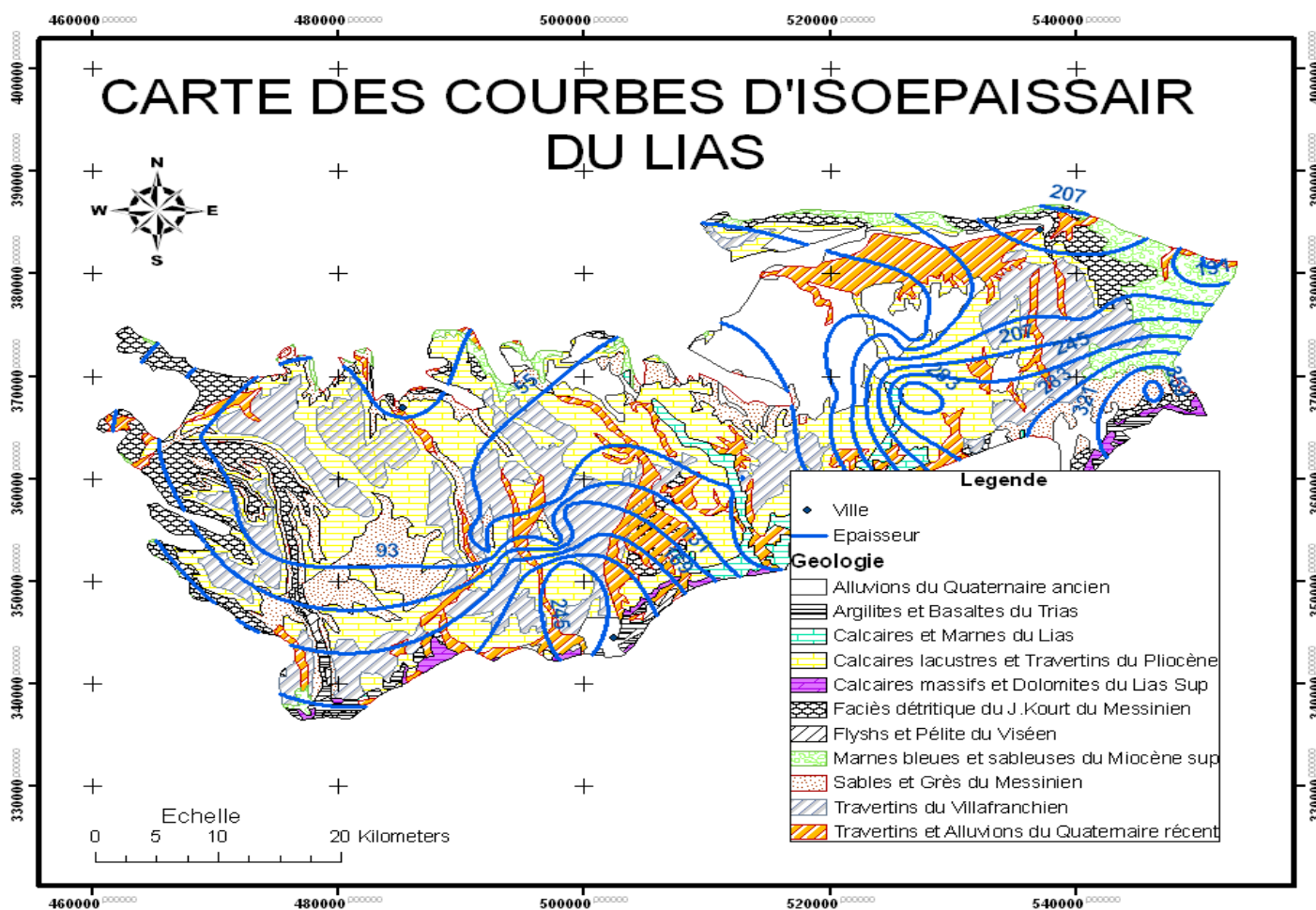


Figure 51 : Carte des courbes d'isopiésomètres de la nappe du lias.

L'épaisseur des formations calcaires du Lias est très variable d'un panneau à l'autre à cause de l'érosion anté-miocène et de la complexité de la structure profonde du bassin, caractérisée par la présence plusieurs panneaux liasiques de profondeur variable, de failles, flexures, etc. Dans certains secteurs, le Lias repose directement sur les formations triasiques lorsque l'érosion anté-miocène a été très importante.

Les épaisseurs les plus importantes du Lias sont généralement localisées au niveau du bassin de Fès (à l'Ouest de la flexure de Ain Taoujtate), dépassant généralement 60 m (Fig. 51) et atteignant 368 m au niveau du forage 2625/15 situé à environ 16 km au SE de la ville de Fès.

Au niveau du plateau de Meknès, les épaisseurs sont plus faibles que celles du bassin de Fès. Les épaisseurs les plus importantes sont localisées au Sud du plateau entre Boufekrane et Haj Kaddour.

L'épaisseur moyenne du Lias au niveau du bassin de Fès-Meknès, calculée à partir de l'ensemble des données de forages (73 ayant traversé complètement les formations carbonatées du Lias) est d'environ 80 m (Amraoui, 2005).

## 2. Réserves en eau totales

Afin de déterminer le volume de la nappe nous avons convertit la carte TIN en Raster.

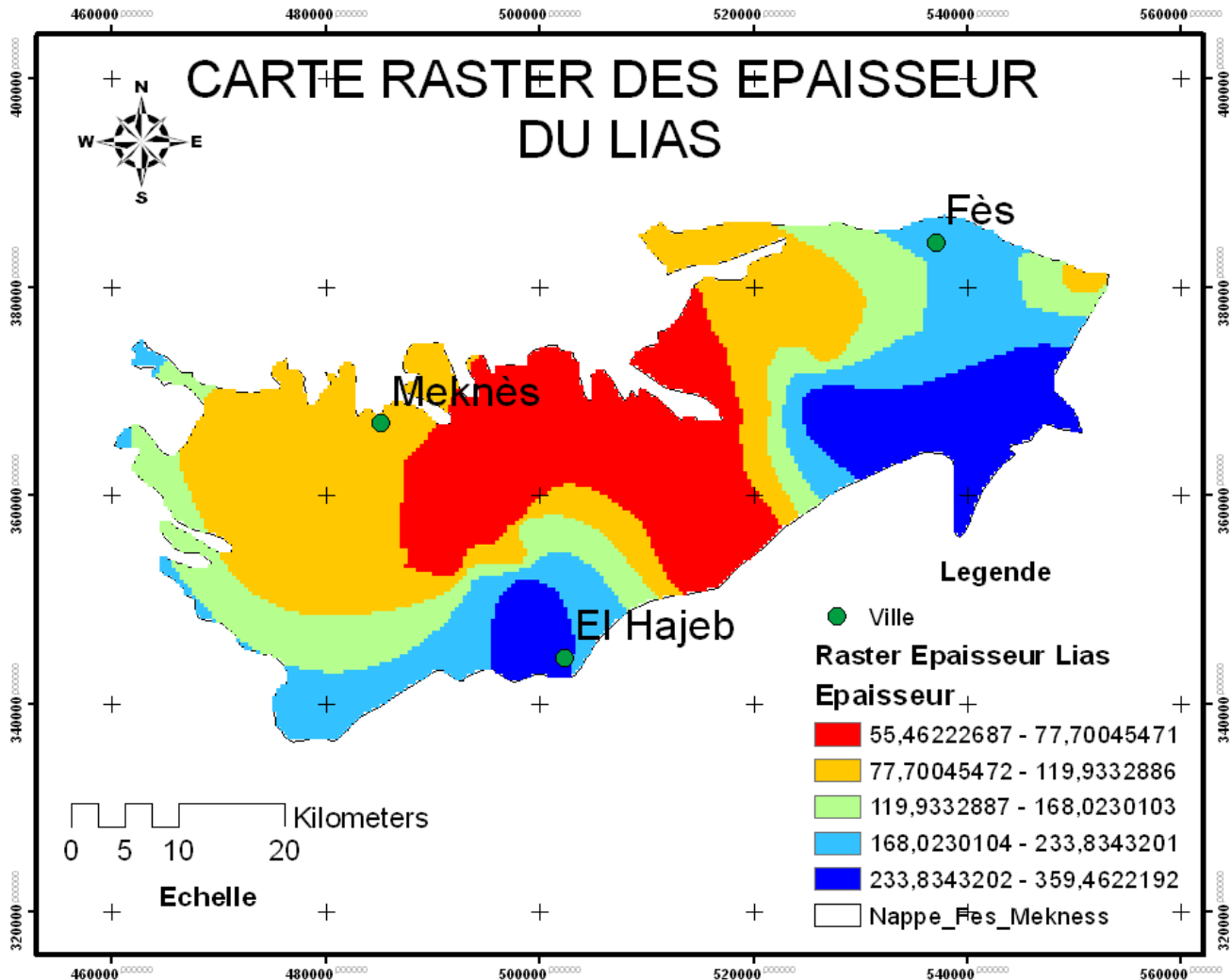


Figure 52 : carte raster des épaisseurs du lias

A partir de ce raster on peut facilement demander à ARCGIS de nous calculer le volume de la nappe. Le volume de la nappe calculer par ArcGis est de  $176100638867,72 \text{ m}^3$  soit 176 milliard  $\text{m}^3$ . En considérant un coefficient d'emmagasinement moyen de l'ordre de 1.5 % (moyenne estimée également par l'étude de 2004, effectuée par le BET AQUASOFT) et ce volume, les réserves totales de la nappe du Lias seraient de l'ordre de 2.6 milliards de  $\text{m}^3$  d'eau.

Ces estimations devront cependant être précisées en réalisant des pompages d'essai dans les secteurs captifs, artésiens et libres de la nappe du Lias, pour déterminer la répartition spatiale des valeurs du coefficient d'emmagasinement de la nappe (très mal connus à ce jour).

## VI. HYDROCHIMIE DE LA NAPPE

Les températures des eaux des formations liasiques varient entre environ 20°C au niveau de la limite Sud du bassin et plus de 45°C à proximité des rides pré-rifaines au Nord. Cette augmentation est la conséquence de l'approfondissement de ces calcaires sous la surface du sol (effet du gradient géothermique).

Les conductivités de l'eau s'échelonnent entre moins de 500 et plus de 3000  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , soit des minéralisations comprises entre moins de 0.4 et plus de 2 g/l. La majorité des ouvrages captent, cependant, une eau de conductivité inférieure à 1000  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , soit une minéralisation généralement inférieure à environ 0.7 g/l.

Le faciès chimique de l'eau est généralement du type bicarbonaté-magnésien, chloruré-calcique. Le pH de l'eau est légèrement basique (Fig. 53).

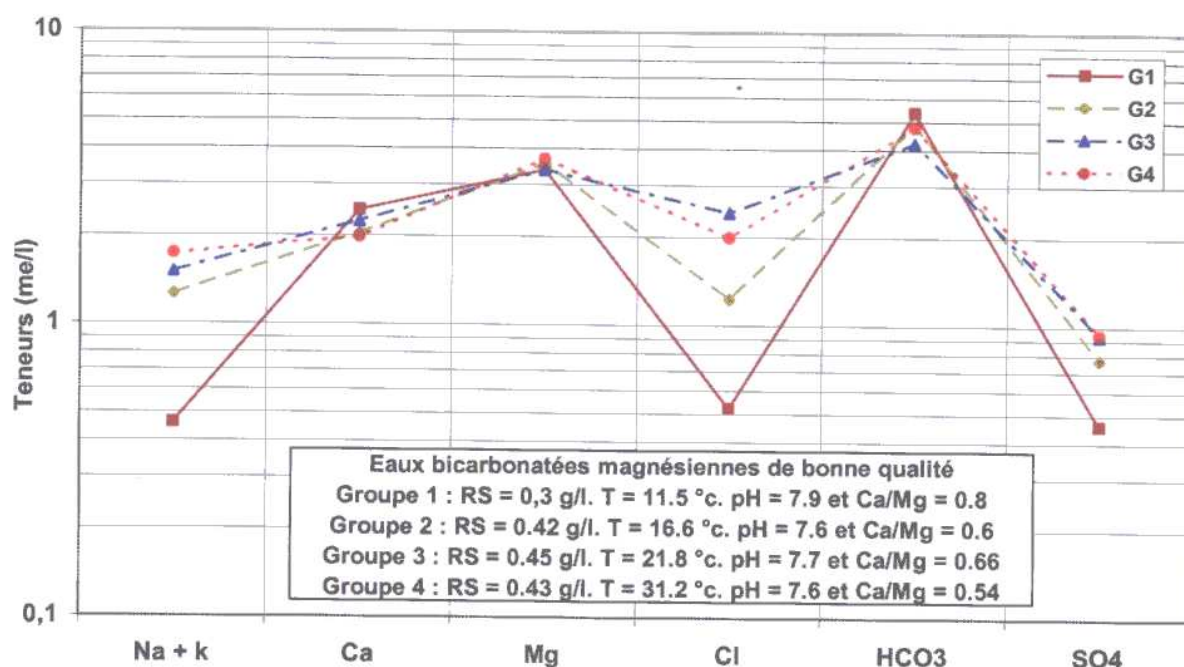


Figure 53 : Faciès chimique des eaux des formations calcaires et dolomitiques du Lias Amraoui, 2005 (ABHS)

## VII. CALCUL DE L'ALIMENTATION

Cette alimentation se fait au niveau de la limite sud du bassin, à partir de l'écoulement souterrain aval du Causse moyen atlasique.

Le débit de cette alimentation a été calculé à partir des sorties avales des différents causses constituant la bordure nord du Moyen Atlas tabulaire, à environ 101 Mm<sup>3</sup>/an. Ce débit est réparti en 25 Mm<sup>3</sup>/an pour le bassin d'Agourrai, 30 Mm<sup>3</sup>/an pour le bassin de Hajeb-Ifrane et 46 Mm<sup>3</sup>/an pour le bassin d'Immouzzar du Kandar.

## VIII. CALCUL DES SORTIES DE LA NAPPE

---

Elles sont constituées par :

- ▲ le drainage des sources et des oueds. Les débits drainés par ces exutoires naturels ne sont pas connus avec précision, en raison de l'incertitude sur l'origine de l'eau (nappe phréatique, nappe profonde ou mixte). Ces débits seront déduits à partir du bilan global des ressources en eau du système aquifère de Fès - Meknès (§ 4.3).
- ▲ la drainance ascendante vers la nappe phréatique : évaluée à 20 Mm<sup>3</sup>/an par le modèle de 1990 ;
- ▲ l'alimentation de la nappe superficielle au niveau des limites sud du bassin ; évaluée à environ 4 Mm<sup>3</sup>/an ;
- ▲ les prélèvements agricoles : sont estimées à **4,6** Mm<sup>3</sup>/an
- ▲ les prélèvements pour l'alimentation en eau potable des villes du bassin sont estimé à 0,4 Mm<sup>3</sup>/an ;

## **IX. BILAN DE LA NAPPE**

Les niveaux piézométriques de la nappe connaissent une baisse continue, évaluée à environ 2 m/an, conséquence de la surexploitation de ses ressources en eau et du déficit de son bilan.

Si on considère un coefficient d'emmagasinement moyen d'environ 1.5 %, cette baisse représente un déstockage moyen d'environ de 63 Mm<sup>3</sup>/an.

## **X. Bilan hydraulique global du système aquifère du bassin de Fès-Meknès**

En attendant les résultats de l'étude en cours de la modélisation du système aquifère de Fès-Meknès, nous présenterons ci-dessous une esquisse approximative du bilan des ressources en eau de ce système.

Les entrées d'eau souterraine sont constituées par :

- l'infiltration des précipitations dans la nappe phréatique à la surface de la plaine (environ 124,7 Mm<sup>3</sup>/an);
- la recharge de la nappe phréatique à partir du retour des eaux d'irrigation au niveau des périmètres irrigués : environ 35,2 Mm<sup>3</sup>/an ;
- l'alimentation de la nappe liasique le long de la limite sud (abouchement), provenant des calcaires du Moyen Atlas tabulaire, évaluée à environ 101 Mm<sup>3</sup>/an.

Les entrées totales des nappes du bassin de Fès-Meknès s'élèvent donc à environ 264,8 Mm<sup>3</sup>/an.

Les sorties d'eau souterraine sont constituées par :

- le drainage des sources : évalué en 2005 par l'ABHS à environ 47 Mm<sup>3</sup>/an (environ 1.5 m<sup>3</sup>/s) ;
- le drainage des oueds : évalué en 2005 par l'ABHS à environ 34.5 Mm<sup>3</sup>/an (environ 1.1 m<sup>3</sup>/s) ;
- les prélèvements agricoles : environ 290 Mm<sup>3</sup>/an;
- les prélèvements pour l'AEP urbaine et rurale : environ 91,8 Mm<sup>3</sup>/an.

**Le volume total des sorties d'eau souterraine des nappes constituant le bassin de Fès-Meknès s'élèverait donc à environ 463,3 Mm<sup>3</sup>/an.**

Le déstockage d'eau global du système aquifère de Fès-Meknès (évalué à partir des historiques piézométriques) s'élève à environ 101 Mm<sup>3</sup>/an, réparti entre environ 38 Mm<sup>3</sup>/an pour la nappe phréatique et 63 Mm<sup>3</sup>/an pour la nappe profonde du Lias;

Les termes du bilan approximatif et subjectif du système aquifère de Fès-Meknès font l'objet du tableau 4 ci-dessous.

Entrées (Mm <sup>3</sup> /an)		Entrées (Mm <sup>3</sup> /an)		Bilan (Mm <sup>3</sup> /an)
Infiltration de la pluie	124,7	Prélèvements agricoles (IP : 25 644 ha)	290	
Alimentation profonde à partir du Causse du Moyen-Atlas	101	Prélèvements AEP	91,8	
Retour des eaux d'irrigation	35.2	Drainage des sources	47	
		Drainage des oueds	34.5	
<b>TOTAL</b>	<b>260.9</b>	<b>TOTAL</b>	<b>463.3</b>	

Tableau 10 : Bilan du système aquifère Fès-Meknès