TABLE DES MATIERES

DEDICACES ..... **I**

REMERCIEMENTS ..... **II**

RESUME ..... **III**

Abstract ..... **IV**

TABLE DES MATIERES ..... **V**

LISTE DES TABLEAUX ..... **IX**

INTRODUCTION GENERALE **1**

PARTIE I : PRESENTATION GENERALE DE LA NAPPE FES-MEKNES **3**

1. Contexte géographique 4
2. Contexte géologique 5
3. Contexte hydrologique 6
   a. Réseau hydrographique 6
   b. Les sources d'eaux 7
4. Contexte hydrogéologique 7
   a. Nappe phréatique du bassin du Fès-Meknès 7
   b. Nappe profonde du Lias 9
5. Contexte climatologique 10
   a. Les Précipitations 10
   b. La Température 11
   c. L'évapotranspiration 12

PARTIE II : LES CONTRAINTES DE DEVELOPPEMENT ET LA VULNERABILITE A LA POLLUTION DE LA NAPPE FES-MEKNES **13**

CHAPITRE I : LES CONTRAINTES DE DEVELOPPEMENT DES EAUX SOUTERRAINES DE LA NAPPE FES-MEKNES **14**

INTRODUCTION **14**

I. LES CONTRAINTES NATURELLES **14**

a. Variation spatiale des précipitations 14

b. Répartition temporelle des précipitations 15

II. LES CONTRAINTES ANTHROPIQUES **16**

a. La pollution d'origine domestique et industrielle 16

b. La pollution d'origine agricole 16

   c. La pollution par les décharges publiques 17
   d. La pollution accidentelle 17

CHAPITRE II : SITUATION ACTUELLE DE LA QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES DE LA NAPPE FES-MEKNES **18**

INTRODUCTION **18**

1. hydrochimie de la nappe FES-MEKNES 18
2. Qualité des eaux souterraines de la plaine de Fès-Meknès – Evolution temporelle 18

CONCLUSION **23**

CHAPITRE II : VULNERABILITE DE LA NAPPE A LA POLLUTION 24
INTRODUCTION 24
I. DEFINITION ET BUT DE LA VULNERABILITE 24
II. CONCEPT DES CARTES DE VULNERABILITE 26
III. Choix des méthodes DRASTIC et GOD utilisées dans le cadre de cette étude 26
IV. LA METHODE DRASTIC 27
a. Principe de la méthode DRASTIC 29
b. Paramètres hydrogéologiques 29
1. Profondeur de la nappe (D) 29
La profondeur de la nappe d'eau est un paramètre important, qui constitue un facteur 29
2. Recharge nette/Infiltration efficace (R) 31
3. La zone saturée ZS et type d'aquifère (A) 32
4. Type de sol (S) 34
5. Topographie(T) 34
6. La zone non saturée ZNS (Vadose) (I) 35
7. Conductivité hydraulique (Perméabilité) 36
c. Carte de vulnérabilité 38
V. LA METHODE GOD 39
i. Type d'Aquifère 41
ii. Lithologie de la ZNS de l'aquifère 41
iii. Profondeur (Depth) à la surface de la nappe 41
iv. Carte de vulnérabilité 41
PARTIE III : LA SUREXPLOITATION ET RISQUE DE SECHERESSE DE LA NAPPE FES-MEKNES 43
CHAPITRE I : INFLUENCE DE LA SUREXPLOITATION SUR LA NAPPE 44
INTRODUCTION 44
1. Évolution des points d'eau sur le bassin de Fès-Meknès 44
2. Localisation, types et caractéristiques des points d'eau 45
3. Caractéristiques des points d'eau 46
CONCLUSION 50
Chapitre II : Risque de sécheresse des eaux souterraines de la nappe Fès-Meknès 51
INTRODUCTION 51
I. BILAN DU SYSTEME AQUIFERE DE FES-MEKNES 52
II. VARIATIONS INTERANNUELLES DES NIVEAUX DE L'EAU DE LA NAPPE 54
III. EVOLUTION DES DEBITS DANS LES COURS D'EAU ET LES SOURCES DU BASSIN FES-MEKNES 58
a. Les cours d'eau 58
b. Évolution des débits des sources 61
CONCLUSION 63
CHAPITRE III : PROPOSITION DES SCENARIOS 59
CONCLUSION GÉNÉRALE 62
***BIBLIOGRAPHIE* 59**
ANNEXES 64

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Carte de situation géographique de la nappe Fès-Meknès 4
Figure 2: Modelé topographique de la région étudiée (D'après AMRAOUI, 2005)..... 5
Figure 3: Carte géologique de la nappe Fès-Meknès d'après la carte du Maroc 1/50000..... 6
Figure 4: carte du réseau hydrographique du bassin Fès-Meknès..... 6
Figure 5: Carte de localisation des sources d'eau dans la nappe Fès-Meknès. 7
Figure 6: Précipitations moyennes annuelles en mm. 10
Figure 7: Données de la T (°C) des stations climatologiques de Fès et Meknès (Période 1973 - 2003). 11
Figure 8: Données d'ETP (mm) des stations climatologiques de Fès et Meknès (Période 1973 : 2003) 12
Figure 9: Carte de répartition spatiale des précipitations (2013-2014) 15
Figure 10: Evolution des précipitations dans la nappe Fès-Meknès (1994-2016) (ABHS) 15
Figure 11: Carte de répartition des décharges dans la zone Fès-Meknès (2016). 17
Figure 12: Carte de pollution des eaux souterraines (ABHS, 2013) 20
Figure 13: Carte des teneurs en nitrate (en mg/l) 2004 21
Figure 14: Carte des teneurs en nitrate (en mg/l) 2006 21
Figure 15: Carte des teneurs en nitrate (en mg/l) 2013 22
Figure 16: Carte des teneurs en nitrate (en mg/l) 2015. 22
Figure 17: Schéma explicatif montrant le trajet d'un polluant dans les trois compartiments géologiques: sol, ZNS et ZS..... 26
Figure 18: Schéma représentatif des paramètres interenant dans l'évaluation de la vulnérabilité de la nappe à la pollution.(Sinan, 2007)..... 27
Figure 19:Carte des profondeurs de la nappe Fès-Meknès (aout 2016-sept2017) 30
Figure 20: Notation de la profondeur de la nappe Fès-Meknès..... 30
Figure 21:Carte de répartition de la recharge..... 31
Figure 22: Notation de la recharge 32
Figure 23: Carte de la lithologie de la zone saturée 33
Figure 24: Notation de la zone saturée..... 33
Figure 25: Notation du type de sol. 34
Figure 26: Carte des pentes en % 35
Figure 27: Notation de la pente. 35
Figure 28: Notation de la zone vadose. 36
Figure 29: Carte de perméabilité. 37
Figure 30: Notation des perméabilités..... 37
Figure 31: Carte de vulnérabilité intrinsèque de la nappe phréatique du bassin de Fès-Meknès selon la méthode DRASTIC. 38
Figure 32: Carte de vulnérabilité intrinsèque de la nappe phréatique du bassin de Fès-Meknès selon la méthode DRASTIC (Sadkaoui, et al. 2011)..... 39
Figure 33: Carte de vulnérabilité intrinsèque de la nappe phréatique du bassin de Fès-Meknès selon la méthode GOD 41
Figure 34: Évolution de la réalisation des points d'eau à la plaine de Fès-Meknès (ABHS, 2014)..... 45
Figure 35: Carte des points d'eau de la plaine de Fès-Meknès (Laraichi et al, 2015)..... 45
Figure 36: Évolution du nombre de dispositifs de pompage au niveau de 3 communes rurales d'El Hajeb «Ait Naamane, Ait Bourzouine et Ait Harzallah» (El Kinani et Ben Hammadi, 2014)..... 46
Figure 37: Répartition des dispositifs de prélèvements en fonction des classes de profondeurs (El Kinani et Ben Hammadi, 2014)..... 47

Figure 38: Évolution du niveau piézométrique de la nappe de Fès-Meknès(ABHS,2014)..... 48
Figure 39: Évolution du niveau piézométrique de la nappe de Fès-Meknès (ABHS, 2014)..... 48
Figure 40: Évolution du niveau piézométrique de la nappe de Fès-Meknès (ABHS, 2014)..... 49
Figure 41: localisation des quatre points d'eau sur la nappe Fès-Meknès (El Kinani et Ben Hammadi, 2014)..... 49
Figure 42: Détails des prélèvements et recharge des nappes du complexe de Fès-Meknès. Source : Personnelle sur la base des données PDAIRE, SCET Maroc..... 53
Figure 43: Carte des bilans quantitatifs des principales nappes souterraines du bassin et répartition des prélèvements par sources (ABHS, 2007). 53
Figure 44: Profondeur jusqu'à l'eau en (m) (ABHS, 2018). 54
Figure 45: Historique piézométrique du secteur Ouest de la nappe phréatique du bassin de Fès-Meknès (ABHS,2005)..... 55
Figure 46: Historique piézométrique du secteur central de la nappe phréatique du bassin de Fès-Meknès (ABHS, 2014)..... 55
Figure 47 : Historique piézométrique du secteur Sud-est de la nappe phréatique du bassin de Fès-Meknès (ABHS, 2005)..... 56
Figure 48: Historique piézométrique de la nappe du Lias (Sud du plateau de Meknès) (ABHS, 2014). 57
Figure 49 : Historique piézométrique de la nappe du Lias (Ouest du bassin de Fès) (ABHS, 2005) .. 57
Figure 50 : Historique piézométrique de la nappe du Lias (limite Sud du bassin de Fès) (ABHS, 2005)..... 58
Figure 51: Chute de la pression dans la nappe artésienne de Fès-Meknès. (ABHS, 2005)..... 58
Figure 52: Précipitations annuelles/débits annuels de l'Oued Mikkès (1968–2005) (Belhassane et al. 2010)..... 59
Figure 53: Evolution du débit annuel de l'Oued R'dom (1969-1999) (ABHS, 2002-2003). 60
Figure 54: Evolution du débit annuel de l'Oued Bourkaiz (1967-2001). (ABHS, 2002-2003)..... 61
Figure 55: Evolution du débit annuel de l'Oued Fès (1965-2001). (ABHS, 2002-2003)..... 61
Figure 56: Évolution du débit moyen annuel de 4 Sources du bassin de Fès-Meknès (l/s) (ABHS, 2014)..... 63
Figure 57: Courbe d'évolution du taux des ressources en eau m3/hab/an (1990-2070)..... 60
Figure 58: Courbes d'Evolution du nombre de points d'eau. (1990-2040). 61

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Tableau descriptive des critères de la nappe profonde du Lias (ABHS,2005)..... 9
Tableau 2: Evolution de quelques paramètres de qualité dans la nappe phréatique depuis 1993-2015 (coliformes fécaux, Conductivité, Chlorures, Nitrates)..... 19
Tableau 3: Grille simplifiée pour la classification des eaux de sources et souterraines des nappes. (Réf : 4/2000) publication du ministère de l'équipement..... 20
Tableau 4: Notations accordées aux paramètres de la méthode DRASTIC (d'après Barèes, 1994).... 28
Tableau 5: Poids attribués aux paramètres DRASTIC (Aller et al., 1987). 29
Tableau 6: Critères d'évaluation de la vulnérabilité dans la méthode DRASTIC (D'après Aller et al. (1987))..... 29
Tableau 7: Notation de type d'aquifère 40
Tableau 8: Classification de l'indice GOD (Murat et al. 2003) 40
Tableau 9: Notes de la lithologie de la ZNS (Cl)..... 40
Tableau 10: Notes de la profondeur de la nappe (Cp)..... 41
Tableau 11: Tableau du bilan quantitatif de la nappe Fès-Meknès (ABHS2018)..... 54
Tableau 12: Tableau de déficit des apports des principaux oueds du bassin de Fès-Meknès (ABHS, 2002-2003) 60
Tableau 13: Evolution du taux des ressources en eau m3/hab/an (1990-2070). 59
Tableau 14: Evolution des points d'eau dans la nappe Fès Meknès..... 61

INTRODUCTION GENERALE

La protection et la préservation des ressources en eaux superficiels et/ou souterraines sont devenues une préoccupation mondiale, et l'une des premières priorités dans le Maroc. La diminution des apports en eau conduit à la rareté de cette richesse, provoquant ainsi une exploitation intensive. Malgré la gravité de cette situation la plupart des pays ne sont pas encore conscients et continuent à produire des quantités énormes des polluants qui ne cessent d'augmenter. Ainsi, les impacts les plus graves se font de plus en plus ressentir.

La région de Fès-Meknès est connue depuis longtemps par la création des grands ensembles industriels, formés par l'industrie chimique, biologique et l'industrie de matériaux de construction..., ces ensembles industriels sont des grands consommateurs d'eau et d'une importante source pollution. En plus l'activité agricole présente jadis, la plus importante activité économique dans la région. Cette activité qui dépende fortement des eaux souterraines de la nappe phréatique et profonde de Fès-Meknès.

Les activités anthropogéniques telles que la surexploitation des eaux souterraines, les rejets des déchets industriels, l'utilisation intensive des engrais et pesticides présentent une menace pour le développement durable de la nappe. La pression exercée sur l'eau souterraine est plus importante et présente plus de risques immédiats et futurs que celle exercée sur l'eau de surface. Actuellement les deux nappes (libre et profonde) de Fès-Meknès sont déficitaires (niveaux piézométriques en baisse) à cause des sécheresses successives et sévères et l'exploitation intensive de cette richesse.

L'idée de ce travail provient de mon projet de fin d'étude de la licence qui traite la « **Caractérisation de la situation actuelle de la gestion des déchets ménagers et assimilés dans le bassin de Sebou »,** où j'ai tiré l'attention au problème de la vulnérabilité à la pollution des nappes souterraines et surtout la nappe Fès-Meknès.

Dans le but de préserver les ressources en eau souterraine de la nappe et d'améliorer leur gestion, ce travail est divisé sur deux principaux axes l'un consiste à cartographier les zones vulnérables à la pollution on utilisant deux méthodes DRASTIC et GOD. L'autre expose l'impact de la surexploitation et le risque de la sécheresse sur nappe de Fès-Meknès.

Le présent travail est structuré par trois parties :

- La première comporte une représentation générale sur la zone d'étude ;
- La deuxième montre les contraintes naturelles et anthropiques qui entravent le développement durable des ressources en eau, ainsi la réalisation d'une carte de vulnérabilité qui illustre les zones vulnérables à la pollution au niveau de la nappe Fès-Meknès, on utilisant les deux méthodes DRASTIC et GOD ;
- La dernière partie consiste à étudier l'influence de la surexploitation et la sècheresse sur la nappe de Fès-Meknès ;

Et enfin on va terminer par une conclusion générale qui donne une idée globale sur la vulnérabilité à la pollution et l'influence de la surexploitation et la sécheresse sur la nappe Fès-Meknès.

Rapport-Gratuit.com

PARTIE I : PRESENTATION GENERALE DE LA NAPPE FES-MEKNES

REPRESENTATION GENERALES DE LA NAPPE FES-MEKNES

1. Contexte géographique

Située au Nord du Maroc, et appartient au bassin du Sebou, le sous bassin de Fès-Meknès forme la partie centrale du sillon sud-rifain (**Fig.1**); il 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 2100 km^2, se subdivisant en deux parties structurales : le plateau de Meknès à l'Ouest (600 à 700 m d'altitude) et la plaine du Saïs à l'Est (500 à 550 m d'altitude). Ses limites naturelles sont constituées par :

- L'oued Sebou à l'Est et l'oued Beht à l'Ouest ;
- Les rides pré-rifaines au Nord et la limite Nord du Causse moyen-atlasique au Sud.

La **figure 2** illustre le modelé topographique de la zone d'étude qui montre les variations d'altitude dans la région d'étude. Cette représentation en trois dimensions distingue bien le Causse Moyen Atlasique au sud, la plaine du Saïs plus au nord et les premières rides pré-rifaines au Nord de Meknès et de Fès. Bien que, la flexure d'Aïn Taoujdate apparaît clairement, elle scinde la plaine en deux parties structurales : le plateau de Meknès à l'Ouest et la plaine de Fès à l'Est. L'emplacement au piémont du Causse de l'important groupe d'émergences Ribaa-Bittit est indiqué. Il semble être en position topographique favorable.

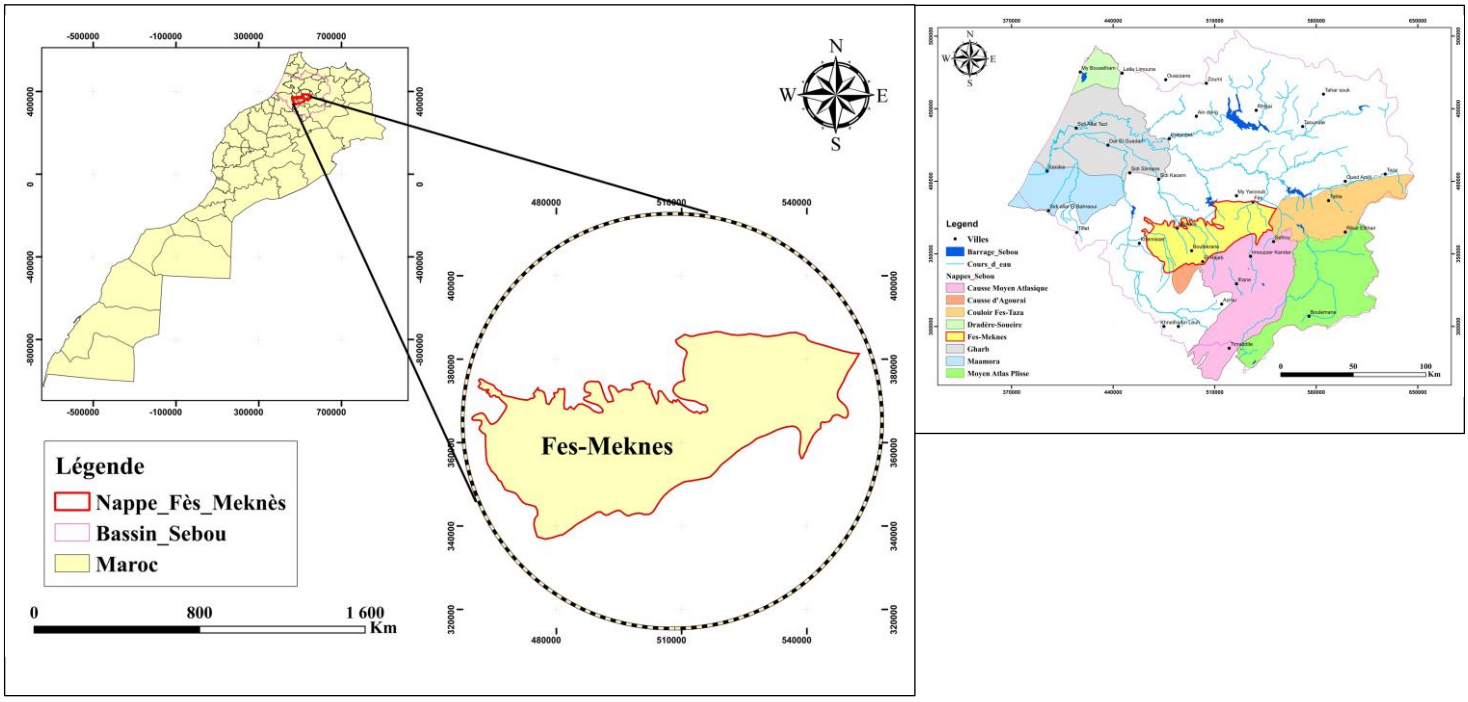


Figure 1: Carte de situation géographique de la nappe Fès-Meknès

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

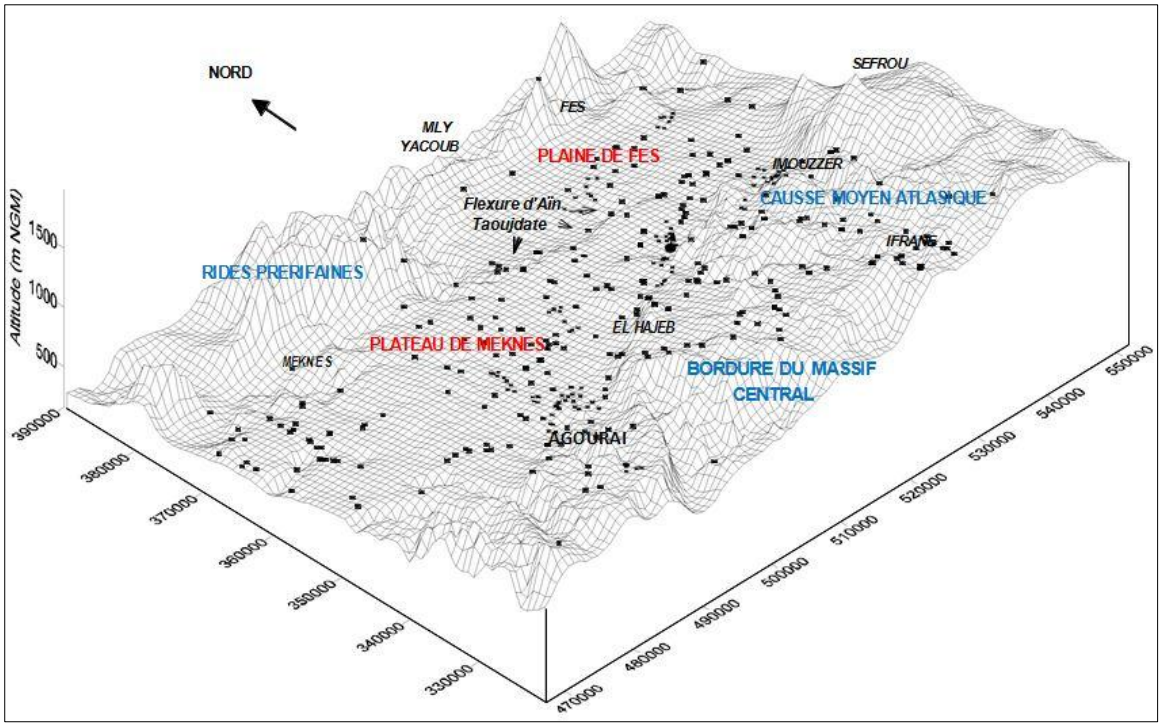


Figure 2: Modelé topographique de la région étudiée (D'après AMRAOUI, 2005)

2. Contexte géologique

Le bassin de Fès-Meknès fait partie du « couloir sud-rifain » qui s'étend de la plaine du Rharb à l'Ouest jusqu'à le col du Touahar à l'Est. Entre ces deux grandes unités structurales une transgression marine a déposé au Miocène une série marneuse très puissante, suivie au Plio-Villafranchien et au Quaternaire par des dépôts continentaux (**Fig.3**).

La structure actuelle du bassin est influencée directement par les deux grandes unités du Pré-rif et du Moyen Atlas. Ce dernier 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 et de direction SE-NW crée par la tectonique rifaine. 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 d'étude, vers le Nord.

Dans tout le bassin, on remarque la présence très puissante dépôts du Néogène le long de la grande dépression synclinale qui jalonne les rides pré-rifaines au Nord du bassin (subsidence qui se poursuit encore) ; leur toit s'abaisse progressivement du S au N avec une pente moyenne de 2 %.

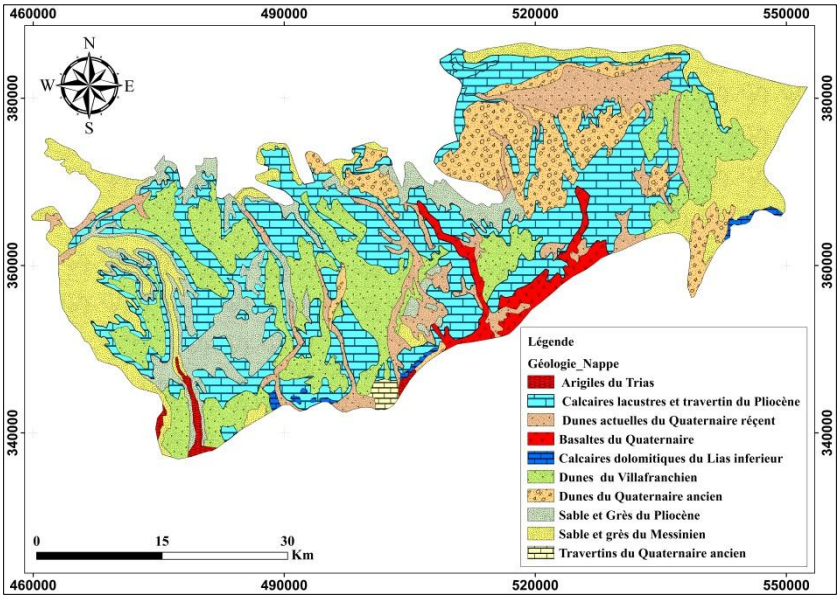


Figure 3: Carte géologique de la nappe Fès-Meknès d'après la carte du Maroc 1/50000.

3. Contexte hydrologique

a. Réseau hydrographique

Le bassin de Fès-Meknès, est sillonné par un réseau hydrographique important qui prend naissance dans les reliefs bordiers, il est traversé par quatre cours d'eau principaux, qui sont d'Ouest en Est (**Fig.4**):

- Les oueds El Kell (affluent de l'oued Beht) ;
- Oued R'Dom (confluence des oueds Boufekrane et Ouislane) ;
- Oued Mikkès et Oued Fès.

L'agence du bassin hydraulique du Sebou a mené une campagne de jaugeage en février 2005 et a concerné 5 oueds (**Tableau. 1**), leur débit total s'élève à 793 l/s (environ 25 mm^3/an).

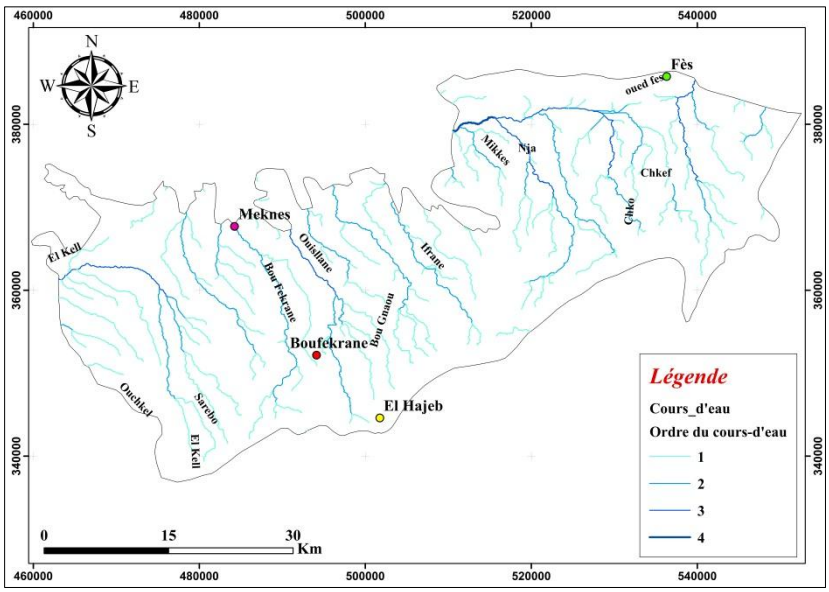


Figure 4: Carte du réseau hydrographique du bassin Fès-Meknès.

b. Les sources d'eaux

Le bassin de Fès - Meknès est drainé par plusieurs sources d'eaux (**Fig.5**), caractérisées par la variabilité de leurs débits (quelques l/s à plus d'un m^3/s), type hydrodynamique (qui peut être une nappe phréatique, profonde ou mixte) et par leur température (sources thermales de Sidi Harazem ; 30 à 33°C, Moulay Yaâcoub, 54 °C et Askhounat ; 38 °C).

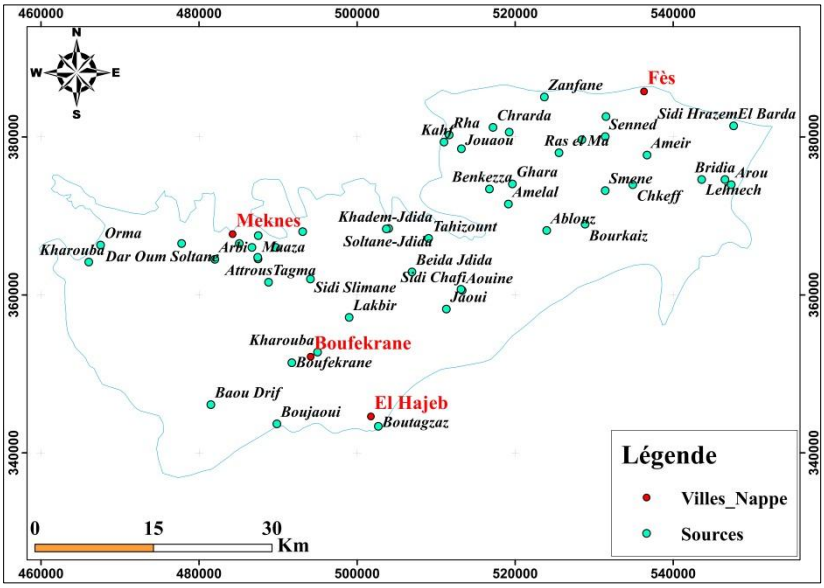


Figure 5: Carte de localisation des sources d'eau dans la nappe Fès-Meknès.

4. Contexte hydrogéologique

Dans le bassin de Fès-Meknès (Sais), on distingue deux grands réservoirs aquifères:

- Une nappe phréatique libre qui se développe au niveau de la plaine dans les sables, conglomérats et par endroits dans les calcaires lacustres du Plio-Quaternaire ;
- Une nappe profonde qui circule principalement dans les formations carbonatées du Lias, et se met en charge sous l'épaisse série de marnes imperméables du Miocène. Cette nappe est libre au niveau du Causse et s'enfonce ensuite sous les terrains imperméables du Tertiaire qui la mettent en charge sous la plaine.

Les deux nappes du bassin communiquent directement entre elles par endroits, à travers des flexures et des failles ou indirectement par drainance ascendante.

a. Nappe phréatique du bassin du Fès-Meknès

La nappe phréatique de Fès-Meknès couvre une superficie de 2100 km^2, elle s'étend sur environ 80 km de longueur entre ses limites Ouest et Est, constituées par des affleurements argilo-marneux et les oueds Mikkès (Est) et Boufkrane (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 nappe circule principalement dans des Sables, marnes sableuses, grès, conglomérats et calcaires lacustres, et dont le Substratum est formé par les marnes grises du Miocène.
La nappe est rechargée par l'infiltration des eaux pluviales, abouchement direct avec la partie libre de la nappe liasique, infiltration des eaux d'irrigation et drainance ascendante à partir de la nappe profonde (Lias) en charge. Alors que la décharge est nette à partie des pompages pour l'agriculture et/ou eau potable, et par l'écoulement des sources et drainage par les cours d'eau.
Selon les secteurs on remarque une variation de plusieurs critères : la puissance (10 à 80 m), le niveau statique (10 à 50 m), les débits de production (1 à 20 l/s) et les transmissivité (2. 10 5 à 1. 10-1 m2/s). La forte variation de cette dernière est due à l'importance changement de l'épaisseur et/ou celle des perméabilités de la nappe (1. 10-5 à 5. 10-2 m/s caractérisant un milieu très hétérogène).
On note aussi que l'écoulement est de direction SSE-NNW avec un gradient moyen de 0.5 %.
Concernant la qualité et les faciès chimiques de l'eau : le résidu sec est généralement inférieur à 0.5 g/l. Les eaux de la nappe sont le plus souvent de faciès bicarbonaté calcique et magnésien. Ils sont basiques, incrustantes et de dureté assez forte (30 à 50 °F). Les températures extrêmes sont de 13 et 23 °c selon la situation et la profondeur de la nappe.
La réserve totale emmagasinée est de 650 à 1300 Millions de m3 (sur la base d'un coefficient d'emmagasinement moyen de 1,5 à 3 %)

Le bilan hydraulique d'après J. Chamayou, et al, 1975 montre des apports annuels de 296 à 346 Millions de m3/an (dont 62 % à partir de la plaine de Fès et 38 % à partir du plateau de Meknès), et des décharges entre 275 et 400 Millions de m3/an (dont 66 % au niveau de la plaine de Fès et 34 % au niveau du plateau de Meknès).
A l'époque, ce bilan était équilibré (entrées = sorties) durant sa réalisation, mais actuellement, le bilan est déficitaire à cause de la sécheresse, qui dure depuis 1980, a eu pour conséquence une réduction notable des apports et un recours accentué aux prélèvements souterrains pour satisfaire une demande sans cesse croissante en eau.
Ce déficit est certifié d'une part par les suivis piézométriques de la nappe (qui marque une tendance à la baisse) et d'autre part par le forte baisse du débit, et même le tarissement de plusieurs sources.

b. Nappe profonde du Lias

L'aquifère profond du bassin Fès- Meknès, couvre une superficie d'environ 3500 Km^2, et siège dans les formations calcaires dolomitiques du Lias fortement fissurées. Les eaux de la nappe circulent du Sud vers le Nord, et se mettent en charge sous une épaisse série de marnes imperméables du Miocène qui sépare les deux nappes. Sous l'effet de la tectonique ; l'aquifère est subdivisé en plusieurs panneaux (Saïs, Haj Kaddour, Meknès…) qui sont probablement inter-communicants par endroits.

La transmissivité et la perméabilité sont très variables en raison de la porosité de fissure de ce système aquifère. En général, l'aquifère présente des caractéristiques hydrodynamiques intéressantes. La profondeur des ouvrages qui l'exploitent varie de 200 m au Sud à 1700 m au centre de la plaine. Les caractéristiques de la nappe sont représentées par le tableau suivant (**Tab.1**):

Tableau 1: Tableau descriptive des critères de la nappe profonde du Lias (ABHS,2005).

Critères	Description
Epaisseur d'aquifère	Varie de quelques dizaines de mètres sur la bordure sud à 760 m au nord de la plaine.
Transmissivité	En moyenne 5.10-1 m2/s
Perméabilité	En moyenne 2. 10-2 m/s.
Alimentation–recharge	Par abouchement latéral à partir de la nappe des Causses adjacente au sud et d'autre part, à partir des eaux de pluie et de la fonte des neiges que connaissent les affleurements calcaires des causses du Moyen Atlas au sud.
Minéralisation de l'eau	Faible et varie de 0.3 à 0.7 g/l
Exploitation	Par des forages profonds destinés à l'alimentation en eau potable des villes de Meknès, Fès et des centres situés dans la plaine (Ain Taoujtate, Ras El Ma, Sebaa Ayoune et Haj Kaddour) et également pour l'irrigation.
La productivité de la nappe	Est importante et peut dépasser 120 l/s.
Niveau de la nappe	À la moyenne à 50 m par rapport au sol dans la partie captive et il atteint actuellement la pression de 12 bars dans la partie artésienne (avant 1980, la pression mesurée atteignait 25 bars, soit un jet de 250 m par rapport au sol).

5. Contexte climatologique.

L'identification du contexte climatique de la nappe Fès-Meknès est d'une importance primordiale, vu son influence directe sur les cycles hydrologiques, hydrogéologiques et pédologiques de la zone d'étude. En effet, le climat de la région d'étude est considéré comme un climat de type méditerranéen semi-aride à hiver tempéré.

a. Les Précipitations

Les précipitations jouent un rôle primordial dans le fonctionnement des bassins versants hydrologiques et hydrogéologiques. Elles forment un paramètre hydrologique essentiel dans le renouvellement des eaux souterraines (la recharge des nappes phréatiques et souterraines), ainsi que les ressources superficiel (le remplissage des oueds).

Les précipitations du bassin sont caractérisées à partir des données des stations de Fès, Bittit et Sidi Chahed 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
- Station de Bittit : X= 519 km Y= 660 km
- Station Sidi Chahed : X= 540.3 km Y= 369.15 km

A l'échelle annuelle d'une durée depuis1994 jusqu'à 2017, le régime pluviométrique (**Fig.6**) de la nappe varie dans le temps et dans l'espace, avec une moyenne de 422,6 mm (valeur relativement élevée). L'année 2008-2009 représente l'année la plus pluvieuse (749,1 mm) depuis 1994, alors que l'année 2015-2016 représente l'année la moins pluvieuse (103.6 mm).

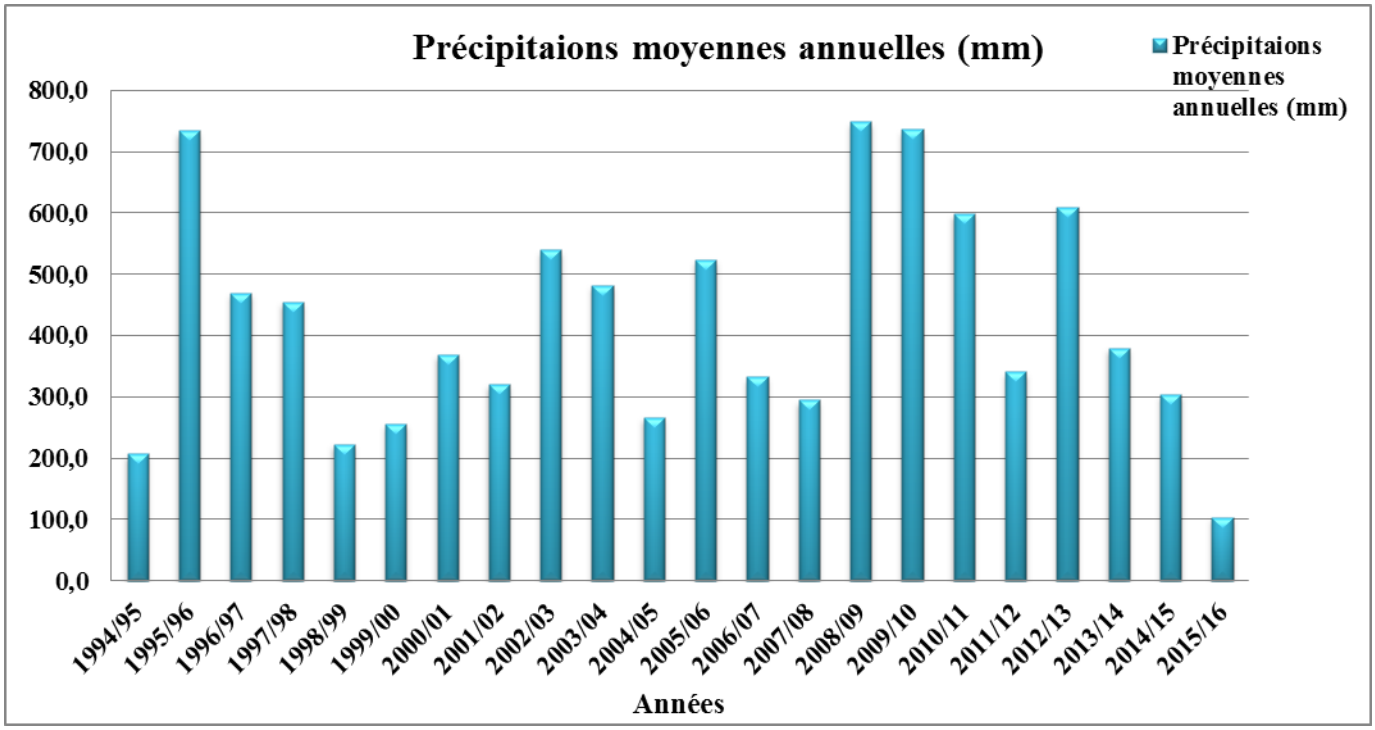


Figure 6: Précipitations moyennes annuelles en mm.

b. La Température

La température est un facteur important, elle contrôle l'intensité de certains facteurs du cycle de l'eau, notamment, l'évaporation et la transpiration des végétaux, et dépend de deux types d'agents :

- Intrinsèques: la latitude, le relief et le sol;
- Extrinsèques: la masse d'air, la nébulosité et la saison.

Pendant l'hiver, les épisodes froids et les périodes tièdes ou même chaudes s'alternent, avec la présence des température minimales qui subissent des variations spatiales traduites par des gelées rares dans la zone de Meknès protégée par sa position en cuvette et des gelés plus nombreuses aux alentours de la ville de Fès.

Durant l'été, la température se caractérise par deux comportements :

- Un beau temps à températures maximales élevées ou modérées mais avec un refroidissement nocturne ;
- Un temps chaud aux températures très fortes sans refroidissement nocturne appréciable.

Les mesures enregistrées pendant l'année de la température sont maximales en juillet et en août (été) et minimales en janvier (hiver). Les températures moyennes annuelles varient, suivant l'altitude et la continentalité, entre 10 et 20°C.

Pour les deux stations de Fès et Meknès (X= 487.5 km. Y= 365.0 km) les températures moyennes minimales varient entre **9** et **10°C** et les maximales varient entre **25.2°C** et **25.6 °C**. La température moyenne annuelle est de **16.8 °C** à Fès et de **17.3 °C** à Meknès (**Fig.7**).

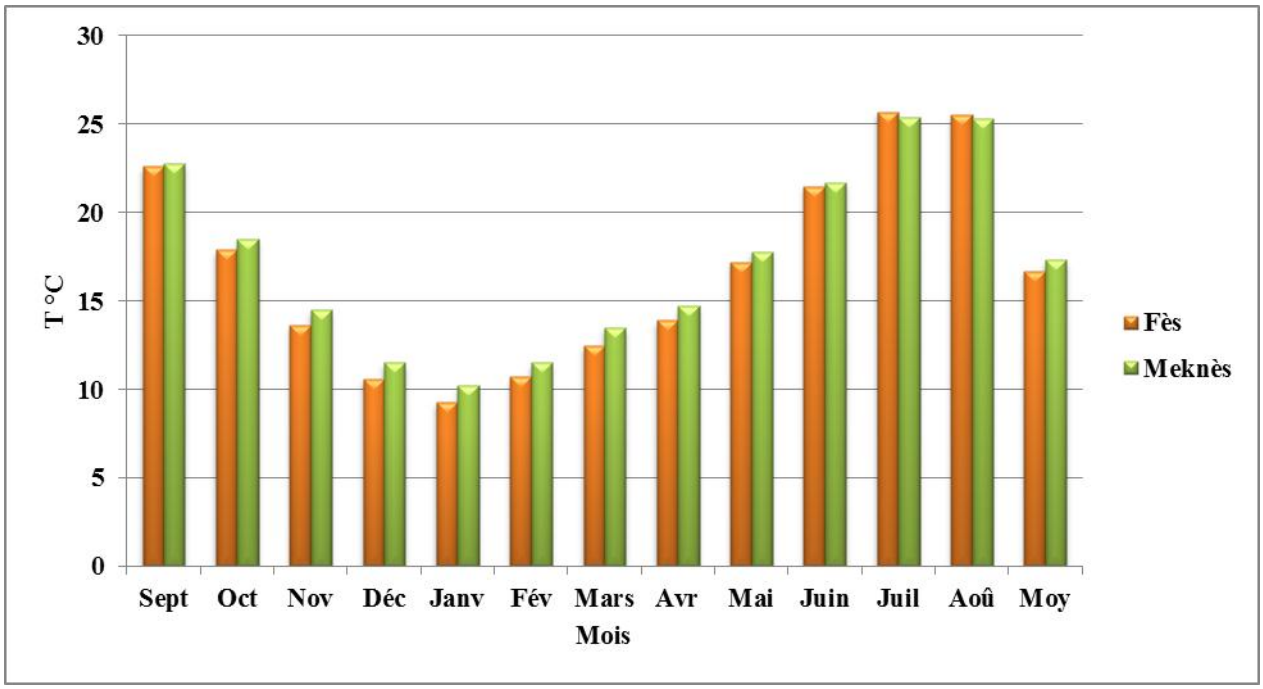


Figure 7: Données de la T (°C) des stations climatologiques de Fès et Meknès (Période 1973 - 2003).

c. L'évapotranspiration

Dans tout le bassin de Sebou, l'évaporation potentielle moyenne est assez forte. Elle est maximale durant le mois de juillet et août avec près de 300 mm/mois et minimale aux mois de décembre et janvier avec moins de 50 mm/mois.

En été le bassin connait des fortes températures et presque la quasi inexistence des précipitations significatives, alors l'évaporation marque des valeurs élevées qui sont de l'ordre de 1500 mm /an sur la côte et 2000 mm/an vers l'intérieur du bassin. L'ETP mensuelle dans les deux stations de la nappe est entre **21,4** mm et **162,8** mm. (**Fig.8**)

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 (selon le 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.

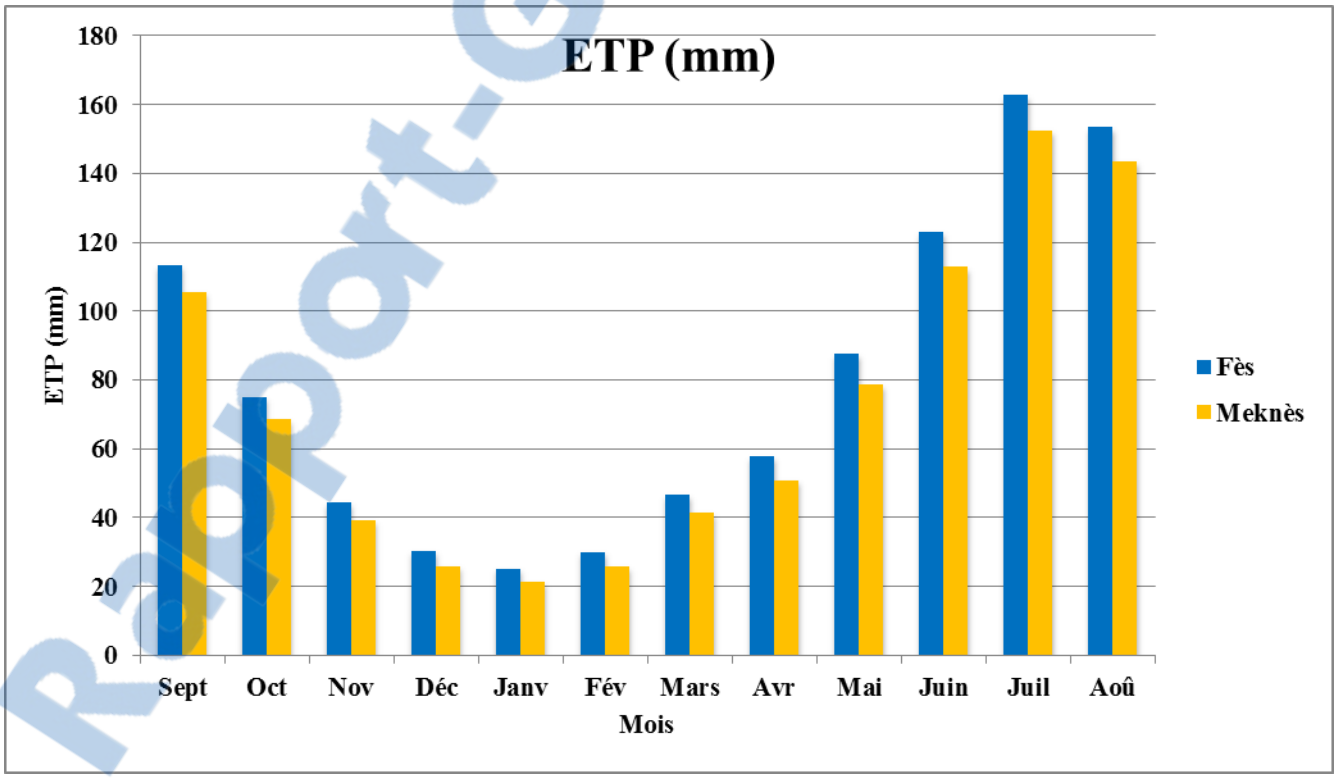


Figure 8: Données d'ETP (mm) des stations climatologiques de Fès et Meknès (Période 1973 : 2003)

Rapport-Gratuit.com

PARTIE II : LES CONTRAINTES DE DEVELOPPEMENT ET LA VULNERABILITE A LA POLLUTION DE LA NAPPE FES-MEKNES

CHAPITRE I : LES CONTRAINTES DE DEVELOPPEMENT DES EAUX SOUTERRAINES DE LA NAPPE FES-MEKNES

INTRODUCTION

La nappe de Fès-Meknès fait partie de l'un des grands bassins au Maroc ; le bassin de Sebou ; ce dernier est situé à l'en tête de l'ensemble des bassins du pays en terme de pollution organique d'origine industrielle, domestique et toxique. Elle joue un rôle stratégique important dans la satisfaction des besoins en eau particulièrement en période de sécheresse. Dernièrement, cette nappe est influencée par plusieurs problèmes et contraintes qui entravent le développement durable des ressources en eau dans celle-ci. Ces contraintes sont dues d'une part à l'action de l'homme (pollution, déboisement, urbanisation incontrôlée etc.), et d'autres parts d'ordre naturel (variation spatio-temporelle des précipitations, sécheresses, …).

I. LES CONTRAINTES NATURELLES

a. Variation spatiale des précipitations

La carte (**Fig.9**) de la répartition spatiale des précipitations sur l'ensemble de la nappe Fès-Meknès était réaliser à partir les données pluviométriques annuels de quatre stations pluviométriques (Fès-ABHS, Sidi Chahed, Ain Bittit et ouljet soltane) durant l'année pluviométrique 2013-2014. Elle montre une variation inégale des précipitations sur toute la nappe, qui se caractérise par une diminution de Sud vers le Nord.

- Au Sud et surtout au voisinage du causse moyen atlasique s'enregistrent les grandes quantités des précipitations (313-320 mm/an) ;
- Vers le Nord, à côté du domaine rifain se répartissent les faibles quantités des précipitations (325-345 mm/an).

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

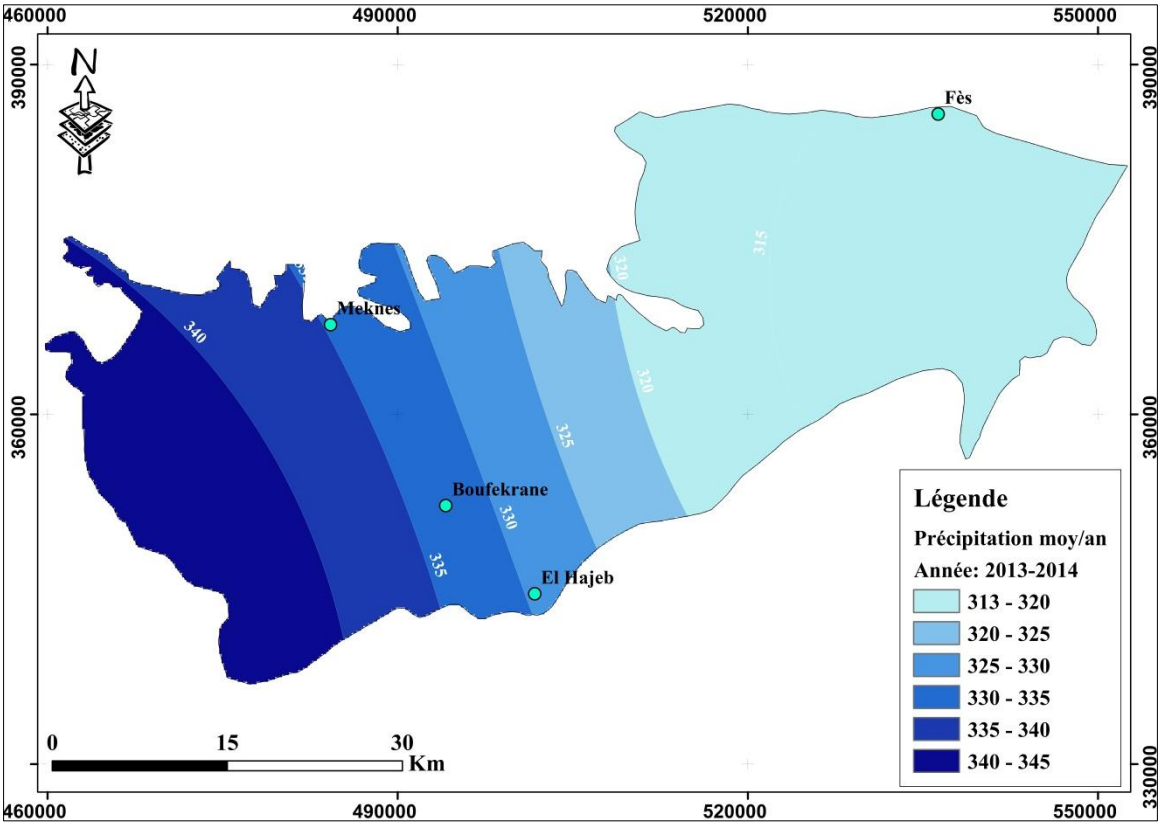


Figure 9: carte de répartition spatiale des précipitations (20132014)

b. Répartition temporelle des précipitations

Depuis l'année 1994 jusqu'à 2016 (**Fig.10**) la valeur maximale des précipitations enregistrée est 749.1 mm/an alors que la valeur minimale est 103.6 mm/an, ce sont des valeurs inquiétantes par rapport aux années précédentes. Cette diminution est due principalement à la rupture pluviométrique dès les années 80.

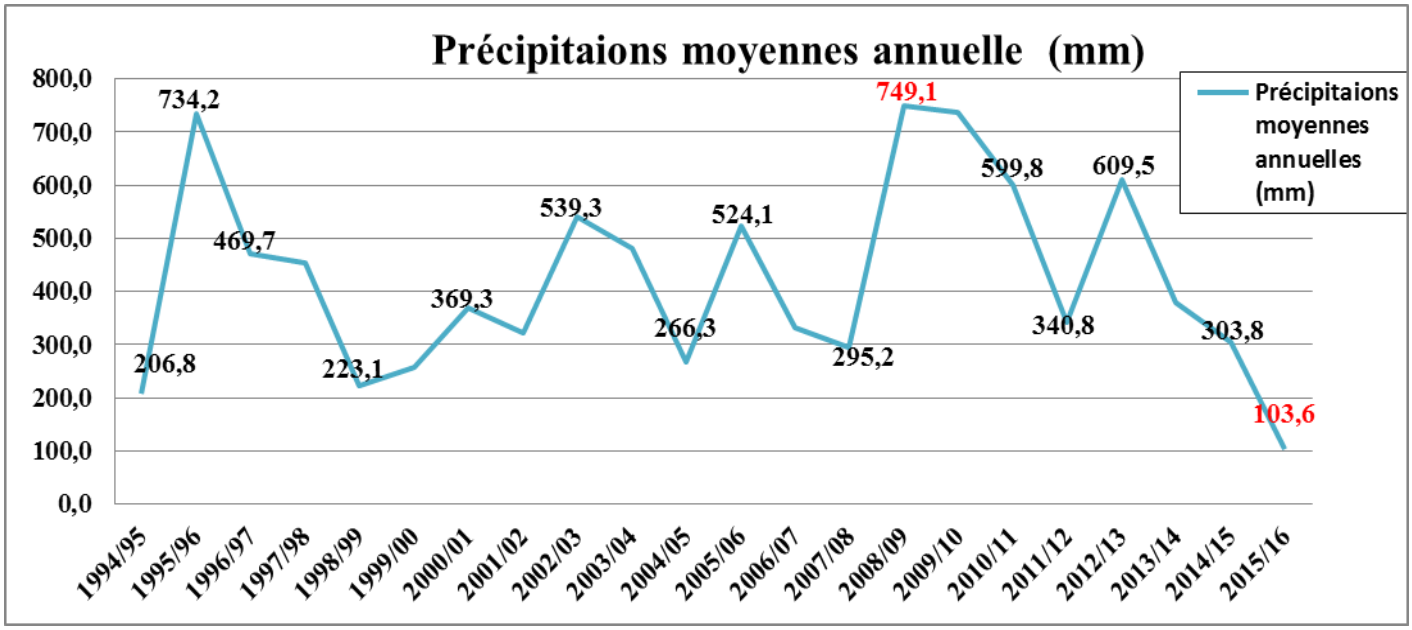


Figure 10: Evolution des précipitations dans la zone Fès-Meknès (1994-2016) (ABHS)

II. LES CONTRAINTES ANTHROPIQUES

a. La pollution d'origine domestique et industrielle

La nappe Fès Meknès contient deux grandes villes; Fès et Meknès caractérisées par la diversification et l'accentuation des activités industriels, tels que l'agro-alimentaire (Huileries, laiteries, conserveries,…), les papeteries, les tanneries, le textile, le raffinage de pétrole, la levurerie et la production d'alcool… Ces activités génèrent près de 3,5 millions d'équivalents- habitants de pollution organique, dont près de 70% proviennent des sucreries, des papeteries et des huileries. Ces derniers représentent le foyer de pollution le plus menaçant, puisqu'il s'agit d'une activité saisonnière (Décembre-Janvier-Février) et répartie sur la quasi-totalité de la nappe (avec des concentrations marquées à Aïn Taoujdate et Fès). Elle entraîne de ce fait des rejets (les margines) qui comportent une forte concentration en matières organiques, grandes consommatrices de l'oxygène dissous de l'eau.

La ville de Fès est parmi les villes qui posent le plus de problèmes de pollution de l'eau, dont les rejets représentent 40% de l'impact total de l'ensemble des rejets au niveau du bassin du Sebou. En outre le traitement des eaux usées de cette ville constitue donc une priorité absolue compte tenu du rang occupé par ce bassin à l'échelle nationale.

Au niveau de la nappe, le taux de raccordement au réseau d'assainissement varie de 0% pour les petits centres ruraux à 70% dans les grandes villes, ainsi la dégradation de la qualité de l'eau par les rejets d'eau usée domestique et industrielle est le résultat du grand retard constaté en matière d'assainissement et d'épuration des rejets.

b. La pollution d'origine agricole

La nappe Fès-Meknès est parmi les régions agricoles les plus importantes du pays. Il connaît ainsi une intensification agricole par le recours à l'irrigation et à l'utilisation des engrais et des produits phytosanitaires. Il en résulte l'infiltration dans les eaux souterraines des produits agrochimiques. Les charges polluantes sont constituées principalement des nitrates et des phosphates et sont estimées à :

- 8 670 tonnes par an de l'azote total;
- 2 050 tonnes par an des phosphates.

Parmi les impacts négatifs des sources de la pollution agricole sur les eaux souterraines, on note une dégradation de la qualité des eaux par endroit au niveau de la nappe Fès-Meknès, en

raison des teneurs en nitrates qui dépassent la valeur maximale admissible fixée à 50 mg/l, ce qui limite son utilisation pour l'approvisionnement en eau potable.

c. La pollution par les décharges publiques

Les décharges publiques non contrôlées ou décharges sauvages (**Fig. 11**) constituent une source de pollution non négligeable. En plus de leur localisation en général à côté des villes et parfois non loin des milieux hydriques (oueds, sources, puits et nappes), elles dégagent des lixiviats (jus des déchets riche en éléments toxiques) qui rejoignent les eaux superficielles et/ou souterraines selon la géologie du site. La production totale des déchets solides dans tout le bassin de Sebou est estimée à 750.000 tonnes par an, occasionnant une pollution d'environ 6 900 tonnes de DBO5. A l'exception de la ville de Fès qui dispose d'une décharge publique bien aménagée, la majorité des autres villes sont au stade des études d'aménagement et de choix de nouveaux sites.

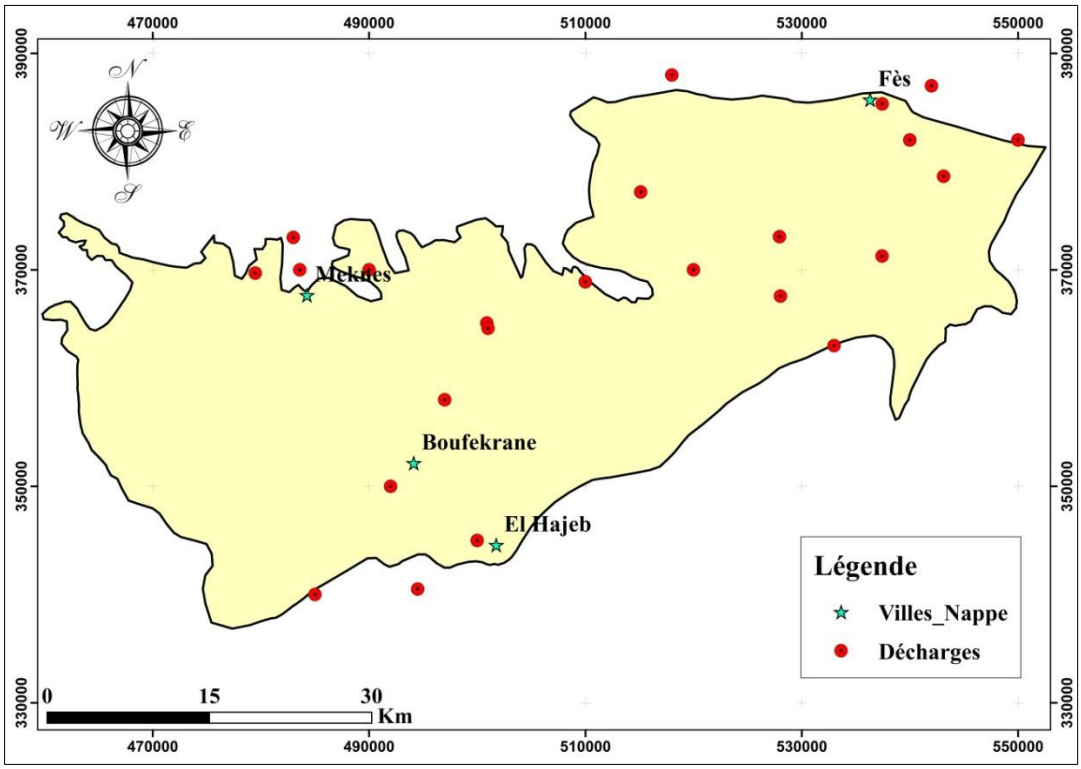


Figure 11: carte de répartition des décharges dans la nappe Fès-Meknès (2016).

d. La pollution accidentelle

Rarement quand parle sur la pollution des eaux d'origine accidentelle, mais il reste non négligeable. Quoique localisée dans le temps et dans l'espace, elle peut avoir un impact très étendu et peut engendrer de considérables dégâts si les moyens de remède nécessaires ne sont pas mis à la disposition des équipes d'intervention en temps opportun. Le bassin du Sebou

recèle de nombreux points critiques notamment les retenues de barrages et les cours d'eau qui longent d'importants axes routiers connaissant des trafics de transport des produits polluants.

CHAPITRE II : SITUATION ACTUELLE DE LA QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES DE LA NAPPE FES-MEKNES

INTRODUCTION

L'évaluation de l'évolution de la qualité des eaux souterraines de la nappe Fès-Meknès est réalisée grâce à l'échantillonnage des 23 puits répartissant sur différents endroits dans la nappe, on effectuant des analyses physico-chimiques et biologiques. De plus ces analyses nous a permet de savoir l'hydrochimie des eaux de celle-ci. Cette évaluation sera l'objectif majeur de ce chapitre sans oublier l'hydrochimie de la nappe étudiée.

1. hydrochimie de la nappe FES-MEKNES

Généralement, la minéralisation d'eau de la nappe est très faible, ainsi que le résidu sec est inférieur à 0.5g/l et dépasse rarement 1g/l. Seuls les secteurs de faible profond de surface de la nappe connaissent des minéralisations relativement importantes, comprises entre 2 et 2.5g/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 type des faciès de la nappe. Les eaux circulant dans les calcaires lacustres sont les plus douces (résidu sec compris entre 0.2 et 0.5 g/l), suivent ensuite celles dans les grès et les sables du Pliocène (0.4 à 0.8 g/l) et enfin les eaux dans les alluvions quaternaires (0.5 à 1.5 g/l).

Le faciès chimique de l'eau de la nappe est le plus souvent bicarbonaté-calcique et magnésien (caractéristique des faciès calcaires) et très légèrement chloruré-sodique, en plus ces eaux sont basiques et incrustantes, du fait de leur forte teneur en carbonates.

2. Qualité des eaux souterraines de la plaine de Fès-Meknès – Evolution temporelle

Au niveau de la zone d'étude, chaque année une campagne d'échantillonnages et de mesures de la qualité des eaux de la nappe phréatique se réalisent dans différents points de prélèvement. Les paramètres de qualité mesurés pour l'appréciation de la qualité des eaux souterraines de la nappe sont : physicochimiques (la température, le pH, la conductivité, les chlorures, les nitrates et l'ammonium) et bactériologiques (les coliformes fécaux et la matière organique). Le tableau ci-dessus (**Tab.2**) donne pour les années depuis 1993 jusqu'à 2015,

l'évolution des teneurs moyennes, maximales et minimales de quelques paramètres de la qualité dans la nappe phréatique (les coliformes fécaux, la Conductivité, les Chlorures et les Nitrates).

Tableau 2: Evolution de quelques paramètres de qualité dans la nappe phréatique depuis 1993-2015 (coliformes fécaux, Conductivité, Chlorures, Nitrates)

Année	Coliformes fécaux			Conductivité			Chlorures			Nitrates		
	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min
1999	1182	19000	0	816	1590	331	67,5	248,1	17,7	194,5	118,2	4,4
2000	684,7	9000	0	842,3	3337	325	98,6	485,0	20,0	47,5	123,0	7,4
2001	2637	1500	0	861	3580	485	93,6	583,0	24,4	83,1	828	0,8
2002	519,1	8120	0	915,6	3790	455	102,1	576	21	61,6	220	13
2004	1277,2	12000	0	867,5	3420	400	103,6	576,0	18,1	62,3	140,1	5,4
2006	1005,5	8000	0	865	2075	440	99,5	351	11	55,5	202	5
2007	598,15	2237,1	33,7	1065,1	2036,7	608,6	130,7	281,4	51,7	89,0	369,9	17,6
2008	295,5	2400	3	1285	2130	525	241,9	426	28	85,9	213	17
2009	302,4	1200	0	638,6	1005	440	52,2	139	10	61,7	132	1
2012	104,9	633	1	878,3	2128	408	96,6	431	9	71,7	325,5	12
2013	118	670	2	1019,8	2350	350	89,1	378	9	90,4	443	14
2015	2251,6	5200	8	1179,2	1943	785	148,2	334	51	74	102	33
Moy	914,6	5830	3,97	936,1	2448,7	462,7	110,3	400,7	22,5	81,4	268,0	10,8
Max	2637	19000	33,7	1285	3790	785	241,9	583	51,7	194.5	828	33
Min	104,9	633	0	638,6	1005	325	52,2	139	9	47,5	102	0,8

On constate, après l'analyse de l'évolution temporelle de la qualité globale des eaux souterraines durant la période de suivi ce qui suit :

- De point de vue salinité, les dernières analyses montrent que la nappe phréatique est de moyen à bonne qualité, Les valeurs de la conductivité électrique en 2015 varient entre 785 et 1943 avec une moyenne de 1179,2 µS/cm, Les eaux de la nappe sont également d'excellente qualité vis-à-vis du paramètre pH, compris entre 6,7 et 8,1 (2004) ;
- Les teneurs en chlore varient de 51 et 334 mg/l (2015) avec une moyenne de 148,2 mg/l (2015) et restent largement inférieures au seuil de 750 mg/l qui correspond à la valeur maximale admise pour l'AEP, Vis-à-vis de ce paramètre, l'eau est classée de bonne à moyenne qualité, Quant à la température de l'eau, celle-ci varie entre 14,5°C et 23,5°C avec une moyenne de 19,5°C (1999-2004) ;
- Les concentrations élevées en nitrates mettent en évidence un lessivage d'une importante quantité d'azote qui provient des fertilisants. Ces teneurs atteignent souvent, et dépassent, la norme de potabilité fixée à 50 mg/l. Il est à noter que l'évolution des teneurs en nitrates s'opère de façon irrégulière d'une année à l'autre. L'année 2001, en particulier, a enregistré une augmentation brutale des teneurs en nitrates, suivie par la diminution de ces taux dans

les années suivantes. Ces fluctuations sont vraisemblablement dues à un apport excessif d'engrais en 2001, concomitant à une diminution des volumes d'eau d'irrigation suite à la sécheresse.

Selon la grille simplifiée (**Tab.3**) de la classification des eaux des sources et souterraines des nappes, l'évolution temporelle de la qualité des eaux des puits de la nappe depuis 1993 jusqu'à 2013, montre une dégradation importante de la qualité des eaux souterraines de la nappe en raison des teneurs en nitrates qui dépassent la valeur maximale admissible fixée à 50 mg/l, ce qui limite leur utilisation pour l'approvisionnement en eau potable. Sur un total de 12 puits d'échantillonnage, environ 83% présente une qualité dégradée.

Tableau 3: Grille simplifiée pour la classification des eaux de sources et souterraines des nappes. (Réf : 4/2000) publication du ministère de l'équipement.

	classe de qualité				
Paramètres	Excellente	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Tres mauvaise
Conductivité (micro siemens/cm)	<400	400-1300	1300-2700	2700-3000	>3000
Chlorures (mg/l)	<200	200-300	300-750	750-1000	>1000
Nitrates (mg/l)	<5	5-25	25-50	50-100	>100
Ammonium (mg/l)	<=0.1	0.1-0.5	0.5-2	2-8	>8
Matière organique (mg/l)	<3	3-5	5-8	>8	(-)
Coliformes fécaux (/100ml)	<=20	20-2000	2000-20000	>20000	(-)

La carte de pollution des eaux souterraines (**Fig. 12**) montre que tout le bassin de Sebou, la nappe Fès-Meknès est parmi les nappes les plus polluées dans tout le bassin et que la qualité des eaux souterraines de celle-ci varie du bon à très mauvaise qualité. Cette situation est due principalement aux activités agricoles intensives (utilisations des quantités énormes des pesticides) dans toute la nappe.

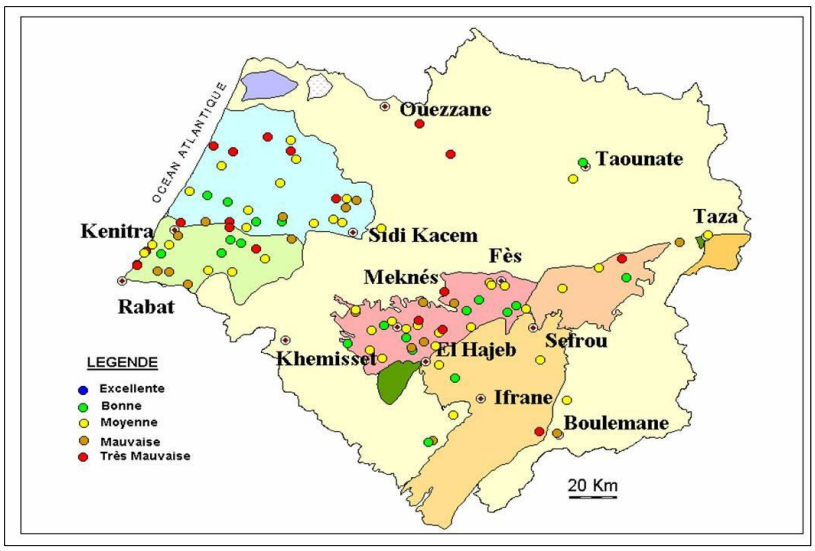


Figure 12: Carte de pollution des eaux souterraines (ABHS, 2013)

En 2004 (**Fig.13**), les teneurs en nitrates sont élevées et dépassent la norme dans plusieurs secteurs, au NW de Meknès, NE de Fès et NNE d'El Hajeb. Les teneurs faibles en nitrates (inférieur à 50 mg/l) sont enregistrées dans le NE de Meknès et NW de Fès et dans les régions de Boufekrane et Agouraï. Les valeurs mesurées varient entre un minimale de 13 mg/l et un maximale de 168 mg/l.

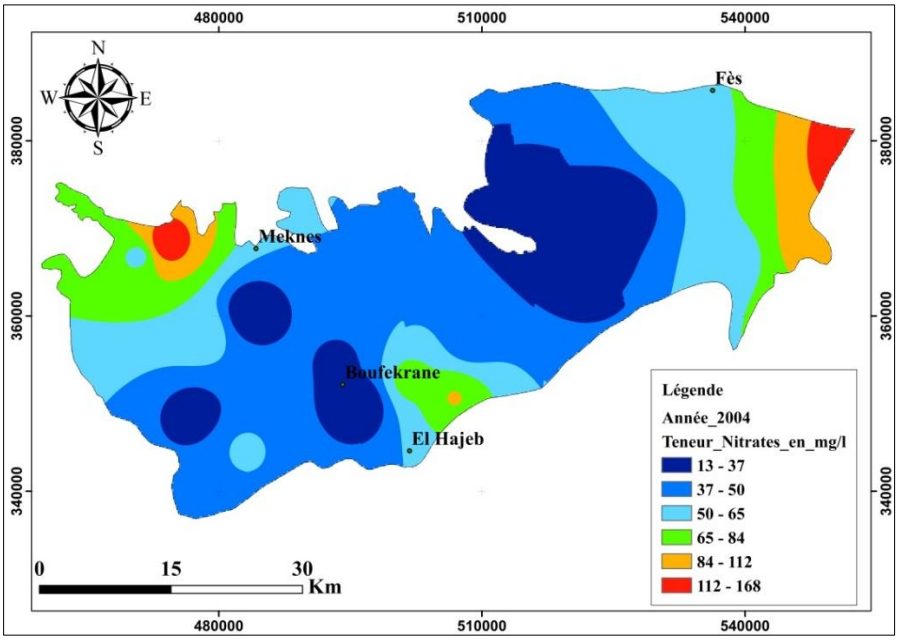


Figure 13: Carte des teneurs en nitrate (en mg/l) 2004

En 2006 (**Fig. 14**) presque tout le centre de la plaine et le nord d'Agouraï enregistrent des teneurs en nitrates dépassant la norme de potabilité, Une amélioration négative de la qualité a été observée sur la plus grande partie de la plaine. Les valeurs mesurées varient entre un minimale de 5 mg/l et un maximale de 202 mg/l.

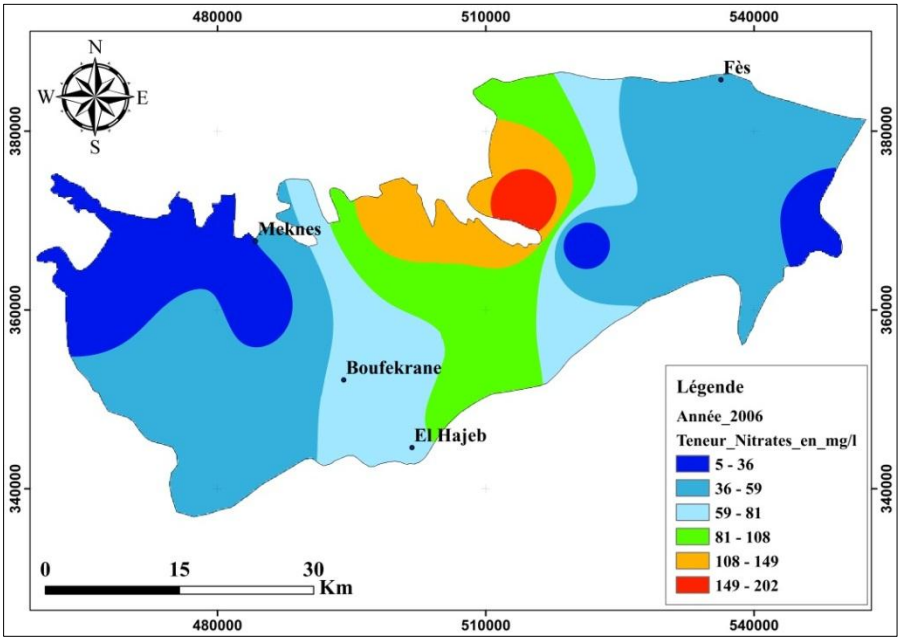


Figure 14: Carte des teneurs en nitrate (en mg/l) 2006

En 2013 (**Fig. 15**), les zones à fortes teneurs le deviennent davantage. Les teneurs en nitrates sont en dépassement de la norme dans presque toute la nappe et surtout dans ESE de Fès. Les valeurs mesurées varient entre un minimale de 14 mg/l et un maximale de 443 mg/l.

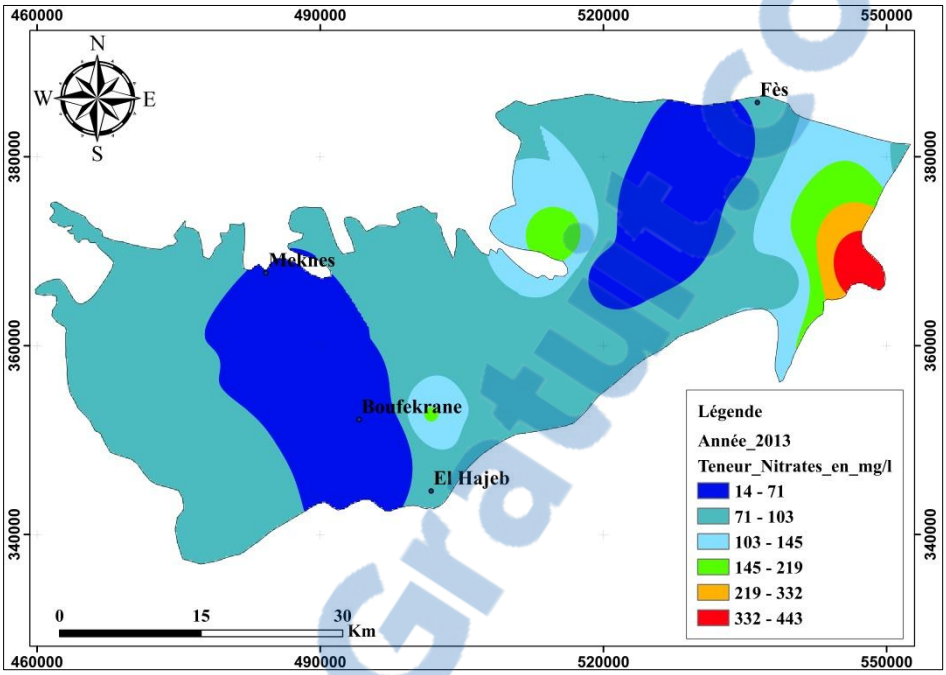


Figure 15: Carte des teneurs en nitrate (en mg/l) 2013

En 2015 (**Fig. 16**), les teneurs en nitrates sont élevées et dépassent la norme dans toute la nappe, Une dégradation de la qualité a été observée sur la plus grande partie de la plaine. Les valeurs mesurées varient entre un minimale de 34 mg/l et un maximale de 102 mg/l,

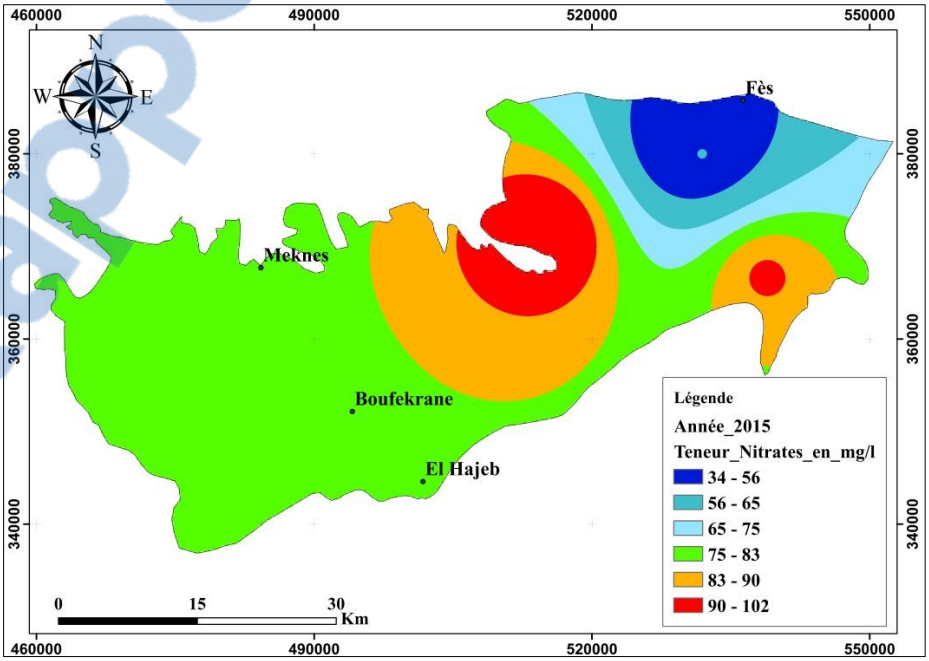


Figure 16: Carte des teneurs en nitrate (en mg/l) 2015.

Rapport-Gratuit.com

CONCLUSION

Les teneurs élevées en nitrates concernent les zones irriguées par les eaux souterraines et la partie aval de la nappe au contact avec les rides pré-rifaines. On constate que la majorité des points dépassant le seuil de potabilité (~90%) se concentrent dans le plateau de Meknès où la mise en valeur agricole est plus intensive avec le développement de l'irrigation et la pratique de l'arboriculture fruitière. Cependant, cette contamination n'est pas généralisée et les teneurs varient en raison, d'une part, de la dispersion des parcelles irriguées et d'autre part, de l'hétérogénéité du sous-sol qui détermine la vulnérabilité de la nappe à la pollution hydrique.

Les teneurs faibles sont mesurées dans les zones cultivées en bour où les pompages sont pratiquement absents bien que la nappe soit moins profonde, Il est à souligner que les rejets des grandes villes de Fès et Meknès ont lieu en aval de la nappe sur les affleurements du substratum marneux du Miocène. La contamination de la nappe est principalement d'origine agricole, les autres sources de pollution domestique ou industrielle étant localisées.

Pour les masses d'eau souterraines de la nappe Fès-Meknès, des teneurs en nitrates très élevées sont enregistrées, issus principalement des surplus azotés des périmètres irrigués implantés en cultures maraîchères et arboricoles à haute valeur ajoutée et besoins en intrants élevés. Ce paramètre est d'autant plus limitant pour l'atteinte du bon état en 2015 ou 2030, que les tendances d'évolution indiquent un accroissement alarmant de ces teneurs. La dégradation de la qualité des eaux souterraines de la nappe Fès-Meknès, nous a permis de cartographier les zones vulnérable à la pollution dans la nappe et cela quand va entamer dans le chapitre suivant.

CHAPITRE II : VULNERABILITE DE LA NAPPE A LA POLLUTION

INTRODUCTION

Avec l'accentuation des activités industrielles et agricoles dans la région de Fès-Meknès, l'utilisation et les quantités des pesticides augmentent, alors que le risque de pollution des sols, des ressources en eaux (superficielles et profondes) et de l'air augmente à son tour. Nous n'avons constaté que l'importance de réaliser une cartographie des zones vulnérables à la pollution au niveau de la nappe phréatique Fès-Meknès.

Le but visé par l'établissement d'une telle cartographie est de faire apparaître les possibilités de pénétration et de circulation des polluants dans la nappe phréatique. Sachant que cette dernière est exploitée par les villageois et les paysans pour la consommation en eau potable, l'irrigation et l'activité industrielle. L'étude de la vulnérabilité de la nappe de Fès-Meknès a pour objectif de préserver et d'améliorer la gestion des ressources en eaux souterraines.

I. DEFINITION ET BUT DE LA VULNERABILITE

La vulnérabilité est représentée par la capacité donnée à l'eau située en surface de rejoindre le milieu souterrain saturé en eau. La notion de vulnérabilité repose sur l'idée que le milieu physique en relation avec la nappe d'eau souterraine procure un degré plus ou moins élevé de protection vis-à-vis des pollutions suivant les caractéristiques de ce milieu.

Le concept de vulnérabilité peut se définir à 3 niveaux:

- Aptitude d'un système d'eaux souterraines à être contaminé;
- Intégration de l'aptitude des eaux souterraines à propager et à conserver la contamination;
- Prise en considération des caractéristiques polluantes du contaminant ce qui fait appel aux concepts de normes et de seuils de toxicité.

Dans la littérature, on distingue deux types de vulnérabilité ; la vulnérabilité intrinsèque et la vulnérabilité spécifique :

- La vulnérabilité intrinsèque est le terme utilisé pour représenter les caractéristiques du milieu naturel qui déterminent la sensibilité des eaux souterraines à la pollution par les activités humaines ;
- La vulnérabilité spécifique est le terme utilisé pour définir la vulnérabilité d'une eau souterraine à un polluant particulier ou à un groupe de polluants. Elle prend en compte les propriétés des polluants et leurs relations avec les divers composants de la vulnérabilité intrinsèque.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

La distinction des deux types de vulnérabilité est nécessaire car, d'une façon générale, elles ne se placent pas sur la même échelle d'investigation : la vulnérabilité intrinsèque peut-être considérer comme invariante dans le temps alors que la vulnérabilité spécifique (directement liée aux polluants éventuels) est évolutive et ne caractérise qu'un instant précis.

Signalant que les cartes de vulnérabilité intrinsèque ne tiennent pas compte des caractéristiques physicochimiques propres à un contaminant. Ces caractéristiques sont considérées comme équivalentes à celle de l'eau qui représente le contaminant le plus mobile et le plus persistant qui puisse exister. De plus l'estimation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution est calculée en fonction des sources externes des pollutions. Les causes naturelles de contamination n'entrent pas en ligne de compte dans cette estimation.

La vulnérabilité à la pollution d'une nappe souterraine est définie comme étant la susceptibilité de la qualité des eaux à une charge polluante anthropique. Cette susceptibilité reste liée aux propriétés intrinsèques de l'aquifère, c'est-à-dire sa nature et ses caractéristiques physiques (Foster et al., 1987). Généralement, la vulnérabilité des eaux souterraines à la contamination est cependant considérée comme étant le risque de dégradation de la qualité de l'eau due à l'activité humaine compromettant l'exploitation de cette ressource.

Afin d'évaluer l'impact que peut avoir la pollution diffuses et/ou ponctuelle sur l'aquifère, les méthodes de vulnérabilité ont été développées et appliquées largement sur plusieurs sites au monde. Ces méthodes donnent des indications précieuses en ce qui concernes les sites les plus menacés d'un aquifère par éventuellement des pollutions issus des aménagements ou activités pratiquées sur le territoire de cet aquifère.

Plus de 24 méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des nappes à la pollution sont recensées dans la littérature internationale (Civita, 1993). Les plus utilisées sont : les méthodes dites : DRASTIC 'Aller et al en 1987), F-DRASTIC (R. BOUCHAN, 2015) GOD, EVARISK, MINNESOTA, EPIK, AVI, SINTACS, PI, COP... Dans notre étude nous avons adopté les deux méthodes DRASTIC, et GOD qui sont largement utilisées du fait qu'sont se base sur les paramètres exhaustifs de l'aquifère. En plus, elles ont été testées sur plusieurs sites dans le Maroc (nappe d'el Maâmoura, Haouz…).

Dans le but de préserver les ressources en eau souterraine de l'aquifère de Fès-Meknès et d'améliorer sa gestion, ce chapitre consiste à cartographier et évaluer sa vulnérabilité à la pollution par l'application des deux méthodes DRASTIC et GOD qui sont considérées comme des outils d'aide à la décision en matière d'aménagement du territoire.

II. CONCEPT DES CARTES DE VULNERABILITE

La cartographie de la vulnérabilité intrinsèque à la pollution des eaux souterraines est une technique qui permet d'identifier les zones à haut risque de contamination et de subdiviser le secteur d'étude en plusieurs unités qui ont des niveaux différents de vulnérabilité. Elle se base sur le traitement d'un grand nombre de données en relation avec les horizons géologiques situés entre l'aquifère et la surface du sol (**Fig.17**). Le type de polluant, la vitesse de migration et la dégradation du contaminant ne sont alors pas considérés.

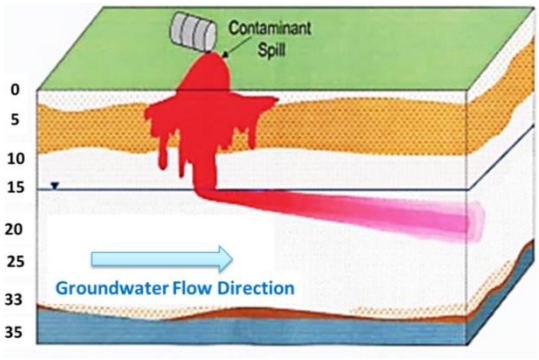


Figure 17: Schéma explicatif montrant le trajet d'un polluant dans les trois compartiments géologiques: sol, ZNS et ZS.

III. Choix des méthodes DRASTIC et GOD utilisées dans le cadre de cette étude

Après analyse critique des différentes méthodes de détermination de la vulnérabilité des nappes, le choix à faire pour le présent travail s'orientait vers les méthodes DRASTIC et GOD. L'utilisation de ces méthodes se justifie par leur complémentarité. L'importance de GOD réside dans le fait qu'il tient seulement compte des facteurs les plus significatifs pour évaluer la vulnérabilité. La base de données relative à ces paramètres est facilement accessible, contrairement à la méthode DRASTIC où les paramètres tels que la recharge et la zone non saturée qui jouent un rôle prépondérant dans la migration d'un polluant sont évaluées avec beaucoup d'approximations. Cependant, la méthode DRASTIC reste et demeure l'une des meilleures méthodes pour l'estimation de la vulnérabilité intrinsèque lorsque toutes les conditions sont réunies. C'est une méthode de vulnérabilité intrinsèque des aquifères poreux.

Enfin, ces deux méthodes dites de cartographie à index, peuvent s'appliquer tant sur les nappes superficielles que profondes. Toutefois, la méthode GOD ne traite pas de la migration des polluants dans la zone saturée. Dans ces méthodes une note est attribuée à chaque paramètre. Cette dernière est définie en divisant l'intervalle de variation de chaque paramètre en gammes de différentes ampleurs. La vulnérabilité est exprimée en fonction des notes de tous les paramètres. La valeur de l'indice de vulnérabilité, divisée en intervalles, exprime le degré relatif de vulnérabilité.

IV. LA METHODE DRASTIC

Cette méthode a été conçue dans les années 1980 par la National Water Well Association suite à une demande d'US Environmental Protection Agency, puis utilisée et développée par L. Aller et al en 1987. Cette méthode consiste à estimer le potentiel de pollution des eaux souterraines (Schnebelen et al, 2002).

Elle permet d'évaluer la vulnérabilité verticale en se basant sur les sept paramètres (**Fig.18**) hydrogéologiques suivants (Sinan et al., 2003) :

(D) : Profondeur de la surface de la nappe (ou Depth);

(R) : Recharge nette;

(A) : Nature lithologique de l'Aquifère;

(S) : Sol (granulométrie et faciès);

(T) : Topographie des terrains;

(I) : Impact de la zone non saturée (lithologie et épaisseur);

(C) : Conductivité hydraulique (perméabilité) de la zone saturée.

Pour chaque paramètre hydrogéologique critique, une note variant de 1 à 10 (Ni) et un poids allant de 1 à 5 (Pi) ont été attribués d'après son importance dans le modèle DRASTIC. L'index de vulnérabilité final **ID** est la somme pondérée des sept paramètres hydrogéologiques selon la formule suivante. (Aller et al, 1985)

$$\textbf{Indice de vulnérabilité} = \Sigma\ (Ni * Pi)$$

Plus le résultat final est élevé, plus la nappe est vulnérable.

$$\mathbf{ID} = (\mathbf{Dn} \times \mathbf{Dp}) + (\mathbf{Rn} \times \mathbf{Rp}) + (\mathbf{An} \times \mathbf{Ap}) + (\mathbf{Sn} \times \mathbf{Sp}) + (\mathbf{Tn} \times \mathbf{Tn}) + (\mathbf{In} \times \mathbf{Ip}) + (\mathbf{Cn} \times \mathbf{Cp})$$

$$ID = 5D + 4R + 3A + 2S + 1T + 5I + 3C$$

Où:

- D, R, A, S, T, I et C sont les sept paramètres hydrogéologiques de la méthode DRASTIC
- n : note accordée à chaque paramètre (Tab.6)
- p : poids accordé à chaque paramètre (Tab.7)

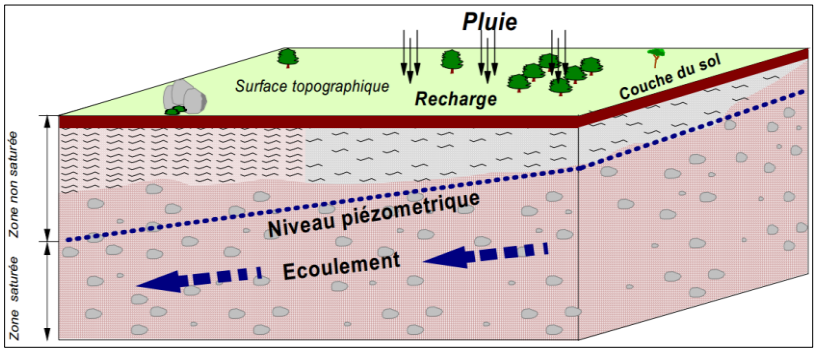


Figure 18: : schéma représentatif des paramètres interenant dans l'évaluation de la vulnérabilité de la nappe à la pollution.(Sinan, 2007)

Tableau 4: Notations accordées aux paramètres de la méthode DRASTIC (d'après Barèes, 1994).

D : distance à la nappe (Epaisseur de la ZNS)		R : recharge (Pluie efficace)	
Valeurs en mètres	**Note**	**Valeurs en mm**	**Note**
0 – 1,5 1,5 – 4 ,5 4,5 – 9 9 – 15 15 – 22 22, 5 – 30 >30	10 9 7 5 3 2 1	>25,5 17,5 – 25,5 10 – 17,5 5 – 10 0 – 5	9 8 6 3 1
A : nature de la zone saturée		**S : nature du sol**	
Calcaire karstique Basalte Sable et gravier Calcaire massif Grès massif Shales en séquence Métamorphique altéré, grès lités, calcaires Métamorphique Shale massif	10 9 8 6 6 6 4 3 2	Peu épais ou absent, Gravier Sable Argile, agrégats ou pentes Limon sableux Limon Limon silteux Limon argileux Argile non agrégée et non fissurée	10 9 7 6 5 4 3 1
T : topographies, pente		**I : nature de la ZNS**	
0 -2 2 – 6 6 – 12 12 – 18 >18	10 9 5 3 1	Calcaire karstique Basalte Sable et gravier Sable et gravier avec silt et argile Calcaire lité, grès, shale Grès, Calcaire Shale Silt/argile	10 9 8 6 6 6 3 1
C : Conductivité hydraulique		**Notation**	
> 9,4 10-4 m/s 4,7 10-4 - 9,4 10-4 m/s 32,9 10-5 - 4,7 10-4 m/s 14,710-5 - 32,9 10-5 m/s 4,710-5 - 14,710-5 m/s 4,710-7 - 4,710-5 m/s		10 8 6 4 2 1	

Tableau 5: Poids attribués aux paramètres DRASTIC (Aller et al., 1987).

Classe	Poids
Classe1 **- La profondeur de la nappe (D)** **- La nature lithologique de la zone non saturée (I)**	**5** **5**
Classe 2 **- La recharge (R)** **- La nature lithologique de la zone saturée (A)** **- Conductivité hydraulique (C)**	**4** **3**
Classe 3 **- La texture du sol (S)** **- La topographie (T)**	**2** **1**

Les cartes obtenues permettent de visualiser le degré relatif de vulnérabilité de la zone d'étude. Le potentiel de pollution augmente dans le même sens que l'index de vulnérabilité.

Tableau 6: Critères d'évaluation de la vulnérabilité dans la méthode DRASTIC (D'après Aller et al. (1987)).

Degré de vulnérabilité	Indice de vulnérabilité
Très Faible	< 80
Faible	80 – 120
Moyen	121 – 160
Elevé	161 – 200
Très élevé	>200

a. Principe de la méthode DRASTIC

L'évaluation de la vulnérabilité par la méthode DRASTIC repose sur trois hypothèses fondamentales (Kachi S., 2007) :

- La source de contamination potentielle est localisée en surface du sol;
- Les contaminants sont entrainés depuis la surface du sol jusqu'à l'aquifère par l'infiltration efficace, soit verticalement;
- Le type de contaminant n'intervient pas dans la définition de la vulnérabilité, c'est-à-dire que le contaminant est considéré comme possédant la même mobilité que l'eau.

Les défauts de cette méthode ne prend pas en considération la présence des fractures, des cours d'eau, de la karstification et le type de végétation développée en surface (une forêt est différente d'une ferme ou d'un pâturage) …etc.

b. Paramètres hydrogéologiques

1. Profondeur de la nappe (D)

La profondeur de la nappe d'eau est un paramètre important, qui constitue un facteur

déterminant de la vulnérabilité (Gouaidia, 2008). Il correspond à la distance mesurée depuis la surface du sol jusqu'au niveau statique de l'eau dans la nappe. Cette profondeur conditionne le temps de transfert du polluant et sa possibilité de dégradation. Plus la profondeur est grande, plus le contaminant met beaucoup de temps pour atteindre le niveau d'eau.

La carte des profondeurs du plan d'eau de la nappe souterraine a été établie à partir des données des forages au niveau de la nappe (**Fig.19**). La reclassification des profondeurs de la nappe nous a permet de différencier entre quatre sections illustrer dans la figure 20.

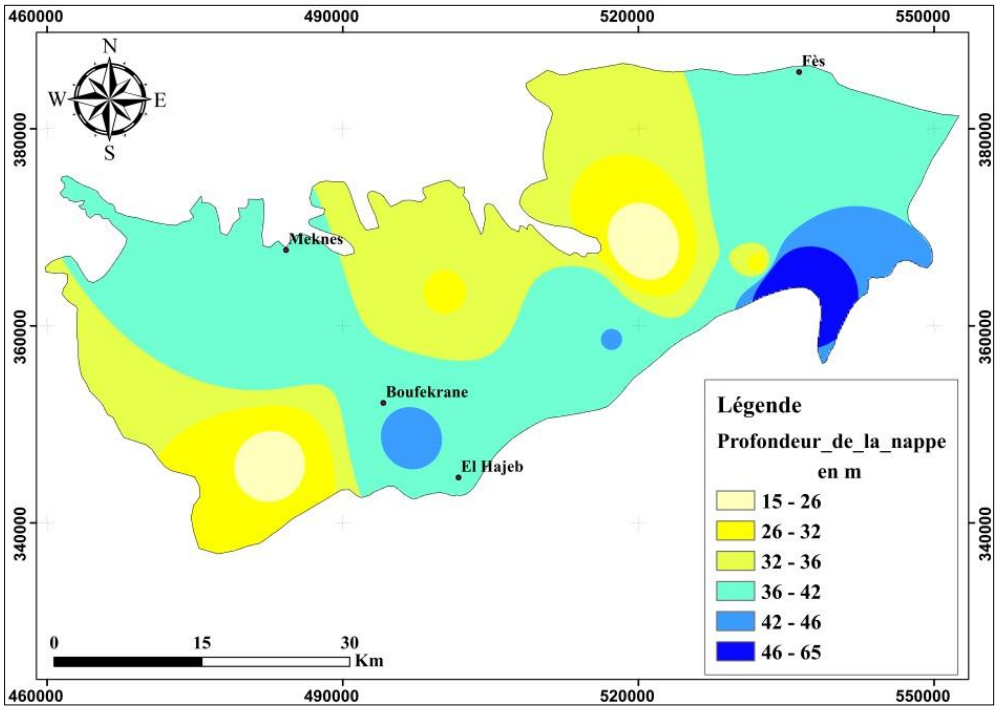


Figure 19: carte des profondeurs de la nappe Fès-Meknès (aout 2016-sept2017)

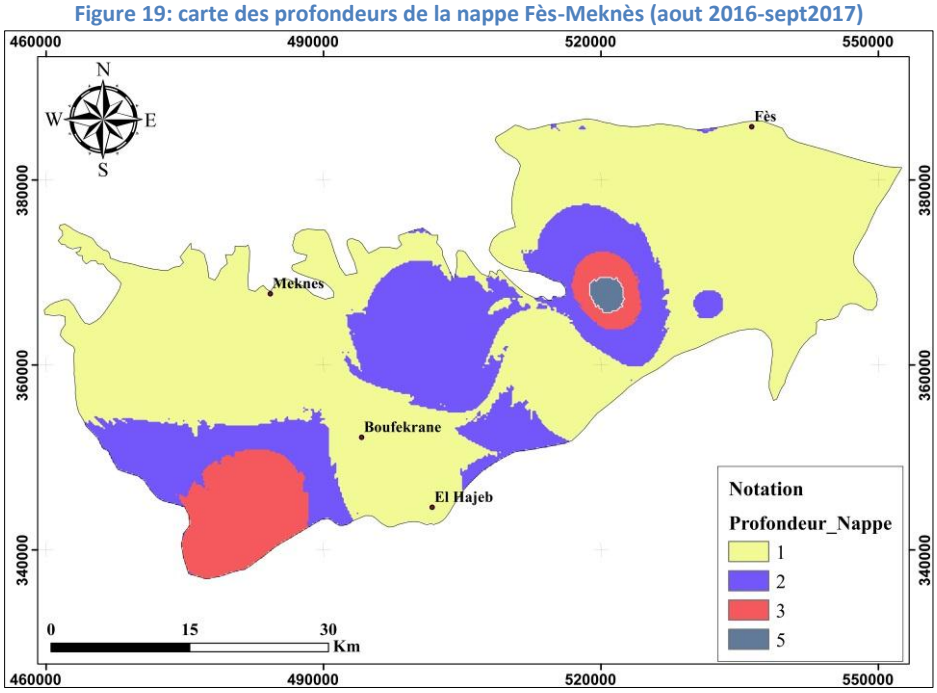


Figure 20: Notation de la profondeur de la nappe Fès-Meknès.

2. Recharge nette/Infiltration efficace (R)

La recharge nette la quantité d'eau qui s'infiltre de la surface de la terre à l'aquifère sur une période donnée (recharge annuelle). Plus cette quantité d'eau est grande, plus le risque de contamination est élevé. Elle est également liée à la topographie et la nature des formations superficielles. Certains facteurs anthropiques sont considérés comme sources de recharge incluant la recharge artificielle, l'irrigation, et l'application des eaux usées.

Les caractéristiques hydrodynamiques de la zone saturée (aquifère) influencent d'une façon importante la dilution et la diffusion des polluants.

La recharge déterminée sur l'ensemble de la zone d'étude est égale à 104 mm^3/ans. Les données de la recharge proviennent a été classée selon des hauteurs de lame d'eau (**Fig.21**). Pour chaque maille, une note a été affectée (**Fig.22**).

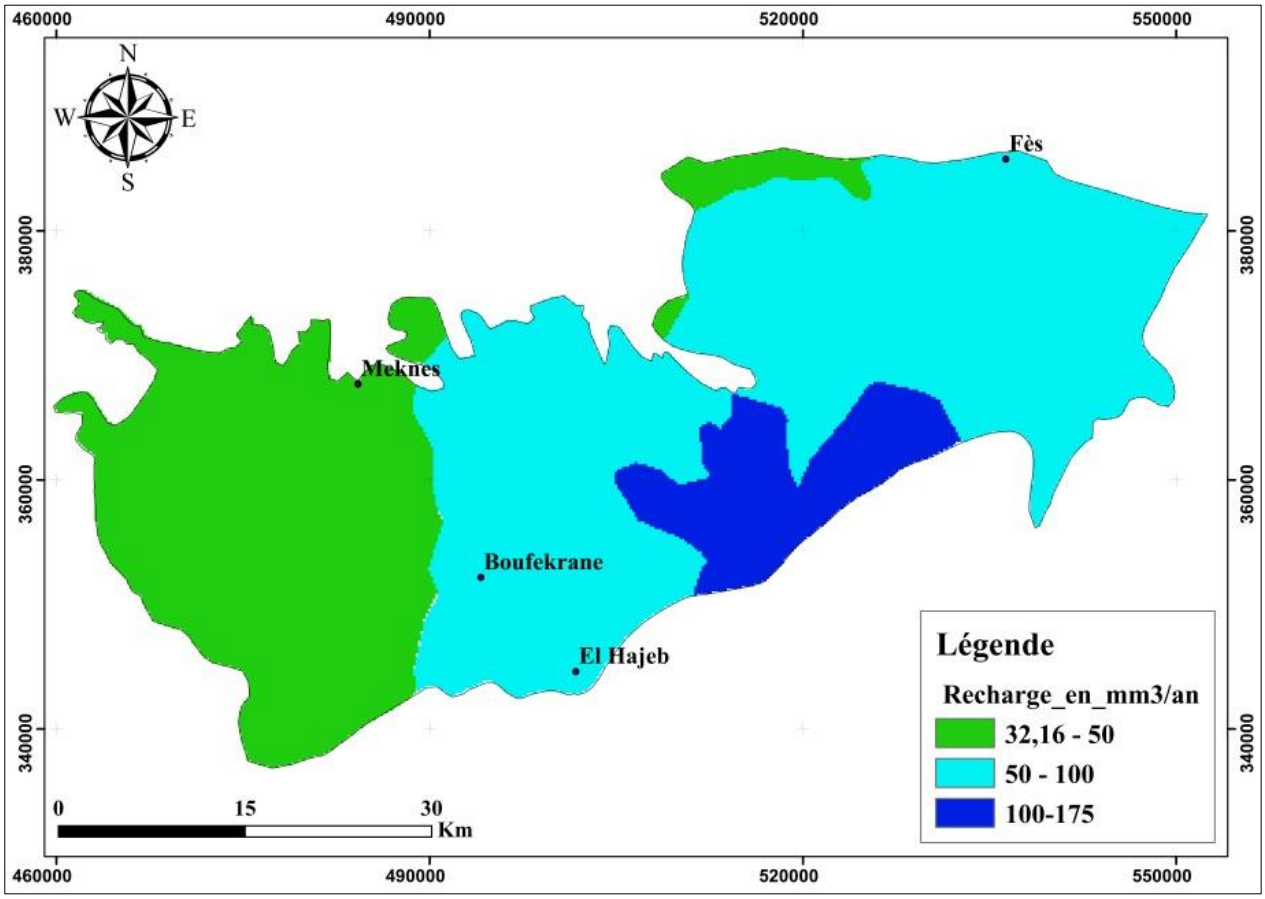


Figure 21: carte de répartition de la recharge.

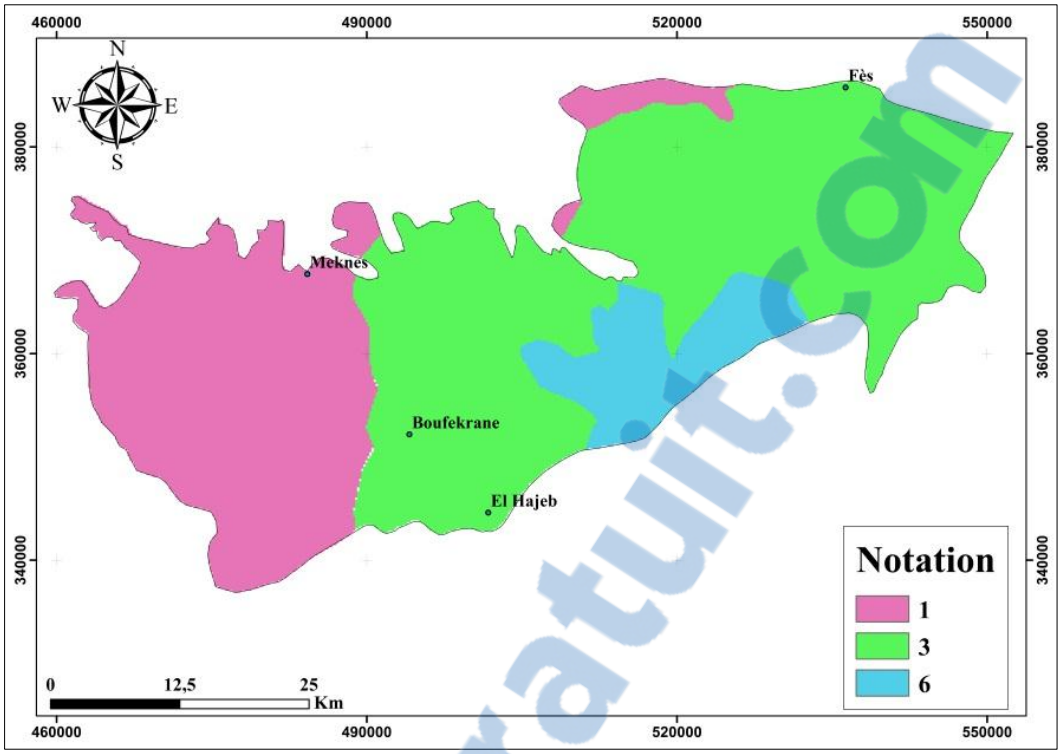


Figure 22: Notation de la recharge

3. La zone saturée ZS et type d'aquifère (A)

Généralement, la circulation et la propagation d'un contaminant dans la zone saturée dépendent de la texture et de la lithologie des couches de l'aquifère. Cela est toujours contrôlé par la granulométrie, la porosité, la perméabilité et la lithologie des formations géologique. De plus, la fracturation et la karstification joue un rôle essentiel dans la propagation des contaminants.

L'identification de ce paramètre est basée sur les logs des forages réalisés pour le captage de la nappe d'eau, et sur l'étude du terrain. D'une façon générale, la nappe circule dans des sables, grès et conglomérats du Plio-Quaternaire, marnes sableuses et localement dans des calcaires lacustres. A l'Ouest, la nappe circule dans un complexe sablo-limoneux, pouvant atteindre 70m 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. Dans la partie centrale de la plaine du Saïs, la nappe circule notamment dans des calcaires lacustres karstifiés, d'épaisseur comprise entre 40 et 80m. Plus à l'Est, les calcaires lacustres disparaissent au profit de conglomérats et de sables argileux, sur une épaisseur de moins 40m (**Fig.23**). La carte de notation des faciès de la ZS est illustrée dans la **figure 24**.

Rapport-Gratuit.com

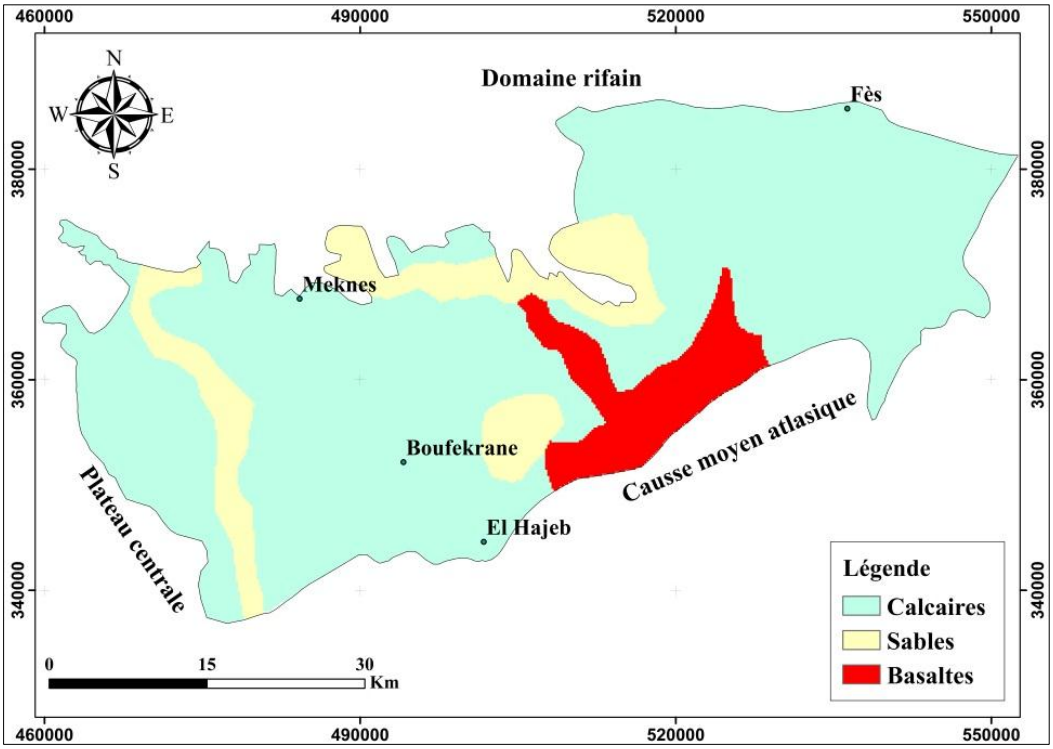


Figure 23: carte de la lithologie de la zone saturée

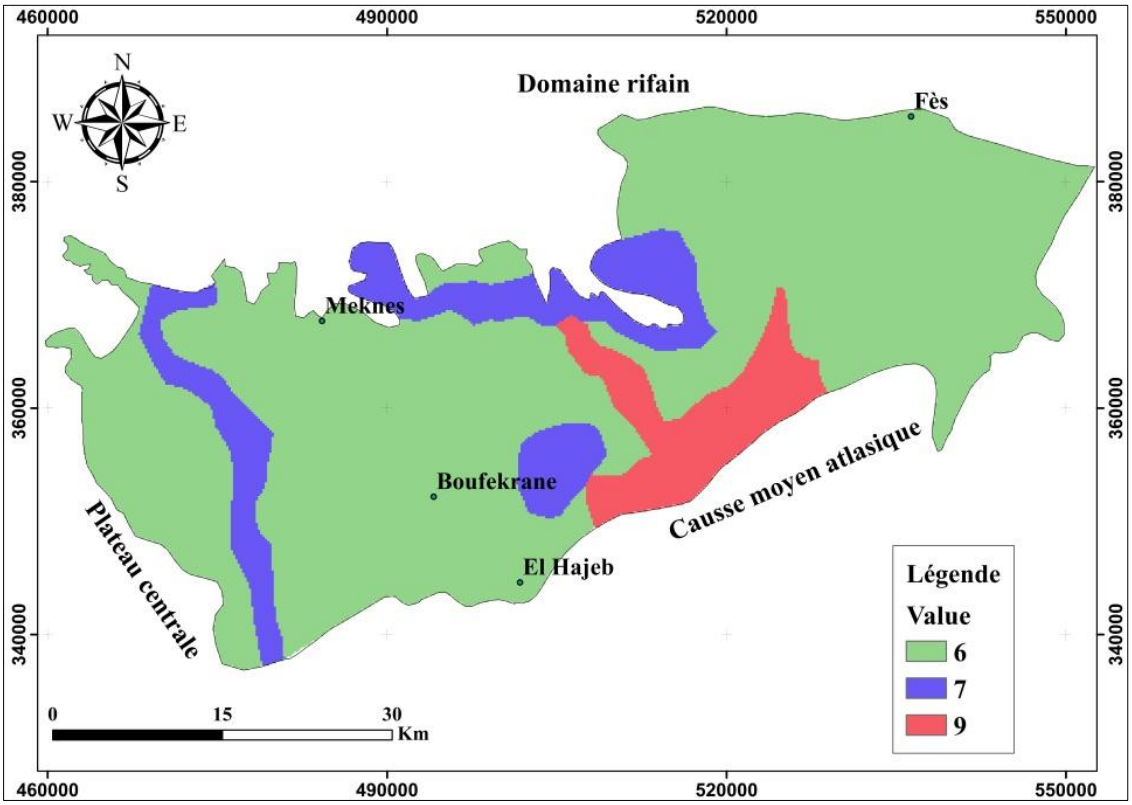


Figure 24: Notation de la zone saturée.

4. Type de sol (S)

Le type de sol influe sur la pénétration des polluants vers l'aquifère. Plus le sol est riche en argile, plus l'absorption des polluants est importante, et plus la protection des eaux souterraines est grande.

Les sols dans la zone d'étude se répartissent à l'intérieur des classes suivantes :

- La classe des sols minéraux ;
- La classe des sols peu évolués non climatiques ;
- La classe des calcimagnésiques carbonatés ;
- La classe des vertisols ;
- La classe iso-humiques ;
- La classe des sols à Sesquioxydes de fer.

Ces sols sont étroitement imbriqués les uns dans les autres formant une mosaïque réglée par des composantes du milieu difficilement prévisibles.

Les sols sont généralement profonds. Les altérations calcaires peuvent atteindre 10 à plus de 20 m. Mais la majorité des cas coïncide avec une lithologie franchement limoneuse calcaire, à encroûtement ou reliques de calcaires lacustres, offrant une faible résistance (**Fig.25**).

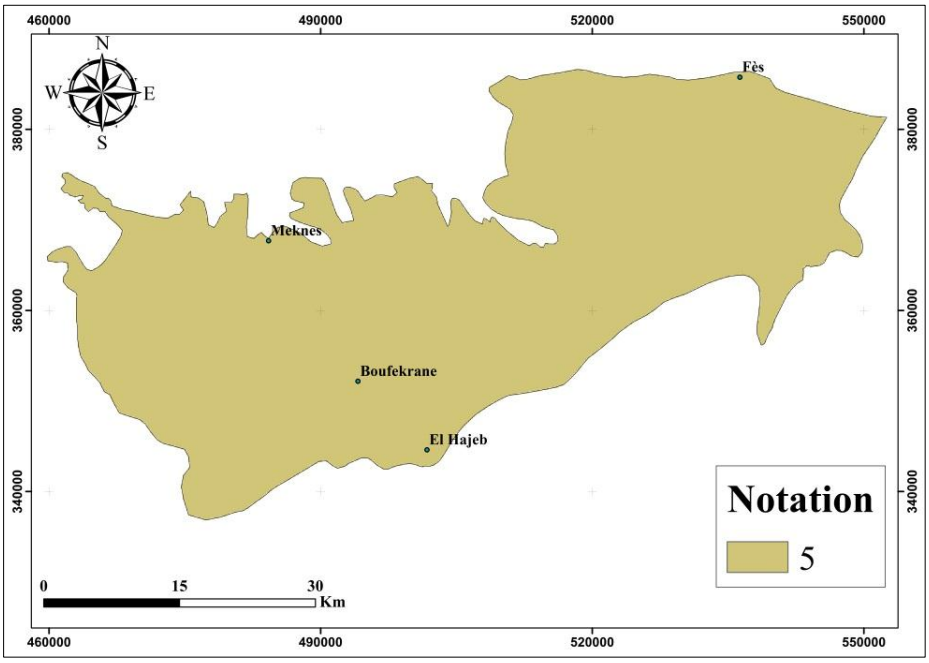


Figure 25: Notation du type de sol.

5. Topographie(T)

La topographie représente la variabilité de la pente de la surface terrestre. Le degré de la pente déterminera la puissance d'infiltration des eaux de ruissellement. En effet, plus la pente est important, plus le ruissellement est fort, et moins l'eau parvient à s'infiltrer. Les données de la topographie proviennent du modèle numérique. A partir de ces données, une carte des

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

pentes a été élaborée (**Fig.26**). Le plateau de Meknès présente une pente du Sud vers le Nord. Cette pente se redresse au contact des rides pré-rifaines. La plaine du Saïs présente une altitude décroissante du Sud au Nord. La pente se relève au contact des collines pré-rifaines.

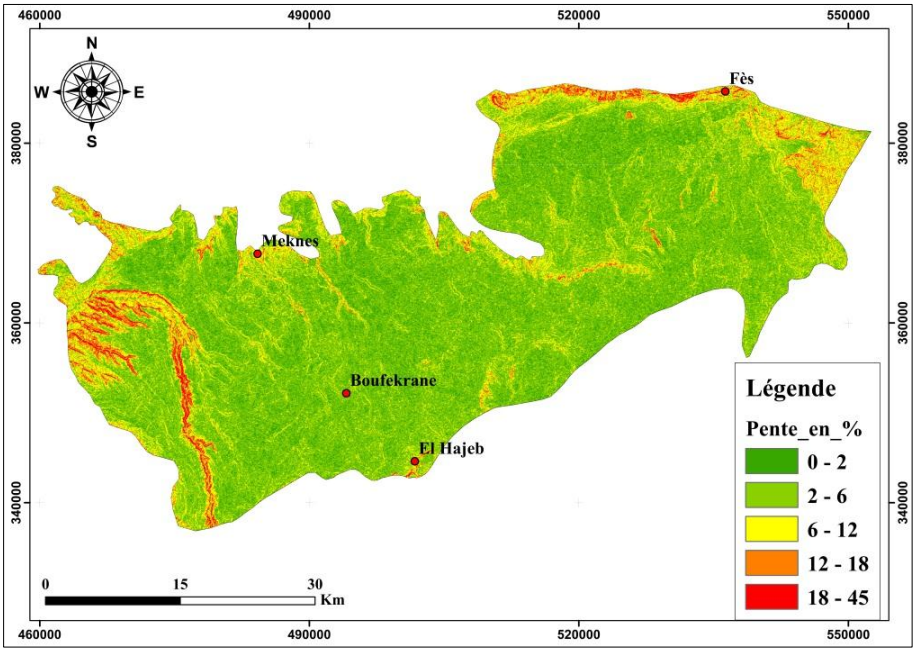


Figure 26: Carte des pentes en %

La classification des intervalles de la pente nous a permis de classée le en 5 section représentées dans la carte suivante (**Fig.27**) :

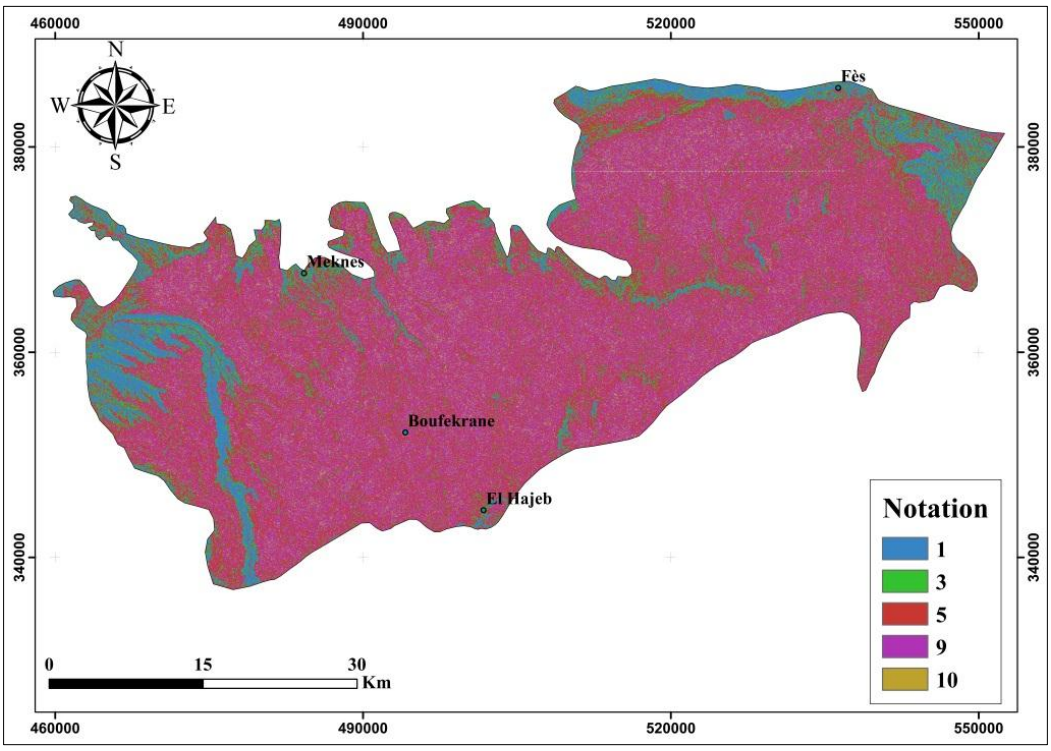


Figure 27: Notation de la pente.

6. La zone non saturée ZNS (Vadose) (I)

La zone non saturée ou zone vadose correspond aux couches de terrain entre la surface topographique et la côte piézométrique maximale de la nappe. En termes de protection, la zone vadose intervient à la fois par son épaisseur et par sa lithologie. Plus la granulométrie de cet horizon est grossière et son épaisseur (ou profondeur de la surface de la nappe) est faible, plus la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution devient élevée.

D'après la carte géologique du Maroc (1/50000), les faciès qui constituent la zone non saturées sont (**Fig.3**) :

- Facies lacustres ou placustres du pleistocène inferieur « villafranchien » et moyen ;
- Calcaires lacustres de sais d'âge pliocène inferieur et moyen ;
- Les sables fauves du sais d'âge pliocène ;
- Basaltes épanchement du trias sup ;
- Les alluvions du pleistocène sup et halocène ;
- Les sables du miocène sup et les basaltes et les ankaratrites du plio-IV.

La notation de la lithologie de la zone vadose est illustrée dans la **figure 28**, montre 5 intervalles bien définies.

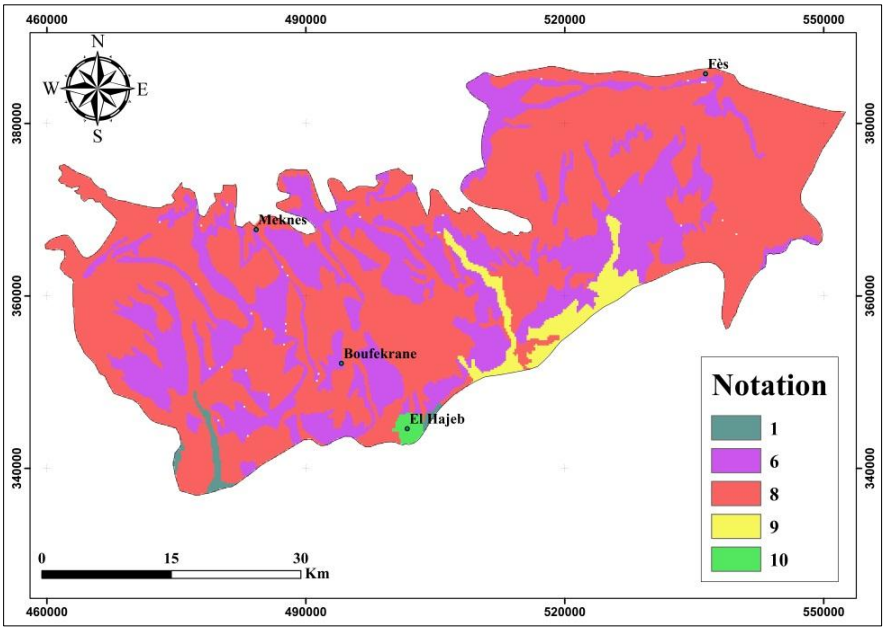


Figure 28: Notation de la zone vadose.

7. Conductivité hydraulique (Perméabilité)

La perméabilité indique la capacité d'un aquifère à se laisser traverser par l'eau. Plus se paramètre est important, plus le transfert des polluants est rapide.

Elle varie généralement entre 1.10^{-5} m/s et 5.10^{-3} m/s, avec une valeur moyenne d'environ 6.6 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.

10^{-5} m/s au niveau de la limite Nord du plateau de Meknès et entre 2. 10^{-7} et 3. 10^{-5} m/s en bordure de la rive gauche amont de l'oued El Kell (**Fig.29**). La notation de la carte de perméabilité montre 3 sections (**Fig.30**) selon la classification dans le tableau (Tab.4).

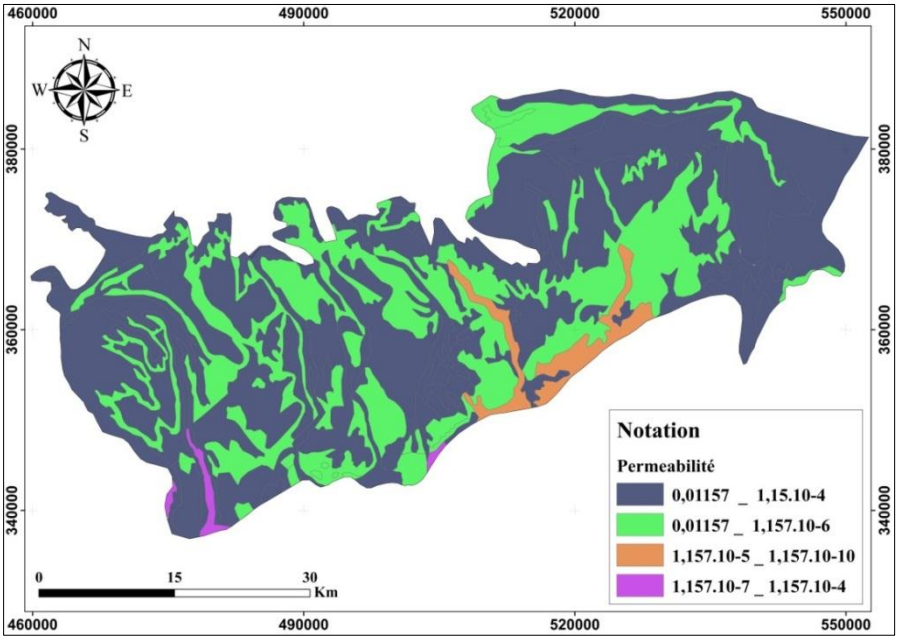


Figure 29: Carte de perméabilité.

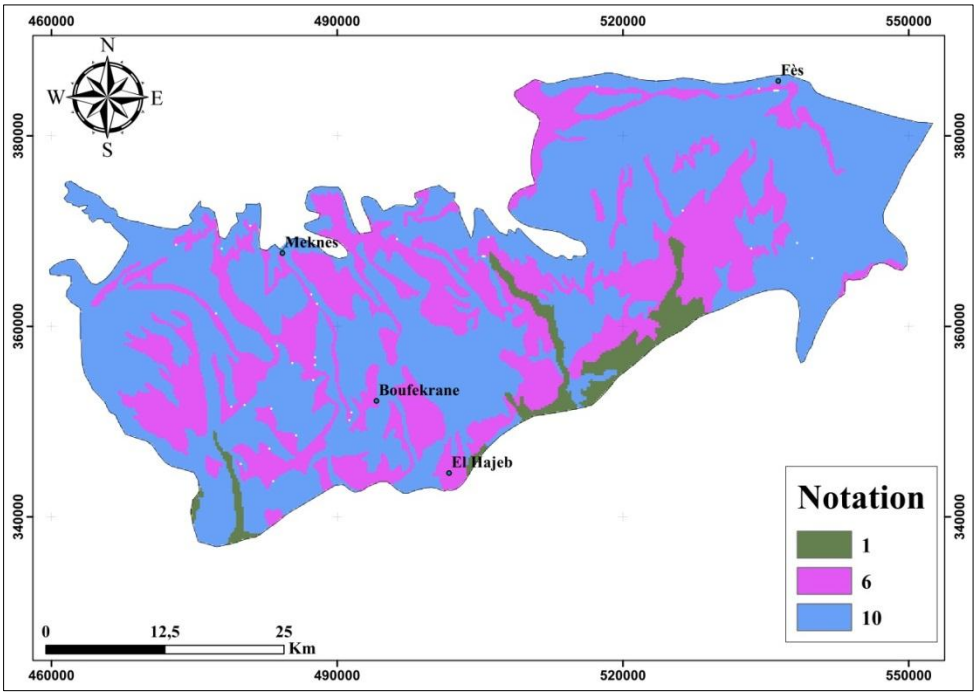


Figure 30: Notation des perméabilités.

c. Carte de vulnérabilité

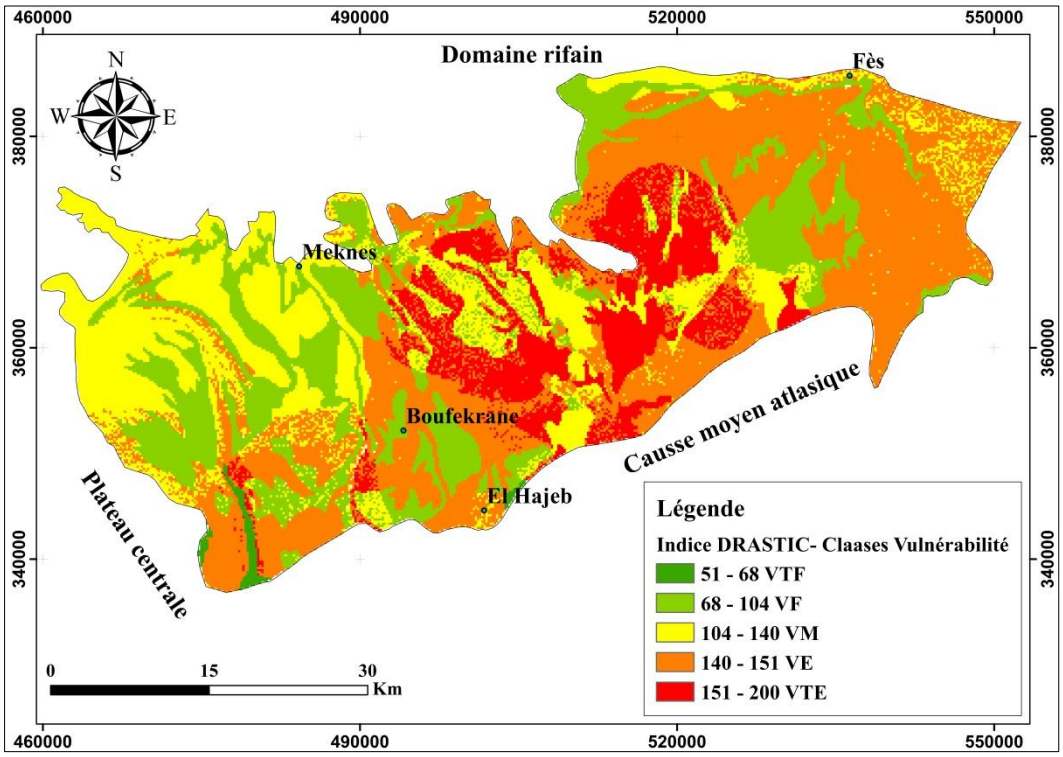


Figure 31: Carte de vulnérabilité intrinsèque de la nappe phréatique du bassin de Fès-Meknès selon la méthode DRASTIC.

L'analyse de cette carte (**Fig.31**), établie à l'aide de la méthode DRASTIC, a permis de distinguer 4 classes de degrés de vulnérabilité. Ces classes, se répartissent principalement en quatre zones :

- La première zone est de faible (vert claire) à très faible (vert foncé) vulnérabilité se localise surtout à l'Ouest du plateau de Meknès. Cela correspond à une épaisseur de la zone non saturée (ZNS) assez élevée, une perméabilité assez faible et une recharge contrastée ;
- La deuxième zone à vulnérabilité moyenne (Jaune) se localise surtout dans le plateau de Meknès et se concentre généralement au Nord-Ouest de la nappe ;
- La troisième zone à vulnérabilité élevée (orange) occupe une grande superficie et répartisse presque sur toute la nappe.
- La vulnérabilité très élevée s'étend principalement dans les fonds de vallées, les zones alluviales et au niveau des émergences au centre de la nappe à l'Est de la ville de Meknès et à l'Ouest de la ville de Fès et en contact avec les causses moyens atlasique. Ces secteurs sont des zones où la ZNS et la profondeur de la nappe est faible, ainsi la perméabilité de l'aquifère est élevée.

En comparaison avec une ancienne étude de Sadkaoui en 2011 (**Fig.32**), on remarque une diminution des zones à faibles vulnérabilité et une augmentation des zones moyennes à très forte vulnérabilité.

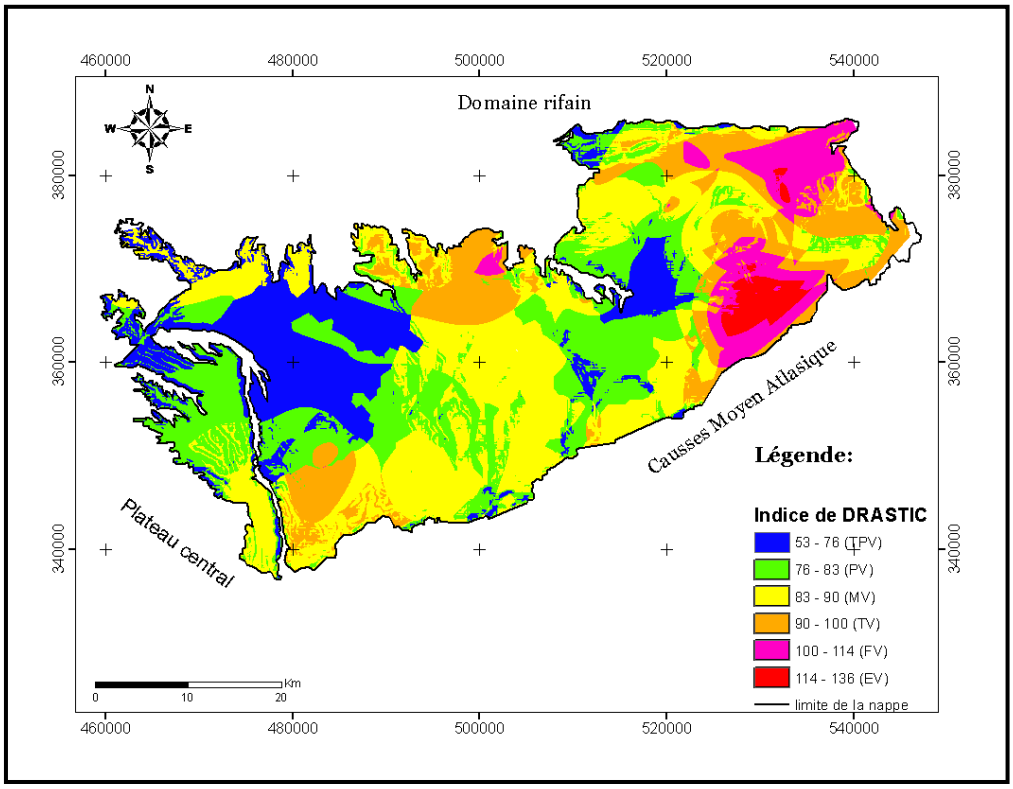


Figure 32: Carte de vulnérabilité intrinsèque de la nappe phréatique du bassin de Fès-Meknès selon la méthode DRASTIC (Sadkaoui, et al. 2011)

V. LA METHODE GOD

Ce système a été développé par Foster en 1987, il présente la vulnérabilité de l'aquifère face à la percolation verticale de polluants à travers la zone non saturée et ne traite pas la migration latérale des polluants dans la zone saturé.

Cette méthode est basée sur l'identification de trois critères :

- Type de nappe (Groundwater occurrence) ;
- Type d'aquifère en termes de facteurs lithologiques (Overall aquifer class) ;
- Profondeur de la nappe (Depth to groundwater table).

Le but de cette méthode est de réaliser une estimation rapide de la vulnérabilité d'un aquifère.

Le mot GOD est un acronyme des paramètres suivants:

- **G** : Groundwater occurrence (type d'aquifère) ;
- **O** : Overall aquifer class (caractéristiques de l'aquifère en terme de lithologie et de porosité) ;
- **D** : Depth of water table (profondeur à la nappe).

Calcul de l'indice de vulnérabilité GOD :

$$Iv_{(GOD)} = C_A \times C_L \times C_D$$

Avec:

C_A : note du type d'Aquifère ;

C_L : note de la lithologie de la ZNS de l'aquifère ;

C_D : note de la profondeur (Depth) à la surface de la nappe

Les notes utilisées pour chaque paramètre utilisé, varient entre 0 et 1.

Note de type d'aquifère

Tableau 7: Notation de type d'aquifère

Type aquifère	Note
Aucun aquifère	0
Aquifère confiné* et artésien	0.1
Aquifère confiné et non artésien	0.2
Aquifère semi-confiné	0.3
Aquifère avec couverture de surface assez perméable	0.4-0.6
Aquifère non confiné	0.7-1

* : Confiné = captive

L'indice GOD a pour valeur minimale " 0 " et " 1 " comme valeur maximum. D'une manière générale, les indices GOD sont répartis en cinq classes de vulnérabilité allant du "très faible" à "extrême" (**Tab.7**). Le degré de vulnérabilité augmente avec l'indice GOD (IG).

Tableau 8: Classification de l'indice GOD (Murat et al. 2003)

Intervalle	Classe GOD
0 – 0,1	Vulnérabilité très faible
0,1 – 0,3	Vulnérabilité faible
0,3 – 0,5	Vulnérabilité modérée
0,5 – 0,7	Vulnérabilité forte
0,7 – 1	Vulnérabilité extrême

Tableau 9: Notes de la lithologie de la ZNS (Cl)

Nature lithologique	Note
Sol résiduel	0,4
Limon alluvial, argile, marne, calcaire fin	0,5
Sable éolien, siltite, tuf, roche ignée et métamorphique fracturée	0,6
Sable et gravier, grès, tuf	0,7
Gravier (colluvions)	0,8
Calcaire	0,9
Calcaire fracturé ou karstique	1

Tableau 10: Notes de la profondeur de la nappe (Cp).

Profondeur (m)	0 – 2	2 - 5	5 – 10	10 – 20	20 - 50	50 - 100	>100
Note	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4

i. Type d'Aquifère

La nappe Fès-Meknès a un aquifère libre généralisé qui s'étale sur 2100 Km². (Note = 1)

ii. Lithologie de la ZNS de l'aquifère

La lithologie de la ZNS est provient de la carte géologique 1/50000 (fig.27).

iii. Profondeur (Depth) à la surface de la nappe

La carte de la profondeur à la surface de la nappe est représentée dans la figure 20.

iv. Carte de vulnérabilité

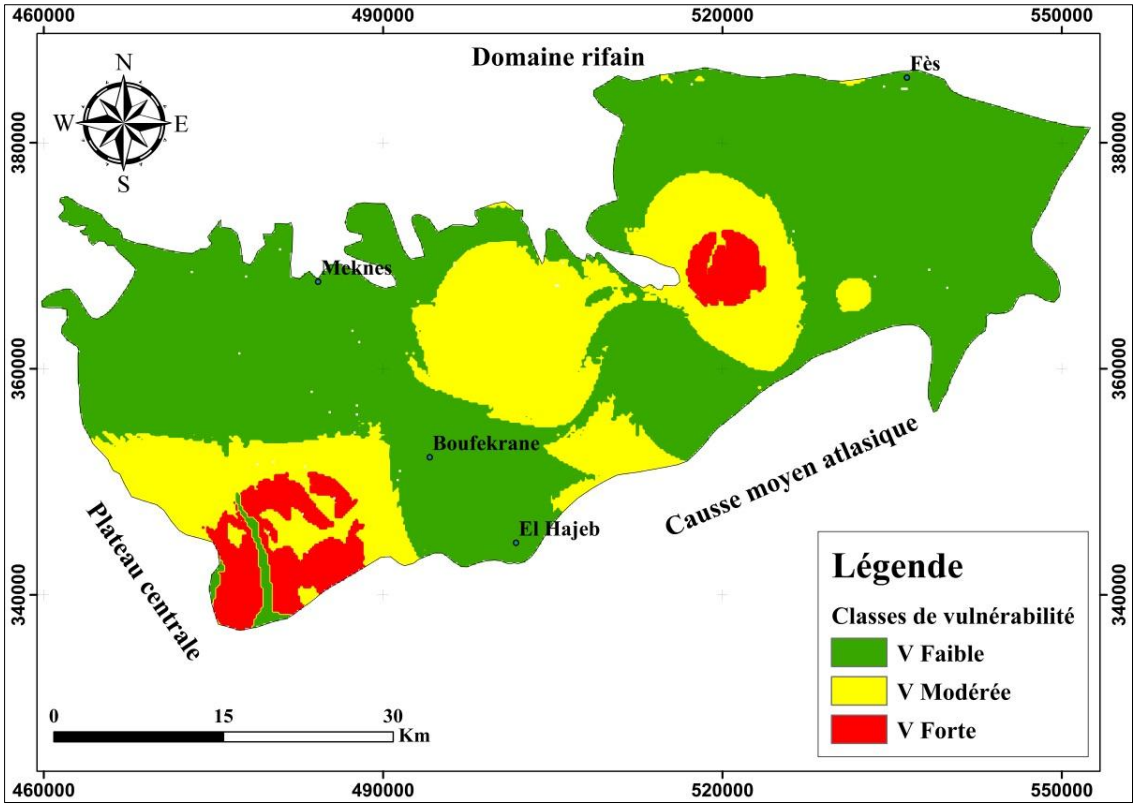


Figure 33: Carte de vulnérabilité intrinsèque de la nappe phréatique du bassin de Fès-Meknès selon la méthode GOD

La distribution spatiale de la vulnérabilité intrinsèque du système hydrogéologique par la méthode GOD (**Fig.33**), montre trois classes de vulnérabilité : une vulnérabilité forte (VF) qui occupe une grande partie du bassin, une vulnérabilité moyenne (VM) au centre de la nappe à l'Ouest et au sud du plateau de Meknès ainsi dans les bordures de la nappe, et une vulnérabilité forte (VF) a été identifiée dans les régions de Ain Taoujtate et d'Agourai.

CONCLUSION

L'évaluation de la vulnérabilité des aquifères par les méthodes GOD et DRASTIC montre une similarité des résultats. Les deux cartes élaborées montrent que la nappe phréatique de Fès-Meknès est globalement de moyenne à forte vulnérabilité à la pollution. Les zones de forte vulnérabilité sont situées principalement dans les secteurs central et sud-ouest de la nappe.

Par ailleurs, les cartes obtenues par la méthode DRASTIC reflètent le mieux la vulnérabilité à la pollution de la nappe Fès-Meknès, qui montre que presque 75% de la nappe présentent une vulnérabilité « élevée à très élevée », 20 % une vulnérabilité moyenne et 5 % une vulnérabilité faible à très faibles . La vulnérabilité à la pollution des nappes peut augmenter lors des années pluviales.

La cartographie de la vulnérabilité permet de mieux préserver cette nappe et d'améliorer la gestion de ses ressources. La carte élaborée peut être utilisée comme outil d'aide à la décision en matière d'aménagement du territoire dans la région de Fès-Meknès. Elle peut être facilement actualisée par la mise à jour de deux thèmes : Recharge et Profondeur de la nappe.

Même si la discontinuité du milieu au niveau de notre zone d'étude (la nappe Fès-Meknès), on a choisi d'utiliser la méthode DRASTIC au lieu de F_DRASTIC puisque cette méthode nécessite une étude structurale du réseau des fractures et de la géométrie des couches géologiques de la zone non saturée et cela nécessite une longue durée du travail surtout dans le terrain.

Rapport-Gratuit.com

PARTIE III : LA SUREXPLOITATION ET RISQUE DE SECHERESSE DE LA NAPPE FES-MEKNES

CHAPITRE I : INFLUENCE DE LA SUREXPLOITATION SUR LA NAPPE

INTRODUCTION

Les deux systèmes de la nappe Fès-Meknès, phréatique et profonde constituent l'une des ressources principales pour la population rurale et urbaine de cette région. De ce fait ils connaissent une exploitation intense par le biais de puits et forages traditionnels et/ou équipés. Certes, la surexploitation influence négativement sur le niveau piézométrique, et cela que nous tenterons d'y résoudre au niveau de ce chapitre à travers la réalisation d'une étude dont l'objectif est l'évaluation de cette surexploitation sur les deux nappes phréatique et profonde.

Les eaux souterraines constituent une part importante du patrimoine hydraulique national. Au niveau du Bassin Hydraulique du Sebou, la nappe du Fès-Meknès est parmi les nappes les plus étendues et les plus importantes, mais aussi les plus exploitées.

Pendant les années 1970, la superficie des terres agricoles dans la plaine est 37 000 ha, irriguaient à partir de sources, notamment provenant du causse Moyen Atlasique, et de cours d'eau non régularisés. Il y avait une centaine de sources dont le débit total dépassait les 6 m3/s. Avec l'arrivée de la sécheresse des années 80 et le développement agricole qu'a connu la plaine, il y eu une demande massif à l'usage des eaux souterraines de la nappe de Fès-Meknès, pour satisfaire les besoins en eau des différents usages, et particulièrement ceux de l'agriculture. La nappe a donc connu une surexploitation accrue des ressources en eau souterraines, comme seule ressource sécurisant la production, à travers la multiplication des différents dispositifs de prélèvements d'eau, dont plusieurs n'ont pas fait objet d'autorisations.

1. Évolution des points d'eau sur le bassin de Fès-Meknès

En 1949 et au début de 1985 ont commencés les forages de prospection hydrogéologique, avec 83 forages ayant touché ou traversé le Lias. Ce nombre a été augmenté à 193 au début de l'année 2002 (sans compter les ouvrages des particuliers).

Selon l'Agence de bassin hydraulique du Sebou, il existe actuellement environ 12.000 points d'eau sur cette nappe qui ont connu une évolution remarquable depuis les années 70. Le nombre de points d'eau a grimpé de 700 points avant 1970 pour arriver à environ 1.500 points en 1980. A partir de cette année, on enregistre une croissance presque linéaire des points d'eau jusqu'à arriver à 12.000 points en 2012 avec une moyenne de 330 points annuellement (**Fig.34**). Dans la ville de Fès on trouve 32 ouvrages dont le débit moyen annuel est 2145,2 l/an. Alors que pour la ville de Meknès il existe 5 ouvrages dont le débit est 1032,7 l/an.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

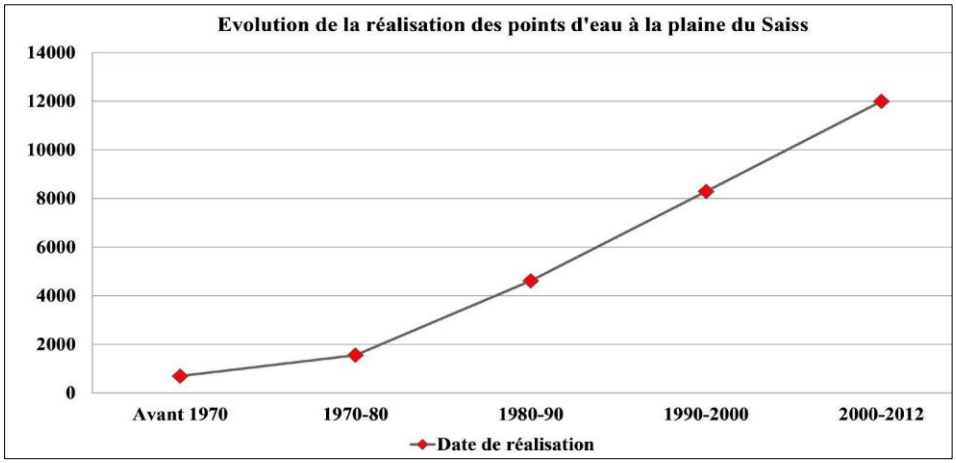


Figure 34: Évolution de la réalisation des points d'eau à la plaine de Fès-Meknès (ABHS, 2014)

2. Localisation, types et caractéristiques des points d'eau

- **Localisation et types de points d'eau**

La carte de la **figure 35** illustre la location de l'ensemble des points d'eau se trouvant sur toute la plaine de Fès-Meknès. On remarque qu'il existe trois types d'ouvrages dans la plaine (Puits, Forages et Puits-Forages). On note aussi une prédominance des puits localisés sur des formations du quaternaires, et surtout sur les calcaires lacustres du Plio-villafranchien et un nombre important de forages et de puits-forages qui se retrouvent plutôt vers le sud de la Nappe de Fès-Meknès.

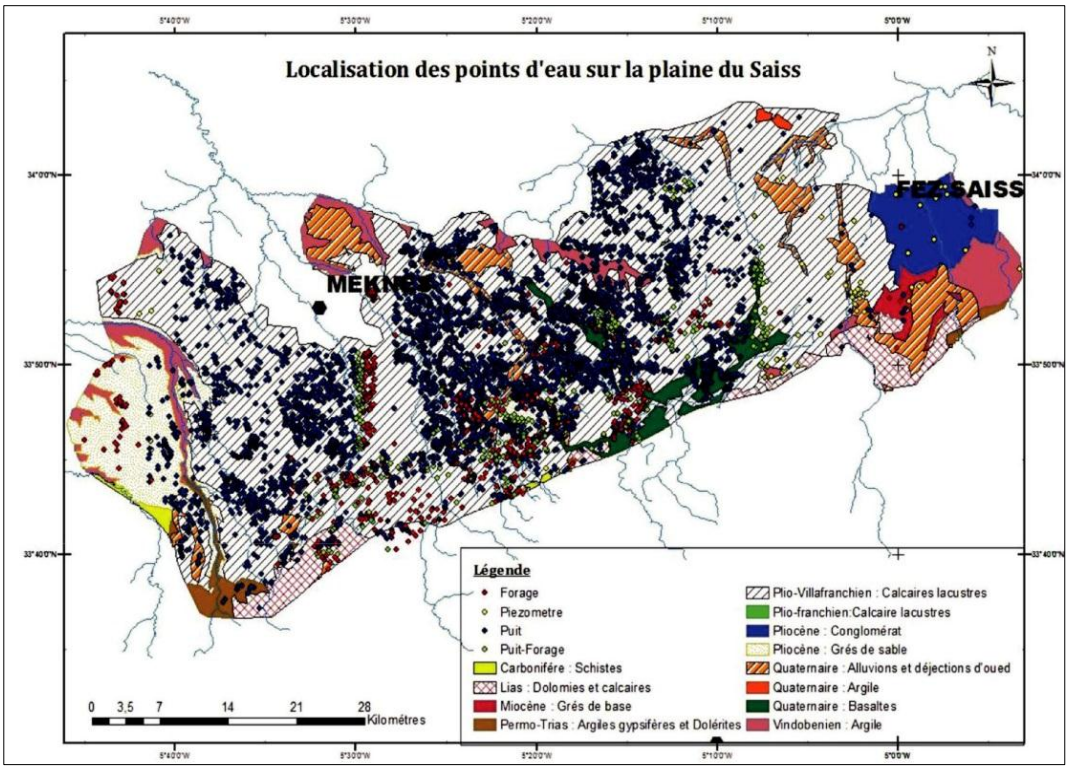


Figure 35: Carte des points d'eau de la plaine de Fès-Meknès (Laraichi et al, 2015).

L'exemple des 3 communes de la province d'El Hajeb (située à la limite Sud de la plaine de Fès-Meknès), illustre bien l'évolution des types des ouvrages des eaux souterraines à partir la nappe Fès-Meknès.

L'analyse des données relatives aux points d'eau à vocation agricole se trouvant dans cette zone, montre une tendance nette au surcreusement par sondage et à l'approfondissement des puits. Cette tendance s'est particulièrement grimpée à partir de 1998 et surtout durant les années de sécheresse telles que 2001/2002 (**Fig.36**).cette tendance n'est que la conséquence directe de la baisse du niveau d'eau de la nappe et l'assèchement des ouvrages de captage.

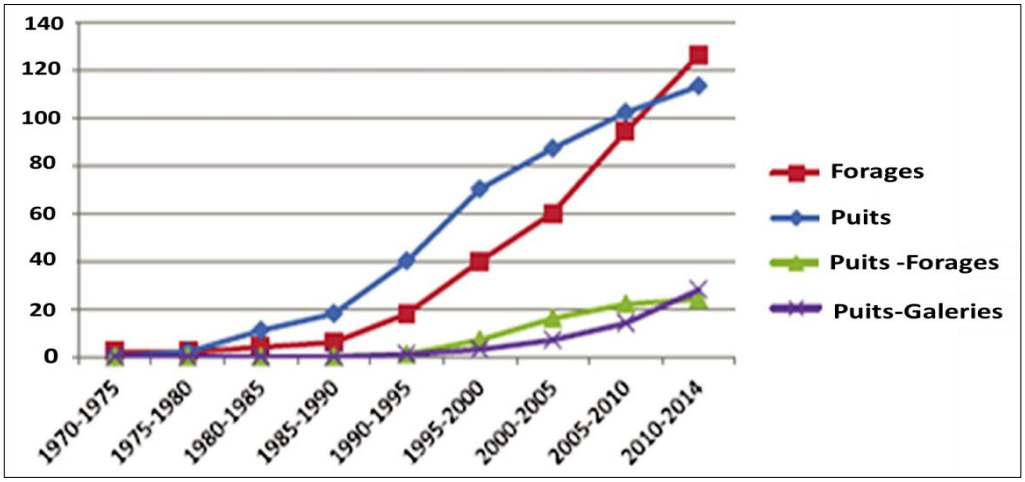


Figure 36: Évolution du nombre de dispositifs de pompage au niveau de 3 communes rurales d'El Hajeb «Ait Naamane, Ait Bourzouine et Ait Harzallah» (El Kinani et Ben Hammadi, 2014).

3. Caractéristiques des points d'eau

- **Profondeur des points d'eau**

Au début, l'exploitation des ressources en eau souterraines de la plaine de Fès-Meknès s'effectuait à partir de la nappe phréatique. Désormais, l'exploitation de la nappe profonde se fait à travers des forages et des puits approfondis en forages captant également les eaux de la nappe phréatique. Ainsi l'interaction naturelle par drainance entre les deux nappes, se trouve accentuée par une interaction artificielle.

La surface de l'eau de la nappe phréatique mesurée en février-mars 2005 par l'ABHS varie généralement entre 10 et plus de 40 m de profondeur. Au Nord du bassin, les profondeurs sont faibles; généralement inférieures à 20 m. 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 35m (ABHS, 2006).

L'enquête de l'année 2014 a montré que les profondeurs des points d'eau comptés varient entre un minimum de 17 m et un maximum de 220 m, soit une moyenne d'environ 70,5 m. De plus, les points de prélèvement peuvent être regroupés en six classes selon leurs profondeurs

(**Fig.37**). L'enquête a montré que la moyenne de la profondeur de la nappe phréatique reste en moyenne de 0 à 40 m.

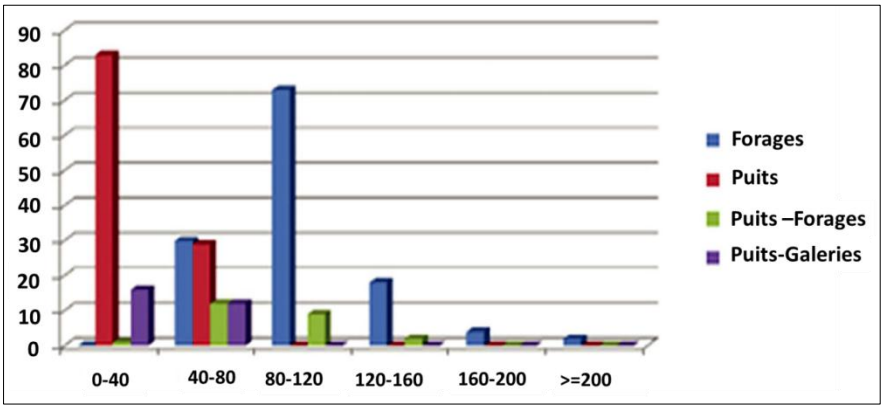


Figure 37: Répartition des dispositifs de prélèvements en fonction des classes de profondeurs (El Kinani et Ben Hammadi, 2014).

- **Piézométrie de la nappe**

Généralement, la piézométrie de la nappe du Fès-Meknès a fait l'objet de plusieurs études. Dans ce travail on va prendre en considération les résultats de ces études et les nouvelles acquisitions, afin d'analyser la dynamique de la piézométrie dans celle-ci. De ce fait nous avons choisis quatre piézomètres pouvant représenter l'état général de la nappe: IRE n° 290/22; 1197/15; 2366/15 et 2366/15.

L'analyse de l'historique des données issues du réseau de mesures de l'ABHS (**Fig. 41**), montre que le niveau piézométrique dans la nappe phréatique a tendance à baisser d'une année à l'autre, depuis la période de la pluviométrie d'équilibre (en l'occurrence 1980). Néanmoins, les années humides 2008-2009 et 2009-2010 ont eu un impact très positif sur le niveau piézométrique de la majorité des points d'eau sur la nappe. Les apports enregistrés au niveau du bassin du Sebou, et notamment le bassin du Fès-Meknès, durant ces deux années, ont contribué à la recharge de cette nappe. Cette réalité s'affirme clairement au niveau de la nappe phréatique (**Fig. 38**). Par exemple, l'évolution piézométrique de 1970 à 2014 du point d'eau IRE N°1197/15 se trouvant à la limite Nord Est de la nappe de Fès-Meknès, où les années sèches, notamment les années hydrologiques (1983, 1985, 1992 et 2000), ont impacté négativement sur le niveau de la nappe du sol qui a régressé passant de 3.5 m en moyenne à 8,5 m par rapport au sol.

Bien que, vers le côté Sud-Est de la nappe, au niveau du point d'eau IRE N°2366/15 (**Fig.40**), le niveau piézométrique par rapport au sol est plus profond en comparaison avec le côté Nord de la nappe, variant aux voisinages de 38 m. L'évolution du niveau d'eau dans ce point d'eau a connu plusieurs périodes de 1993 à 2014. Une période d'approfondissement de la nappe

durant les années de sécheresse au début des années 90, un redressement vers la fin des années 90 et puis une régression avec le retour d'une autre période de sécheresse en 2000 et qui a perduré presque 8 ans arrivant jusqu'à 45 m en dessous du sol. Il fallait attendre jusqu'à l'année 2008, où les apports importants des années humides qui ont suivi, ont pu remonter le niveau de la nappe à environ 30 m par rapport au sol.

Le niveau piézométrique de la nappe profonde enregistre aussi des baisses importantes, dépassant les 90 m vers le panneau de Haj Kaddour et ce depuis les années 80 (**Fig.39**). En effet, la nappe a connu un rabattement important et continu au niveau du point d'eau IRE N°290/22 depuis 1980 jusqu'à 2008 dépassant les 90 m en dessous du sol (90 m en 30 ans). De 2008 jusqu'à 2014, le niveau a pu se stabiliser grâce à la recharge de la nappe due aux apports d'eau enregistrés ces dernières années.

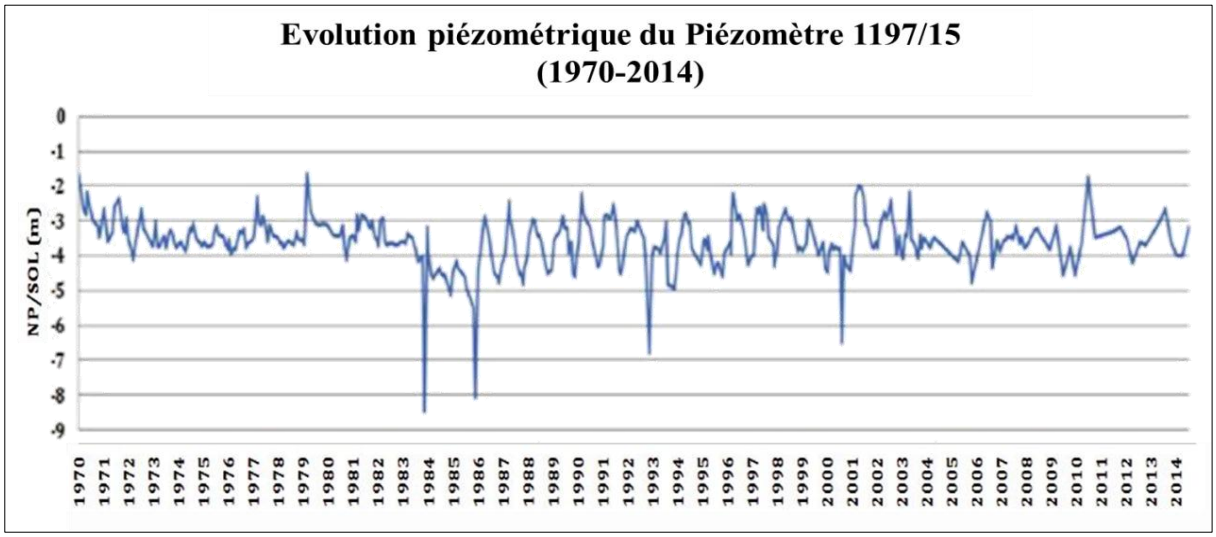


Figure 38: Évolution du niveau piézométrique de la nappe de Fès-Meknès(ABHS,2014).

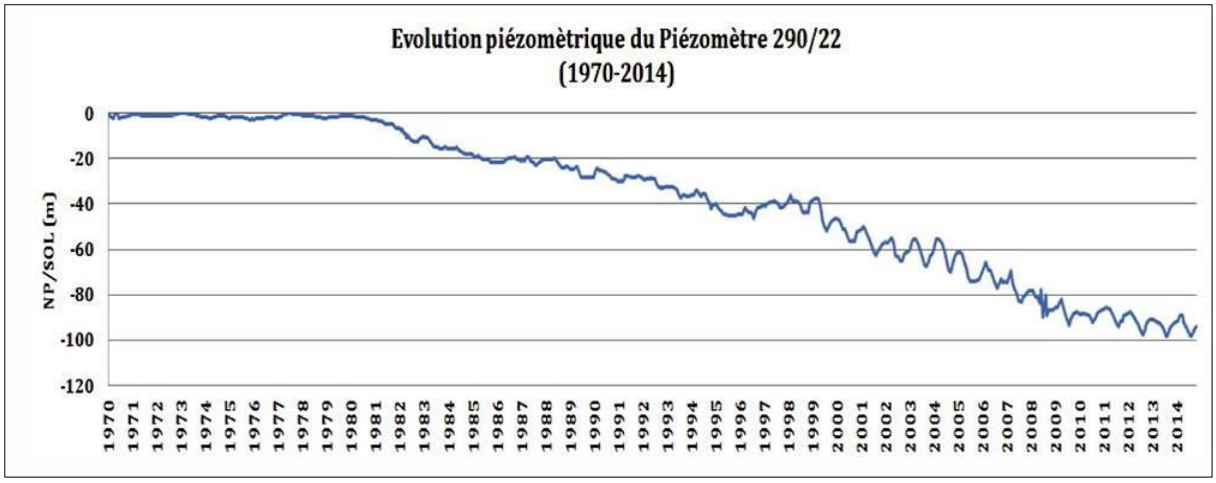


Figure 39: Évolution du niveau piézométrique de la nappe de Fès-Meknès (ABHS, 2014).

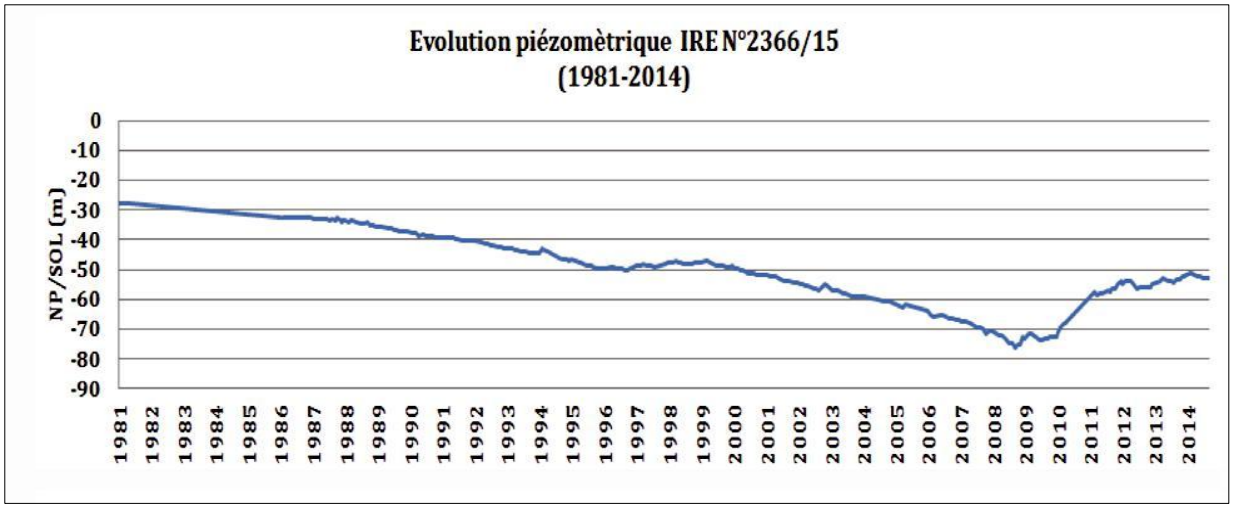


Figure 40: Évolution du niveau piézométrique de la nappe de Fès-Meknès (ABHS, 2014).

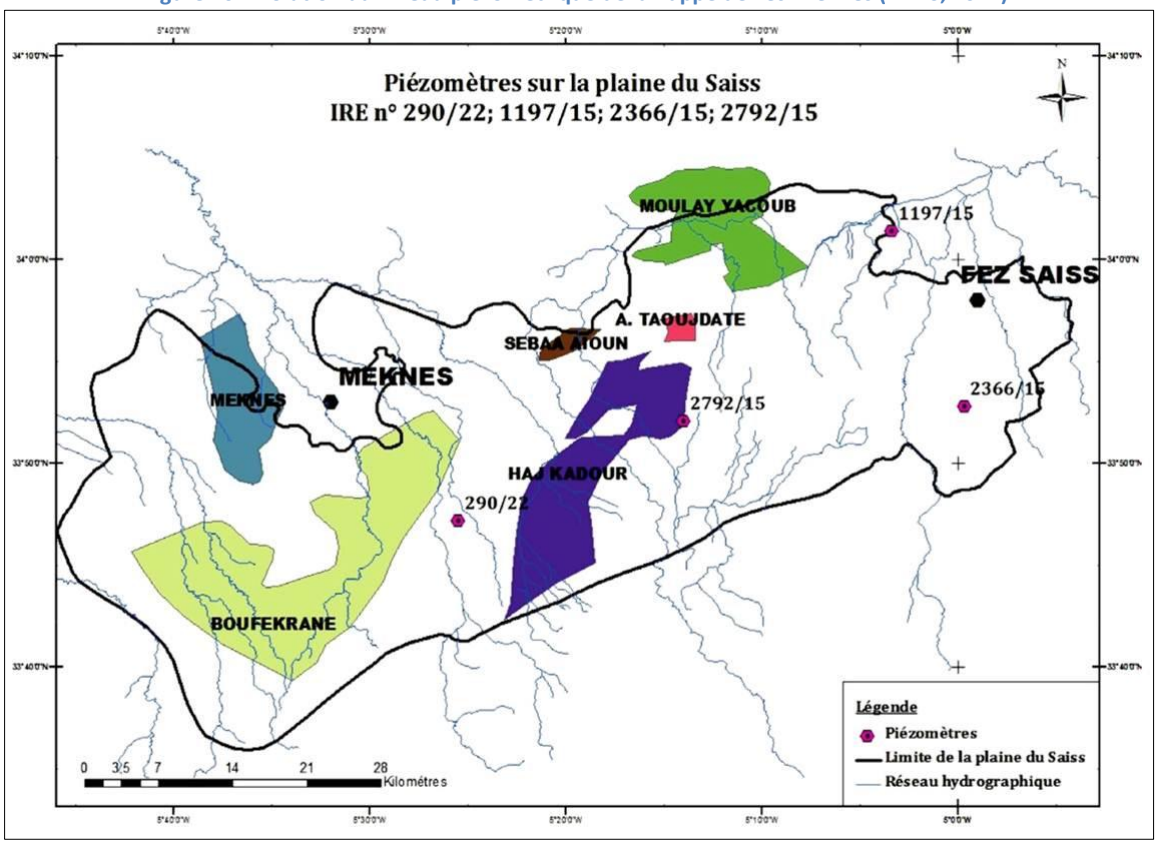


Figure 41: localisation des quatre points d'eau sur la nappe Fès-Meknès (El Kinani et Ben Hammadi, 2014).

CONCLUSION

La croissance des points d'eau dans un temps record, leurs approfondissements et leurs équipements continu par des systèmes de pompages de plus en plus puissants viennent affirmer la surexploitation de la nappe de Fès-Meknès et confirmer qu'on est dans une situation de course au pompage. En conséquence, l'analyse de l'historique de la piézométrie, de la profondeur des points d'eau montrent que les conditions climatiques sévères qu'a connues la plaine de Fès-Meknès et les prélèvements excessifs des ressources en eau souterraines pour satisfaire les besoins en eau croissants de la région, ont influencé négativement sur les réserves des deux systèmes aquifères de la nappe Fès-Meknès. Cette tendance à la baisse a connu un léger redressement avec les apports en eau enregistrés depuis 2008.

L'influence des prélèvements via des points d'eau touchant les deux nappes superposées, est plus grave sur la nappe profonde que sur la nappe phréatique. Ceci confirme l'existence de canaux de communications entre les deux nappes.

Si la surexploitation est facteur anthropique limitant le développement durable des ressources en eaux souterraines, la sécheresse est facteur naturelles qui joue un rôle important dans la diminution des niveaux des eaux dans les nappes, et cela on va le traité dans le chapitre suivant.

CHAPITRE II : RISQUE DE SECHERESSE DES EAUX SOUTERRAINES DE LA NAPPE FES-MEKNES

INTRODUCTION

Situé à l'extrémité Nord-Ouest de l'Afrique et disposant d'une façade méditerranéenne importante, le Maroc est un pays très vulnérable à la variabilité du climat qui a devenu actuellement une réalité a minimisé, selon le quatrième rapport d'évaluation du climat du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). De ce fait, il a toujours géré la rareté de l'eau.

La sécheresse notre sujet d'étude dans ce chapitre est le résultat direct des changements climatiques. Il faut noter que ces derniers ont des effets néfastes sur le comportement climatique général de la terre, et parmi les on peut mentionner :

- L'Augmentation de la température de 2 à 6 °C ;
- La Diminution des précipitations : entre 5% et 20% ;
- L'Augmentation de la fréquence des phénomènes extrêmes :
  - Des périodes de sécheresse longues et fréquentes ;
  - Des crues soudaines et violentes.

Les sécheresses qui ont affecté la région d'étude depuis 1980 ont laissé un impact négatif sur les réserves d'eau de la nappe. Cet impact s'est traduit par une réduction des apports d'eau naturels (précipitations), induisant la surexploitation des eaux souterraines. Cette situation a engendré la rupture de l'équilibre du système par la baisse continue des niveaux piézométriques d'eau des nappes souterraines, l'assèchement des sources, et la réduction des apports en eau de surface.

Généralement, les sécheresses des nappes restent peu étudiées aux latitudes tempérées. De plus, le risque de cette phénomène est considéré comme insignifiant aux latitudes tempérées et par conséquent, reste légèrement étudié. Cependant, dans le contexte des changements climatiques et les situations socio-économiques majeures, On doit mieux comprendre les facteurs influents et les impacts potentiels des sécheresses en générale, et tout particulièrement, des sécheresses des nappes, afin d'atteindre une gestion durable de l'eau.

La sécheresse est souvent abordée d'un point de vue météorologique, et définie comme un risque naturel caractérisé par un déficit de précipitations pour une zone étendue et durant une période significative. En lien avec cette définition de la sécheresse météorologique, la

sécheresse des nappes se produit lorsqu'un déficit temporaire en eau affecte les masses d'eau souterraine.

Cette phénomène est complexe et plus difficile à identifier, notamment parce que son temps de réponse est plus long que celui des sécheresses météorologiques. Mais elles ne sont pas seulement des phénomènes naturels, puisqu'elles subissent également les effets des activités humaines.

En conséquence, les trois principaux facteurs influents qui ont été identifiés sont :

- Le climat, pouvant influer sur la recharge de la nappe ;
- L'occupation et la couverture du sol qui peuvent jouer sur la recharge mais également sur les besoins de pompage de l'eau pour l'irrigation ;
- L'utilisation des eaux souterraines pour les activités humaines (Irrigation, AEP,…).

La sécheresse a une influence directe sur la pluviométrie dont dépendent le taux de remplissage des barrages, la réalimentation des nappes et les eaux de surface. De ce fait on va étudier l'évolution des niveaux d'eau dans les deux nappes du bassin Fès-Meknès et les débits des sources, des oueds.

I. BILAN DU SYSTEME AQUIFERE DE FES-MEKNES

La nappe Fès-Meknès est constituée par deux types de nappes, l'une profonde dans les calcaires dolomitiques du Lias et l'autre phréatique dans les formations Plio-Quaternaire (calcaires lacustres, colluvions et alluvions de la plaine du Saïs). Chacune de ces masses d'eau présente un bilan propre figuré sur le schéma de la **figure 42**. D'après cette figure, on constate que pour :

- **La nappe phréatique** : La recharge de la nappe s'effectue principalement par les précipitations (104 mm^3/an), le retour de l'irrigation (36 mm^3/an), le drainance verticale (20 mm^3/an) , alors que l'irrigation (141 mm^3/an), l'alimentation en eau potable pour les deux milieux urbain et rurale (107 mm^3/an), le drainage par les sources et les oueds (76.5 mm^3/an) et une petite partie de l'industrie isolé (1.24 mm^3/an) représentent la décharge de la nappe. Les entrés sont estimées de 140 mm^3/an et les sorties sont plus grande avec une valeur de 219 mm^3/an, ce qui indique un bilan déficitaires de -79 mm^3/an ;
- **La nappe captive** : l'abouchement de la nappe à partir le causse moyen atlasique est estimé de 100 mm^3/an, cependant la décharge s'effectue par l'alimentation en eau potable (108 mm^3/an), l'irrigation (35 mm^3/an), le drainance des sources et oueds (5 mm^3/an) et le drainance verticale (20 mm^3/an). La nappe est alimenté seulement à partir du causse moyen montre un bilan déficitaire de -49 mm^3/an.

Rapport-Gratuit.com

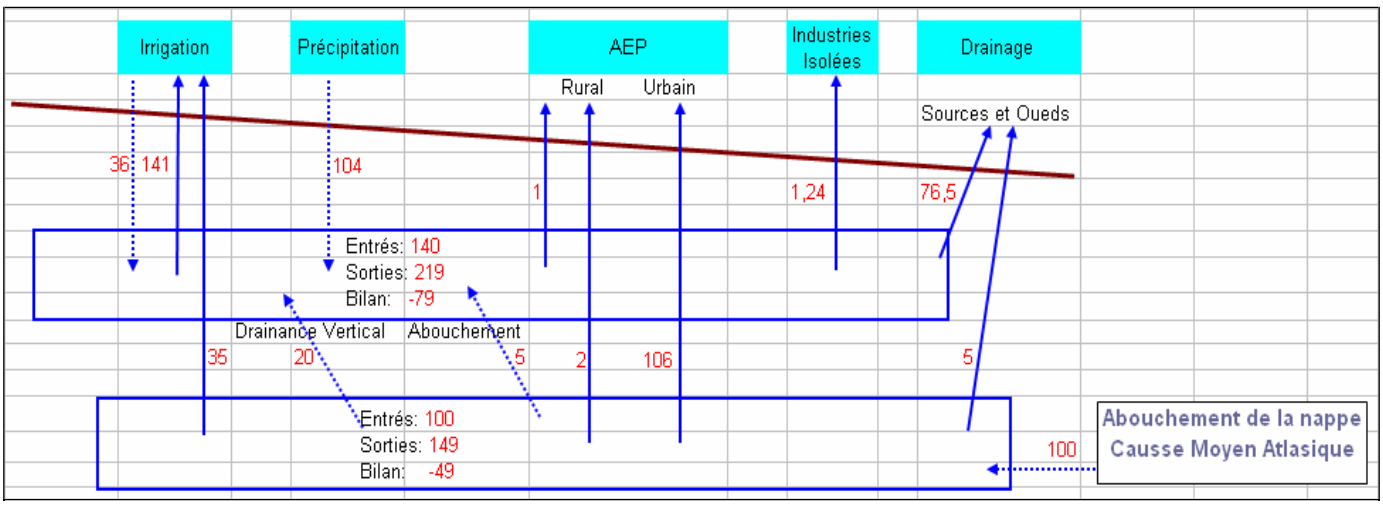


Figure 42: Détails des prélèvements et recharge des nappes du complexe de Fès-Meknès. Source : Personnelle sur la base des données PDAIRE, SCET Maroc.

D'après la carte (**Fig.43**) et le tableau (**Tab.11**) du bilan quantitatif de la nappe Fès-Meknès, on ressorti les conclusions suivantes:

- Les entrées nettes de la nappe (transferts souterrains inter nappes exclus) sont estimées à **241,5** Mm^3/an.
- Les sorties nettes se répartissent de la manière suivante :
  - 260 Mm^3/an prélevés pour les besoins agricoles et d'AEP ;
  - 81.5 Mm^3/an du drainage des sources et oueds ;
  - Le bilan « eau souterraine » est déficitaire de -100Mm^3/an.

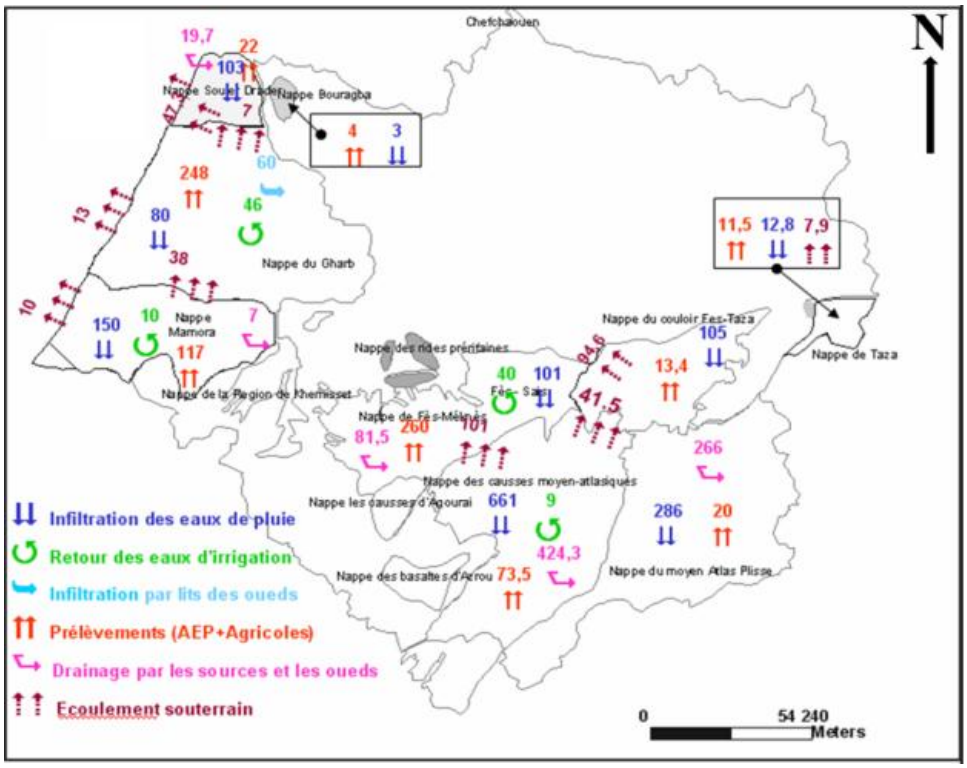


Figure 43: Carte des bilans quantitatifs des principales nappes souterraines du bassin et répartition des prélèvements par sources (ABHS, 2007).

Tableau 11: Tableau du bilan quantitatif de la nappe Fès-Meknès (ABHS2018)

Entrées (Mm3/an))		Sorties (Mm3/an)	
Infiltration de la pluie	104.5	Prélèvements agricoles (IP : 25 644 ha)	160
Alimentation profonde à partir du Causse du Moyen-Atlas	101	Prélèvements AEP	100
Retour des eaux d'irrigation	36	Drainage des sources + Drainage des oueds	47 + 34.5
Total	241.5	341.5	
Bilan total (Mm3/an)	- 100		

II. VARIATIONS INTERANNUELLES DES NIVEAUX DE L'EAU DE LA NAPPE

- **La profondeur de la nappe**

Le suivi de la profondeur jusqu'à l'eau (**Fig.44**) de la nappe montre qu'il y'a une baisse accentuée et continue depuis le début des années 80. Durant 1982, la profondeur mesurer est inférieure à 20 m, alors que depuis 2014 jusqu'à maintenant il dépasse les 100 m mètres. Ce qui indique un état d'acuité dans cette nappe, à cause des périodes de sécheresse successives et sévères, sans oublier la surexploitation des eaux de la nappe pour subvenir aux besoins de l'agriculture et AEP.

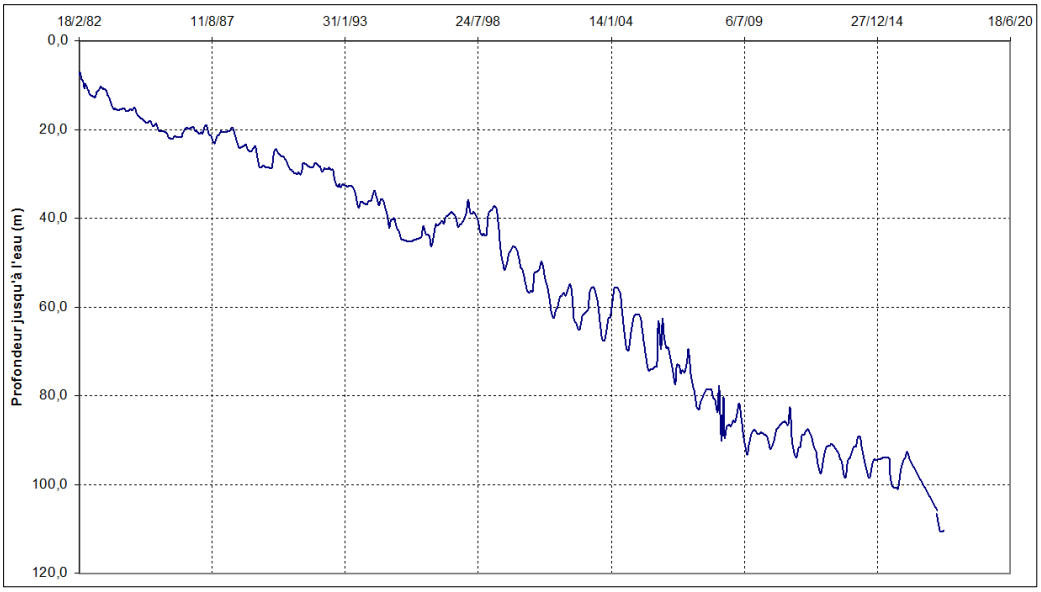


Figure 44: Profondeur jusqu'à l'eau en (m) (ABHS, 2018).

- **La piézométrie de la nappe phréatique:**

Les variations interannuelles des niveaux de l'eau de la nappe varient selon les secteurs, et suit les variations des précipitations, avec cependant une tendance générale à la baisse.

Le piézomètre numéro 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

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

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.45**).

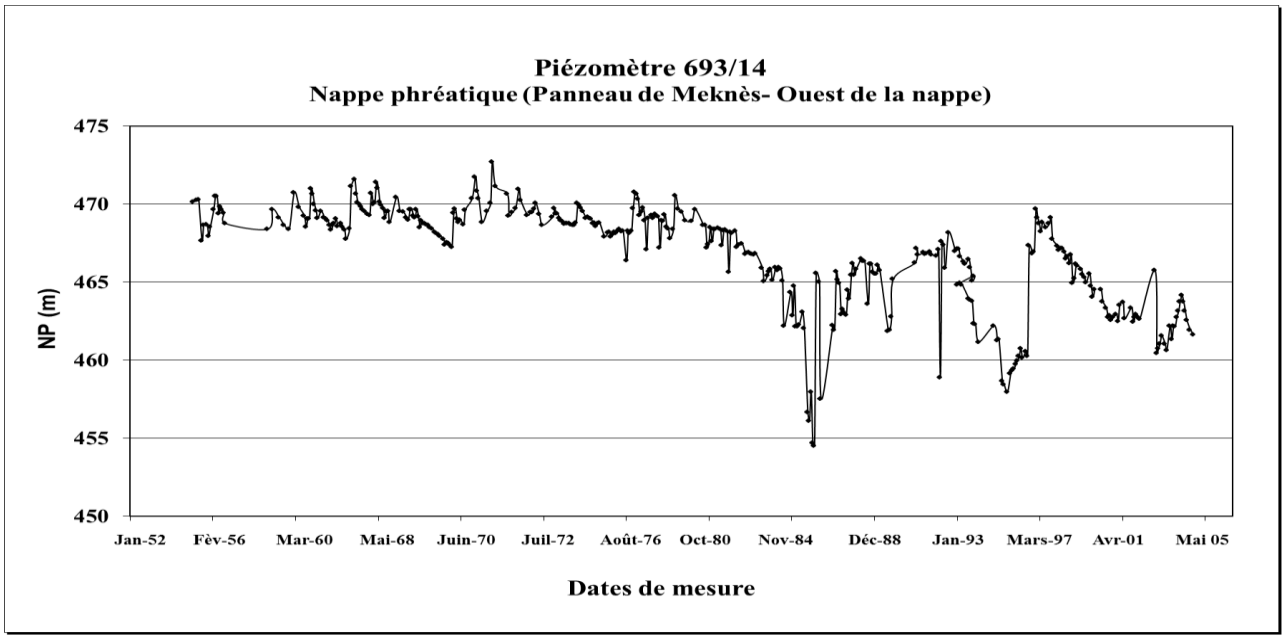


Figure 45: Historique piézométrique du secteur Ouest de la nappe phréatique du bassin de Fès-Meknès (ABHS,2005).

Le secteur central de la nappe est également caractérisé par une baisse continue de la nappe (**Fig.46**), comprise entre 10 et 20 cm/an. Cette tendance est beaucoup plus accentuée entre 1996 et 2008, où la baisse moyenne est d'environ 1.2 m/an.

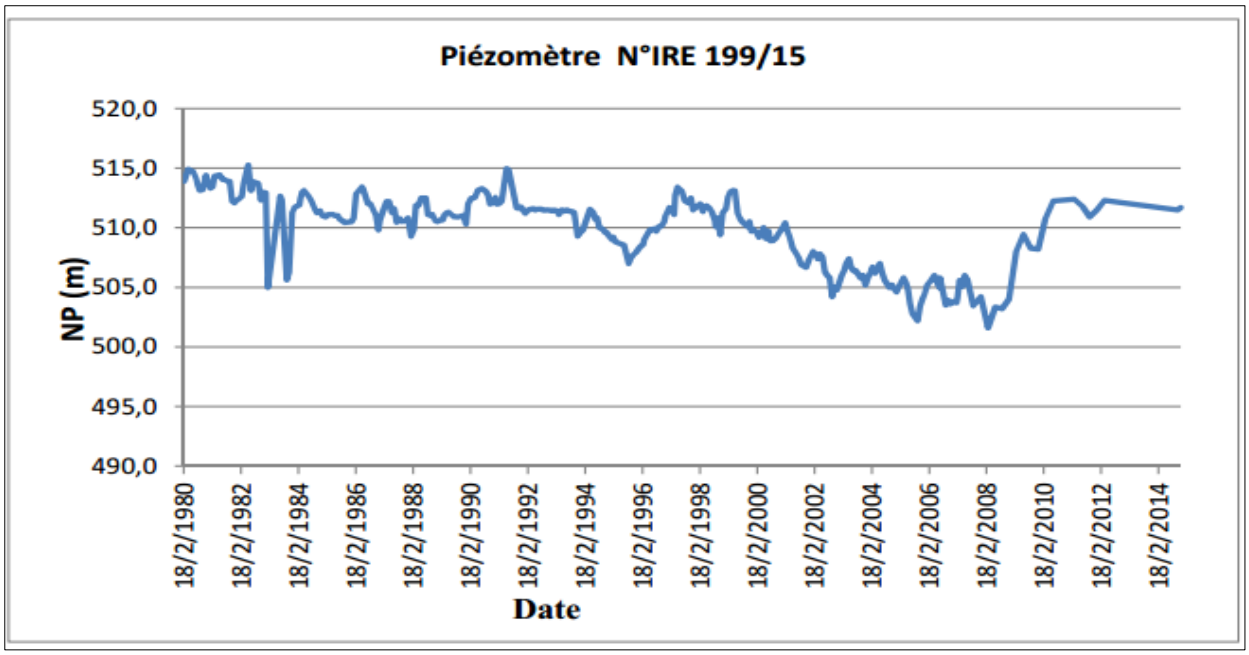


Figure 46: Historique piézométrique du secteur central de la nappe phréatique du bassin de Fès-Meknès (ABHS, 2014).

Le secteur Sud-Est est caractérisé par une forte baisse, qui s'élève à environ 15 m entre 1971et 1996, soit environ une baisse moyenne de 0.6 m/an. Après1996, les niveaux de la nappe se sont stabilisés (**Fig.47**).

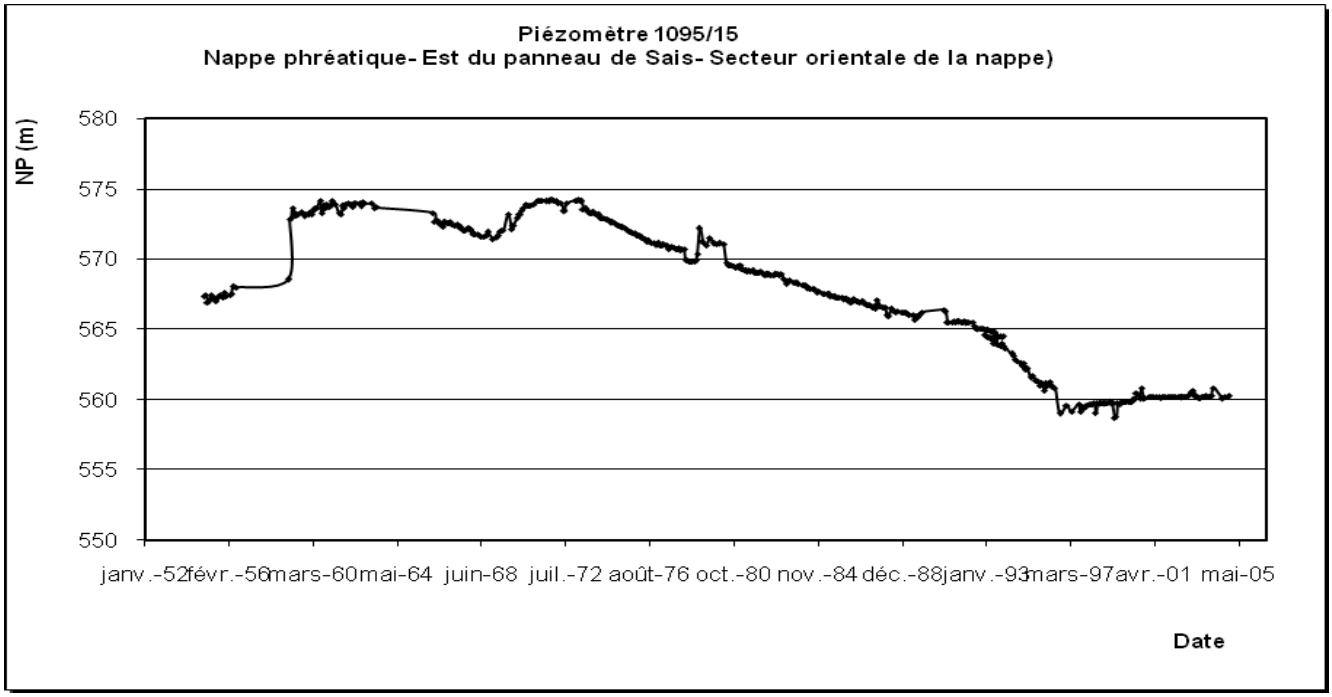


Figure 47 : Historique piézométrique du secteur Sud-est de la nappe phréatique du bassin de Fès-Meknès (ABHS, 2005).

L'historique piézométrique de la nappe montre des variations du niveau piézométrique en fonction des années avec une tendance générale à la baisse, avec une moyenne d'environ 1 m/an. Cette baisse quasi-générale des niveaux de la nappe est la conséquence directe du déficit pluviométrique, qui dure depuis le début des années 80 et de l'augmentation des prélèvements agricoles par pompage qui en découlent. A l'exception des cinq dernières années (2010-2011-2012-2013-2014) ou on remarque une légère augmentation du niveau piézométrique.

Le gradient hydraulique de la nappe varie dans l'espace, le secteur central est caractérisé par des gradients élevés, variant entre 1.6 et 2%. En amont varient entre 0.8 et 1.6 % et ceux de la limite nord (aval hydraulique) avoisinent 1%. En outre le gradient hydraulique moyen au niveau de l'ensemble de la nappe est d'environ 1.5 %.

- **La piézométrie de la nappe captive du Lias**

La nappe connaît 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 et varie entre 1,4 et 1,9 m/an dans le bassin de Fès.

L'analyse de l'historique piézométrique du piézomètre 290/22 montre une baisse du niveau, ceci est dû à la surexploitation de la nappe et la rupture pluviométrique durant les années 80 jusqu'à maintenant (**Fig.48**). La baisse approximative moyenne des niveaux de la nappe peut être estimée à environ 2 m/an.

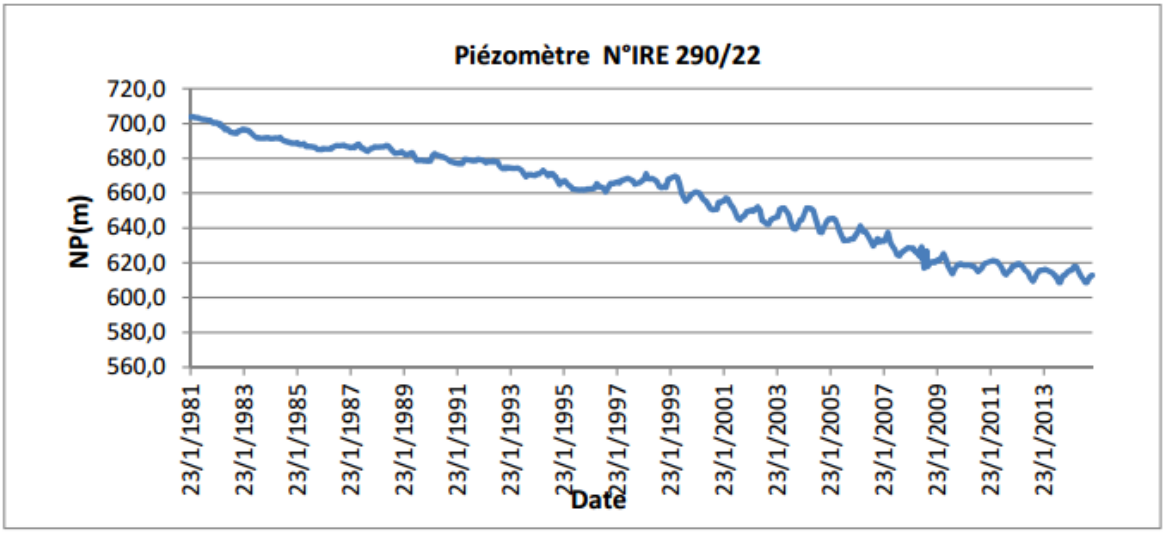


Figure 48: Historique piézométrique de la nappe du Lias (Sud du plateau de Meknès) (ABHS, 2014).

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.

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. 49** et **Fig.50**). La baisse approximative moyenne des niveaux de la nappe peut être estimée à environ 2 m/an.

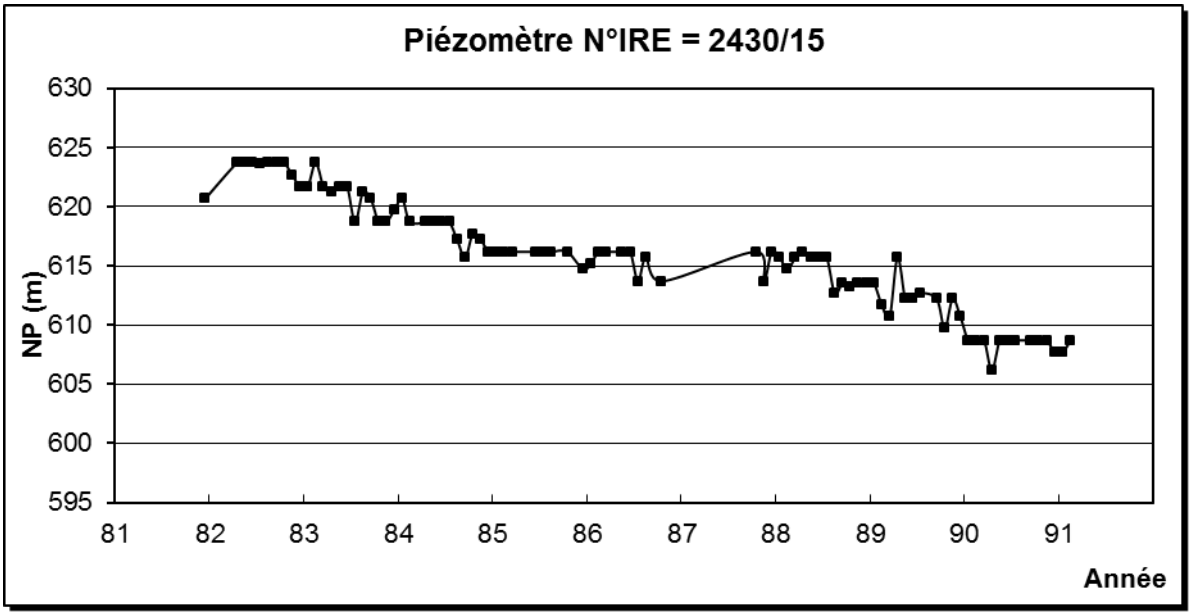


Figure 49 : Historique piézométrique de la nappe du Lias (Ouest du bassin de Fès) (ABHS, 2005)

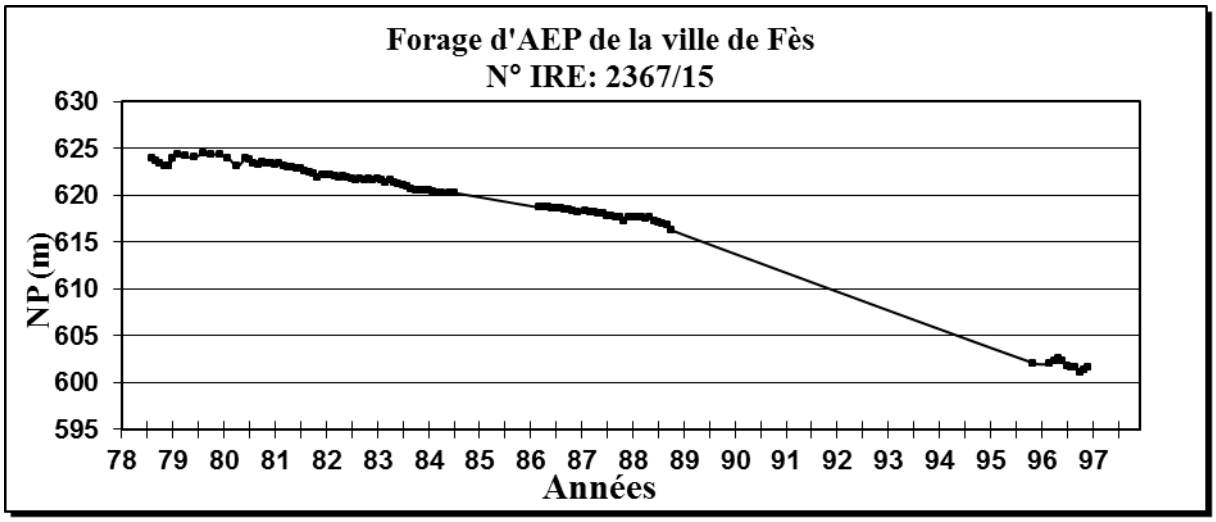


Figure 50 : Historique piézométrique de la nappe du Lias (limite Sud du bassin de Fès) (ABHS, 2005).

De plus la baisse généralisée des niveaux piézométriques se traduit par une baisse de la pression artésienne qui passe d'environ 12 bars en 1979 à moins de 9 bars en 2005 (**Fig. 51**).

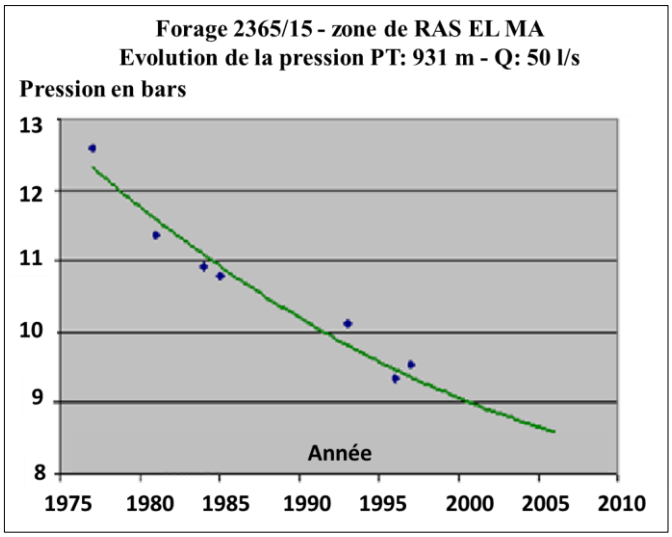


Figure 51: Chute de la pression dans la nappe artésienne de Fès-Meknès. (ABHS, 2005)

III. EVOLUTION DES DEBITS DANS LES COURS D'EAU ET LES SOURCES DU BASSIN FES-MEKNES

a. Les cours d'eau

La relation nappe-cours d'eau se définit comme un échange d'eau dans un sens ou dans l'autre entre une nappe d'eau souterraine et un cours d'eau. Suivant le niveau de la ligne d'eau, et les saisons, la nappe alimente le cours d'eau ou est alimentée par celui-ci notamment lors des inondations.

Les oueds du bassin de Fès-Meknès, à leur passage dans le bassin drainent les deux nappes (phréatique et profonde) à travers des résurgences des eaux souterraines ou des sources. Ces oueds avaient autrefois un module d'écoulement assez soutenu grâce aux émergences

provenant du trop-plein des nappes. Alors que depuis la rupture du régime pluviométrique qui contrôle l'équilibre du système hydraulique du bassin, les sources et les émergences se sont plus ou moins taries, entraînant ainsi une baisse d'écoulement au niveau des oueds (**Fig. 52, Fig.53, Fig.54 et Fig.55**). La diminution des apports en eau de surface a entraîné une augmentation des moyens d'exhaures qui accélèrent davantage le déficit hydrique de l'ensemble du système hydraulique du bassin.

La Figure 52 illustre l'évolution des débits d'oued Mikkes au niveau de la station d'El Hajra jusqu'en 2001. Cette dernière a été remplacée depuis 2002 par la station de Sidi Echahed située légèrement en aval (les mesures avant et après la construction du barrage montrent que celui-ci n'influence pas les débits mesurés à la station de Sidi Echahed). Elle montre que le débit diminue rapidement avec le temps depuis 1968 et se situe entre 0 et 2 m3/s depuis le début des années 1980. Le module interannuel de la période 1968–2005 est de 1.94 m3/s. D'après la même figure on ressort l'impact de la pluviométrie moyenne annuelle sur les débits moyens annuels de cet oued. En générale l'évolution des débits épouse très bien celle des précipitations avant 1980, alors qu'à partir de 1980, la courbe des débits se démarque parfaitement avec celle de la pluie. En conséquence, le comportement de l'écoulement est de moins en moins représentatif des précipitations étant donnés les prélèvements anthropiques de plus en plus forts.

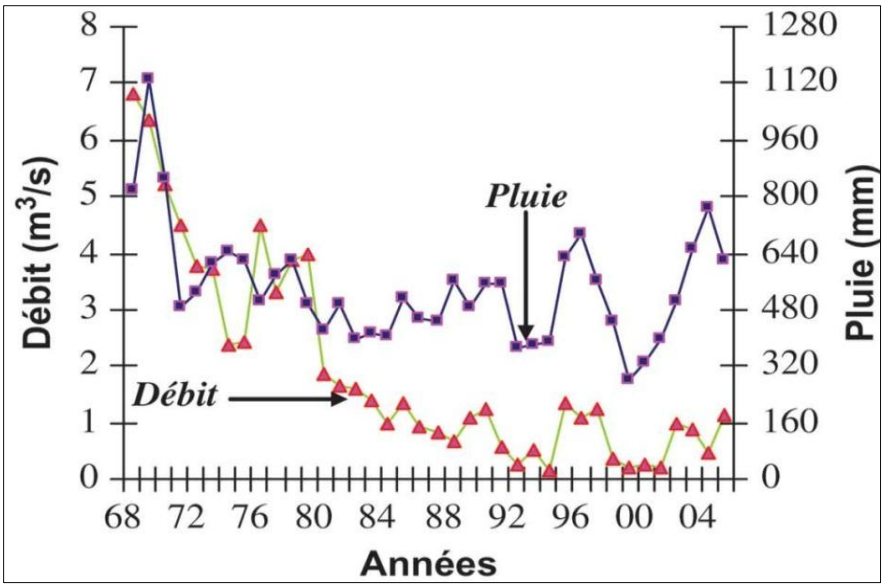


Figure 52: Précipitations annuelles/débits annuels de l'Oued Mikkès (1968–2005) (Belhassane et al. 2010).

D'après le **tableau 12**, les déficits des apports des oueds variant de 64 % pour oued R'dom à 100% pour oued Fès. Ce déficit est plus important dans les oueds qui proviennent des résurgences des eaux souterraines cependant que les oueds dont les apports proviennent des causes voient leur déficit moins important.

En effet, le déficit d'écoulement est le résultat direct de la chute des débits des sources qui est attribué lui aussi à la rupture du régime pluviométrique. L'analyse de l'évolution du régime pluviométrique montre une baisse des apports pluviométriques de l'ordre de 25% dans le causse comme dans la plaine.

La diminution des ressources en ressources en eau de surface est une conséquence du pompage excessif des eaux souterraines. Ce déficit affecte aussi les apports des barrages et le cas du barrage sidi Echahed est un exemple frappant (baisse de 80% dosés apports).

Tableau 12: Tableau de déficit des apports des principaux oueds du bassin de Fès-Meknès (ABHS, 2002-2003)

Oueds	Module moyen en régime d'équilibre (l/s)	Module moyen annuel (l/s)	Déficit (%)
R'dom	5305	1897	64
Boufekrane	853	281	67
Mikkès	4000	800	80
Fès	2200	0	100

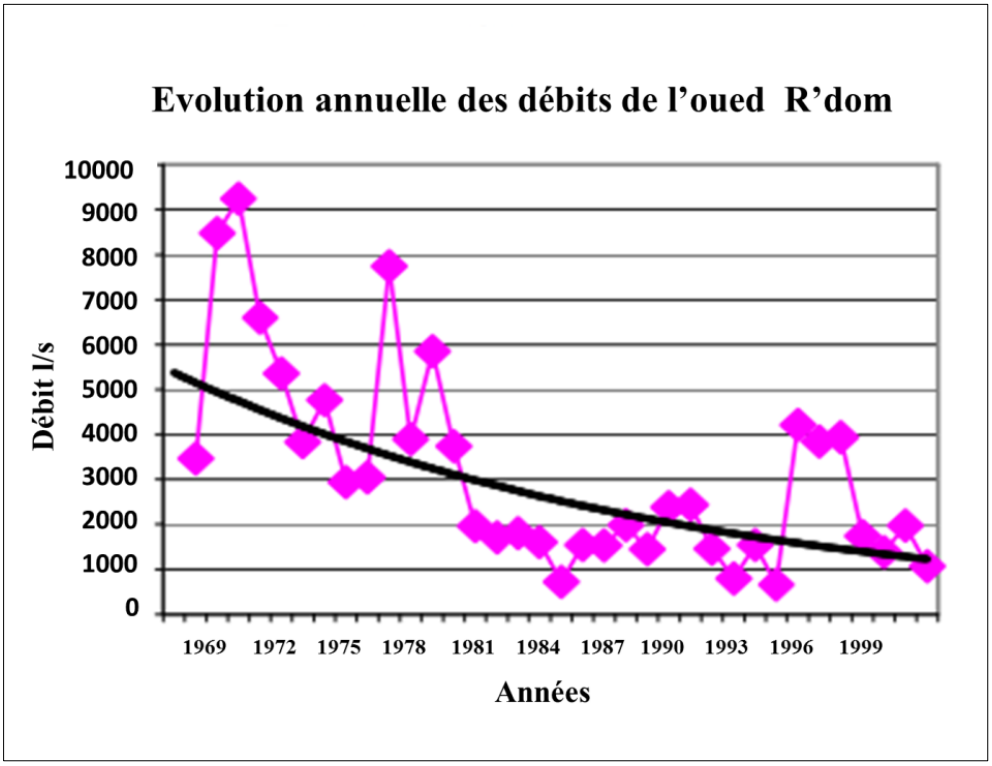


Figure 53: Evolution du débit annuel de l'Oued R'dom (1969-1999) (ABHS, 2002-2003).

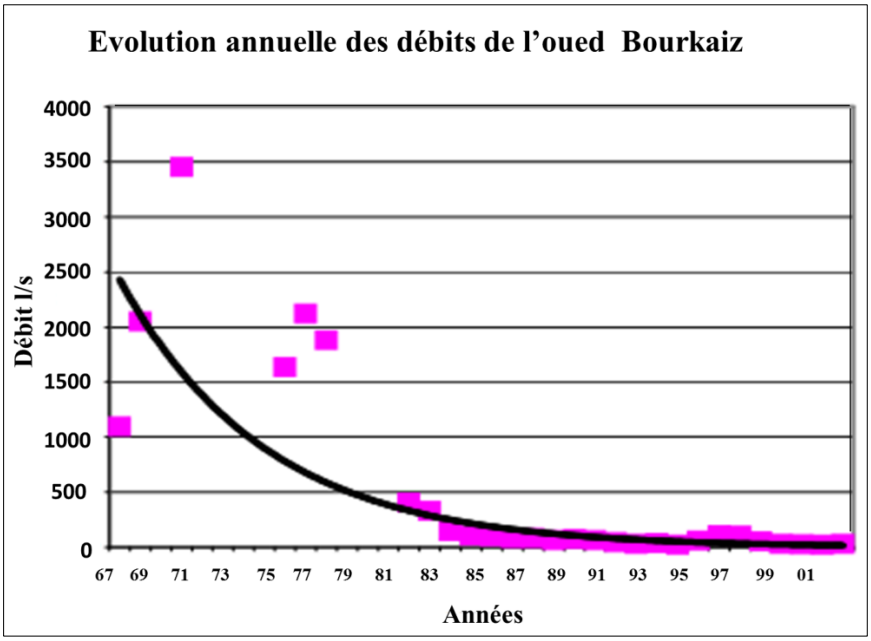


Figure 54: Evolution du débit annuel de l'Oued Bourkaiz (1967-2001). (ABHS, 2002-2003)

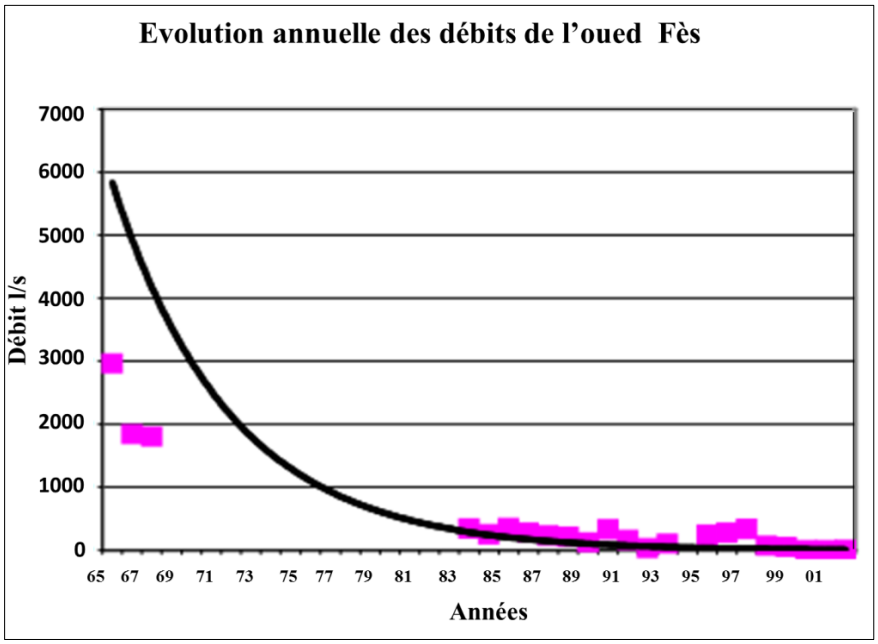


Figure 55: Evolution du débit annuel de l'Oued Fès (1965-2001). (ABHS, 2002-2003)

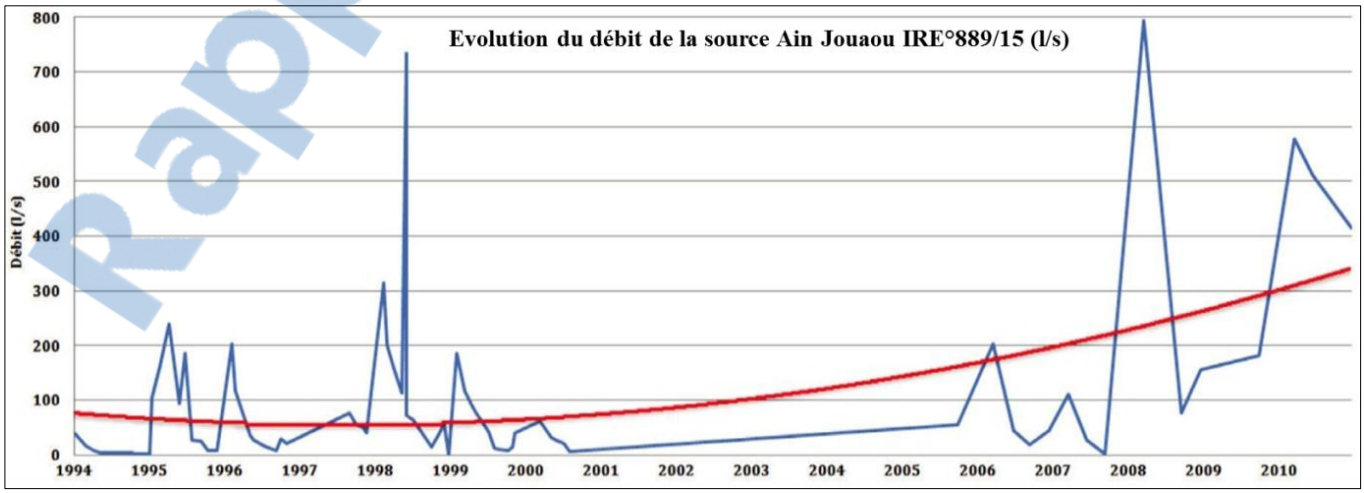
b. Évolution des débits des sources

Dans la plaine de Fès-Meknès les sources et les oueds constituent deux systèmes hydrauliques extrêmement liés. Tous les oueds, à leur passage dans le bassin, drainent les deux nappes (phréatique et profonde) à travers des résurgences des eaux souterraines ou de sources. Cette plaine est drainé par plusieurs sources (**Fig.5**), caractérisées par : la variabilité de leurs débits (quelques l/s à plus d'un m^3/s), l'origine qui peut être la nappe phréatique, profonde ou mixte et aussi par la température.

Les campagnes de mesures de Février-Mars et de septembre 1984 menées par l'ABHS, ont concerné 60 sources, groupes de sources et oueds. La somme des débits mesurés variait respectivement entre environ 10,2 et 11,0 m^3/s. Pendant Mars-Avril 2005, l'ABH du Sebou a réalisé une nouvelle campagne de jaugeage qui a concerné 49 sources, totalisant un débit d'environ 1500 l/s (environ 47 mm^3/an). Le débit total du drainage naturel des aquifères (oueds et sources) du bassin s'élève à environ 2,3 m^3/s (environ 72 mm^3/an), ce qui représente une baisse d'environ 80 % par rapport à la situation de 1984.

Cette diminution est la conséquence directe des déficits pluviométriques accumulés dans le bassin notamment depuis le début 1980 et de l'augmentation des prélèvements (agricoles et d'AEP) dans les nappes constituant le bassin de Fès-Meknès. En effet, le déficit d'écoulement dans les oueds est un résultat direct de la chute du débit des sources.

Dès la rupture du régime pluviométrique d'équilibre à partir des années 80, toutes les sources du bassin ont accusé une baisse de débit allant de quelques dizaines de pour cent à cent pour cent. Il devait attendre les années humides à partir de 2008, particulièrement les années hydrologiques 2008/2009 et 2009/2010 pour voir la tendance de l'évolution des débits des sources au niveau de la plaine de Fès-Meknès se redresser. Dans les quatre sources prises comme exemples (IRE n° 853/22, 107/22, 2997/15 et 889/15) (Fig.56), il y a un effet de régression suivie par une rehausse des débits de source. En effet, la pluviométrie importante qu'a connue la plaine ces dernières années a eu un impact très positif sur le débit de la majorité des sources. En effet, la diminution des débits des sources du piémont est en grande partie due à celle des apports pluviométriques dans le Causse. Par contre dans la plaine, c'est l'exploitation intensive des ressources qui est la principale cause des baisses de débits et des niveaux piézométriques.



Rapport-Gratuit.com

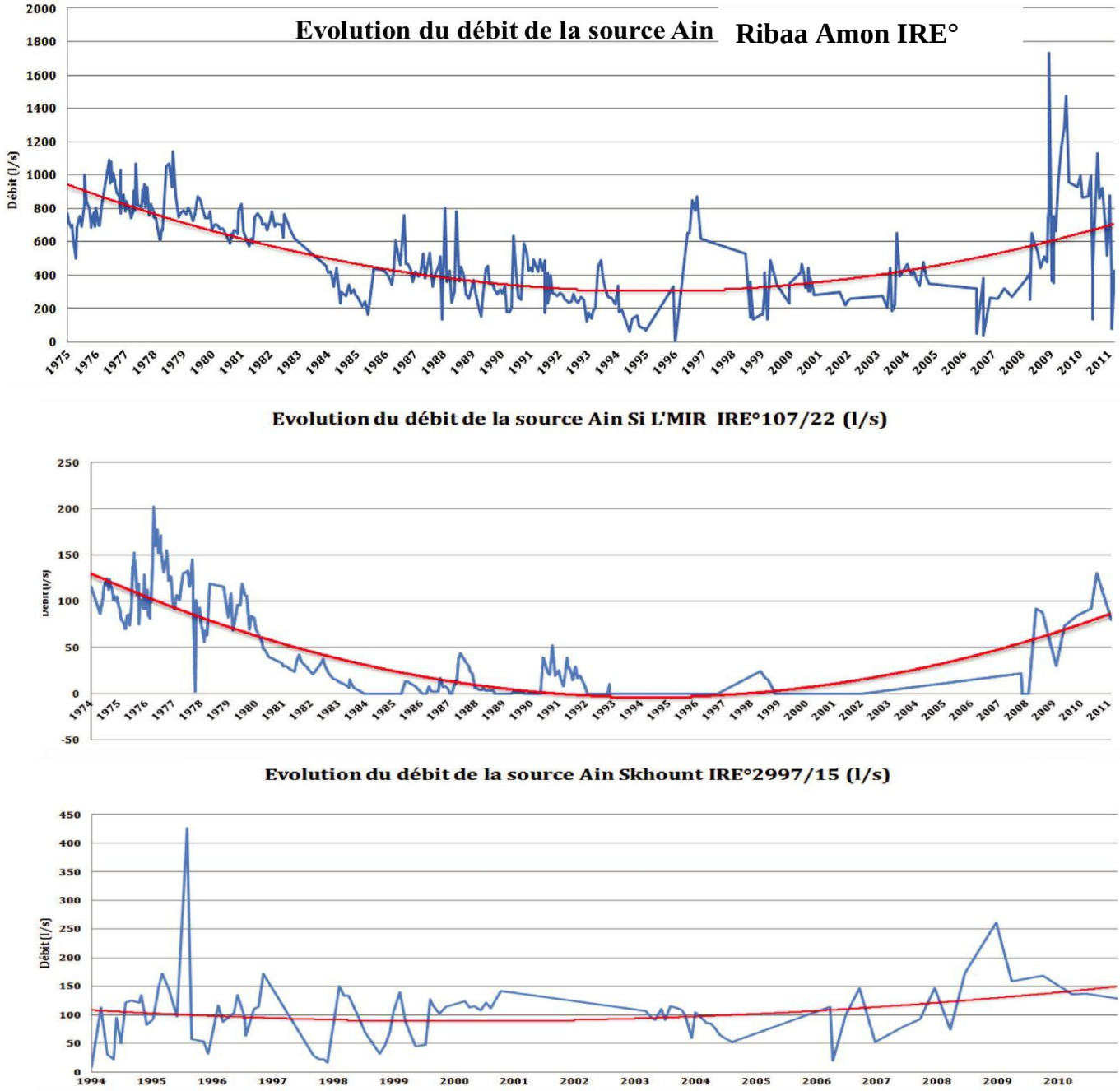


Figure 56: Évolution du débit moyen annuel de 4 Sources du bassin de Fès-Meknès (l/s) (ABHS, 2014).

CONCLUSION

Dans ce chapitre on a traité l'influence de la sécheresse sur la nappe, qui provoque une diminution importante au niveau des débits des oueds, débits des sources, niveaux piézométriques, la profondeur et tout le bilan de la nappe Fès-Meknès en Générale. D'où on va proposer des scénarios de l'évolution du taux des ressources en eaux par habitant et aussi l'évolution des points de prélèvement d'eau dans la nappe.

CHAPITRE III : PROPOSITION DES SCENARIOS

Les ressources naturelles en eau au Maroc sont parmi les plus faibles au monde. De 1990 à 2000, les ressources en m3 par habitant et par an ont baissé de 1200 à 950 m3/h/an (A. Laouina, l'eau au Maroc). En effet, le potentiel des ressources en eau naturelles, est évalué à 22 milliards de m^3 par an (2014), soit l'équivalent de 750 m3 /habitant/an (Ministère délégué auprès du Ministère de l'Energie, des mines, de l'eau et de l'environnement chargé de l'eau), communément admis comme seuil critique indiquant l'apparition de pénuries et de crise latente d'eau selon les critères des Nations Unies. D'ici 2020, la ressource ne sera plus que de 632 m3/h/an, à un moment où la demande en eau totale aura atteint le plafond des 20 à 21 km3 d'eaux mobilisables. Le pays descendra au seuil de pénurie (500 m3/h/an) vers 2030. (A. Laouina, l'eau au Maroc)

Les statiques estimées pour suivre l'évolution du taux des ressources en eau en m^3/hab/an durant la période entre 1990 et 2050 montrent une diminution intense, qui atteindre 68 m^3/hab/an en 2070 (**Fig.57**).

Tableau 13: Evolution du taux des ressources en eau m3/hab/an (1990-2070).

Années	Taux d'eau m3/hab/an	Taux de diminution
1990	1200	_
2000	950	250
2014	750	200
2020	622	128
2030	437	185
2040	253	185
2050	68	185

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

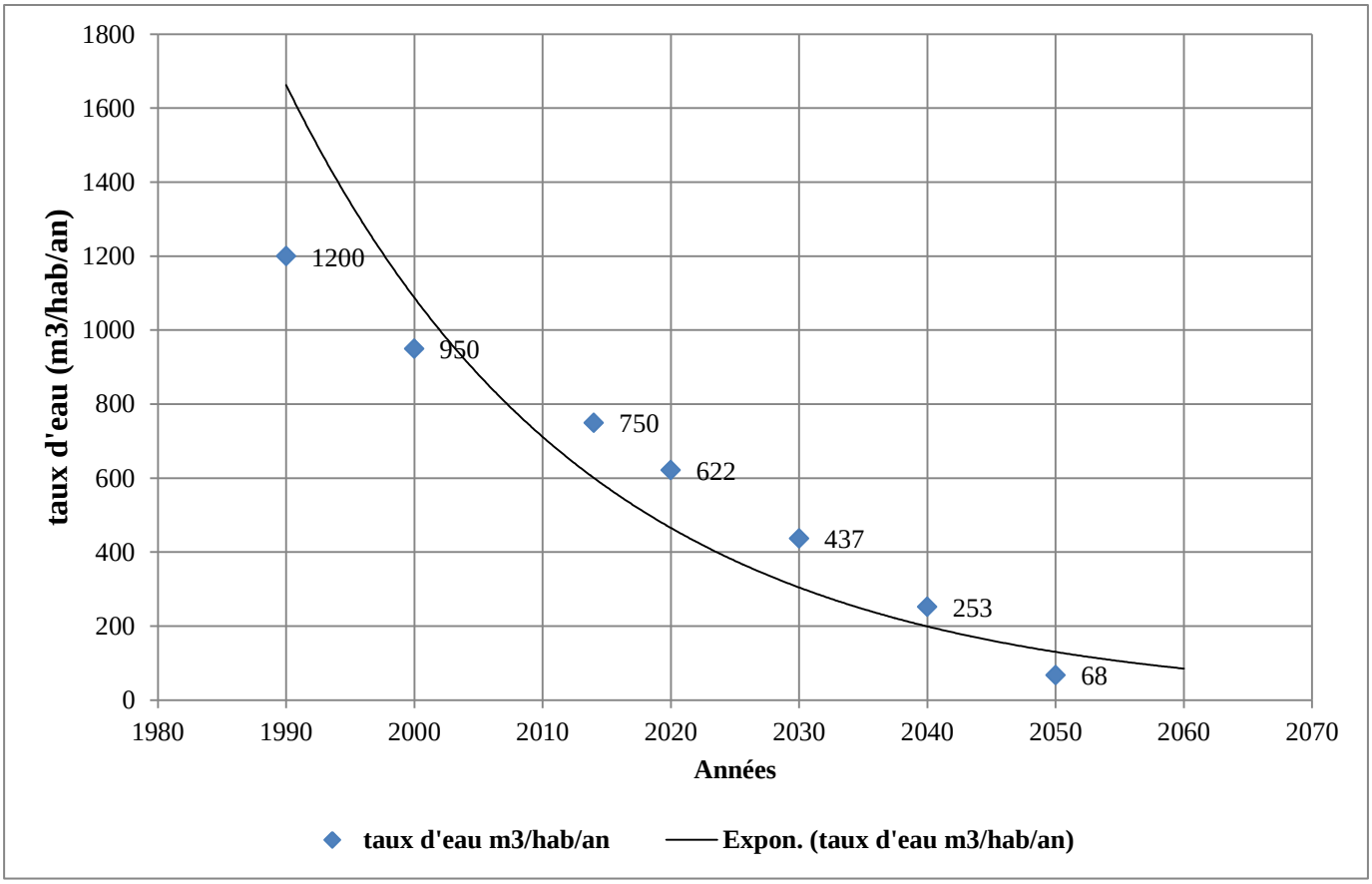


Figure 57: Courbe d'évolution du taux des ressources en eau m3/hab/an (1990-2070).

Le bassin de Fès-Meknès s'étend, sur une superficie de 2200 Km² et abrite une population qui s'élève à environ 3 millions d'habitants, dont 72 % en milieu urbain et 28 % en milieu rural. Ce bassin renferme un système aquifère d'importance socioéconomique capitale en raison d'une part, de sa contribution dans l'alimentation en eau potable des villes de Fès, Meknès et l'agglomérations avoisinantes, et d'autre part, de son rôle dans le développement du secteur agricole avec un potentiel globale de la plaine d'environ 160 000 hectares et dont 49 677 hectares sont actuellement irriguées (ministère de l'Agriculture, 2012).

En se basant sur ces données, on a réalisée diagramme suivant (**Fig.58**) qui illustre l'évolution des nombres des points d'exploitation d'eau dans tout le bassin de Fès-Meknès qui sera connait une importante augmentation et qui peut atteindre les 20220 points d'eau en 2040.

Tableau 14: Evolution des points d'eau dans la nappe Fès Meknès.

Années	Nombre de points d'eau	Taux de diminution
1990	5000	_
2000	8000	3000
2010	11000	3000
2012	12000	1000
2020	14000	2000
2030	17178	3178
2040	20220	3042

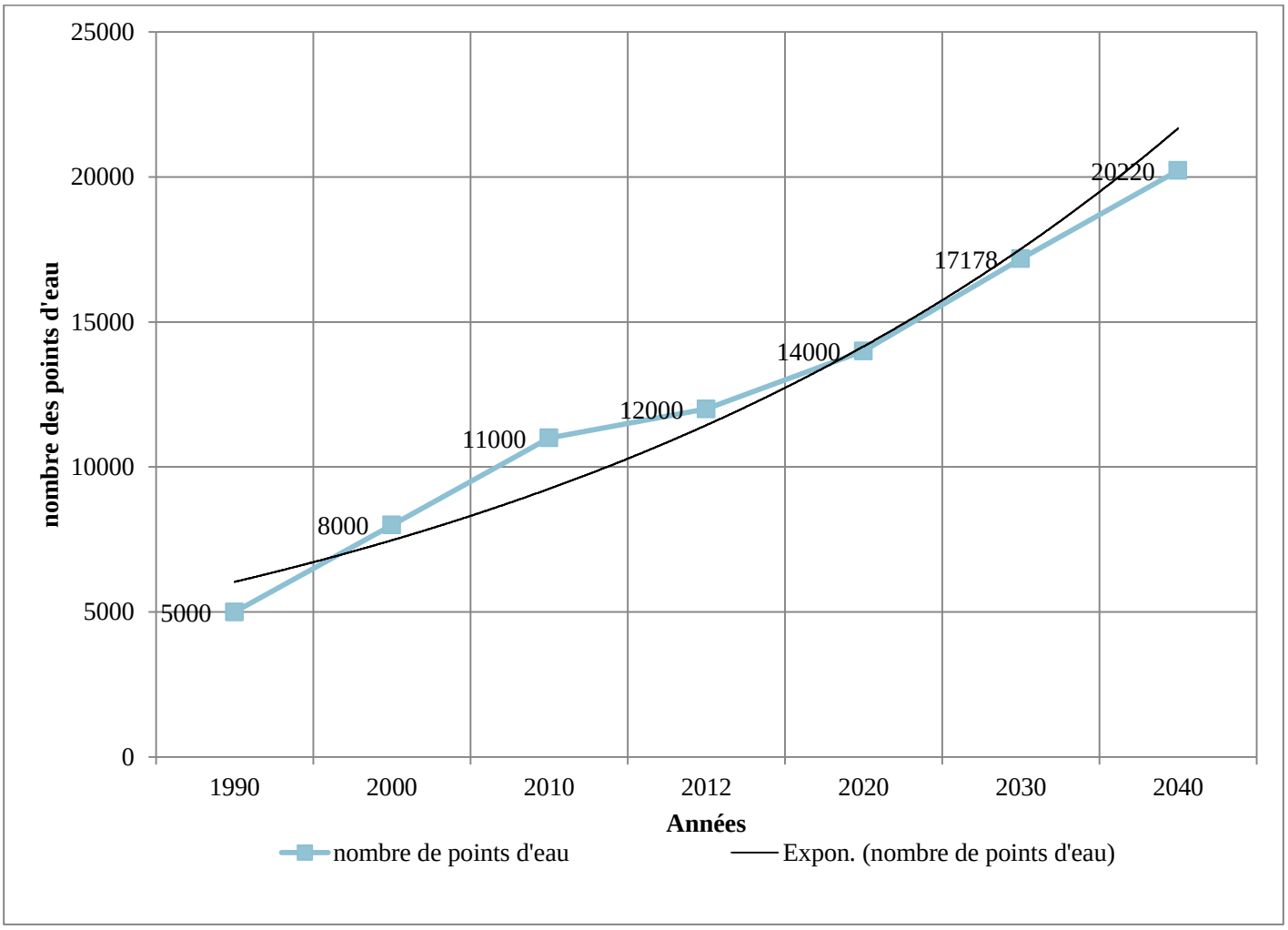


Figure 58: Courbes d'Evolution du nombre de points d'eau. (1990-2040).

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le présent travail, rassemble deux principales menaces affectant la nappe Fès-Meknès, la vulnérabilité à la pollution de la nappes phréatique et l'influence de la sécheresse autant que facteur naturelle et la surexploitation autant que facteur anthropique qui limitent le développement durable des eaux des deux systèmes acquières, libres et captive.

La qualité des eaux souterraines de la nappe change selon les secteurs, elle varie de bonne à très mauvaise qualité. Cette situation due aux teneurs élevées en nitrates prévenant essentiellement de l'activité agricole. Plus de la majorité des points dépassant le seuil de potabilité (~90%) se concentrent dans le plateau de Meknès où la mise en valeur agricole est plus intensive avec le développement de l'irrigation et la pratique de l'arboriculture fruitière.

L'évaluation de la vulnérabilité des aquifères par les deux méthodes GOD et DRASTIC montre une similarité des résultats. Les deux cartes élaborées montrent que la nappe phréatique de Fès-Meknès est globalement de moyenne à forte vulnérabilité à la pollution. Les zones de forte vulnérabilité sont situées principalement dans les secteurs sud-ouest et central de la nappe où la zone l'épaisseur de la ZNS est faible, recharge et perméabilité importante. Par ailleurs, les cartes obtenues par la méthode DRASTIC reflètent mieux la vulnérabilité à la pollution de la nappe, presque 75 % de la zone étudiée présentent une vulnérabilité « élevée ».

Les conséquences de l'exploitation des nappes au-delà de leur capacité (qui peut atteindre les 20220 points d'eau en 2040) sont multiples, citant ainsi l'assèchement des sources (cas du Sais) et des dayas (cas de Dayat Aoua), la diminution des aires d'artésianisme de la nappe profonde du Saïs, l'augmentation du coût de pompage (panneau de Hadj Kaddour) et la diminution des débits d'étiage et dégradation de la qualité des eaux.

Les statiques estimées pour suivre l'évolution du taux des ressources en eau en m^3/hab/an durant la période entre 1990 et 2050 montrent une diminution intense, qui atteindre 68 m^3/hab/an en 2070, cette diminution est due principalement à l'augmentation de la population et les changements climatiques.

Si la surexploitation est facteur anthropique quand peut le gérer, la sécheresse est un facteur naturel quand doit s'adapter avec ses effets, qui jouent un rôle important dans la limitation du renouvèlement des ressources en eaux de la nappe Fès-Meknès.

En guise de conclusion, l'eau est certainement la ressource naturelle la plus précieuse pour la vie en générale, mais elle est inégalement disponible, on la consomme, la gaspille et la pollue de plus en plus. De ce fait, d'importantes inquiétudes apparaissent quant à l'avenir de cette ressource… d'où des tensions entre ses consommateurs. Devant la rareté des ressources en eau, on doit chercher de nouvelles méthodes pour assurer l'approvisionnement en eau potable par le recours aux ressources non conventionnelles (dessalement d'eau de mer, épuration des eaux usées…) comme moyen efficace pour assurer la sécurité hydrique.

BIBLIOGRAPHIE

Agence du Bassin Hydraulique du Sebou (ABHS), (2014) − C*ontrat de la nappe de Fès-Meknès,* 22 p.

Agence du Bassin Hydraulique du Sebou (ABHS), (2008) − *Vers un programme de mesures pour le bassin du Sebou : Pressions – Impacts - Objectifs - Mesures…* 56 p.

Agence du Bassin Hydraulique du Sebou (ABHS), (2005) − *Etude de modélisation des nappes de la plaine de Fès-Meknès mission III : Etude de la vulnérabilité des nappes à la pollution, simulation de transfert des polluants et proposition de schémas de gestion optimum des ressources en eau des nappes de la plaine de Fès Meknès,* 77 p.

Agence du Bassin Hydraulique du Sebou (ABHS) (10/2004) − *Mission II : Etablissement des cartes de vulnérabilité et élaboration des programmes de suivi et de lutte contre la pollution des deux nappes,* 98 p.

Agence du Bassin Hydraulique du Sebou (ABHS), (2004) − *Mission III : Etude de la vulnérabilité des nappes à la pollution, simulation de transfert des polluants et proposition de schémas de gestion optimum des ressources en eau des nappes de la plaine de Fès Meknès*, 32 p.

Agence du Bassin Hydraulique du Sebou (ABHS), (2003) − *Mission I : Evaluation Des Ressources En Eau Souterraines de la nappe de Fès-Meknès,* 32 p.

Alibou J. (2002) − *Impacts des changements climatiques sur les ressources en eau et les zones humides du Maroc.* Ecole Hassania des Travaux Publics (EHTP), 42 p.

Amraoui F. (2005) − contribution à la connaissance des aquifères karstiques: cas du lias de la plaine du sais et du causse moyen atlasique tabulaire (Maroc). **Thèse d'Etat,** Université des Sciences et Techniques du Languedoc (USTL-Montpellier-France), 250**p.**

Azzi Y., Essahlaoui A., El Hmaidi A., El Ouali A. (2014) − Evaluation de la vulnérabilité a la pollution de la nappe phréatique du causse moyen atlasique (région el Hajeb – Ifrane), par la méthode DRASTIC utilisant les SIG. 7ème édition du Colloque Francophone en Energie, Environnement, Economie et Thermodynamique –COFRET 14, 9 p.

Belkhiri. (2007)− *Gestion intégrée des ressources en eau protection de la ressource - bassin du sebou -*, Revue HTE N°137, pp. 14.

Ben-Daoud M., Mouhaddach O., Essahlaoui A, Vanclooster M., Kestemont M.P., El Jaafari S. (2012) − *Evaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution à l'aide des systèmes d'information géographique. Volume 3, Issue 2, Décembre 2012, 7-13, 8p.*

Ben Sari D. (2004) −*Prévision et prévention des catastrophes naturelles et environnementales : le cas du Maroc*. Sciences de la terre Éditions UNESCO, pp 235.

Benradi F., El Yahyaoui A., Bouhlassa S., Nounah A., Cherkaoui E., Ghrissi F. (2013) − *Epaississement des concentrats d'osmose inverse (Thickening of concentrates from reverse osmosis).* J. Mater. Environ. Sci. 4 (6), pp 832-839.

Bouchnan R. (2015) −*Vulnérabilité des aquifères fracturés : méthode F-DRASTIC et aspect dynamique Applications aux aquifères d'Angad et de Bou-Areg (Maroc).* Thèse d'Etat, Université Abdelmalek Essaadi Faculté des Tciences et Techniques Tanger, 176p.

Bourkaik I. (2013-2014) - *Evaluation des ressources en eau souterraine de la nappe de Fès-Meknès.* Mémoire de Licence Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, 37 p.

Brou D, Lazare K. K., Innocent K. K., Seraphin K. K., Moussa S, Arthur K, Dago G. (2013) − *Evaluation de la vulnérabilité à la pollution des aquifères des formations altérites à partir des méthodes DRASTIC et SYNTACS: Cas de la ville de M'bahiakro*, Centre de la Côte d'Ivoire. International Journal of Innovation and Applied Studies, ISSN 2028-9324 Vol. 2, pp. 464-476.

Chandoul R.E., Trabelsi N., Bouaziz S., Ben Dhia H. (2008) − *Spatial Analyst pour le calcul et la cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution selon la méthode DRASTIC. Application sur la nappe phréatique de Gabès Nord*, La conférence Francophone ESRI-1er et 2 octobre-Versailles, pp. 8.

Chamayou J. (1967) − *Rapport géologique préliminaire sur le tracé de la galerie de dérivation Sebou-Inaouène*. Rapp. inéd. MTPC/DH/DRE, pp 28.

Combe M. (1966) − *Etude géologique de synthèse du site de barrage, d'Arabat*. Rapp. Inéd. MTPC/DH/DRE, pp 45.

Dridri A. Fedan B. (2001) − *Rôle du contrôle structural dans la mise en place du réseau hydrographique de Sebou et d'Inaouène,entre Fès et oued Amlil (Maroc).* Bulletin de l'Institut scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre, n°23, pp. 67-77.

El bada N., Mountadar M. (2012) − *Evaluation méso-économico environnementale de la gestion des déchets solides de la ville d'Azemmour (Maroc) (Evaluation meso-economic-environmental*

management of solid waste from the city of Azemmour (Morocco)). J. Mater. Environ. Sci. 3 (4). pp786-799.

EL BADRAOUI M. H., BERDAI M. (2011) − *Adaptation du système eau-énergie au changement climatique : Etude nationale – Maroc*. Plan Bleu Centre d'Activités Régionales PNUE/PAM pp 94.

El Haji M., BOUTALEB S., LAAMARTI R., LAAREJ L. (2012) − *Qualité des eaux de surface et souterraine de la région de Taza (Maroc) : bilan et situation des eaux*. Afrique SCIENCE 08(1), pp 67 – 78.

EL Farricha S., Meriji S. (2016) − *Contribution à l'analyse qualitative de la nappe souterraine de Fès Meknès*. Mémoire de Licence Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, 55 p.

El Ibrahimi A., Abdennasser B., Couscous A., El Kamel T. (2015) − *Etude de l' impact des variations pluviométriques sur les fluctuations piézométriques des nappes phréatiques superficielles en zone semi-aride (cas de la plaine de Saïss, nord du Maroc).* European Scientific Journal edition vol.11, No.27 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431.

El Garouani A., Chen H., Lewis L., tribak A., Abahrour M. (2007) − *Apport de la Télédétection et du SIG pour le suivi spatio-temporel de l'occupation du sol et de l'érosion nette dans le bassin de l'Oued Tlata (Maroc).* Acte des JSIRAUF, Hanoi, pp 9.

El Hallaoui A. (2013) − *Caractérisation du Bassin Rdat –Modélisation Hydrologique*. Mémoire de Master Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, 48 p.

ELMI ROBLEH N. (2011-2012) − *Evaluation des ressources en eau du bassin de Fès-Meknès à l'aide d'outils SIG.* Mémoire de Master Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, 104 p.

Jacquemin I., Verbeiren B., Uljee I., Engelen G., Huysmans M., Tychon B. (2015) − *Évaluation de la vulnérabilité et du risque associés à la sécheresse des nappes phréatiques en belgique : simulation de la recharge au niveau des zones agricoles avec le modèle B-CGMS*. XXVIIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie. pp 6.

Knouz N., Boudhar A., Bachaoui E.M., Aghzaf B. (2018)− Étude de la vulnérabilité des nappes à la pollution en zones semi-arides : cas de la nappe phréatique des Béni Amir au Maroc. Méditerranée Revue géographique des pays méditerranéens / Journal of Mediterranean geography Varia, 18 p.

Kouakou DEH S., Kouame K. J., Saley M. B ., Tanoh K .J., E.K Abenan Anani, Signo K H, Jourda J. P., Biémi J. (2012)− Evaluation de la vulnérabilité spécifique aux nitrates (NO3) des eaux

souterraines du District d'Abidjan (Sud de la Côte d'Ivoire), Int. J. Biol. Chem. Sci. 6(3): 1390-1408, pp 19.

Madioune D.H., Faye S. C. Faye S. (2011) − *Etude de la vulnérabilité intrinsèque a la pollution de la nappe libre des sables quaternaires de thiaroye par la méthode DRASTIC*. Journal des Sciences et Technologies 2011 Vol. 9 n° 2 pp.1-11.

Meziani M., FORNAGE N. (2006) − *Régie de Fès-RADEEF Programme de dépollution de l'oued Sebou*, 32 p.

Lamhasni n., chillasse L., Abba H., El Haouat S., El Madani M. (2013) − *Typologie des eaux de surface du bassin du Sebou par multi-approche : corrélation entre indice biologique global des réseaux de contrôle et de surveillance (IBG-RCS) et l'approche physicochimique et microbiologique*. Afrique SCIENCE 09(2), pp 35 – 49.

Lamsiah H. (2015) − *Caractérisation de gestion des déchets ménagers et assimilées de la région Fès-Meknès*. Mémoire de Master Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, 68 p.

Laouina A. − *L'eau au Maroc*. Chaire UNESCO-GN, FLSH, Université Mohammed V, Rabat, 7 p.

Leclerc C. (1970) − *Esquisse hydrogéologique des Causses du Moyen Atlas, observations effectuées pendant l'année 1968-69*. Rapp, inéd. MTPC/DH/DRE, pp 21.

Mermoud A. (2006) − *Cours du physique du sol écoulements vers les ouvrages de captage*. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, pp 35.

Mimouni A., Oujidi M., Negadi M., Hadlach M., Bengamra S. (2011) − *Usage De La Prospection Géoélectrique Pour La Détermination De La Géométrie De L'Aquifère Miocène Dans La Région D'El Aïoun (Maroc Nord-Oriental)*. J. Mater. Environ. Sci. 2 (S1), pp 491-494.

Mimoun D., Graillot D. (2010) − *Evaluation de la vulnérabilité `a la pollution des aquifères alluviaux de montagne par utilisation conjointe d'un modèle d'écoulement souterrain et d'un modèle de suivi de particules. Application au Massif Central (France)*, Centre SITE, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne. Colloque Eau, Déchets et Développement Durable, Mar 2010, Alexandrie, Egypte. <emse-00476928> .pp.191-197.

Ministère de l'Energie des Mines de l'Eau et de l'Environnement, Département de l'eau, (2012) − *Impacts des changements climatiques sur les ressources en eau et Stratégie nationale de l'eau au Maro.29 p.*

Rapport-Gratuit.com

Mouaddine A. (2010) – Caractérisation granulométrique, physico-chimique et géochimique des sols d'Ouest de Fès. Mémoire de Master Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, 71 p.

Nichane M., Khelil M.A. (2015) − changements climatiques et ressources en eau en Algérie: vulnérabilité, impact et stratégie d'adaptation. Algerian journal of arid environment vol. 5, n° 1, pp 56-62.

Renard F. (2002) − Cours d'hydrogéologie. Master Professionnel –DESS, pp 54.

***R**hazi A., Essahlaoui A., El Hmaidi A., El Ouali A. (2017) − Etude de la vulnérabilité aux risques d'inondations dans la ville de Meknès. Apport des SIG, du MNT et des modèles empiriques.* (2017)− European Scientific Journal edition Vol.13, No.36 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431.

Roger F. (2015) − *Hydrogéologie et évaluation de la vulnérabilité des nappes dans le bassin versant de Besseke (Douala, Cameroun).* Thèse de Doctorat/Ph.D. en Sciences de la Terre. Université de YAOUNDE I, 254 p.

Royaume du Maroc, Ministère Délégué Auprès du Ainistre de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement Chargé de l'Eau (2014) - *Les sources de pollution de l'eau au Maroc*, 25 p.

Royaume du Maroc Haut-Commissariat au Plan, RABAT – MAROC*(2006) − Statistiques environnementales au MAROC*, 108p.

Sadkaoui N., Boukrim S., Bourak A., Lakhili F., Mesrar L., Chaouni A-A., Lahrach A., Jabrane R., Akdim B. (2013) − *Groundwater pollution of Saïs basin (Morocco), vulnerability mapping by DRASTIC, GOD and PRK methods, involving Geographic Information System (GIS).* Present Environment and Sustainable Development, vol. 7, no.1. pp 14.

Sinan M.M., Bouibrine N. (2007) − *Utilisation des SIG pour la comparaison des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des nappes à la pollution. Application à la nappe du Haouz de Marrakech (Maroc). E*cole Hassania des Travaux Publics, pp. 41.

Temsamani K.R. (2012) − *Le développement Durable de la région Tanger-Tétouan dans un contexte de pressions sur l'environnement.* Observatoire Régional de l'Environnement et du Développement Durable Région Tanger-Tetouan OREDD TT, pp. 87.

ANNEXES

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

L'AGENCE DU BASSIN HYDRAULIQUE DE SEBOU (ABHS)

Etablissement public doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière, elle 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 est administrée par un conseil présidé par l'autorité gouvernementale chargée des ressources en eau.

a. Création d'ABHS:

Instaurée par le décret 2.00.477 du 14 Novembre 2000, pris en application de l'article 20 de la loi 10-95 sur l'eau, l'Agence du Bassin Hydraulique du Sebou est un établissement public doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière.

L'Agence est administrée par un Conseil d'Administration présidé par l'autorité gouvernementale chargée des ressources en eau et dans lequel sont représentés tous les acteurs intervenant dans le domaine de l'eau au niveau du bassin hydraulique.

b. Missions d'ABHS:

- Organise le développement des ressources par :
  - L'évaluation des ressources en eau
  - La panification de l'aménagement des ressources en eau
  - Le suivi qualitatif et quantitatif des ressources en eau
  - La gestion des ressources en eau

- Le contrôle des ressources en eau
- Le recouvrement des redevances financières

➢ Veille à la sécurité de la ressource publique et du patrimoine à travers :

- La sauvegarde du domaine public Hydraulique
- La prévention et gestion des situations exceptionnelles
- La maîtrise des ouvrages d'art de lutte contre les inondations
- L'entretien, maintenance et exploitation des ouvrages Hydraulique
- Le contrôle des ressources en eau
- Le recouvrement des redevances financières

➢ Veille à la sécurité de la ressource publique et du patrimoine à travers :

- La sauvegarde du domaine public Hydraulique
- La prévention et gestion des situations exceptionnelles
- La maîtrise des ouvrages d'art de lutte contre les inondations
- L'entretien, maintenance et exploitation des ouvrages Hydraulique

➢ A des relations avec des services tiers notamment avec :

- L'assistance technique et prestation aux usagers
- Le développement du partenariat
- L'assistance financière à la dépollution et au développement des ressources en eau
- La concertation avec les acteurs de l'eau pour la gestion de la ressource

c. Organisme structurel de l'Agence hydraulique du bassin de Sebou:

L'organigramme de l'Agence du Bassin hydraulique du Sebou se compose de:

- Secrétariat Général
- 4 Divisions
- 1 Service de protection de la quantité de l'eau

Secrétariat Général

4 Divisions service de protection de la qualité de l'eau

d. Organigramme de l'Agence:

Pour bien comprendre les différents services de l'Agence on va présenter l'organigramme suivant :

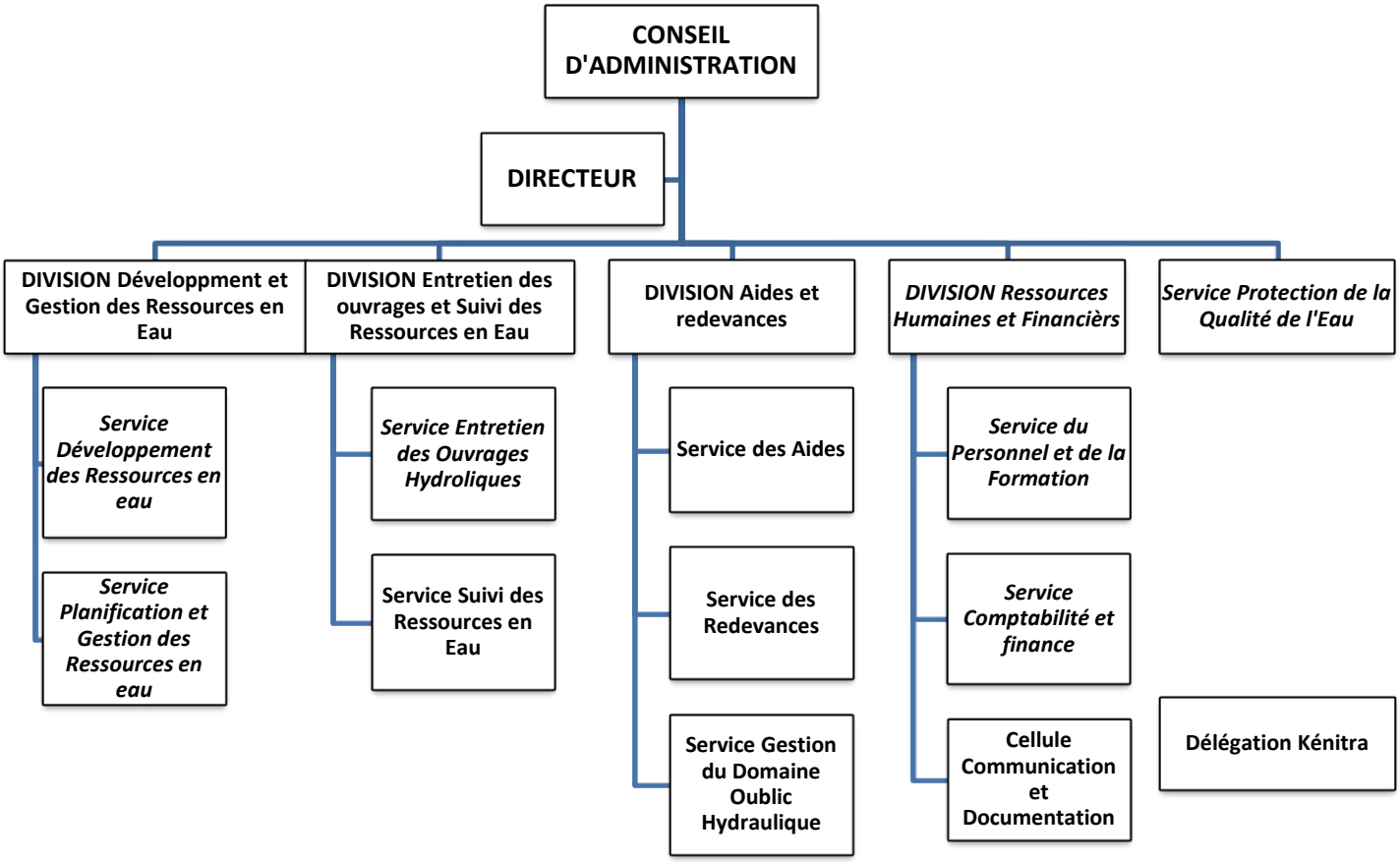


Figure : 1 l'organigramme de l'Agence du Bassin hydraulique Sebou.

كلية العلوم و التقنيات فاس
ⵜⴰⵖⵉⵡⴰⵏⵜ ⵏ ⵜⵎⴰⵙⵙⴰⵏⵉⵏ ⴷ ⵜⵙⵏⵉⵅⵉⵜⵉⵏ
Faculté des Sciences et Techniques de Fès

جامعة سيدي محمد بن عبد الله
ⵜⴰⵙⴷⴰⵡⵉⵜ ⵙⵉⴷⵉ ⵎⵓⵃⵎⵎⴰⴷ ⴱⵏ ⵄⴰⴱⴷⵍⵍⴰⵀ
Université Sidi Mohamed Ben Abdellah

Master MGE

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

Nom et prénom: El AZZOUZI Amal

Année Universitaire : 2017/2018

Titre: Vulnérabilité à la pollution et risque de sécheresse des eaux souterraines de la nappe Fès-Meknès

Résumé

La nappe de Fès-Meknès appartient au bassin de Sebou et s'étend sur une superficie de 2100 km2. Ses eaux sont utilisées principalement pour l'irrigation et l'alimentation en eau potable. Elle est vitale pour le développement économique et social de la région.
En générale, la qualité des eaux souterraines de la nappe varie de bonne à très mauvaise qualité due aux teneurs élevées en nitrates prévenant essentiellement de l'activité agricole dont plus de la majorité des points (~90%) dépassant le seuil de potabilité 50mg/l.

La carte de vulnérabilité intrinsèque réalisée à partir des deux méthodes DRASTIC et GOD à l'aide de logiciel ArcGis a révélé que cette nappe est moyennement à fortement vulnérable à l'infiltration des polluants à partir de la surface. La cartographie de la vulnérabilité permet de mieux préserver cette nappe et d'améliorer la gestion de ses ressources. Ainsi, la carte élaborée peut être utilisée comme outil d'aide à la décision en matière d'aménagement du territoire dans la région de Fès-Meknès et peut être facilement actualisée par la mise à jour de deux thèmes : Recharge et Profondeur de la nappe.

Si la surexploitation est facteur anthropique quand peut le gérer, la sécheresse reste un facteur naturel quand doit s'adapter avec ses effets, qui jouent un rôle important dans la limitation du renouvèlement des ressources en eaux de la nappe Fès-Meknès. Les effets de la sécheresse et la surexploitation sont similaires. Ils provoquent une diminution des débits des oueds, des débits des sources, niveaux piézométriques, la profondeur et le bilan de la nappe Fès-Meknès en Générale.

Mots clés: Vulnérabilité, nappe, DRASTIC, GOD pollution, .sécheresse, Fès-Meknès.

Faculté des Sciences et Techniques - Fès
B.P. 2202 – Route d'Imouzzer – FES
212 (0) 535 60 29 53 Fax : 212 (0) 535 60 82 14