



**Master Sciences et Techniques : Hydrologie de Surface et Qualité des
Eaux**

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et
Techniques

**EVALUATION DES RESSOURCES EN EAU DU
BASSIN DE FES-MEKNES A L'AIDE D'OUTILS SIG**

Présenté par:

ELMI ROBLEH Nouradin

Encadré par:

- Mr. Abderahim LAHRACH, professeur à la FSTF
- Mme. Samira EL HAOUAT

Soutenu Le 25/01/2012 devant le jury composé de:

- Mr. LAHRACH Abderahim
- Mr. CHAOUNI Abdel-Ali
- Mr. BEN AABIDATE Lahcen

Stage effectué à : L'Agence du Bassin Hydraulique de Sebou, Fès

Table de matières

Liste des figures 5

Liste des tableaux	7
INTRODUCTION.....	8
PREMIERE PARTIE : PRESENTATION GENERALE	9
CHAPITRE I : PRESENTATION GENERALE DE L'AGENCE DU BASSIN	10
I. MISSIONS ET ATTRIBUTION DE L'AGENCE	10
1. L'agence du bassin du Sebou veille à la sécurité de la ressource et du patrimoine à travers :	11
2. L'agence du bassin de Sebou est aux services des tiers à travers :	11
3. Suivi quantitatif des ressources en eau :	11
4. Suivi qualitatif des ressources en eau	12
CHAPITRE II : ETATS DES LIEUX DU BASSIN DE SEBOU.....	13
I. PRESENTATION DU BASSIN DE SEBOU	13
II. POTENTIEL ECONOMIQUE DU SEBOU.....	14
III. RESSOURCES EN EAU DU BASSIN	15
1. Ressources en eau superficielle.....	15
2. Ressources en eau souterraines	16
IV. AMENAGEMENTS HYDRAULIQUES EXISTANTS.....	16
V. PRODUCTION DE L'ENERGIE HYDRO-ELECTRIQUE	18
VI. PRINCIPAUX PROBLEMES DE BASSIN.....	18
CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	20
I. SITUATION GEOGRAPHIQUE.....	20
II. GEOLOGIE.....	21
III. POPULATION ET ACTIVITES ECONOMIQUE	23
IV. CONTEXTE CLIMATIQUE	23
V. PLUVIOMETRIE	24
1. Variation saisonnière	25
2. Variation interannuelle	26
VI. CONTEXTE HYDROLOGIQUE.....	29
1. Réseau hydrographique	29
VII. HYDROGEOLOGIE	31
1. Nappe phréatique du bassin du Saïss	31
2. Nappe profonde du Lias.....	31
DEUXIEME PARTIE : EVALUTION DES RESSOURCES EN EAU A L'AIDE DES SIG..	32
CHAPITRE I : METHODOLOGIE POUR L'ELABORATION DE L'APPLICATION SIG	32

I. PRESENTATION GENERALE DES SIG	32
1. Les composantes d'un SIG	33
2. Intégration des données dans un SIG	33
a. Importation des données.....	33
b. Saisie de l'information	34
c. Mise en forme des informations.....	34
II. Conception d'un système d'informatique pour les eaux du bassin de Fès-Meknès ..	35
Introduction	35
1. Organisation du SIG pour les eaux du bassin de Fès-Meknès.	35
2. Outils de développement.....	36
3. Principales étapes de la mise en place du SIG :	36
a. Recensement, collecte et vérification des données	37
b. Acquisition et stockage des données	37
4. Structure des bases de données du SIG du bassin.....	37
a. Base de données cartographiques	37
b. Bases de données alphanumériques.....	39
Conclusion.....	39
CHAPITRE II : SIG ET BILAN DE L'EAU DE SURFACE	40
I. CARACTERISTIQUE PHYSIQUE DU BASSIN VERSANT.....	41
1. Caractéristique Géométrique	41
a. Limite du bassin versant.....	41
b. Indice de compacité.....	42
2. CARACTERISTIQUE TOPOGRAPHIQUE.....	43
a. MNT du bassin.....	43
b. Courbes de niveaux	44
c. Création d'un Tin.....	44
d. Calcul de Pente	46
3. Ecoulements des eaux et Réseau hydrographique théorique.	47
a. Détermination des directions d'écoulement.....	47
b. Accumulation des écoulements.....	48
c. Calcul du Réseau Hydrographique Théorique.....	49
II. PLUVIOMETRIE DU BASSIN EN GENERAL	50
III. RESEAU HYDROGRAPHIUE	53
1. Les oueds.....	54

a. Densité de drainage.....	54
2. Les sources	56
IV. INFILTRATION	57
V. EVAPOTRANSPIRATION	60
VI. CALCUL DU BILAN.....	60
CHAPITRE III : SIG ET DEMANDE EN EAU	61
I. CALCUL DE DEMANDE EN DE L'AGRICULTURE	61
1. Type de cultures	62
2. Volume d'irrigation.....	62
II. L'ALIMENTATION EN POTABLE (AEP).....	64
CHAPITRE IV : EVALUATION DES EAUX DE LA NAPPE PHREATIQUE	68
I. LITHOLOGIE DE LA NAPPE	69
II. PROFONDEUR DE LA NAPPE	69
III. PIEZOMETRIE DE LA NAPPE	71
1. Fluctuations de la nappe	71
a. Fluctuations saisonnières des niveaux de l'eau.....	71
b. Fluctuations interannuelles des niveaux de l'eau	73
IV. EPAISSEUR ET RESERVES DE LA NAPPE.....	76
V. Paramètres Hydrodynamique.....	77
1. Gradient hydraulique.....	77
2. Perméabilité.....	79
3. Transmissivité	80
4. Diffusivité	80
5. Coefficient d'emmagasinement	80
6. Débit d'une nappe	80
VI. HYDROCHIMIE DE LA NAPPE	81
VII. CALCUL DE L'ALIMENTATION EN EAU	82
1. Infiltration des eaux de pluie	82
2. Abouchement avec la nappe du Lias au niveau de la limite sud du bassin	82
3. Retour des eaux d'irrigation.....	82
4. Alimentation par drainance verticale ascendante à partir de la nappe du Lias.....	83
VIII. CALCUL DES SORTIE DE LA NAPPE.....	84
IX. BILAN DE LA NAPPE.....	84
CHAPITRE IV : EVALUATION DES EAUX DE LA NAPPE PROFONDE	85

I. STRUCTURE DE LA NAPPE DU LIAS	85
II. PIEZOMETRIE	86
1. Fluctuations de la nappe	87
a. Fluctuations saisonnières des niveaux de la nappe	87
b. Fluctuations interannuelles des niveaux de l'eau	88
III. PARAMETRES HYDRODYNAMIQUE DE LA NAPPE	90
1. Gradient Hydraulique	90
2. Perméabilités	92
3. Transmissivités	93
4. Artésianisme de la nappe	94
IV. Productivités des ouvrages captant le Lias	94
V. Epaisseur et réserves totales en eau de la nappe	95
1. Epaisseur	95
2. Réserves en eau totales	97
VI. HYDROCHIMIE DE LA NAPPE	98
VII. CALCUL DE L'ALIMENTATION	98
VIII. CALCUL DES SORTIES DE LA NAPPE	98
IX. BILAN DE LA NAPPE	99
X. Bilan hydraulique global du système aquifère du bassin de Fès-Meknès	99
CONCLUSION	100
Bibliographie	103
Webographie	104

Liste des figures

Figure 1 : Carte du découpage administratif	14
Figure 2 : Situation des barrages existants et en projet	17
Figure 3 : Carte de situation du Bassin Fès-Meknès	21

Figure 4 : Coupe géologique schématique du sillon sud-rifain passant par la ville de Fès, avec les différents types de sources de débordement (1), de flexure (2), de faille (3).	23
Figure 5 : Variation de la précipitation saisonnière	25
Figure 6 : Ecart à la moyenne des précipitations de la station de Fès.....	26
Figure 7 : Ecart à la moyenne des précipitations de la station de Meknès.....	27
Figure 8 : Diagramme ombrothermique moyen à la station climatique de Fès - Période 1973-2003.....	27
Figure 9 : Diagramme ombrothermique moyen à la station climatique de Meknès - Période 1973-2003.....	28
Figure 10 : Carte des cours d'eau du bassin Fès-Meknès.	30
Figure 11 : Description SIG	35
Figure 12 : Carte de la limite du bassin Versant	42
Figure 13 : Carte des MNT du bassin Fès-Meknès.....	43
Figure 14 : Cartes des courbes de niveaux du bassin Fès-Meknès	44
Figure 15 : Production d'un TIN à partir de courbe de niveau	45
Figure 16 : Carte TIN des altitudes du bassin	46
Figure 17 : Carte des pentes du bassin	47
Figure 18 : Carte des écoulements des eaux de surfaces du bassin.....	48
Figure 19 : Carte des accumulations des écoulements des eaux de surface.....	49
Figure 20 : Carte des réseaux hydrographique théorique du bassin.....	50
Figure 21 : Carte de la pluviométrie moyenne du bassin.....	52
Figure 22 : Carte des oueds drainant le bassin	54
Figure 23 : Carte des sources du bassin	56
Figure 24 : Historique des précipitations et de l'Infiltration efficace dans le plateau de Meknès.	58
Figure 25 : Historique des écarts à la moyenne de l'Infiltration efficace dans la plaine de Fès	59
Figure 26 : Historique des écarts à la moyenne de l'Infiltration efficace dans le plateau de Meknès	59
Figure 27 : Schéma récapitulatif du bilan des eaux de surfaces.....	61
Figure 28 : Carte des cultures du bassin.....	62
Figure 29 : Carte des exploitations en eaux du bassin	63
Figure 30 : Carte des AEP et AEPI du bassin Fès-Meknès.	65
Figure 31 : Carte des failles et fracturations du bassin.	68
Figure 32 : Carte des profondeurs de la nappe du Saïss-Période : Fév.-Mars 2005	70
Figure 33 : Carte des courbes isopiézométrique de la nappe du Saïss	71
Figure 34 : Variations saisonnières de la piézométrie de la nappe phréatique de Fès-Meknès (Année : 1998-1999)	73
Figure 35 : Historique piézométrique du secteur Ouest de la nappe phréatique du bassin de Fès-Meknès	74
Figure 36 : Historique piézométrique du secteur central de la nappe phréatique du bassin de Fès-Meknès	74
Figure 37 : Historique piézométrique du secteur Nord-est de la nappe de Fès-Meknès.....	75
Figure 38 : Historique piézométrique du secteur Sud-est de la nappe phréatique du bassin de Fès-Meknès	75
Figure 39 : Carte des épaisseurs du lias	76
Figure 40 : calcul du gradient hydraulique avec 2 piézomètres.....	77
Figure 41 : Carte TIN DES niveaux piézométrique de la nappe phréatique.....	78
Figure 42 : Carte des gradients Hydraulique de la nappe du Saïss	79
Figure 43 : Carte des niveaux piézométrique de la nappe du Lias.....	86

Figure 44 : Fluctuations piézométriques saisonnières de la nappe du Lias du bassin de Fès-Meknès	88
Figure 45 : Historique piézométrique de la nappe du Lias (Sud du plateau de Meknès).....	88
Figure 46 : Historique piézométrique de la nappe du Lias (Ouest du bassin de Fès)	89
Figure 47 : Historique piézométrique de la nappe du Lias (limite Sud du bassin de Fès).....	90
Figure 48 : Carte TIN des niveaux piézométrique de nappe du Lias	91
Figure 49 : Carte des gradients hydraulique de la nappe du lias.....	92
Figure 50 : carte des écoulements des eaux de la nappe du lias.....	94
Figure 51 : Carte des courbes d'isopiésomètres de la nappe du lias.	96
Figure 52 : carte raster des épaisseurs du lias	97
Figure 53 : Faciès chimique des eaux des formations calcaires et dolomitiques du Lias Amraoui, 2005 (ABHS)	98
Figure 54 : Bilan global du bassin Fès-Meknès	102

Liste des tableaux

Tableau 1 : Principaux Ouvrages de retenue – Bassin du Sebou	17
Tableau 2 : Usines hydroélectriques dans les grands Barrages du Sebou.....	18
Tableau 3 : <i>Données de la station climatologique de Fès (Période 1973 : 2003)</i>	24
Tableau 4 : <i>Données de la station climatologique de Meknès (Période 1973 : 2003)</i>	24
Tableau 5 : des stations pluviométrique	52
Tableau 6 : Débits des oueds drainant les nappes du bassin de Fès-Meknès (Etat de Février 2005).....	55
Tableau 7 : tableau récapitulatif des exploitations en agriculture	64
Tableau 8 : tableau récapitulatif des AEPI.....	66

Tableau 9 : Tableau récapitulatif des AEP.....	67
Tableau 10 : Bilan du système aquifère Fès-Meknès.....	100

INTRODUCTION

La croissance démographique et l'expansion économique font que les ressources en eau sont de plus en plus âprement disputées lorsqu'il s'agit de répondre aux besoins des ménages, des collectivités, de l'agriculture et de l'industrie. On assiste par ailleurs à une multiplication des lois et des règlements régissant l'utilisation de l'eau des fleuves et des rivières à des fins environnementales et récréatives. Pour fournir l'eau nécessaire aux besoins fondamentaux et concilier l'ensemble des usages et des intérêts souvent conflictuels dans ce domaine, il est impératif d'instaurer sur la durée un contrôle de toutes les utilisations des ressources en eau et une évaluation de ces mêmes ressources. Cette évaluation est en effet la condition sine qua non d'une mise en valeur durable et d'une gestion rationnelle des ressources en eau partout dans le monde. On entend par «évaluation des ressources en eau» la détermination continue de leur emplacement, de leur étendue, de leur disponibilité et de leur qualité ainsi que des activités humaines dont elles subissent l'influence (Young et al. 1994). Dans Batchelor et al. (2005), l'évaluation des ressources en eau est décrite comme étant «l'étude systématique de la situation actuelle et des tendances futures concernant tant les ressources en eau que les services d'approvisionnement en eau, l'accent étant mis en particulier sur la disponibilité, l'accessibilité et la demande». Qu'il s'agisse de l'irrigation, de la réduction des pertes causées par les inondations, de l'assainissement des eaux en milieu urbain et suburbain, de la production d'énergie, de l'approvisionnement en eau pour les besoins domestiques et industriels, de la santé, de l'atténuation des effets de la sécheresse ou de la protection des écosystèmes aquatiques, l'évaluation des ressources en eau est capitale pour la planification, la

conception, la construction, l'exploitation et l'entretien de systèmes d'approvisionnement fiables.

Bien que la notion d'évaluation des ressources en eau semble relativement limpide, son application exhaustive est particulièrement complexe et difficile à mettre en œuvre. Young et al. (1994) énoncent plusieurs conditions indispensables pour asseoir l'évaluation des ressources en eau sur une base solide, à savoir un cadre institutionnel adéquat, un système efficace et peu coûteux de contrôle qualitatif et quantitatif des eaux de surface et des eaux souterraines, un système souple et moderne de stockage, d'extraction et de diffusion des données, la coordination et la hiérarchisation des activités de recherche-développement.

Les Systèmes d'Informations Géographique (SIG) permettent de relever le défi de connaissance des ressources en eau tant de point de vue quantitatif que qualitatif.

Pour la connaissance des ressources en eaux du bassin Fès-Meknès de point de vue quantitatif nous avons utilisé le logiciel ArcGis.

Ainsi les résultats de vont être présentés en deux parties :

- La **première partie** sera consacrée pour une présentation générale du bassin versant de Fès-Meknès, traitée à partir d'une synthèse des données collectées au sein de l'Agence du Bassin Hydraulique de Sebou (ABHS).

- La **deuxième partie** sera réservée pour une étude d'évaluation des ressources en eaux du bassin de Fès-Meknès à l'aide des outils SIG (ArcGis).

PREMIERE PARTIE : PRESENTATION GENERALE

CHAPITRE I : PRESENTATION GENERALE DE L'AGENCE DU BASSIN

Etablissement public doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière, l'Agence de Bassin gère les ressources en eau du bassin hydraulique en associant l'ensemble des acteurs de l'eau en veillant à la protection du domaine public hydraulique dans le but d'un développement durable. L'Agence de bassin est chargée :

- ✓ d'élaborer le plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau à l'intérieur de sa zone d'action ;
- ✓ de veiller à l'application des recommandations du plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau ;
- ✓ de délivrer les autorisations et concessions d'utilisation du domaine public hydraulique prévues dans le plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau à l'intérieur de sa zone d'action ;
- ✓ de fournir toute aide financière et prestation de service, notamment d'assistance technique, aux personnes publiques ou privées qui en feraient la demande, soit pour prévenir la pollution des ressources, soit en vue d'un aménagement ou d'une utilisation du domaine public hydraulique ;
- ✓ de réaliser toutes les mesures piézométriques et de jaugeages ainsi que les études hydrologiques et hydrogéologiques, de planification et de gestion de l'eau tant sur le plan quantitatif que qualitatif ;
- ✓ de réaliser toutes les mesures de qualité et d'appliquer les dispositions de la loi 10/95 et des lois en vigueur relatives à la protection des ressources en eau et à la restauration de leur qualité, en collaboration avec l'autorité gouvernementale chargé de l'environnement ;
- ✓ de proposer et d'exécuter les mesures adéquates, d'ordre réglementaire, notamment, pour assurer l'approvisionnement en eau potable des populations en période de pénurie déclarée et pour prévenir les risques d'inondation ;
- ✓ de gérer et contrôler l'utilisation des ressources en eau mobilisées ;
- ✓ de réaliser les infrastructures nécessaires à la prévention et à la lutte contre les inondations ;
- ✓ de tenir un registre des droits d'eau reconnus et des concessions et autorisations de prélèvement d'eau accordées.

I. MISSIONS ET ATTRIBUTION DE L'AGENCE

L'agence du bassin du Sebou assure le développement des ressources en eau à travers :

- L'organisation de l'exploitation du domaine public hydraulique

-
- L'évaluation des ressources en eau
 - La planification de l'aménagement des ressources en eau
 - La gestion des ressources en eau

1. L'agence du bassin du Sebou veille à la sécurité de la ressource et du patrimoine à travers :

- La sauvegarde du domaine public hydraulique ;
- La prévention et la gestion des situations exceptionnelles ;
- La maîtrise d'ouvrages d'art et de lutte contre les inondations ;
- L'entretien, la maintenance et l'exploitation des ouvrages hydrauliques ;
- La suivie qualitative et quantitative des ressources en eau ;
- Le recouvrement des redevances ;
- L'octroi des aides financières ;
- L'assistance technique aux tiers.

2. L'agence du bassin de Sebou est aux services des tiers à travers :

- ✓ L'assistance techniques et les prestations des usagers ;
- ✓ Le développement du partenariat ;
- ✓ L'assistance financière à la dépollution et au développement des ressources en eau ;
- ✓ La concertation avec les auteurs de l'eau pour la gestion des ressources en eau.

3. Suivi quantitatif des ressources en eau :

Toute action de planification et de gestion des ressources en nécessite de disposer de réseaux de mesure et de suivi des ressources en eau.

Pour le suivi et le contrôle des en eaux l'agences dispose pour :

Les suivies piézométrique

282 piézomètres permettant le suivi en temps et dans l'espace de l'évolution des nappes d'eau souterraine situe dans le bassin de Sebou à savoir :

- La nappe de Gharb
- Maamora
- Bouagba
- Fès-Meknès
- Couloir Fès-Taza
- Les causes moyennes atlasique

Le suivi hydro-climatique et d'annonces de crues

Le réseau hydroclimatologique du bassin est composé de :

- ✓ 33 stations hydrologiques principales
- ✓ 11 stations simplifiées
- ✓ 179 points de jaugeages périodiques
- ✓ 10 sources équipées
- ✓ 18 stations climatologiques et 59 postes pluviométriques ;
- ✓ Trois lacs équipés.

Ce réseau permet de suivre, de manière régulière, l'évolution des débits des oueds, notamment en période de crues, ce qui favorise la prévision de risque d'inondation.

4. Suivi qualitatif des ressources en eau

- L'un des aspects fondamentaux de la gestion de l'eau concerne le suivi et la prévention de la qualité de l'eau.
- En effet, les développements des activités économiques et sociales s'accompagnent de divers impacts négatifs sur l'environnement. Cela nécessite que divers activités visant la protection du patrimoine hydraulique contre la pollution accompagnant les programmes de gestion quantitatives des ressources en eau.

Il s'agit d'activités relatives à la surveillance et au contrôle de la qualité de l'eau de retenue des barrages, de l'assistance technique aux collectivités locales pour le choix du site pouvant convenir à l'implantation d'infrastructures collectives (les charges publiques abattoirs, sites des stockages industriels, ...)

Réseau de surveillances de la qualité des ressources en eau

Le réseau de suivi de la qualité des eaux a pour objectif :

L'évaluation de l'état de la qualité des ressources en eau et le suivi de son évolution

L'identification des foyers de pollution et de l'évaluation de leur impact sur les ressources en eau.

Ce réseau est composé de :

- 44 points repartis le long des cours d'eau
- 13 retenues de barrages et lacs naturels
- 26 sources ;
- 19 points d'eau thermale
- 133 points d'eau souterraine repartis sur les principales nappes du bassin.

Plus de 23400 analyses sont effectuées annuellement au niveau de ces points d'eau.

Elles concernent les paramètres physicochimiques, biologique et toxiques.

La dégradation de la qualité des ressources en eau dans le bassin de Sebou devient de plus en plus préoccupante ; ceci s'explique par les multitudes sources de pollution : domestique, industrielle et agricole.

La pollution domestique est estimée à 80 millions de m³ /an et la pollution industrielle à 2.5 millions, équivalent habitants. Quant à la pollution agricole, elle génère 6300 tonnes d'azote et 1500 tonnes de phosphore.

En plus des activités de contrôle et de suivi de la qualité des ressources en eau, l'agence du bassin hydraulique du Sebou assure :

- ✓ La réalisation des études d'évaluation et d'impact de la pollution et d'amélioration de la qualité de l'eau ;
- ✓ L'atténuation des effets de la pollution par le soutien des débits des basses eaux ;
- ✓ L'incitation à la dépollution et la coordination des actions de conservation de la qualité de l'eau ;
- ✓ L'assistance technique et l'aide financière aux collectivités locales, et aux industriels.

Le législateur a mis à la disposition de l'agence du bassin hydraulique du Sebou les moyens financiers pour accomplir ses missions. Ces moyens sont constitués principalement des redevances et des subventions.

Le budget de l'agence comprend :

En ressource

- ✓ Les produits et bénéfices d'exploitation, ainsi que ceux de ses opérations et de son patrimoine ;
- ✓ Les produits des redevances constituant la rémunération de ses usagers de ses prestations ;
- ✓ Les produits des redevances de l'utilisation du domaine public hydraulique ;
- ✓ Les subventions de l'eau ;
- ✓ Les dons, legs et produits divers ;
- ✓ Les avances et prêts remboursables provenant de l'état, d'organismes publics ou privés ainsi que les emprunts autorisés conformément à la réglementation en vigueur ;
- ✓ Les taxes parafiscales instituées à son profit.

En charge

- ✓ Les charges d'exploitation et d'investissement de l'agence ;
 - ✓ Le remboursement des avances prêts et emprunts ;
- Toutes autres dépenses en rapport avec son activité

CHAPITRE II : ETATS DES LIEUX DU BASSIN DE SEBOU

I. PRESENTATION DU BASSIN DE SEBOU

Le bassin du Sebou forme une grande cuvette limitée par le Rif au Nord, le Moyen Atlas et la Meseta au Sud, le col de Taza à l'Est et l'océan Atlantique à l'Ouest. Il couvre une superficie de 40.000 Km², répartie en quatre (4) zones homogènes: le Gharb. Le Rif. le Moyen Atlas et le Saïs.

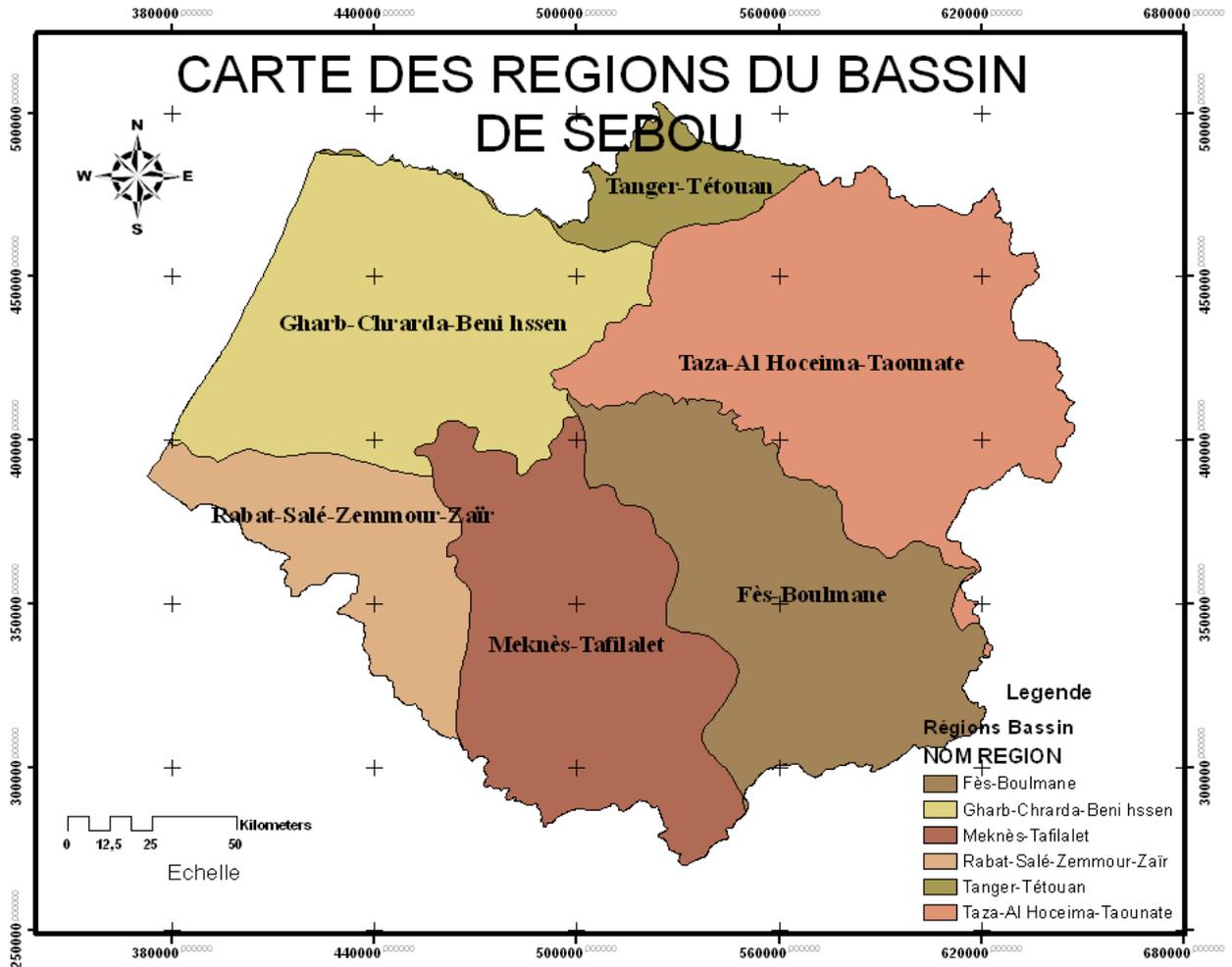


Figure 1 : Carte du découpage administratif

Ce bassin abrite une population de 5.2 millions d'habitants (RGPH 1994). Cette population, qui a atteint 6 millions selon les estimations de 2002, se répartit entre 53 % en milieu rural et 47 % en milieu urbain. Par ailleurs, 52 % de la population du bassin vit dans la zone du Saïs qui regroupe les villes de Fès et Meknès.

Sur le plan administratif, le bassin englobe totalement ou partiellement (Figure 1):

- 5 régions économiques;
- 15 préfectures et provinces. dont 8 en totalité;
- 242 communes rurales;
- 48 municipalités.

II. POTENTIEL ECONOMIQUE DU SEBOU

L'activité économique du bassin du Sebou est marquée par la prédominance des secteurs suivants :

* **L'agriculture** : La surface agricole utile est d'environ 1.880.000 ha (soit près de 20 % du potentiel national) dont 270.000 ha peuvent être irrigués essentiellement dans la région du Gharb. La superficie actuellement équipée et irriguée dans la plaine du Gharb ne dépasse pas 134.000 ha.

* **L'industrie** : Elle est représentée principalement par les huileries (65 % de la production nationale), les sucreries (50 % de la production nationale), les tanneries (60 % de la production nationale), les papeteries, le textile et le raffinage de pétrole.

* **Le tourisme** : le potentiel touristique est constitué des villes impériales (Fès et Meknès). Des zones de montagne, des sources thermales et des plages. L'activité touristique a renoué avec la croissance notamment grâce à la mise en place de liaisons aériennes directes reliant Fès à d'autres capitales européennes.

* **La forêt** représente une richesse naturelle importante. Elle couvre une superficie totale de près de 1.200.000 ha et est constituée principalement de chênes, de cèdres, de thuya et de matorrals. En plus de son rôle d'espace, de pâturage et de gisement de bois de feu pour les populations riveraines. La forêt participe de manière significative à la stabilisation des terres et par conséquent à la réduction de l'érosion et de l'envasement des retenues de barrages.

La richesse du bassin en ressources en eau constitue un levier du développement socio-économique au niveau du bassin, voire au niveau national. En effet, le bassin du Sebou dispose d'un potentiel moyen annuel de près de 5 000 Mm³ d'eau de surface, soit près de 30 % du potentiel national en eau de surface et d'un volume annuel renouvelable de 800 Mm³ d'eau souterraine, correspondant à près de 20% du potentiel national en cette ressource.

III. RESSOURCES EN EAU DU BASSIN

Le climat régnant sur l'ensemble du bassin est de type méditerranéen à influence océanique et à l'intérieur du bassin le climat devient plus continental. La pluviométrie moyenne interannuelle est de 750 mm sur l'ensemble du Sebou avec variation entre 400 mm sur le Haut Sebou et les vallées encaissées du Beht et 1800 mm sur les hauteurs du Rif. Les températures moyennes annuelles varient suivant l'altitude et la continentalité entre 10 et 20°C.

1. Ressources en eau superficielle

Le bassin referme près du tiers des eaux de surface du pays et peut être subdivisé de point de vu hydrologique en quatre ensembles :

- Le Sebou issu du Moyen Atlas est constitué par :
 - Le Haut Sebou, dont le bassin versant est de 6000 km² représente 16 % de l'ensemble du bassin ;
 - L'Inaouène, dont le bassin versant est de 5200 km² représente 13 % de l'ensemble du bassin ;
 - Le Moyen Sebou, dont la superficie est de 5400 km² représente 13 % de l'ensemble du bassin.
- L'Ouergha a une superficie de l'ordre de 7300 km² ;
- Le Beht a une superficie de l'ordre de 9000 km² à l'embouchure ;
- Le bas Sebou, dont la superficie couvre environ 6000 km², est un chenal instable et insuffisant à transporter les débits de crues.

Les apports en eau de surface du bassin sont de l'ordre de 5010 Mm³/an dont :

- 47 % sont drainés par le bassin de l'Ouergha ;
- 18 % sont drainés par le haut Sebou ;
- 9 % sont drainés par le Beht.

Ces apports présentent une irrégularité assez importante dans l'espace et dans le temps. Le haut Sebou en amont du barrage Allal El Fassi se distingue par un écoulement pérenne grâce notamment aux apports de sources importantes telles que : Ain Sebou, Ain Timedrin et Ain Ouaender. Les autres affluents de l'oued Sebou, notamment l'Ouergha et l'Inaouène pluvial avec des crues très importantes lors des saisons pluvieuses.

2. Ressources en eau souterraines

Les ressources en eau souterraine du bassin constituent une part importante du patrimoine hydraulique du bassin de Sebou. Elles présentent des réserves accumulées depuis de longues années et une richesse qui se reconstitue d'année en année grâce à l'infiltration des eaux de pluies.

Le volume exploitable des eaux souterraines est de l'ordre de 800 Mm³/an, dont 680 Mm³ sont actuellement exploitées.

Ces ressources sont caractérisées par une large répartition dans l'espace contribuant ainsi au développement économique social du bassin en assurant l'approvisionnement en eau potable d'une grande partie des centres urbains et ruraux et en contribuant à la mise en valeur de grandes superficies irriguées au moyen de multiples stations de pompage dans les nappes.

A l'échelle du bassin, on peut distinguer une douzaine de nappe dont les principales sont :

- Nappes phréatiques et profondes du sais ;
- Nappes des causses moyens atlasique ;
- Complexe des nappes Maamora-Gharb ;
- Nappe de Bou Agba ;
- Nappe du couloir Fès-Taza ;
- Nappe du moyen atlas plissé ;
- Nappe de Drader Souier.

IV. AMENAGEMENTS HYDRAULIQUES EXISTANTS

Le bassin de Sebou comporte 10 grandes barrages et 44 petits barrages et lacs collinaires (Figure 3). Parmi ces barrages figures le barrage Al Wahda, deuxième grand barrage en Afrique, avec une capacité de stockage de 3730 Mm³. Ce grand barrage, joue un rôle capital dans l'irrigation de la plaine du Gharb et sa protection contre les crues dévastatrices de l'oued Ouergha.

La capacité globale actuelle de stockage des 10 grandes barrages (Tableau.1) est de 7.872 Mm³, permettant de régulariser un volume total de 2.970 Mm³.

NON DU BARRAGE	Situation	Type d'utilisation	Capacité de la retenue normale (Mm ³)	Années de mise en service
Al Wahda	Sur l'oued Ouergha à 5 km en amont du village de M'jara	Irrigation ; AEP ; Protection des crues ; Hydroélectricité	3714	1996
Idriss 1 ^{er}	Sur l'oued Inaouène à 30 km au	Irrigation ; Hydroélectric	1182	1973

V. PRODUCTION DE L'ENERGIE HYDRO-ELECTRIQUE

Les usines hydroélectriques associées aux barrages Idriss Ier, El Kansera, Al Wahda et Allal El Fassi, ont une puissance installée de 535 MW (Tableau.2)

La valorisation de la ressource mobilisée par les usines hydroélectriques associées aux barrages dans le bassin permet de produire en moyenne 814 GWH/an. Cette production permet au pays d'éviter l'importation de près de 285.000 tonnes de fuel.

Usine	Date de mise en service	Puissance installée en MW	Débit d'équipement (m ³ /s)	Hauteur de la chute d'eau (m)	Productivité moyenne en GWH/an
Allal El Fassi (Matmata)	Sep. 1994	240	3*54	172	270
Idriss 1 ^{er}	Juin 1978	40	2*42	54	120
Kansera	Déc. 1934	15	2*18	50	24
Al Wahda	Oct. 1997	240	3*150	64	400
Total		535			814

Tableau 2 : Usines hydroélectriques dans les grands Barrages du Sebou

Le bassin renferme d'autres usines hydroélectriques de moindre importance et qui sont situées au fil de l'eau de l'eau. Il s'agit des usines de :

- Ras El Ma (Province de Taza) ;
- Oued Fès aval (Province Fès Jdid-Dar Dbibagh);
- Oued Aggay (Province Sefrou) ;
- Oued Boufekrane (Province de Meknès).

VI. PRINCIPAUX PROBLEMES DE BASSIN

Les problèmes posés et les entraves au développement durable du bassin du Sebou n'ont d'égal que son fort potentiel naturel. Plusieurs de ces problèmes sont dus à l'action de l'homme (pollution des eaux, surexploitation des eaux souterraines, déboisement, urbanisation incontrôlée etc.), d'autres sont plutôt d'ordre naturel (variation spatio-temporelle des précipitations, sécheresses, inondations etc..).

Le plus frappant aujourd'hui dans le bassin du Sebou est bien le niveau de pollution des cours d'eau, résultant de l'accroissement rapide de la population urbaine et aussi de l'activité industrielle qui en résulte.

On peut brièvement rappeler que la charge polluante domestique, industrielle et agricole déversée dans les différents cours d'eau du bassin du Sebou est de l'ordre de 7.500.000 équivalent-habitant pour une population à peine supérieure à 6.000.000 d'habitant.

Le volume total des rejets d'eaux usées domestiques est estimé à plus de 200.000 m³/jours, dont 86% sont déversés directement dans le milieu naturel, 2% épandus sur les sols et 12% rejetés en mer.

Le niveau de l'oued Sebou à l'aval de Fès est tel qu'il compromet l'utilisation de l'eau pour les besoins agricoles et son taux de concentration en coliformes fécaux en interdit l'usage pour le boisson, le lavage des fruits et légumes, y compris lorsque cette eau est prélevée à travers un puits dans la nappe d'accompagnement.

On peut faire le même constat en ce qui concerne les pollutions d'origine agricole (nitrates) qui dégradent la qualité des nappes (Fès-Meknès, Gharb, Mâamora) et en ce qui concerne les déchets solides.

Concernant les nappes le problème se double d'un effet de surexploitation et d'abaissement rapide de leur niveau.

Enfin, les questions de déforestation des massifs (pour la production du bois et la nourriture des cheptels) et de dégradation des sols qui en résulte, constituent de vrais problèmes pour l'envasement des barrages, les pertes de sols cultivables et les inondations. Les réponses à ces problèmes sont difficiles, tant du point de vue social, technique ou financier, mais doivent être considérées au même titre que la lutte contre la pollution ou les inondations, comme un véritable enjeu d'aménagement du territoire.

Les contraintes viennent également de la nécessité de satisfaire, au moins avec un certain degré de garantie, les demandes en eau qui ont naturellement résulté du processus de développement économique, sociale, industriel et agricole.

Malgré la ressource en eau globalement excédentaire « en moyenne », elle est très inégalement répartie dans le temps et l'espace. Surtout avec les dernières années de sécheresse, qui ont engendré des chutes très importantes de ressources et pouvaient intervenir de manière consécutive.

L'allocation des ressources en eau en AEPI doit rester prioritaire devant les autres usages, mais en certains endroits où les prélèvements AEPI provenaient essentiellement de nappes souterraines celles-ci pouvaient connaître des rabattements inquiétants. Les interconnexions de réseaux ou de sources d'approvisionnement, doivent donc être renforcées pour diminuer au maximum possible les risques de défaillance.

A toute autre échelle, mais dans un autre esprit, le secteur agricole doit subir les mêmes évolutions en échange d'une meilleure garantie du service de fourniture dont une meilleure gestion par la demande.

Par ailleurs, le retard enregistré en matière de valorisation des ressources en eau mobilisées, notamment dans le domaine agricole, remet en cause la rentabilité des projets réalisés. Le décalage entre la superficie dominée par les barrages existants et la superficie aménagée est estimé actuellement à environ 115 000 ha, correspondant à plus d'une trentaine d'années de travaux au rythme actuel d'aménagement.

Face à ce contexte de réfraction croissante de l'eau, la gestion des ressources en eau avec efficacité et souci de durabilité est devenue comme objectif majeur des stratégies de développement. La mobilisation des ressources en eau et l'édification des barrages en tant que moyens pour cette mobilisation, joue un rôle important dans le processus de développement économique et social à l'échelle du bassin de Sebou et à tous le pays.

- Etant donné que le bassin du Sebou est considéré comme deux branches hydrauliques indépendantes, le Sebou décomposé en deux ensembles stratégiques et le Beht. Ces ensembles stratégiques élémentaires sont :

-
- Moyen Sebou, englobant les sous-bassins bassins de l'Inaouène, du Mikkès et du Sebou jusqu'à la confluence du Ouergha, régularisé par les retenues Idriss 1^{er}, Alla El Fassi et Sidi Chahed ;
 - Ouergha - Bas Sebou : le choix de cet ensemble est évidemment lié à la présence de la retenue d'AL Wahda, largement dimensionnée pour satisfaire les besoins aval du Sebou ;
 - Beht, seulement régularisé par la retenue d'El Kansera.

L'unité stratégique élémentaire du bassin du Sebou qui représente l'objet de notre présent travail est le Beht, afin d'optimiser les performances des ressources en eau dans cette unité indépendante.

CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

I. SITUATION GEOGRAPHIQUE

Le bassin de Fès- Meknès s'étend sur environ 100 km d'Ouest en Est et de 30 km du Nord au Sud, entre les coordonnées Lambert : $465 < X < 545$ km et $335 < Y < 385$ km, totalisant une superficie d'environ 2261 km². Ses limites naturelles sont constituées (Fig. 3) par :

- l'oued Sebou à l'Est ;
- l'oued Beht à l'Ouest ;
- les rides préifaines au Nord ;
- la limite Nord du Causse moyen-atlasique au Sud.

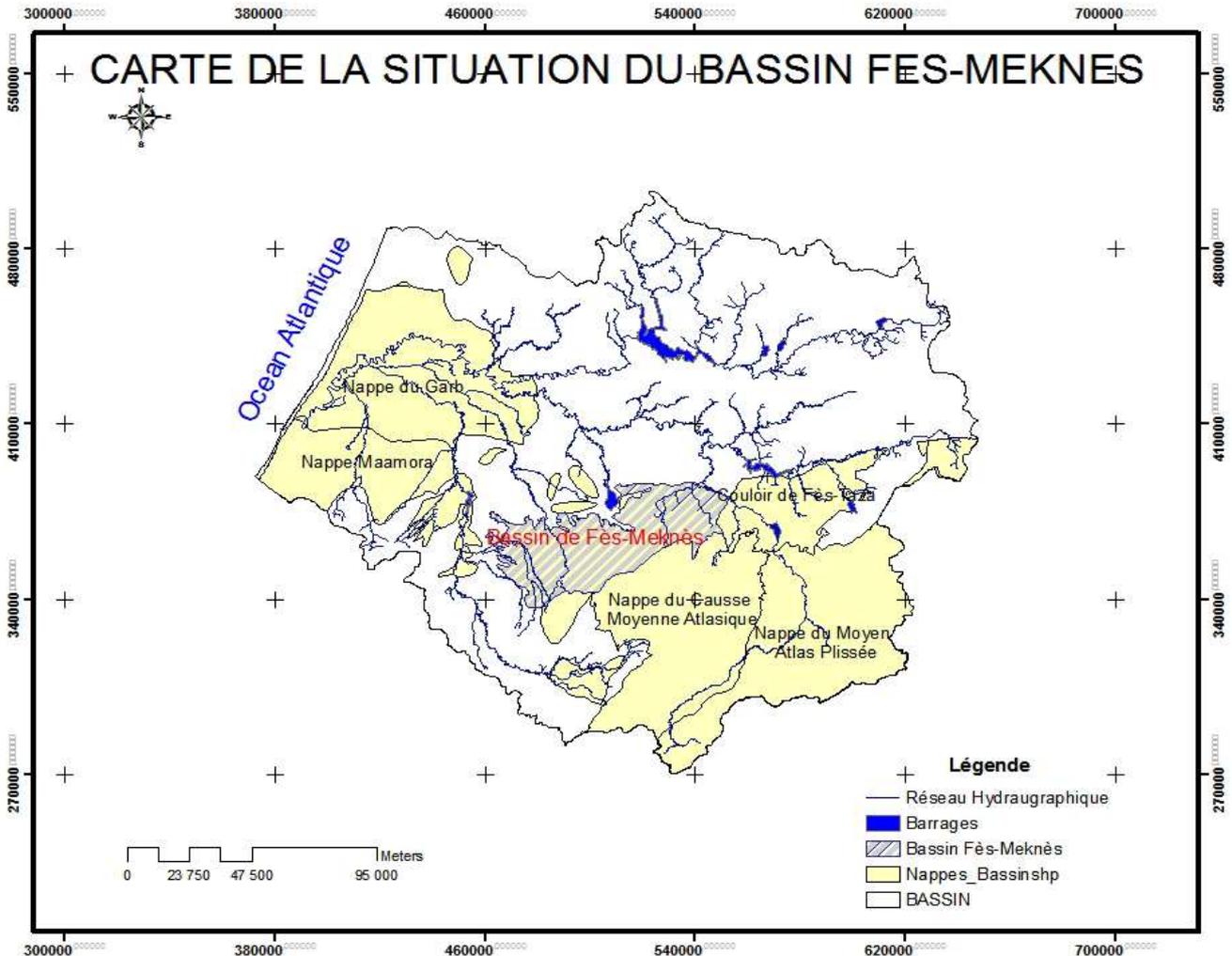


Figure 3 : Carte de situation du Bassin Fès-Meknès

II. GEOLOGIE

Le bassin de Meknès-Fès fait partie du « couloir sudrifain » qui s'étend de la plaine du Rharb à l'Ouest jusqu'au col du Touahar à l'Est. Entre les deux grandes unités structurales qui forment les limites Nord et Sud du bassin (Préif et Moyen Atlas) une transgression

marine a déposé au Miocène une série marneuse très puissante, suivie au Plio-Villafranchien et au Quaternaire par des dépôts continentaux.

Les deux grandes unités du Prérif et du Moyen Atlas, influencent directement la structure actuelle du bassin : le Moyen Atlas se prolonge sous le bassin et correspond au substratum anté-Néogène dont les accidents ont rejoué en déterminant toutes les flexures de direction SW-NE. Le Prérif, ou plus précisément la tectonique rifaine, crée toutes les flexures de direction SE-NW.

Le substratum anté-Néogène est formé essentiellement par le Lias calcaire et dolomitique, les argiles bariolées du Trias ou les schistes du Primaire, suivant l'importance de l'érosion et les lacunes de sédimentation. Le Lias du Causse moyen-atlasique s'enfonce progressivement sous le bassin de Meknès-Fès, vers le N.

Il est affecté par des failles et des flexures. La description de cette unité sera détaillée dans l'étude de l'aquifère profond. Explorée par de nombreux sondages et plusieurs campagnes de géophysique, la structure du Néogène est connue avec une bonne précision. Présents dans tout le bassin les dépôts du Néogène sont très puissants le long de la grande dépression synclinale qui jalonne les rides pré-rifaines au N du bassin (subsidence qui se poursuit encore) ; leur toit s'abaisse progressivement du S au N avec une pente moyenne de 2 %. Toutes les flexures affectant le Pliocène et visibles en surface dans la plaine, se retrouvent dans les marnes miocènes sous-jacentes. Elles sont le résultat du rejet des accidents du substratum anté-Néogène. D'autres flexures qui sont en disharmonie avec la structure du socle ont subi l'influence de la tectonique rifaine, notamment la flexure d'Aïn-Taoujdate. Le redressement brutal du Néogène à la limite nord du bassin, au contact des rides pré-rifaines, est marqué par des fractures et des plis déversés.

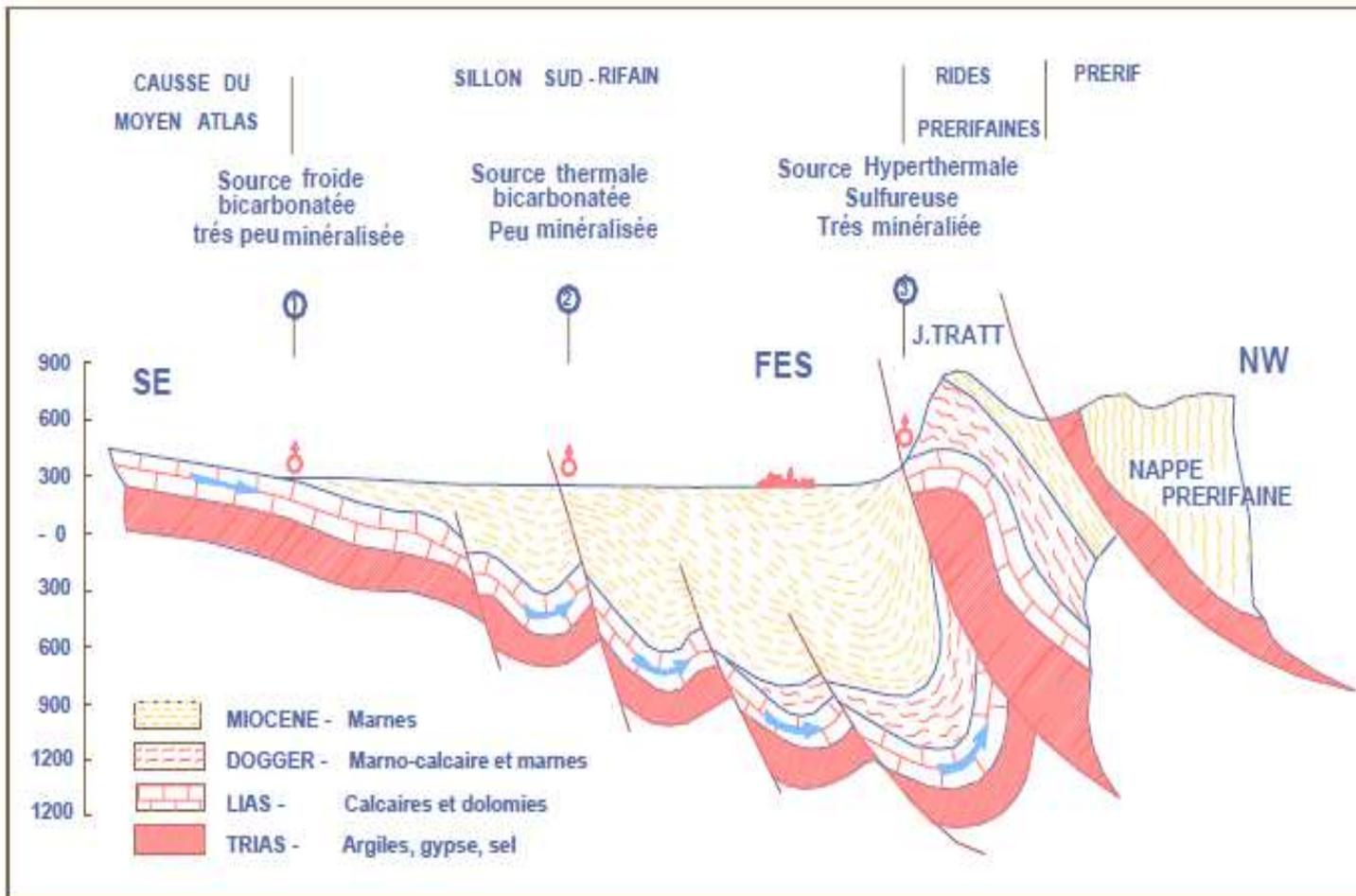


Figure 4 : Coupe géologique schématique du sillon sud-rifain passant par la ville de Fès, avec les différents types de sources de débordement (1), de flexure (2), de faille (3).

III. POPULATION ET ACTIVITES ECONOMIQUE

Le bassin abrite deux importantes wilayas du Maroc ; Fès et Meknès, dont la population s'élève à environ 1.7 millions d'habitants (dont environ 72% en milieu urbain et 28% en milieu rural).

La région connaît une activité économique très importante, constituée par l'agriculture (viticulture, olivier, arboriculture, céréaliculture et les légumineuses), l'artisanat, le tourisme, l'industrie (textile, matériaux de construction, agro-alimentaires, etc.) et le commerce.

L'agriculture est entièrement du type PMH. Les eaux d'irrigation sont dérivées à partir des sources et des oueds du plateau de Meknès et de la plaine (71% entre 1980 et 1984) et en moindre partie, par pompage dans les nappes superficielle et profonde (29 % entre 1980 et 1984). La superficie totale irriguée varie selon les années entre 12 000 ha et 35 000 (SBOT, 1989).

IV. CONTEXTE CLIMATIQUE

La climatologie du bassin est caractérisée à partir des données des stations de Fès et Meknès, situées à l'Est et à l'Ouest du bassin, aux coordonnées Lambert suivantes :

- Station de Fès : X= 536.9 km Y= 385.01 km Z= 410 m
 - Station de Meknès : X= 487.5 km Y= 365.0 km Z= 550 m

Le climat du bassin est du type semi-aride à hiver tempéré. Il est caractérisé par (tableau 2 et 3) :

	épt	ct	ov	éc	D anv	év.	ars	vr	A ai	uin	uil.	oût	M oy
P (mm)	4,2	5,9	8,7	3,7	0,3	8,6	7,1	2	6 7,6	1,7	,4	,7	T : 455.1
T (°C)	2,6	7,9	3,6	0,6	,3	0,7	2,5	3,9	1 7,2	1,5	5,7	5,5	M oy / 16,7
E TP(mm)	13,3	5,1	4,4	0,3	3 5,2	0,1	6,6	7,8	5 7,6	23,1	62,8	53,4	T T : 950.1

Tableau 3 : Données de la station climatologique de Fès (Période 1973 : 2003)

	épt	ct	ov	éc	D anv	év.	ars	vr	A ai	uin	uil.	oût	M oy
P (mm)	4,3	8,3	6,1	4,0	8 8,3	0,2	1,9	9,0	6 0,4	1,3	,2	,9	T : 549.8
T (°C)	2,8	8,5	4,5	1,5	1 0,2	1,5	3,5	4,7	1 7,8	1,7	5,4	5,3	M oy : 17,3
E TP (mm)	05,7	8,5	9,3	6,0	2 1,4	5,8	1,4	0,9	5 8,7	12,8	52,6	43,6	T T : 866.6

Tableau 4 : Données de la station climatologique de Meknès (Période 1973 : 2003)

La pluviométrie annuelle est assez importante dans le bassin, elle varie entre 455 mm/an à la station de Fès et 550 mm/an à la station de Meknès. La carte des précipitations du bassin de Sebou montre que la hauteur moyenne des précipitations dans le bassin de Fès-Meknès est d'environ 500 mm/an. Ces précipitations accusent une baisse par rapport à la moyenne calculée antérieurement, notamment depuis les années 1980 (Tab.3 et 4).

V. PLUVIOMETRIE

La pluviométrie est la mesure de la pluie. L'outil utilisé est le pluviomètre/pluviographe. La mesure utilisée est généralement le millimètre. L'évolution de la pluviométrie dans le temps est mesuré mensuellement et annuellement.

1. Variation saisonnière

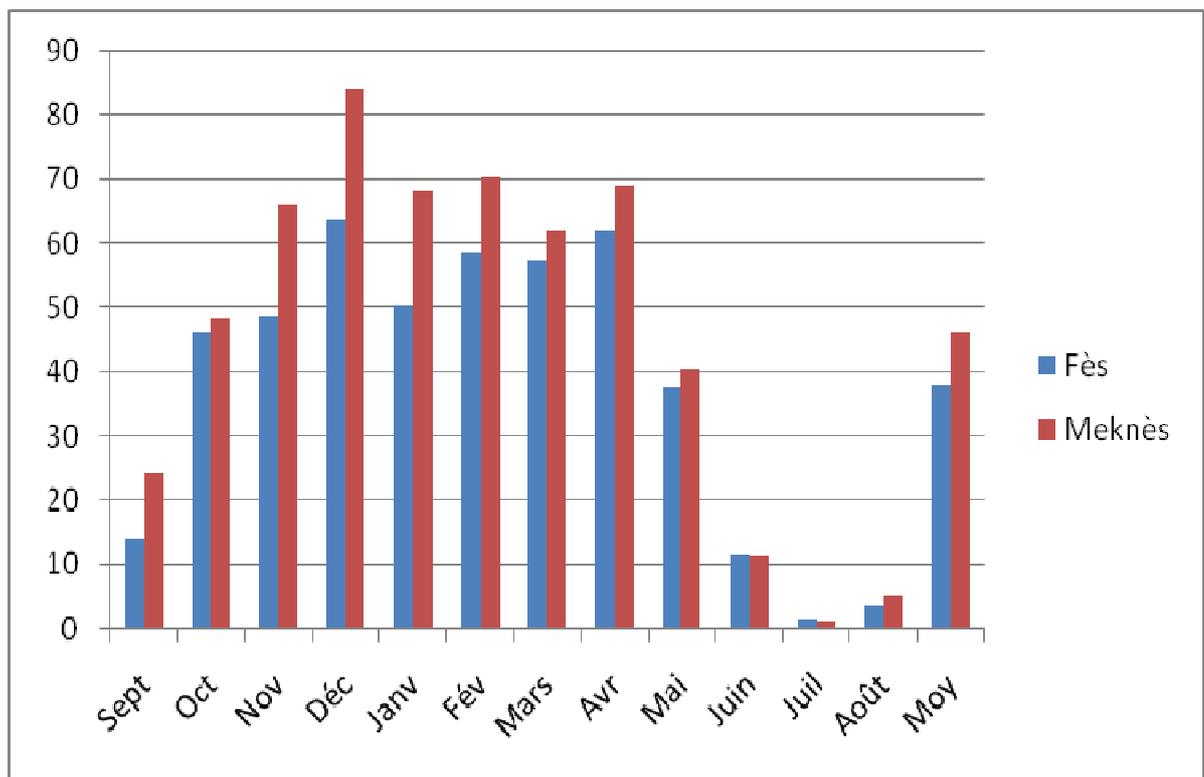


Figure 5 : Variation de la précipitation saisonnière

Pour les deux stations les précipitations sont assez importantes en hivers alors qu'elles sont rares en période estivale. Le régime des précipitations est donc de type méditerranéen. Toutefois il existe une corrélation entre l'évolution des pluies des deux stations. On remarque que la précipitation est plus importante dans le plateau de Meknès par rapport à la plaine de Fès.

La période humide dure du 8 mois d'octobre au mois de mai, alors que la période sèche s'étale du mois de juin au mois de septembre (Fig. 5).

Le mois de décembre est en général le plus arrosé, alors que les mois de juillet et août sont les plus secs, mais avec des averses orageuses très concentrées et brutales pouvant déclencher un écoulement même dans les vallées sèches. Le mois de février constitue souvent un maximum secondaire.

2. Variation interannuelle

La précipitation moyenne annuelle est de 455.1 mm/an à Fès et de 529.4 mm/an à Meknès.

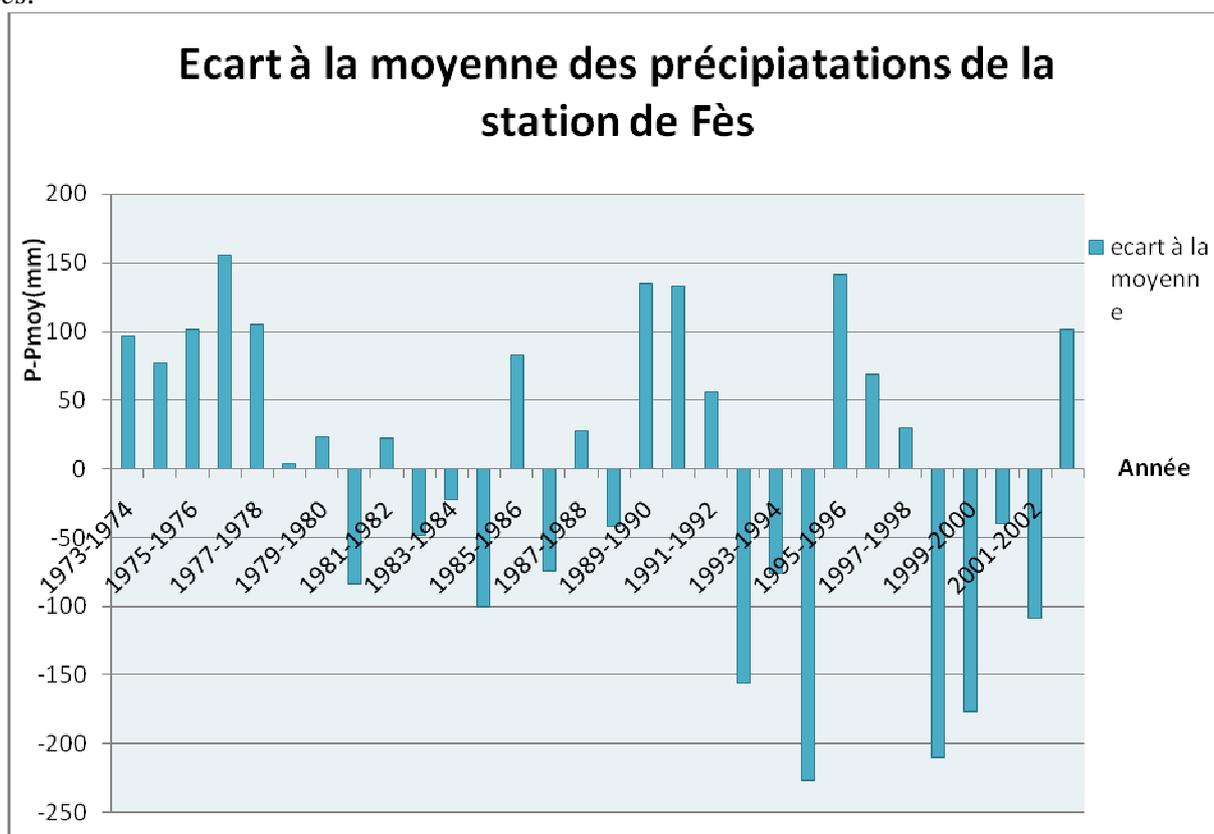


Figure 6 : Ecart à la moyenne des précipitations de la station de Fès

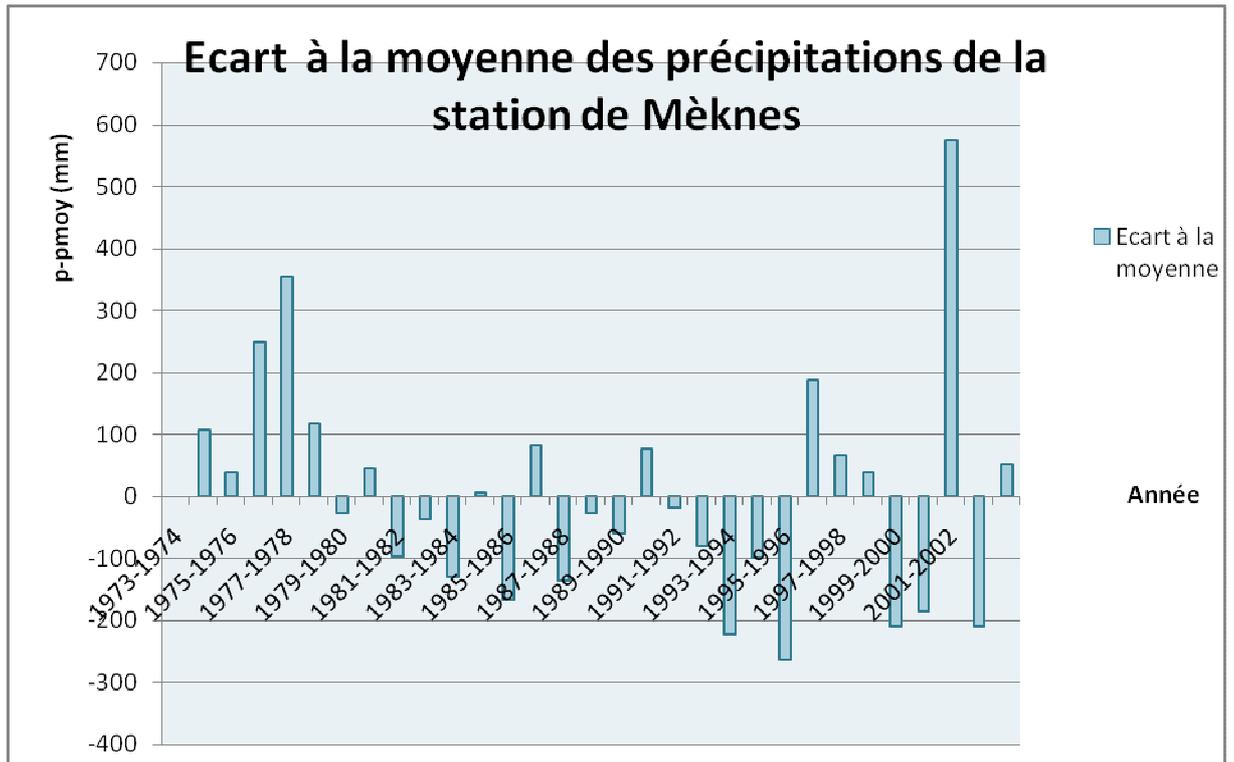


Figure 7 : Ecart à la moyenne des précipitations de la station de Meknès.

Les 30 années de suivi de la pluviométrie des stations montrent que le régime pluviométrique est très irrégulier.

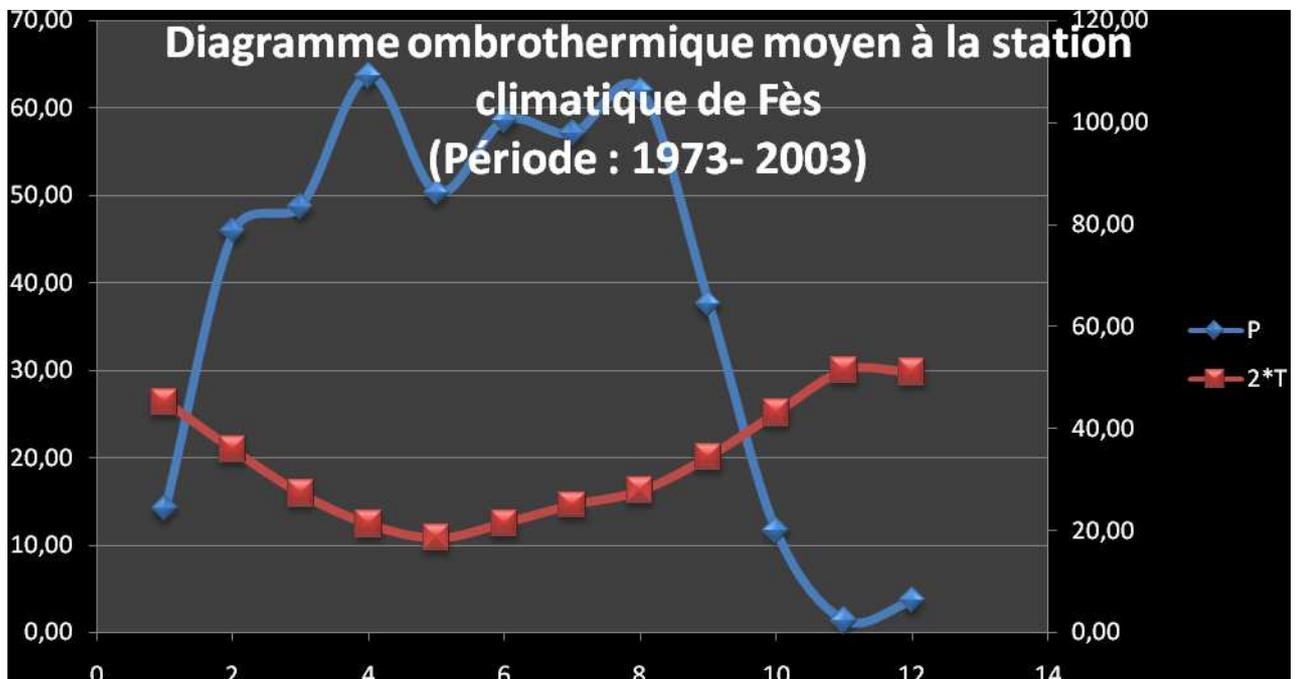


Figure 8 : Diagramme ombrothermique moyen à la station climatique de Fès - Période 1973-2003

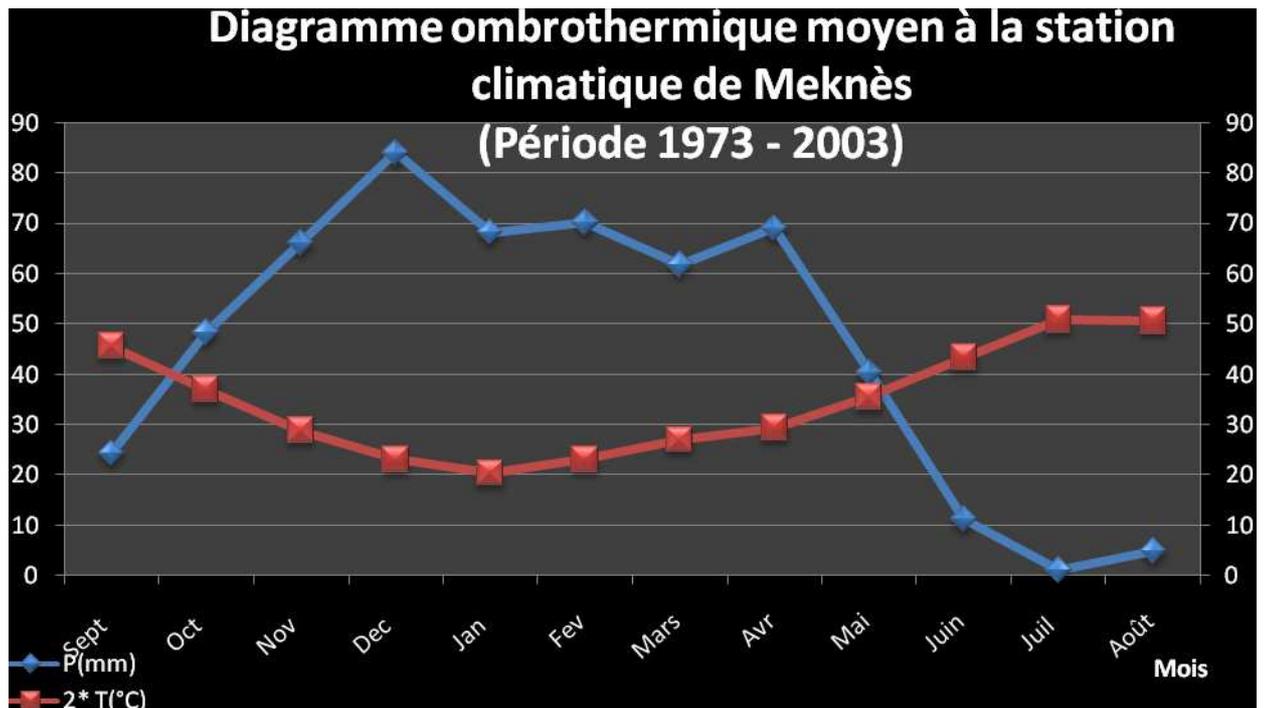


Figure 9 : Diagramme ombrothermique moyen à la station climatique de Meknès - Période 1973-2003

Les hauteurs pluviométriques mensuelles (Fig. 8 et 9) varient entre moins de 2 mm pendant le mois de juillet (le plus sec) et environ 84 mm (station de Meknès) pour le mois de décembre (le plus pluvieux).

Les températures moyennes minimales varient entre 9 et 10°C et les maximales varient entre 25.2 et 25.6 C. La température moyenne annuelle est de 16.8 °C à Fès et de 17.3 °C à Meknès. Par manque de données de températures des autres stations hydrologiques nous allons utilisés la moyenne des ces deux stations pour l'ensemble du bassin. La température moyenne du bassin serait donc de 17,05

L'évapotranspiration potentielle moyenne (calculée avec la méthode mensuelle de Penman) est assez élevée, variant entre 37 mm au mois de décembre et environ 200 mm au mois de juillet. L'ETP moyenne annuelle dans le bassin varie entre 1270 mm à Meknès et 1343 mm à Fès, soit environ 2.3 à 2.9 fois la hauteur moyenne annuelle des précipitations du bassin.

L'évapotranspiration réelle moyenne (bilan de Thornthwaite, avec un pas de temps mensuel) varie entre 402 mm/an à Fès et 459. mm/an à Meknès, constituant environ 83.5 % (à Meknès) et 88.4 % (à Fès) des précipitations moyennes annuelles du bassin ; La période aride (Précipitations < 2 fois la température du mois) s'étale sur 4 mois, entre juin et septembre de chaque année (Fig. 8 et 9).

Pour l'ensemble du bassin du Sebou, les vents dominants en hiver sont de secteur ouest.

Généralement humides, ils apportent les précipitations. La fréquence de ces vents, maximale en hiver, de novembre à avril, est faible ou nulle en été. Par contre les vents du secteur est

(Sirocco, Chergui) ont leur fréquence maximale en été (juillet). Ces vents sont chauds et secs.

Ils contribuent à la sécheresse relative qui sévit de mai à septembre. En hiver, ces régimes d'est sont froids et secs mais beaucoup moins fréquents qu'en été.

VI. CONTEXTE HYDROLOGIQUE

Quatre cours d'eau principaux traversent le bassin entre ses limites sud et nord, ce sont (d'Ouest en Est) les oueds El Kell (affluent de l'oued Beht), R'Dom (confluence des oueds Boufekrane et Ouislane), Mikkès et Fès. Ces oueds ont une direction SSE-NNW, à l'exception de l'oued N'Ja qui a une direction EW et l'oued Fès qui coule de l'Ouest vers l'Est.

Les oueds EL Kell, R'Dom et les affluents de la rive gauche de l'oued Mikkès drainent le plateau de Meknès, tandis que l'oued Fès et les affluents de la rive droite de l'oued Mikkès (Nj'Ja et Atchane) collectent les eaux de la plaine du Saïss. Tous ces oueds sont issus du Causse moyen atlasique, à l'exception de l'oued Fès.

1. Réseau hydrographique

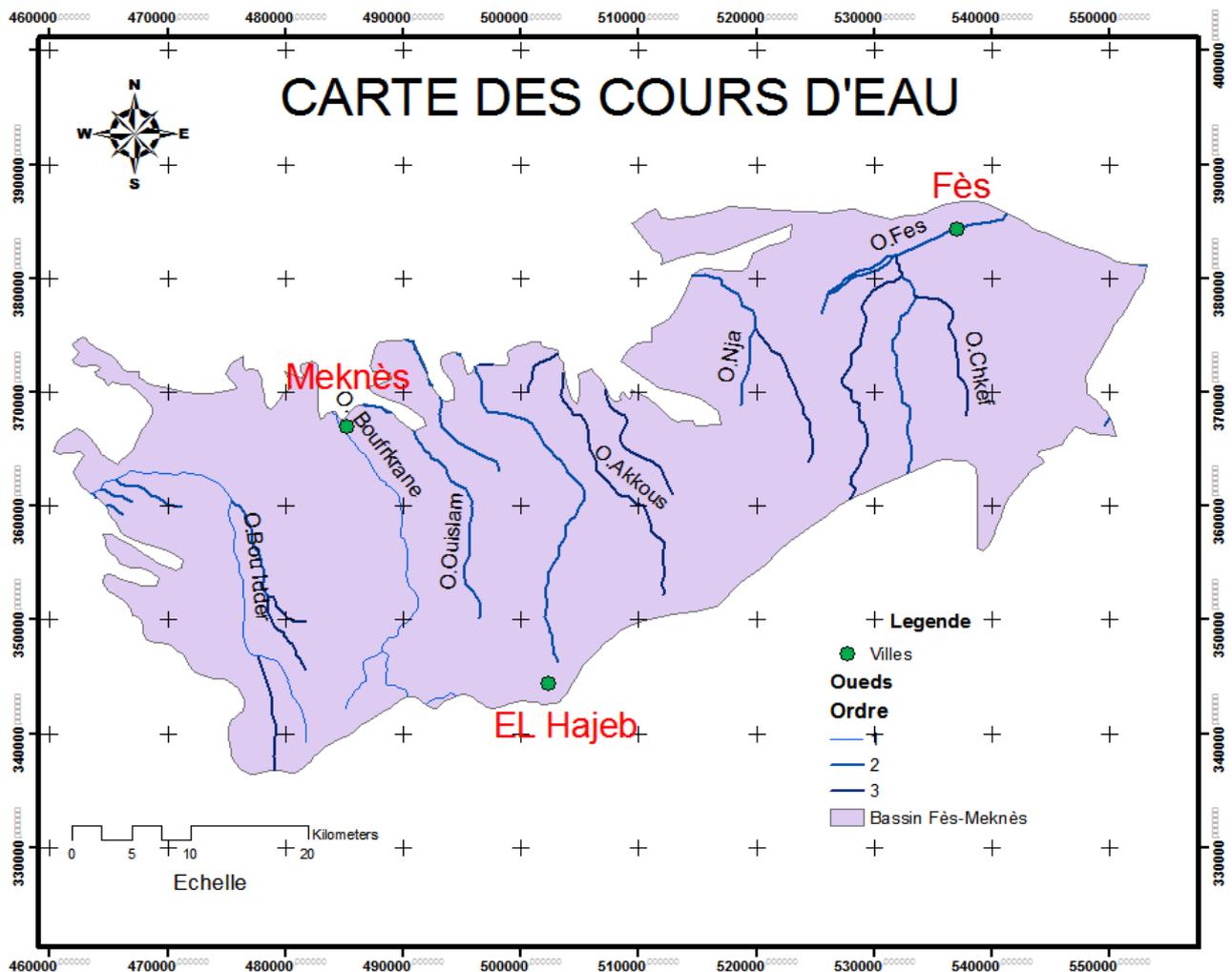


Figure 10 : Carte des cours d'eau du bassin Fès-Meknès.

Ces oueds sont très encaissés sur le plateau de Meknès (40 à 100 m au dessous de la surface structurale), ce qui est à l'origine de nombreuses petites sources en bordure des vallées. Ils sont au contraire peu encaissés dans le Saïss, mais ont une action drainante plus marquée que celle des oueds du plateau de Meknès. L'importance et la période d'écoulement sont tributaires des précipitations et des débits des sources. Les débits moyens de ces cours d'eau (en dehors des crues exceptionnelles) sont de l'ordre de quelques dizaines à quelques centaines de l/s.

Les oueds N'Ja et Fès ont des bassins versants alimentés presque exclusivement par les précipitations qui tombent sur la plaine, tandis que les autres oueds ont presque tous leurs hauts-bassins situés dans le Causse moyen-atlasique. Les débits de ces derniers oueds se perdent en partie ou en totalité dans les calcaires karstifiés du Causse, contribuant ainsi à l'alimentation des sources de débordement situées plus en aval.

A l'intérieur du bassin, ces oueds sont alimentés par le ruissellement des eaux de pluie, par des émergences plus ou moins diffuses des nappes phréatique et profonde au niveau de leurs

lits, par la fonte des neiges sur le Causse et par le rejet des eaux usées des grandes villes (Fès et Meknès) du bassin.

La pente moyenne des cours d'eau est généralement comprise entre 2 et 3% dans le plateau de Meknès et dans la partie sud du Saïs. Elle est par contre beaucoup plus faible pour les oueds Fès et N'ja dans la partie basse, où elle ne dépasse pas 0.5 %.

En aval du bassin (limite nord), les oueds s'écoulent sur des formations marneuses du Tertiaire au contact des rides pré-rifaines, où ils reçoivent une contribution réduite de ruissellement superficiel. Leur alimentation se fait par le drainage des nappes phréatique et profonde du bassin.

VII. HYDROGEOLOGIE

Le bassin du Saïss renferme deux nappes d'intérêt inégal:

- la nappe phréatique qui circule dans des sables, conglomérats et par endroits dans les calcaires lacustres du Plio-Villafranchien ;
- la nappe profonde qui circule dans les calcaires dolomitiques du Lias et se met en charge sous l'épaisse série de marnes imperméables du Miocène.

Ces deux nappes communiquent entre elles par endroits, à travers des flexures et failles ou indirectement par drainance ascendante.

1. Nappe phréatique du bassin du Saïss

Cette nappe s'étend sur environ 80 km de long entre ses limites Ouest et Est, constituées par les affleurements argilo-marneux et les oueds Mikkès (Est) et Boufekrane (Ouest).

Elle s'étend également sur une largeur d'environ 30 km entre ses limites Nord (constituées par les marnes tertiaires au contact des rides pré-rifaines) et Sud (constituées par la ligne de contact entre le remplissage Plio-Quaternaire et les formations calcaires du Causse du Moyen-Atlas).

2. Nappe profonde du Lias

La nappe profonde du Lias du Saïs est alimentée par les infiltrations qui s'opèrent dans le Causse moyen atlasique. C'est une nappe libre dans le Causse et dans les zones de bordure de la plaine de Meknès-Fès ; elle plonge dans le sous-sol sous un épais manteau imperméable. Le couloir de Fès-Taza est un système aquifère profond comparable à peu près à la vallée de l'Oued Inaouène ; il se présente comme un fossé compris entre deux massifs, le Rif et le Moyen Atlas.

DEUXIEMME PARTIE : EVALUATION DES RESSOURCES EN EAU A L'AIDE DES SIG

CHAPITRE I : METHODOLOGIE POUR L'ELABORATION DE L'APPLICATION SIG

I. PRESENTATION GENERALE DES SIG

Un SIG est l'ensemble des structures des méthodes, des outils et des données rassemblés pour rendre compte de phénomènes localisés dans un espace spécifique et facilité

les décisions à prendre dans un espace (Joliveau, 1996). Il permet de manipuler des fichiers numériques multi sources et multi formats dont la seule information commune est le lieu physique qu'ils représentent. Son but est de rationaliser l'intégration de ces différentes couches d'information pour des processus d'identification, d'extraction ou d'aide à la décision.

Un SIG est un outil informatique qui permet de gérer différents types de données, que l'on a placées géographiquement sur un support carte. Les SIG offrent les possibilités des logiciels de gestion de bases de données (telles que requêtes et analyse statistiques) et cela, à travers une visualisation synthétiques et à travers des analyses géographiques propres aux cartes. Cependant, la définition du logiciel des SIG est peu limitée, c'est en faite un ensemble comprenant : le logiciel, le personnel, les données, etc.

1. Les composantes d'un SIG

Le concept de SIG date des années 60, et a étendu son champ d'application au fur et à mesure des progrès de l'informatique : manipulation d'un nombre croissant d'informations, amélioration des interfaces, nombre croissant de fonctions, en même temps qu'il devenait disponible à beaucoup grâce à la microinformatique. On peut définir ce concept comme "un système de base de données dans lequel les données sont spatialement référencées et sur lequel agissent un ensemble de procédures afin de produire des informations sur les entités spatiales dans la base de données. Pratiquement, il s'agit donc d'un ensemble d'outils comprenant :

- Une base de données à deux composantes :
 - ✓ une spatiale, pour le stockage des coordonnées d'objets géographiques (communes, villes, routes...)
 - ✓ une classique, qui gère les données (attributs) qui sont attachées aux objets géographiques (nombre d'habitants, type de végétation, incidence d'une maladie...)
- Un gestionnaire de ces bases de données, comportant les fonctions habituelles de tri, requête, recherche croisée dans des fichiers différents...
 - Des outils d'opérations spatiales (calcul de distance, de proximité, d'itinéraire optimal...), de calcul et de combinaison des données
 - Des outils de saisie des données spatiales, et notamment cartographiques : table à digitaliser ou scanner
 - Des outils de représentation des données, et notamment cartographiques

2. Intégration des données dans un SIG

L'acquisition des données est la phase la plus couteuse dans la mise en place d'un projet SIG. Il y a donc tout intérêt à bien définir ses besoins et connaître l'ensemble des données.

a. Importation des données

L'importation de données est la première manière d'acquérir des données. Les SIG offrent généralement trois types de moyens d'importer des données :
- importer une base de données structurée dans un format interne à un SIG. Ce moyen convient entre les SIG d'un même type mais est plus délicat entre des SIG de types ou de versions différentes.

- importer un fichier "à plat", simple fichier textes contenant toutes les informations structurées de façon simple. Néanmoins un important travail de structuration des données est nécessaire pour coïncider avec la structure interne du SIG.

- passer par une des normes d'échange disponible sur le marché. Ce troisième moyen est le plus économique à long terme.

D'une façon générale, l'importation des données sémantiques est plus simple : import de simples fichiers Excel ou Access....

b. Saisie de l'information

Elle utilise plusieurs méthodes, les plus classiques utilisent les cartes existantes ; on peut utiliser une table à digitaliser ; ou un numériseur d'image (scanner).

c. Mise en forme des informations.

Un SIG comprend deux types de bases de données : la base de données spatiale, qui décrit les coordonnées et la forme géographiques des éléments de la base, et la base de données des attributs, qui comprend les caractéristiques diverses de ces éléments. Ces deux bases peuvent être distinctes, ou intégrées dans une même entité, ce qui a des conséquences dans la gestion des données, notamment les tris ou les requêtes.

- Modèles des données spatiales

La composante spatiale de l'information d'un objet géographique est gérée dans l'ordinateur par deux grands modes de transcription numérique de l'espace

Le mode raster (trame ou matricielle) divise l'ensemble de l'espace étudié selon une grille régulière de cellules (maille ou pixel) pour former une image (matrice) constitué de lignes et colonnes. Dans ce format, l'objet n'existe que par explicitement, seule la maille est gérée. Exemples : carte scannées, photographies aériennes...

Le mode vecteur utilise les concepts géométriques des points, des lignes et des polygones pour décrire les objets spatiaux (route, cours d'eau, limite de commune...) à l'aide d'un système de coordonnées (X, Y, Z).

- Données attributaires et organisations de l'information :

Les données attributaires d'un objet géographique sont des données alphanumérique, que l'on peut organiser sous forme de fiches descriptives. Une fiche correspond à un objet.

Ces données sont prises en charge par des outils informatique spécifiques : les systèmes de gestion de base de données (S.G.B.D.). Ils permettent d'organiser, de mettre à jour, d'interroger et de prendre en charge les relations logiques entre les données alphanumériques.

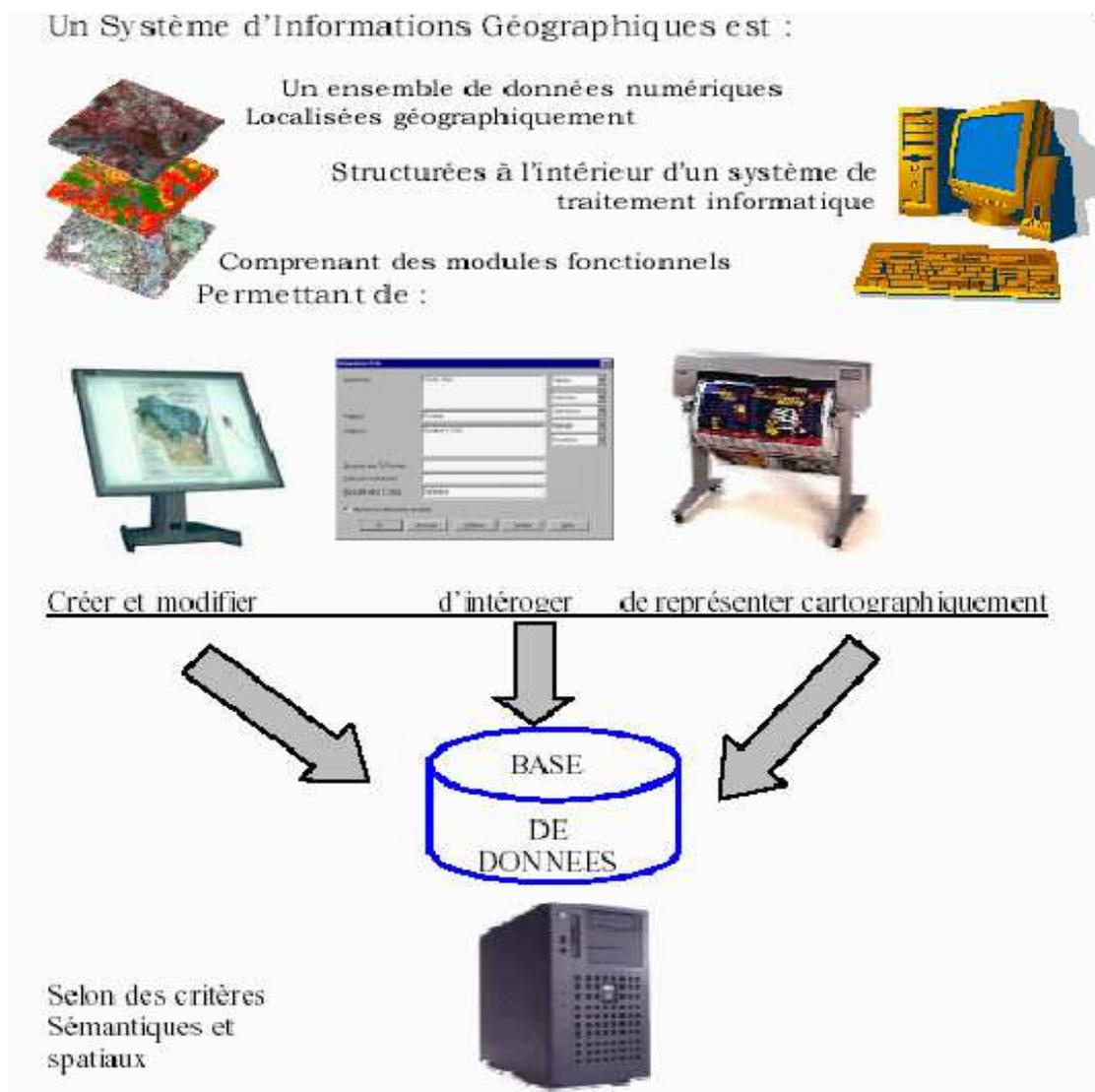


Figure 11 : Description SIG

II. Conception d'un système d'informatique pour les eaux du bassin de Fès-Meknès

Introduction

La gestion rigoureuse et rationnelle de l'eau est basée sur une connaissance précise des ressources en eaux et leur environnement. Ceci implique la prise en compte d'un grand nombre de paramètres et d'informations, relevant de diverses disciplines.

1. Organisation du SIG pour les eaux du bassin de Fès-Meknès.

Le SIG élaboré s'articule autour d'un système de gestion de base de données comportant les données relatives aux eaux du bassin et d'un logiciel ArcGis comportant des informations utiles à l'élaboration des cartes thématiques.

Le SIG est constitué par deux bases de données, à savoir :

- ✓ La base de données décrivant les objets spatiaux (cartes)
- ✓ La base de données alphanumérique (attributs) définissant les caractéristiques thématiques des objets spatiaux.

2. Outils de développement

Pour réaliser l'infrastructure du système d'informatique, plusieurs outils sont utilisés afin de pouvoir effectuer les traitements nécessaires et d'avoir les résultats escomptés, nous citerons ci-dessous quelques définitions

- Système d'information géographique (ArcGis)

Le système d'information géographique ArcGis est à la fois un outil exceptionnel de cartographie thématique et un logiciel performant permettant la création, la mise à jour des données géographique et leur approfondie. Sa grande ouverture vers de multiples format d'entrée et de sortie de données en fait un outil de choix pour étendre son utilisation auprès d'un large public et constitue le SIG le plus utilisé dans le monde (Sinan, 2000) permettant de visualiser, d'explorer, d'interroger et d'analyser des données géographiques. Il est en fait, l'interface graphique vers l'utilisateur final qui est le décideur (Ouzar, 2005).

- Base de données

Une base de données permet de mettre des données à la disposition d'utilisateurs pour une consultation, une saisie ou bien une mise à jour, tout en s'assurant des droits accordés à ces derniers. Cela est d'autant plus utile que les données informatiques sont de plus en plus nombreuses.

3. Principales étapes de la mise en place du SIG :

Un SIG ne peut fonctionner que s'il contient des données. Il s'agit de l'ensemble des informations nécessaires au fonctionnement du système, informations qui sont nombreuses de natures diverses et possèdent de nombreux liens entre elles. En effet, l'élaboration des deux bases de données cartographiques et alphanumériques qui constituent le cœur de SIG, nécessitent un gros travail de collecte, de gestion et l'analyse d'une masse de données socio-économiques et statistiques, spatiales et temporelles en relation avec les ressources naturelles et l'environnement de bassin de Fès-Meknès.

Dans notre projet on a agencé l'information en relations avec les sous bassin à savoir par exemple : le réseau hydrographique, les barrages... Bien que l'ensemble des données se trouve dans l'agence il nécessite plusieurs étapes de transformation et de référencement avant qu'ils ne soient utilisables et compatibles avec les projections du Maroc (Merchich Nord Maroc degré)

Ce travail a été établi selon des étapes résumées

- Recensement et collecte des données existants dans la zone d'étude concernant le bassin et ceci quel que soit leur rapport (Fiches d'indices, registres, fichiers numériques, etc.)
- Filtre des données douteux ou incorrectes ;
- Vérification des données sur les fiches d'enquête et les registres pour les informations qui manquent de données ;

- Ajout des données non existantes dans la base de données et qui sont situées dans les cartes topographiques ;
- Réalisation d'un exemplaire des cartes sur ArcGis pour retrouver les coordonnées mal notées à fin de les corriger ;
- Géoréférencement des cartes mal référencées
- Acquisition et stockage des données dans une base de données spatiales et thématiques ;
- Connexion des deux bases de données

a. Recensement, collecte et vérification des données

L'inventaire implique de recenser toutes les informations de données en liaisons avec notre projet et qui sont réparties principalement dans plusieurs fichiers et registres de l'ABHS. Ces données ont subi des traitements et des analyses avant d'être importées et structurées dans la base. Certaines données (manuscrites ou informatiques) fausses, ou douteuses ou manquantes du fait :

- D'informations difficilement vérifiables ou quantifiables sur le terrain ;
- Des renseignements résultant d'erreur de lecture, de saisie, de référentiel ou d'interprétation ; ont été corrigées (par vérification à posteriori ou par retour à l'origine de l'information) ou complétées (par fiches d'enquêtes du terrain).

b. Acquisition et stockage des données

A partir du moment où l'on a défini les informations nécessaires à notre besoin, il reste à régler la question du choix du mode d'acquisition des données.

L'organigramme de la figure 15 résume la méthodologie à adopter pour l'acquisition et les traitements des données collectées.

4. Structure des bases de données du SIG du bassin

L'information contenue dans la base de données doit être organisée de manière cohérente et complète afin de pouvoir répondre aux différentes requêtes. Sur ce point ArcGis dispose des moyens de connexion et d'interaction entre ces différents composants et qui sont plus souvent facilement manipulable et actualisable.

a. Base de données cartographiques

Système de projection

Avant d'écrire les informations géographiques contenues dans le SIG, il faut définir la géodésie qui permet de géoréfencier les données.

Le système de projection standard des coordonnées utilisé au Maroc (et pour le bassin) est la projection conique conforme Lambert Nord Maroc zone 1 (datum : Merchich) dont les paramètres géographiques sont présentés dans le tableau suivant.

Caractéristiques des Projections Marocaines

Zone Maroc	I ou Nord	II Agadir ou	III La'youn ou	IV Dakhla ou
Zone d'application N	31.05	27.45	23.85	20.25
Zone	35.55	31.95	28.35	24.75

d'application S				
Latitude origine	33.30	29.70	26.10	22.50
Longitude origine	-5.40	-5.40	-5.40	-5.40
Xo ou Eo en m	500 000	500 000	1 200 000	1 500 000
Yo ou No en m	300 000	300 000	400 000	400 000
Facteur d'échelle	0.999 625 769	0.999 615 596	0.999 616 304	0.999 616 437
Parallèle Standard 1	31.723925 65	28.102912 91	24.504700 25	20.905282 78
Parallèle Standard 2	34.866457 66	31.288493 53	27.687919 80	24.088469 76
Parallèle Standard 1	31°43'26.1 3233"	28°06'10.4 8647"	24°30'16.9 2090"	20°54'19.0 1802"
Parallèle Standard 2	34°51'59.2 4756"	31°17'18.5 7670"	27°41'16.5 1127"	24°05'18.4 9112"
Code EPSG	26191	26192	26194	26195

Au Maroc on utilise les projections coniques conformes de Lambert avec un seul parallèle et un facteur d'échelle.
 Les parallèles standards 1 et 2 sont les facteurs de conservation d'échelle.
 On les utilise quand les logiciels ne connaissent que la projection conique conforme à 2 parallèles sans facteur d'échelle.

Ellipsoïde Clarke 1880 (IGN) - Code EPSG 7011						
Demi Grand (en m) = a	Axe	Aplatissement = f	Inverse Aplatissement = 1/f	Demi Petit (en m) = b	Axe	Excentricité = e
6 249.20	378	0.003407549 52002	293.4660 21294	6 515.00	356	0.08248325 67634

Datum Merchich - Code EPSG 6261					
Param. Molodensky	Tx (en m)	Ty (en m)	Tz (en m)	Δ a (en m)	Δ f x 10⁶
Merchich -> WGS84	31.0	0	47.0	112.20	54.7388552681665
WGS84 -> Merchich	-	-	-	112.	54.73885526
	31.0	146.0	47.0	20	81665

Coordonnées	37.1665 654 gr	33.4499 0886 °	33° 26' 59.671896"
--------------------	-------------------	-------------------	-----------------------

de Merchi ch	-	-	-7° 33'
	8.3973133 gr	7.55758197 °	27.295092"
	243.42		
	m		

Da	a (en	1/f
tum	m)	
W	6 378	298.257
GS 84	137.00	22356

- Description des données

Cette base est composé d'un ensemble de documents cartographiques déjà digitalisé et d'autres documents préalablement scannés, insérés sous format image SIG et géoréférenciés.

Nous citerons ci-dessous le contenu de cette base de données spatiale :

- Font topographique ;
- Réseau hydrographique ;
- Infrastructures hydrauliques (barrages)
- Limites administratives (provinces et communes).

b. Bases de données alphanumériques

Les différentes tables de la base sont remplies en importances des données déjà informatisées dans des bases de données. Ces données sont complétées par d'autres données notamment celles au format Excel ou Dbase, procurées au près de l'ABHS.

Cette base contient les données alphanumériques relatives aux eaux du bassin. Elles sont composés essentiellement par les coordonnées X, Y des points contrôlés de la qualité des eaux de surface, des stations pluviométriques et hydrologiques, les IRE, les provinces, les communes et les débits.

ArcGis permet de naviguer commune par commune, cercle et province à l'intérieur du bassin tout en donnant une série d'information relatives à chaque zone. Il trouve son importance dans sa compétence de mise à jour facile. En effet outre ses fonctions cartographique et d'analyse associés aux cartes, l'application « ArcMap » permet de créer des fichiers de formes et des géodatabases à l'aide d'une interface utilisateur commune. Il est facile de faire des sélections selon des critères thématiques ou spatiaux à partir des requêtes.

Conclusion

Dans le but de sauvegarder les données sur les eaux du bassin et de faciliter l'accès et le traitement de ces données, l'élaboration de l'information en terme de suivi, d'évaluation d'aide à la gestion des ressources en eau, nous avons entrepris une mise en place d'un système d'information géographique dont les composantes sont :

Une base de données cartographique facilement consultable et actualisable permettant de stocker, d'organiser et spatialiser les données. Elle comporte ainsi des couches thématiques de base à partir desquels peuvent être générés moyennant des traitements appropriés des documents d'aide à la décision ;

Une base de données alphanumérique dont la réalisation est effectuée à l'aide du SGBD Access qui permet la gestion de grande quantité d'informations sur les ressources en eau du

bassin. Cette base régie par un modèle relationnel qui assure une structuration informatique des données de la façon pour qu'elles puissent être manipulées ou consultées de la façon la plus fiable et lui confère une capacité d'évolution pour l'intégration d'étude.

CHAPITRE II : SIG ET BILAN DE L'EAU DE SURFACE

Le bilan hydrologique d'un bassin versant peut s'exprimer schématiquement par la formule

suivante:

$$P = E + Q + I$$

Avec:

P - précipitation;

E - évaporation + évapotranspiration;

Q - écoulement;

I - infiltration;

Chacun des termes du bilan hydrologique est naturellement pondéré par divers paramètres climatiques et géographiques. Par exemple, la température est l'un des facteurs principaux du pouvoir évaporant de l'atmosphère, le relief conditionne les précipitations des masses nuageuses, et la nature de la couverture végétale influe sur les phénomènes d'interception et de transpiration.

Les durées de séjour de l'eau dans les différents compartiments du cycle sont très variables.

I. CARACTERISTIQUE PHYSIQUE DU BASSIN VERSANT

1. Caractéristique Géométrique

a. Limite du bassin versant

On appelle bassin versant d'une rivière considérée en un point donné de son cours, l'aire limitée par le contour à l'intérieur duquel l'eau précipitée se dirige vers ce point de la rivière.

L'exutoire d'un bassin est le point le plus en aval du réseau hydrographique par lequel passent toutes les eaux de ruissellement drainées par le bassin. La ligne de crête d'un bassin versant est la ligne de partage des eaux. La ligne ainsi définie, limite les bassins versants topographiques adjacents.

Cependant, le cours d'eau d'un bassin versant donné peut-être alimenté par les eaux précipitées sur un bassin topographiquement adjacent. C'est le cas provoqué par la présence d'un horizon imperméable ou d'écoulements souterrains complexes comme dans les terrains karstiques.

Le tracé de la ligne de crête est une opération délicate qui se fait sur la carte topographique de la région concernée. Généralement, on utilise une carte à l'échelle 1/200 000. S'il s'agit d'un petit bassin versant, de l'ordre de quelques Km², on préférera des cartes topographiques au 1/50000, voire au 1/25000, et, si ces documents existent, la couverture de photos aériennes, qui en vision stéréoscopique, restitue et permet un tracé beaucoup plus précis. Une *vérité terrain* est toujours indispensable.

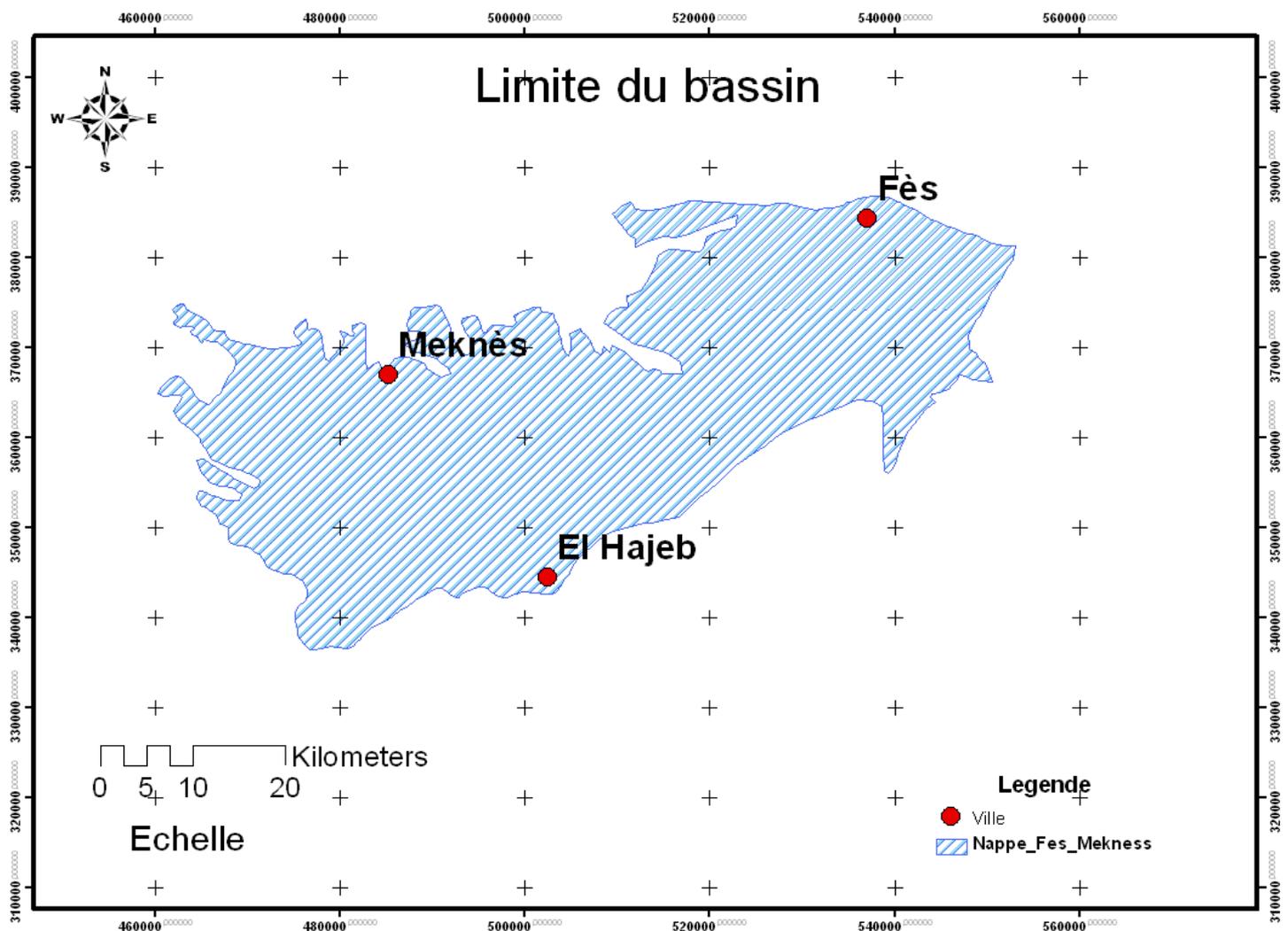


Figure 12 : Carte de la limite du bassin Versant

Le bassin Fès-Meknès a une superficie de 2261 Km². Les trois principales villes de ce bassin sont Fès, Meknès et El Hajeb. Il possède un périmètre de 415km.

b. Indice de compacité

L'indice admis par les hydrologues pour caractériser la forme d'un bassin versant est l'indice de compacité de GRAVELIUS qui est le rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même surface.

Si A est la surface du bassin en Km² et P son périmètre en km, le coefficient K_c est égal à:

$$K_c = 1,39$$

L'indice de compacité est de 1,39

Il est proche de 1 pour un bassin versant de forme quasiment circulaire et supérieur à 1 lorsque le bassin est de forme allongée

2. CARACTERISTIQUE TOPOGRAPHIQUE

a. MNT du bassin

Un modèle numérique de terrain (MNT) est une représentation de la topographie (altimétrie et/ou bathymétrie) d'une zone terrestre sous une forme adaptée à son utilisation par un ordinateur numérique (ordinateur). Très utilisés en CAO et en synthèse d'image, ils apportent également beaucoup de possibilités pour la réalisation d'analyses paysagères, ou la compréhension de certains risques naturels.

Intégrée dans un système d'information géographique, cette information joue alors un rôle important, à l'instar des courbes de niveau et estompages (ombrages) dans une carte traditionnelle, avec cependant des possibilités d'exploitation bien supérieures, notamment en terme d'analyse spatiale.

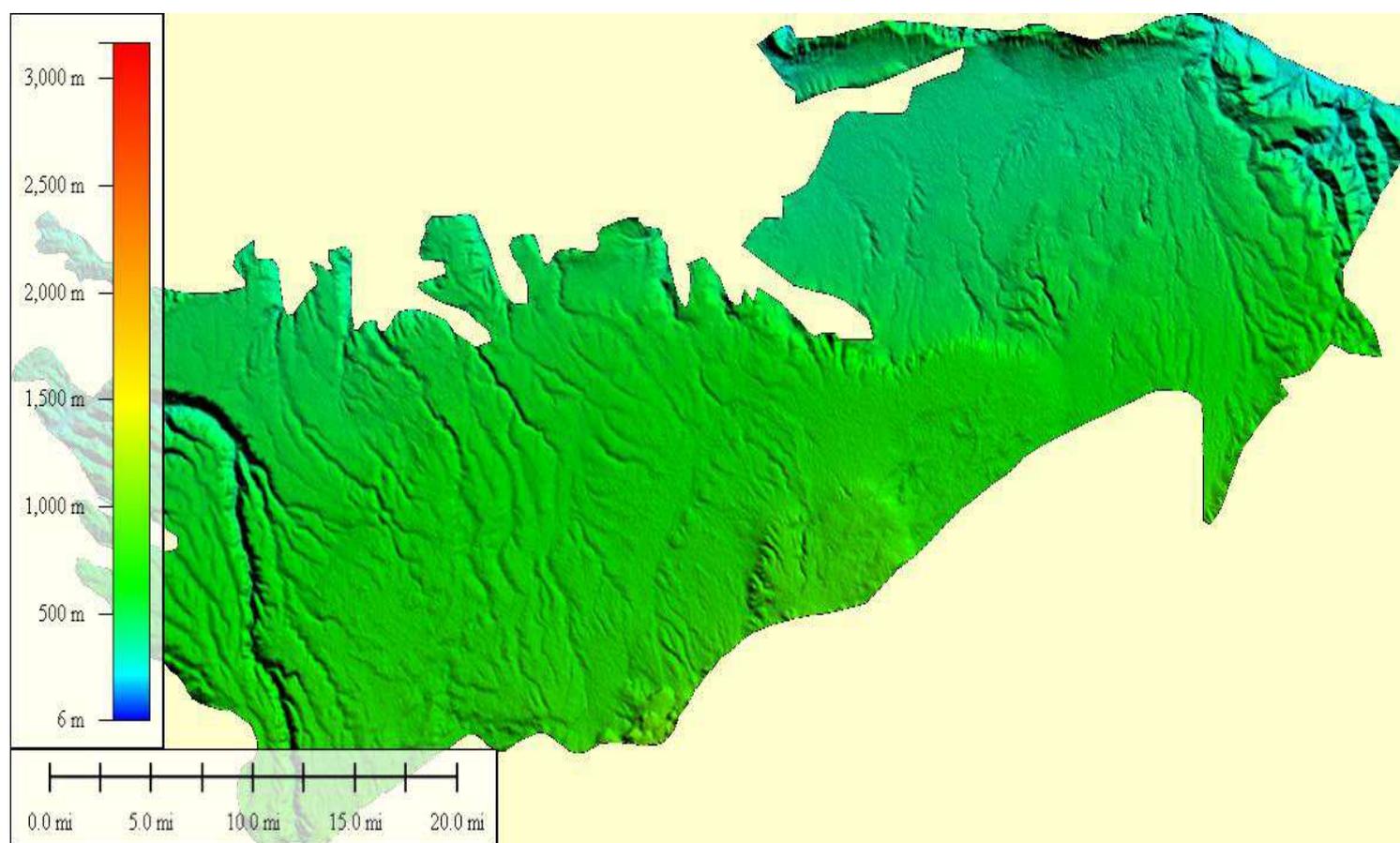


Figure 13 : Carte des MNT du bassin Fès-Meknès

La carte MNT du bassin a un pas de 90m. Elle nous montre que les altitudes du bassin sont comprises entre un peu plus de 200m à 1050m de hauteur. Les altitudes les plus basses se trouvent au nord du bassin et les plus élevées au Sud. On peut dire que les écoulements des eaux de surfaces se font du Sud vers le Nord. Afin de déterminer les sens d'écoulements exacts dans chaque région du bassin nous allons créer une carte des écoulements des eaux de surfaces. Pour cela nous serons amenés à générer un ensemble de cartes à savoir.

b. Courbes de niveaux

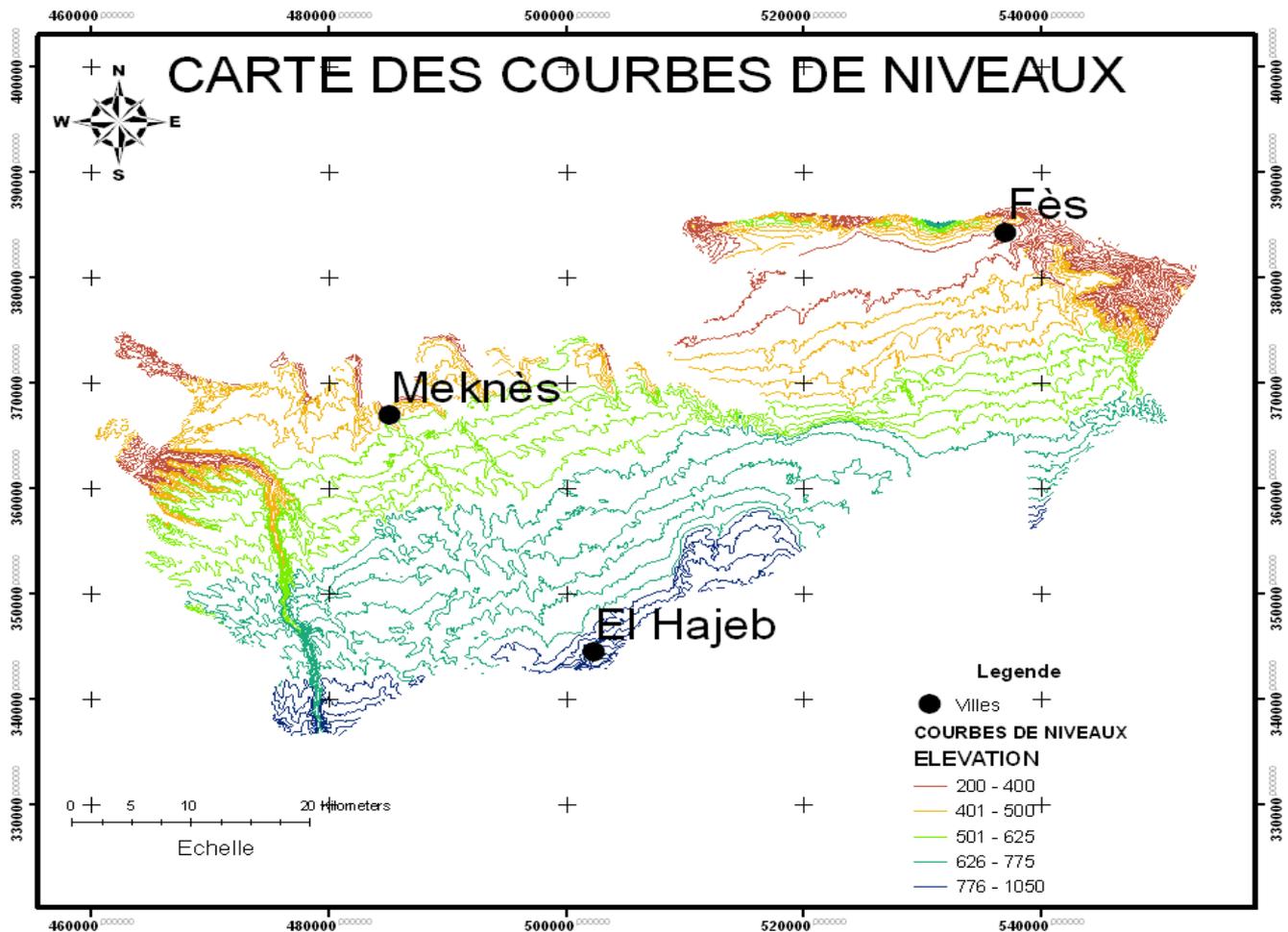


Figure 14 : Cartes des courbes de niveaux du bassin Fès-Meknès

Une courbe de niveau sur une carte est une ligne imaginaire qui indique les points à la même altitude. Elle permet de mieux appréhender le relief sur une carte en 2 dimensions. La différence d'altitude entre deux courbes (dénivelé) est nommée l'équidistance. L'équidistance de cette carte générée à partir des MNT est de 25m. Elle nous permettra de créer une carte Tin.

c. Création d'un Tin

TIN est un acronyme pour Triangulated Irregular Network (littéralement Réseau de Triangles Irréguliers). Il s'agit d'un modèle de représentation principalement utilisé pour les surfaces continues. Il s'agit d'un modèle de représentation principalement utilisé pour les

surfaces continues. Le TIN nous permet ensuite de générer ensuite la carte des pentes et la carte des écoulements des eaux.

Pour une triangulation faite à partir de courbes de niveau numérisées, on utilise des algorithmes différents, afin d'éviter la construction de triangles s'appuyant sur trois points d'une même courbe de niveau.

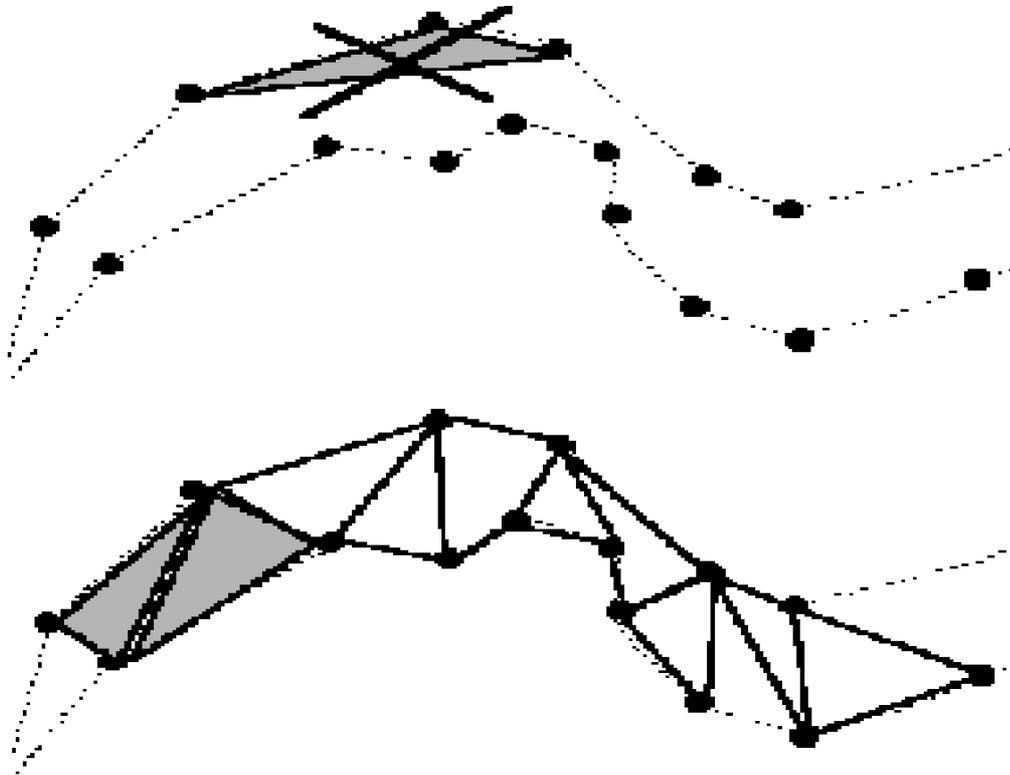


Figure 15 : Production d'un TIN à partir de courbe de niveau

Les courbes de niveau générées à partir des MNT de la zone d'étude nous permettent ainsi de créer la carte TIN du bassin versant.

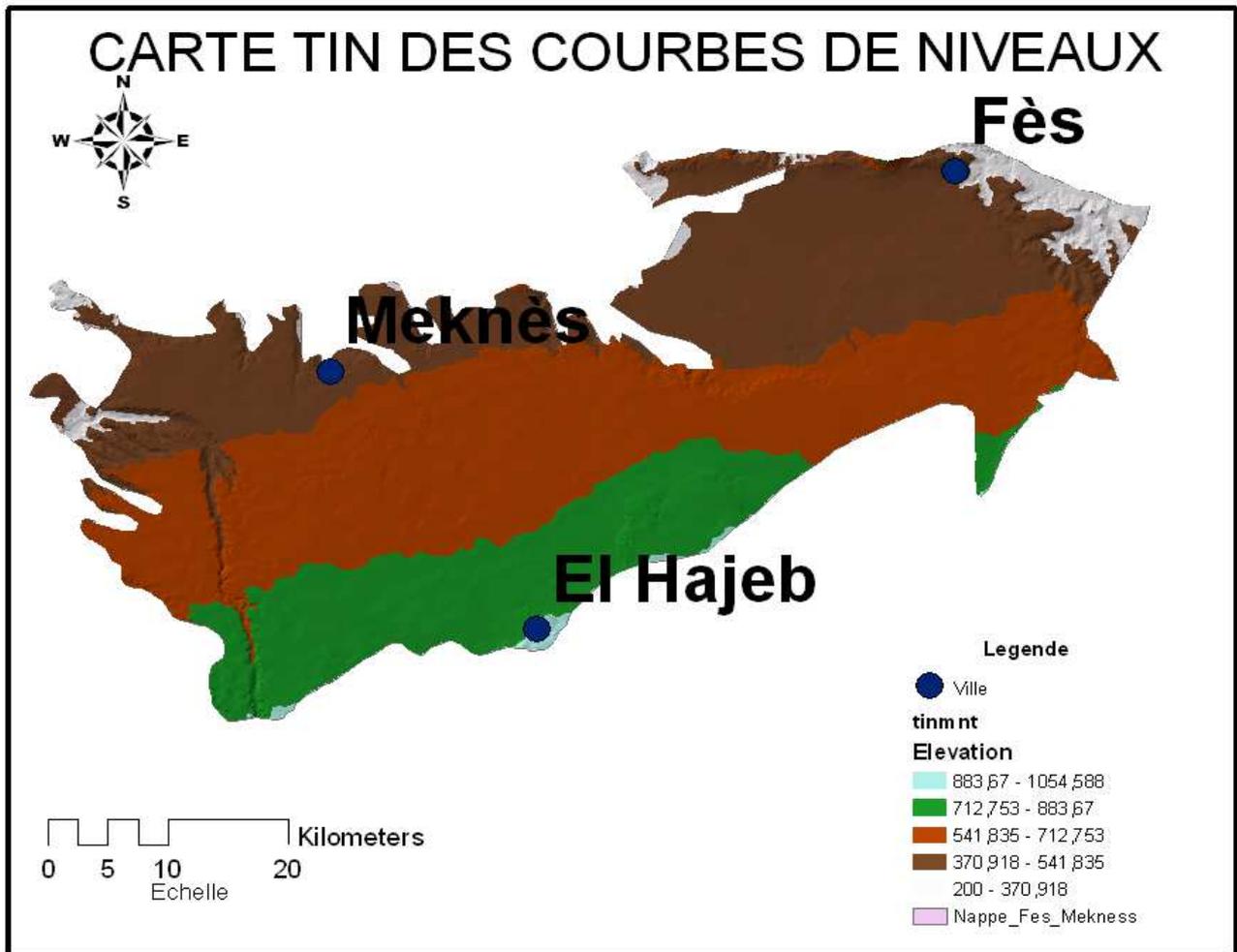


Figure 16 : Carte TIN des altitudes du bassin

La carte TIN nous montre que les altitudes du bassin sont comprises entre 200 et 1054m de hauteur. Les altitudes les plus importantes se situent au Sud-ouest du bassin et les plus basses à 200m de hauteurs Nord-Ouest du bassin versant. La carte TIN nous permettra donc de générer la carte des pentes, des écoulements mais également la carte du réseau hydrographique du bassin versant Fès-Meknès.

d. Calcul de Pente

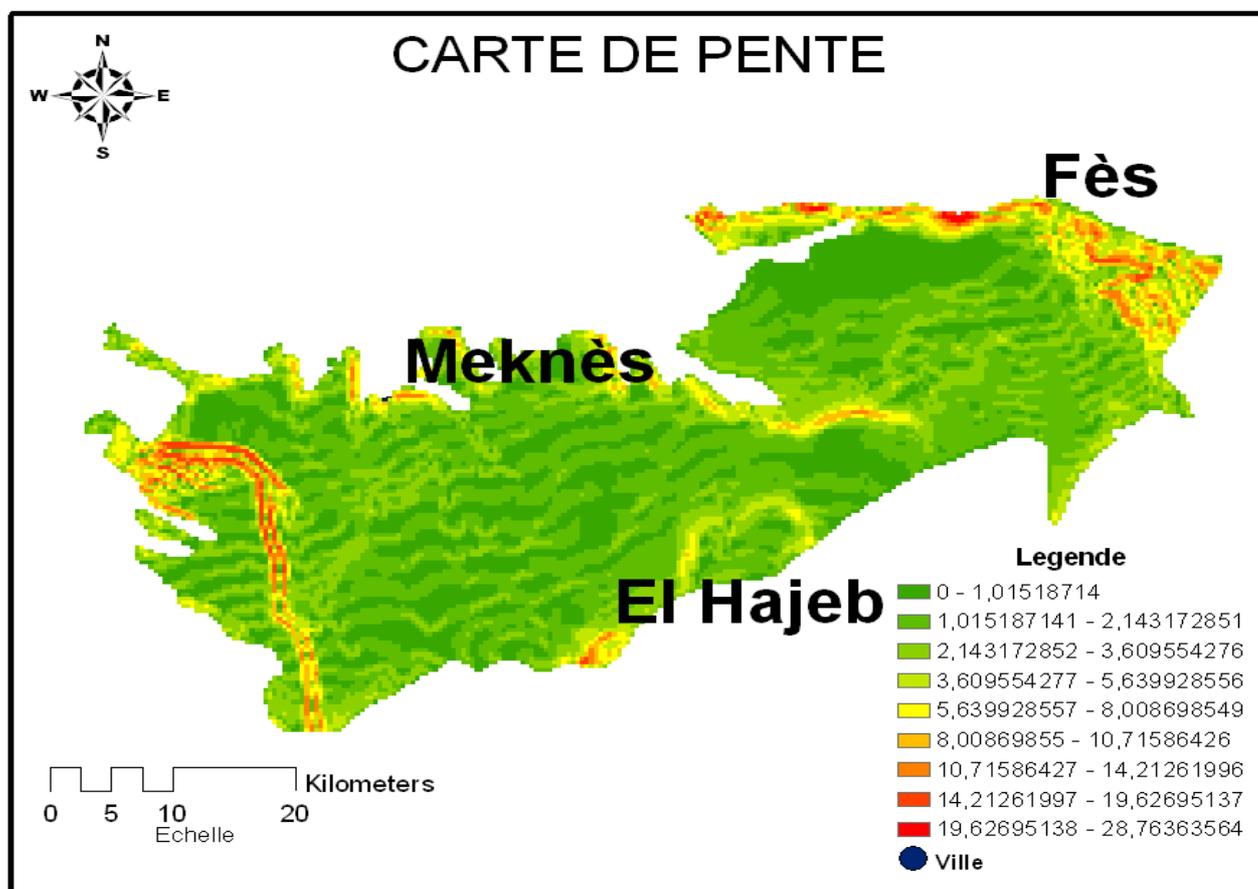


Figure 17 : Carte des pentes du bassin

La pente moyenne du cours d'eau détermine la vitesse avec laquelle l'eau se rend à l'exutoire du bassin donc le temps de concentration. Cette variable influence donc le débit maximal observé. Une pente abrupte favorise et accélère l'écoulement superficiel, tandis qu'une pente douce ou nulle donne à l'eau le temps de s'infiltrer, entièrement ou en partie, dans le sol.

La carte des pentes montre que les pentes les plus importantes se situent entre 1 et 2%. Toutefois, il existe des pentes dépassant les 6% voire 28%. Il s'agit des pentes des cours d'eau. La pente moyenne du bassin versant est de 2,5%.

La détermination de la pente est assez importante dans le calcul hydrologique car elle donne une idée sur le volume de ruissellement des eaux de surfaces mais aussi sur le coefficient d'infiltration. Elle détermine si le ruissellement est plus important que l'infiltration et donc permet de connaître l'érosion hydrique.

3. Ecoulements des eaux et Réseau hydrographique théorique.

a. Détermination des directions d'écoulement.

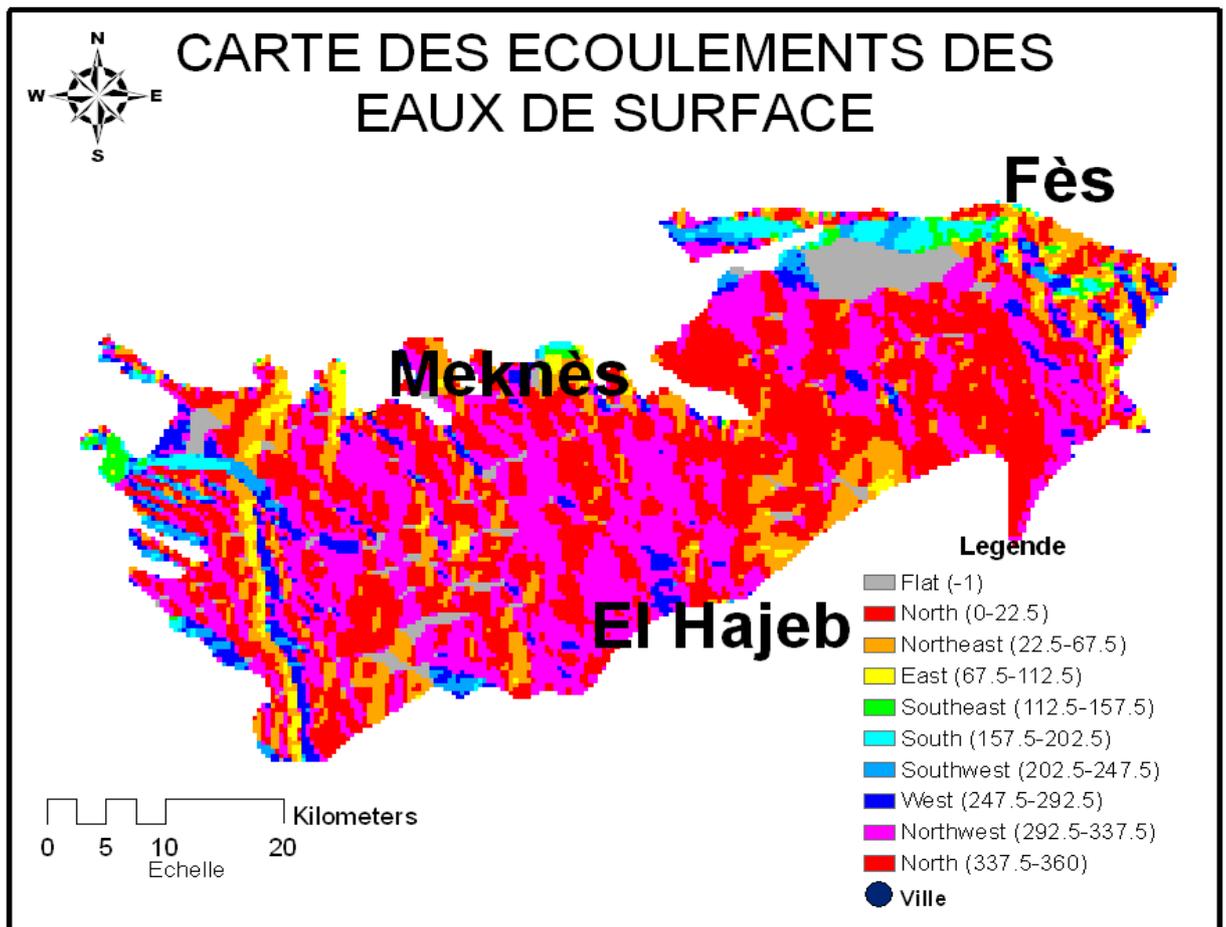


Figure 18 : Carte des écoulements des eaux de surfaces du bassin

La carte des écoulements des eaux des surfaces du bassin sont en majorité au Nord. On remarque que les écoulements Nord-Ouest sont assez importants aussi. La plaine de Fès n'a pas un écoulement particulier.

b. Accumulation des écoulements

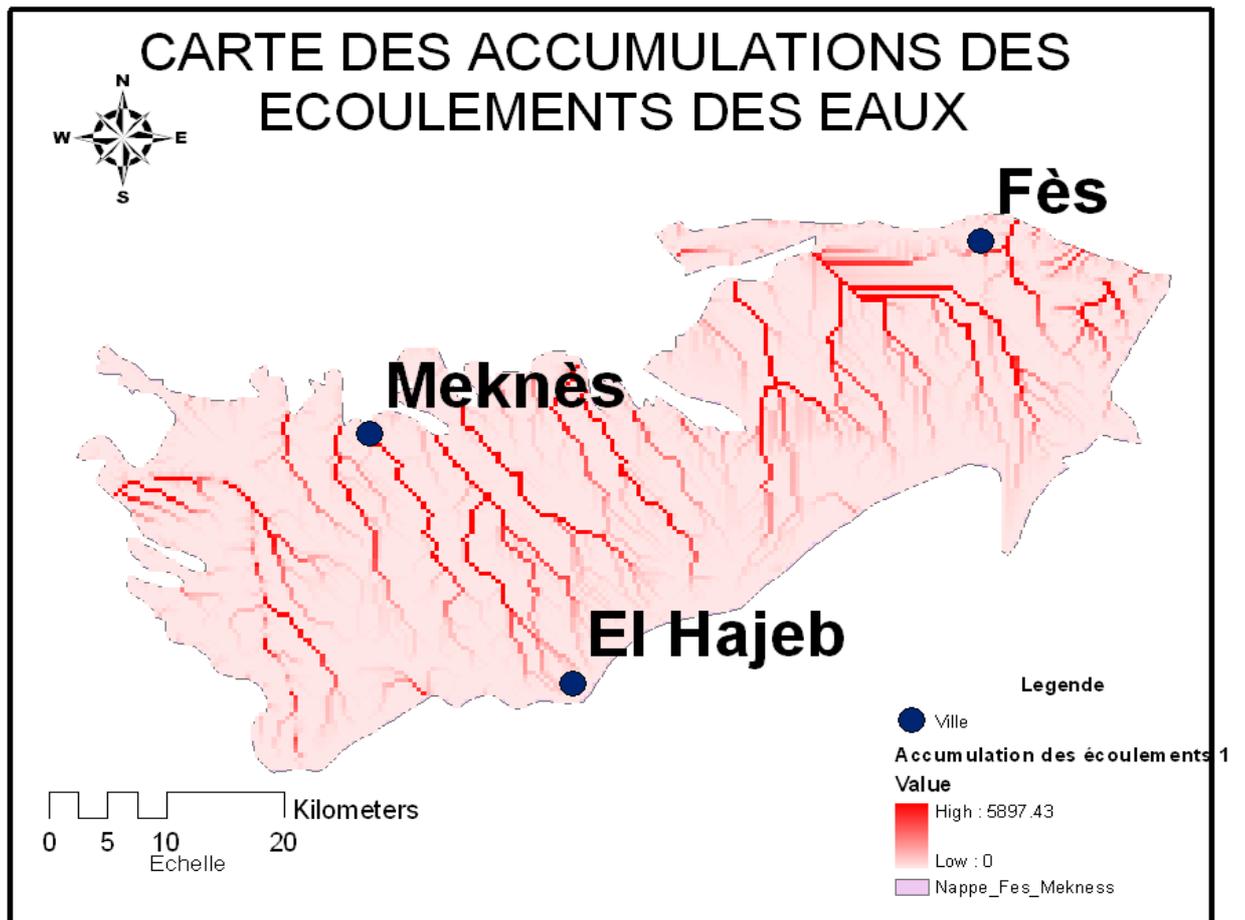


Figure 19 : Carte des accumulations des écoulements des eaux de surface.

ArcGis est un outil de SIG assez puissant et nous permet de créer une grille d'accumulation des écoulements.

A partir de cette grille nous avons pu déterminer le réseau hydrographique théorique.

c. Calcul du Réseau Hydrographique Théorique

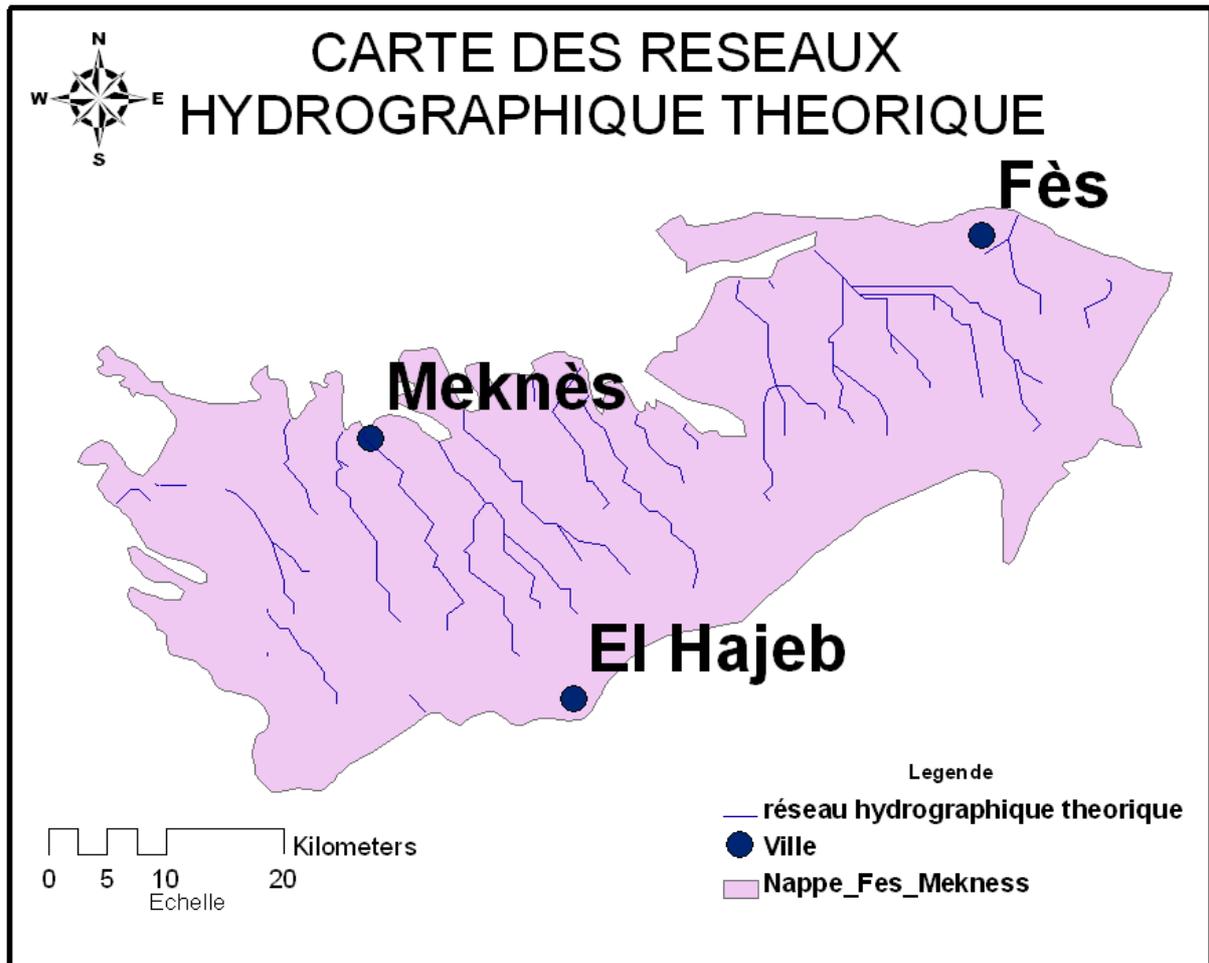


Figure 20 : Carte des réseaux hydrographique théorique du bassin

Nous avons pu générer la carte des réseaux hydrographique théorique du bassin Fès-Meknès. La longueur du réseau théorique est de **348994,32794 m soit environ 349 km.**
Le résultat obtenu est assez proche de celui réel mesuré sur le terrain.

II. PLUVIOMETRIE DU BASSIN EN GENERAL

NOM	M	X_	M	Y_	MOY ENNE annuelle
Agou ray		481 500		338 500	630
AIN TAOUJDA		518 000		371 500	482
Ait naama		505 000		346 000	643
Ait yazem		483 000		346 000	602
Allal Al Fa		556 650		370 540	337
El Gaida		534 500		353 000	503
Oulje t solt		454 900		340 000	406
El kansera		452 100		382 620	398
Mek nès aero		487 500		365 000	616
Oued beht		450 000		365 000	417
Oued Mikkes		508 860		382 760	363
Ras Ma		528 000		375 600	519
Ras tabouda		564 000		379 000	631
Sefro u		552 000		359 000	531

FES	536	381	541
DOUYET	460	970	
FES	535	384	487
MEDINA	400	800	
MAL	519	371	448
LAL	150	500	

Tableau 5 : des stations pluviométrique

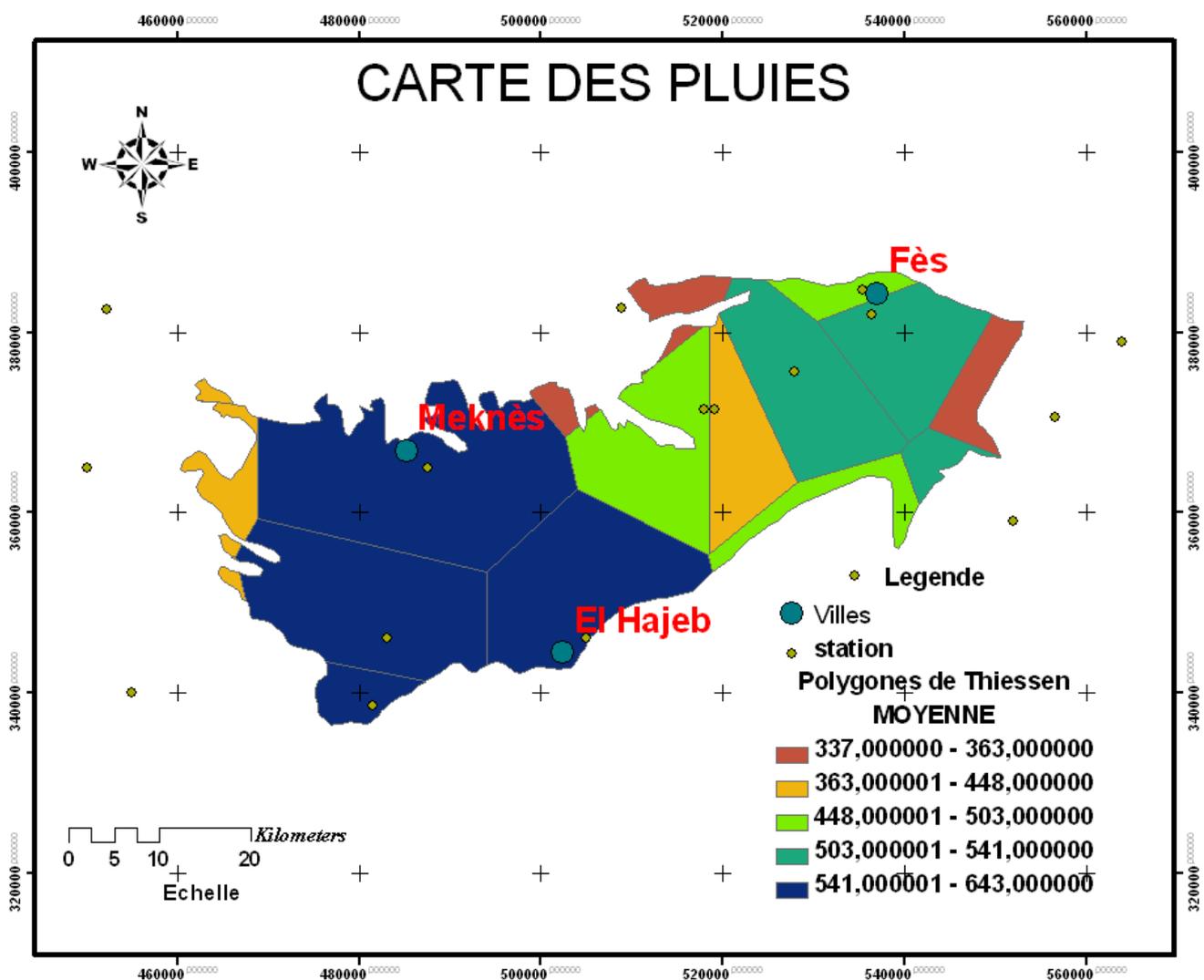


Figure 21 : Carte de la pluviométrie moyenne du bassin

La pluviométrie est plus importante à l'Ouest et au Sud. A l'aide des stations nous avons pu créer les polygones de Thiessen. La méthode du polygone de Thiessen est la plus couramment utilisée, parce que son application est aisée et qu'elle donne en général de bons

résultats. Elle convient notamment quand le réseau pluviométrique n'est pas homogène spatialement (pluviomètres distribués irrégulièrement).

La lame d'eau de précipitation dans le bassin est de **1247049267,88024m³/an** environ **1,247 milliards de m³ par an**.

III. RESEAU HYDROGRAPHIQUE

Le réseau hydrographique se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement. Le réseau hydrographique est sans doute une des caractéristiques les plus importantes du bassin. Le réseau hydrographique peut prendre une multitude de formes. La différenciation du réseau hydrographique d'un bassin est due à quatre facteurs principaux.

- **La géologie** : par sa plus ou moins grande sensibilité à l'érosion, la nature du substratum influence la forme du réseau hydrographique. Le réseau de drainage n'est habituellement pas le même dans une région où prédominent les roches sédimentaires, par comparaison à des roches ignées (i.e. des "roches de feu" dénommées ainsi car ces roches proviennent du refroidissement du magma). La structure de la roche, sa forme, les failles, les plissements, forcent le courant à changer de direction.
- **Le climat** : le réseau hydrographique est dense dans les régions montagneuses très humides et tend à disparaître dans les régions désertiques.
- **La pente du terrain**, détermine si les cours d'eau sont en phase érosive ou sédimentaire. Dans les zones plus élevées, les cours d'eau participent souvent à l'érosion de la roche sur laquelle ils s'écoulent. Au contraire, en plaine, les cours d'eau s'écoulent sur un lit où la sédimentation prédomine.
- **La présence humaine** : le drainage des terres agricoles, la construction de barrages, l'endiguement, la protection des berges et la correction des cours d'eau modifient continuellement le tracé originel du réseau hydrographique.

1. Les oueds

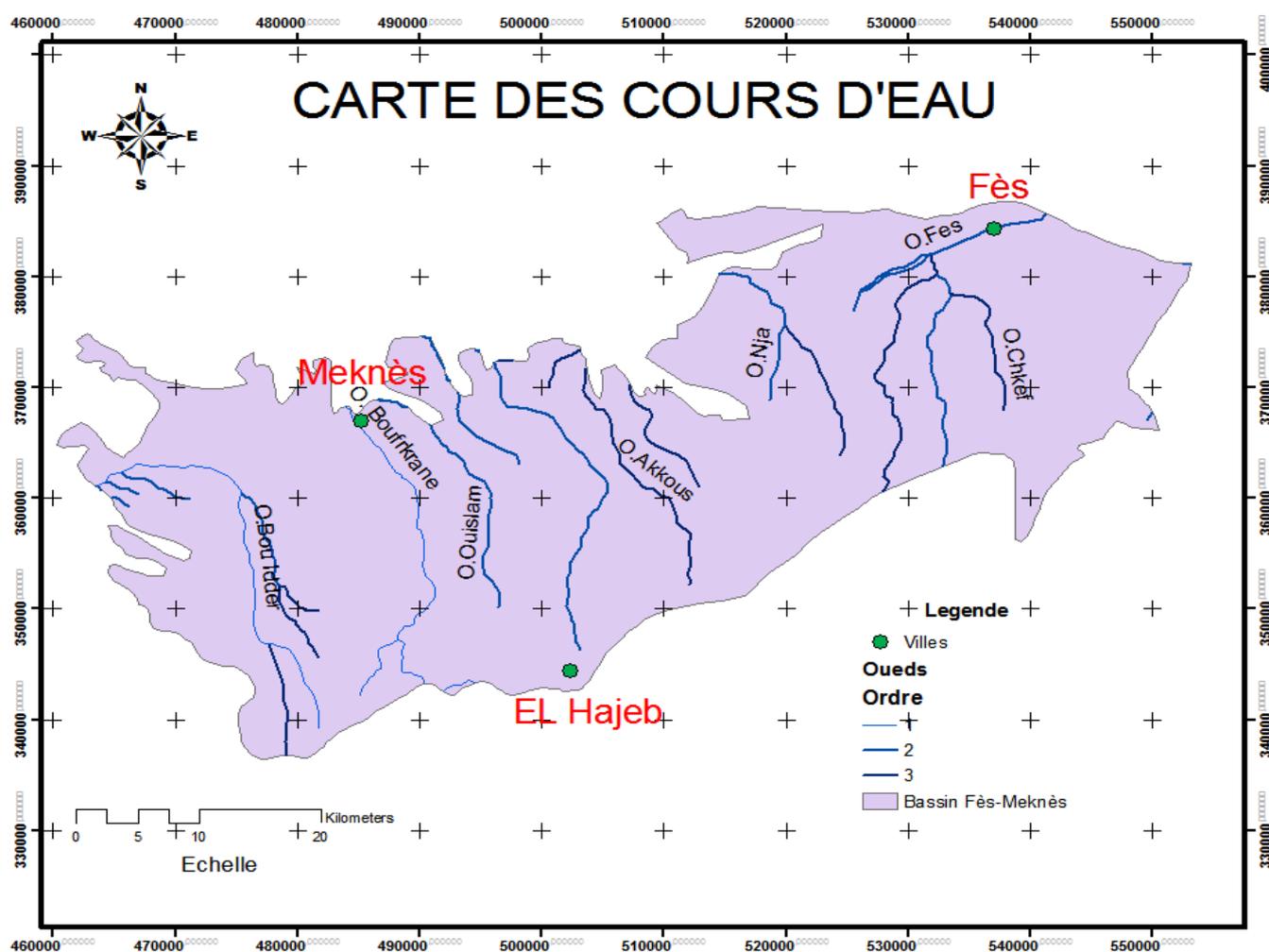


Figure 22 : Carte des oueds drainant le bassin

a. Densité de drainage

La densité de drainage, introduite par Horton, est la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface du bassin versant :

$$D_d = \frac{\sum L_i}{A}$$

La longueur totale du réseau hydrographique est de 346 km.

La surface du bassin est de 2261 Km².

La densité de drainage

Dd = 0,16

L'ABHS a mené une campagne de jaugeage en février 2005 et a concerné 5 oueds (tab. 3), leur débit total s'élève à 793 l/s (environ 25 Mm³/an).

Oued	Station	X	Y	Z	Q (l/s)	
Nja	Pont Rp1	0	519,5	0	378,7	187
Boufekrane	Mejjat	5	488,6	0	361,0	236
Mikkes	Machra balaraj	5	509,7	0	380,5	139
Ouislane	Pont ONCF	5	490,7	5	366,6	131
Chkef	Pont	0	535,0	0	375,7	100
						TT : 793 l/s

Tableau 6 : Débits des oueds drainant les nappes du bassin de Fès-Meknès (Etat de Février 2005)

2. Les sources

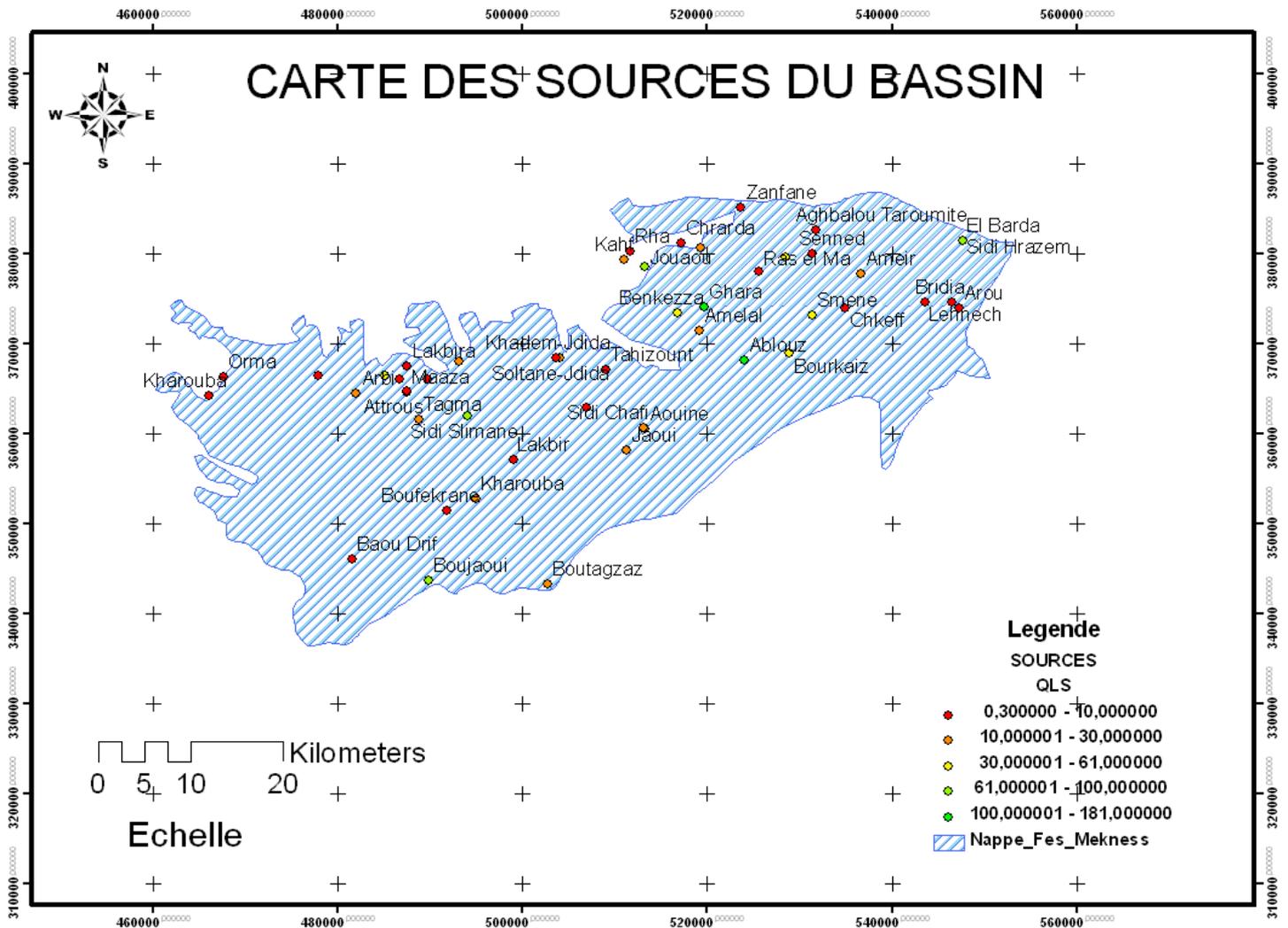


Figure 23 : Carte des sources du bassin

Le bassin de Fès - Meknès est drainé par une multitude de sources (Fig. 22), caractérisées par :

- ▲ la variabilité de leurs débits (quelques l/s à plus d'un m³/s);
- ▲ leur origine qui peut être la nappe phréatique, profonde ou mixte ;
- ▲ leur température (sources thermales de Sidi Harazem ; 30 à 33°C, Moulay Yaâcoub ; 54 °C et Askhounat ; 38 °C).

On distingue plusieurs types de sources (Essahlaoui, 2000) :

- ▲ les sources issues essentiellement des calcaires liasiques : A. Chkeff, A. Bourkaiz, les sources thermo-minérales : A. Skhounate (38 °C), A. Sidi Harazem (30 à 33 °C) et A. Moulay Yacoub (54 °C) ;
- ▲ les sources d'origine mixte (Lias et Plio-Quaternaire) : A. Ben Kazza, Amellal, Ghara, Smène, Ras El Ma, etc. ;
- ▲ les sources d'émergence de la nappe phréatique, situées généralement en bordure des oueds peu encaissés (oued Ouislan, Jdidah et Madhouma, EL Kell, N'ja, etc.) ;

Les campagnes de Février-Mars et de septembre 1984 ont concerné 60 sources, groupes de sources et oueds. Le total des débits mesurés variait respectivement entre environ 10.2 et 11 m³/s.

L'ABH Sebou a mené une campagne de jaugeage en Mars-Avril 2005 qui a concerné **49 sources, totalisant un débit d'environ 1491,6 l/s (environ 47 millions de m³/an).**

Le débit total du drainage naturel des aquifères (oueds et sources) du bassin s'élève à environ **2.3 m³/s (environ 72 Mm³/an)**, ce qui représente une baisse **d'environ 80 % par rapport à la situation de 1984**. Cette baisse est la conséquence directe des déficits pluviométriques accumulés dans le bassin (notamment depuis le début 1980, Fig. 2 et 3) et de l'augmentation des prélèvements (agricoles et d'AEP) dans les nappes constituant le bassin de

Fès-Meknès

IV. INFILTRATION

L'évaluation de l'infiltration efficace a été effectuée à partir du bilan de Thornthwaite, basé sur des données climatiques des stations de Fès et de Meknès (avec un pas de temps mensuel) de la période comprise entre 1973 et 2003.

L'évapotranspiration réelle dépend des valeurs des précipitations, de l'évapotranspiration potentielle (calculée avec la formule de Penman) et des réserves en eau du sol. Faute de mesures, la valeur de la RFU (Réserves Facilement Utilisables) a été considérée égale à 60 mm.

Les tableaux de l'annexe 1 synthétisent les résultats du bilan de Thornthwaite et montrent que le coefficient d'infiltration (CI) des précipitations varie généralement entre 0 % et plus de 28.7 % (année 1990-1991) au niveau de la station de Fès et entre 0 % et 51 % (année 2000 – 2001) pour la station de Meknès. Les valeurs moyennes du CI varient entre 9.3 % pour la plaine de Fès et d'environ 12 % pour le plateau de Meknès.

L'étude effectuée par le BET AQUASOFT (2004) a permis d'évaluer l'infiltration des eaux de pluie entre 5 et 9 %, respectivement dans la plaine de Sais et le plateau Meknès. Cette différence peut être expliquée par les précipitations plus faibles considérées par cette étude, qui sont respectivement de 407.2 (au lieu de 455 mm) et de 529 mm/an (au lieu de 550 mm/an).

Le coefficient d'infiltration moyen des précipitations a été évalué (à partir du bilan global des nappes du bassin de Fès-Meknès) à environ 10 %, soit un volume moyen de la recharge de la nappe phréatique par la pluie d'environ 104 Mm³/an.

Les figures 15 et 16 montrent l'historique des précipitations et des lames d'eau infiltrées au niveau des stations de Fès et de Meknès. Les figures 17 et 18 montrent les écarts à la moyenne de l'infiltration efficace des précipitations calculés au niveau des stations de Fès et de Meknès.

Ces résultats montrent que la région traverse une importante période de sécheresse depuis le début des années 80. Les années excédentaires sont en effet devenues exceptionnelles depuis 1980.

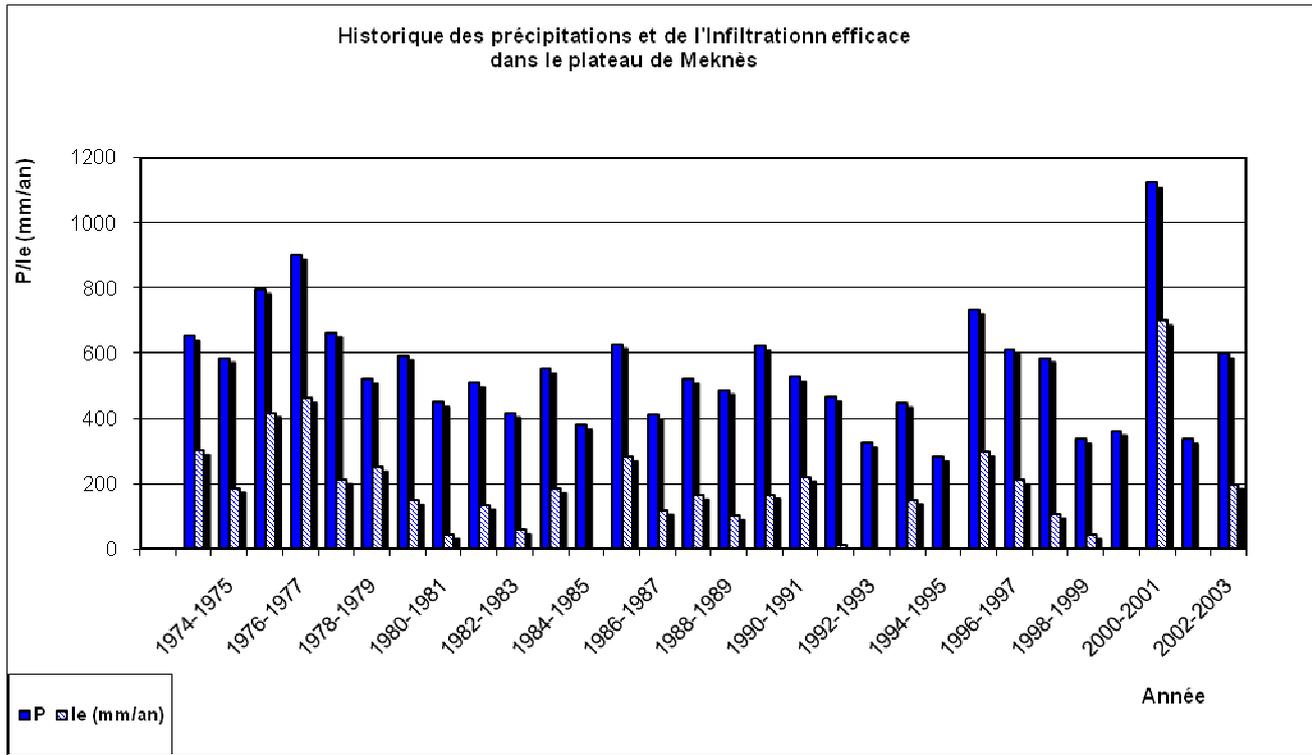


Figure 24 : Historique des précipitations et de l'infiltration efficace dans le plateau de Meknès.

1. Historique des écarts à la moyenne des infiltrations

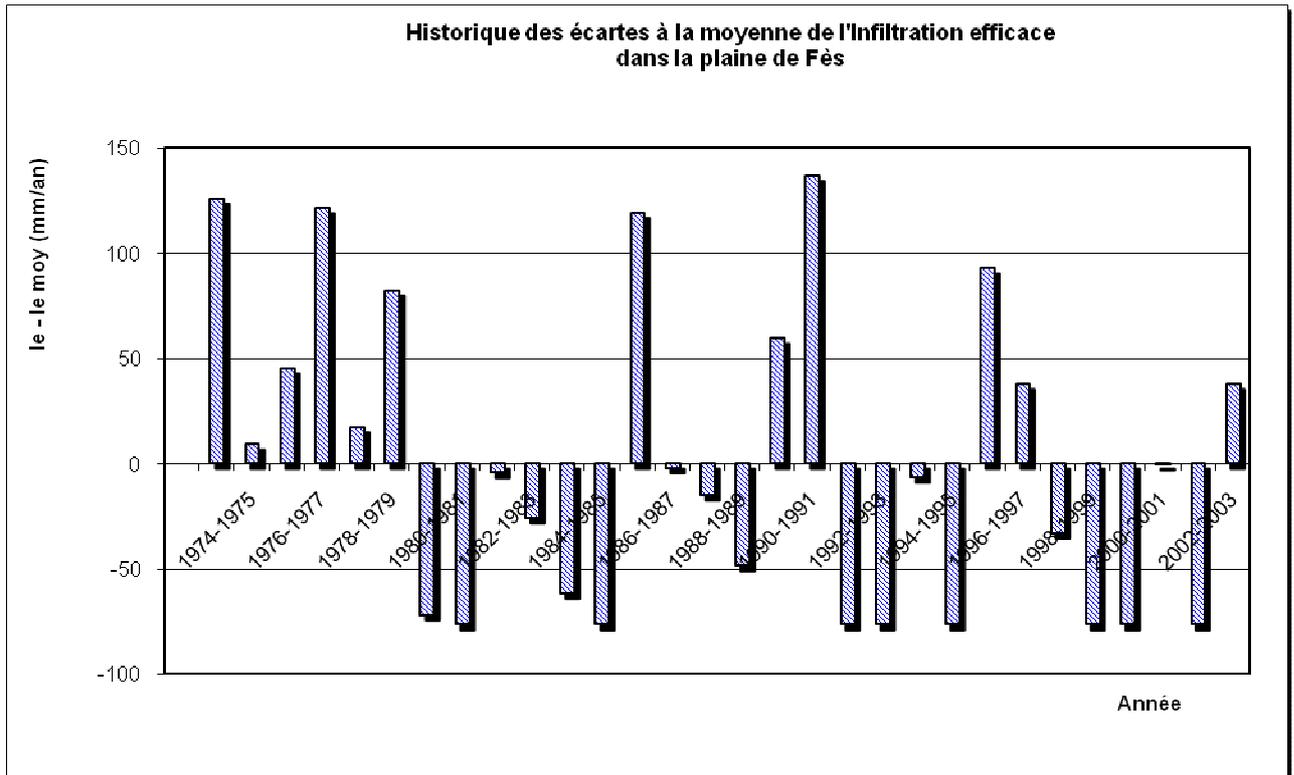


Figure 25 : Historique des écarts à la moyenne de l'Infiltration efficace dans la plaine de Fès

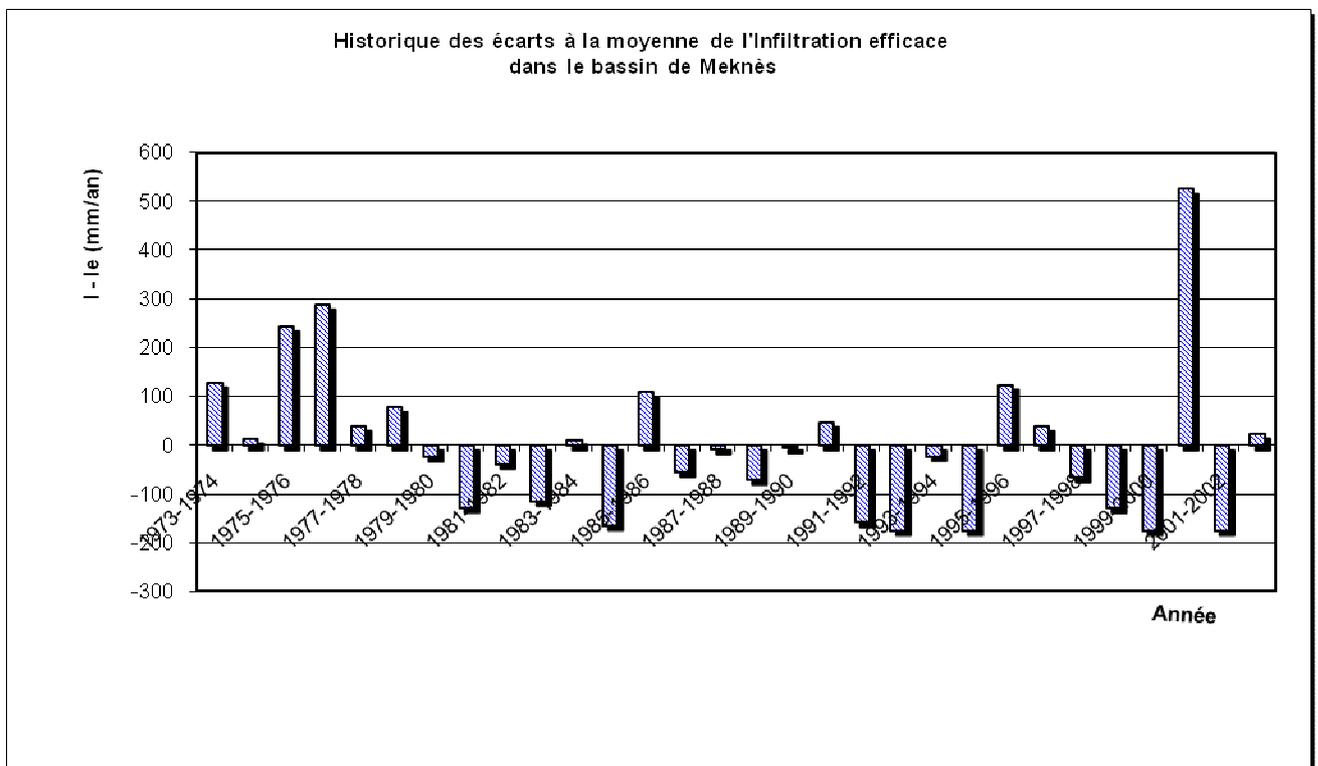


Figure 26 : Historique des écarts à la moyenne de l'Infiltration efficace dans le plateau de Meknès

V. EVAPOTRANSPIRATION

L'évapotranspiration potentielle moyenne (calculée avec la méthode mensuelle de Penman) est assez élevée, variant entre 37 mm au mois de décembre et environ 200 mm au mois de juillet. L'ETP moyenne annuelle dans le bassin varie entre 1270 mm à Meknès et 1343 mm à Fès, soit environ 2.3 à 2.9 fois la hauteur moyenne annuelle des précipitations du bassin ;

L'évapotranspiration réelle moyenne (bilan de Thornthwaite, avec un pas de temps mensuel) varie entre 402 mm/an à Fès et 459. mm/an à Meknès, constituant environ 83.5 % (à Meknès) et 88.4 % (à Fès) des précipitations moyennes annuelles du bassin ;

L'évapotranspiration moyenne est donc de 85,9%

Le volume d'eau qui s'évapore est donc de **1,1 milliard de m³ par an.**

Si on calcul par la méthode de bilan des eaux on obtient

$$ETP = P - (I + Q)$$

Soient $ETP = 1247 - (127,4 + 72) = 1050$ millions de m³/an soit **1,050 milliard de m³/an.**

Les deux estimations sont donc assez proches.

VI. CALCUL DU BILAN

Les précipitations annuelles sont estimées à **1,247 milliards de m³ par an.**

Le volume d'écoulement des eaux de surface est de **72 millions de m³ par an.**

L'infiltration est de **124,7 millions de m³ par an.**

Et l'évapotranspiration à **1,05 milliards de m³ par an.**

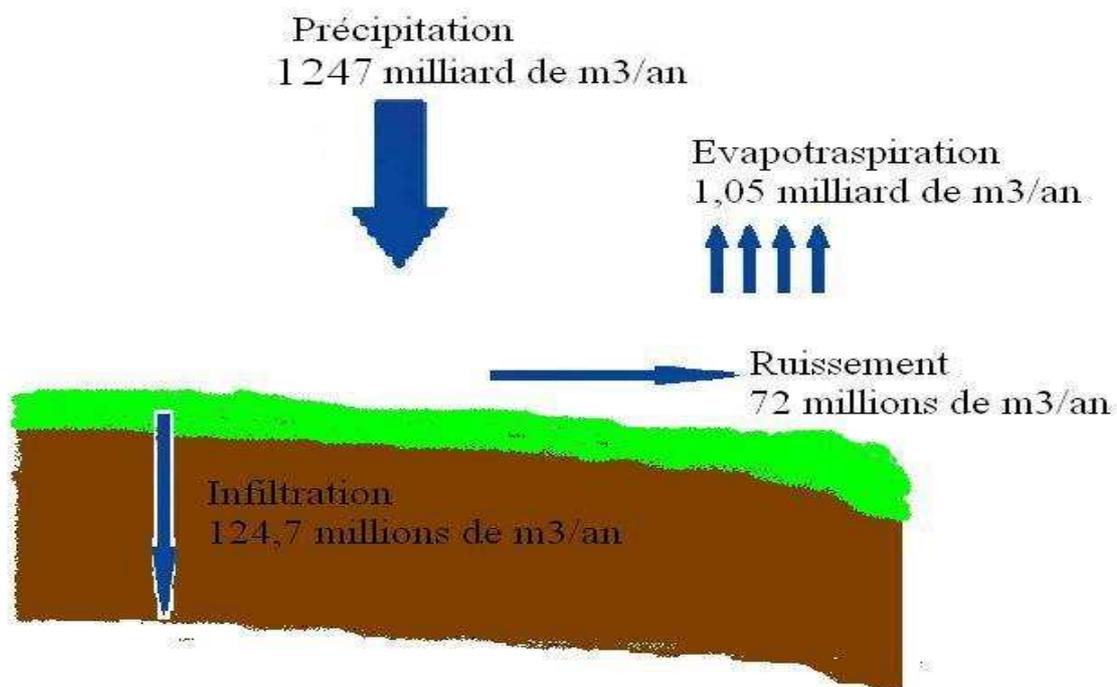


Figure 27 : Schéma récapitulatif du bilan des eaux de surfaces

CHAPITRE III : SIG ET DEMANDE EN EAU

I. CALCUL DE DEMANDE EN DE L'AGRICULTURE

1. Type de cultures

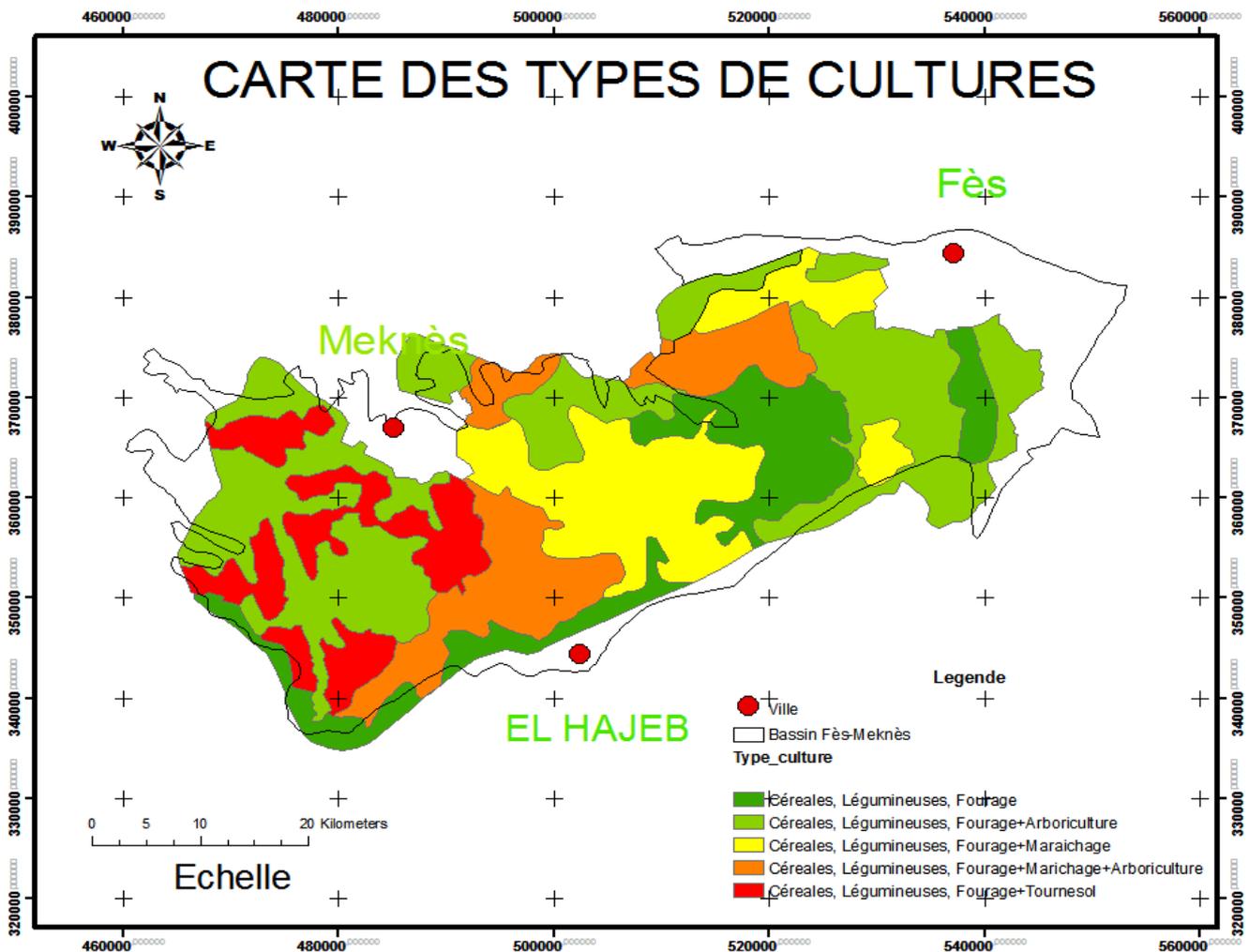


Figure 28 : Carte des cultures du bassin

L'agriculture est un domaine très important dans l'économie de notre bassin. La superficie des terres cultivées s'élève à 184000 ha soit 81% de la surface du bassin. Les principales cultures sont les céréales, les légumineuses, les fourrages etc. leur demande en eau est assez importante.

2. Volume d'irrigation

L'irrigation des cultures se fait à la fois à partir des eaux souterraines et des eaux superficielles, issues de la dérivation des sources drainant le système aquifère du bassin de Fès-Meknès.

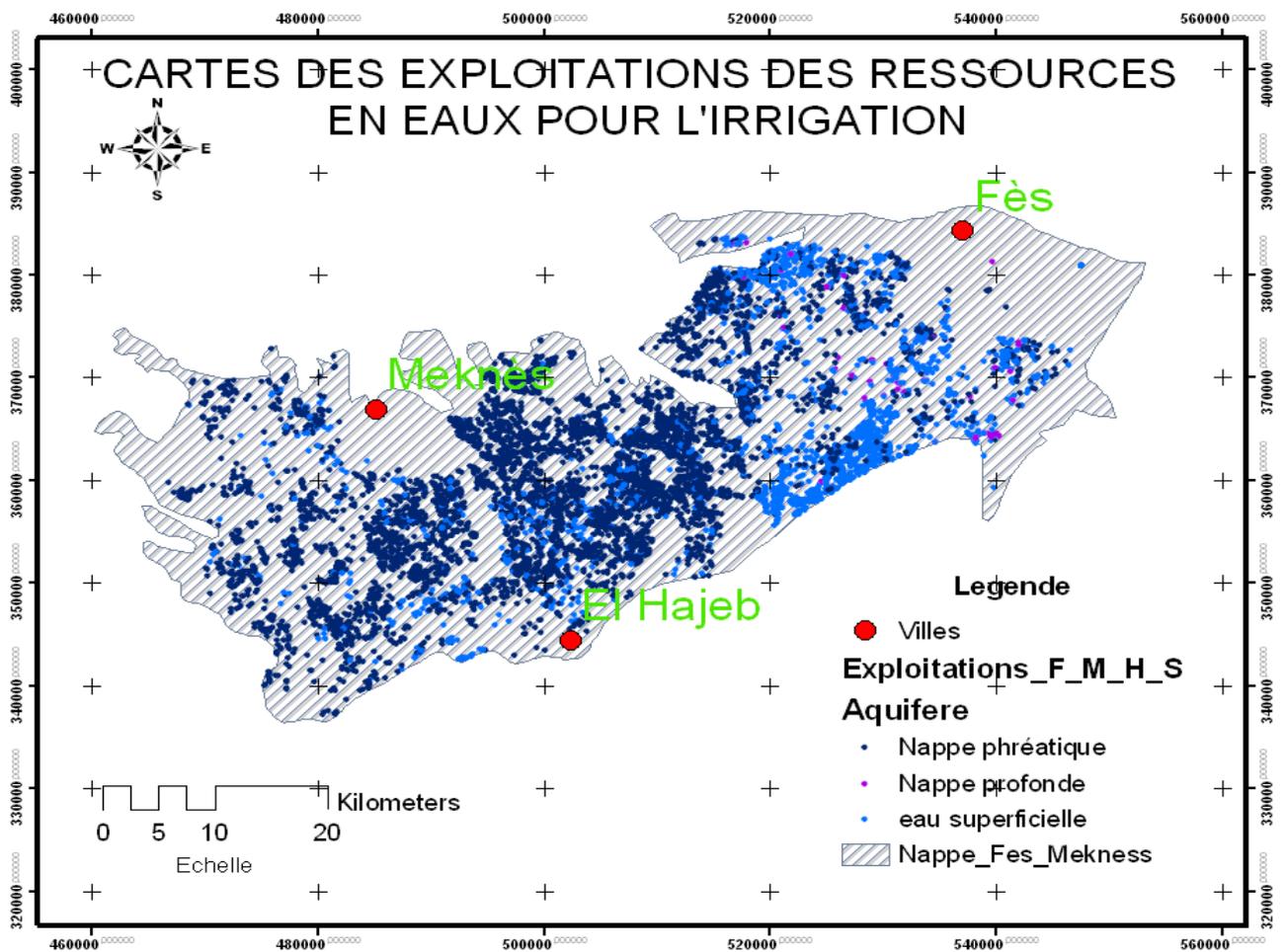


Figure 29 : Carte des exploitations en eaux du bassin

D'après la base de données des exploitations des eaux de l'agence du bassin hydraulique de Sebou la superficie totale d'agriculture est de **201586,743024 ha** et la superficie irriguée par les eaux de drainages et souterraines est de **55780,958383**. Toujours d'après cette même base de données la superficie irriguée par les eaux de drainage est **16530,728ha** avec une demande en eau de **7283,434 m³/ha/an**.

La superficie irriguée par la nappe phréatique est de **31966,796382ha** avec une demande en eau de **9179,802906m³/ha/an**.

Et enfin la superficie irriguée par les eaux pompés de la nappe profonde est de **7283,434 ha** avec une demande en eau de **12819,786816 m³/ha/an**.

Tableau récapitulatif :

Réservoir	Superficie d'irrigation (ha)	Demande en eau m ³ /ha/an	Volume m ³ /an
Eau superficielle	16530,72	7283,43	74473017,37

Nappe phréatique	31966,79	9179,80	243903766,95
Nappe profonde	7283,43	12819,78	46330112,59
Total	55780,95		3364706896,9

Tableau 7 : tableau récapitulatif des exploitations en agriculture

Le volume total prélevé des nappes et utilisé pour l'irrigation est de 290233880 **m³/ha/an soit 290 millions de m³ par an.**

Et le volume total prélevé des eaux superficielles et utilisé à **74473017,37millions de m³ par an soit 74,4 millions de m³ par an.**

II. L'ALIMENTATION EN POTABLE (AEP)

est l'ensemble des équipements, des services et des actions qui permettent, en partant d'une eau brute, de produire une eau conforme aux normes de potabilité en vigueur, distribuée ensuite aux consommateurs.

On considère quatre étapes distinctes dans cette alimentation :

- prélèvements - captages (eau de surface ou eau souterraine)
- traitement pour potabiliser l'eau
- adduction (transport et stockage)
- distribution au consommateur

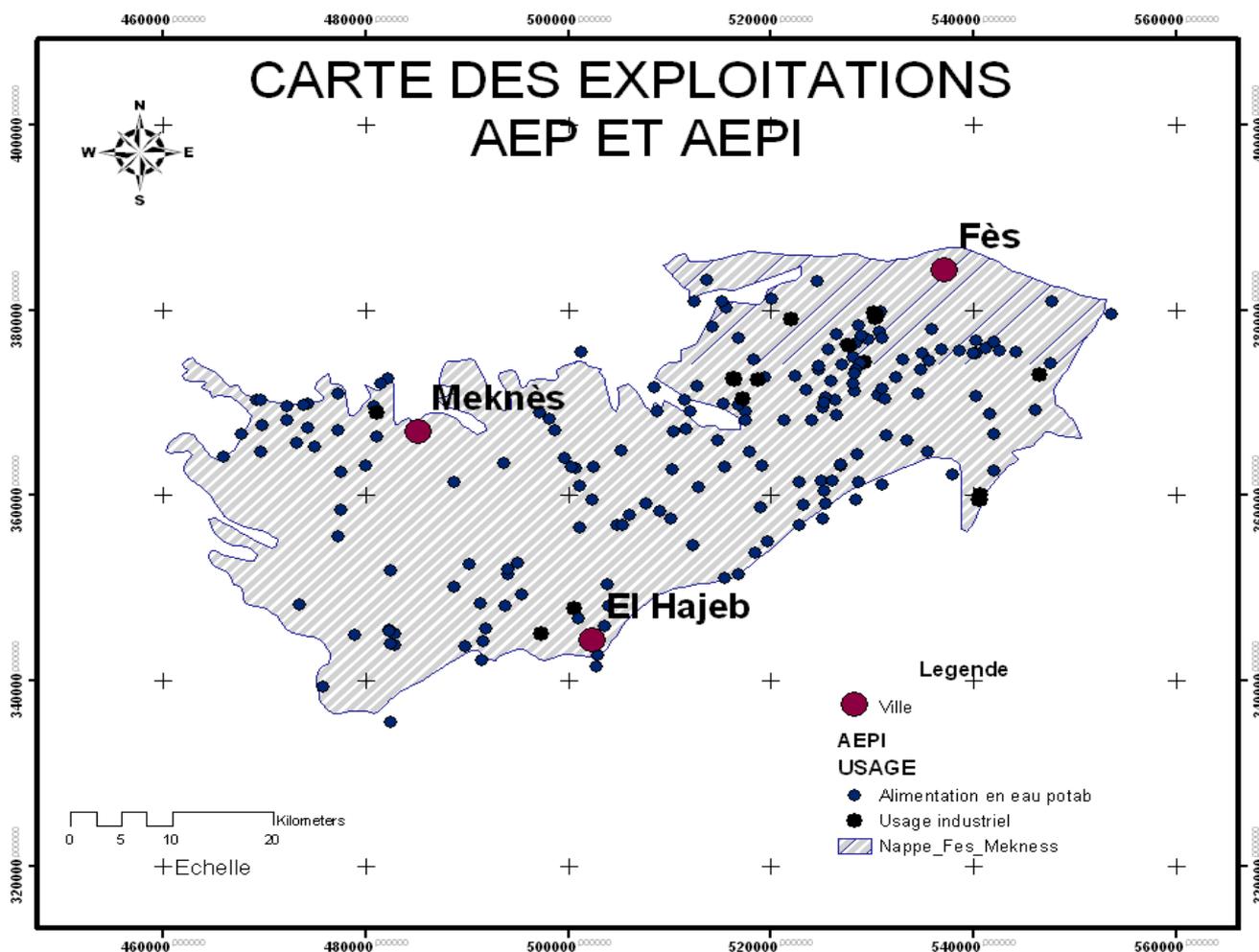


Figure 30 : Carte des AEP et AEPI du bassin Fès-Meknès.

Cette carte représente les points d'exploitations des AEP et AEPI.

Sur les 205 points d'exploitations en eau, seule 19 sont utilisé pour usage industriel. Les industries sont leur principale gestionnaire et donc ils gèrent leur propre eau. Ces industries ce trouvent pour la plus part dans la province d'El Hajeb et de Moulay Yacoub. Pour les plus petites industries qui se trouvent dans le bassin les gestionnaires est l'Onep. Le volume d'eau utilisé par les industries est évalué à **252733 m³/an**.

1. AEPI

Le volume d'eau prélevé par sur les eaux de la nappe profonde et utilisé pour l'AEPI est de **124367 m³/an**.

Le volume d'eau prélevé par sur les eaux de la nappe phréatique et utilisé pour l'AEPI est de **11930 m³/an**.

Et le volume d'eau prélevé sur les eaux de surfaces et utilisé sur pour l'AEPI est de **116436 m³/an**.

Tableau Récapitulatif

Province de l'industrie	Volume nappe phréatique m ³ /an	Volume nappe profonde m ³ /an	Volume eaux de surface m ³ /an
El Hajeb			116436
Fès	45789		
Meknès	1210		
Sefrou		122541	
Moulay Yacoub	92945	78369	
Total	139944	200910	116436

Tableau 8 : tableau récapitulatif des AEP

Le tableau récapitulatif nous montre la nappe profonde est le réservoir les plus utilisé par l'industrie pour leur besoin en eau sans doute pour leur qualité. Le deuxième réservoir est la nappe libre du Saïss avec 139944 m³/an. Pour les industries de la ville d'EL HAJEB l'ensemble de leur approvisionnement en eaux est assuré par les eaux de surfaces.

2. L'alimentation en eau potable

Notre estimation d'alimentation en eau potables est basée sur les données des exploitations des gestionnaires de l'eau. Les principaux gestionnaires de l'eau sont bien sur les sociétés ONEP et la RADEFF. Notre base de données inclue également les données recueillies au niveau des associations, des coopératives, les communes rurales et gestionnaires rurales qui exploitent les eaux du bassin.

D'après notre base de données l'AEP provient des différents réservoirs d'eau du bassin à savoir la nappe phréatique, la nappe profonde et les eaux de surfaces.

Le volume d'eau prélevé de la nappe profonde et utilisé pour l'AEP est de **53539083 m³/an soit 53,5 millions de m³/an.**

Le volume d'eau prélevé de la nappe phréatique et utilisé pour l'AEP est de **232136 m³/an soit 0,23 millions de m³/an.**

Le volume d'eau prélevé des eaux de surfaces et utilisé pour l'AEP est de **38351674 m³/an soit 38,3 millions de m³/an.**

Le volume total utilisé pour l'AEP s'élèvent donc à **92122893 m³/an soit 92 millions de m³/an.**

Tableau récapitulatif

Province de l'industrie	Volume nappe profonde m ³ /an	Volume nappe phréatique	Volume eaux de surface m ³ /an	Total

		m ³ /an		
El Hajeb	84670	5703954	37555991	433446 15
Fès	21468	21345437	1134	213680 39
Meknès	51600	260859	794549	110700 8
Sefrou	6048	3151425		315747 3
Moulay Yacoub	68350	23077408		231457 58
Total	232136	53539083	38351674	921228 93

Tableau 9 : Tableau récapitulatif des AEP

On remarque dans ce tableau que le principal réservoir utilisé pour l'alimentation en eau potable est la nappe phréatique. Avec **53,3 millions de m³/an d'eau prélevé dans la nappe phréatique**, ce réservoir est le plus utilisé pour l'AEP parce qu'elle est plus accessible que la nappe profonde et de meilleur qualité par rapport à l'eau de surface. Le 2nd réservoir le plus utilisé avec **38,3 millions de m³ d'eau prélevé par an**, les de surfaces sont exploités pour leur facilité d'exploitation mais demande aussi de traitement pour les rendre potable.

On remarque également que c'est dans la province d'El Hajeb, de Fès et de Moulay Yacoub que la majeure partie d'AEP est exploité.

Sachant que la population du bassin est estimée à 1743215 d'habitant le volume d'eau consommé par habitant est de 52,84 m³/an soit 157,6 L/J.

Comparaison avec certaines régions du monde :

Etats-Unis : **600 L/hab/j.**

France : **150 L/hab/j**

Bassin Fès-Meknès : **144,6 L/hab/j**

Maroc : **70 L/hab/j.**

Djibouti : **50 L/hab/j.**

Pays du Sahel : **10 L/hab/j.**

D'après notre petite comparaison les habitants du bassin Fès-Meknès se placent juste derrière les plus grands gaspilleurs d'eau au monde à savoir les Etats-Unis et la France mais se retrouvent devant tous les habitants du Maroc et les Djiboutiens et très loin devant les pays du Sahel.

CHAPITRE IV : EVALUATION DES EAUX DE LA NAPPE PHREATIQUE

Le bassin du Saïss renferme deux nappes d'intérêt inégal:

- la nappe phréatique qui circule dans des sables, conglomérats et par endroits dans les calcaires lacustres du Plio-Villafranchien ;
- la nappe profonde qui circule dans les calcaires dolomitiques du Lias et se met en charge sous l'épaisse série de marnes imperméables du Miocène.

Ces deux nappes communiquent entre elles par endroits, à travers des fractures et failles ou indirectement par drainance ascendante.

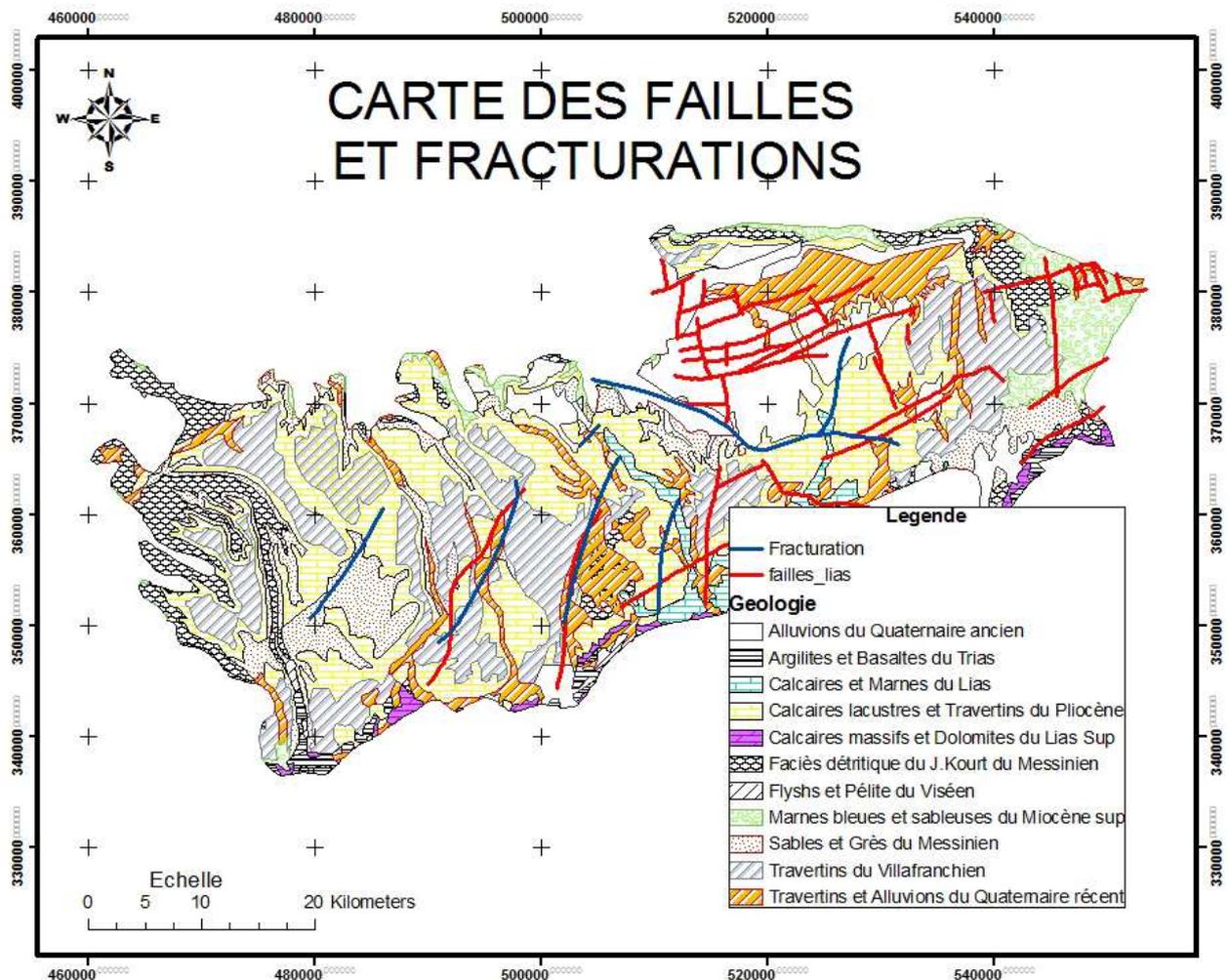


Figure 31 : Carte des failles et fracturations du bassin.

I. LITHOLOGIE DE LA NAPPE

Cette nappe s'étend sur environ 80 km de long entre ses limites Ouest et Est, constituées par les affleurements argilo-marneux et les oueds Mikkès (Est) et Boufekrane (Ouest).

Elle s'étend également sur une largeur d'environ 30 km entre ses limites Nord (constituées par les marnes tertiaires au contact des rides pré-rifaines) et Sud (constituées par la ligne de contact entre le remplissage Plio-Quaternaire et les formations calcaires du Causse du Moyen-Atlas).

La lithologie de la nappe phréatique varie énormément entre l'Ouest et l'Est du bassin.

D'une façon générale, la nappe circule dans des dépôts du Plio - Quaternaire constitués de sables, grès, conglomérats, marnes sableuses et localement de calcaires lacustres.

A l'Ouest, la nappe circule dans un complexe sablo-limoneux, pouvant atteindre 70 m d'épaisseur.

Au centre et à l'Est du plateau de Meknès, la nappe circule principalement dans des grès et conglomérats, recouverts par des calcaires lacustres. L'épaisseur est comprise entre 20 et 40 m et peut atteindre localement 80 m.

Dans la partie centrale de la plaine du Saïs, la nappe circule notamment dans des calcaires lacustres karstifiés, d'épaisseur comprise entre 40 et 80 m.

Plus à l'Est, les calcaires lacustres disparaissent au profit de conglomérats et de sables argileux, sur une épaisseur de moins de 40 m.

Le substratum de la nappe est constitué par les marnes bleues du Miocène (Tortonien). Leur épaisseur peut atteindre 900 m et mettent en charge lias.

II. PROFONDEUR DE LA NAPPE

La surface de l'eau de la nappe phréatique (mesurée en février-mars 2005 par L'ABH Sebou) se situe généralement entre 10 et plus de 40 m de profondeur. Au Nord du bassin, les profondeurs sont faibles ; généralement inférieures à 20 m (Fig.31). Au Sud et à l'Ouest du bassin, la profondeur de l'eau est généralement supérieure à 30 m. Au centre, cette profondeur est comprise entre 25 et 35 m.

La profondeur moyenne par rapport au sol de la surface de la nappe phréatique est de 25 m.

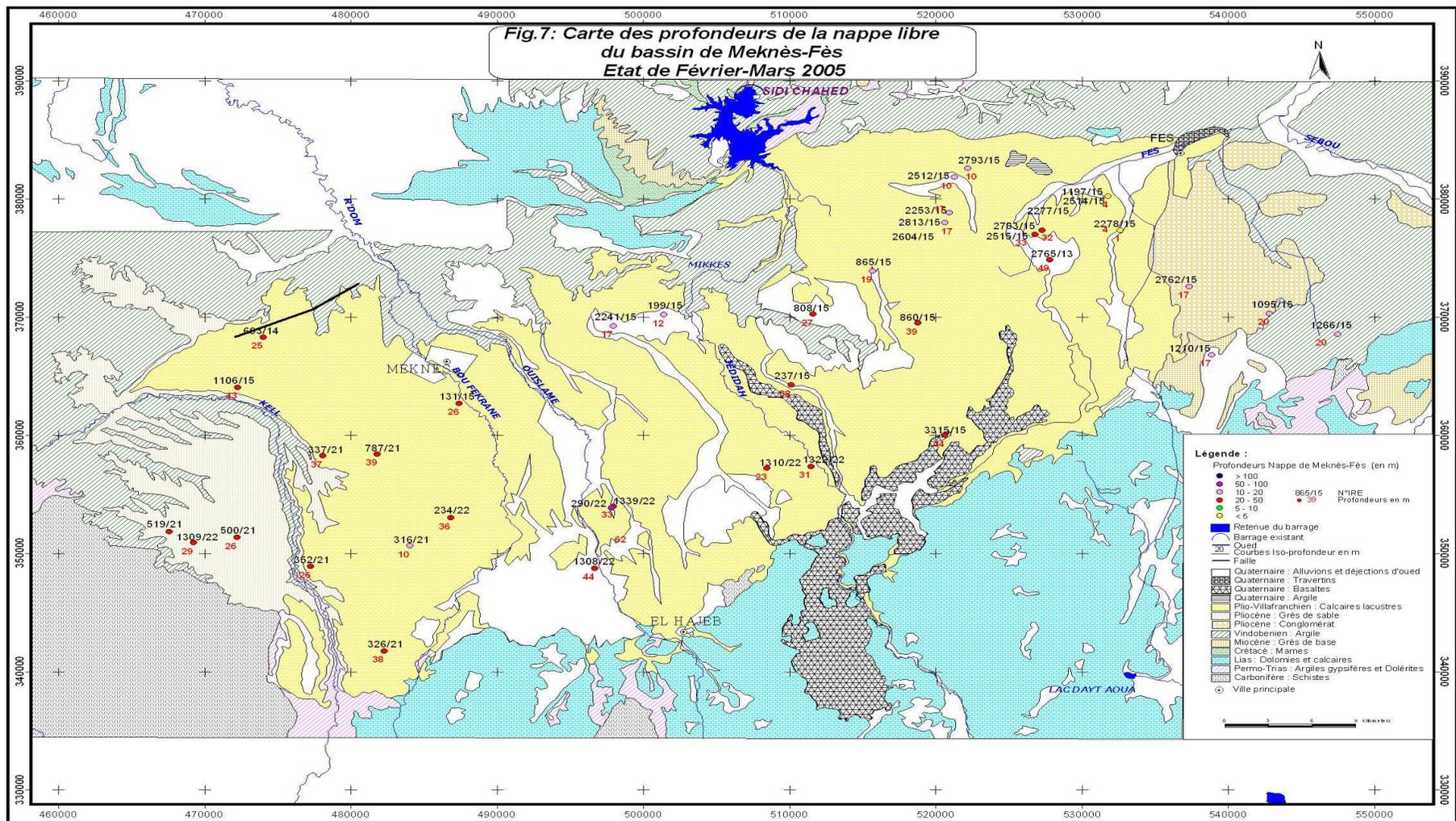


Figure 32 : Carte des profondeurs de la nappe du Saiss-Période : Fév.-Mars 2005

III. PIEZOMETRIE DE LA NAPPE

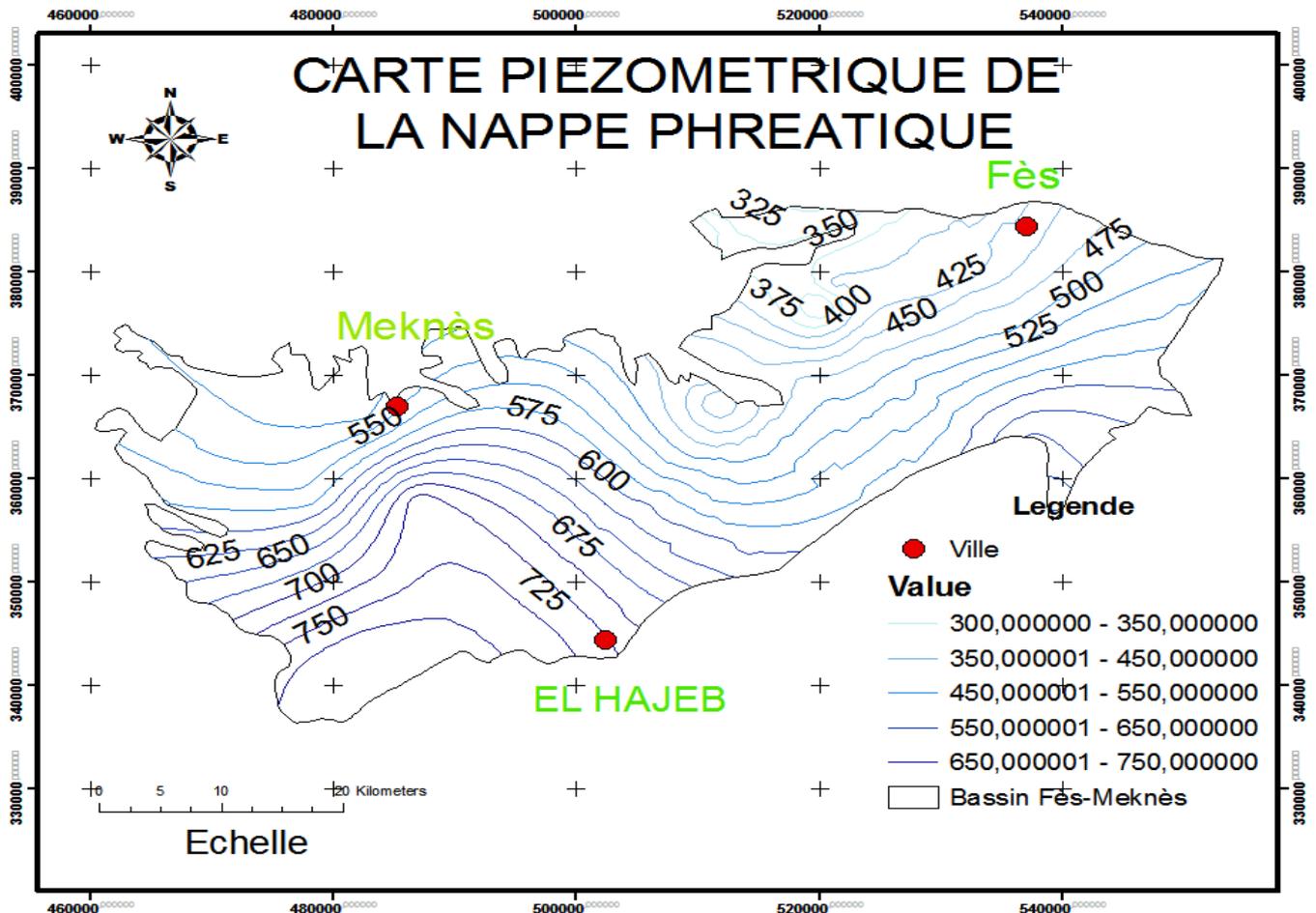


Figure 33 : Carte des courbes isopiézométrique de la nappe du Saïss

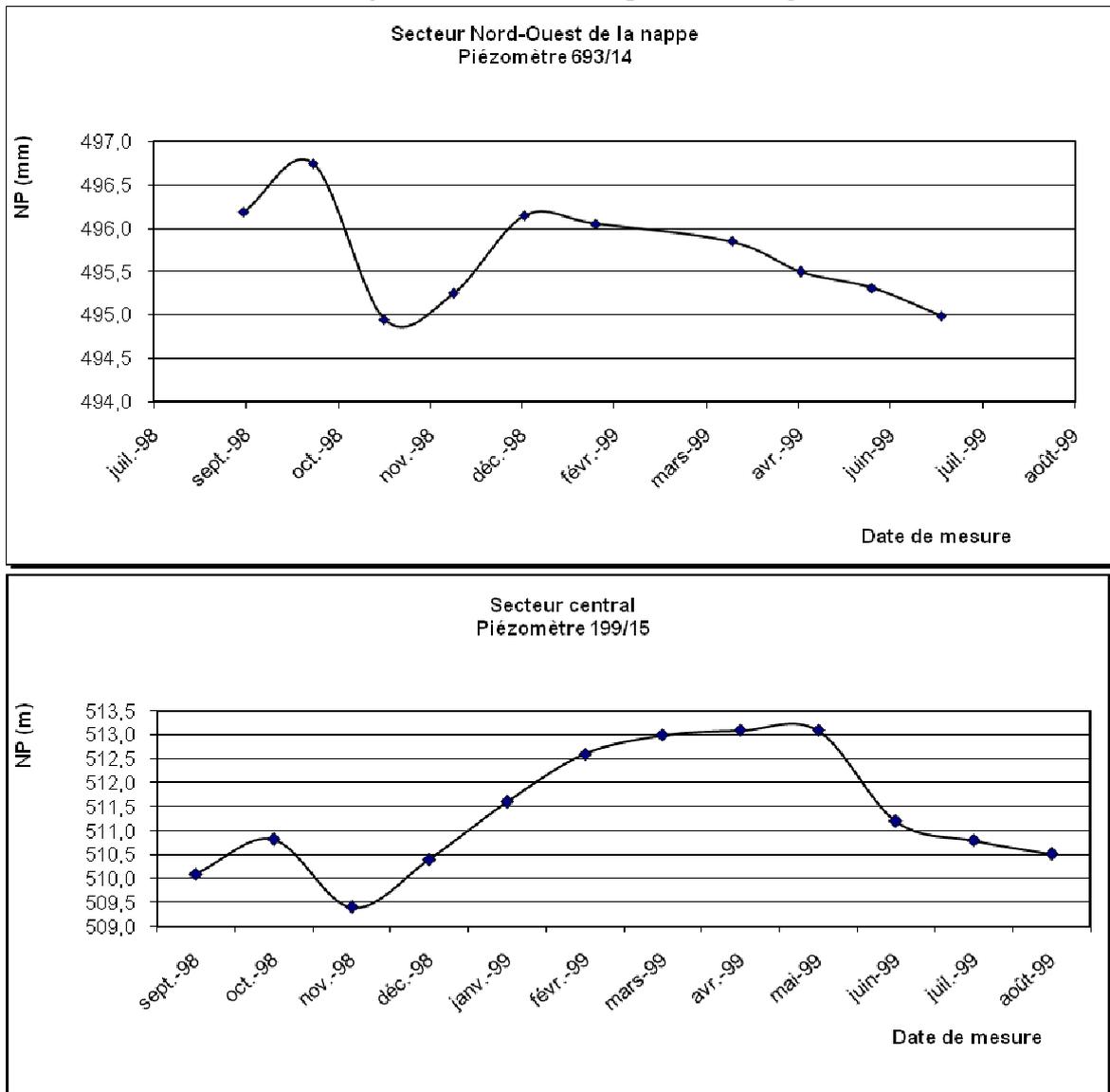
La carte de la Fig. 32 représente l'état piézométrique de la nappe, relative à la période de février-mars de 2005, élaborée à partir des données mesurées dans 47 puits et forages. Les niveaux piézométriques varient entre environ 325 m au Nord- Est de la nappe et plus de 800 m au niveau de la limite Sud-ouest du bassin, de part et d'autre d'EL Hajeb.

1. Fluctuations de la nappe

a. Fluctuations saisonnières des niveaux de l'eau

Ces fluctuations dépendent de l'importance de la recharge et de la porosité de la nappe ; elles varient entre environ 1 m (secteur Est) et 4.5 m (secteur central), avec une hauteur moyenne d'environ 1.4 m. Ces fluctuations suivent celles des précipitations, avec un retard de un à trois mois dans la plaine du Saïss et de un à deux mois dans le plateau de Meknès

Les plus hautes eaux sont mesurées généralement entre les mois de janvier et mai et les basses eaux le sont entre les mois de juillet et août de chaque année (Fig. 33).



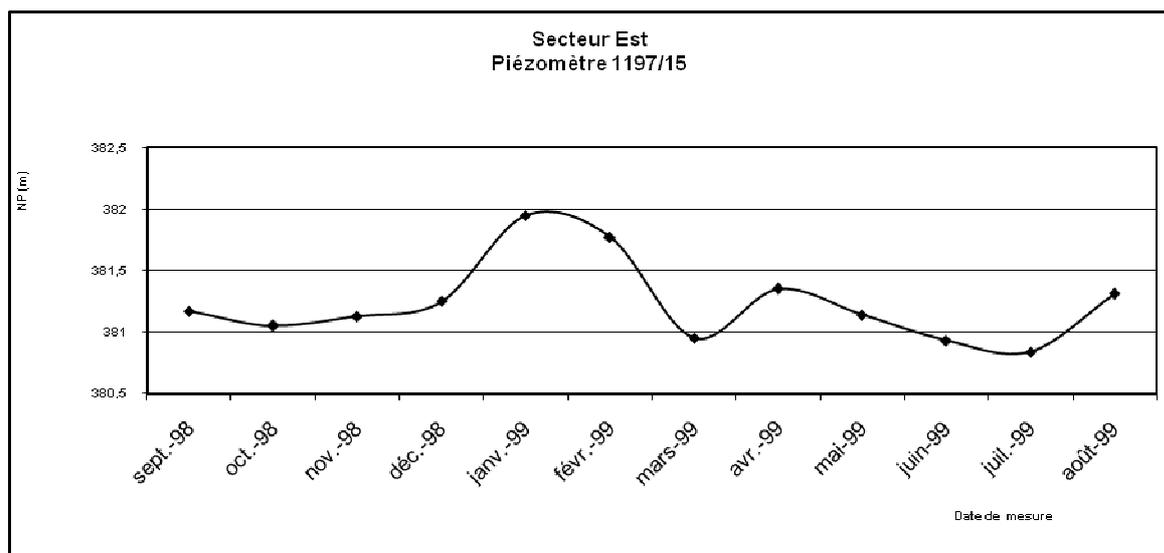


Figure 34 : Variations saisonnières de la piézométrie de la nappe phréatique de Fès-Meknès (Année : 1998-1999)

b. Fluctuations interannuelles des niveaux de l'eau

Ces fluctuations varient selon les secteurs, avec cependant une tendance générale à la baisse.

Le piézomètre 693/14, situé à l'Ouest de la nappe, montre une légère baisse, mais continue des niveaux de la nappe depuis 1970. La hauteur de cette baisse est d'environ 4 m, soit une moyenne d'environ 12 cm/an. Cette baisse s'est accentuée entre 1980 et 1986 et atteint un total de 6 m, soit une moyenne d'environ 1 m/an (Fig. 34).

Le secteur central de la nappe est également caractérisé par une baisse continue de la nappe (Fig.35), comprise entre 10 et 20 cm/an. Cette tendance est beaucoup plus accentuée entre 1996 et 2004, où la baisse moyenne est d'environ 1.2 m/an.

La partie Nord-est de la nappe est caractérisée par une stabilisation des niveaux (Fig.36).

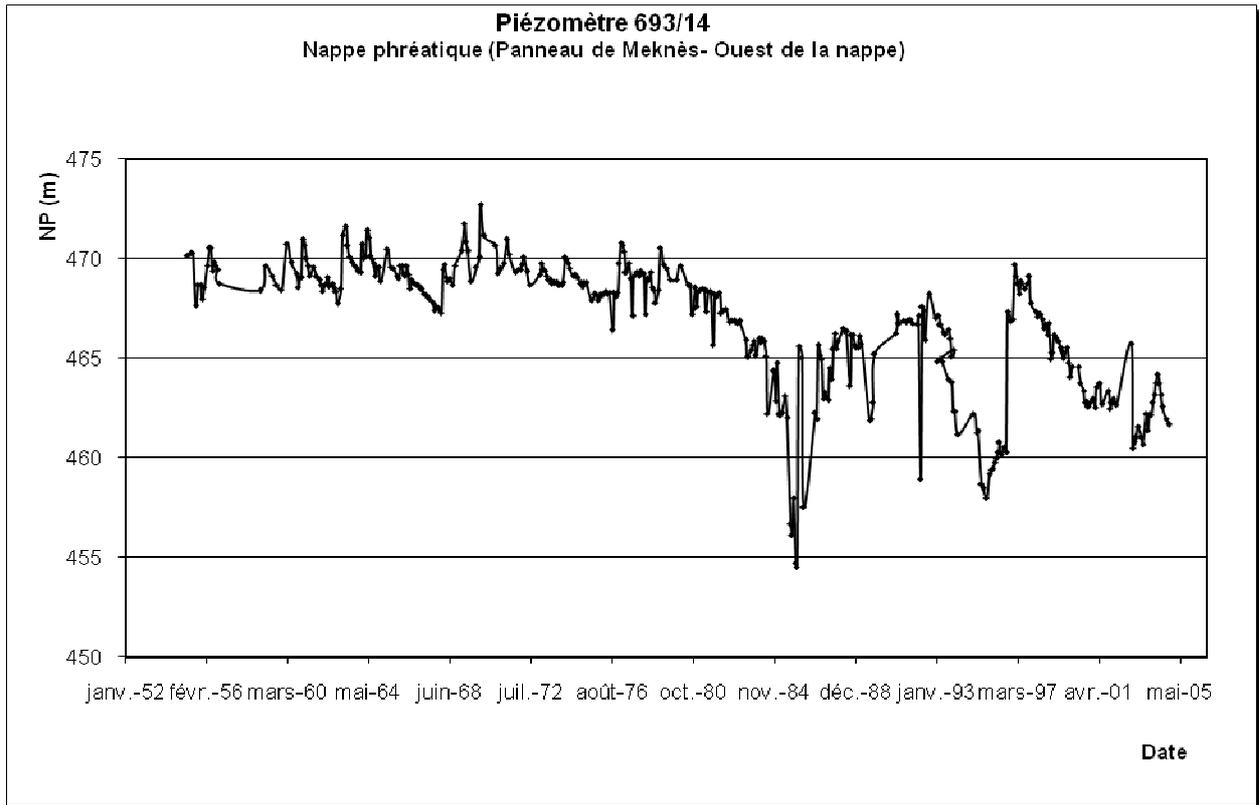


Figure 35 : Historique piézométrique du secteur Ouest de la nappe phréatique du bassin de Fès-Meknès

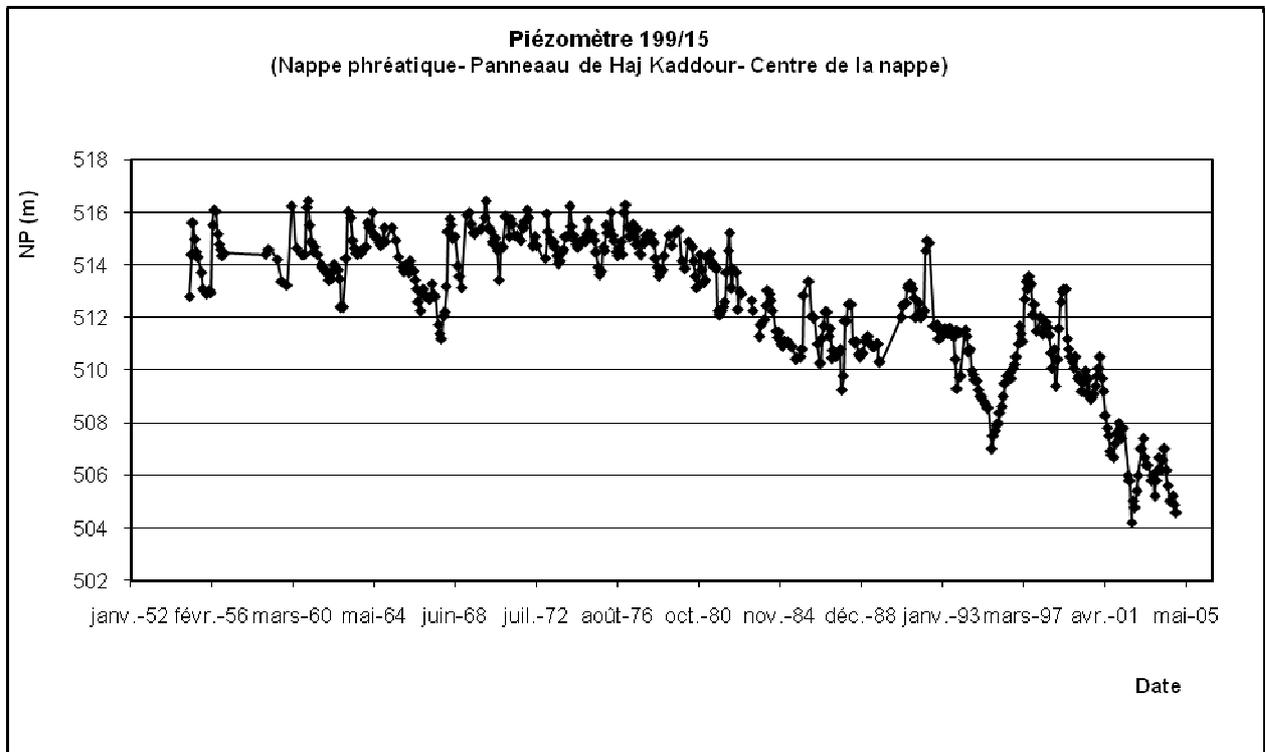


Figure 36 : Historique piézométrique du secteur central de la nappe phréatique du bassin de Fès-Meknès

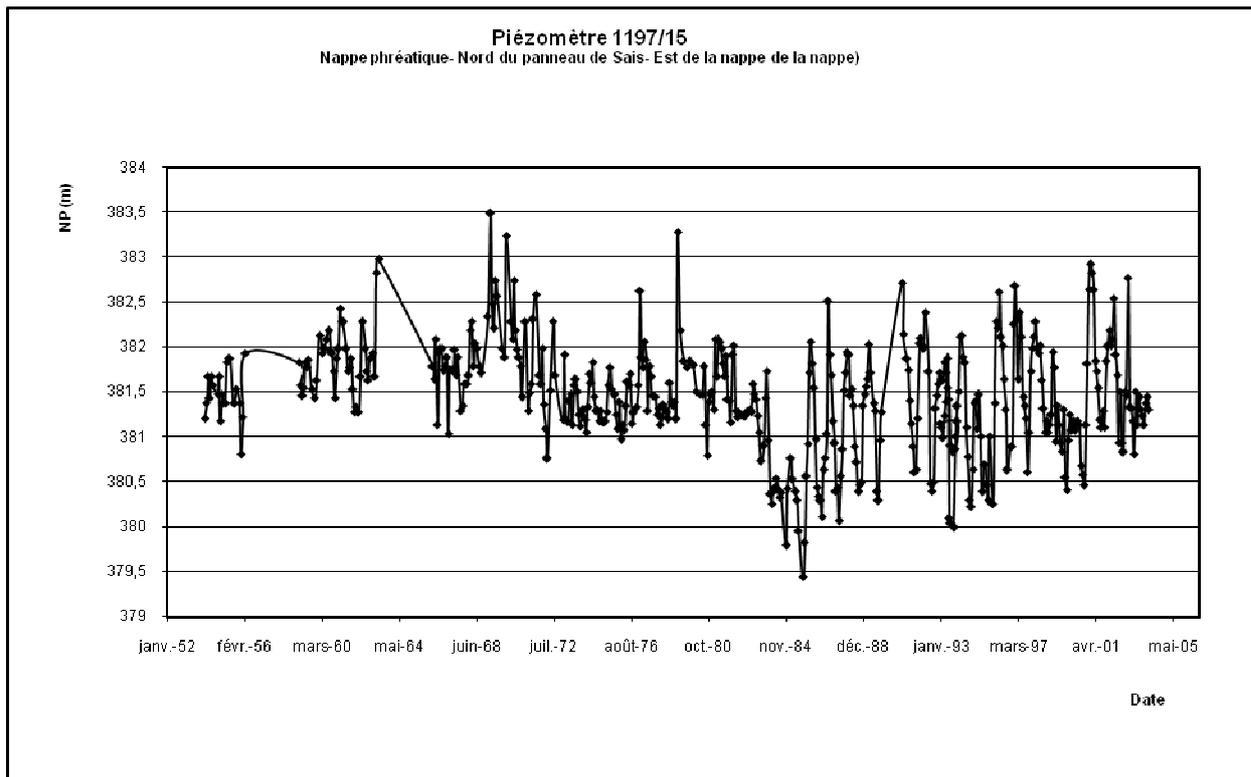


Figure 37 : Historique piézométrique du secteur Nord-est de la nappe de Fès-Meknès

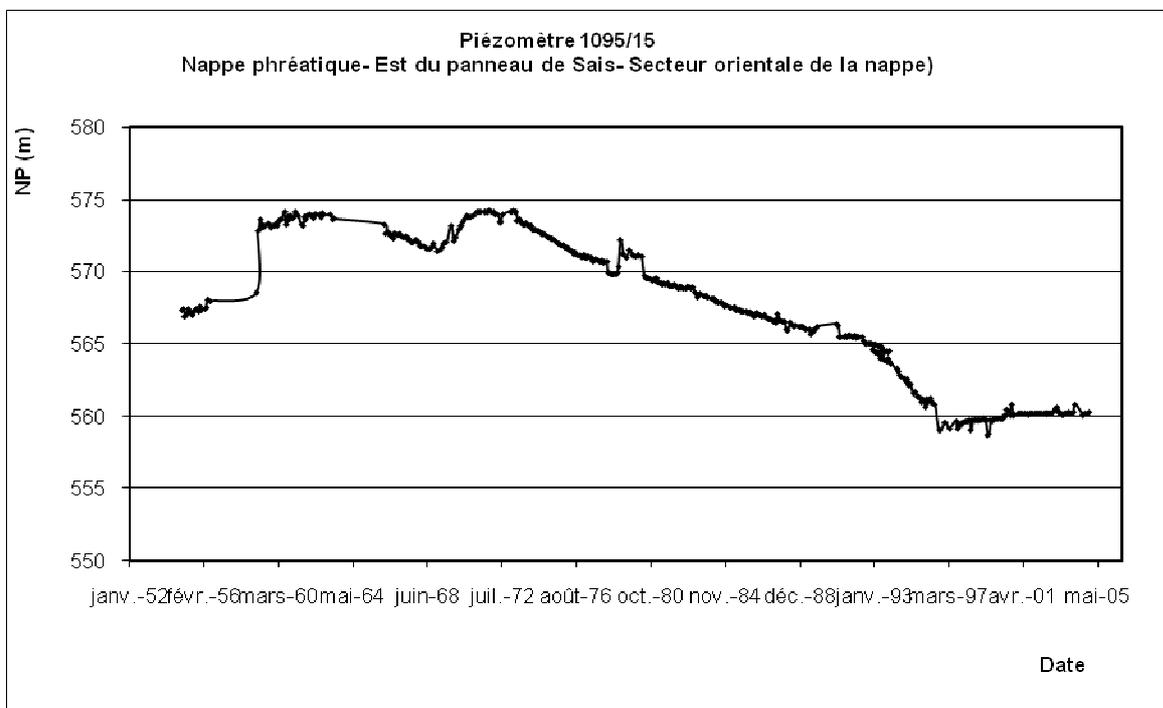


Figure 38 : Historique piézométrique du secteur Sud-est de la nappe phréatique du bassin de Fès-Meknès

Le secteur Sud-est est caractérisé par une forte baisse, qui s'élève à environ 15 m entre 1971 et 1996, soit environ une baisse moyenne de 0.6 m/an. Après 1996, les niveaux de la nappe se sont stabilisés (Fig.37).

Cette baisse quasi-générale des niveaux de la nappe (environ 1 m/an en moyenne) est la conséquence du déficit pluviométrique, qui dure depuis le début des années 80 (Fig. 6 et 7) et de l'importante augmentation des prélèvements agricoles par pompage qui en découlent

IV. EPAISSEUR ET RESERVES DE LA NAPPE

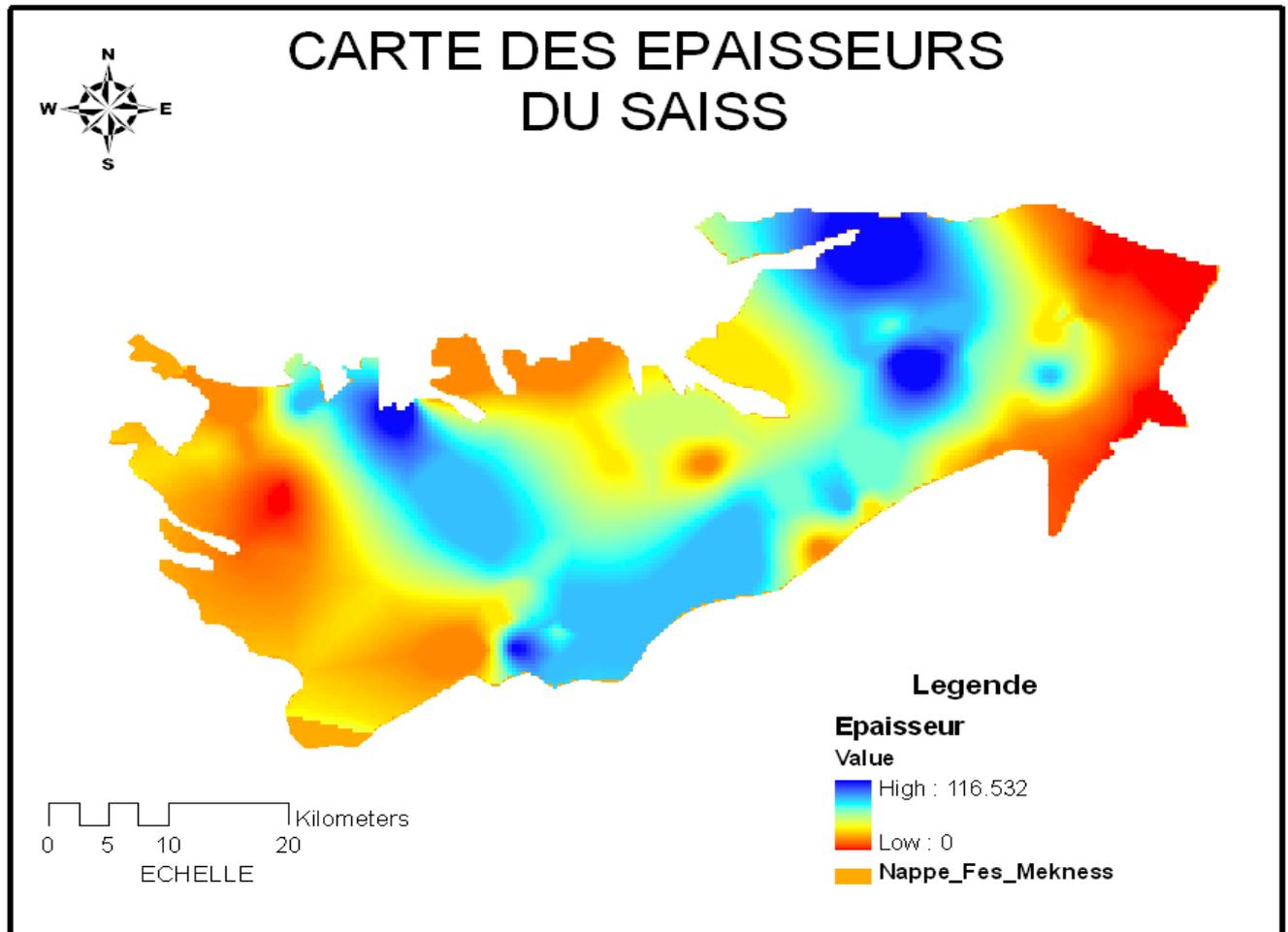


Figure 39 : Carte des épaisseurs du lias

L'épaisseur de la nappe Plio-quaternaire varie entre 10 et 80 m (Fig. 38), avec une moyenne d'environ 40 m (Amraoui, 2005).

Le volume de la nappe est estimé à **88817306207,467 m³ soit 88,8 M m³**. Si on considère ce volume et un coefficient d'emmagasinement moyen de la nappe de 1.8 %; les réserves totales de cette nappe seraient d'environ 1.5 milliards de m³. La plus grande partie de ces réserves est située au niveau de la plaine du Saïs.

V. Paramètres Hydrodynamique

1. Gradient hydraulique

On le calcule en plaçant 2 piézomètres distants de L mètres. Le gradient est le rapport entre la différence de niveau Dh des piézomètres et la distance L. On utilise également les cartes piézométriques en mesurant la distance entre 2 courbes isopiézométrique en mesurant la distance (hydroisohypses) consécutives.

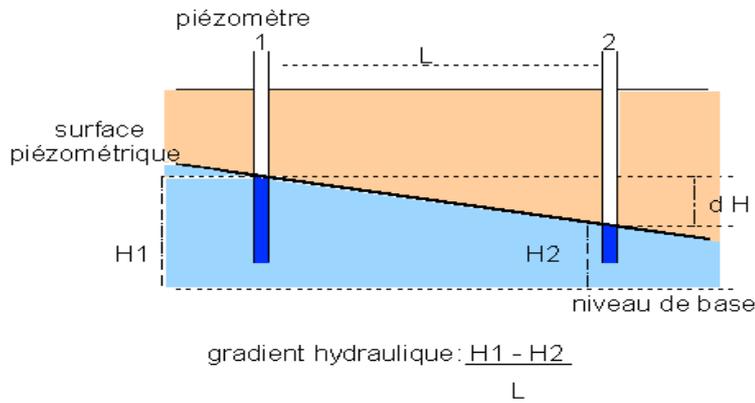


Figure 40 : calcul du gradient hydraulique avec 2 piézomètres.

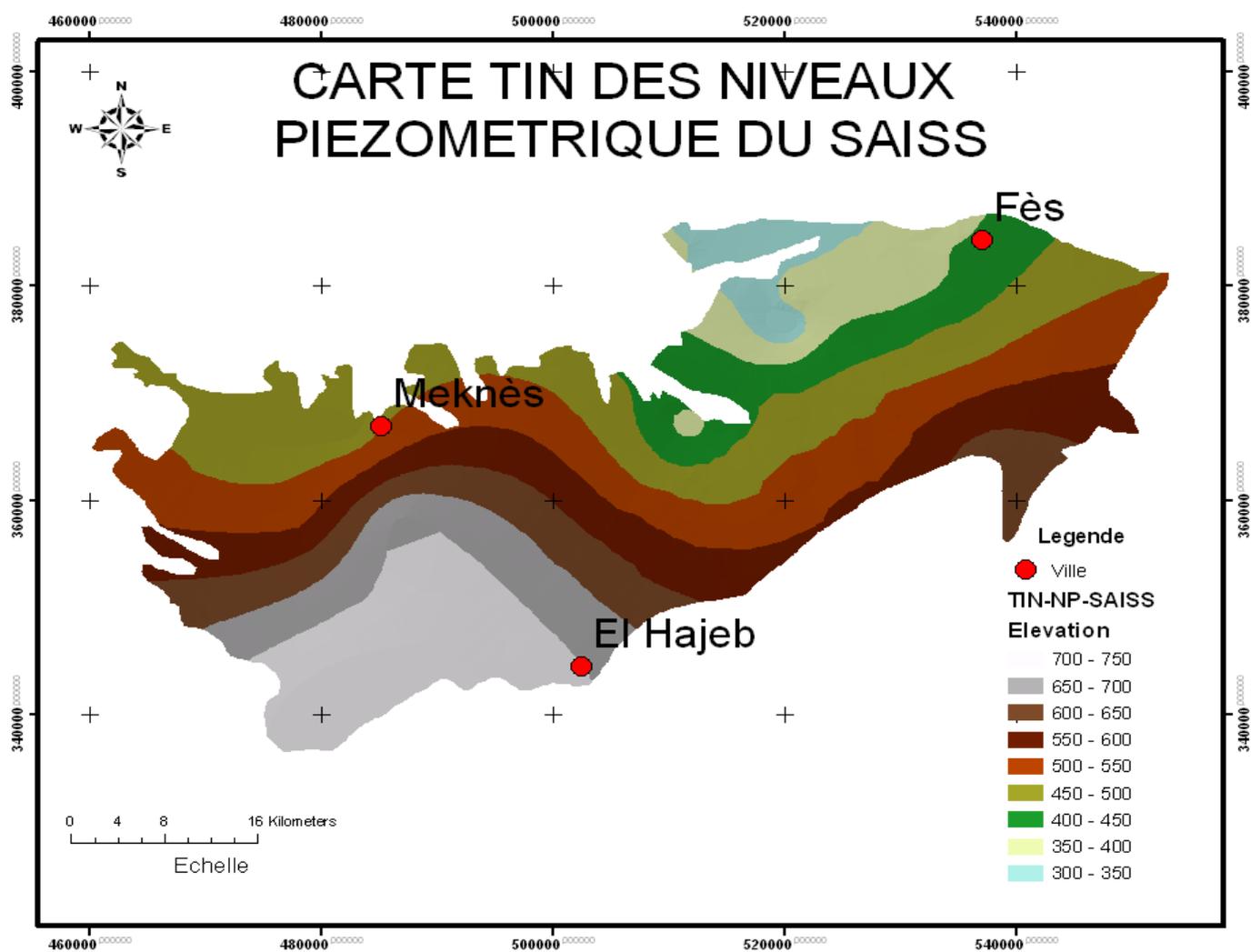


Figure 41 : Carte TIN DES niveaux piézométrique de la nappe phréatique

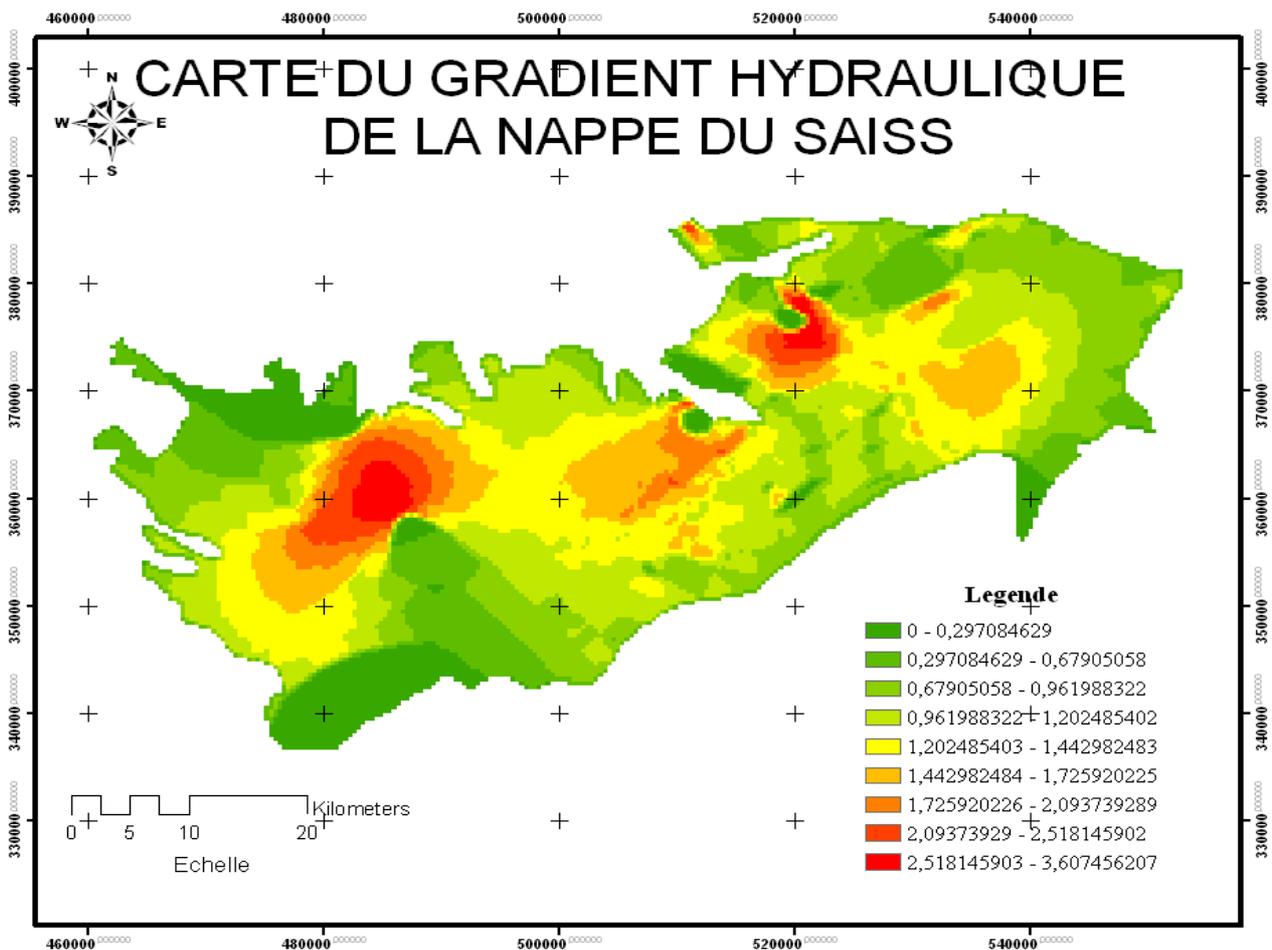


Figure 42 : Carte des gradients Hydraulique de la nappe du Saïss

Le gradient hydraulique de la nappe varie dans l'espace, et varie entre 0 et 3.6%.

Les gradients hydrauliques amont varient entre 0 et 1.4 % et ceux de la limite nord (aval hydraulique) avoisinent 1.4%.

Le gradient hydraulique moyen au niveau de l'ensemble de la nappe est d'environ 1.03 %.

2. Perméabilité

"La *perméabilité* est l'aptitude d'un réservoir à se laisser traverser par l'eau sous l'effet d'un gradient hydraulique" (G. CASTANY). Elle est mesurée notamment par le coefficient de perméabilité K défini par la loi de Darcy comme le volume d'eau gravitaire traversant une unité de section perpendiculaire à l'écoulement en 1 seconde sous l'effet d'une unité de gradient hydraulique. En prenant comme unités le m^2 et le m^3 , K est exprimé en m/s

Le coefficient de perméabilité dépend à la fois des caractéristiques du réservoir (granulométrie, porosité efficace) et des caractéristique du fluide (viscosité, donc température, et masse volumique). Il est grossièrement proportionnel au carré du diamètre des grains pour une nappe libre. Il varie de $10 m/s$ à $10^{-11}m/s$. Un matériau est considéré comme imperméable au delà de $10^{-9} m/s$.

Les perméabilités de la nappe varient généralement entre 1.10^{-5} m/s et 5.10^{-3} m/s, avec une valeur moyenne d'environ $6.6 \cdot 10^{-3}$ m/s. La classe la plus représentée est comprise entre 10^{-4} et 10^{-3} m/s. Cette perméabilité varie selon le faciès lithologique de la nappe, ainsi elle est comprise entre 1 et $7 \cdot 10^{-5}$ m/s au niveau de la limite Nord du plateau de Meknès et entre $2 \cdot 10^{-7}$ et $3 \cdot 10^{-5}$ m/s en bordure de la rive gauche amont de l'oued El Kell.

3. Transmissivité

La *transmissivité* caractérise la productivité d'un captage. C'est le produit du coefficient de perméabilité K par l'épaisseur de la zone saturée h.

$$T \text{ (m}^2\text{/s)} = K \text{ (m/s)} \cdot h \text{ (m)}$$

Les transmissivités de la nappe varient entre 1.10^{-4} et 4.10^{-1} m²/s, avec une valeur moyenne d'environ 2.10^{-2} m²/s. La classe la plus représentée est comprise entre 1.10^{-3} et 1.10^{-2} m²/s.

4. Diffusivité

La *diffusivité* est le rapport de la Transmissivité sur le coefficient d'emmagasinement; elle caractérise la vitesse de réaction d'un aquifère face à une perturbation.

La diffusivité moyenne est de la nappe est de 1,1.

5. Coefficient d'emmagasinement

Les coefficients d'emmagasinement de la nappe varient entre 0.1 et 6.5 %, avec une valeur moyenne de 1.8 % (SBOT, 1989).

6. Débit d'une nappe

C'est le volume d'eau traversant une section transversale de l'aquifère en une unité de temps. Son calcul est délicat; il faut connaître l'épaisseur de l'aquifère et l'écartement des courbes isopiézométriques. Pour les grandes nappes, on subdivise la section générale en sections élémentaires équipées de couples de piézomètres (forages d'essai).

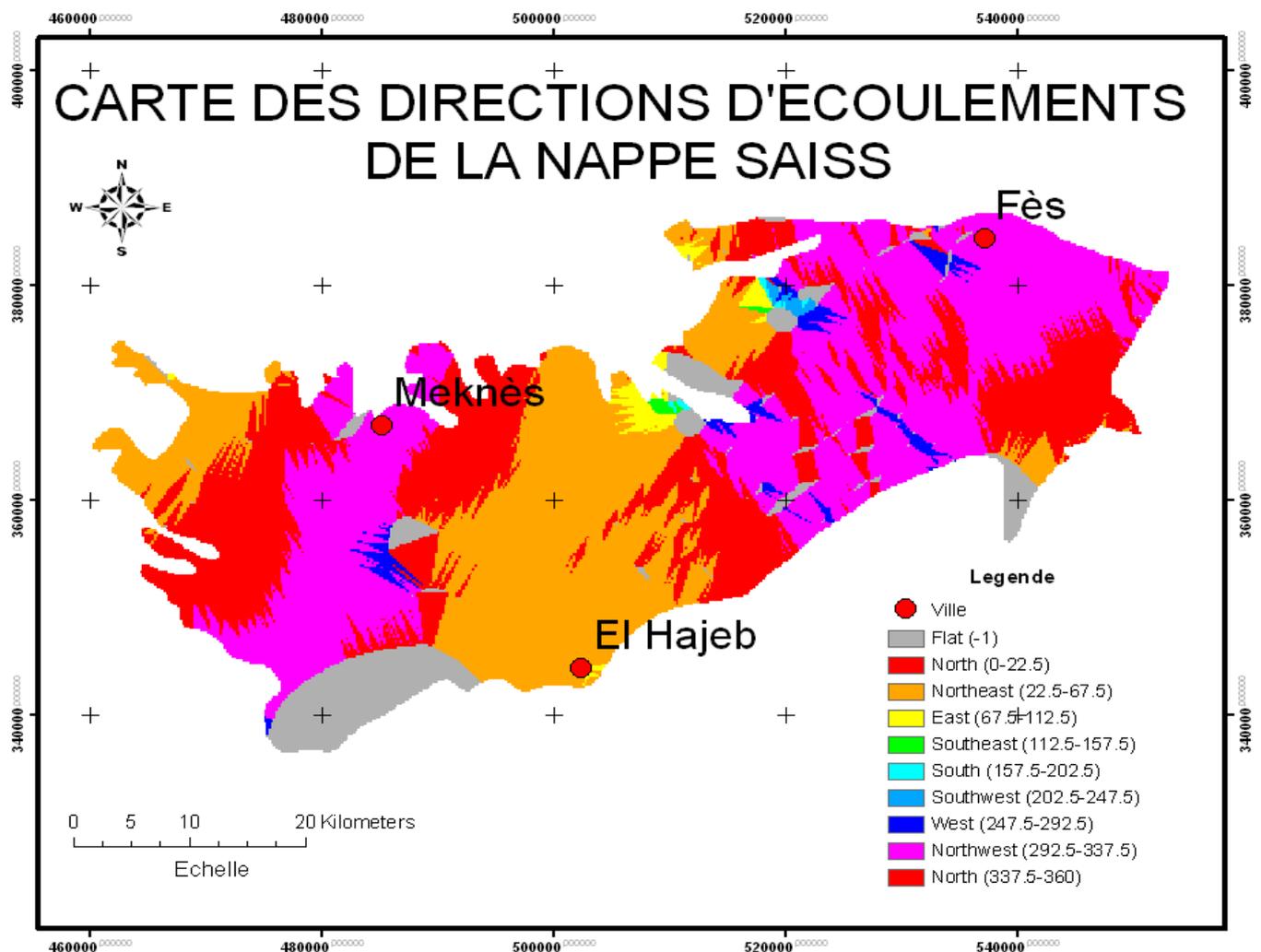
Le débit d'une nappe peut être évalué par la loi de Darcy:

$$Q = K \cdot A \cdot i$$

Avec

- ✓ Q: débit en m³/s
- ✓ K: coefficient de perméabilité en m/s
- ✓ A: section de la nappe en m²
- ✓ i: gradient hydraulique en %

$Q = 6,6.10^{-3} * 2261.10^8 * 1,03 = 15370000000 \text{ m}^3\text{/s environ } 15,4\text{Mm}^3\text{/an}$
--



L'écoulement des eaux dans le Nord et Nord-Ouest dans l'ensemble sauf dans la partie centrale où l'écoulement s'effectue au Nord-Est.

VI. HYDROCHIMIE DE LA NAPPE

La minéralisation de l'eau est très faible, le résidu sec est généralement inférieur à 0.5 g/l et dépasse rarement 1 g/l.

Seuls les secteurs de faible profondeur de surface de la nappe connaissent des minéralisations relativement importantes, comprises entre 2 et 2.5 g/l, en raison d'une forte évaporation de l'eau. Ces zones se trouvent dans la plaine de Douyet, au NE du bassin, où la profondeur de l'eau se trouve à moins de 10 m/sol.

La concentration en sels de l'eau varie également selon le faciès de la nappe. Les eaux des calcaires lacustres sont les plus douces (résidu sec compris entre 0.2 et 0.5 g/l), suivent ensuite celles des grès et sables du Pliocène (0.4 à 0.8 g/l) et enfin les eaux circulant dans les alluvions quaternaires (0.5 à 1.5 g/l).

Le faciès chimique de l'eau est le plus souvent bicarbonaté-calcique et magnésien (caractéristique des faciès calcaires) et très légèrement chloruré-sodique.

Les eaux sont basiques et incrustantes, du fait de leur forte teneur en carbonates.

VII. CALCUL DE L'ALIMENTATION EN EAU

L'alimentation principale de la nappe est assurée par l'infiltration des eaux de pluie, l'abouchement avec la nappe du Lias au niveau de la limite sud du bassin, le retour des eaux d'irrigation issues notamment des sources de la nappe profonde (Lias) et par la drainance ascendante à partir de la nappe profonde du Lias au centre du bassin.

1. Infiltration des eaux de pluie

Le volume de l'infiltration est calculé dans le chapitre 2.

10% des eaux de précipitation s'infilte dans la nappe du Saïss soit environ un volume de recharge par infiltration de **124,7Mm³/an**

2. Abouchement avec la nappe du Lias au niveau de la limite sud du bassin

Ce débit a été calculé avec la méthode de Darcy : $Q \text{ (m}^3\text{/s)} = T \times i \times L$

Avec :

T= Transmissivité (m²/s) de la nappe au contact avec les calcaires libres du Lias ;

i =Gradient hydraulique de la nappe au niveau de la bordure sud du bassin ;

L= Largeur de front de nappe (m) au niveau de la bordure sud du bassin.

Les transmissivités des formations Plio-villafranchiennes sont faibles au niveau de la bordure sud du bassin, généralement inférieures à 10⁻⁴ m²/s, nous adopterons une transmissivité moyenne comprise entre 1 et 2 10⁻⁴ m²/s, soit un débit moyen de :

$Q = 1 \text{ à } 2 \cdot 10^{-4} \times 1.2 \cdot 10^{-2} \times 70 \cdot 10^3$, soit environ 0.1 à 0.15 m³/s (environ 3 à 5 Mm³/an), valeurs de même ordre de grandeur que celles calculées par le modèle de 1990 et par le PDAIRE de 1989.

3. Retour des eaux d'irrigation

L'irrigation des cultures se fait à la fois à partir des eaux souterraines et des eaux superficielles, issues de la dérivation des sources drainant le système aquifère du bassin de Fès-Meknès.

Ré infiltration des eaux souterraines prélevées dans le système aquifère de Fès-Sais

Les superficies irriguées à partir des eaux souterraines ont été évaluées à **39250,22 ha** en 2005 (base de données des irrigations privées).

Les besoins nets moyens en eau des plantes sont évalués à 9450,738181m³/ha/an.

Le volume total d'eau souterraine prélevé dans les nappes du bassin et utilisé pour l'irrigation, serait donc d'environ 290 millions de m³ par an, soit environ 5 m³/s.

En considérant une fraction moyenne de 10 % de ce volume retourne à la nappe phréatique par ré-infiltration, le volume de sa recharge à partir des eaux d'irrigation d'origine souterraine, serait d'environ **29 Mm³/an (environ 0.5 m³/s)**.

Ré infiltration des eaux superficielles utilisées dans l'irrigation

Les superficies irriguées à partir des eaux de surfaces ont été évaluées à 16530,73 ha en 2005 (base de données des irrigations privées).

Les besoins nets moyens en eau des plantes sont évalués à 6539,03m³/ha/an.

Le volume total d'eau superficielle prélevé dans le bassin et utilisé pour l'irrigation, serait donc d'environ 74,4 millions de m³ par an, soit environ 5 m³/s.

En considérant une fraction moyenne de 10 % de ce volume retourne à la nappe phréatique par ré-infiltration, le volume de sa recharge à partir des eaux d'irrigation d'origine souterraine, serait d'environ **7,44 Mm³/an (environ 0.5 m³/s)**.

Le volume total de recharge de la nappe phréatique du bassin de Fès-Meknès à partir des eaux d'irrigation (superficielles et souterraines) serait d'environ 35,2 Mm³/an, soit environ 1.14 m³/s.

4. Alimentation par drainance verticale ascendante à partir de la nappe du Lias

Cette alimentation se fait notamment à la faveur de failles subverticales qui affectent les marnes miocènes intercalées entre les nappes phréatique et profonde. Elle a été évaluée par le modèle de 1990 à **environ 20 Mm³/an** et se fait notamment au niveau des secteurs d'Aïn Ribaâ-Bittit et de Cheggag.

Le volume total de l'alimentation de la nappe phréatique du bassin de Fès-Meknès s'élèverait donc à environ

$$V_a = V_{ip} + V_{ii} + V_{ad}$$

Avec V_a : Volume d'alimentation

V_{ip} : Volume d'infiltration des précipitations

V_{ab} : Volume d'abouchement limite Sud

V_{ii} : volume d'infiltration des irrigations

V_a : Volume d'alimentation par drainance

$$V = 124,7 + 4 + 36,3 + 20 = 185 \text{ Mm}^3/\text{an}$$

VIII. CALCUL DES SORTIE DE LA NAPPE

Les sorties de la nappe sont constituées par :

- ▲ les prélèvements dans les puits et forages pour la satisfaction des besoins de l'irrigation. L'enquête des prélèvements effectuée en 2004 par l'ABHS n'indique pas l'origine de l'eau (nappe captée) prélevée dans les ouvrages inventoriés, nous faisons l'hypothèse que 80% des volumes prélevés proviennent de la nappe superficielle (en raison des profondeurs importantes de la nappe du Lias et de l'utilisation des eaux des sources et oueds en bordure des Causses), soit un débit prélevé d'environ 243,9 Mm³/an;
- ▲ les prélèvements pour l'alimentation en eau potable estimés sur la base des besoins en eau de la population à 53,7 Mm³/an ;
- ▲ le drainage des sources et des oueds. Les débits drainés par ces exutoires naturels de la nappe phréatique 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 du bilan global des ressources en eau du système aquifères de Fès-Meknès.

IX. BILAN DE LA NAPPE

Les historiques piézométriques enregistrent généralement une baisse des niveaux de la nappe, variant selon les secteurs. Cette baisse est la conséquence du déficit de la recharge de la nappe (notamment depuis le début des années 80) et de l'augmentation des prélèvements, notamment ceux utilisés pour l'irrigation des cultures. Une baisse moyenne des niveaux de la nappe de 1 m sera considérée pour l'ensemble de la nappe.

En considérant un coefficient d'emménagement moyen de 1.8 %, cette baisse engendre un volume de déstockage de la nappe d'environ 63 Mm³/an, soit environ.

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

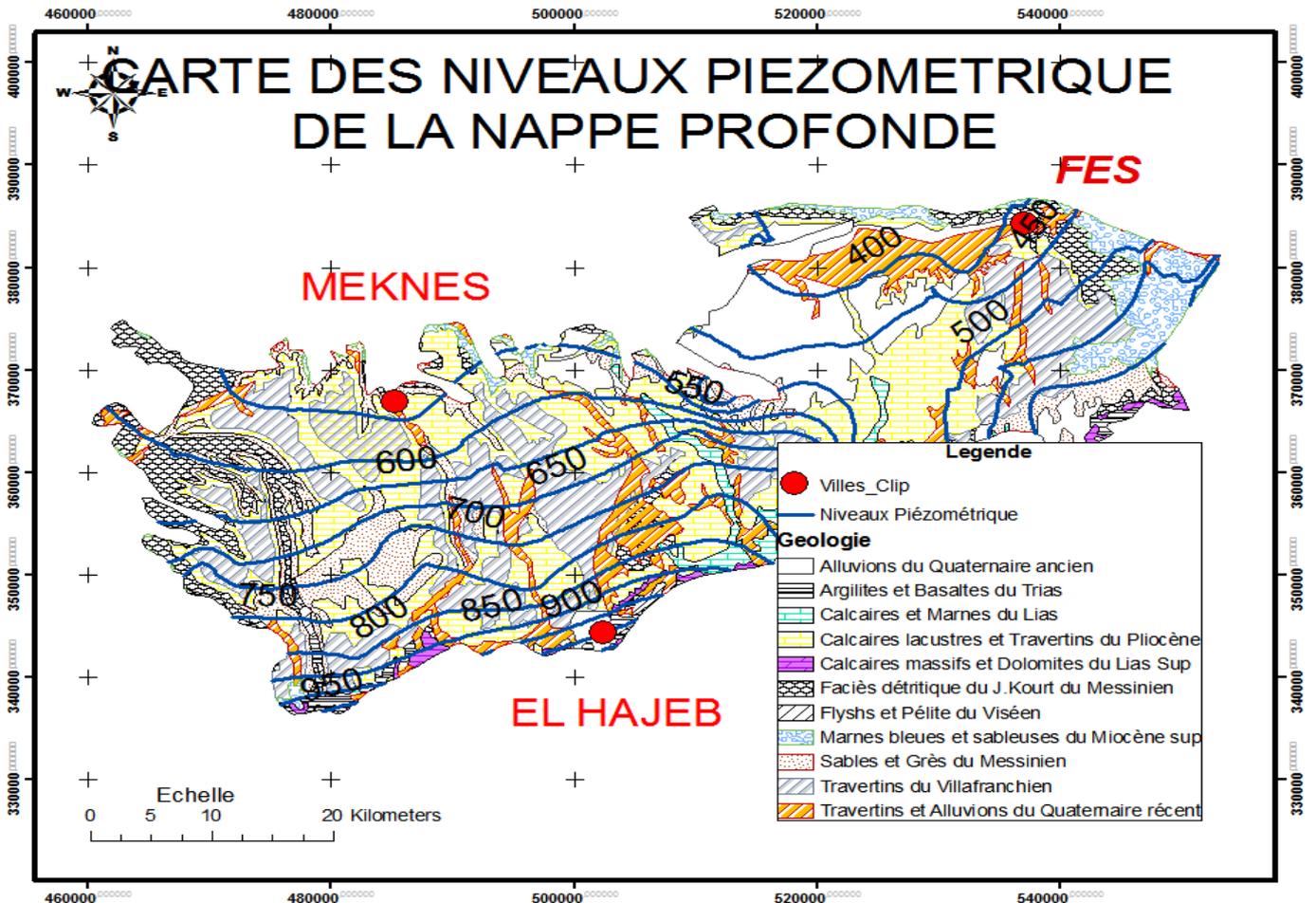


Figure 43 : Carte des niveaux piézométrique de la nappe du Lias

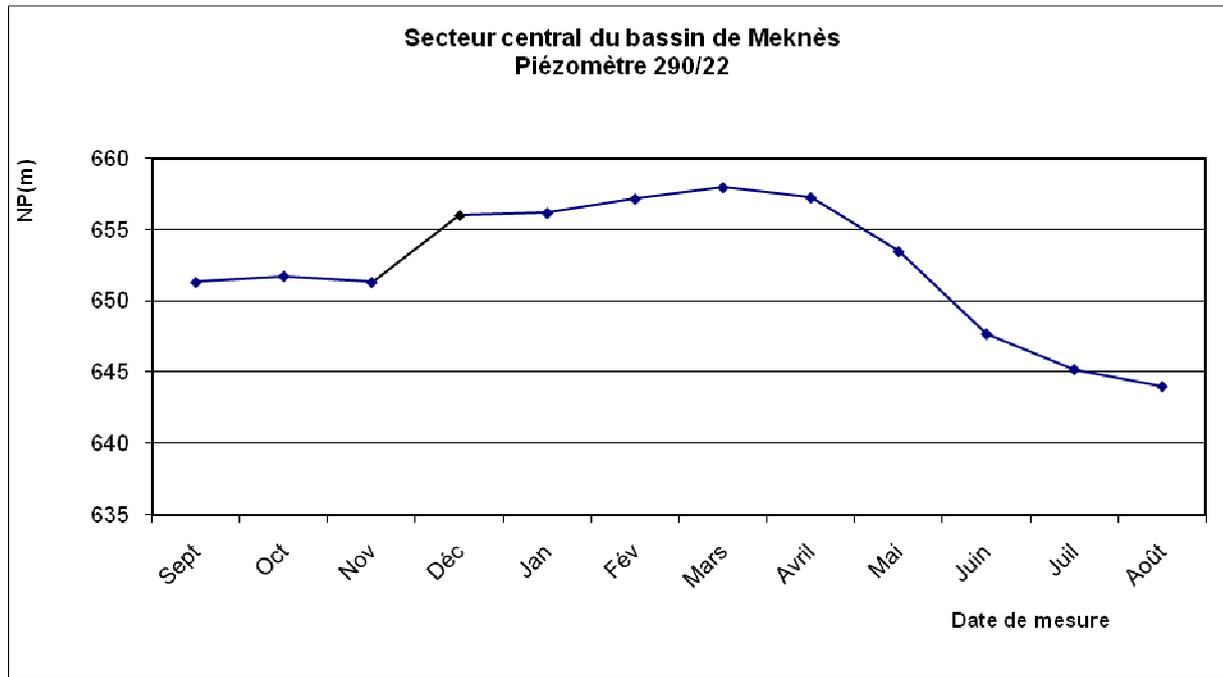
La carte piézométrique de la Fig. 43 a été élaborée à partir des mesures des niveaux d'eau effectuées par l'ABH Sebou en février 2005. 70 mesures ont été effectuées, au niveau de 3 forages et de 67 sources.

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'emmagasinement (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.



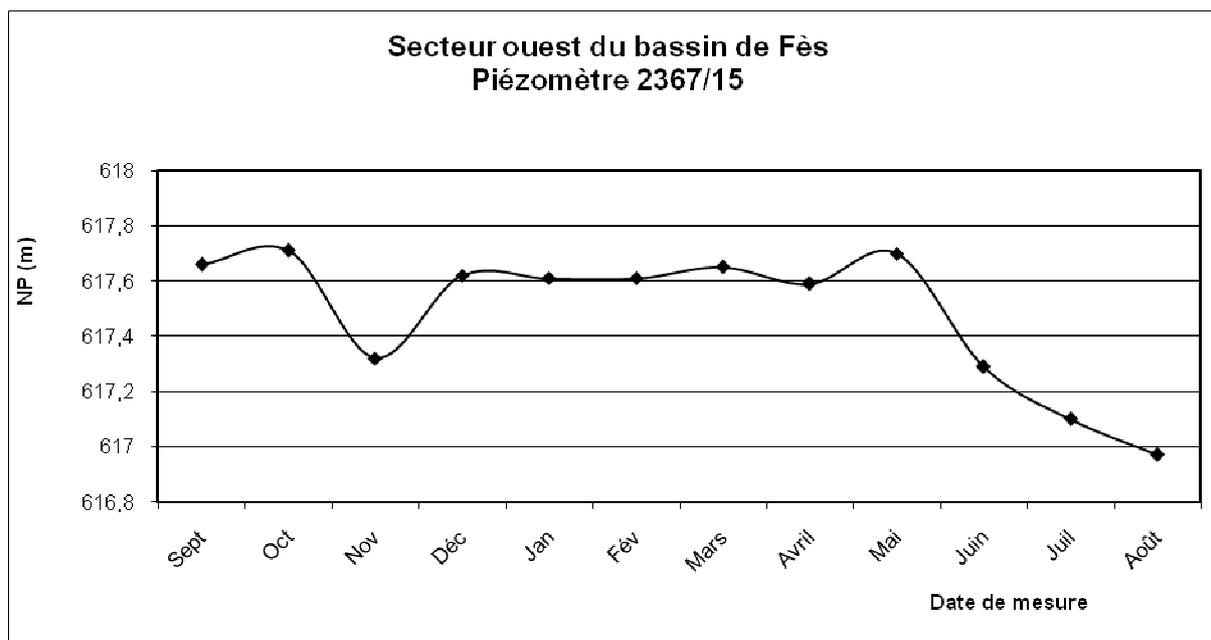


Figure 44 : Fluctuations piézométriques saisonnières de la nappe du Lias du bassin de Fès-Meknès

b. Fluctuations interannuelles des niveaux de l'eau

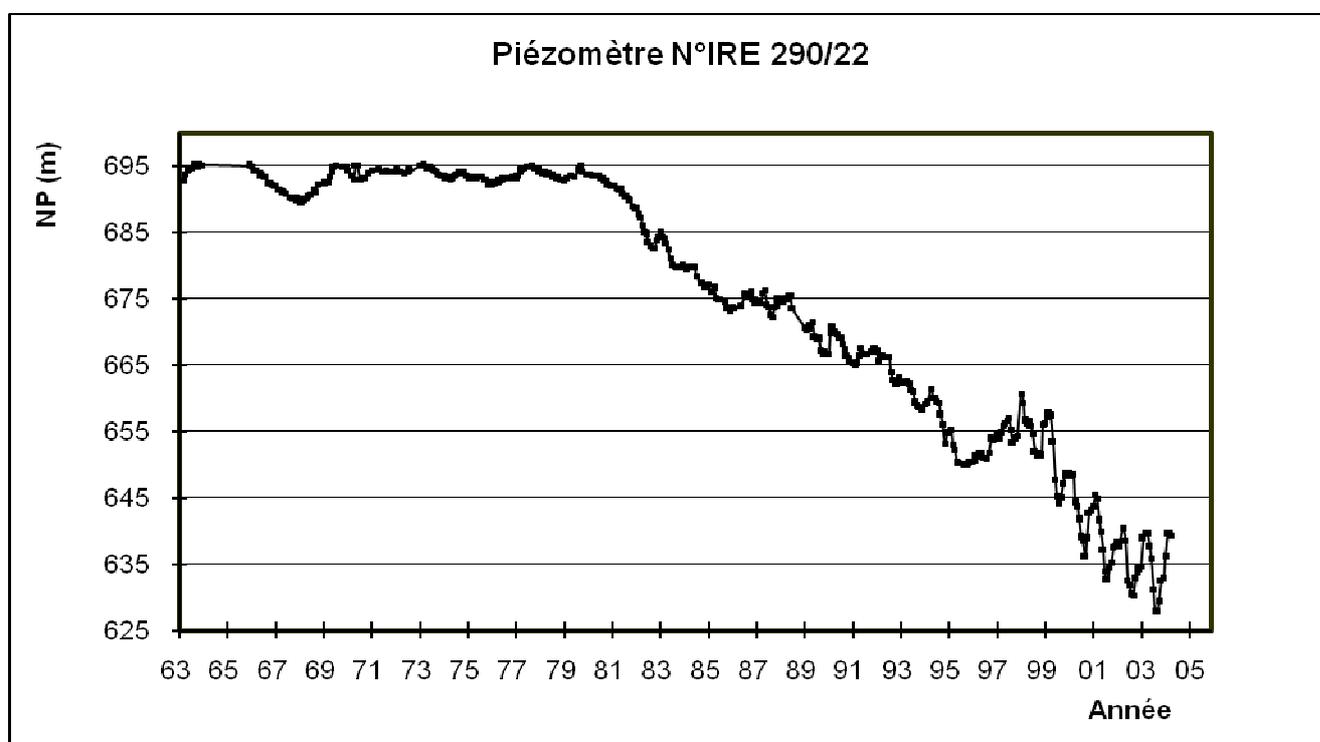


Figure 45 : Historique piézométrique de la nappe du Lias (Sud du plateau de Meknès)

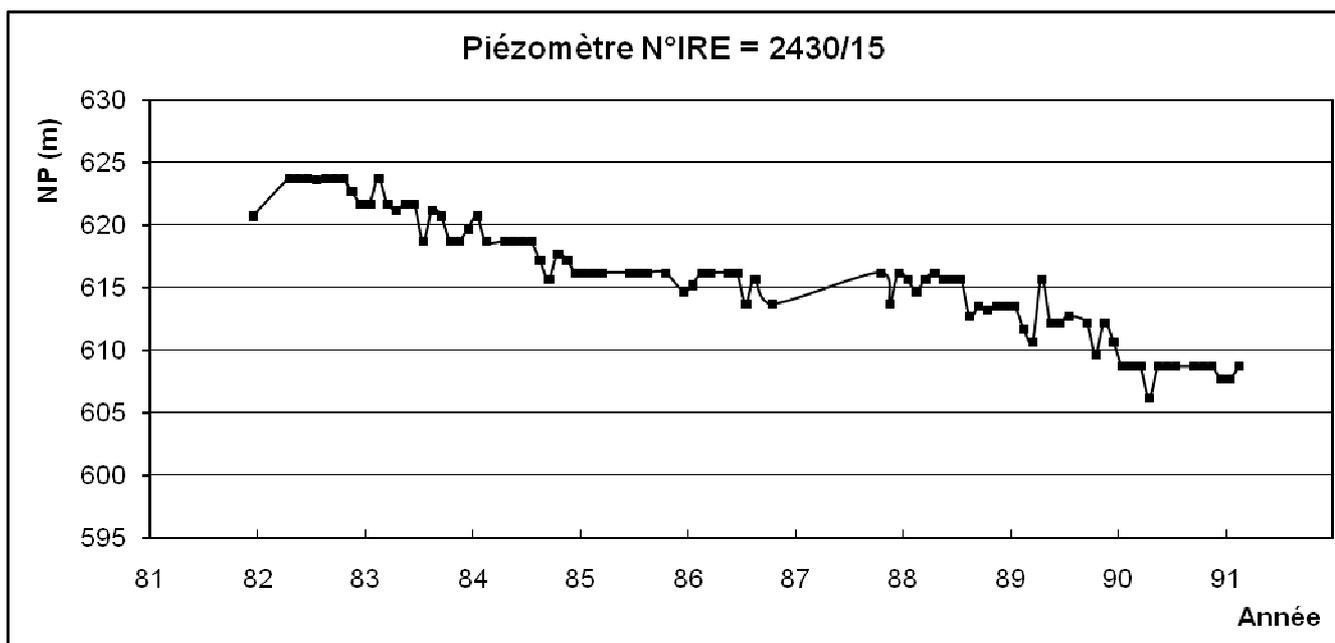


Figure 46 : Historique piézométrique de la nappe du Lias (Ouest du bassin de Fès)

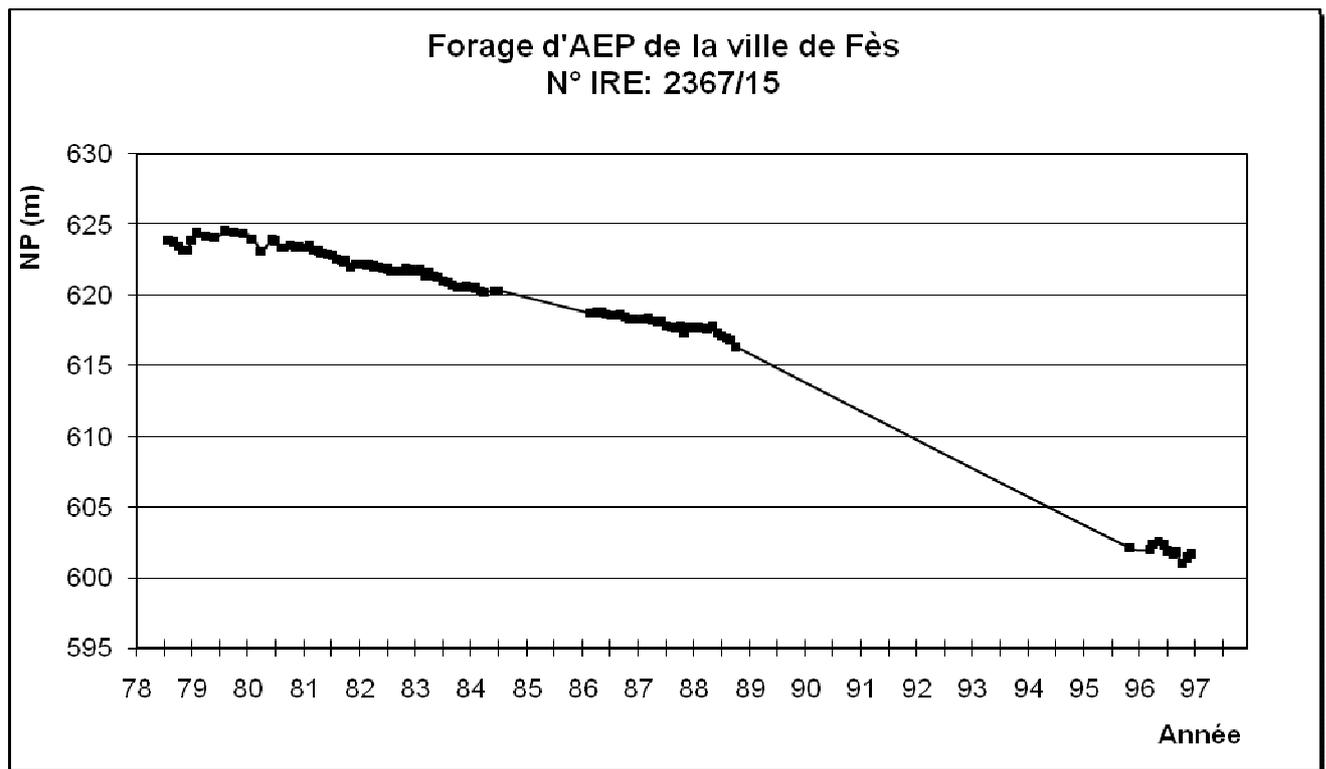


Figure 47 : Historique piézométrique de la nappe du Lias (limite Sud du bassin de Fès)

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

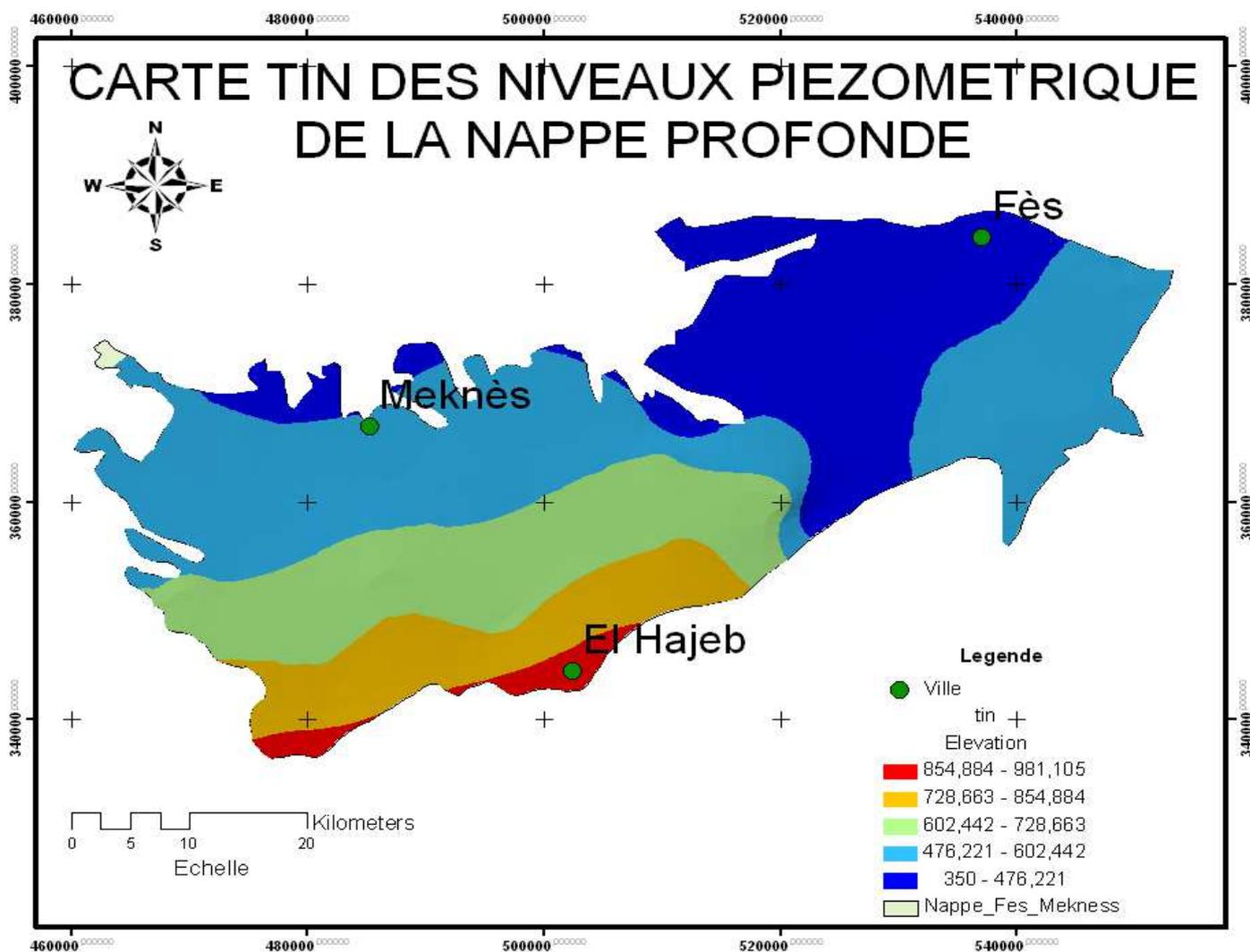


Figure 48 : Carte TIN des niveaux piézométrique de nappe du Lias

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.

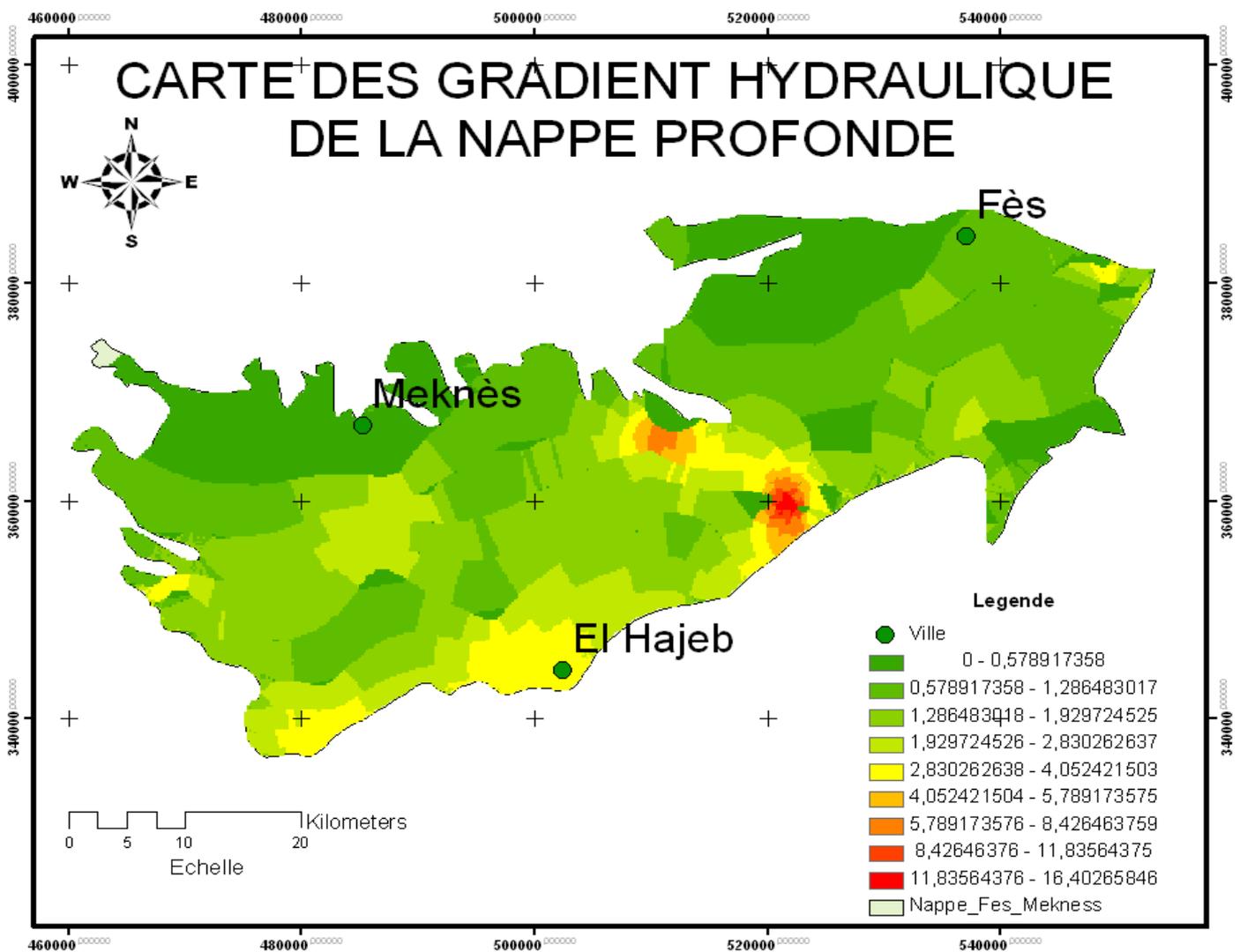


Figure 49 : Carte des gradients hydraulique de la nappe du lias

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} m²/s. Environ 80 % des valeurs sont comprises entre 10^{-4} et 10^{-2} m²/s.

Les secteurs les plus productifs de la nappe ($T > 10^{-2}$ m²/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 ($T < 10^{-4}$ m²/s) sont situés notamment au nord et au sud de l'axe Agourrai- Fès.

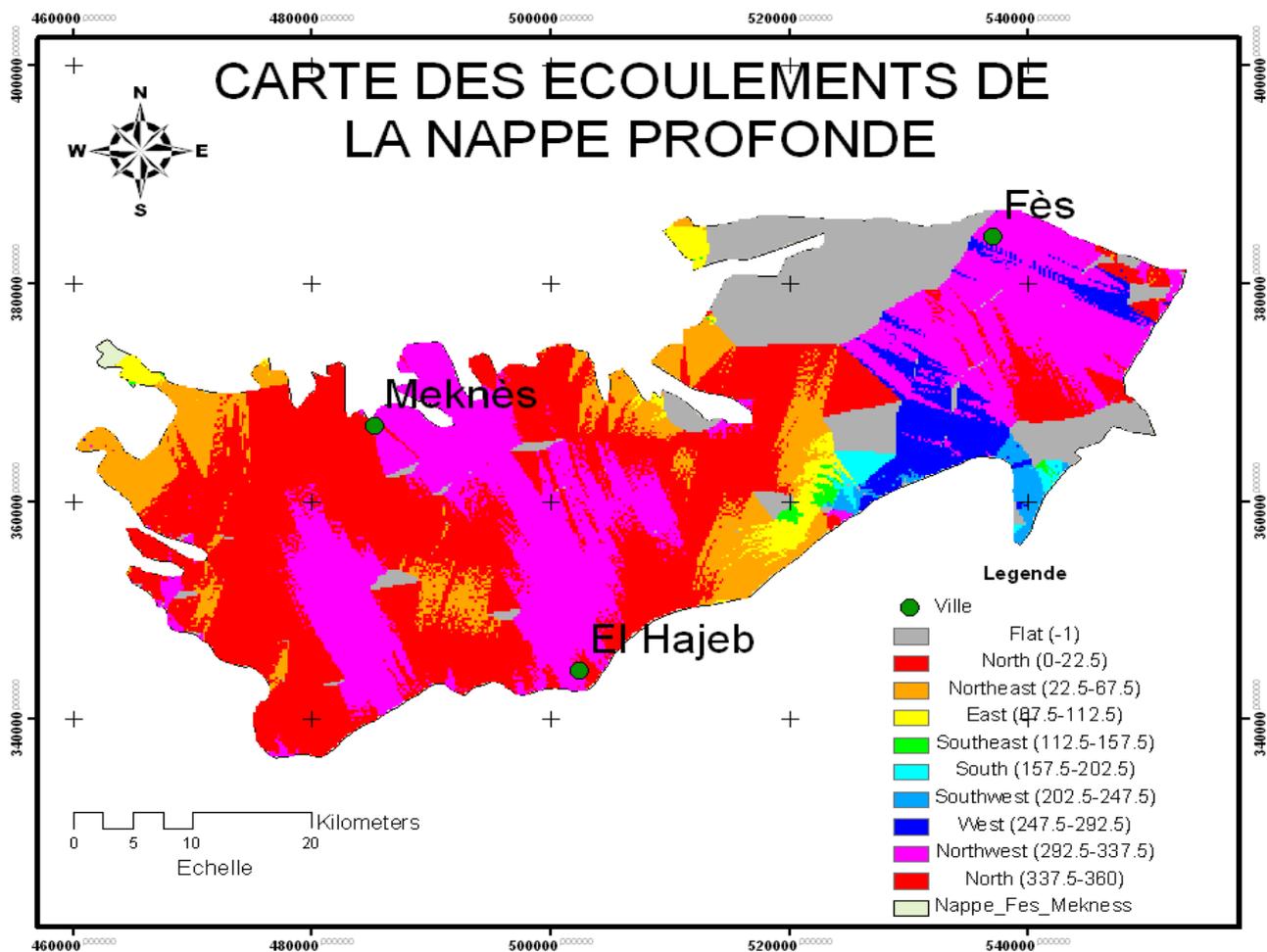


Figure 50 : carte des écoulements des eaux de la nappe du lias.

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

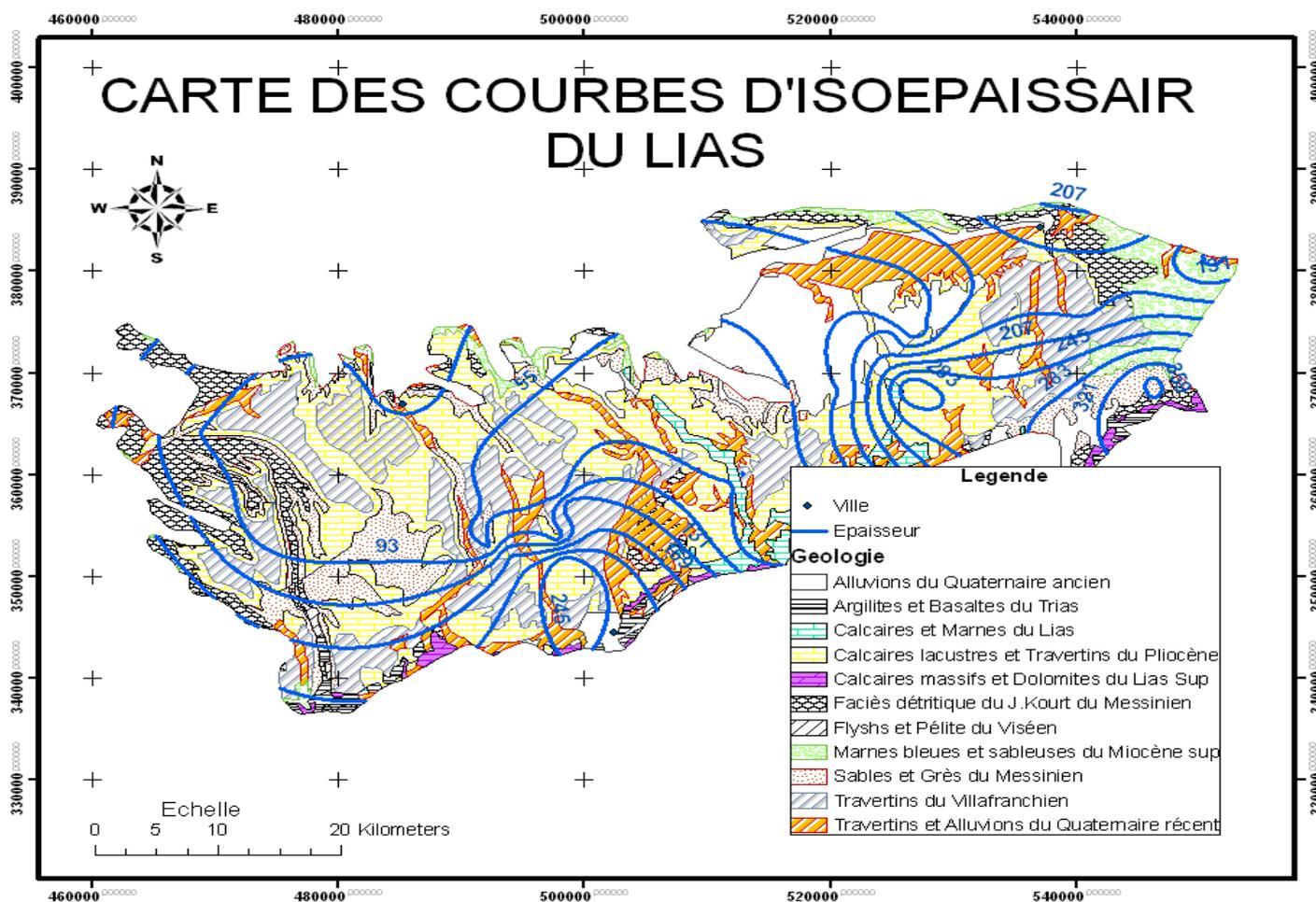


Figure 51 : Carte des courbes d'isopiésomètres de la nappe du lias.

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.

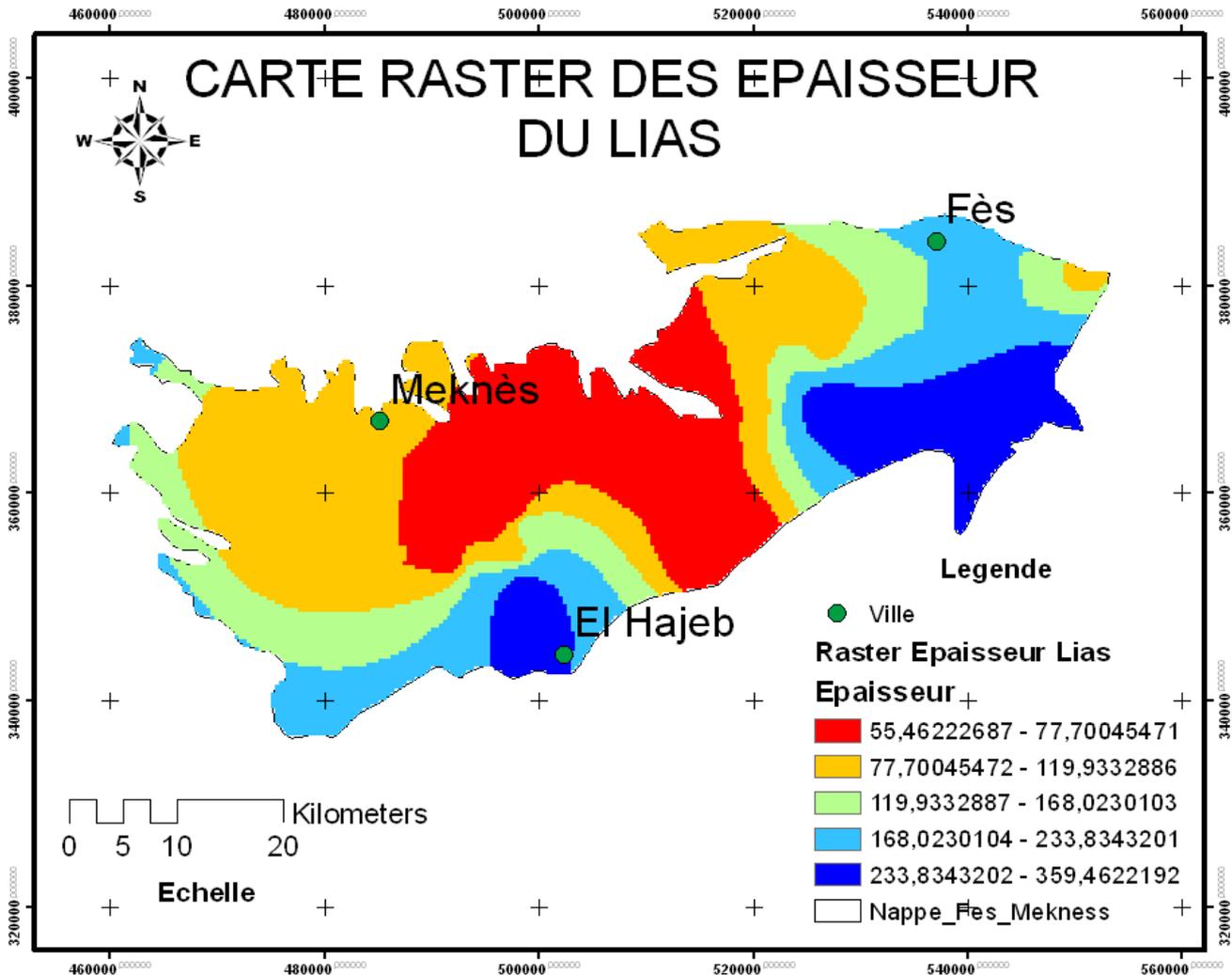


Figure 52 : carte raster des épaisseurs du lias

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 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 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).

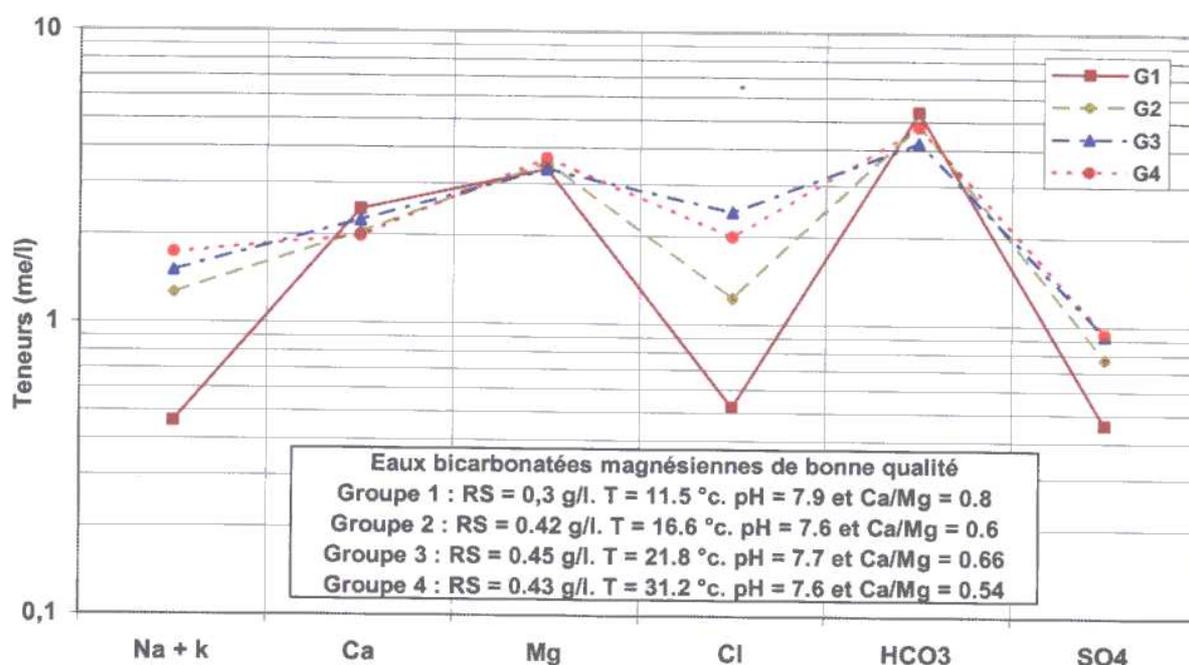


Figure 53 : Faciès chimique des eaux des formations calcaires et dolomitiques du Lias Amraoui, 2005 (ABHS)

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^3/an . Ce débit est réparti en 25 Mm^3/an pour le bassin d'Agourrai, 30 Mm^3/an pour le bassin de Hajeb-Ifrane et 46 Mm^3/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 Mm³/an par le modèle de 1990 ;
- ▲ l'alimentation de la nappe superficielle au niveau des limites sud du bassin ; évaluée à environ 4 Mm³/an ;
- ▲ les prélèvements agricoles : sont estimées à **4,6** Mm³/an
- ▲ les prélèvements pour l'alimentation en eau potable des villes du bassin sont estimé à 0,4 Mm³/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 Mm³/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 Mm³/an);
- la recharge de la nappe phréatique à partir du retour des eaux d'irrigation au niveau des périmètres irrigués : environ 35,2 Mm³/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 Mm³/an.

Les entrées totales des nappes du bassin de Fès-Meknès s'élèvent donc à environ 264,8 Mm³/an.

Les sorties d'eau souterraine sont constituées par :

- le drainage des sources : évalué en 2005 par l'ABHS à environ 47 Mm³/an (environ 1.5 m³/s) ;
- le drainage des oueds : évalué en 2005 par l'ABHS à environ 34.5 Mm³/an (environ 1.1 m³/s) ;
- les prélèvements agricoles : environ 290 Mm³/an;
- les prélèvements pour l'AEP urbaine et rurale : environ 91,8 Mm³/an.

Le volume total des sorties d'eau souterraine des nappes constituant le bassin de Fès-Meknès s'élèverait donc à environ 463,3 Mm³/an.

Le déstockage d'eau global du système aquifère de Fès-Meknès (évalué à partir des historiques piézométriques) s'élève à environ 101 Mm³/an, réparti entre environ 38 Mm³/an pour la nappe phréatique et 63 Mm³/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 ³ /an)		Entrées (Mm ³ /an)		Bilan (Mm ³ /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	
TOTAL	260.9	TOTAL	463.3	

Tableau 10 : Bilan du système aquifère Fès-Meknès

CONCLUSION

Le Bassin de Fès-Meknès reçoit une alimentation, sous forme de pluie, 1247 Mm³/an au cours de l'année moyenne théorique. Le volume d'eau ruisselée représente 72 Mm³/an, le

coefficient de ruissellement qui en résultent étant de 5,7 % pour la plaine. Le volume global infiltré alimentant la nappe libre du bassin et la nappe profonde, s'élève à 124,7 Mm³/an, le « coefficient d'infiltration » qui en résultent ayant pour valeur 10 % dans la plaine. L'évapotranspiration réel est estimé à plus de 1050 Mm³/an soit un coefficient de 85,9% d'eau de pluie.

Le bilan approximatif des nappes montre qu'il y a un déficit d'environ 202,9 Mm³/an (environ 6.3 m³/s), qui se traduit par un approfondissement continu des surfaces des deux nappes constituant le système aquifère de Fès-Meknès, une baisse de l'artésianisme naturel de certains secteurs de la nappe captive et une diminution significative du débit de la majorité des oueds et sources, dont certaines ont même définitivement tari.

Ce déficit est la conséquence d'une diminution importante de l'alimentation des nappes libre et profonde du bassin (notamment depuis le début des années 1980) et de l'augmentation des prélèvements agricoles et d'AEP.

Une augmentation des prélèvements ne peut donc qu'accentuer ce déficit et aggraver la baisse du débit des sources et des oueds, dont les conséquences socio-économiques néfastes (agriculture, AEP, tourisme, thermalisme, etc.) sont très importantes.

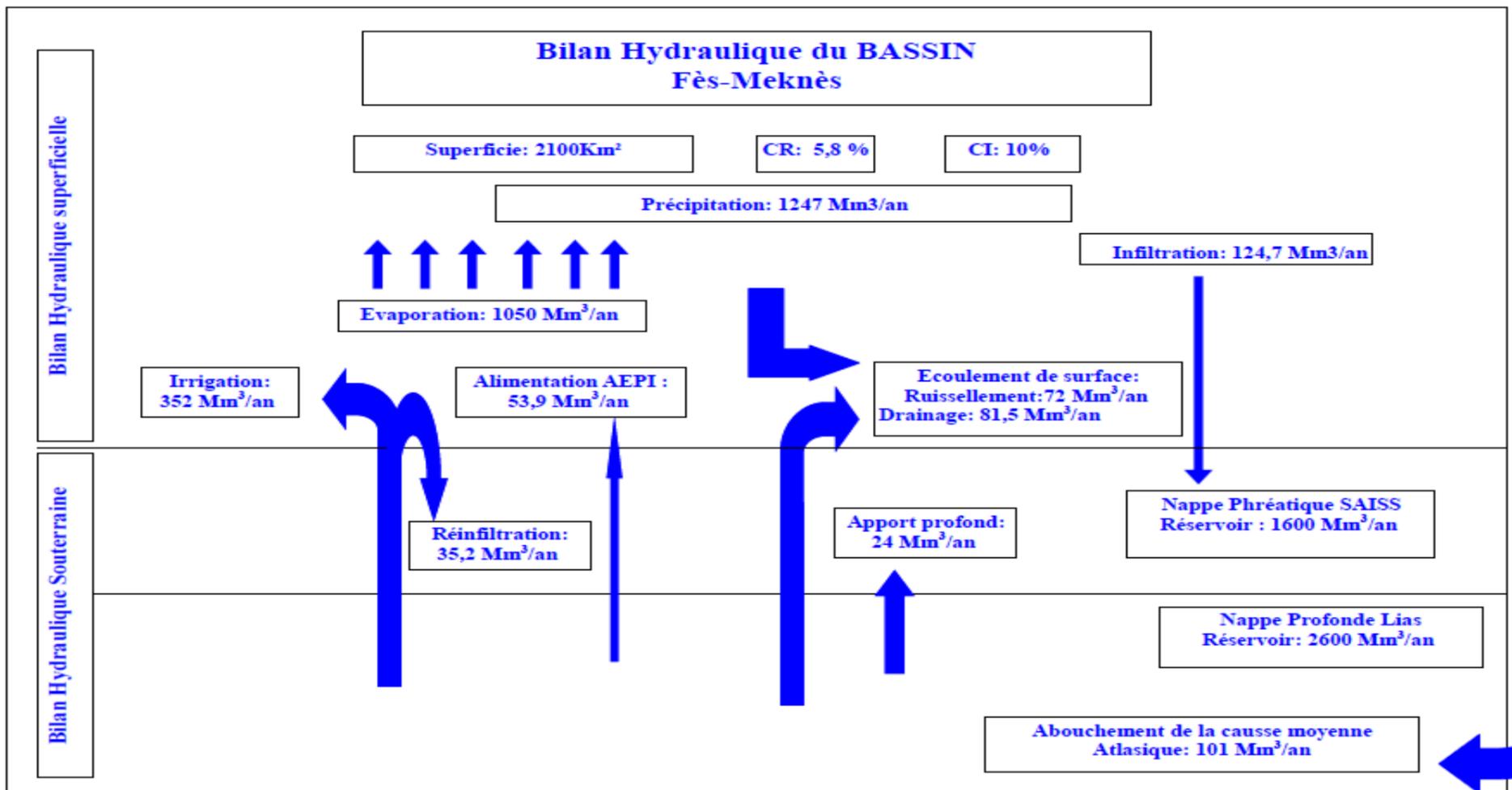


Figure 54 : Bilan global du bassin Fès-Meknès



Bibliographie

- ▲ Etude d'actualisation du plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau du bassin hydraulique de Sebou. Mission 0 – Présentation du bassin du Sebou. *Agence du Bassin Hydraulique Sebou-Fès, Octobre 2004.*
- ▲ Etude d'actualisation du plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau du bassin hydraulique de Sebou. Mission I – Evaluation des ressources en eau- Mission I.1 – Eau de surface- Mission I.2 – Eau souterraine *Agence du Bassin Hydraulique Sebou-Fès, Mai 2005.*
- ▲ Etude d'actualisation du plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau du bassin hydraulique de Sebou. Mission. Mission III – Évaluation et Projection des Besoins et des Demandes en Eau –Tome 1 – Secteur Eau Potable et Industriel. *Agence du Bassin Hydraulique Sebou-Fès, Mai 2007.*
- ▲ Etude d'actualisation du plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau du bassin hydraulique de Sebou. Mission III – Étude de la demande en eau du secteur agricole. *Agence du Bassin Hydraulique Sebou-Fès, Décembre 2006.*
- ▲ Le bassin versant du Sebou. *Agence du Bassin Hydraulique Sebou-Fès, Février 2003*
LE BASSIN DE MEKNES-FES
- ▲ LE BASSIN DE MEKNES-FES par Jean CHAMAYOU, Michel COMBE, Bernard GENETIER & Claude LECLERC.
- ▲ **Tutoriel ArcGis Cartothèque par Jean-Marie-Roy**
- ▲ Benjbara A., 1987. Observations sur les sources de la plaine de Fès-Meknès. Article de la revue eau et développement. Edition DRPE. P31 a 37.
- ▲ **DUBREUIL P., 1974.** Initiation à l'analyse hydrologique (dix exercices suivies des corrigés).



Webographie

- ✓ http://www.esrifrance.fr/sig2005/communications2005/smida_habib/smida.htm
- ✓ <http://www.forumsig.org/>
- ✓ <http://www.cgiar-csi.org/data/elevation/item/45-srtm-90m-digital-elevation-database-v41>