

Sommaire

Préambule	1
Présentation de l'agence du bassin hydraulique de Sebou	1
Identité et missions	1
Organisation	2
CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	3
I.1. Le Bassin versant de Sebou	3
I.2. Le contexte géographique et géomorphologique.....	4
I.3. Le Contexte géologique.....	5
I.4. Le Contexte hydrologique	8
I.5. Le Contexte climatologique.....	9
CHAPITRE II: ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE LA NAPPE DU GHARB	14
II.1. Introduction	14
II.2. La lithologie	15
II.3. Profondeur des eaux souterrain	17
II.4. Piézométrie.....	17
II.4.1. Carte piézométrique.....	17
II.4.2. Carte de rabattement	20
II.5. L'historique de la piézométrie du bassin.....	21
CHAPITRE III: HYDROCHIMIE ET QUALITE DE LA NAPPE DU GHARB	25
III.1. Introduction.....	25
III.2. La Balance Ionique	25
III.3. Le pH	27
III.4. La conductivité.....	27
III.5. L'Identification des faciès chimiques	28
III.5.1. Le Diagramme de Piper :	29
III.5.2. Le diagramme de Schöeller-Berkaloff	30
III.5.3. La localisation des faciès chimiques	30
III.5.4. Les faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien.....	31
III.5.5. Le faciès chloruré sodique et sulfato-potassique.....	33
III.5.6. Le faciès bicarbonaté calcique et magnésien	34

III.5.7. Le faciès bicarbonaté sodique et potassique.....	36
III.6. La qualité des eaux de consommation	38
Conclusion général	40
Annexe 1	41
Annexe 2	42
Annexe 3	43
Annexe 4	44
Annexe 5	45
Références bibliographiques	46

Liste des figures :

Figure I. 1. Carte des bassins versant du Maroc	5
Figure I. 2 .Carte du bassin de Sebou.....	5
Figure I.3. Carte géologique de la nappe du Gharb (Digitalisée à partir d'une carte géologique éditée par le Service Géologique du Maroc 1985).....	8
Figure I.4.: Carte hydrographique du bassin de Sebou (Digitalisée à partir d'une carte topographique éditée par la direction de la conservation foncière et des travaux topographiques, publié en 1983 par la division de la cartographie).....	9
Figure I.5. Diagramme ombrothermique de la station Kénitra (Secteur S-W) (X = 389553 Y = 411513 Z= 5).	11
Figure I.6. Diagramme Ombrothermique de la station Sidi Slimane	11
(X = 440127 Y = 403672 Z = 52).	11
Figure I.7.Diagramme ombrothermique de la station Lalla Mimouna	12
(X = 435000 Y = 472600 Z = 16).	12
Figure I.8. Diagramme ombrothermique de la station Had Kort (X = 470350 Y = 439900 Z = 30).....	12
Figure II.1. Carte des nappes du bassin de Sebou.....	14
Figure II.2. Coupe NW-SE dans la partie centrale des dunes côtières du Gharb.....	16
(Ressource en eau du maroc tome 2, page 104)	16
Figure II.3. Coupes géologiques de quelques forages du Gharb (Ressource en eau du maroc tome 2, page 95)	16
Figure II.4. Carte des profondeurs de la nappe du Gharb (Digitalisée à partir	17
d'une carte éditée par ABHS 2006)	17
Figure II.5. Carte piézométrique de la nappe du Gharb réalisée en septembre 2006	18
Figure II.6. Carte piézométrique de nappe du Gharb réalisée en	18
septembre 2012 (ABHS).....	18
Figure II.6. Carte de rabattement.....	20
Figure II.7. Evolution piézométrique de la zone côtière de la nappe du Gharb.....	21
(N°1765/08 : X=407635,4 Y=447192,6)	21
Figure II.8.Evolution piézométrique du secteur Nord-Ouest de la nappe du gharb (N° 1520/08 : X=416974,3 Y=406868,6).....	21
Figure II.9. Evolution piézométrique du secteur Est de la nappe du Gharb (N° 103/14 : X=453901,5 Y=406868,6)	22
Figure II.10. Evolution du niveau piézométrique de la zone nord de la nappe du Gharb (N° 1520/08 : X=416974, Y= 448765).	23

Figure II.11. Evolution du niveau piézométrique de la zone est de la nappe du Gharb (N° 103/14 : X=453901, Y=406868).....	23
Figure II.12.Evolution du niveau piézométrique de la zone côtière de la nappe.....	24
du Gharb (N° 698/08 : X=421173, Y=428630).	24
Figure III.1. Histogramme des pH des eaux souterraines du bassin de Gharb (l'année 2012).....	27
Figure III.2. Histogramme des conductivités des eaux souterraines de la.....	28
Nappe du Gharb (l'année 2012)	28
Figure III.3. Répartition des faciès chimiques des eaux souterraines de la nappe du Gharb.....	31
Figure.III.5. Projection sur le diagramme de piper des analyses des faciès chloruré calcique et magnésien.....	32
Figure.III.6.Projection sur le diagramme de scholler-berkaloff Des analyses des eaux souterraines de la nappe du Gharb	32
Figure.III.7.Projection sur le diagramme de piper des analyses des faciès chloruré sodique et sulfato-potassique.....	33
Figure.III.8.Projection sur le diagramme de scholler-berkaloff des analyses des faciès chloruré sodique et sulfato-potassique	34
Figure.III.9.Projection sur le diagramme de piper des analyses des faciès bicarbonaté calcique et magnésien.....	35
Figure.III.10. Projection sur le diagramme de sholler-berkaloff des analyses des faciès bicarbonaté calcique et magnésien	36
Figure.III.11. Projection sur le diagramme de piper des analyses des faciès bicarbonaté sodique et potassique.....	37
Figure.III.12. Projection sur le diagramme de scholler-berkaloff des analyses des faciès bicarbonaté sodique et potassique	38

Préambule

A la fin du cursus en Licence Sciences et Techniques de l'eau et de l'environnement à la FST-FES, les étudiants doivent obligatoirement réalisés un stage de fin d'études de deux mois dans un établissement ou une société. Ce stage constitue une étape importante dans la concrétisation des connaissances scientifiques théoriques et techniques acquises durant les années de formation.

Notre stage a eu lieu dans l'agence hydraulique du bassin de Sebou(ABHS). La thématique a pour objectif la mise à jour de la piézométrie de nappe du Gharb ainsi que la caractérisation de la qualité et de l'hydrochimie des eaux souterraines.

Le présent travail sera composé d'une présentation succincte du lieu de stage, suivie des généralités sur la zone d'étude, la géologie, la climatologie, hydrologie, etc.

Présentation de l'agence du bassin hydraulique de Sebou

L'agence du bassin hydraulique de Sebou est un établissement public, doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière. Elle gère les ressources en eau d'un bassin hydraulique en associant l'ensemble des acteurs de l'eau en veillant à la protection du domaine public hydraulique. L'objectif final est le développement durable. L'agence est administrée par un conseil présidé par l'autorité gouvernementale chargée des ressources en eau.

Identité et missions

L'Agence du Bassin Hydraulique du Sebou à pour principales missions :

- L'évaluation, la planification et l'aménagement des ressources en eau ;
- Le suivi qualitatif et quantitatif des ressources en eau ;
- Le recouvrement des redevances financières ;
- La gestion et la sauvegarde du Domaine Public Hydraulique ;
- L'entretien, la maintenance et l'exploitation des ouvrages hydrauliques ;
- L'assistance technique et la réalisation de prestations aux usagers ;
- Le développement du partenariat.

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.

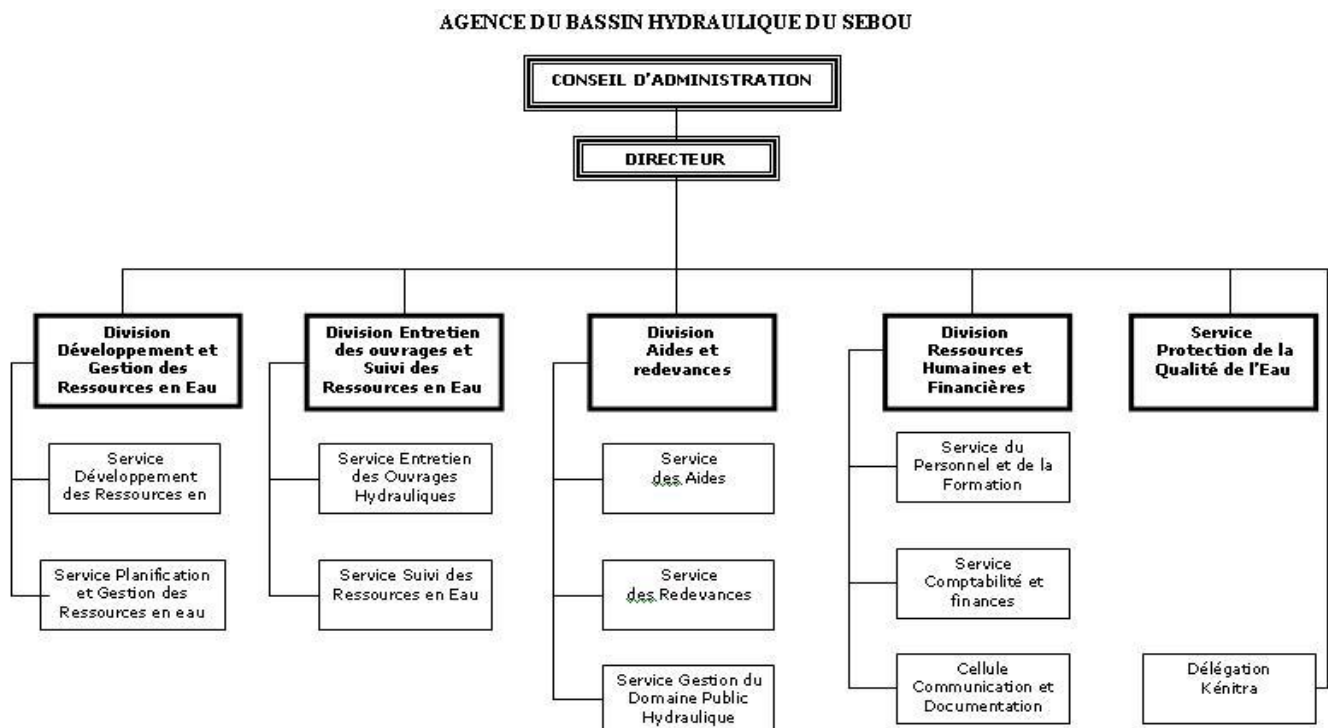
L'Agence du Bassin Hydraulique du Sebou veille à assurer un service de l'eau dans les conditions de qualité et de proximité requises par l'utilisateur notamment à travers :

- La recherche et le dégagement de nouvelles ressources ;
- La garantie de l'allocation des ressources en eau ;
- La prévention contre la pénurie et l'atténuation des effets de la sécheresse ;
- Le contrôle de la sécurité des ouvrages hydrauliques et leur maintenance ;
- L'assistance technique et l'aide financière aux usagers ;
- La participation à la protection de la population et des biens contre les inondations ;
- L'information continue des usagers et des acteurs de l'eau.

Organisation

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

- Secrétariat Général ;
- Quatre divisions ;
- Un service de protection de la qualité de l'eau.



Organigramme de l'agence du bassin hydraulique de Sebou

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

I.1. Le Bassin versant de Sebou

Le bassin de Sebou est d'une superficie d'environ 40.000 km², et l'un des bassins les plus importants du royaume. Selon le recensement de 2004, le bassin renferme une population totale de près de 6.2 millions d'habitants. Parmi cette population, 49% vivent en milieu urbain et 51% en milieu rural. Il dispose d'une économie agricole et industrielle qui contribue de façon importante à l'économie nationale.

Le climat régnant sur l'ensemble du bassin est de type méditerranéen à influence océanique. Cependant, à l'intérieur du bassin le climat est plutôt continental. La pluviométrie moyenne annuelle du bassin est de 600 mm, avec un maximum de 1000 mm/an sur les hauteurs du Rif et un minimum de 300 mm sur le haut Sebou et les vallées du Baht.

Le bassin versant du Sebou est l'un des plus riches en eau et constitue l'une des régions les mieux loties en terres irriguées et en industries. Le potentiel cultivé s'élève à 1.750.000 ha. Les superficies irrigables sont estimées à 375.000 ha, dont 269.600 sont actuellement irrigués, répartis entre :

- 114.000 ha de grande hydraulique ;
- 155.600 ha de petite et moyenne hydraulique et d'irrigation privée.

Le bassin de Sebou connaît une activité industrielle très développée. Les unités importantes à l'échelle du bassin sont : les sucreries, les papeteries, les huileries, les tanneries, les cimenteries, l'industrie du textile et la raffinerie de pétrole.

- 209.000 tonnes de papier ;
- 80.000 tonnes d'huile d'olive (65% de la production nationale) ;
- 12.000 tonnes de cuir (60% de la production nationale) ;
- 3.300 tonnes de pétrole raffiné ;
- 1845 tonnes de sucre produit (50% de la production nationale).

Il est également très riche en potentialités touristiques. On y trouve des villes impériales à civilisation millénaire constituant un patrimoine universel comme les villes de Fès et de Meknès, les sites romains de Walili (Volubilis) et les grottes de

Friouatou dans la région de Taza.

Le bassin de Sebou couvre en totalité:

- 5 régions économiques : Fès - Boulemane, Taza-Al Hoceima–Taounate, Meknès -Tafilalt, Gharb-Chrarda-Beni Hssen et Rabat –Zemmour-Zair ;
- 3 Wilayas : Fès, Méknès et Kénitra ;
- 15 provinces et préfectures dont 8 en totalité (Méknès, El Hajeb, Fès, MyYaacoub, Sefrou, Taounate, Kénitra, Sidi kacem) et 7 partiellement : (Ifrane, Boulemane, Taza, Chefchaouen, Khémisset, Khénifra et Al Hoceima).

I.2.Le contexte géographique et géomorphologique

La présente étude concerne la partie occidentale du bassin de Sebou, notamment la nappe du Gharb. Elle est limitée au Nord par la marge pré rifaine, au Sud par la région de ZemmourMamora, à l'Est également par la marge pré rifaine et les rides sud- rifaines, et à l'Ouest par l'Atlantique, elle s'étend sur une superficie de 4000 km²entre les coordonnées Lambert $X_1=400\ 000$, $X_2=480\ 000$, $Y_1=475\ 000$, $Y_2=400\ 000$. Correspond à une vaste cuvette dont les 80% sont à une altitude inférieure à 20 m.Elle communique avec le bassin du Saïs par le bassin d'El Khemisset et le seuil deKansera(ABHS 2006). L'Oued Sebou y pénètre par l'Est, décrit un trajet en méandre pour déboucher dans l'océan Atlantique (Fig I.1 et Fig. I.2).

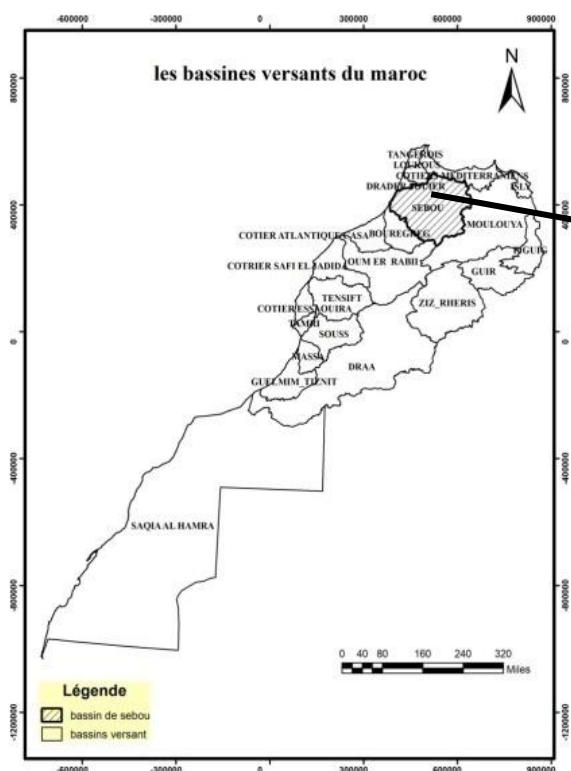


Figure I. 1. Carte des bassins versant du Maroc

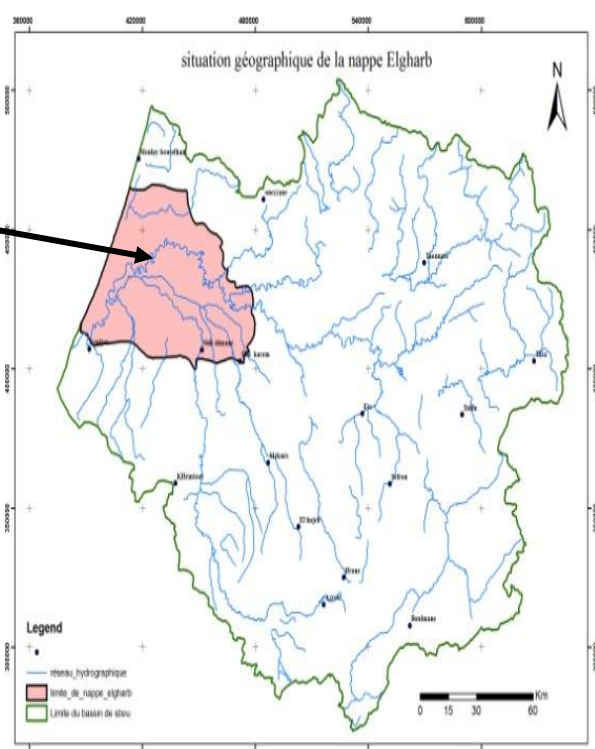


Figure I. 2 . Carte du bassin de Sebou

I.3. Le Contexte géologique

Sur le plan géologique, la plaine du Gharb constitue la charnière entre deux ensembles structuraux qui diffèrent par la nature et l'âge des terrains d'une part et par le style tectonique et l'âge de la déformation d'autre part :

- Sur la marge septentrionale : le Rif qui est marqué par une grande instabilité jusqu'à l'actuel ;
- Sur la marge méridionale : la Méséta avec un socle paléozoïque rigide et relativement stable plongeant régulièrement du Sud vers le Nord avec une pente de 3°.

Le bassin du Gharb a été individualisé au Miocène terminal suite à l'obstruction du sillon sud-rifain par la remontée isostatique su seuil de Taza et le glissement de la nappe pré-rifaine du Nord vers le corridor sud-rifain. En outre, l'instabilité de la marge pré-rifaine et le basculement dû à la surrection rifaine provoquent le déversement d'énormes quantités de matériaux terrigènes, souvent fins et le glissement d'un énorme olistostrome. La moitié septentrionale du Gharb

repose directement sur cet olistostrome alors que la moitié méridionale repose sur les formations de la Méséta occidentale formant le substratum autochtone du Rif.

Le comblement du bassin du Gharb, au Miocène terminal, est le résultat de la combinaison de plusieurs facteurs :

-L'accumulation d'énormes apports en provenance de deux zones émettrices, bien définies par la nature et la granulométrie des matériaux :

- La marge septentrionale prérfaine ne fournit que des éléments très fins, sito-argileux, parmi lesquelles sont transportés des tests de micro-organismes arrachés aux formations crétacées et tertiaires de l'arrière pays ainsi ; que des carapaces d'ostracodes ;
- La marge mésétienne, libère des matériaux beaucoup plus grossiers, principalement vers le sommet de la série ;

-l'arrivée de la nappe prérfaine.

En effet, c'est l'interaction entre la subsidence tectonique et les changements du niveau marin qui façonne la morphologie d'ensemble des sédiments néogènes. Les changements eustatiques peuvent avoir joué un rôle important dans les parties les moins profondes du bassin. L'aspect le plus important de l'histoire tectonique du bassin du Gharb est l'initiation et la propagation des failles synsédimentaires initiées par un déséquilibre gravitaire. Ce dernier, résulte à la fois de la forme inclinée du substratum et des fractures qui permettent l'accommodation par le flux sédimentaire.

La lithostratigraphie

La séquence du Gharb, composée essentiellement d'une série argilo-silteuse homogène, repose sur une topographie irrégulière (anticlinale et synclinale) d'un olistostrome plastique et instable affecté par plusieurs failles de croissance.

La série sédimentaire de ce bassin est caractérisée par une dominance des éléments silteux et colloïdaux. Les sables sont, la plupart du temps, très fins alors que les éléments grossiers (graviers et galets) se rencontrent sous forme d'amas lenticulaires dans les argiles de la fin de série (Fig. I.4).

Cette série, correspondant en grande partie à des dépôts par accrétion verticale, renferme de bas en haut :

Le Mio-Pliocène :

Il est lié à la subsidence de l'avant fosse post-tectonique. Il se caractérise par une épaisse série de marnes grises, dont l'épaisseur peut atteindre près de 3000 m. L'importance de la pyritisation de cette série caractérise un environnement très réducteur. Le Mio-Pliocène constitue le substratum général des formations sus-jacentes.

Le Pliocène :

Il est caractérisé par des dépôts d'origine marine à calcaires gréseux, grès et sables localisés dans la zone côtière. Ce faciès est caractérisé par une forte accumulation de tests de mollusques. Les indices de pyritisation montrent que le caractère euxinique du milieu de dépôt persiste encore mais de façon moins prononcée que dans la formation précédente. L'épaisseur de ce niveau est faible et son intérêt hydrogéologique est limité.

Le Quaternaire :

L'évolution structurale de la succession post-nappe est contrôlée par trois facteurs :

- Les failles synsédimentaires listriques existent au sein ou à la base de la nappe. Leur genèse et leur évolution sont liées à un rééquilibrage de masse au sein du matériel de la nappe, à la sédimentation différentielle de la succession supra-nappe et aux migrations latérales et/ou verticales du matériel salifère présent au sein de la nappe.
- Les structures diapiriques se forment suite à la présence de masses de sel triasique emballées au sein de la nappe sous forme de diapirs, bombements salifères ou intrusions salifères dans les zones de failles ;
- Les décrochements de direction NE-SW.

Toute l'histoire sédimentaire du bassin du Gharb, depuis son initiation jusqu'à son individualisation, présente des changements rapides d'épaisseur et de faciès, dans le temps et dans l'espace et reflète la complexité de l'environnement

géologique. Ces variations sont principalement dues à l'activité tectonique et aux apports sédimentaires. L'effet des fluctuations du niveau marin, de court terme, vient se superposer à celui des mouvements tectoniques de plus long terme.

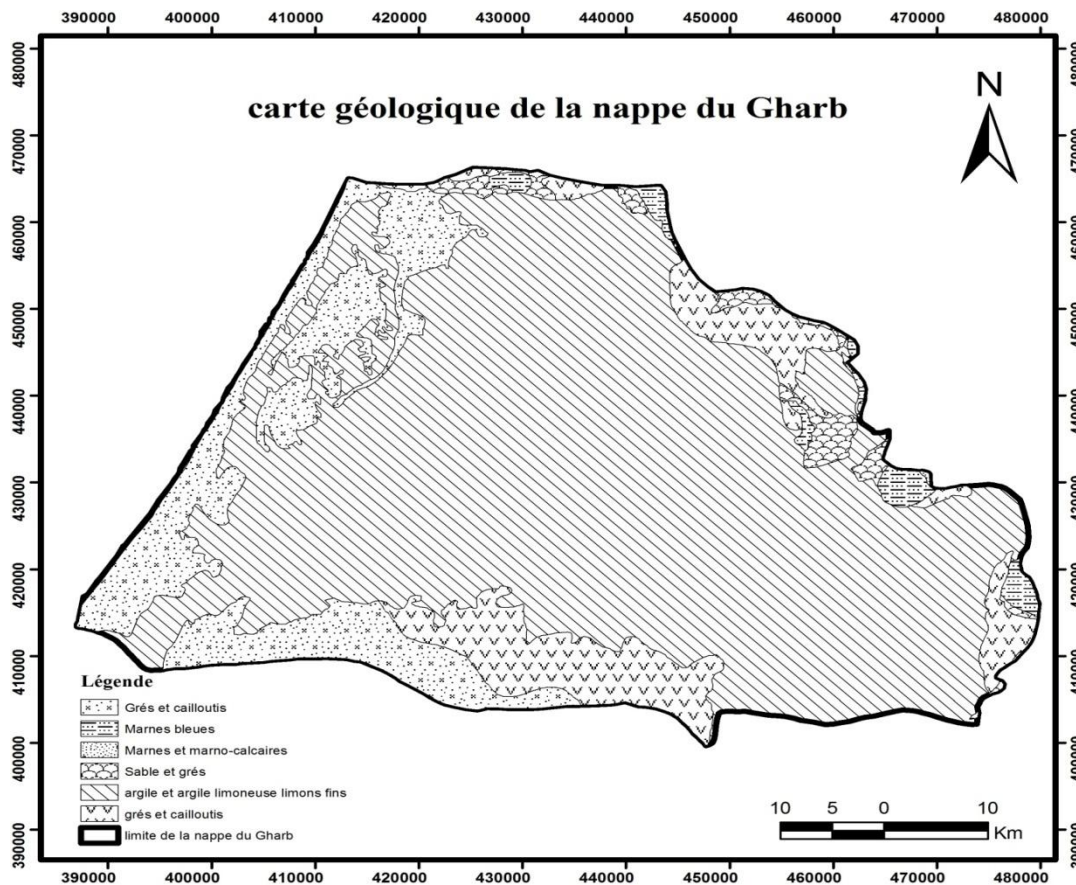


Figure I.3. La lithologie de la nappe du Gharb (Digitalisée à partir d'une carte géologique éditée par le Service Géologique du Maroc 1985).

I.4. Le Contexte hydrologique

La plaine du Gharb est traversée de l'Est en Ouest par l'oued Sebou qui prend sa source dans le Moyen Atlas à 2030 m d'altitude. Son bassin versant, de 40000 km² sillonne la plaine du Gharb sur une longueur de 225 km environ, avant de déverser dans l'Océan Atlantique à Mehdia.

Le long de son parcours, le Sebou intercepte plusieurs affluents dont les plus importants sont les oueds Inaouène, Lébène et surtout Ouergha sur la rive droite et les oueds R'dom et Beht sur la rive gauche (Fig. I.4).

La plaine du Gharb constitue un collecteur naturel des eaux de surface. Sa morphologie plate (la majorité de la plaine ayant une côte inférieure à 12 m)

défavorise l'évacuation des eaux de crues des oueds jusqu'à la mer. C'est ce qui rend cette zone fortement vulnérable aux risques d'inondations. D'ailleurs la construction de barrages Driss I^{er} (en 1973 sur l'Inouaène) et Al Wahda (en 1996) avait pour objectif, entre autres, de régulariser les débits à évacuer par l'oued Sebou et par conséquent limiter les risques d'inondation dans la plaine.

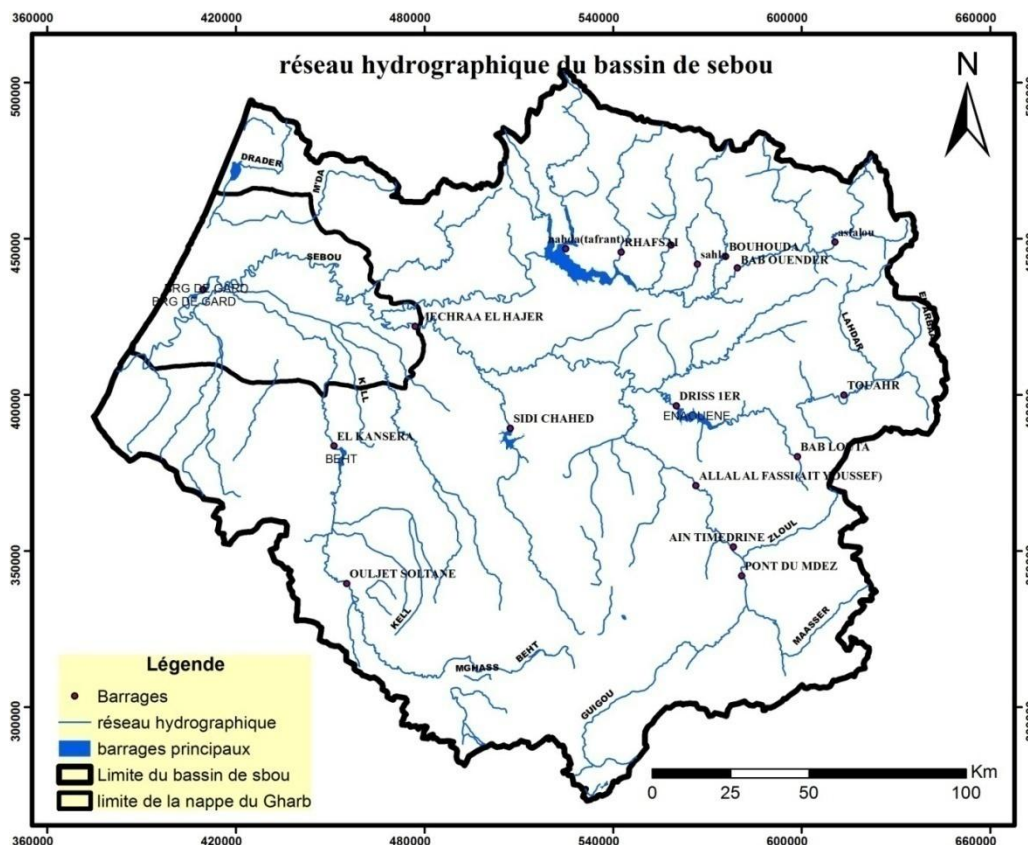


Figure I.4. Carte hydrographique du bassin de Sebou (Digitalisée à partir d'une carte topographique éditée par la direction de la conservation foncière et des travaux topographiques, publié en 1983 par la division de la cartographie)

I.5. Le Contexte climatologique

Pour la caractérisation climatologique du Gharb, nous avons retenu les données climatiques relevées au niveau de quatre stations. La station de Kénitra située au S-W, celle de Sidi Slimane au S-E, la station de Lalla Mimouna au N-W et enfin celle de Had Kourt au N-E. La bonne disposition géographique de ces stations permet de bien cadrer la climatologie du secteur. Les tableaux I. 1 à I. 4, résument les valeurs moyennes des précipitations, des températures relevées et la température Moyenne annuelle.

Tableau I.1. Données de la station de Kénitra (X = 389553 Y = 411513 Z= 5).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P moyen (mm)	10,5	49,1	77,8	101,3	88,8	74,5	53,4	57	30,1	7,6	1,9	2,6
Tempmoy en °C	22,1	19,1	16,2	13,1	11,9	13,8	15,5	16,8	19,2	22,3	21,2	22,9
T(°C) moy annuelle	17,8											

Tableau I.2. Données de la station de Sidi Slimane (X = 440127 Y = 403672 Z = 52).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P moyen (mm)	10,4	36,5	56,2	74,9	61,8	51,2	44,6	48,1	28,4	7,2	1,5	1,6
Tempmoy en °C	25,1	20,7	16,8	13,8	13,5	15,2	16,2	18,5	19,4	22,6	25,8	26,3
T(°C) moy annuelle	19,5											

Tableau I.3. Données de la station Lalla Mimouna (X = 435000 Y = 472600 Z = 16).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P moyen (mm)	12,9	58,6	84,2	104,3	88,2	79,2	55,3	63,1	33,4	7,9	2,3	0,8
Tempmoy en °C	22,4	19,5	14	13,4	12,9	14	12,2	14,6	17,5	22,3	21,3	20,1
T(°C) moy annuelle	17,0											

Tableau I.4. Données de la station HadKort (X = 470350 Y = 439900 Z = 30).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P moyen (mm)	8,2	45,6	78,1	85,6	66,3	62,3	55,2	53,9	33,2	10,1	6,7	6,2
Tempmoy en °C	24,5	20,3	15,8	13,5	11,5	13,7	15	16,7	17,3	21,2	26,5	27,7
T(°C) moy annuelle	18,6											

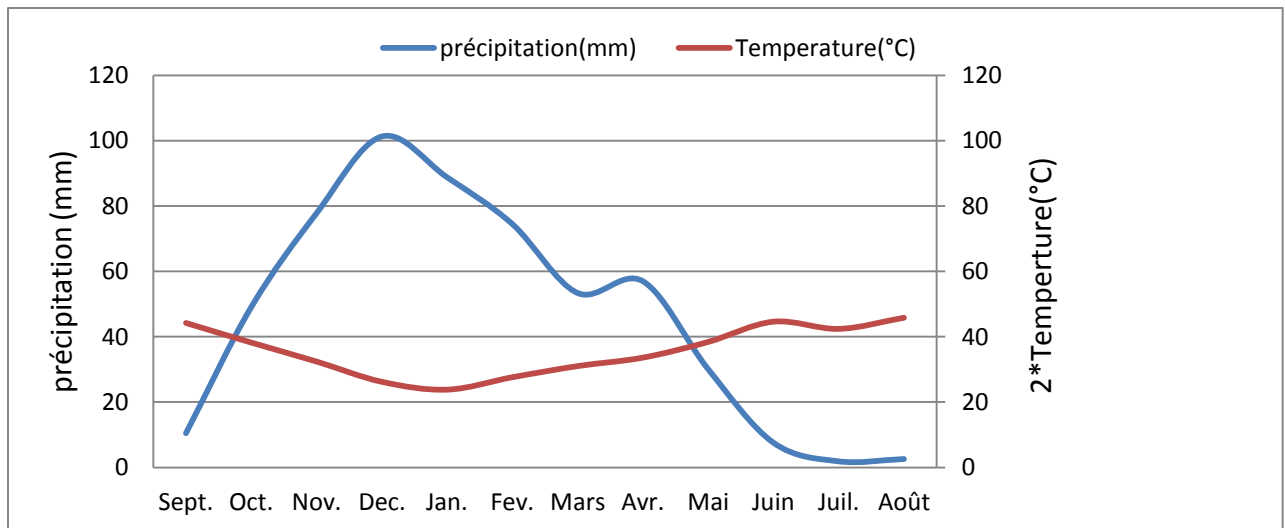


Figure I.5. Diagramme ombrothermique de la station Kenitra (Secteur S-W) (X = 389553 Y = 411513 Z = 5).

A partir du diagramme ci-dessus on peut dire que:

- La période sèche s'étale du mois mai jusqu'à le mois octobre ;
- La période humide dure 7 mois ;
- Les précipitations ont atteint le maximum au mois décembre.

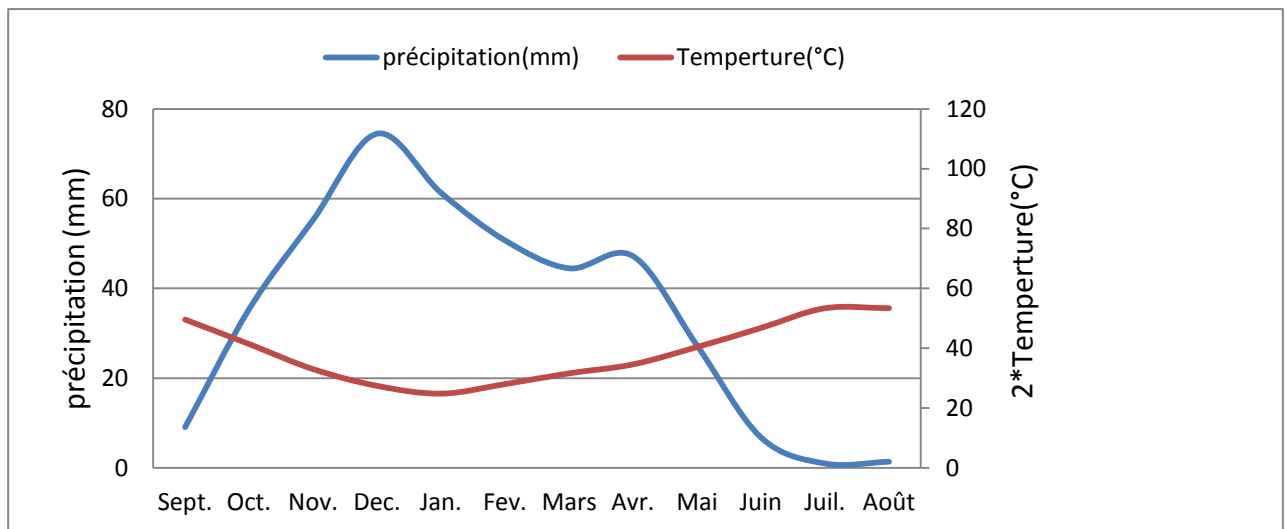


Figure I.6. Diagramme Ombrothermique de la station Sidi Slimane (X = 440127 Y = 403672 Z = 52).

Le diagramme ci-dessus montre que :

- La période sèche s'étale du mois mai jusqu'à le mois octobre ;
- La période humide dure 7 mois ;
- Les précipitations ont atteint le maximum au mois décembre.

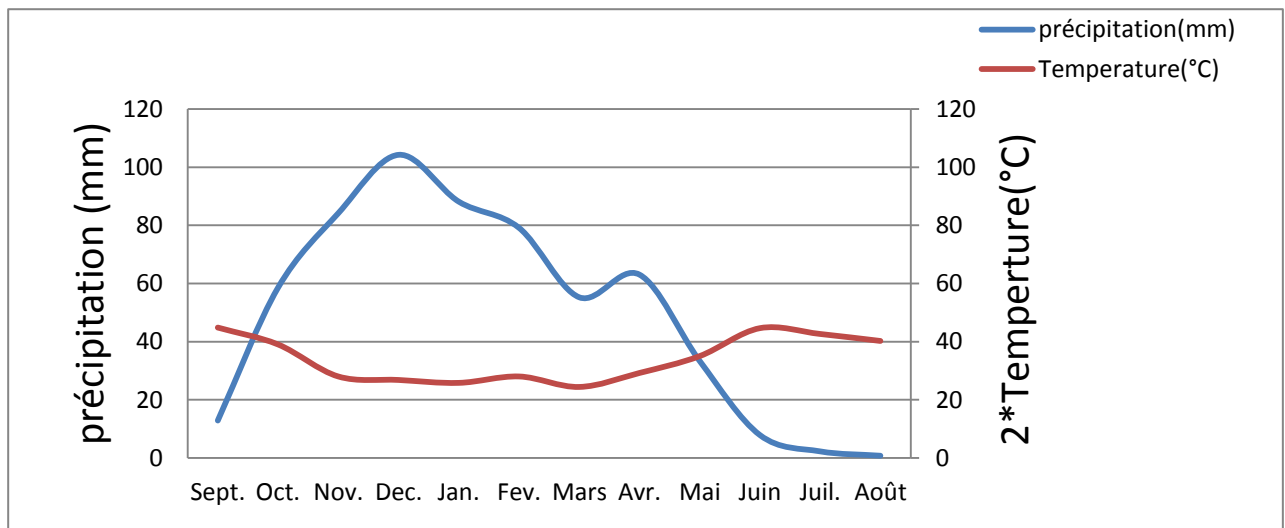


Figure I.7.Diagramme ombrothermique de la station Lalla Mimouna (X = 435000 Y = 472600 Z = 16).

La figure ci-dessus montre que :

- La période sèche s'étale du mois mai jusqu'à le mois octobre ;
- La période humide dure 7 mois ;
- Les précipitations ont atteint le maximum au mois décembre.

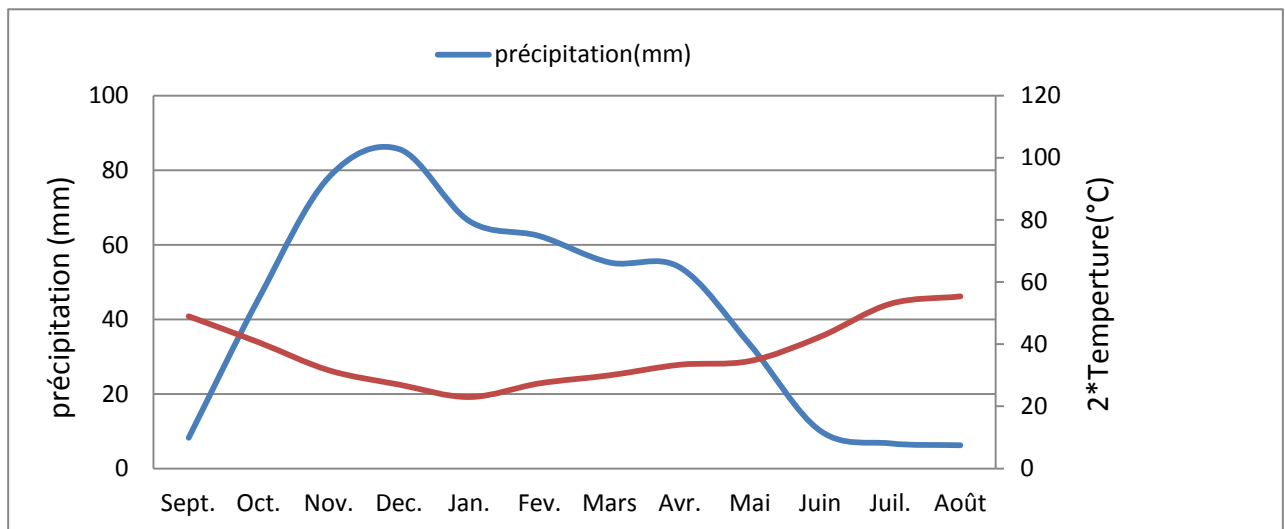


Figure I.8. Diagramme ombrothermique de la station HadKort(X = 470350 Y = 439900 Z = 30).

D'après le diagramme ci-dessus on peut dire que:

- La période sèche s'étale du mois mai jusqu'à le mois octobre ;
- La période humide dure 7 mois ;
- Les précipitations ont atteint le maximum au mois décembre.

L'analyse des tableaux et des diagrammes montre que :

- Les précipitations relativement plus élevées à la station Lalla Mimouna montre l'existence d'un gradient altimétrique N-S. La station de Sidi Slimane enregistre les précipitations minimales à cause de la combinaison de l'effet du gradient altimétrique et du gradient de continentalité E-W qui traduit l'effet de l'océan.
- Les mois les plus arrosés sont novembre, décembre et janvier et les plus secs sont juin, juillet et août.
- L'analyse des séries pluviométriques relevées au niveau des quatre stations montre que le régime est très irrégulier et que les écarts pluviométriques par rapport à la pluie moyenne annuelle peuvent dépasser les 40%.
- Les températures moyennes annuelles sont de même ordre (17 à 19 °C).
- Les mois de juillet et août sont les mois les plus chauds alors que les plus frais sont décembre, janvier et février.
- L'analyse des diagrammes ombrothermiques montre que la période sèche s'étale de mai à septembre.

CHAPITRE II: ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE LA NAPPE DU GHARB

II.1. Introduction

Le bassin de Gharb renferme un important complexe aquifère, il est limité au Sud par la plaine de Mamora ; au Nord par le bassin de Dradère-Souière ; à l'Ouest par l'océan Atlantique et à l'Est par les affleurements conglomératiques constituant les limites du bassin (Fig. II.1).

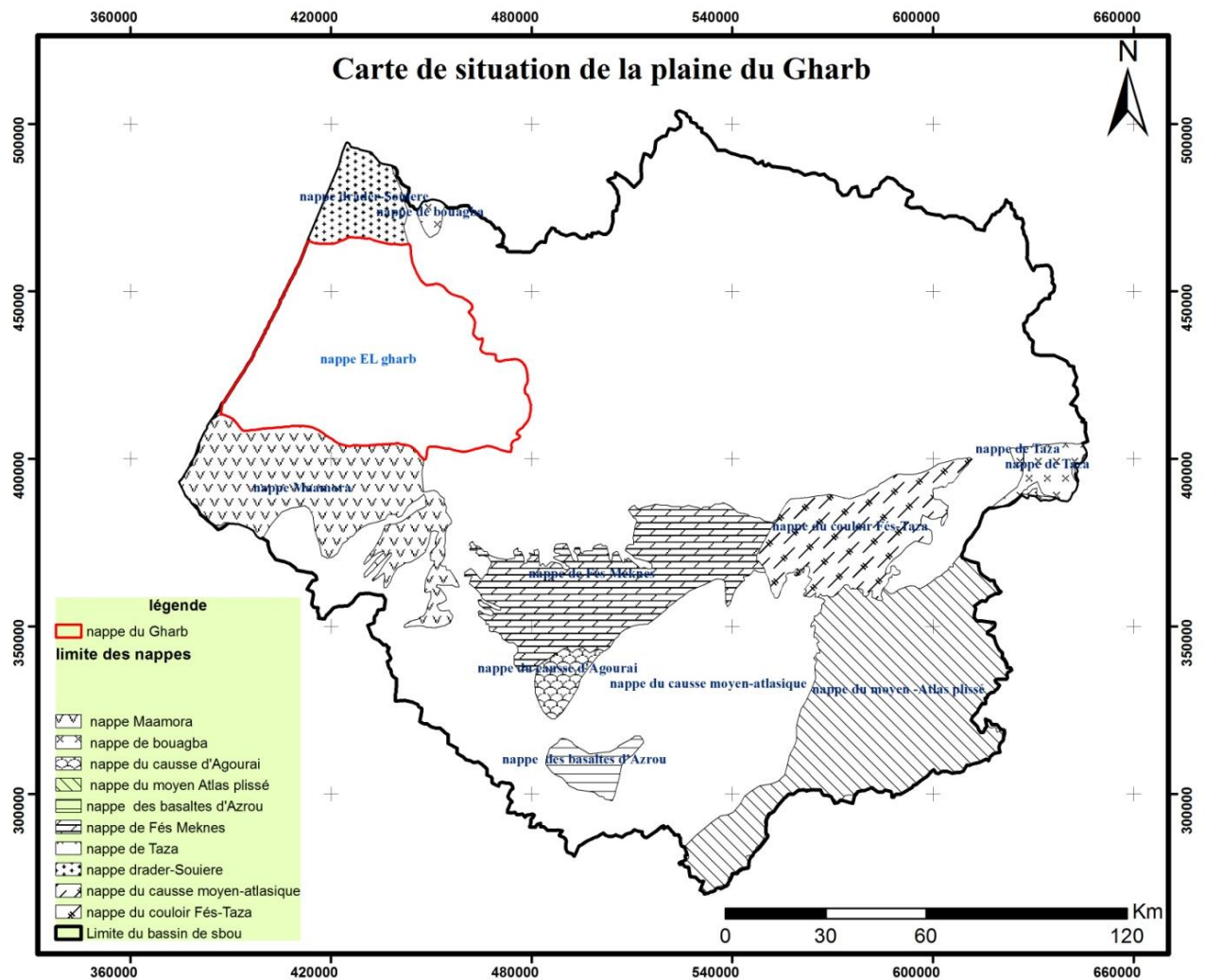


Figure II.1. Carte des nappes du bassin de Sebou

Le complexe aquifère du Gharb dispose de plusieurs atouts dont voici les plus importants :

- structure en dépression favorisant le drainage et le stockage des eaux souterraines ;
- aquifère puissant ;

-bonnes caractéristiques hydrodynamiques, entraînant des réserves et des productivités élevées ;

-conditions de réalimentation favorable avec des conditions climatiques favorables.

Ce complexe a toujours été considéré comme formé par deux unités aquifères : une nappe superficielle libre et une nappe profonde semi captive. Il est probable qu'il ne s'agisse que d'un seul aquifère avec alternance de niveaux plus ou moins perméables.

Le substratum général de ce complexe aquifère est constitué par le toit de l'épaisse série marneuse mio-pliocène dite communément des « marnes bleues ».

II.2. La lithologie

L'aquifère supérieur est constitué par la formation silto-argileuse du Quaternaire. Il s'agit d'un aquifère très médiocre qui peut devenir localement très productif en raison de l'intercalation de lentilles sableuses plus perméables.

L'aquifère profonde repose directement sur le substratum général du système aquifère (marnes du Mio-Pliocène). Il s'agit de terrains d'âge Plio-Quaternaire présentant de bonnes caractéristiques hydrodynamiques. Il est constitué de deux faciès (Fig. II.2):

- Dans le secteur Est du bassin, un faciès à prédominance de niveaux graveleux et/ou conglomératiques suivant le degré de cimentation, intercalés par des niveaux limono-argileux. Il présente une perméabilité d'interstices dans les niveaux meubles ou peu cimentés et une perméabilité de fissures pour les niveaux cimentés.
- Dans la zone côtière et dans le secteur sud, le faciès dominant est à prédominance de sables, de grès et de calcarénites, séparés par des niveaux limono-argileux. Le mode de circulation est triple :
 - par interstices dans les niveaux sableux et dans les calcarénites ;
 - par fissures dans les niveaux de grès et de calcarénites ;
 - parfois par chenaux karstiques dans les niveaux supérieurs des calcarénites.



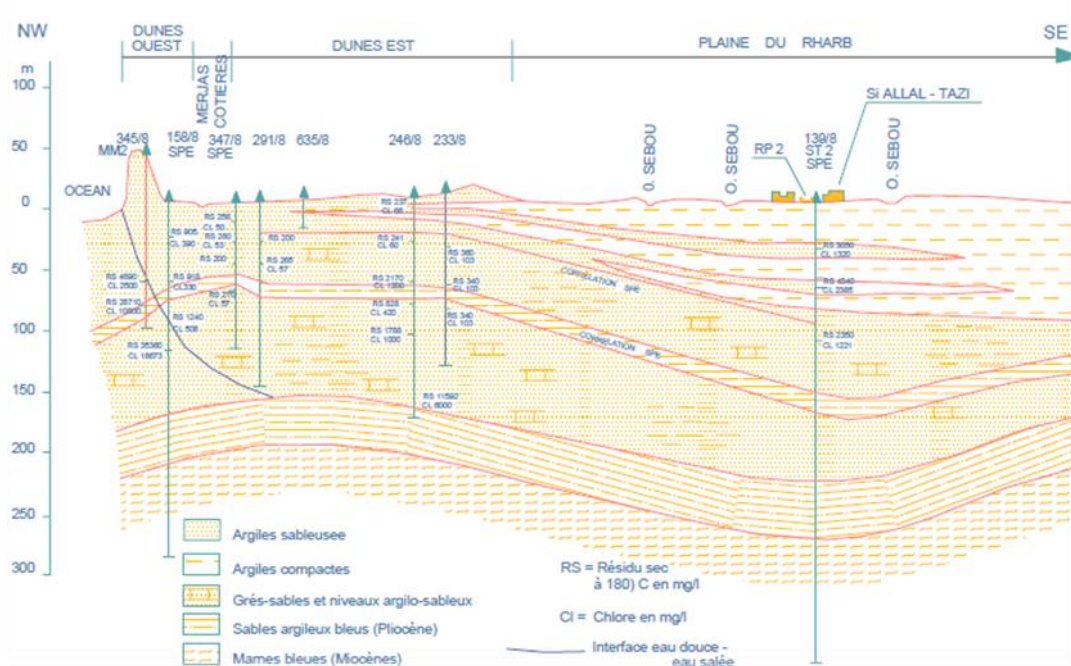


Figure II.2. Coupe NW-SE dans la partie centrale des dunes côtières du Gharb (Ressource en eau du maroc tome 2, page 104)

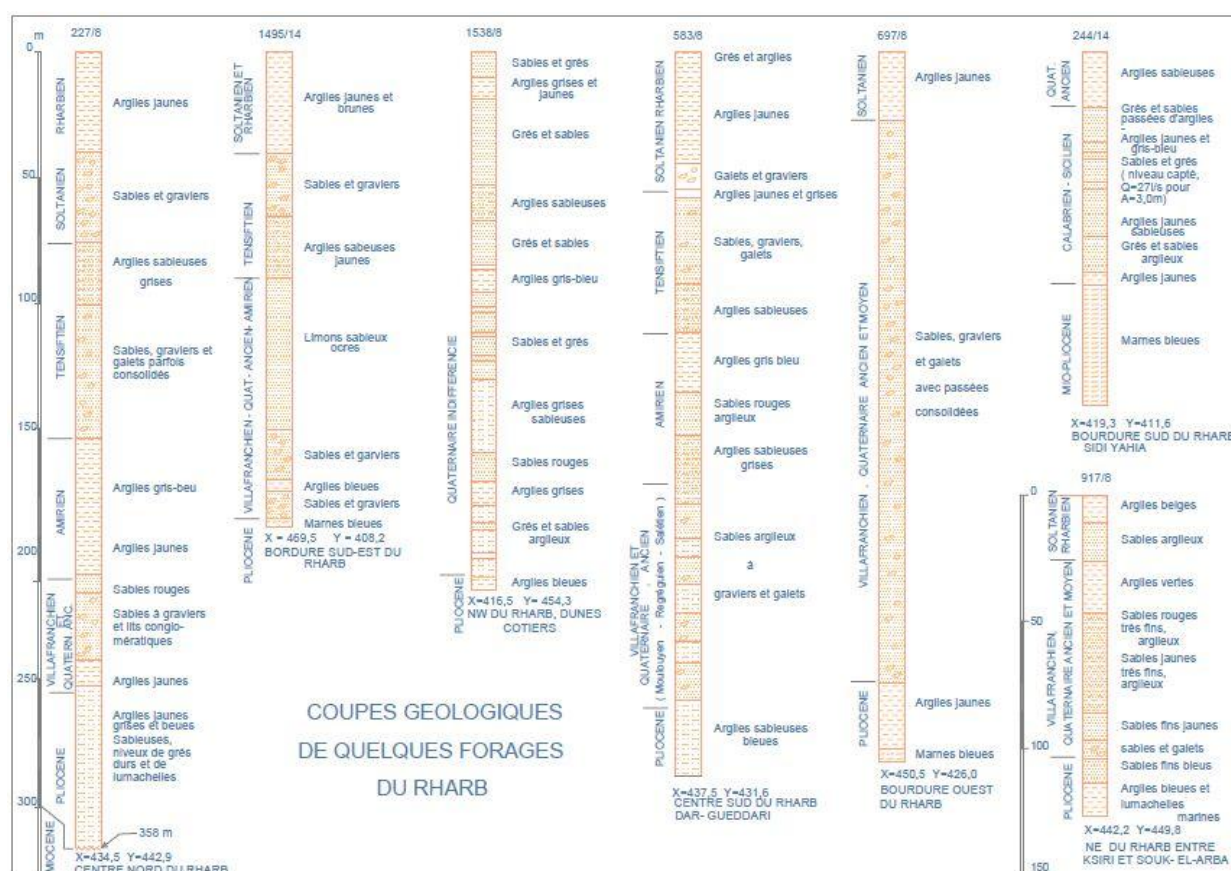


Figure II.3. Coupes géologiques de quelques forages du Gharb (Ressource en eau du Maroc tome 2, page 95)

II.3.Profondeur des eaux souterrain

Les données de 64 piézomètres réparties aléatoirement au niveau de la nappe, nous permettent de réaliser une carte des profondeurs des eaux à l'aide du logiciel de SIG ArcGis . La carte ainsi définie montre que la profondeur de l'eau est généralement comprise entre 5 et 10 m. Elle est très faible, inférieure à 5mètres, dans la zone septentrional sauf au niveau des crêtes du cordon dunaire.

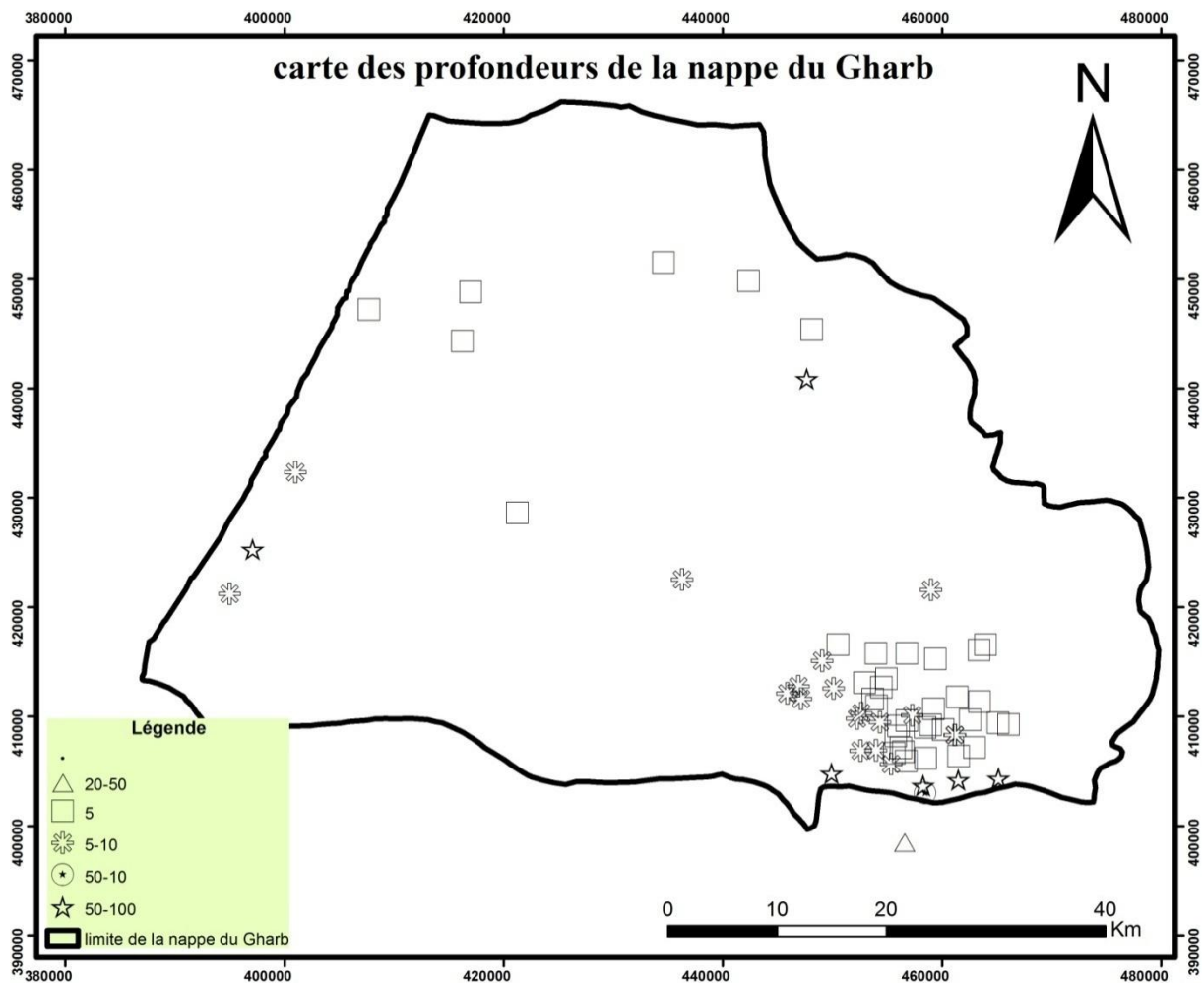


Figure II.4. Carte des profondeurs de la nappe du Gharb (Digitalisée à partir d'une carte éditée par ABHS 2006)

II.4.Piézométrie

II.4.1.Carte piézométrique

Pour une bonne compréhension des changements et des grands traits du fonctionnement hydrodynamique de la nappe durant les dernières décennies, une étude de l'évolution spatio-temporelle de l'état de la piézométrie s'est avérée nécessaire.

Suite aux relevés piézométriques réalisés par l'agence du bassin hydraulique de Sebou (ABHS), et dans le cadre de cette étude, on a dressé deux cartes d'altitudes du plan d'eau au niveau de la nappe du Gharb, pour les années respectives : 2006 et 2012 (Fig. II.5. et Fig. II.6).

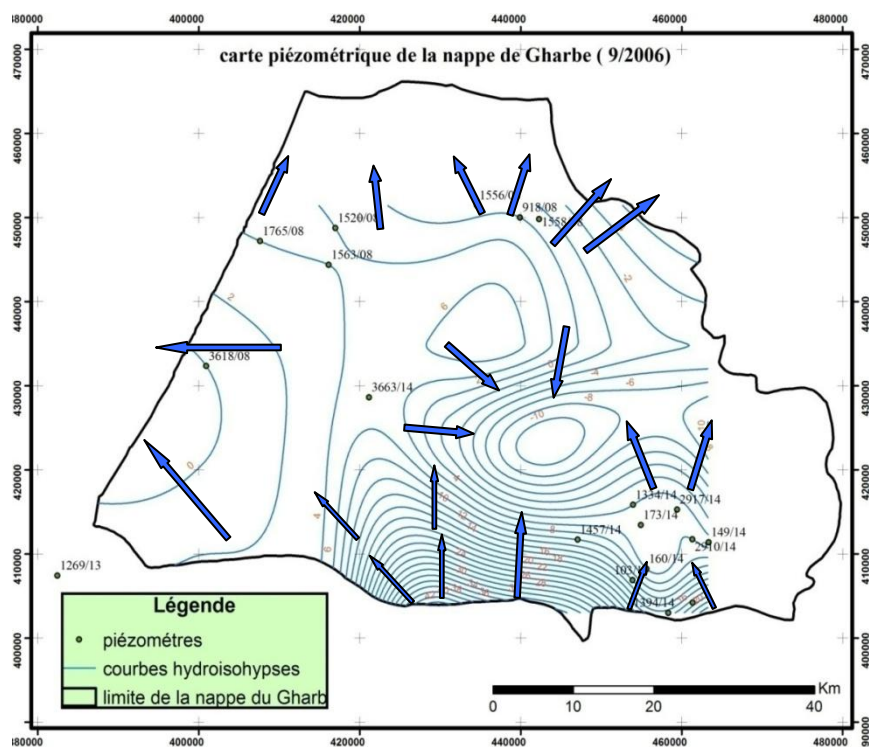


Figure II.5.1 Carte piézométrique de la nappe du Gharb réalisée en septembre 2006(ABHS).

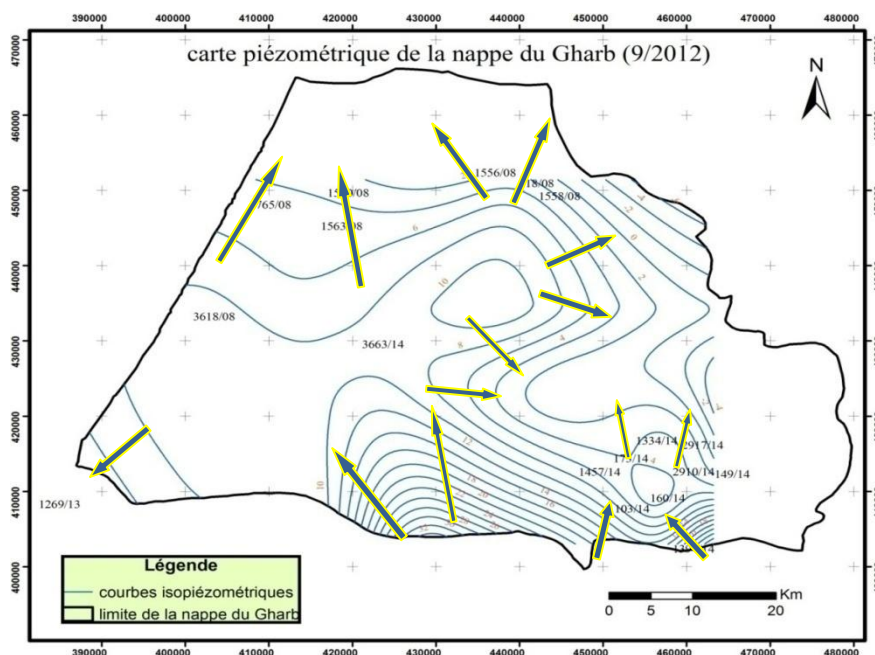


Figure II.6.2 Carte piézométrique de nappe du Gharb réalisée en septembre 2012(ABHS)

L'analyse de la carte piézométrique, établie en septembre 2012, montre qu'au contact de la nappe de la Mamora, l'écoulement est du Sud vers le Nord avec un gradient hydraulique important. Le sens d'écoulement devient progressivement de l'Est vers l'Ouest avec un gradient hydraulique beaucoup plus faible.

Dans le secteur Sud, on a un écoulement généralement Sud-Nord traduisant un déversement de la nappe de la Mamora vers celle du Gharb. Le gradient hydraulique dans le secteur Sud-Est est le plus élevé (3,6‰).

Dans le secteur Est, on a un écoulement sensiblement Est-Ouest avec un gradient hydraulique plus faible (1,1 ‰), qui traduit l'existence d'une zone d'alimentation de la nappe.

Au Nord de la plaine du Gharb, l'écoulement est NNE-SSW avec un gradient de l'ordre de 1,7 ‰. Il s'agit là aussi d'une zone d'alimentation de la nappe.

Dans le centre du bassin, le gradient hydraulique est le plus faible. On note la présence d'un axe de drainage allongé suivant une direction sensiblement Est-Ouest.

II.4.2. Carte de rabattement

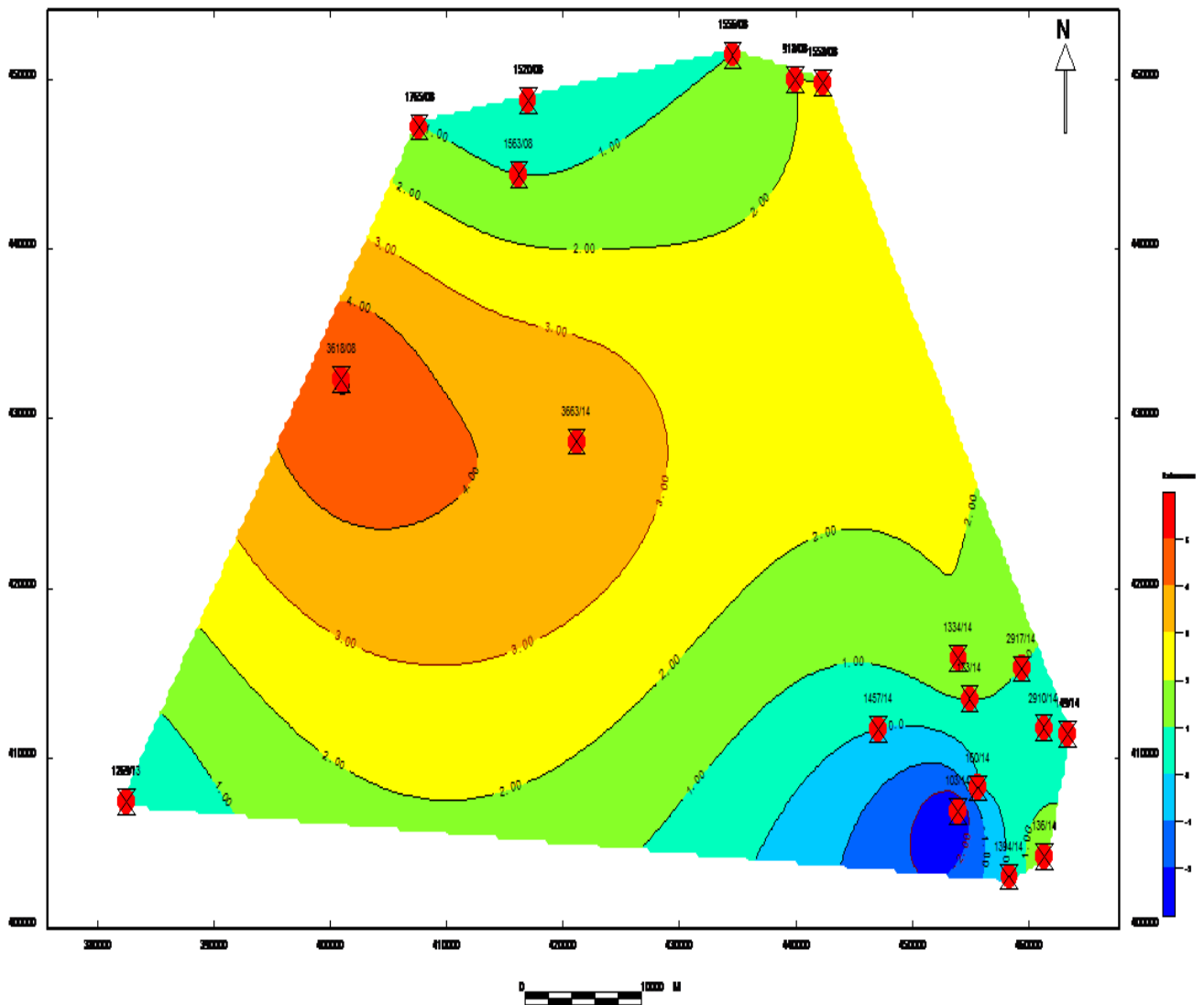


Figure II.6. Carte de rabattement

La comparaison des deux cartes piézométriques montre que la structure générale de l'écoulement n'a pratiquement pas changé. Mais d'après la carte de rabattement on peut détecter deux zones remarquables :

- une zone d'alimentation située dans le centre de la zone côtière (Couleur orange). Cette alimentation peut être expliquée par une infiltration hivernale due aux précipitations ou par l'influence du réseau hydrographique, on peut aussi impliquer l'océan comme étant un facteur d'influence.
- Une zone où la nappe est déficitaire on pourrait dire que ce problème est dû à une forte exploitation, expliqué par l'existence de plusieurs forages.

II.5.L'historique de la piézométrie du bassin

L'évolution dans le temps de la piézométrie est étudiée à travers l'observation de trois piézomètres réparties sur la plaine. Les résultats permettent de distinguer différents comportements (Fig. II.7).

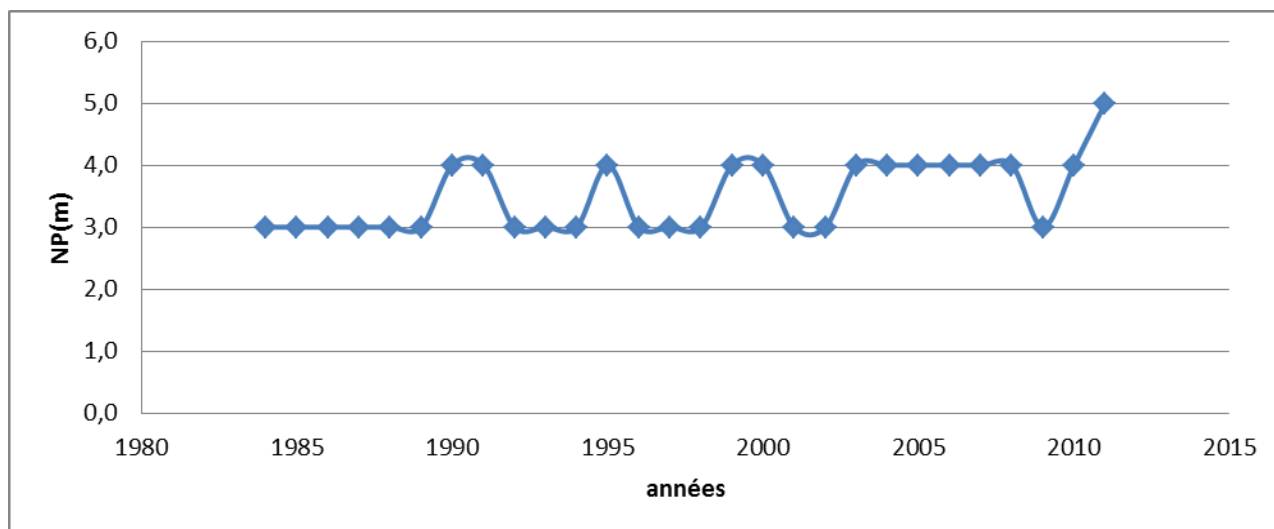


Figure II.7. Evolution piézométrique de la zone côtière de la nappe du Gharb (N°1765/08 : X=407635,4 Y=447192,6)

Dans la zone côtière, on note des variations plus ou moins régulières du niveau piézométrique. Les amplitudes enregistrées sont beaucoup plus faible (de l'ordre d'un mètre) par rapport aux autres secteurs (Fig. II.7). Le niveau piézométrique général est presque constant. Une légère augmentation a été observée à partir de l'année 2009 grâce aux précipitations exceptionnelles de cette année.

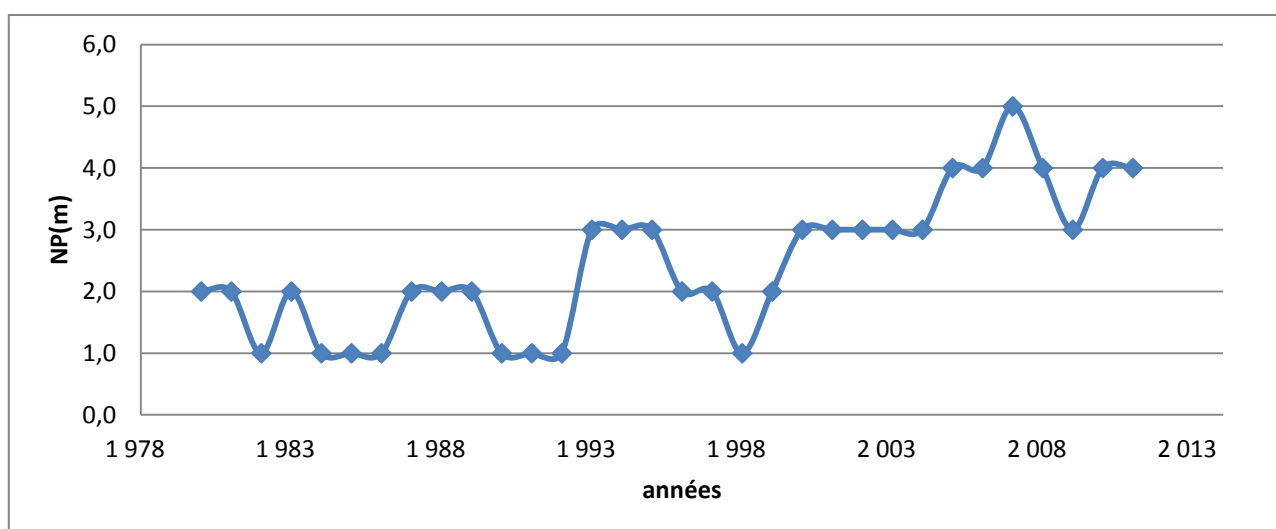


Figure II.8. Evolution piézométrique du secteur Nord-Ouest de la nappe du gharb (N° 1520/08 : X=416974,3 Y=406868,6).

Pour le secteur Nord de la nappe et malgré les fluctuations annuelles, on remarque une certaine stabilité du niveau piézométrique durant ces périodes :

-1978-1993 : Des variations plus ou moins régulières du niveau piézométrique (entre 1 à 2 mètres) ;

-1993-2004 : Le niveau piézométrique varie entre 2m et 3m ;

-2004-2012 : A partir de l'année 2004 jusqu'à l'année 2007, on note une hausse du niveau de la nappe suivie d'une chute importante achevée en 2009. A partir de 2010, ce niveau se stabilise jusqu'à 2012.

D'une manière générale le niveau piézométrique a enregistré une évolution positive en passant d'une valeur de 1m en 1982 à 5m en 2007. Cette évolution est expliquée par une alimentation de la nappe soit par l'infiltration des précipitations d'une part ou des eaux du réseau hydraulique d'autre part, ou bien par l'influence de l'océan qui est lui-même une source d'alimentation d'une façon directe ou indirect par son influence sur le climat et donc sur les précipitations.

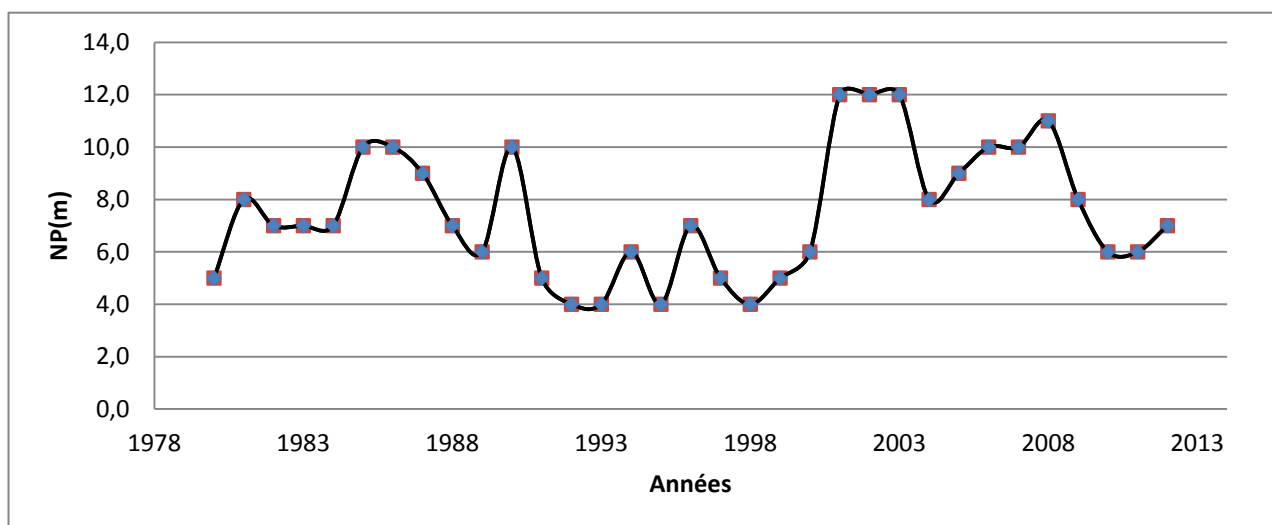


Figure II.9. Evolution piézométrique du secteur Est de la nappe du Gharb (N° 103/14 : X=453901,5 Y=406868,6).

Pour le secteur Est de la nappe, on remarque des fluctuations dont l'amplitude est généralement grande et qui est de l'ordre de 3 à 4 mètres (Fig. II.8).

Une baisse jusqu'à l'année 1998, est enregistrée et il est due probablement à la sécheresse qu'a connue la région durant cette période. A partir de 1998, le niveau de la nappe a connu une augmentation exponentielle expliquée plus ou moins par des précipitations considérables. A partir de 2004, ce niveau a connu des fluctuations marquées en général par une baisse de la valeur du piézomètre jusqu'à

2011. L'évolution de la piézométrie dans ce secteur montre une bonne concordance avec les variations des précipitations.

II.5.1. L'analyse des variations saisonnières de la piézométrie

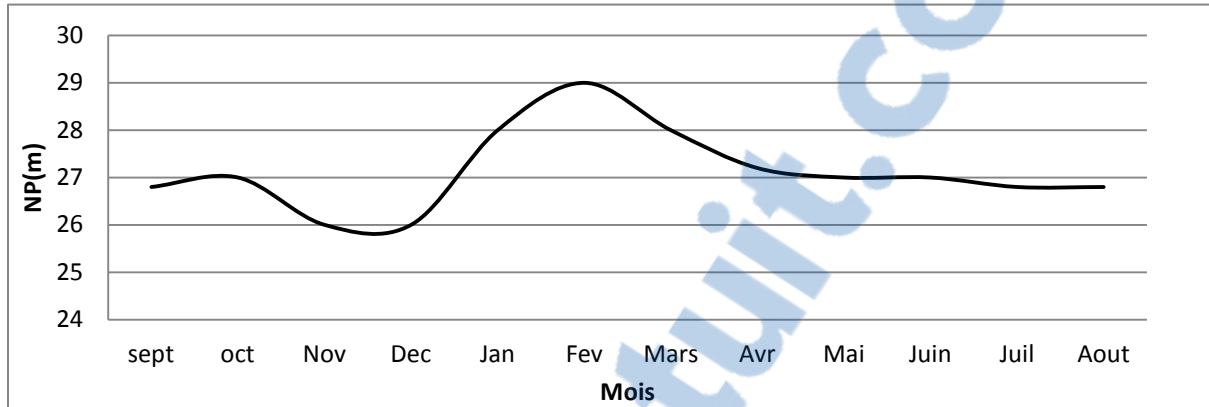


Figure II.10. Evolution du niveau piézométrique de la zone nord de la nappe du Gharb (N° 1520/08 : X=416974, Y= 448765).

D'après la figure ci-dessus on remarque une baisse du niveau piézométrique de l'ordre d'un mètre à partir du mois octobre jusqu'à la moitié du mois novembre, ensuite on note une hausse (3mètre) du niveau piézométrique jusqu'à le mois février.

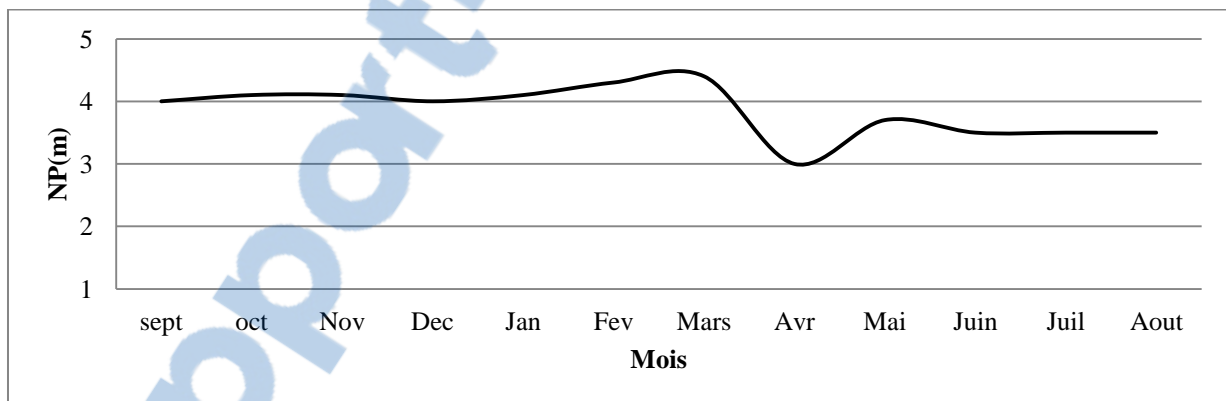


Figure II.11. Evolution du niveau piézométrique de la zone est de la nappe du Gharb (N° 103/14 : X=453901, Y=406868).

D'après l'allure du graphe on remarque que le niveau piézométrique est généralement stable sauf une baisse de l'ordre 1.5 mètre durant le mois mars.

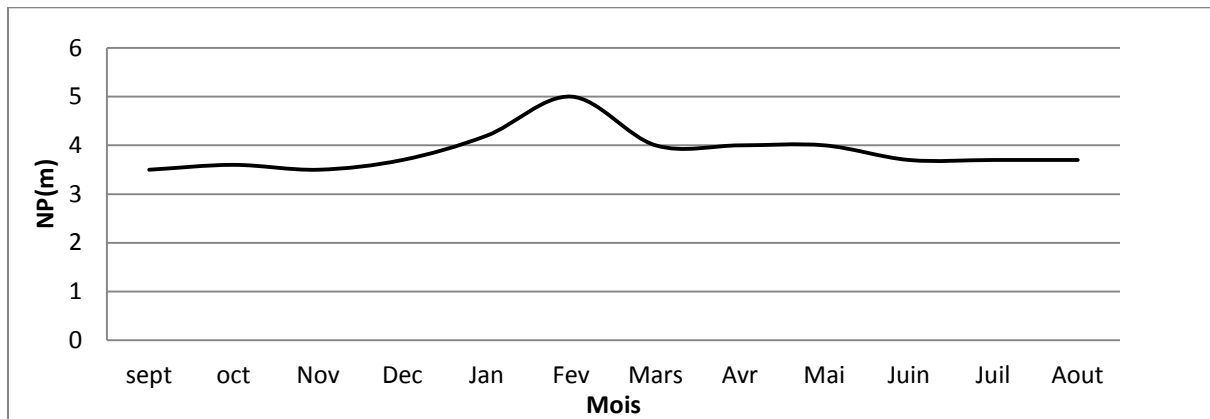


Figure II.12. Evolution du niveau piézométrique de la zone côtière de la nappe du Gharb (N° 698/08 : X=421173, Y=428630).

Au niveau de la zone côtière on remarque une stabilité du niveau piézométrique (3.5mètre) sauf au mois janvier ce niveau marque une remontée jusqu'à le mois février, cette dernière est suivie d'une baisse de l'ordre d'un mètre jusqu'à le mois mars.

L'analyse des fluctuations du niveau piézométrique, en comparaison avec les graphiques pluviométriques, permet de tirer les conclusions suivantes :

- Les fluctuations piézométriques sont directement liées aux précipitations ;
- L'amplitude de ces variations dépend du secteur étudié : elle est maximale dans le secteur Est avec une amplitude de 2.5 m et minimale dans la zone côtière et la zone nord où elle n'est que d'un mètre (Fig. II.9).
- La nappe dans la zone nord répond plus rapidement à cause de la nature perméable des terrains dans la région.
- Le retard d'infiltration est négligeable dans la zone nord alors qu'il est de l'ordre de 2 mois dans le secteur est de la nappe. La zone côtière présente des valeurs intermédiaires (Fig. II.11 et Fig. II.12).

CHAPITRE III: HYDROCHIMIE ET QUALITE DE LA NAPPE DU GHARB

III.1.Introduction

La nappe du Gharb est constituée d'un aquifère supérieur et d'un aquifère profond. L'aquifère supérieur est constitué par des formations argilo-silteuses du Quaternaire récent. Il est plutôt de qualité médiocre (résidu sec variant entre 1 et 19 g/l). On s'intéresse à 19 stations existant dans cette nappe.

III.2.La Balance Ionique

Avant de traiter et interpréter les analyses des eaux prélevées au niveau des différentes stations, il faut analyser la fiabilité des résultats de ces analyses. La méthode utilisée est la Balance Ionique (le bilan des charges positives et négatives) (BI).

$$BI(\%) = 100 * \frac{\sum \text{cations} - \sum \text{anions}}{\sum \text{cations} + \sum \text{anions}}$$

Idéalement, le total des cations doit être égal au total des anions. Cependant dans la réalité, il y a souvent une légère différence due aux erreurs analytiques.

D'une manière générale, les analyses chimiques sont considérées :

- Excellentes lorsque $BI < 5 \%$;
- Acceptable lorsque $5\% \leq BI < 10 \%$;
- Douteuse lorsque $BI \geq 10\%$.

Comme nous l'avons signalé en haut, les données des eaux souterraines traitées dans le cadre de cette étude, ont été effectuées sur base des données de stations.

Les résultats obtenus sont résumés dans le Tableau III.1.

Tab.III. 1 : Qualité des analyses des eaux souterraines

Nom du point de prélèvement	Réf.des points	X(m)	Y(m)	Σ cations	Σ anions	BI(%)	
Puits cite barrage	1135/8	408600	434601	10,26	10,13	0.6	excellente
Forage commune tnaga	1418/8	414019	420213	12,26	13,32	-4.2	excellente
Puits cooperativesafsafa	1564/14	416483	454321	16,89	16,52	1.1	excellente
Puits atifdriss	2964/14	452374	409867	27,37	24,59	5.4	acceptable
Puits oneplalla liteau	1852/14	423325	416291	9,40	9,47	-0.3	excellente
Forage onepmsaada	3710/14	466204	417126	13,45	14,02	-2.0	excellente
Forage colonel alame	2910/14	461450	411739	23,54	25,40	-3.8	excellente
Puits ferme Radi	3849/14	426618	410599	7,16	7,15	0.1	excellente
Puits ferme Mansouri	994/14	403795	410690	11,29	9,93	6.4	acceptable
Puits onepkasibia (gare)	3695/14	438622	410553	7,01	7,14	-0.9	excellente
Forage oneptnaga	636/8	412734	421263	9,43	10,29	-4.4	excellente
Puits ferme Lahlou	1644/8	463060	419519	56,48	61,23	-4.0	excellente
Forage ferme medsqali	1502/8	410862	457565	17,31	18,67	-3.8	excellente
Puits manseurcherini	1563/8	416758	444538	16,40	17,55	-3.4	excellente
Forage cda sidi Abdelaziz	1513/8	470947	420082	35,61	17,97	32.9	Douteuse
Puits ferme harati	1062/8	426316	439683	38,77	38,46	0.4	excellente
Forage cda 224 bel ksiri	1735/8	445103	440599	13,13	13,59	-1.7	excellente
Forage rehimine Hamid	3305/8	442131	449822	22,38	23,67	-2.8	excellente
Forage barrage de garde	1027/14	406842	432599	12,86	13,85	-3.7	excellente

On remarque que les analyses douteuses sont considérées seulement dans une station « forage cda sidi abdelaziz » a cause d'une différence remarquable entre la somme des cations et la somme des anions.

les analyses acceptables sont considérées dans deux stations « puits atifdriss » et « puits ferme mansouri » et le reste sont des analyses excellentes.

III.3. Le pH

Le pH des eaux est un paramètre physique qui représente l'acidité ou l'alcalinité du milieu. Sa valeur dans les eaux dépend de la salinité, de la température et de la concentration en CO₂. Pour la qualité des eaux destinées à la consommation humaine. L'O.M.S (Organisation mondiale de santé) admet que 6.5 est la limite minimale alors que la limite maximale est de 8.5.

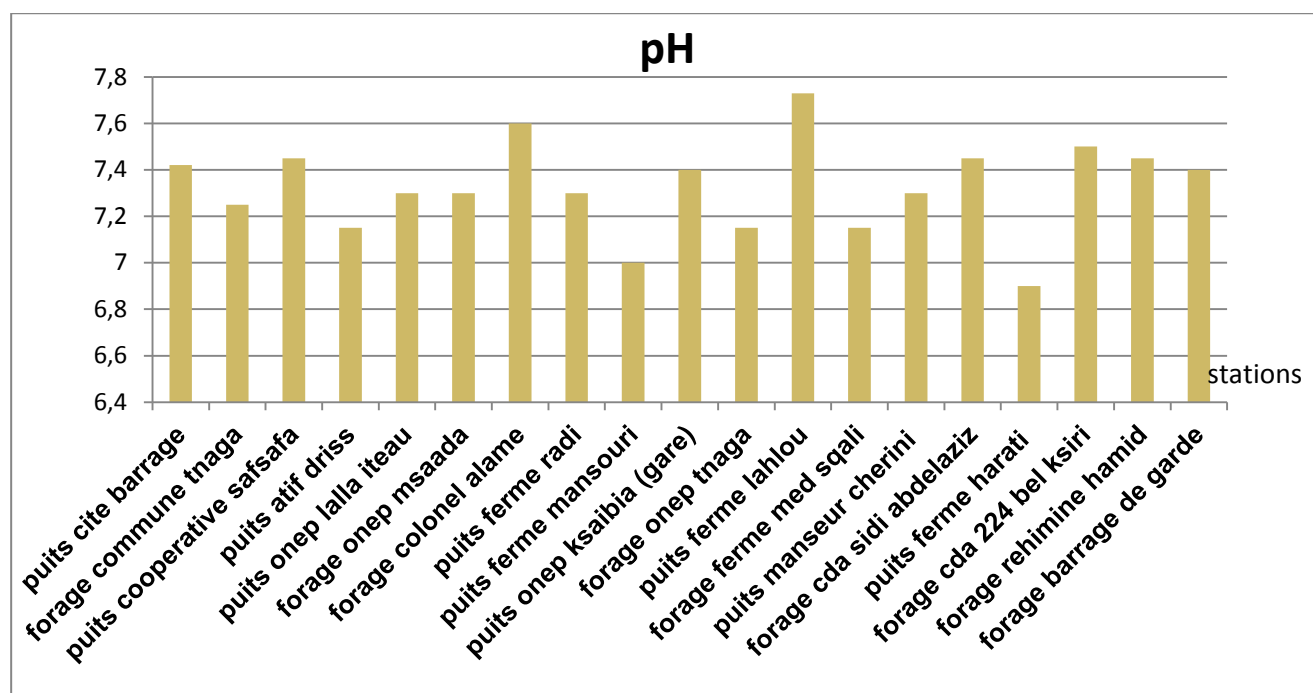


Figure III.1. Histogramme des pH des eaux souterraines du bassin de Gharb (ABHS, 2012)

Le pH varie entre 6.9 enregistré dans la station « puits ferme Harati (1062/8) » et 7.73 mesuré dans la station « puits ferme Lahlou (1644/8) ». La moyenne est de l'ordre de 7.315. En général. Les eaux sont neutres à alcalines. Ceci est lié à la nature des roches présentes dans la région et qui sont essentiellement constituées de roches sédimentaires à composante carbonatée importante.

III.4. La conductivité

La conductivité mesure l'aptitude de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme

d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau et par suite donner une idée sur la minéralisation totale d'une eau.

Plus l'eau contient des ions comme l'ion calcium (Ca^{2+}), l'ion magnésium (Mg^{2+}), l'ion sodium (Na^+), l'ion potassium (K^+), l'ion bicarbonate (HCO_3^-), l'ion sulfate (SO_4^{2-}) et l'ion chlorure (Cl^-). Plus l'eau est capable de conduire un courant électrique et plus la conductivité mesurée est élevée.

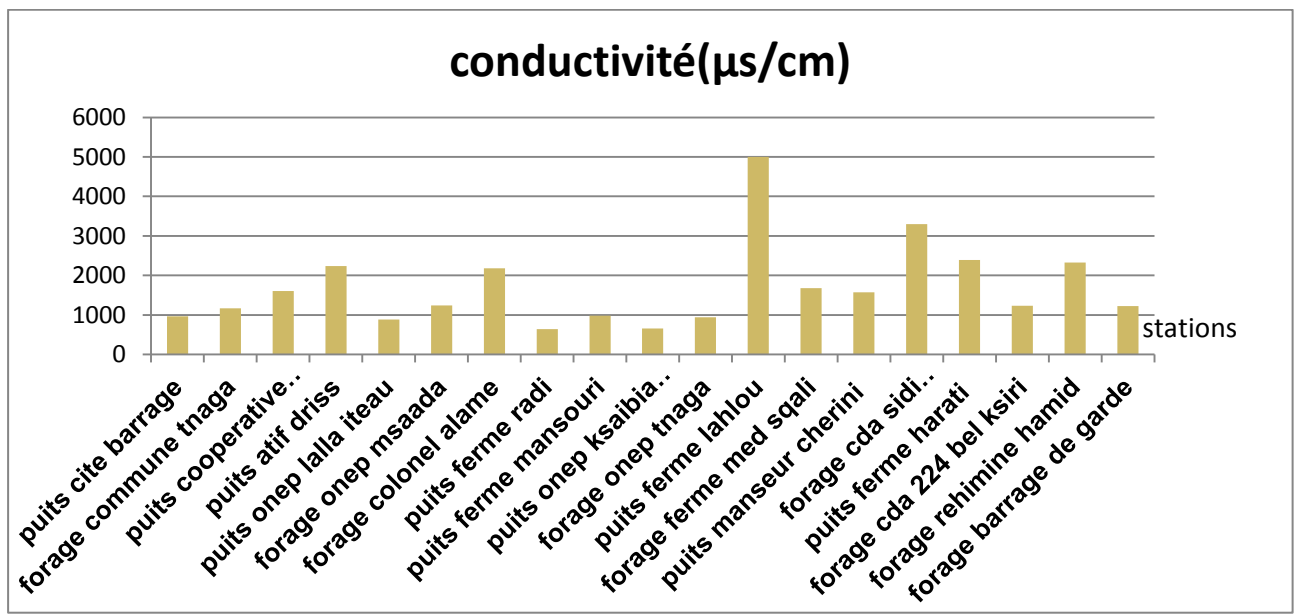


Figure III.2. Histogramme des conductivités des eaux souterraines de la Nappe du Gharb (ABHS, 2012)

Plus de 65% des échantillons ont une conductivité supérieure à $1000\mu\text{S/cm}$ ce qui signifie que le type de l'eau est salée, le reste ont une conductivité entre 200 et $1000\mu\text{S/cm}$, donc l'eau est de type minérale.

Les conductivités enregistrées au niveau des eaux souterraines sont relativement moyennes (entre $640\mu\text{S/cm}$ et $5000\mu\text{S/cm}$) (fig.2).

III.5. L'Identification des faciès chimiques

Les faciès chimiques sont couramment utilisés en hydrogéologie et ont pour objectif de :

- décrire la composition des eaux naturelles ;
- classer les eaux de la nappe en fonction de leurs comportements chimiques ;
- connaître l'origine des eaux de la nappe.

La nécessité d'une comparaison aisée, ou une classification des eaux naturelles nécessitent nous mène à l'utilisation des représentations graphiques.

De ce fait, plusieurs représentations sont utilisées, parmi lesquelles on peut citer :

- Le diagramme de Piper.
- Le diagramme semi-logarithmique de Schöeller-Berkaloff.

Ces deux représentations doivent être combinées dans cette comparaison du fait qu'elles sont complémentaires.

III.5.1. Le Diagramme de Piper :

Le Diagramme de Piper est l'une des représentations les plus classiques pour comparer les compositions chimiques des eaux naturelles. Il permet une représentation des cations et anions sur deux triangles spécifiques dont les côtés témoignent des teneurs relatives de chacun des ions majeurs par rapport au total des ions. La position relative d'un résultat analytique sur chacun de ces triangles permet de préciser en premier lieu la dominance cationique et anionique. A ces deux triangles, est associé un losange sur lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle. Ce point d'intersection représente l'analyse globale de l'échantillon. Cette position permet de préciser le faciès de l'eau naturelle concernée (Fig.III.4 et Fig. III.5). Le diagramme de Piper permet également :

- d'illustrer l'évolution chimique d'une eau dans un aquifère ainsi que les mélanges d'eaux de minéralisations différentes ;
- d'avoir une idée sur la lithologie à partir des analyses chimiques ;
- d'avoir une relation entre le chimisme de l'eau et la nature lithologique de l'encaissant ;
- la projection de plusieurs échantillons en même temps pour suivre leurs évolutions dans le temps et dans l'espace. Cette projection va nous permettre de faire une comparaison facile et aussi avoir une idée sur la notion de mélange ;
- de suivre les propriétés physico-chimiques au cours de leur évolution spatiotemporelle.

III.5.2. Le diagramme de Schöeller-Berkaloff

Le diagramme de Schöeller-Berkaloff est une représentation graphique semi logarithmique sur laquelle les différents ions sont représentés sur l'axe des abscisses et la teneur réelle en mg/l sur l'axe des ordonnées. Les points obtenus sont reliés par des droites.

L'allure du graphique permet de visualiser le faciès des eaux analysées. Cette représentation permet aussi la détermination du faciès d'une eau. En effet, le diagramme de Schöeller-Berkaloff indique pour chaque eau analysée la teneur moyenne (mg/l) en éléments majeurs de ces eaux. Il permet de comparer les éléments en traces et établir les faibles variations entre les éléments chimiques (Fig. III.6).

III.5.3. La localisation des faciès chimiques

La localisation des analyses relatives aux eaux souterraines de la nappe du Gharb est représentée dans la figure III.3.. Les eaux se répartissent selon quatre faciès principaux :

- faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien ;
- faciès chloruré sodique et sulfato potassique ;
- faciès bicarbonaté calcique et magnésien;
- faciès bicarbonaté sodique et potassique.

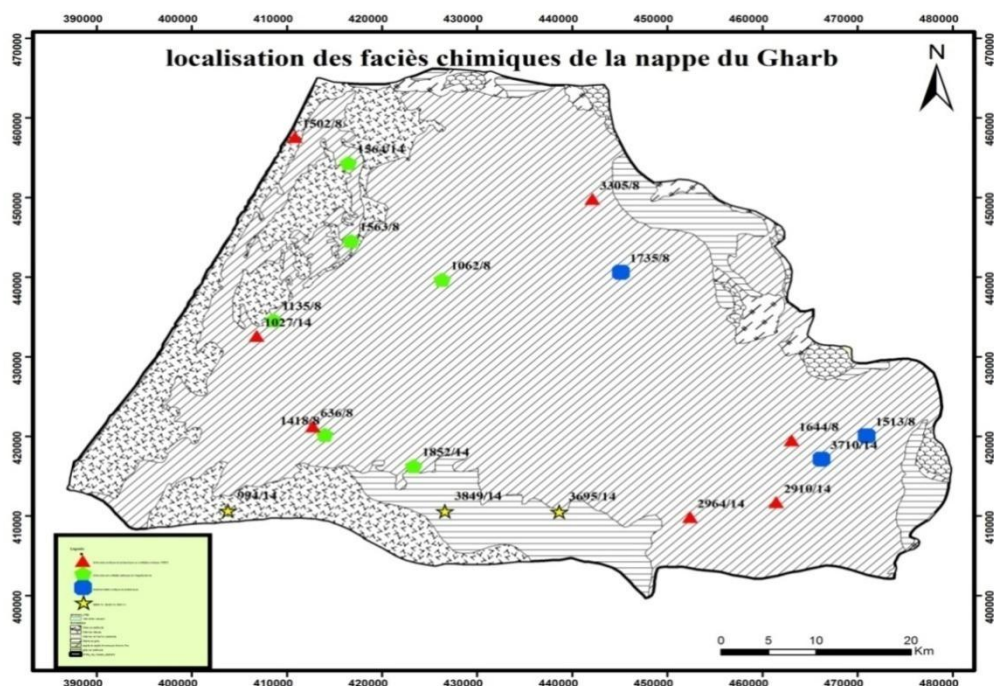


Figure III.3. Répartition des faciès chimiques des eaux souterraines de la nappedu Gharb

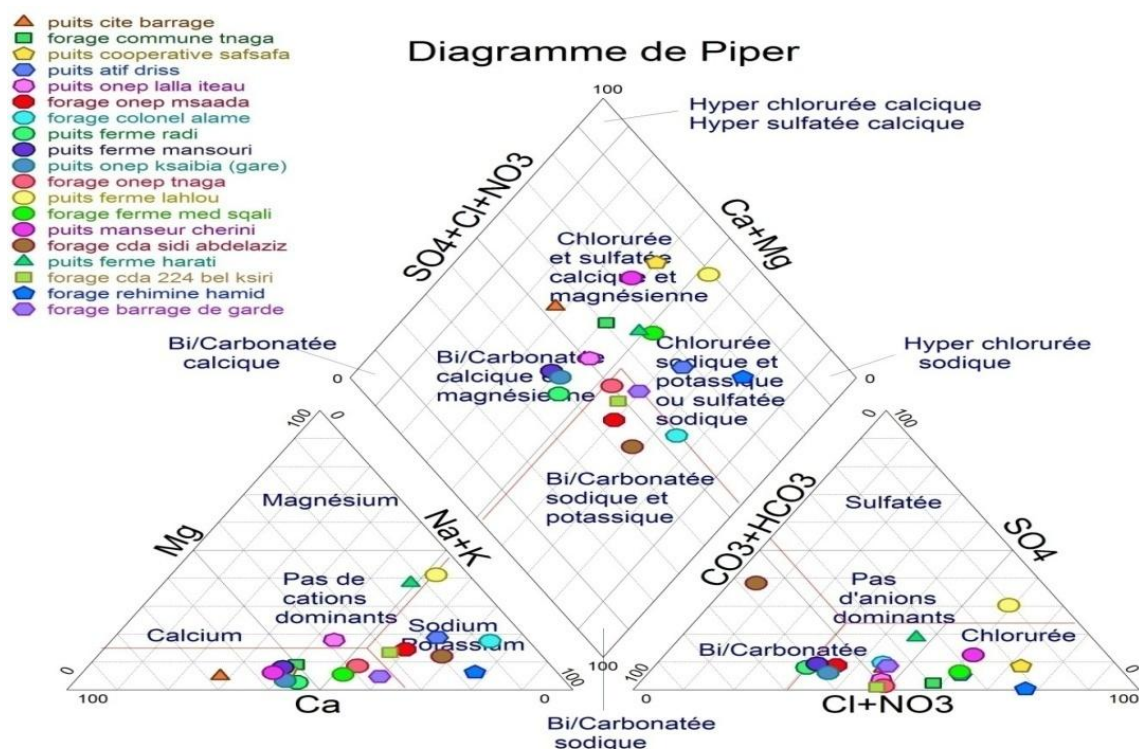


Figure.III.4. Projection sur le diagramme de piper des analyses des eaux souterraines de la nappe du Gharb

III.5.4. Les faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien

Elles sont représentés par 6 stations sur 19 et moyennement représentés dans le diagramme de Piper (Fig. III.5). D'après la projection sur la carte géologique, on peut constater que ces formations sont des argiles, limoneuses, limons fins et sables limono-argileux qui appartiennent à l'âge Quaternaire récent. La conductivité est comprise entre 885 et 2390 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

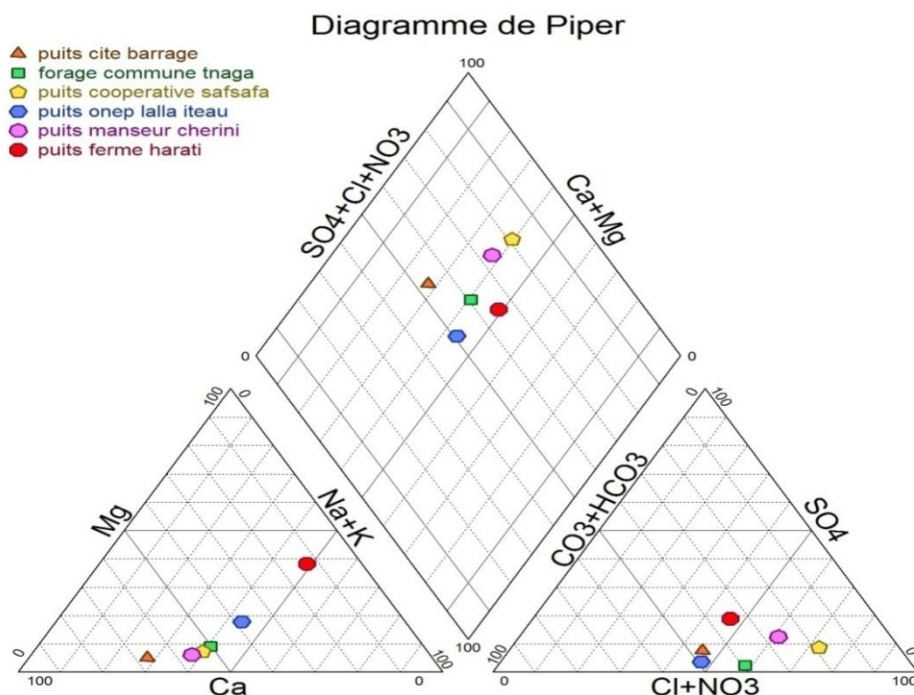


Figure.III.5. Projection sur le diagramme de piper des analyses des faciès chloruré calcique et magnésien

Dans le diagramme de scholler-berkaloff la majorité des stations connaît même évolutions ca Ve dire la même parenté chimique (Fig. III.6).

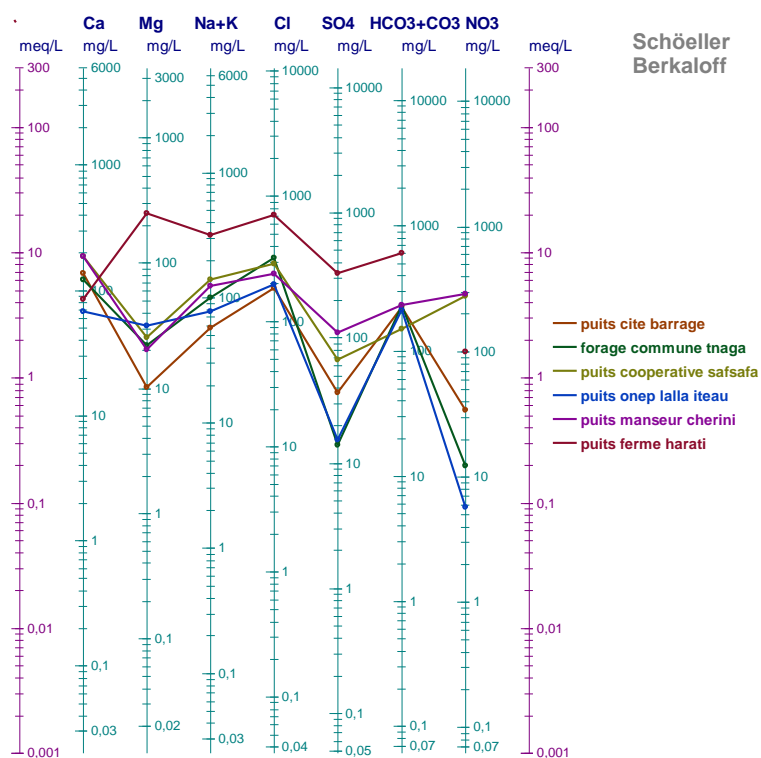


Figure.III.6. Projection sur le diagramme de scholler-berkaloff Des analyses des eaux souterraines de la nappe du Gharb

III.5.5. Le faciès chloruré sodique et sulfato-potassique

Elles sont représentées par 7 stations sur 19 et d'après la projection sur la carte géologique ces stations appartiennent à des formations argileuses, argilo-limoneuse, limoneuse fins et sablo-limono-argileuses datant de Quaternaire récent (Fig.III.7).

Elles se différencient des faciès précédents par une conductivité élevée.

La station de « ferme Lahlou » est caractérisée par une forte conductivité qui est de l'ordre de 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ expliquée par une grande concentration en ion chlorure (1461 mg/l). Parce que les chlorures sont abondants dans les dépôts d'évaporites, ou Ca peut être lié à une :

- Intrusion d'eau salée et embruns dans les régions côtières ;
- Contamination par les eaux d'égout ;
- Erreur de mesure.

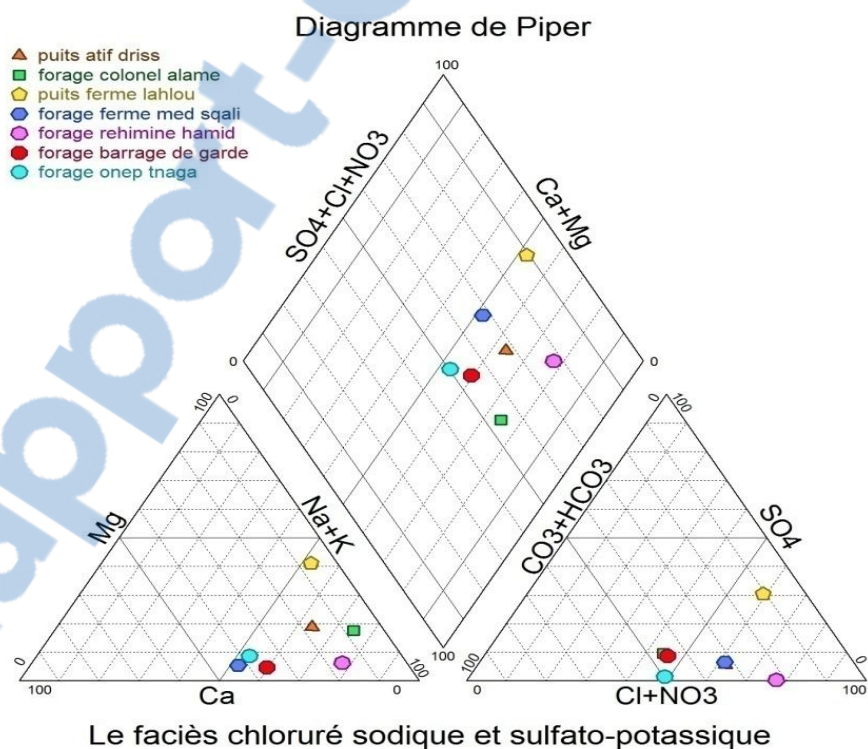


Figure.III.7.Projection sur le diagramme de piper des analyses des faciès chloruré sodique et sulfato-potassique

D'après le diagramme de scholler-berkaloff seulement la station de « puit ferme lahlou » qui a une différence de point de vue évolution les autre sont semblables (la même parenté chimique) (Fig. III.8).

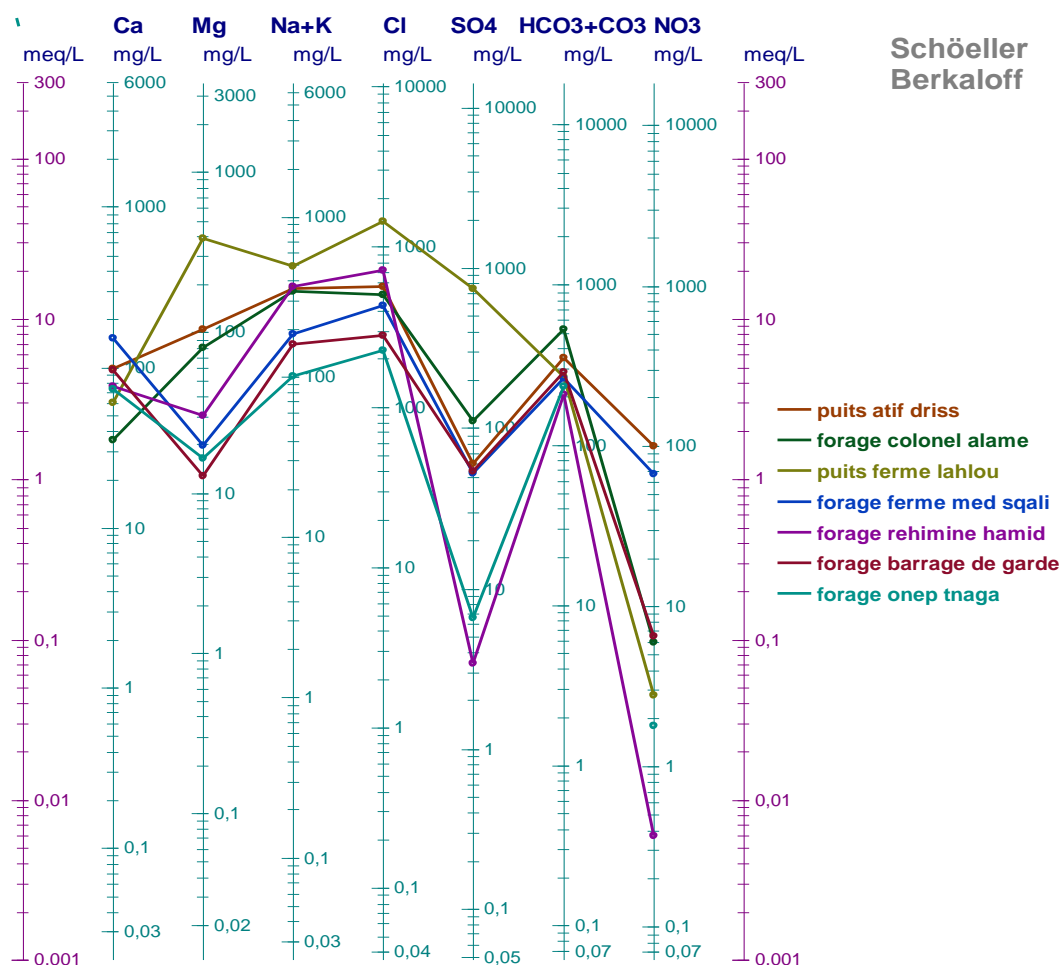


Figure.III.8.Projection sur le diagramme de scholler-berkaloffdes analyses des faciès chloruré sodique et sulfato-potassique

III.5.6. Le faciès bicarbonaté calcique et magnésien

Ils sont représentés par 3 stations sur 19 et ils sont représentés dans le diagramme de Piper (Fig.III.9). D'après la projection sur la carte géologique, on remarque qu'elles appartiennent à des formations de grés et de formation caillouteuse.

La conductivité est comprise entre 640 et 980 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

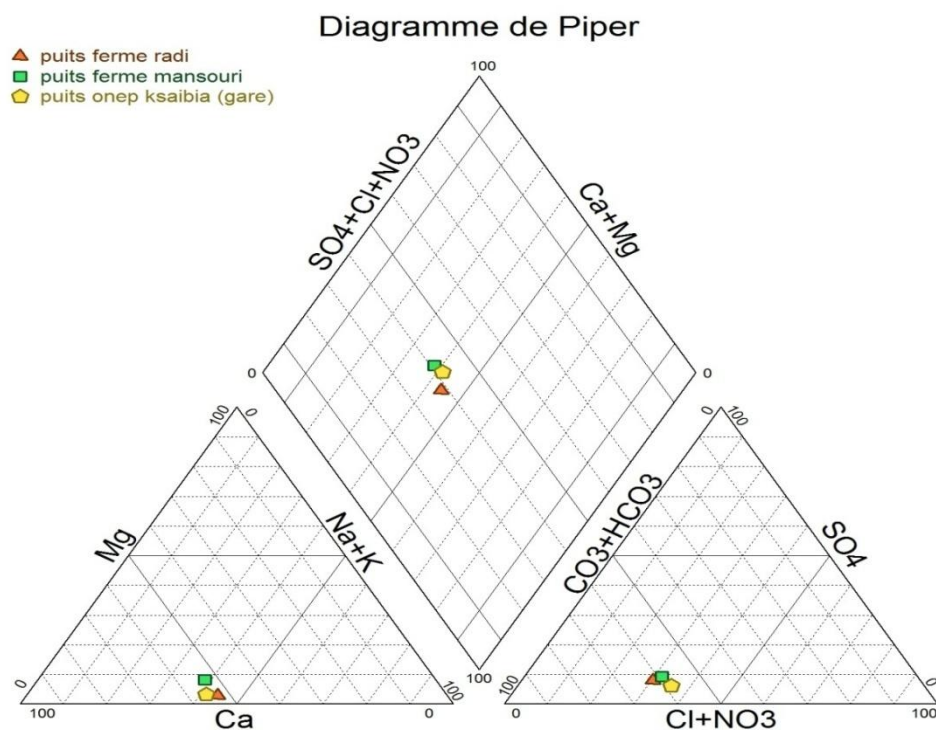


Figure.III.9.Projection sur le diagramme de piper des analyses des faciès bicarbonaté calcique et magnésien

Les trois stations ont les mêmes évolutions dans le diagramme de sholler on peut conclure qu'elles sont de même origine (Fig. III.10).

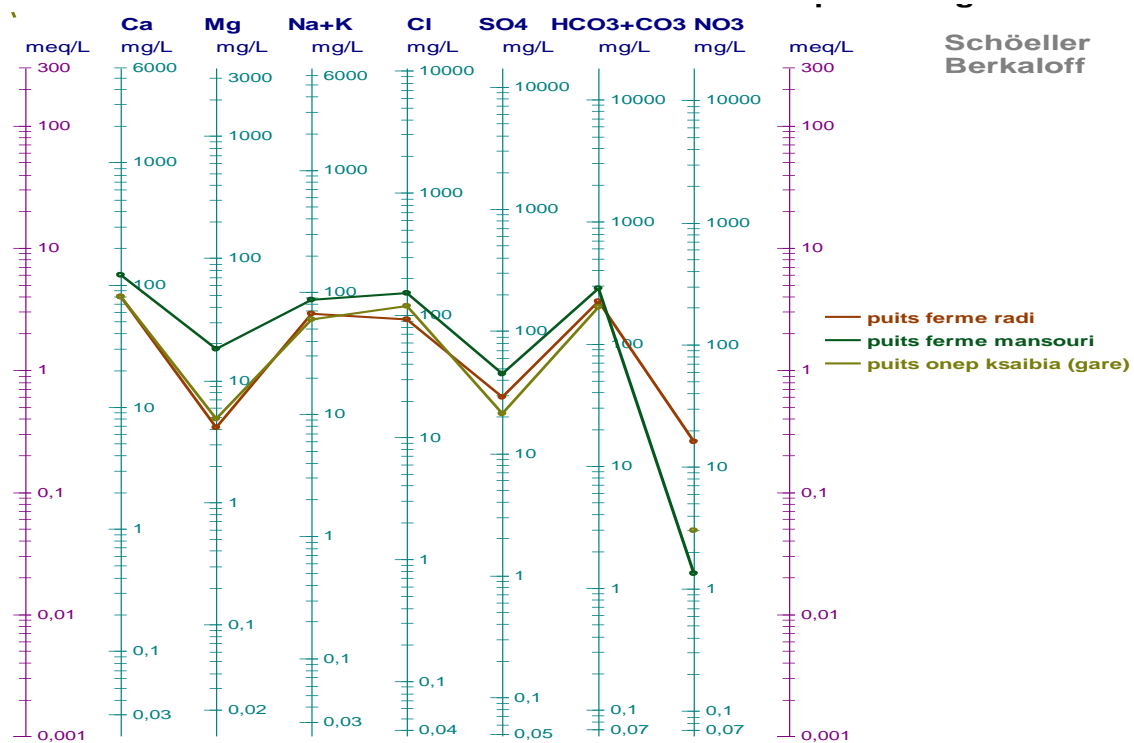


Figure.III.10. Projection sur le diagramme de sholler-berkaloff des analyses des faciès bicarbonaté calcique et magnésien

III.5.7. Le faciès bicarbonaté sodique et potassique

Elles sont représentées par 3 stations sur 19 .et elles sont concentrés dans le diagramme de Piper. D'après la projection sur la carte géologique, on trouve que ces stations appartiennent à des formations qui sont l'argile limoneuse et sables limono-argileux.

La conductivité est comprise entre 1235 et 3300 μ S/cm.

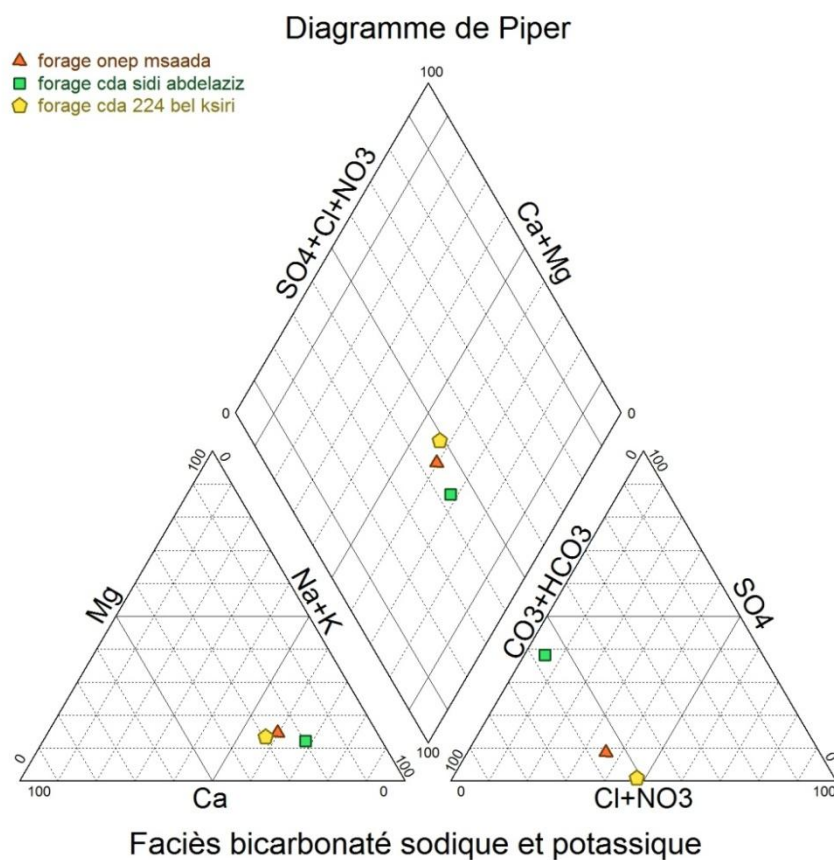


Figure.III.11. Projection sur le diagramme de piper des analyses des faciès bicarbonaté sodique et potassique

Les deux stations « forage onepmsaada » et « forage cda 224 bel ksiri » ont les mêmes évolutions (la meme parenté chimique). Contrairement à la différence claire connu ala station« forage cda sisi abdelaziz ».

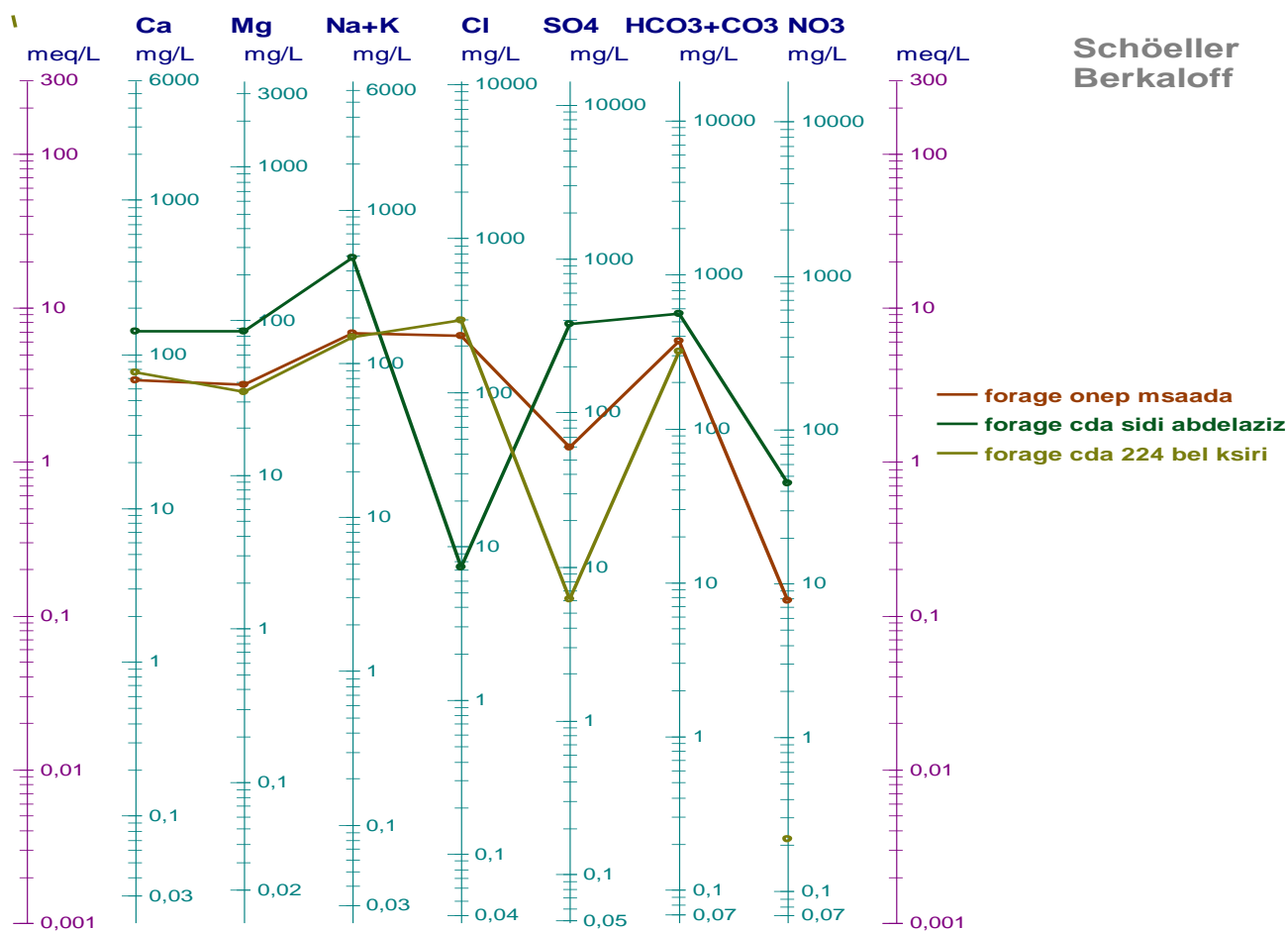


Figure.III.12. Projection sur le diagramme de scholler-berkaloffdes analyses des faciés bicarbonaté sodique et potassique

III.6. La qualité des eaux de consommation

La dureté des eaux est l'une des méthodes pour l'estimation de la potabilité des eaux destinées à la consommation humaine. Cette dureté est déterminée par le calcul de titre hydrotimétrique de la façon suivant :

$$TH = 10^4 (Ca^{2+} + Mg^{2+})$$

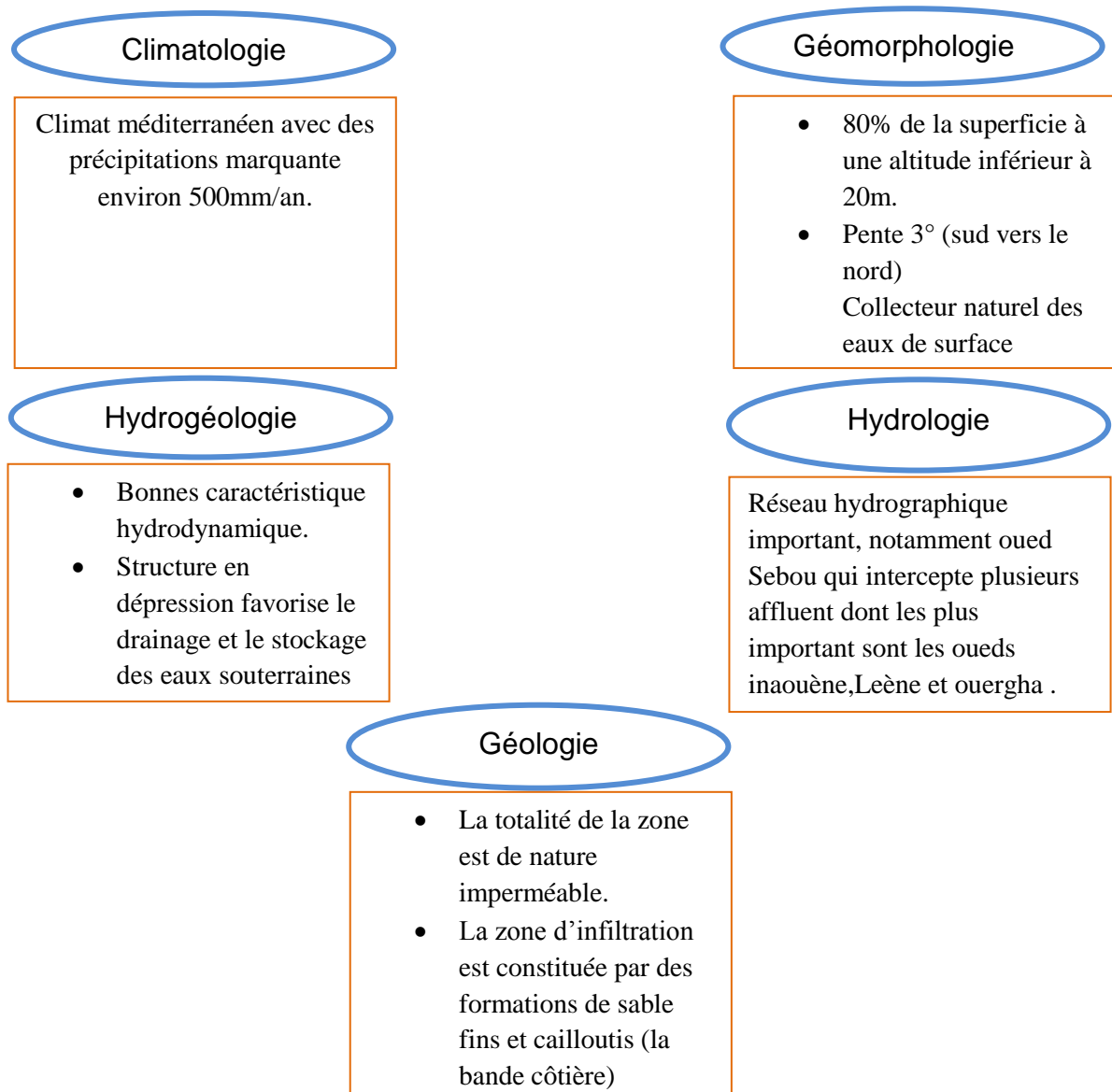
TH est le titre hydrotimétrique en degré français (°F) :1 °F correspond à une concentration de 1.10^{-4} mol/l en ions calcium et magnésium.

Tableau .III.2 : La dureté des eaux souterraines

Nom	TH	
Puits cite barrage	38.9	très dure
Forage commune tnaga	39.7	très dure
Puits cooperativesafsafa	57.3	très dure
Puits atifdriss	68.2	très dure
Puits oneplallaiteau	30.2	très dure
Forage onepmsaada	33.0	très dure
Forage colonel alame	42.5	très dure
Puits ferme radi	21.6	dure
Puits ferme mansouri	37.6	très dure
Puits onepksaibia (gare)	22.1	dure
Forage oneptnaga	25.1	dure
Puits ferme lahlou	175.5	très dure
Forage ferme medsqali	46.2	très dure
Puits manseurcherini	55.0	très dure
Forage cda sidi abdelaziz	71.5	très dure
Puits ferme harati	124.8	très dure
Forage cda 224 bel ksiri	33.5	très dure
Forage rehiminehamid	31.7	très dure
Forage barrage de garde	29.4	dure

D'après le tableau précédent, on remarque que les eaux issues des réservoirs sont de nature lithologique carbonatée. Cette lithologie est responsable de leur classification en tant que des eaux dures à très dures et permet de changer la richesse en Ca^{2+} et Mg^{2+} issue éventuellement de la dissolution de la roche réservoir.

Conclusion générale



- Grace à ces cinq facteurs le niveau piézométrique ainsi que la structure général de l'écoulement n'as pratiquement pas changé.
- L'étude de l'hydrochimie des eaux souterraines de la nappe du Gharb nous a permet de déterminer les différent faciès chimique ainsi que leurs parentés chimique, les eaux de la nappe du Gharb présent des faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésienne, chloruré sodique et sulfato-potassique dominants, ces dernier faciès contiennent des concentrations de nitrate supérieur à 50 mg/l qui est la valeur maximale tolérée par l'organisation mondial de la santé pour une eau potable. Les forages dont la teneur en nitrates deviennent importants, la surveillance bactériologique est nécessaire.

Annexe 1

Tableau 1: les coordonnées des points de prélèvements, pH et conductivité

Nom du point de prélèvement	Réf.des points	X	Y	conductivité	pH
Puits cite barrage	1135/8	408,6	434,6	965	7,42
Forage commune tnaga	1418/8	414,02	420,21	1170	7,25
Puits cooperativesafsafa	1564/14	416,48	454,32	1605	7,45
Puits atifdriss	2964/14	452,37	409,87	2240	7,15
Puits oneplallaiteau	1852/14	423,33	416,29	885	7,3
Forage onepmsaada	3710/14	466,2	417,13	1245	7,3
Forage colonel alame	2910/14	461,45	411,74	2180	7,6
Puits ferme radi	3849/14	426,62	410,6	640	7,3
Puits ferme mansouri	994/14	403,8	410,69	980	7
Puits onepksaibia (gare)	3695/14	438,62	410,55	655	7,4
Forage oneptnaga	636/8	412,73	421,26	945	7,15
Puits ferme lahlou	1644/8	463,06	419,52	5000	7,73
Forage ferme medsqali	1502/8	410,86	457,57	1675	7,15
Puits manseurcherini	1563/8	416,76	444,54	1575	7,3
Forage cda sidi abdelaziz	1513/8	470,95	420,08	3300	7,45
Puits ferme harati	1062/8	426,32	439,68	2390	6,9
Forage cda 224 bel ksiri	1735/8	445,1	440,6	1235	7,5
Forage rehiminehamid	3305/8	442,13	449,82	2330	7,45
Forage barrage de garde	1027/14	406,84	432,6	1225	7,4

Annexe 2

Tableau 2:Données sur le niveau piézométrique

Piézomètre	date	X(m)	Y(m)	NP 2012	NP 2006
136/14	15/09/2012	461358,06	404189,40	19	17
103/14	15/09/2012	453916,99	406819,84	7	10
173/14	16/09/2012	454935,99	413502,58	4	3
1269/13	12/09/2012	382452,67	407397,68	2	2
1334/14	16/09/2012	453917,94	415841,96	4	2
1394/14	18/06/2012	458328,07	402991,06	15	15
1457/14	14/09/2012	447086,34	411687,46	8	8
1520/08	21/09/2012	416994,24	448779,22	4	4
1556/08	16/09/2012	434584,83	451437,31	2	1
1558/08	16/09/2012	442294,48	449825,87	3	1
1563/08	21/09/2012	416206,56	444372,55	5	4
1765/08	19/09/2012	407650,96	447210,35	5	4
2910/14	15/09/2012	461290,52	411739,48	4	4
2917/14	16/09/2012	459394,71	415246,73	4	3
3663/14	14/09/2012	421162,45	428643,82	9	5
3618/08	19/09/2012	400940,44	432340,66	9	0
149/14	17/09/2012	463337,29	411396,62	3	3
918/08	16/09/2012	439926,03	450023,70	4	2
160/14	15/09/2012	455620,30	408222,14	4	4

Annexe 3

Tableau 3: variation saisonnière du niveau piézométrique

mois	NP 1520/08	NP 103/14	NP 698/08
sept	4	26,8	3,5
oct	4,1	27	3,6
Nov	4,1	26	3,5
Dec	4	26	3,7
Jan	4,1	28	4,2
Fev	4,3	29	5
Mars	4,4	28	4
Avr	3	27,2	4
Mai	3,7	27	4
Juin	3,5	27	3,7
Juil	3,5	26,8	3,7
Aout	3,5	26,8	3,7

Annexe 4

Tableau 4 : les concentrations des cations et des anions

Nom du point de prélèvement	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Mn ²⁺	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻
puits cite barrage	0,006	56,3	1,01	138,3	10,3	0,024	183	0,014	34,4	223	0	36,7
forage commune tnaga	0,008	98	1,37	122	22,1	0,024	323	0,004	12,2	228	0	14
puits cooperativesafsafa	0,006	101	39,8	187	25,3	0,024	292	0,01	276	149	0	67,2
puits atifdriss	0,006	254	103	97,8	105	0,024	567	0,237	100	350	0	60,2
puits oneplallaiteau	0,006	75,6	2,4	68,1	31,6	0,024	198	0,003	5,71	212	0	15,4
forage onepmsaada	0,006	156	1,71	68,1	38,3	0,024	233	0,004	7,75	372	0	59
forage colonel alame	0,023	344	1,04	35,3	80,7	0,048	508	0,11	6,02	529	0	111
puits ferme radi	0,014	63,8	2,18	79,4	4,13	0,024	93,2	0,007	16,2	223	0	29,1
puits ferme mansouri	0,006	85,7	1,31	120	18,2	0,035	152	0,01	1,34	286	0	45
puits onepksaibia (gare)	0,006	58,4	1,74	80,2	4,86	0,024	119	0,007	3	201	0	21,3
forage oneptnaga	0,006	100	1,48	73	16,5	0,024	225	0,004	1,81	231	0	6,57
puits ferme lahlou	0,006	488	2,49	60,5	385	0,024	1461	0,004	2,81	265	0	753
forage ferme medsqali	0,18	183	2,4	152	19,7	0,024	433	0,036	66,9	262	0	52,6
puits manseurcherini	0,031	122	3,19	186	20,3	0,024	240	0,015	292	232	0	109
forage cda sidi abdelaziz	0,035	486	3,58	142	86,3	0,024	7,35	0,006	44,9	559	0	378
puits ferme harati	0,006	312	6,01	84,2	249	0,782	713	0,201	99,8	604	0	329
forage cda 224 bel ksiri	0,006	147	0,77	76,2	34,6	0,024	294	0,004	0,218	316	0	6,1
forage rehiminehamid	1,77	361	7,06	76,6	30,1	0,024	717	0,004	0,37	207	0	3,4
forage barrage de garde	0,008	159,5	0,58	96,2	12,8	0,054	282	0,015	6,55	285	0	54,1

Annexe 5

Tableau 5:variation annuelle du niveau piézométrique

Années	Np 103/14	Np 1520/14	Np 698/08
1980	5,0	2,0	3,0
1981	8,000	2,000	3,000
1982	7,000	1,000	3,000
1983	7,000	2,000	3,000
1984	7,000	1,000	3,000
1985	10,000	1,000	3,0
1986	10,000	1,000	4,0
1987	9,000	2,0	4,0
1988	7,0	2,0	3,0
1989	6,0	2,0	3,0
1990	10,0	1,0	3,0
1991	5,0	1,0	4,0
1992	4,0	1,0	3,0
1993	4,0	3,0	3,0
1994	6,0	3,0	3,0
1995	4,0	3,0	4,0
1996	7,0	2,0	4,0
1997	5,0	2,0	3,0
1998	4,0	1,0	3,0
1999	5,0	2,0	4,0
2000	6,0	3,0	4,0
2001	12,0	3,0	4,0
2002	12,0	3,0	4,0
2003	12,0	3,0	4,0
2004	8,0	3,0	4,0
2005	9,0	4,0	3,0
2006	10,0	4,0	4,0
2007	10,0	5,0	5,0
2008	11,0	4,0	
2009	8,0	3,0	
2010	6,0	4,0	
2011	6,0	4,0	
2012	7,0		

Références bibliographiques

- **ABHS** : Notes sur les ressources en eau souterraines dans le bassin de Sebou
- **ABHS** , (2012) : Bulletin d'analyses de la qualité des eaux
- **BENAABIDAT, L.** (2000) : Caractérisation du bassin versant de Sebou : hydrogéologie, qualité des eaux et géochimie des sources thermales thèse, FST, Fès, Maroc.
- **ABHS**, (2006) : Etude d'actualisation du plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau du bassin hydraulique de Sebou le rapport définitive de la mission I.2
- **ROYAUME DU MAROC MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS ET DES COMMUNICATIONS DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE DIVISION DES RESSOURCES EN EAU** : ressources en eau du Maroctome 2