

**Année Universitaire : 2012-2013**



**Licence Sciences et Techniques : Eau et Environnement**

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**

**Pour l'Obtention du Diplôme de Licence Sciences et  
Techniques**

**Etude hydrogéologique et Qualité des  
eaux de la nappe MAAMORA**

**Présenté par:**

**Karra Ghizlane  
Sghir Houda**

**Encadré par:**

**Nourdine srghini, ABHS  
Abdrrahim Lahrach, FST - Fès**

**Soutenu Le Juin 2013 devant le jury composé de:**

- **Mr. Abderrahim Lahrach**
- **Mr. Mohamed Benabdelhadi**
- **Mr. Lahsen Benaabidate**

**Stage effectué à : ABHS, Fès**



# Remerciements

## Remerciements

**O**n tiens à exprimer notre profonde reconnaissance et nos remerciements au Professeur « *ABDRAHIM LAHREH* », auprès de qui On a trouvé tout l'appui aux moments les plus Délicats, pour avoir accepté de diriger ce modeste travail, pour ses directives et Conseils, ainsi de nous avoir consolidées durant toutes ces années. Ainsi un grand remerciement pour l'étudiant en doctorat « *Mr. El arroussi Omar* »

Nos remerciements vont également à l'ensemble des Professeurs qui nous ont Encadrés durant notre projet de fin d'étude :

*Madame ELHACHAM SAMIRA* (Chef division développement et gestion de l'eau) pour nous avoir offrir l'opportunité de passée notre projet de fin d'étude au sein de l'ABHS

*Mr. SGHINI NOURDINE* (Hydrogéologue) pour son aide continu au sein de l'ABHS et son soutien ainsi sa gentillesse infini.

*Mr. GHACHA ABDLRAH* (Dessinateur) pour les informations importantes qui nous a fourni

*Mr. JANNEY MOHAMMED* (Jau jour) pour son aide continu au cours de notre stage.

*Mr. BENJELLOUN ABDELRAH* pour son accueil.

De vifs remerciements à *Mr. Bourak Abdallah* (chef de service des ressources d'eau).

Nos remerciements vont également pour nos professeurs de la faculté des sciences et techniques.

Et tous ce qui nous a soutient de près ou de loin dans notre projet de fin d'étude.

# Dédicaces

*On dédie notre projet de fin d'étude à nos familles « SGHJR » et « KARRA » qui englobent nos chers parents ainsi nos frères et sœur avec tous nos sentiments de respect, d'amour, de gratitude et de reconnaissance pour tous les sacrifices déployés pour nous élever dignement et assurer nos éducation dans les meilleurs conditions,  
Et à tous Nos amis (es) pour leurs encouragements.*

# Liste des Figures

Fig. 1	: Carte de situation du plateau de la MAAMORA.....	5
Fig.2	: Carte des altitudes du plateau de la MAAMORA.....	6
Fig. 3 a	: Diagramme de la station de Rabat-Salé(2003).....	8
Fig. 3 b	: Diagramme de la station de Kenitra(2003).....	9
Fig. 3 c	: Diagramme de la station de Sidi Slimane(2003).....	9
Fig. 4	: Carte hydrographique du plateau de la MAAMORA(2012).....	11
Fig.5	: Carte géologique du plateau de la MAAMORA(2012).....	13
Fig. 6	: Coupe Nord-Sud de la MAAMORA(2012).....	15
Fig. 7	: Carte piézométrique de la nappe de la MAAMORA (Etat en 2012).....	17
Fig. 8a	: Evolution du niveau piézométrique de la zone orientale de la nappe De la MAAMORA(2003).....	18
Fig. 8b	: Evolution du niveau piézométrique de la zone centrale de la nappe De la MAAMORA(2003).....	19
Fig. 8c	: Evolution du niveau piézométrique de la zone côtière de la nappe De la MAAMORA(2003).....	19
Fig. 9a	: Variations saisonnières pour un piézomètre réduit de la nappe de MAAMORA Pour (l'année 2003).....	20
Fig.9b	: Variations saisonnières pour un piézomètre global de la nappe de MAAMORA Pour (l'année 2003).....	20
Fig.9c	: Variations saisonnières pour un piézomètre réduit de la nappe de MAAMORA Pour (l'année 2003).....	20
Fig.10	: Diagramme de piper(2012).....	30
Fig.11	: La carte de qualité globale de la nappe MAAMORA (2012).....	32
Fig.13	: Diagramme d'élément en trace As ( $\mu\text{g/l}$ ) (2012).....	34
Fig.14	: Diagramme d'élément en trace Pb ( $\mu\text{g/l}$ ) (2012).....	35
Fig.15	: Diagramme d'élément en trace Cr ( $\mu\text{g/l}$ ) (2012).....	36
Fig.16	: La carte de qualité (répartition de $\text{No}_3$ sur la nappe Maamora 2012)....	37

# Liste des tableaux

Tableau 1 : Données de la station climatologique de Rabat-salé .....7 (X=373850 Y=383981 Z=75), (En 2002-2003)	7
Tableau 2 : Données de la station climatologique de Kenitra .....7 (X=389553 Y=411513 Z=5), (En 2002-2003).	7
Tableau 3 : Données de la station climatologique de Sidi Slimane .....7 (X=440127 Y=403672 Z=52), (En 2002-2003).	7
Tableau 4 : Résultats du calcul de la moyenne annuelle de la lame d'eau infiltrée.....24	24
Tableau 5 : Bilan des ressources en eau de la nappe de la MAAMORA.....26	26
Tableau 6 : les types de qualité et les normes des éléments chimique.....28	28
Tableau 7 : Qualité globale des eaux de la nappe MAAMORA.....29	29
Tableau 9 : les éléments majeurs présents dans les eaux souterraines.....33	33

# Table des matières

INTRODUCTION GENERALE.....	1
<b>Chapitre 1: Notion sur la nappe phréatique MAAMOURA.....</b>	<b>3</b>
1. Le contexte géographique et géomorphologique .....	4
2. Le contexte climatologique.....	7
3. Le contexte hydrologique.....	10
4. Le contexte géologique .....	12
4.1. Description stratigraphique et lithologique.....	12
4.1.1. Marnes mio-pliocènes.....	12
4.1.2. Sables et grès calcaires marins pliocènes.....	12
a. Sables et grès calcaires marins et dunaires du Villafranchien inférieur.....	12
b. Cailloutis à ciment sablo-argileux du Villafranchien supérieur.....	12
c. Sables de la MAAMORA.....	12
4.2. Aperçu tectonique.....	13
5. Le contexte hydrogéologique.....	14
5.1. Lithologie de la nappe.....	14
5.2. Profondeur de la nappe MAAMORA.....	14
5.3. La Piézométrie.....	16
5.4. Historique piézométrique.....	18
5.5. Analyse des variations saisonnières de la piézométrie.....	20
5.6. Caractéristiques hydrodynamiques.....	22
5.6.1. Transmissivité.....	22
5.6.2. Perméabilité.....	22
5.6.3. Coefficient d'emmagasinement.....	22
5.6.4. Epaisseur et réserves.....	22
5.7. Bilan de la nappe.....	23
5.7.1. Alimentation de la nappe(Entrée) .....	23
5.7.2. Sorties de la nappe.....	24
5.7.3. Exutoire naturels.....	24
a. Déversement vers la nappe du Gharb.....	24
b. Ecoulement vers la mer.....	25
5.7.4. Prélèvements.....	26
<b>Chapitre 2 : Qualité de l'eau de nappe MAAMORA.....</b>	<b>27</b>
1. Hydrochimie.....	28
2. Facies hydro chimiques.....	30
3. Notion sur la carte de qualité.....	31
4. Problématique de la nappe MAAMORA.....	33
4.1 Etude de problématique.....	35
4.2 D'autres problèmes.....	38
5. Les Solutions pour sauvegarder la nappe MAAMORA.....	38
<b>Conclusion.....</b>	<b>40</b>

# INTRODUCTION GENERALE

Le travail présenté dans ce rapport entre dans le cadre de notre projet de fin d'études en Licence, option Eau et environnement, à la faculté des Sciences et techniques de Fès.

On l'a effectué à l'agence de bassin hydraulique de Sebou. Au sujet de la synthèse hydrogéologique de la nappe phréatique MAAMORA.

Au long de ce rapport, On va résumer notre stage en trois partis principaux.

La 1<sup>ère</sup> partie présentera des Notions générale sur la nappe phréatique MAAMORA

La 2eme partie sera consacrée pour la qualité des eaux de cette nappe ainsi on donnera une aperçu sur les problématique de la nappe MAAMORA et au sauvegarde de cette dernière.

Et on finira ce rapport par une conclusion générale.

## Notion sur le bassin Sebou :







Le bassin de Sebou, d'une superficie de 40000 Km<sup>2</sup>, est l'un des neufs grands bassins hydrographiques du Maroc. Il représente en surface 5.5% du territoire national et peut être subdivisé en quatre bassins structuraux :







- L'Ouergha, à l'amont du barrage Al Wahda, est essentiellement constitué par des terrains argilo-marneux imperméables du Crétacé
- La Plaine du Sebou et le couloir de Taza au contact du Rif et du Moyen Atlas sont dans un domaine à remplissage tertiaire et quaternaire.
- Le Beht (à l'amont d'El Kansera) est constitué par des formations Périmo-Triasiques et carbonifères primaire.
- Le haut Sebou, fait parti du domaine Atlasique constitué essentiellement par les calcaires jurassiques.

## L'eau dans le bassin du Sebou :

Le bassin du Sebou est riche en eau souterraine et en eau de surface. Il renferme près du tiers des eaux de surface du pays et du dixième des eaux souterraines. Des sites de productions d'eau minérales (Sidi Harazem, Ain Vitel...) et d'activités thermales (My Yakoub...) sont significatifs de cette richesse. Les ressources en eau utilisées actuellement sont d'environ 1700 Mm<sup>3</sup>/an, dont la moitié est fournie par les barrages.

**Des nappes d'eau souterraine importantes qu'il faut gérer en commun :** Le bassin renferme 12 nappes d'eau souterraine, qui sont suivies et contrôlées à travers un réseau piézométrique englobant 534 piézomètres:

-  Nappe de la Maamora
-  Nappe du Gharb
-  Nappe de Fès – Meknès
-  Nappe de Fès – Taza
-  Nappe profonde de Taza
-  Nappe du Causse moyen Atlasique

-  Nappe du Moyen Atlas Plissé
-  Nappe de Bou Agba
-  Nappe des rides prerifaines
-  Nappe de la région de khémisset
-  Nappe du causse d'Agourai
-  Nappe des basaltes d'Azrou

Ces nappes sont exploitées avec un volume de 751 Mm<sup>3</sup>/an, pour l'AEP urbaine et rurale, pour usage industriel et pour l'irrigation.

Ces nappes productives sont vulnérables à la pollution, à la surexploitation et à la sécheresse. Bien gérées et protégées, elles représentent des atouts majeurs pour le développement d'activités liées à l'eau et pour le développement économique général du bassin.



# **Chapitre I**

**Notion sur la nappe phréatique MAAMORA**

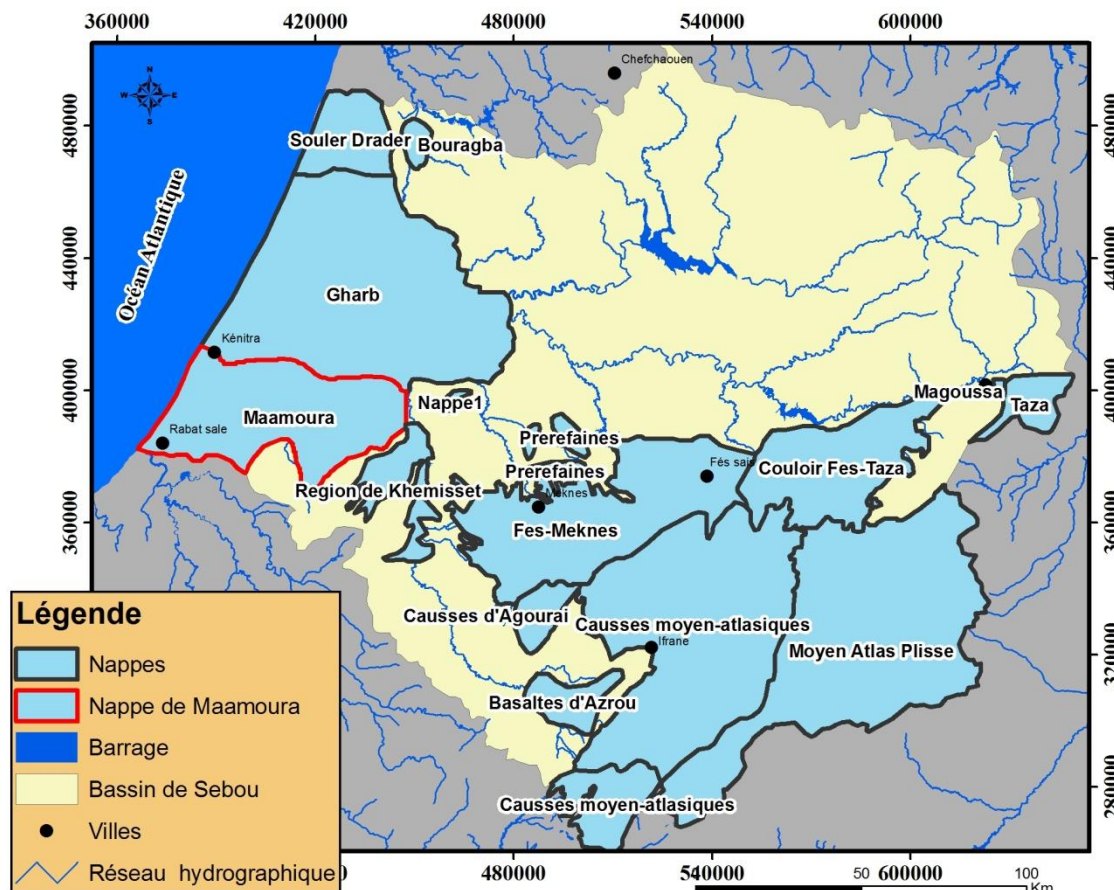
## 1. Le contexte géographique et géomorphologique

La Maamora est un vaste plateau d'environ 2300 km<sup>2</sup> de surface. La surface occupée par la nappe est de 1500 km<sup>2</sup>.

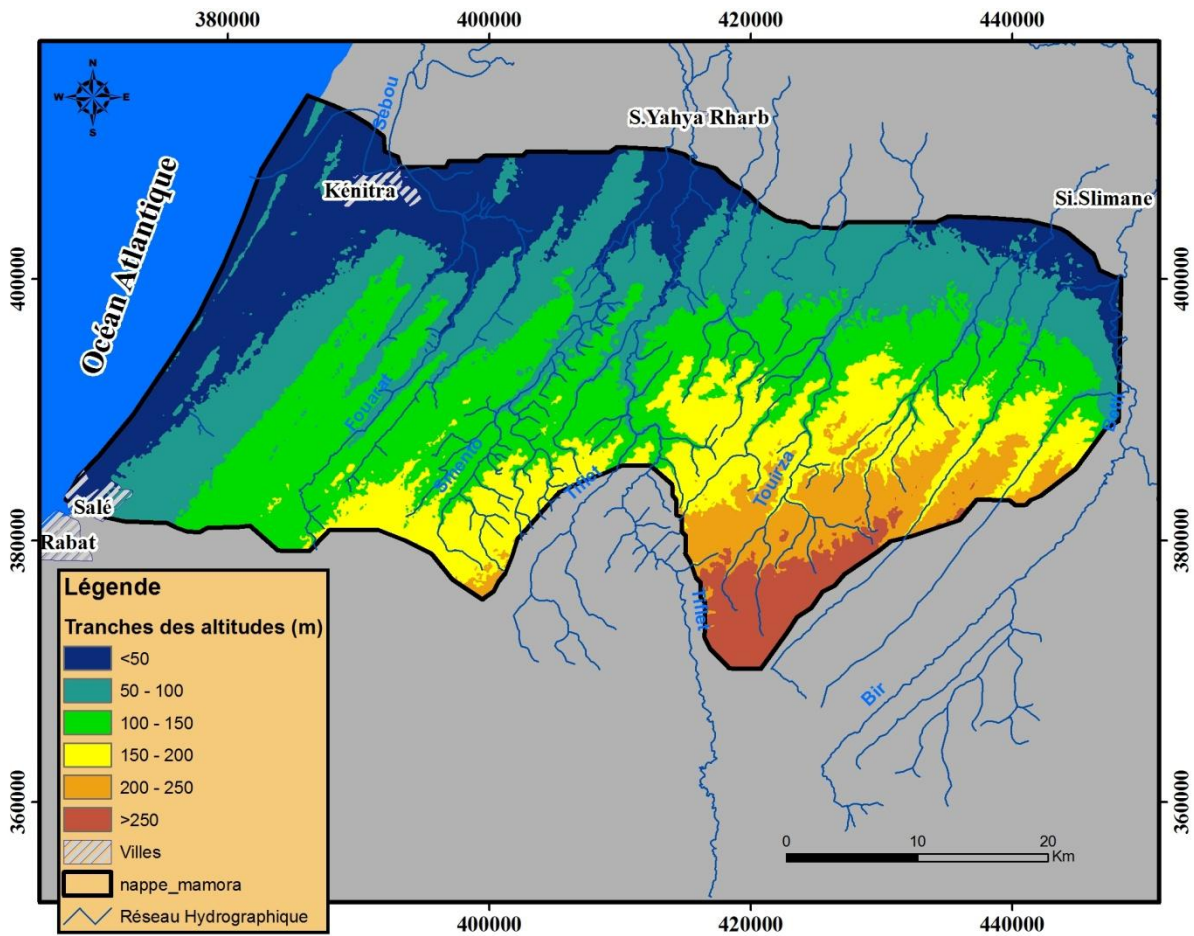
Elle est limitée à l'Ouest par l'Océan Atlantique, à l'Est par l'oued Beht, au Nord par la plaine du Gharb et au Sud par la ligne reliant Salé et El Kansera. Sur le plan géologique, cette limite est constituée par les affleurements des marnes du Miocène. Les principaux centres urbains du bassin se situent autour de la MAAMORA et sont : Kenitra au N-W, Sidi Yahya du Gharb au Nord, Sidi Slimane au N-E, Salé au S-W et Tiflet à l'extrême Sud (fig.1).

La topographie de la région se présente comme une succession de collines et de vallées allongées parallèlement au rivage, l'altitude est relativement basse et ne dépasse pas 250 m (Fig.2).

La MAAMORA est, dans sa plus grande partie, couverte d'une végétation arborescente, constituée principalement de chêne liège et d'eucalyptus dans sa partie nord. Malgré les conditions climatiques de plus en plus difficiles, la forêt de la MAAMORA continue à alimenter en matière première l'usine "Liège du Maroc" (à Salé) et "Cellulose Maroc" (à Sidi Yahya). La zone côtière fait l'objet d'importantes cultures maraîchères.



**Fig.1 : Carte de situation du plateau de la MAAMORA (Réf.fait par les données de l'ABHS et le logiciel ARC.GIS)**



**Fig.2 : La carte des altitudes du plateau de la Maamora (Réf.Faite par les données de l'ABHS et le logiciel ARC.GIS)**

## 2. le contexte climatologique

La caractérisation climatologique du bassin de la Maamora sera basée sur les données climatiques de trois stations situées aux extrémités se la Maamora ce sont les stations de Rabat-Salé au S-W, Kenitra au N-W et Sidi Slimane à L'extrême Est. Pour la période, nous avons retenu celle de 1973 à 2003 soit une période de 30 ans, période minimale exigée par l'OMM (puisque les données de 2013 sont inaccessibles). La carte des isohyètes montre que la zone est climatiquement homogène et par conséquent ces données peuvent être retenues pour le calcul de la lame d'eau précipitée.

Les tableaux 1 à 3 résument les données des précipitations et des températures moyennes relevées au niveau des trois stations ainsi que l'évapotranspiration potentielle calculée par la méthode de thronthwaite.

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai.	Juin.	Juil.	Aout	Total
P(mm)	8.36	41.6	77.8	104.5	78.8	60.8	52	56.2	19.7	4.02	0.21	1.26	505.1
T(moy)	21.6	19	16	13.8	12.4	13.2	14.7	15.6	17.7	20.2	22.5	22.7	Tm=17.4
ETP	96.5	72	47.6	35.91	30.5	33	48.2	65.4	78	98.9	122.1	118	837.11

Tableau 1 : Données de la station climatologique de Sidi Slimane  
(X=440127 Y=403672 Z=52)

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Total
p(mm)	10,23	48,63	77,94	100,28	88,45	73,15	52,52	55,96	29,41	6,30	0,80	0,53	544,20
Tmoy	22,3	19,4	16,1	13,6	12,3	13,4	15,0	16,1	18,4	21,0	23,3	23,5	Tm=17,4
ETP	100,02	72,88	46,19	33,63	28,40	32,45	48,09	57,85	81,46	104,38	127,82	123,48	837,11

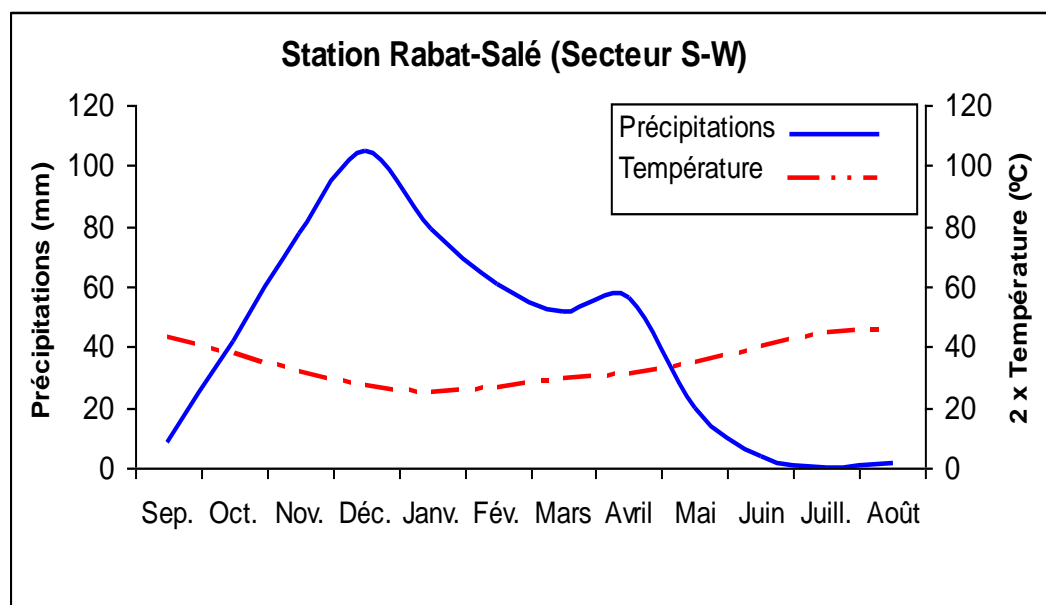
Tableau 2: Données de la station climatologique de Kenitra  
(X=389553 Y=411513 Z=5)

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Total
p(mm)	9,06	35,40	55,25	74,48	61,29	50,68	44,54	47,19	27,34	6,81	0,97	1,38	414,29
Tmoy	24,8	20,7	16,5	13,7	12,4	14,0	15,8	17,3	20,2	23,4	26,7	26,7	Tm=19,4
ETP	114,32	74,98	42,55	28,98	23,97	29,48	46,05	58,47	88,39	119,08	156,85	149,43	932,54

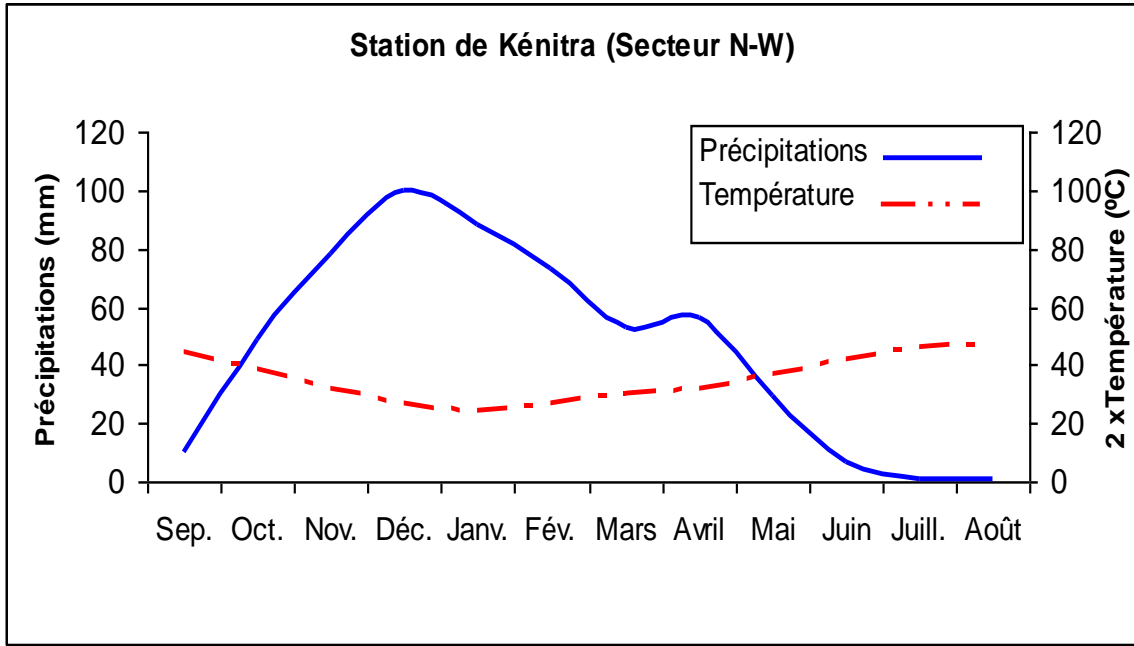
Tableau 3: Données de la station climatologique de Sidi Slimane  
(X=440127 Y=403672 Z=52)

L'analyse des résultats montre que :

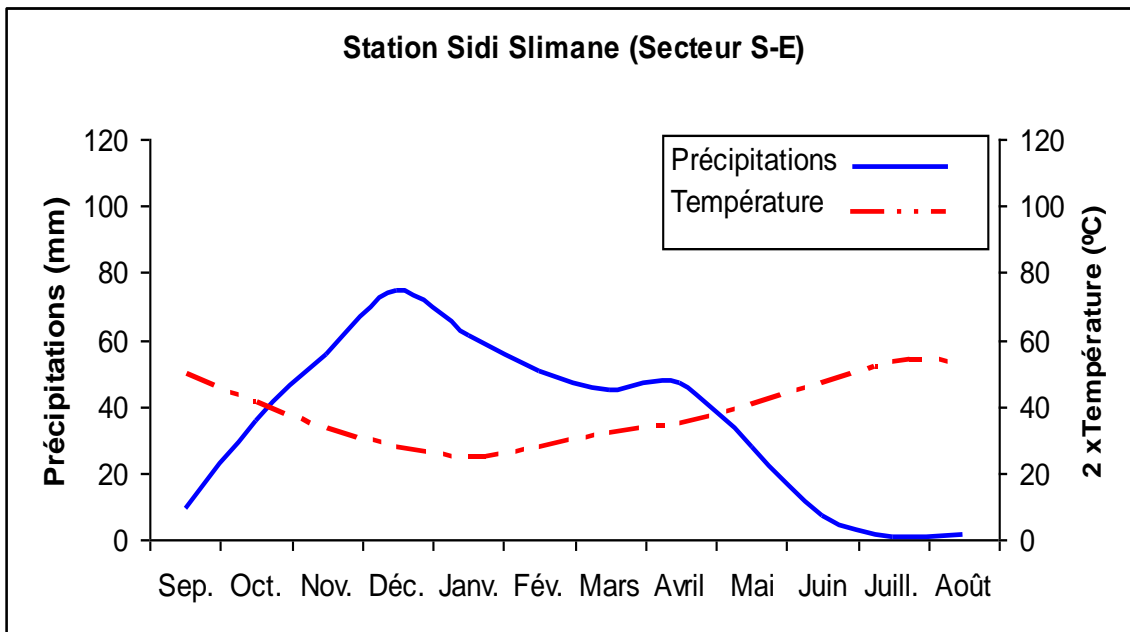
- Les précipitations moyennes annuelles sont relativement élevées et le sont plus pour les stations littorales, à savoir Kenitra (544,2 mm) et Rabat-Salé (505,1 mm). Les précipitations diminuent vers l'intérieur du pays à cause de la diminution de l'influence océanique (414,3 mm à Sidi Slimane). On note également un faible gradient Nord-Sud dû à l'effet de la latitude. Les mois les plus pluvieux sont décembre et janvier et les plus secs sont juillet et août.
- Les températures moyennes annuelles enregistrées dans les stations sont relativement basses dans la zone côtière (17,4 °C à Rabat-Salé et 17,9 °C à Kenitra) et sont plus élevées vers l'intérieur (19,4 °C à Sidi Slimane).
- Les mois de juillet et août sont les mois les plus chauds alors que décembre et janvier sont les plus froids. On note que l'écart thermique augmente vers l'intérieur. L'influence océanique est bien marquée par le parallélisme à la côte des lignes isothermes des cartes de température.
- L'évapotranspiration potentielle moyenne pour les trois stations (ETP, calculée par la méthode de Thornthwaite) varie entre 837 et 856 mm pour les stations côtières et est maximale à l'intérieur du continent avec 932 mm pour Sidi Slimane. Puisque l'ETP est fonction de la température, elle suit la même évolution mensuelle que cette dernière : elle est maximale pour les mois de juillet et août et minimale pour les mois de décembre et janvier.
- Les diagrammes ombrothermiques (Fig.3 a-b-c) montrent que la période aride s'étale sur 4 mois pour les trois stations :



**Fig.3a : Diagramme Ombrothermique de la station Rabat-Salé  
(Etat 2002-2003)**



**Fig.3b :** Diagramme Ombrothèrmique de la station de Kenitra (Etat 2002-2003)



**Fig.3c :** Diagramme Ombrothèrmique de la station de Sidi Slimane (Etat 2002-2003)

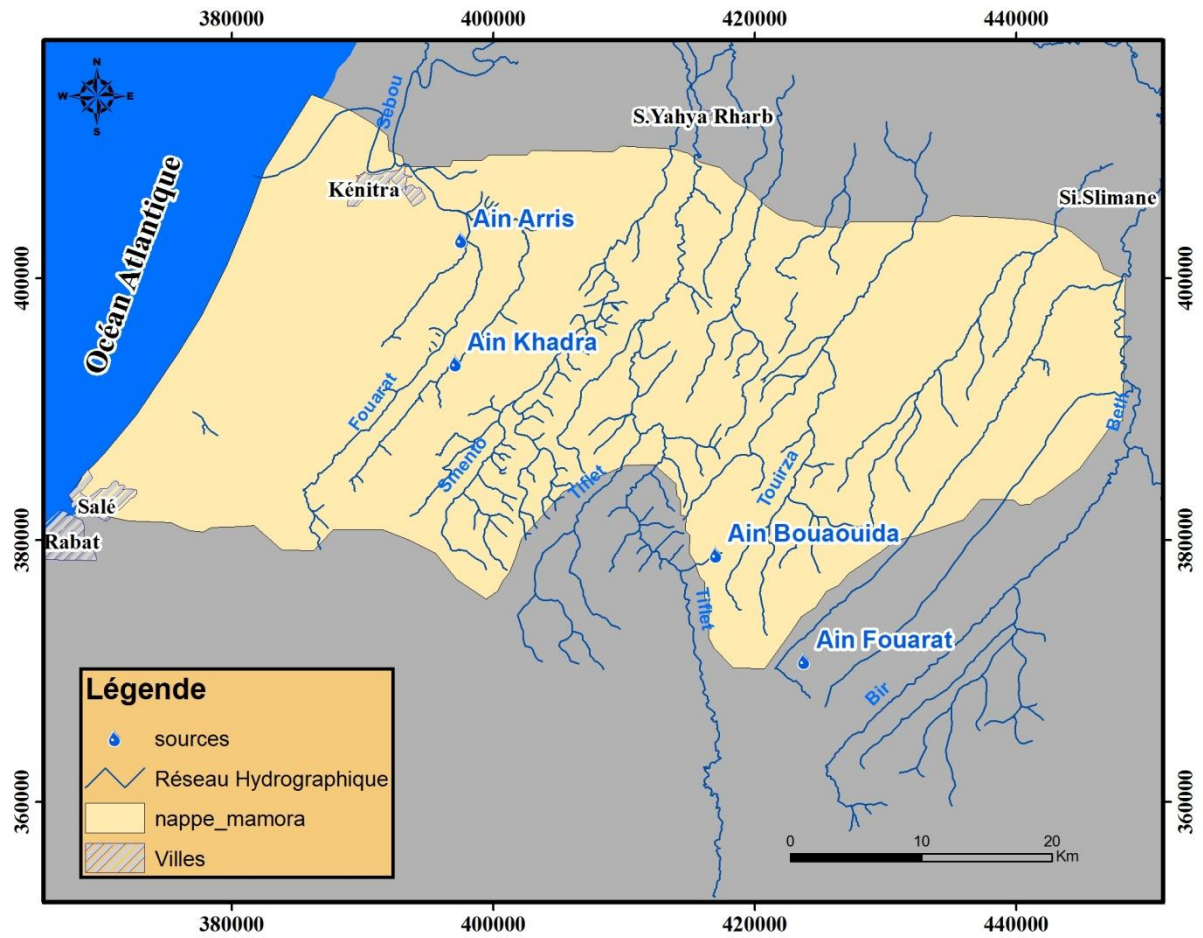
### 3. CONTEXTE HYDROLOGIQUE

Le réseau hydrographique de la MAAMORA est très peu développé. Il est représenté par quelques petits cours d'eau de direction SSW-NNE. Ces cours sont alimentés (dans leur partie amont) par la nappe de la MAAMORA par le biais de sources de faible importance. Les cours d'eau les plus importants sont (fig.4) :

- L'oued Tiflète, qui draine un bassin versant de 560 km<sup>2</sup>, reçoit plusieurs affluents dont l'oued Zilli. Il prend naissance dans le massif primaire de Tiflet et se déverse dans l'oued Beht au niveau de plaine du Gharb après avoir reçu les eaux de l'oued Smento.
- L'oued Smento, il prend naissance à proximité de Sidi Allal El Bahraoui, draine un bassin versant de 220 km<sup>2</sup>. Il se déverse dans l'oued Tiflet, son débit est pratiquement toujours nul.
- L'oued Fouarate, son bassin versant est de l'ordre de 285 km<sup>2</sup> et se jette dans l'oued Sebou à proximité de Kenitra.
- L'oued Tourza, il est pérenne dans la partie amont du bassin versant qui s'étend sur une superficie de 470 km<sup>2</sup>. L'irrigation et l'évaporation le mette à sec dans sa partie avale.

D'autres petits oueds de moindre importance sont connus également, mais ne coulent que périodiquement lorsque la surface de la nappe est suffisamment proche du sol (oued Foui, Haimeur, Bouftitan...).

Le bassin est caractérisé également par la présence de Dayas (mares temporaires provoquées par l'accumulation des eaux de pluie dans des dépressions à fond argileux). Certaines mares (merjas) constituent des zones d'affleurement de la nappe dans des formations perméables. La plus importante est la lagune de Mehdiya, connue sous le nom de Daya Sidi Bou Ghaba. L'eau y reprise par évaporation constituant ainsi un exutoire naturel de la nappe.



**Fig. 4: Carte hydrographique du plateau de la MAAMORA (Réf. faite par les données de l'ABHS et le logiciel ARC.GIS)**



## **4. CONTEXTE GEOLOGIQUE**

Le glacis de la MAAMORA est compris entre le massif ancien et tabulaire de la Meseta au Sud et la plaine subsidente du Gharb au Nord. Du Sud vers le Nord affleurent les terrains primaires (schistes et quartzites) recouverts progressivement par les assises marneuses du Miocène qui supportent elles mêmes des formations du Plio-Villafranchien et du Quaternaire (grès, cailloutis, sables et argiles). Ces dernières formations contiennent une nappe phréatique qui s'écoule, en raison de la disposition de la MAAMORA, vers le Gharb.(Rèf.EPDR).

### **4.1 Description stratigraphique et lithologique**

L'étude géologique des différents affleurements et l'analyse des coupes des forages permettent d'établir la succession stratigraphique suivante :

#### **4.1.1. Marnes mio-pliocènes**

Elles sont appelées communément marnes bleues. Elles sont miocènes à la base, pliocènes au sommet et peuvent devenir plus sableuses. Elles affleurent au Sud dans la région de Tiflète ainsi qu'à l'Est. Elles affleurent également au niveau des vallées creusées par les cours d'eau (oued Tiflète...). Leur épaisseur est importante et dépasse largement 50 m.

#### **4.1.2. Sables et grès calcaires marins pliocènes**

Ces formations ont une épaisseur de l'ordre de 30 m. Malgré les nombreux forages exécutés, on ne peut identifier les différents sous-étages. Elles passent sans variation de faciès au Moghrébien.

##### **a- Sables et grès calcaires marins et dunaires du Villafranchien inférieur**

Ces formations sont nettement visibles le long du cordon littoral s'étalant entre Salé et Kenitra et pénètrent dans la plaine du Gharb. Elles sont parallèles au rivage et ont une épaisseur moyenne d'environ 50 m.

##### **b- Cailloutis à ciment sablo-argileux du Villafranchien supérieur**

Visibles dans la partie orientale du bassin et affleurent le long de l'oued Beht, ces formations peuvent atteindre une profondeur allant jusqu'à 100 m. Leur partie supérieure présente un faciès dunaire. Le Villafranchien supérieur peut également présenter un faciès argilo-sableux rouge, parfois discontinu avec une épaisseur de l'ordre de 30 m.

##### **c- Sables de la MAAMORA**

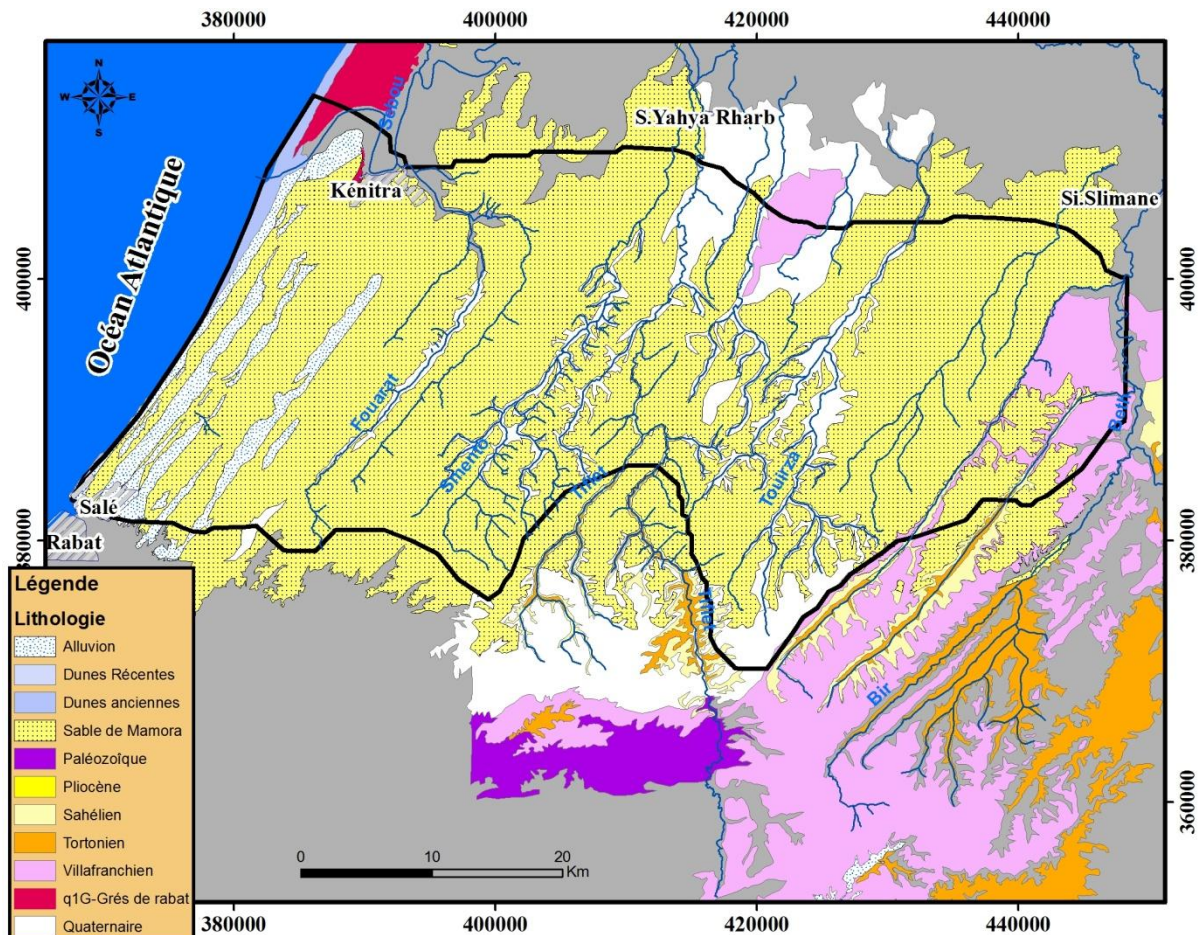
Elles datent du Quaternaire récent, dominent la majeure partie des affleurements de surface. L'épaisseur de cette couverture varie entre 2 et 7 m.

Le bassin de la MAAMORA se situe entre le massif ancien de la Meseta au sud, et la plaine subsidente du Gharb au Nord.

Les formations aquifères sont essentiellement de nature Grès-Sableuse, vers l'Est, des cailloutis quaternaires sont superposés à ces formations.

## 4.2. Aperçu tectonique

Sur le plan structural, la MAAMORA est caractérisée par l'horizontalité de ses dépôts récents. Quelques ondulations peuvent affecter le Quaternaire. Montre une coupe Nord Sud de la MAAMORA. Le seul phénomène important affectant cette région est la mise en place de la nappe prériafricaine au sein de la mer miocène. Le front de cette nappe constitue la limite nord de la nappe phréatique de la MAAMORA(Fig.5).



**Fig.5 : Carte géologique du plateau de la MAAMORA  
(Rèf.fait par les données de l'ABHS et le logiciel ARC.GIS)**

## **5. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE**

### **5.1. Lithologie de la nappe**

Le plateau de la MAAMORA, qui s'étend sur une surface de 2100 m, contient une nappe libre très importante qui s'étend sur une superficie d'environ 1820 km<sup>2</sup>. Ses limites naturelles sont constituées par :

- L'Océan Atlantique à l'Ouest
- L'oued Beht à l'Est
- Les affleurements des marnes miocènes au Sud
- Au Nord, la nappe est délimitée par une ligne de mise en charge au niveau de laquelle elle se subdivise en nappe phréatique moins importante et peu exploitée et une nappe profonde plus importante constituant le principal système aquifère de la plaine du Gharb.

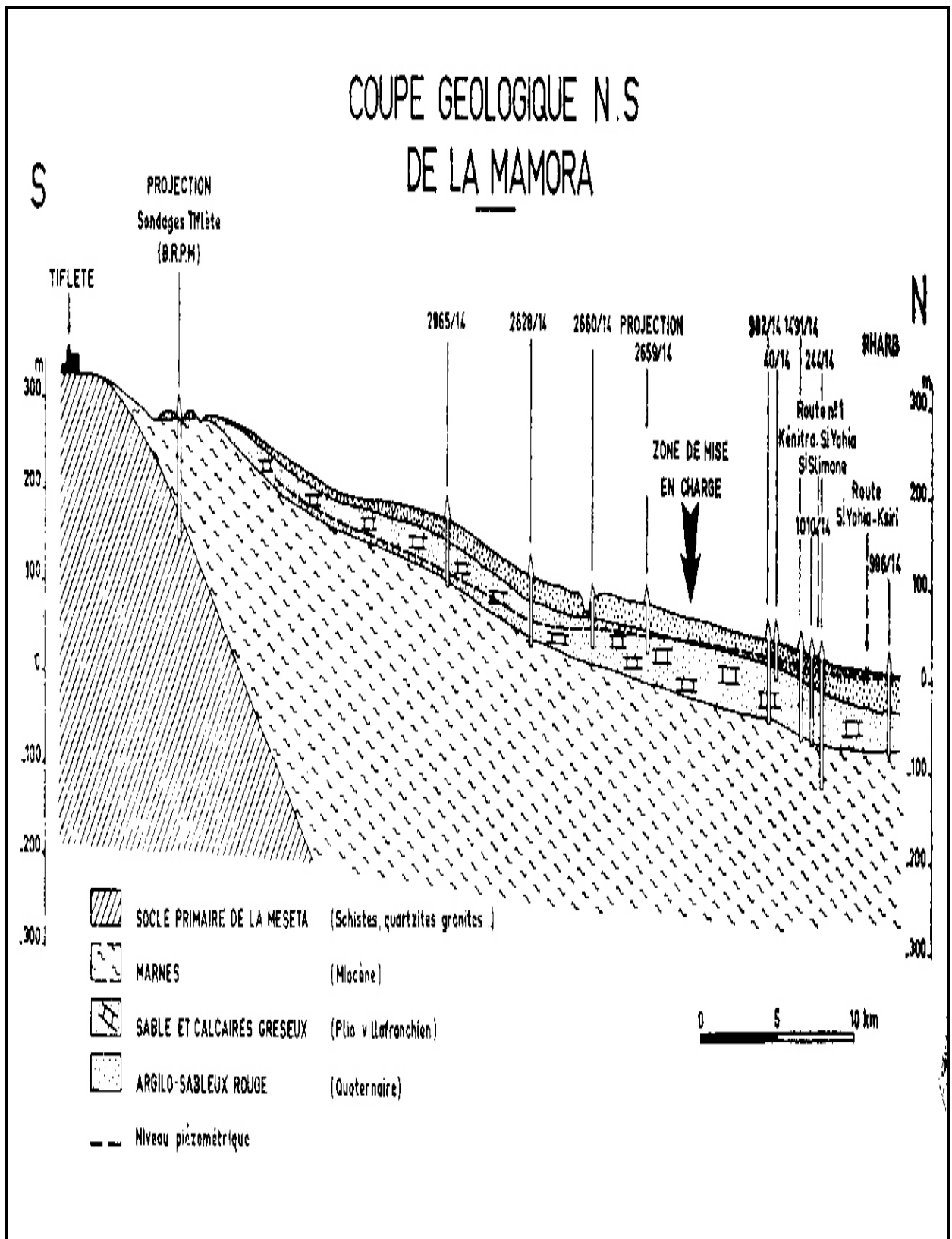
Cette subdivision hydrogéologique au niveau de la limite septentrionale est faite en faveur d'intercalations argileuses dans cette zone mettant ainsi la nappe en charge. Du point de vue géologique, ces intercalations ont été favorisées par la sédimentation géosynclinale qu'a connue la plaine du Gharb durant l'Eocène.

Géographiquement, les limites déjà citées correspondent grosso modo à la route principale reliant Kenitra à Sidi Slimane pour la limite septentrionale, la route principale reliant Salé à El Kanséra pour la limite méridionale, la route principale reliant Sidi Slimane à El Kanséra pour la limite orientale et enfin l'océan Atlantique pour la limite occidentale.

### **5.2. Profondeur de la nappe**

Celle-ci est conditionnée surtout par la topographie. Au niveau de la carte des isobathes, les profondeurs de la nappe peuvent être subdivisées en deux tranches. Une tranche avec des profondeurs variant entre 0 et 40 m qui représente la grande majorité de la nappe. Elle correspond à des zones très facilement accessibles à l'exploitation. Ces zones sont localisées essentiellement au centre, à l'Est et au Nord de la MAAMORA au niveau de la ligne de mise en charge de la nappe. Il en est de même dans la zone côtière, dans les espaces inter dunaires et enfin au niveau des vallées des oueds. Si ces zones sont intéressantes car elles permettent une exploitation facile de la nappe, elles constituent néanmoins des zones vulnérables qu'il faut protéger. Les exploitations et les champs captant actuels se situent effectivement en grande partie dans ces zones. A titre d'exemple, on peut citer la zone de Taicha.

L'autre tranche, où la profondeur de la nappe est supérieure à 40 m se situe de manière générale dans la partie Sud-ouest de la MAAMORA où on note une protubérance avec des profondeurs atteignant 100 m (Fig.6).



**Fig. 6 : Coupe Nord-Sud de la MAAMORA  
(Réf. l'EPDR)**

### 5.3. Piézométrie

Une carte piézométrique a été dressée à partir des relevés effectués en 2012.

Le dépouillement préliminaire des résultats de cette campagne permet de relever les remarques suivantes (Fig.7).

- a- Sur les 304 points d'eau constituant le réseau de surveillance de la nappe Gharb-MAAMORA, seul 130 points ont été relevés, soit moins de 50%.
- b- Les points d'eau ayant fait l'objet de ces relevés sont très irrégulièrement répartis à travers le bassin.
- c- Pour la nappe de la MAAMORA, seule une dizaine de points capte la nappe et par conséquent la carte piézométrique tracée à partir de ces relevés ne permet pas de déterminer avec précision les écoulements souterrains au niveau de la nappe.

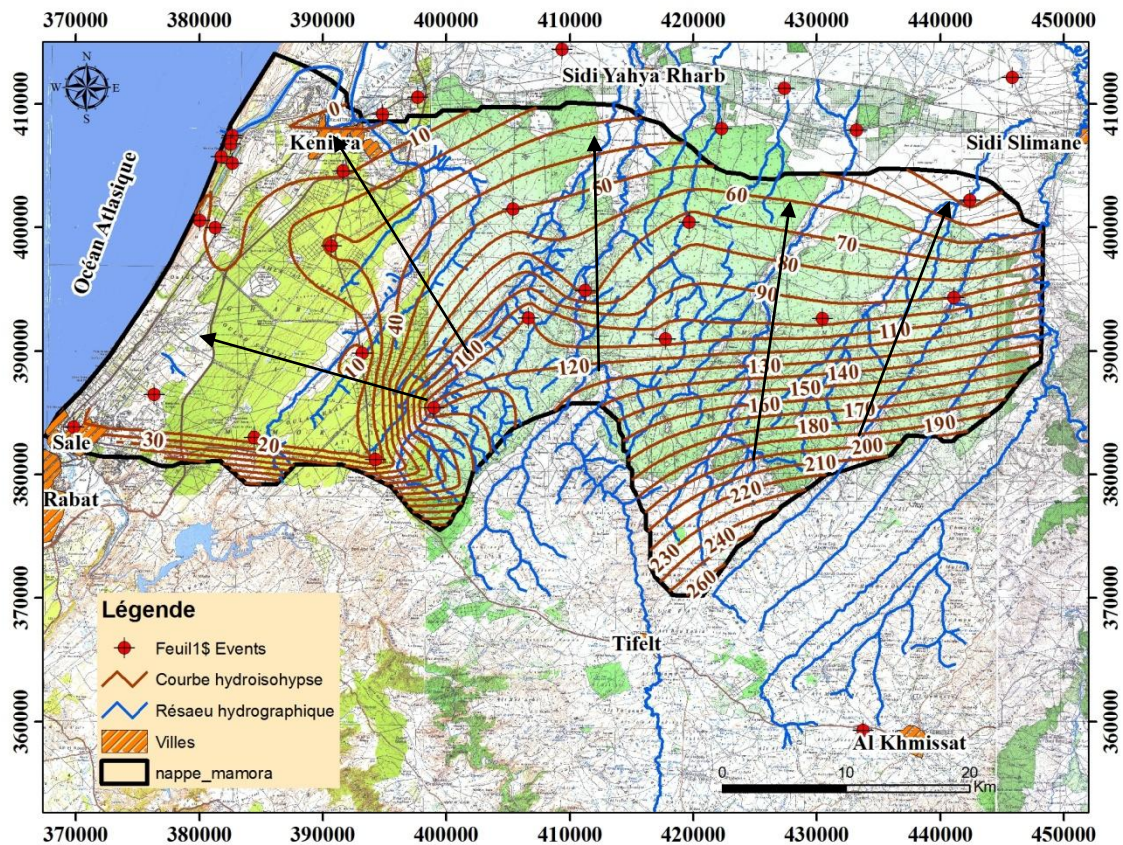
L'analyse de la carte piézométrique de la nappe de la MAAMORA, malgré les remarques soulevées précédemment, montre que la nappe s'écoule en éventail et présente trois directions d'écoulement :

- Vers le Nord où elle alimente la nappe du Gharb.
- Vers la mer à l'Ouest .
- Au Nord Est, elle s'écoule vers l'Est et est drainée par oued Beht.

Au niveau de la zone côtière, les courbes iso piézométriques sont parallèles entre elles et au rivage. Les gradients hydrauliques sont de l'ordre de 2 à 3 ‰ et sont plus élevés au niveau des zones d'exploitation intensive comme celle des périmètres d'irrigation de Salé-Sidi Bouknadel et la zone agricole de Bir Rami.

Dans la zone centrale, les courbes iso pièzes sont plus ou moins parallèles entre elles. L'écoulement se fait globalement vers le nord et présente avec un gradient variant de 1 à 4 ‰. Dans la zone orientale, l'écoulement se fait vers le NNE, et s'oriente vers l'oued Beht. Le gradient est quasi constant et est de l'ordre de 2 ‰.

Dans la limite sud de la nappe, les courbes iso pièzes sont perpendiculaires à la limite de la nappe car celle-ci est formée par les marnes miocènes imperméables.



**Fig. 7 : Carte piézométrique de la nappe de la MAAMORA (Rèf.fait par les données de l'ABHS et le logiciel ARC.GIS)**

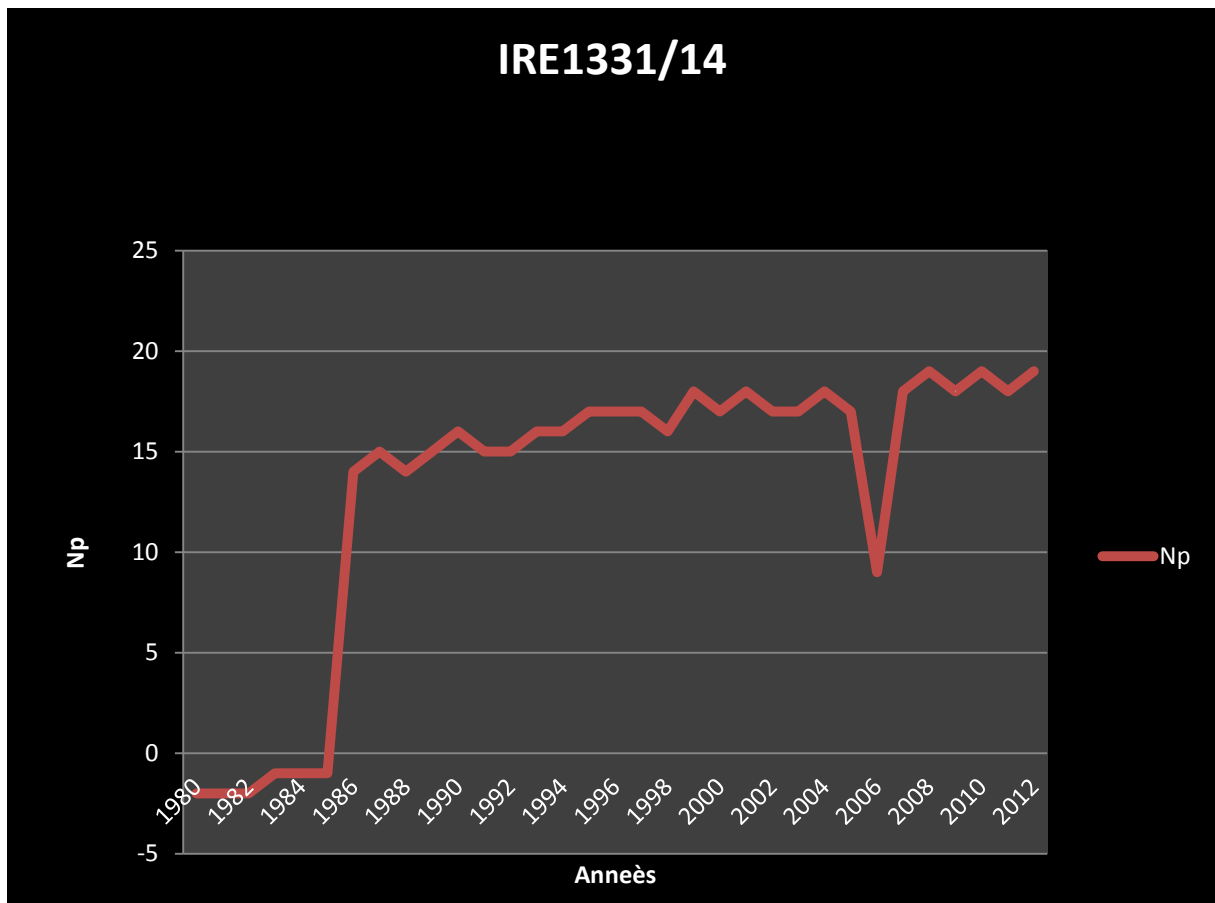
#### 5.4. Historique piézométrique

L'évolution temporelle du niveau piézométrique de la nappe est caractérisée à partir des résultats des mesures effectuées au niveau des ouvrages du réseau de contrôle de l'état de la nappe. Correspondent aux trois piézomètres types de la nappe, contrôlant les secteurs orientaux (1331/14), central (1807/14) et côtier (3342/14), (Fig.8 a.b.c).

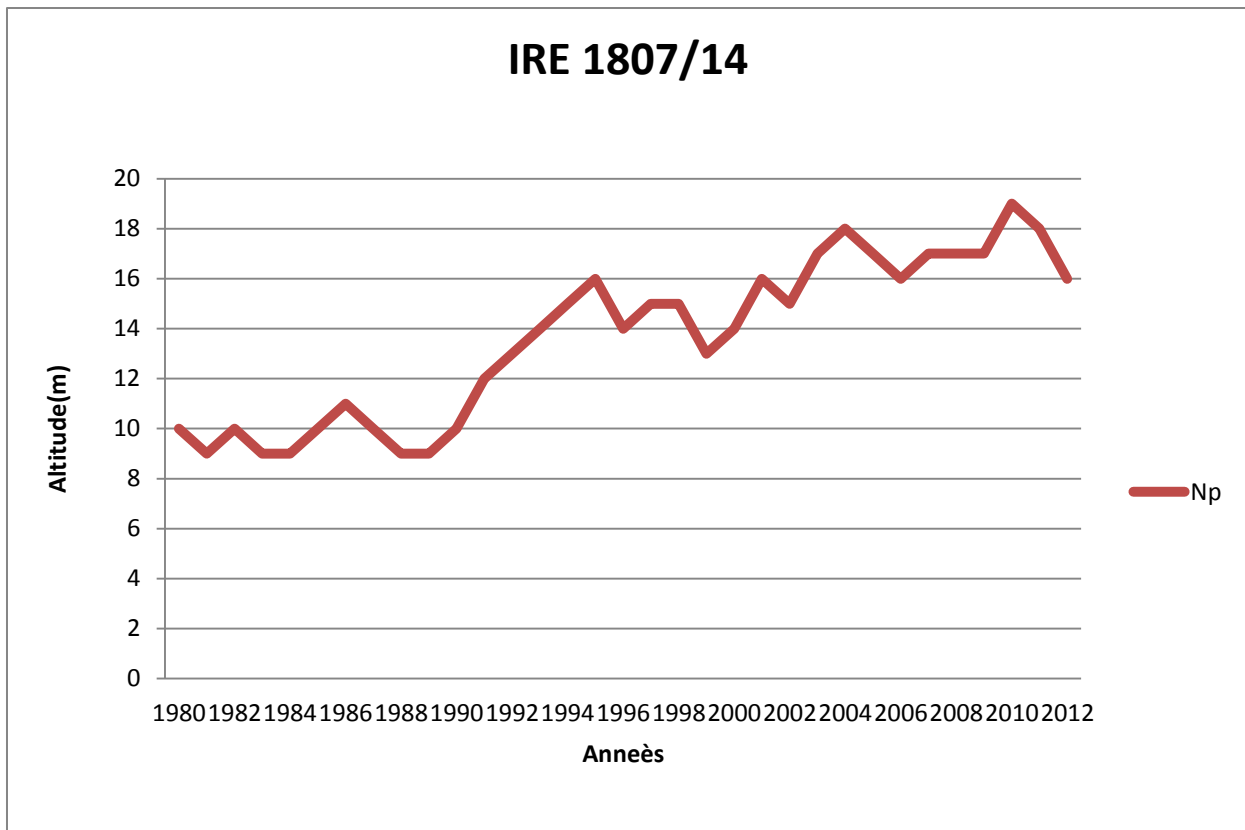
Ces trois piézomètres montrent les mêmes tendances : diminution du niveau piézométrique de la zone orientale à partir de 1980, et une augmentation de 1986 après une légère tendance ainsi une nouvelle baisse de 2004 et une remontée continu. Au niveau de piézomètre contrôle la zone centrale, on note une légère tendance et à partir de 1992 une remontée du niveau piézomètre jusqu'au 1996 ainsi une variation continu au cours des années.et finalement pour la zone côtière à partir de 1980 une augmentation du niveau piézométrique et une diminution à partir de 1986ainsi une stabilisation continu au cours des années.

Ces fluctuations sont directement liées aux variations des précipitations enregistrées durant les quinze dernières années. En effet, l'analyse des précipitations montre qu'elles sont en baisse depuis 1990. L'année 1995 est particulièrement pluvieuse, ce qui explique la remonté des niveaux piézométriques à partir de 1996.et puis la baisse de ce niveau à partir de 1 année 2006 jusqu' au 2012.

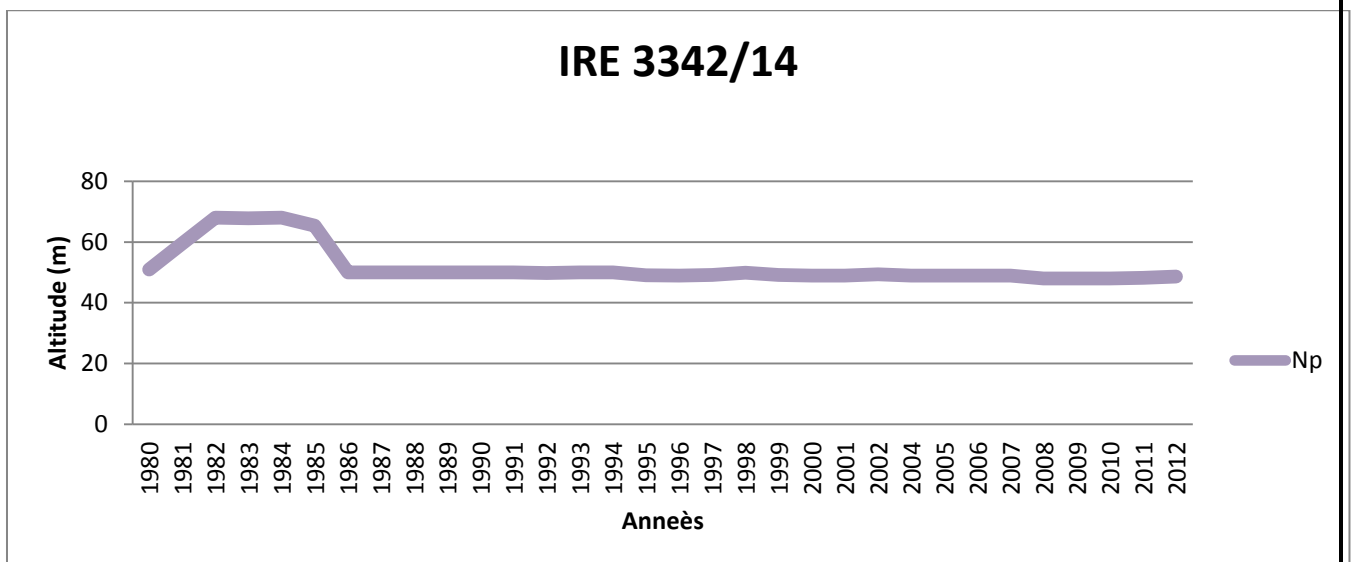
## IRE1331/14



**Fig.8a : Evolution du niveau piézométrique de la Zone orientale de la nappe MAAMORA**



**Fig.8b : Evolution du niveau piézométrique de la zone centrale de la nappe MAAMORA**

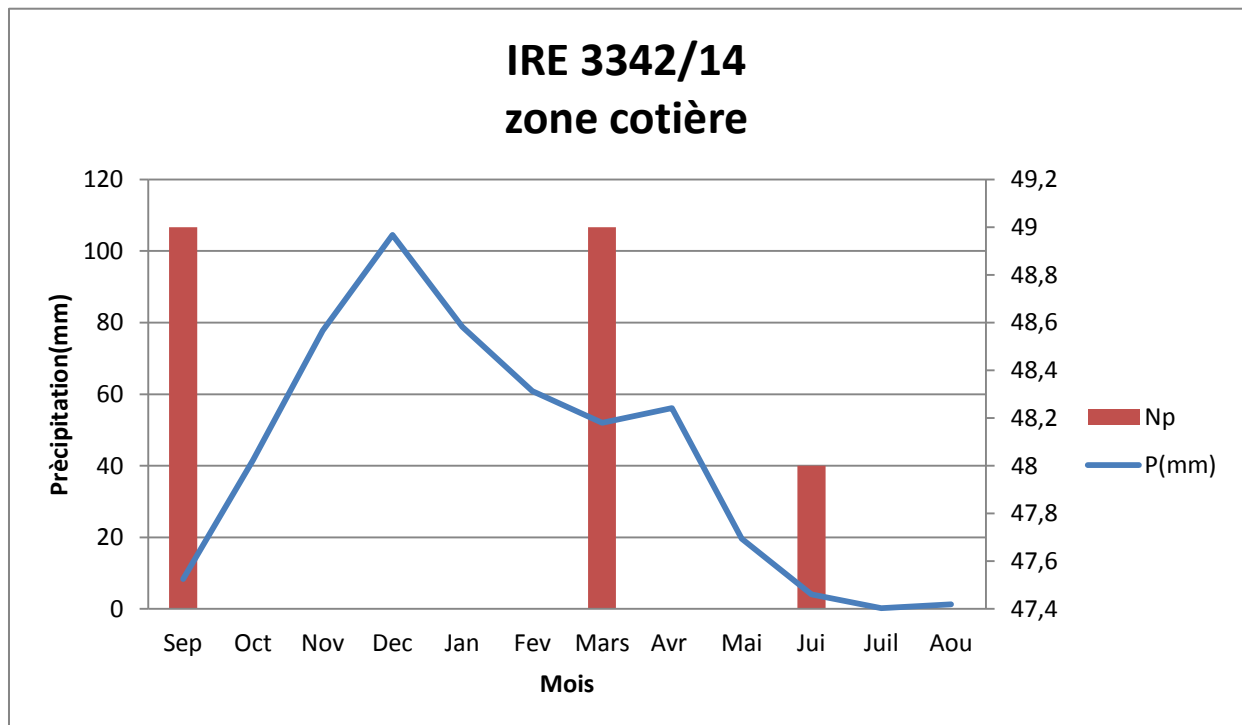


**Fig.8c : Evolution du niveau piézométrique de la zone côtière de la nappe de la MAAMORA**

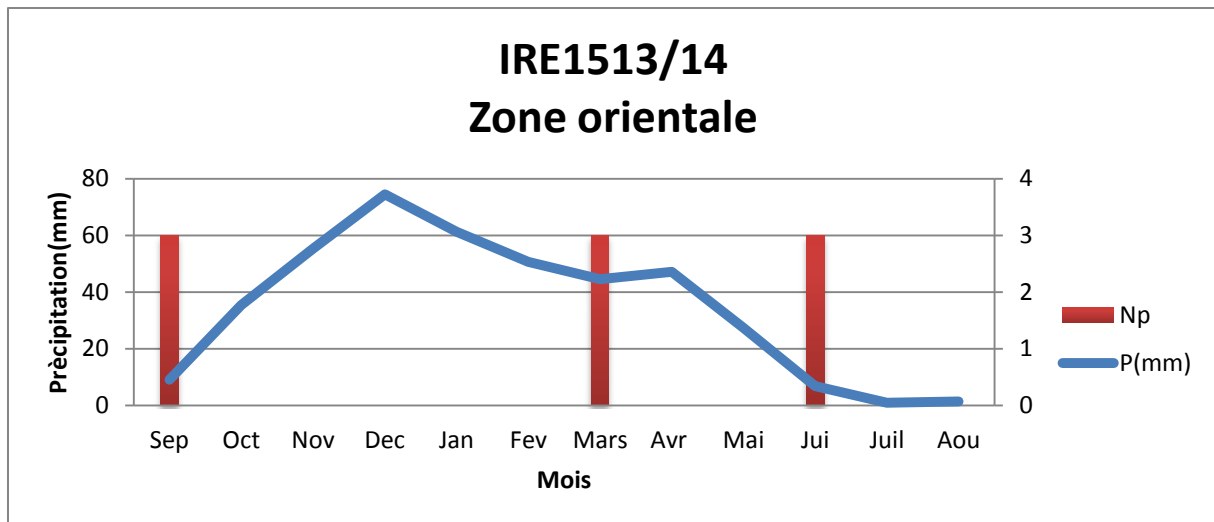


## 5.5. Analyse des variations saisonnières de la piézométrie

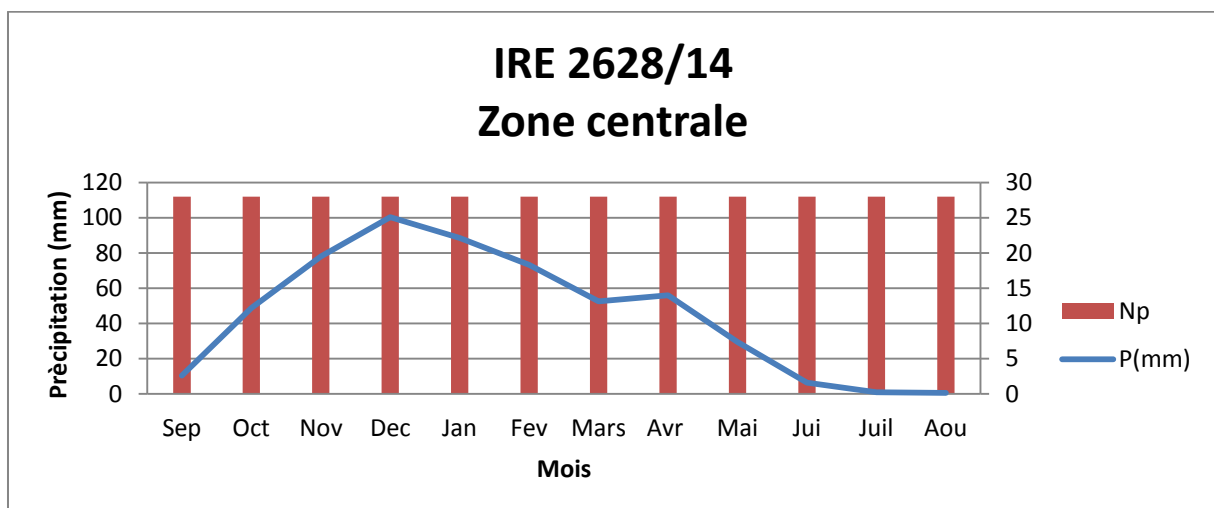
Les figures si dessous montrent les variations piézométriques enregistrées au niveau des mêmes piézomètres de contrôle durant l'année 2003 (vu que les formations climatique ne sont pas disponible pour l'année 2012 alors on a pris ceux de 2003 et le niveau piézométrique de la même année) ainsi que les précipitations relevées au niveau de la station Rabat-Salé pour la zone côtière le piézomètre 3342/14 de ( $Z=67$  et Niveau statique= $18,19$  ce qui donne le Niveau piézométrique= $49,48$ ) et celle enregistrées à Sidi Slimane pour la zone orientale 1513/14 de ( $Z=18$  et Niveau statique= $15$  ce qui donne le Niveau piézométrique= $3$ ). Et celle de Kenitra Pour la zone centrale 2628/14 de ( $Z=49$  et Niveau statique= $21$  ce qui donne le Niveau piézométrique= $28$ ), et on a pris deux piézomètres réduits là ou en mesure le niveau piézométrique 3mois par an .ainsi un piézomètre globale là ou en mesure le niveau piézométrique mensuellement durant l'année. (Fig.9a, b, c).



**Fig. 9a : Variations saisonnières d'un piézomètre réduit dans la zone côtière de la nappe de MAAMORA Pour l'année 2003**



**Fig. 9b : Variations saisonnières d'un piézomètre réduit dans la zone orientale de la nappe de MAAMORA Pour l'année 2003**



**Fig. 9c : Variations saisonnières d'un piézomètre globale dans la zone centrale de la nappe de MAAMORA Pour l'année 2003**

L'interprétation des fluctuations piézométriques, par comparaison aux graphiques des pluviométries mensuelles, permet d'étudier le comportement de la nappe suivant la saison et sa réponse suite aux précipitations. L'analyse de ces fluctuations permet de tirer les conclusions suivantes :

- La nappe dans la zone côtière répond plus rapidement que dans la zone centrale. Ceci est dû à la perméabilité des terrains et à la faible profondeur de nappe dans cette zone,
- Le retard d'infiltration peut être estimé à 2 ou 3 mois dans la zone centrale alors qu'il n'est que de 1 mois, voir moins, dans la zone côtière.

## 5.6. Caractéristiques hydrodynamiques

### 5.6.1. Transmissivité

- Une zone côtière où la transmissivité varie entre  $2,5 \cdot 10^{-2}$  et  $10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$ ,
- Une zone parallèle à la côte, située autour de la base militaire de Sidi Bouknadel où la transmissivité est entre  $10^{-1}$  et  $2 \cdot 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$ . La zone irriguée d'El Menzeh et celle de Fouarat présentent également des transmissivité de même grandeur,
- Dans la MAAMORA centrale, au niveau de l'oued Fouarat, et dans la partie avale de l'oued Smento, la transmissivité varie entre  $6 \cdot 10^{-3}$  et  $2,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ ,
- Pour le reste de la nappe, la transmissivité se situe entre  $10^{-3}$  et  $6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ .

### 5.6.2. Perméabilité

Ce paramètre est relativement faible au voisinage de Sidi Yahya ( $10^{-4}$  à  $8 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ ). Il augmente au voisinage de Kenitra où il varie entre  $5 \cdot 10^{-4}$  et  $3 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ . Dans la région de Bouknadel, il est de  $2 \cdot 10^{-4}$  à  $4 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ .

### 5.6.3. Coefficient d'emmagasinement

Dans les forages où ce paramètre est disponible, on peut dire que celui-ci varie de  $10^{-3}$  à  $2 \cdot 10^{-3}$  au voisinage de Sidi Yahya. Dans la région de Kenitra, il varie entre  $10^{-3}$  et  $17 \cdot 10^{-2}$ . Il est de  $35 \cdot 10^{-3}$  dans le forage de Taicha au voisinage de la zone agricole de Bir Rami. Au niveau de Bouknadel, il se situe entre  $2 \cdot 10^{-3}$  et  $26 \cdot 10^{-3}$ .

### 5.6.4. Epaisseur et réserves

L'épaisseur réelle de la nappe est male connue sauf dans le secteur situé entre Bouknadel et Kenitra et l'oued Tiflet. Dans la moitié Sud du plateau de la MAAMORA l'épaisseur de la nappe est très faible. L'aquifère s'épaissit progressivement du Sud vers le Nord où il atteint une centaine de mètres de puissance au niveau de la route Kenitra-Sidi Yahia. L'épaisseur moyenne peut être évaluée à 50 m sur une extension d'environ  $1000 \text{ km}^2$ . Si on considère que le coefficient d'emmagasinement est de l'ordre de  $10^{-2}$ , les réserves totales peuvent être estimées grosso modo à  $500 \text{ Mm}^3$ .

## **5.7. BILAN DE LA NAPPE**

Selon le type de données disponibles et l'objectif visé, plusieurs conceptions du bilan peuvent être envisagées. Le but étant de retrouver l'impact des exploitations sur la ressource moyenne en vue d'une planification à long terme, nous tenterons d'établir un bilan moyen. Ce bilan confronte des conditions d'exploitation récentes à des conditions d'apport moyennes sur une longue période.

Pour la nappe de la MAAMORA, la recharge est assurée exclusivement par l'infiltration des eaux des précipitations. Les sorties de la nappe sont constituées de :

- Ecoulement vers l'Océan
- Ecoulement vers le Gharb
- Drainage par les oueds
- et par Les prélèvements.

### **5.7.1. Alimentation de la nappe**

L'alimentation de la nappe de la MAAMORA est assurée exclusivement par l'infiltration des eaux de pluie. Le taux d'infiltration a été évalué par la méthode du bilan hydrique de Thornthwaite. Pour la période comprise entre 1973 et 2003. Cette méthode consiste à faire pour chaque mois le bilan entre l'ETP et l'eau disponible. Cette dernière est constituée de l'eau de précipitation plus l'eau stockée dans le sol. L'excédent de l'eau disponible qui échappe à l'évaporation va d'abord servir à reconstituer le stock de l'humidité du sol du mois suivant et c'est uniquement le surplus qui peut s'infiltrer. Le ruissellement est considéré comme négligeable (la plus part des cours d'eau sont presque toujours à sec). Pour la RFU, étant donné la nature sableuse des terrains qui affleurent à la MAAMORA, nous avons considéré une valeur moyenne de 100 mm. L'ETP utilisée pour le calcul du bilan de Thornthwaite a été calculée par la formule de Penman qu'on estime plus fine que la formule de Thornthwaite car elle utilise plus de paramètres intervenant dans le processus de l'évapotranspiration. Malheureusement, toutes les stations climatiques ne sont pas équipées pour mesurer les paramètres nécessaires pour l'application de la formule de Penman. Pour la MAAMORA, nous avons utilisés les relevés de la station de Souk Talata.

Etant donné l'importance des variations annuelles des précipitations, nous avons procédé au calcul du bilan de Thornthwaite pour chaque année agricole et pour chacune des trois stations.

Les tableaux de l'annexe 1 montrent les résultats du bilan de Thornthwaite et montre que le coefficient d'infiltration des précipitations varie entre 0% (année 1974-1975, 80-81, 91-92 et 92-93...) et 49.6% (année 1996-1997).

Les valeurs moyennes obtenues sont reportées dans le tableau 4 et le détail des résultats est reporté en annexe.

Stations	Rabat-Salé	Kenitra	Sidi Slimane
Lame infiltrée (mm)	133,8	151,3	61,7
Taux d'infiltration (%)	22,5	24,1	11,7

**Tableau 4 : Résultats du calcul de la moyenne annuelle de la lame d'eau infiltrée**

Pour calculer la valeur moyenne des précipitations et du taux d'infiltration au niveau de toute la nappe, nous prendrons la valeur moyenne de la station de Rabat-Salé et celle de Kenitra pour caractériser la zone côtière et celle de Sidi Slimane pour caractériser la zone interne. La valeur moyenne de ces deux valeurs constituera la valeur retenue pour le paramètre considéré.

(Soit : P moyenne = 469,5 et Taux d'infiltration moyen = 17,5%).

L'alimentation de la nappe de la MAAMORA par l'infiltration des eaux de précipitation, étant donné que le ruissellement est négligeable, peut donc être évaluée, pour une surface planimétrée de 1820 km<sup>2</sup>, à :

$$I = P(\text{moy}) * \text{Surface} * \text{Taux } I(\text{moy})$$

$$I = 469,5 \cdot 10^{-3} \times 1820 \cdot 10^6 \times 0,175$$

$$I = 150 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$$

Le retour des eaux d'irrigation a été négligé car l'expérience a montré que lorsque l'irrigation est assurée à partir des eaux de pompage, l'infiltration est négligeable car les volumes pompés ne permettent pas d'assurer la saturation du sol pendant suffisamment longtemps pour que l'excédent puisse s'infiltrer et ce pour des raisons économiques.

### 5.7.2. Sorties de la nappée

Elles se subdivisent en deux catégories :

- Sorties aux exutoires naturels de la nappe,
- Prélèvements.

### 5.7.3. Exutoire naturels

#### a. Déversement vers la nappe du Gharb

Il peut être calculé à l'aide de la formule :  $Q = T L I$

Avec :

Q = débit alimentant la plaine du Gharb

T = transmissivité

L = longueur du front de la nappe  
I = gradient hydraulique.

Etant donné la non homogénéité de l'aquifère et la non uniformité du gradient hydraulique, le contact Gharb-MAAMORA sera subdivisé en deux fronts. Un front de 15,6 km de longueur présentant un gradient de l'ordre de 4‰ et un front de 20,3 km avec un gradient plus faible de l'ordre 1‰. Pour la transmissivité, selon les études antérieures, elle varie dans la zone centrale entre  $6 \cdot 10^{-3}$  et  $2,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ . Nous avons retenu une moyenne de  $1,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Le calcul des débits déversés par la MAAMORA dans la Nappe du Gharb donne respectivement  $0,9 \text{ m}^3/\text{s}$  pour le premier front et  $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$  pour le second, ce qui correspond à un total de  $38 \text{ Mm}^3/\text{an}$ .

## **b. Ecoulement vers la mer**

Pour la zone côtière qui s'étend sur une longueur de 22 km, nous avons retenu un gradient moyen de 2,5 ‰. La transmissivité moyenne retenue pour la zone côtière est de  $5,9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  (forages : 1156/13, 1158/13 et 1455/13). Le calcul du débit déversé en milieu marin peut alors être estimé à  $0,32 \text{ m}^3/\text{s}$  soit environ  $10,2 \text{ Mm}^3/\text{an}$ .

Dans la partie Est, comme il a déjà été mentionné, la nappe du Gharb s'écoule vers l'oued Beht sur un tronçon d'environ 6 km. Le gradient hydraulique dans cette zone est estimé à 2,4‰ et la transmissivité à  $1,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ . A partir de ces valeurs le débit drainé par l'oued Beht peut être estimé à  $0,225 \text{ m}^3/\text{s}$  soit environ  $7 \text{ Mm}^3/\text{an}$ .

### **5.7.4. Prélèvements**

Les exploitations dans cette zone se subdivisent suivant l'usage en :

- Usage domestique (ONEP, RAK...)
- Prélèvements agricoles

De tous les flux affectant la nappe, les prélèvements pour l'AEP sont les mieux connus.

Selon les résultats du suivi des prélèvements réalisé par l'ABHS, ils sont estimés (pour l'année 2000) à  $42 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$  : dont  $30 \text{ Mm}^3/\text{an}$  prélevés par l'ONEP et  $12 \text{ Mm}^3/\text{an}$  par la RAK. Ces prélèvements, qui peuvent paraître élevés, servent en plus de l'AEP de Kenitra, à l'AEP de Sidi Taibi et Salé ainsi qu'à sécuriser l'AEP de Casablanca.

Pour les prélèvements agricoles, nous avons utilisé les résultats de l'étude menée par ADI en février 2006.

Selon cette étude, la superficie irriguée au niveau de la MAAMORA est estimée à 9451 ha. Cette méthode a essayé d'approcher les prélèvements agricoles en essayant de calculer les besoins par la méthode du bilan hydrique et les comparer aux besoins estimés à partir des consommations nettes. La première méthode évalue les prélèvements à  $5776 \text{ m}^3/\text{ha}$ , la seconde donne une valeur de l'ordre de  $4964 \text{ m}^3/\text{ha}$ . Nous retiendrons une valeur moyenne de  $5370 \text{ m}^3/\text{ha}$  soit un prélèvement total de l'ordre de  $50 \text{ Mm}^3/\text{an}$ .

En supposant un taux de retour des eaux d'irrigation de 20 %, étant donné la nature sableuse de la MAAMORA, le débit annuel serait de  $10 \text{ Mm}^3/\text{an}$ .

Pour l'AEP rurale, l'étude menée par le CID a montré que la population rurale totale de la MAAMORA est de 66782 habitants mais seul 8170 sont alimentés à partir de la nappe. Pour un besoin moyen de 30 l/hab./j, le débit prélevé pour l'AEP rurale ne serait que de 90000 m<sup>3</sup>/an.

Dans le bilan global de la nappe, ce terme sera négligé.

La nappe de la MAAMORA alimente également plusieurs industries dont : les huileries, INAGRA, COLAIT SETEXAM, SITAL, ONE, CMCP mais surtout cellulose du Maroc qui à elle seule prélève plus de 14 Mm<sup>3</sup>/an.

Le tableau 5 présente les différents éléments du bilan.

<b>ENTRÉES</b>	<b>Mm<sup>3</sup>/an</b>
Infiltration des eaux de pluie	150
Retour d'irrigation	10
Entrées totales	<b>160</b>
<b>SORTIES</b>	
Sortie vers la mer	10
Déversement vers le Gharb	38
Drainage par l'oued Beht	7
Prélèvements AEP	42
Prélèvements par l'industrie	25 <sup>(1)</sup>
Prélèvements agricoles	50
Sorties totales	<b>172</b>
Bilan (Entrées-Sorties)	<b>-12</b>

**Tableau 1 : Bilan des ressources en eau de la nappe de la MAAMORA**

On peut donc tirer la conclusion que le bilan de la MAAMORA est déficitaire.

Cette conclusion est confirmée par la baisse des niveaux piézométriques surtout dans la région centrale de la nappe. Cette diminution étant due à la baisse de l'alimentation de la nappe suite à la diminution des précipitations d'une part, et à l'augmentation des sollicitations de cet aquifère d'autre part.

# **Chapitre 2**

**Qualité de l'eau de nappe MAAMORA**



## 1. Hydrochimie

La nappe de la MAAMORA est réputée pour la bonne qualité de ses eaux. Les différentes analyses réalisées soit à l'occasion de la réalisation d'un ouvrage, soit pour le contrôle de la qualité de l'eau prélevée (en particulier pour l'AEP), montrent la bonne qualité des eaux de la nappe de la MAAMORA. L'eau est bonne tant pour un usage domestique qu'à un usage agricole. Ces eaux présentent un faciès bicarbonaté calcique, ce qui traduit la nature des formations aquifères constituées majoritairement de sable et grès calcaires.

Le résidu sec varie entre 400 et 900 mg/l, avec des anomalies ponctuelles pouvant atteindre 4 g/l. La teneur en chlore est de l'ordre de 200 mg/l en moyenne. Elle atteint accidentellement 3 g/l (piézomètre 1121/13). Le pH est de l'ordre de 7.

Il faudrait cependant vérifier l'impact des exploitations côtières sur l'évolution du biseau salé car son intrusion conduira à un changement du faciès bicarbonaté calcique en faciès chloruré sodique. Pour déterminer la position actuelle du biseau salé et pouvoir suivre son évolution dans le temps et dans l'espace, il faut disposer de plusieurs séries de piézomètres de contrôle implantés perpendiculairement à la côte pour déterminer avec précision la surface piézométrique de la nappe le long de la zone côtière et surtout au niveau des zones fortement sollicitées comme les zones agricoles côtières où les champs de captages. La connaissance de cette surface piézométrique permet de déduire la position de l'interface eau douce/eau salée en utilisant la relation de Ghyben-Herzberg.

Paramètres	excellente	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
Conductivité US/Cm	<400	400-1300	1300-2700	2700-3000	>3000
Chlorures mg/l	<200	200-300	300-750	750-1000	>1000
No3 mg/l	<5	5_25	25-50	50-100	>100
NH4 mg/l	<0,1	0,1-0,5	0,5-2	2_8	>8
MO mg/l	<3	3_5	5_8	>8	-
CF/100 ml	<=20	20-2000	2000-20000	>20000	-

**Tableau6 : les normes de différents paramètres pour les différents types de qualité (Etat 2012)**

Le tableau ci-dessus montre les normes des paramètres (cond, Cl, No3, Mo, CF) afin de les classer parmi les différents types de qualité de excellente jusqu'au très mauvaise.

X (km)	Y (km)	nature du point de prélèvement	Cond.	Cl	NO3	NH4	CF	Qualité globale
			mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
419.545	4000.390	Piézomètre HAOUDA	1575	199	2.19	0.155	0	très mauvaise
399.103	385.013	Puit eau et foret	1225	251	37.5	0.039	0	moyenne
415.173	407.690	Puits Aabdel lah Bahit	680	91.8	81.4	<0,006	0	très mauvaise
393.059	410.182	Forage one zone industriel	3830	1166	12.3	<0,006	0	très mauvaise
415.701	389.506	Puits CHAYKH ZAID	1175	244	11.7	0.051	0	bonne
411.269	395.109	Puits MEFADEL	2340	879	2.26	0.281	0	mauvaise
426.650	347.500	Puits AIN ASSOU	1000	139	309	<0,006	40	très mauvaise
396.246	380.262	Puit BREQUETRIE	2100	344	17.4	<0,006	0	très mauvaise
381.101	389.429	Puits ABD NABI BOUTABEQ	915	82.6	140	<0,006	4	très mauvaise
373.425	389.458	Puits ferme SLAOUI	1435	232	232	<0,006	0	très mauvaise
377.627	394.102	Forage Dar BEL GHAZI	610	50.4	66	<0,006	0	très mauvaise
380.464	399.760	Puits AMRAMRA BOURABA	1205	169	222	<0,006	0	très mauvaise
381.367	396.544	Puits FRANA ARBI	796	89	15.7	0.006	0	mauvaise
387.765	397.425	Puits DOUAR ZDARGH	665	67	39.6	<0,006	2	très mauvaise
482.000	407.090	Forage Complexe MEHDIA	995	106	87.8	0.01	0	mauvaise

**Tableau 6 : Qualité globale des eaux de la nappe MAAMORA  
(Etat 2012)**

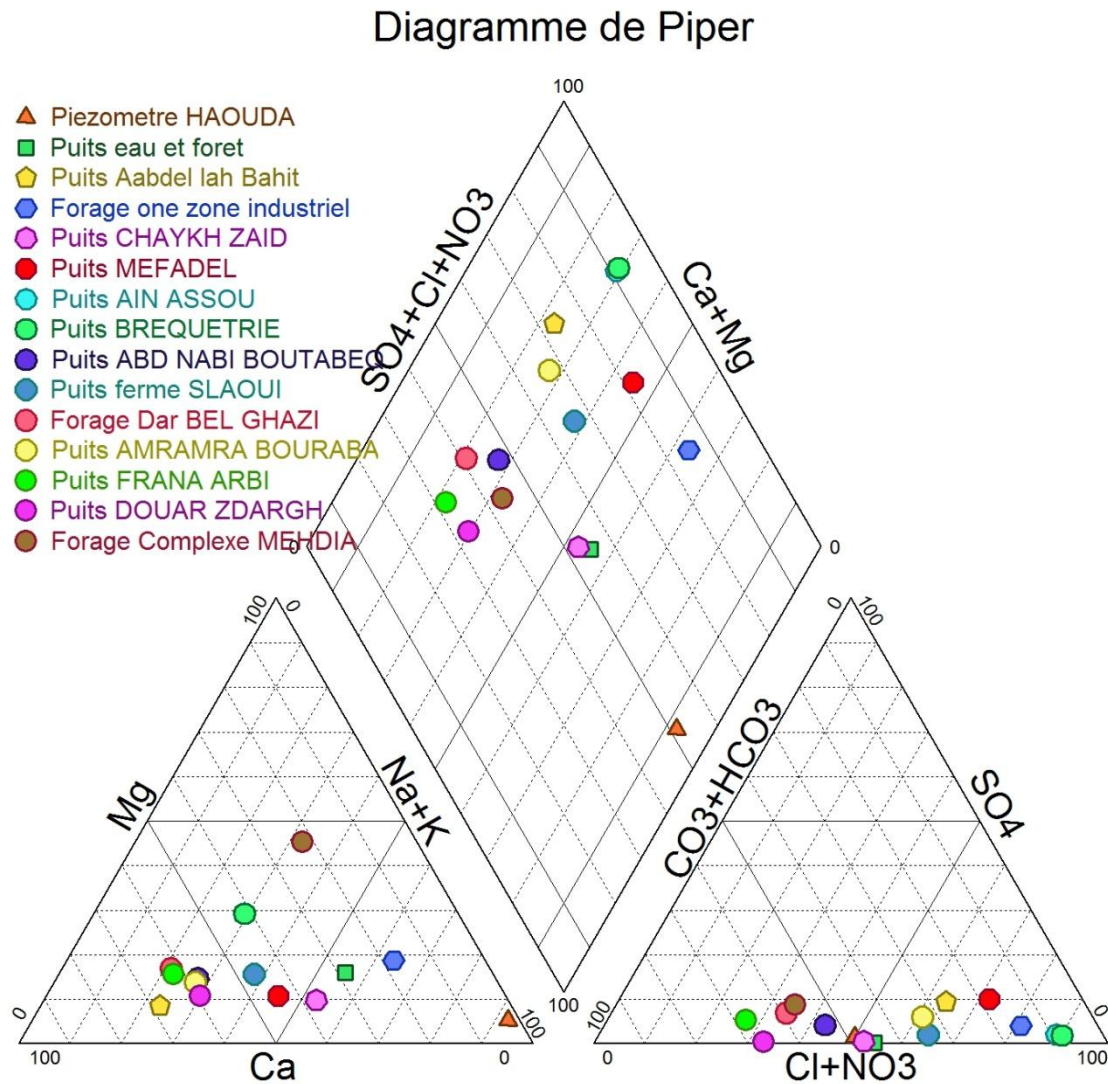
**Le tableau si dessus montre les différentes quantités des différents éléments chimiques à partir de chaque piézomètre répartis dans toute la nappe Maamora**

## 2. Facies hydro chimiques

Le diagramme de piper est composé de deux triangles permettant de représenter les faciès cationique et les faciès anionique, et d'un losange synthétisant le faciès global.

Ce type de diagramme est particulièrement adaptée pour étudié l'évolution du faciès des eaux lorsque la minéralité augmente ou bien pour distingué des groupes d'échantillons(Fig.10).

Et sur le diagramme représenté on a :



**Fig.10 : Diagramme de piper(2012)**

D'après le diagramme de piper on constate que :

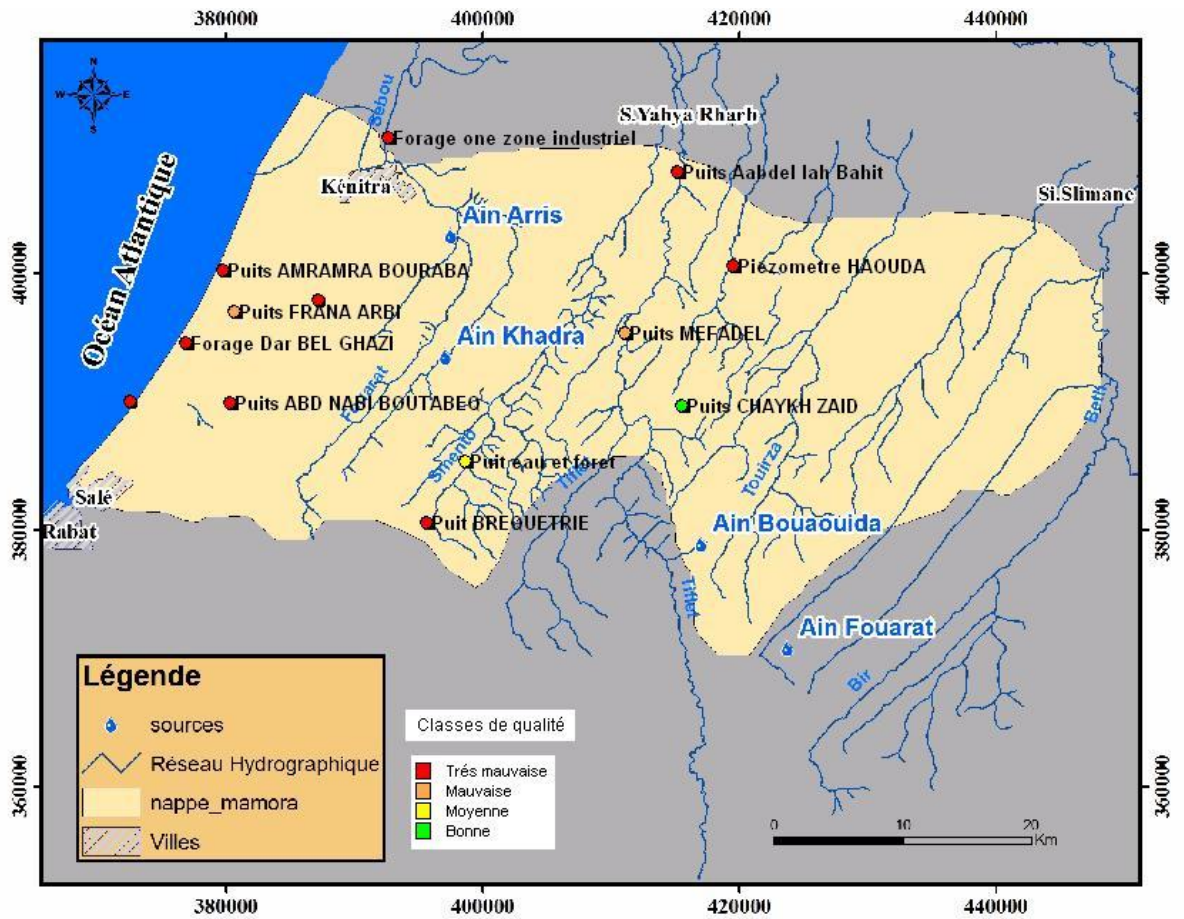
- La zone côtière (ex : AMRAMRA BOURABA) est caractérisée par des faciès chimiques et magnésienne ( $\text{So}_4\text{Cl No}_3\text{CaMg}$ ). (existence d'un réservoir sable argileux et sable à calcaire dunaire).
- La zone centrale (ex : CHEIKH ZAID) est caractérisée par des faciès chimiques de type chlorurée sodique et potassique ou sulfate sodique ( $\text{So}_4\text{ClNo}_3\text{NaK}^+$ ). (zone d'agriculture et d'industrie).
- La zone orientale (ex : HAOUUDA) est caractérisée par des faciès chimiques de type chlorurée sodique et potassique ou sulfate sodique ( $\text{So}_4\text{ClNo}_3\text{NaK}^+$ ).

**Remarque** : une variation des faciès chimiques du à l'écoulement de l'amont vers l'aval dans la zone côtière (du forage DAR BEL GHAZI de faciès chimique  $\text{Co}_3\text{HCo}_3\text{CaMg}$ , Et puits AMRAMRA BOURABA de faciès chimique  $\text{So}_4\text{Cl No}_3\text{CaMg}$ ).

### 3. Notion sur la carte de qualité

La carte de qualité si dessous montre la qualité des différentes zones orientale, centrale et côtière :

- ✚ La zone côtière est caractérisée par une très mauvaise qualité (les deux puits amramra bouraba, dar bel Ghazi) par ce qu'il est influencé par l'infiltration des biseaux salé.
- ✚ La zone orientale montre une bonne qualité par ce qu'il représente une activité élevée d'agriculture ainsi un centre d'irrigation (ex : Puits cheikh zaid)
- ✚ La zone centrale à une mauvaise qualité (ex : Puits Mefedal) et moyenne qualité (Ex : Puits eau et foret) c'est une zone d'agriculture et localement une zone d'industrie.



**Fig.11 : La carte de qualité globale de la nappe MAAMORA (Rèf.faita par les données de l'ABHS et le logiciel ARC.GIS)**

## 4. Problématique de La nappe Maamora

### 4.1 Etude de problématique

L'objectif visé par l'ABHS est de déverser les tendances de baisse des niveaux piézométriques. Cet objectif est basé sur le rééquilibrage des valeurs des prélèvements et de recharge.

En effet, le problème initial des nappes c'est la surexploitation. Cette politique vise donc à combler le besoin en Alimentation en Eau Potable urbain et rural ainsi que les besoins en eau pour l'irrigation. D'autant plus, la demande en eau est sans cesse en croissance face à des ressources de plus en plus rares.

La plupart des nappes souterraines du Bassin de Sebou sont déficitaires (la nappe du Fès-Meknès, la nappe du Gharb, la nappe du MAAMORA, la nappe du Bou Agba et la nappe du Taza) et il y a même celle qui sont menacées par l'intrusion d'eau de mer tel que les nappes côtières (la nappe du Mnsara, la nappe du Gharb, la nappe du MAAMORA et celle du Drader souier).

L'objectif principal est de mieux comprendre le fonctionnement des aquifères du bassin de Sebou :

- ✚ La détermination de l'origine de la salinité.
- ✚ L'évolution de la qualité des eaux.

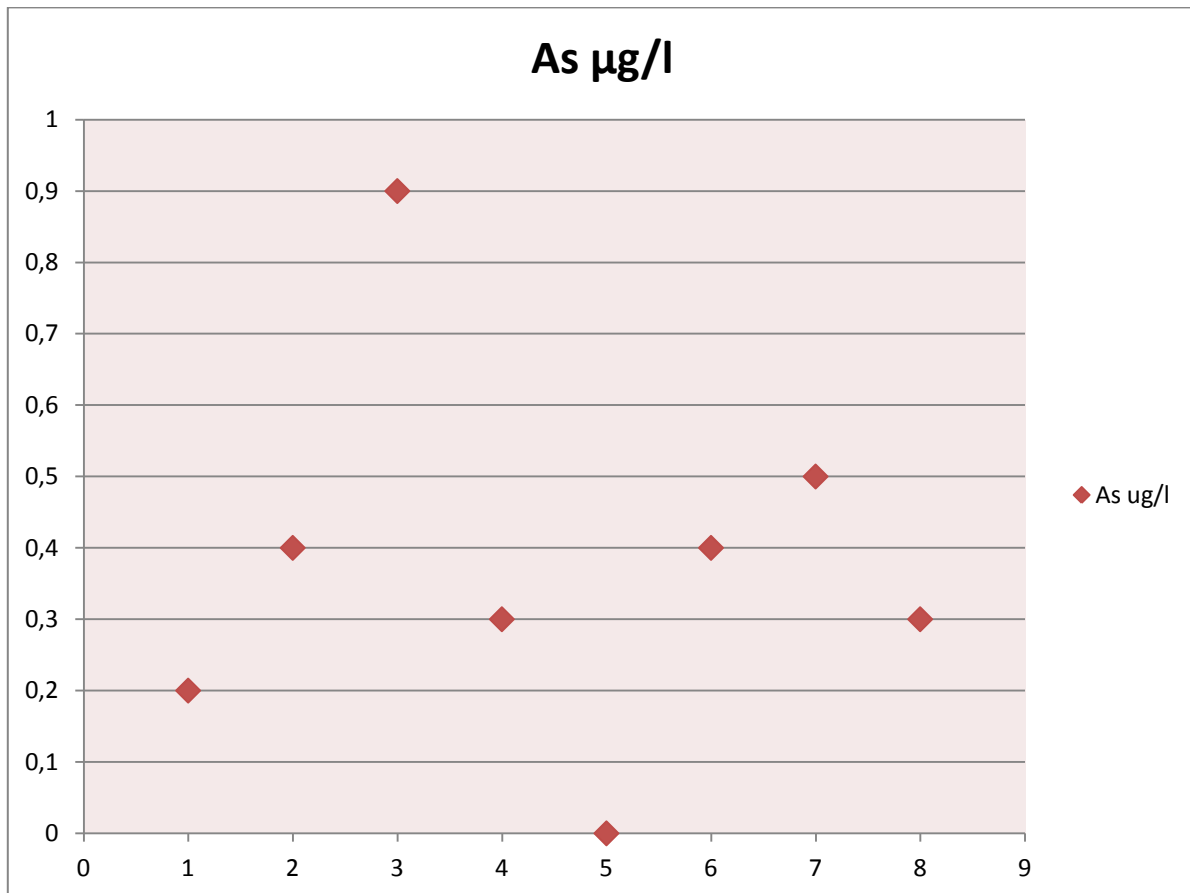
Au plan national, la question de l'approvisionnement en eau devient chaque jour plus préoccupante, le risque vital de pénurie d'eau amené les autorités à investir la gestion des ressources hydriques.

Vu les risques majeurs qui présentent les métaux lourds existant à

L'échelle de trace sur la santé humaine, il est devenu important de contrôler ces éléments dans les eaux souterraines, ce qui va apporter des informations complémentaires à celle fournie par les éléments majeurs.

Des échantillons prise au niveau de l'élément As ( $\mu\text{g/l}$ ) :

Echantillons	1	2	3	4	5	6	7	8
As $\mu\text{g/l}$	0.2	0.4	0.9	0.3	0	0.4	0.5	0.3

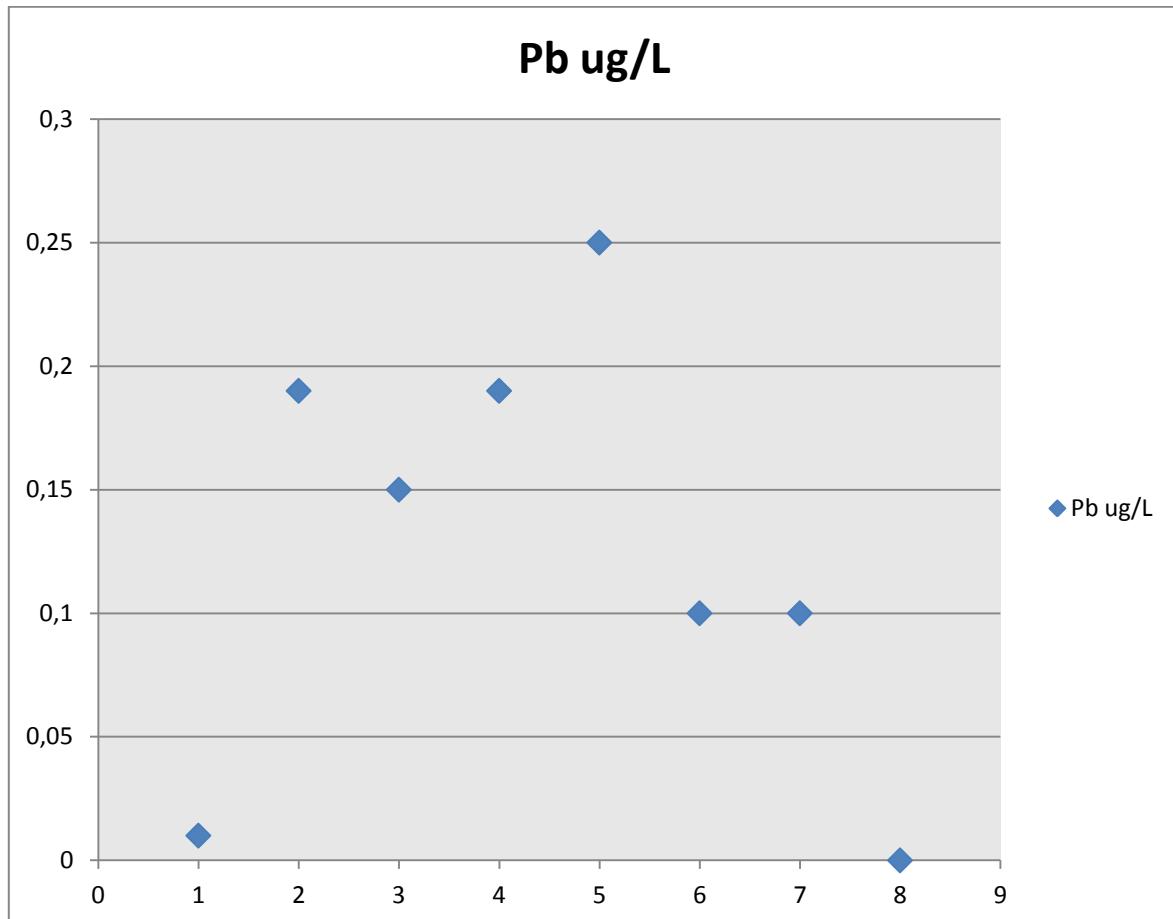


**Fig.11 : Diagramme d'élément en trace As  
(Etat 2012)**

- Dans le diagramme si dessus on remarque des variations dans les quantités de l'élément en trace As ( $\mu\text{g/l}$ ) dans les différents échantillons prélevée dans les différentes zones de la nappe.
- les valeurs minimum trouvée dans l'échantillon cinq est de  $0.01\mu\text{g/l}$ .
- Les valeurs maximum trouvée dans l'échantillons trois est de  $0.9\mu\text{g/l}$ .

Des échantillons prise au niveau de l'élément Pb ( $\mu\text{g/l}$ ) :

Echantillon	1	2	3	4	5	6	7	8
Pb $\mu\text{g/l}$	0.01	0.19	0.15	0.19	0.25	0.1	0.1	0



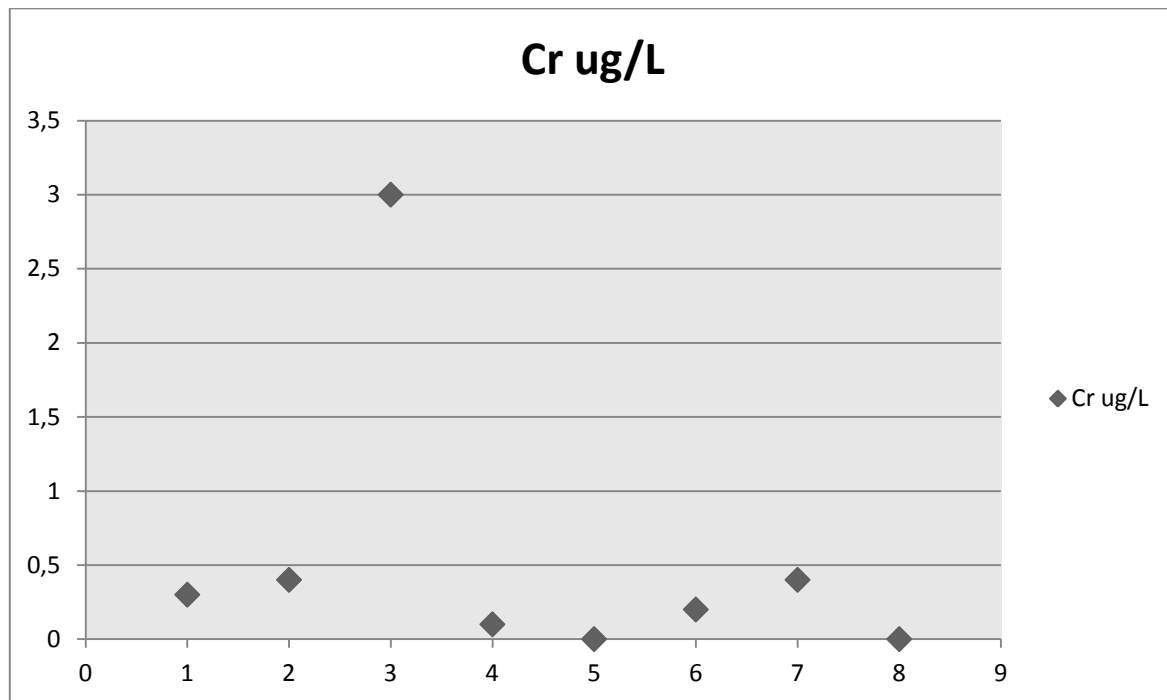
**Fig.12 : Diagramme d'élément en trace Pb ( $\mu\text{g/l}$ )  
(Etat 2012)**

- Dans le diagramme si dessus on remarque des variations dans les quantités de l'élément en trace Pb ( $\mu\text{g/l}$ ) dans les différents échantillons prélevée dans les différentes zones de la nappe.
- les valeurs minimum trouvée dans l'échantillon huit est nul.
- Les valeurs maximum trouvée dans l'échantillons cinq est de  $0.25\mu\text{g/l}$ .



Des échantillons prise au niveau de l'élément Cr ( $\mu\text{g/l}$ ) :

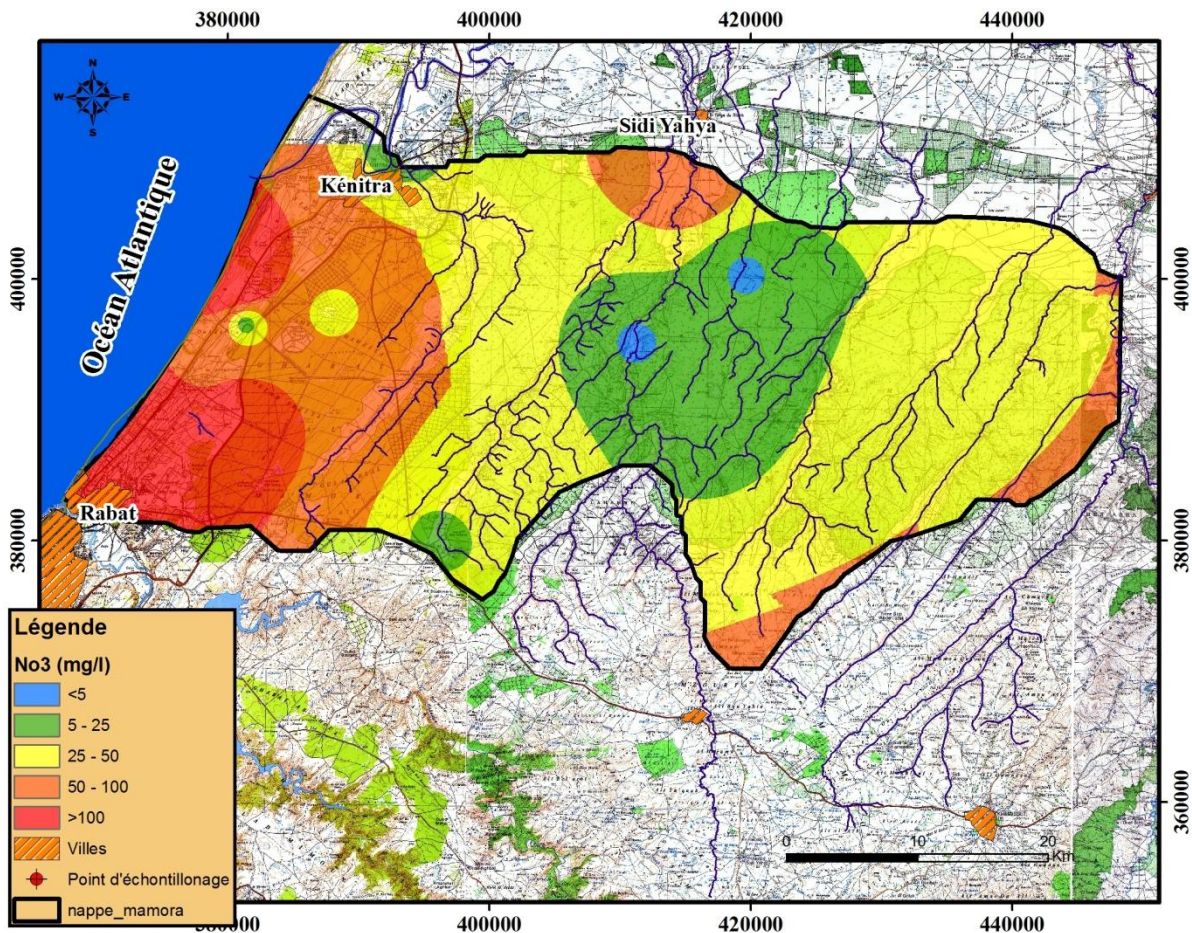
Echantillon	1	2	3	4	5	6	7	8
Cr $\mu\text{g/L}$	0.3	0.4	3	0.1	0	0.2	0.4	0



**Fig.12 : Diagramme d'élément en trace Cr ( $\mu\text{g/l}$ ) (Etat 2012)**

- Dans le diagramme si dessus on remarque des variations dans les quantités de l'élément en trace Cr ( $\mu\text{g/l}$ ) dans les différents échantillons prélevée dans les différentes zones de la nappe.
- les valeurs minimum trouvée dans les deux échantillons cinq et huit est nul.
- Les valeurs maximum trouvée dans l'échantillons trois est de 3  $\mu\text{g/l}$ .

**Remarque :** Les trois diagrammes montrent que la quantité des éléments en traces dans la nappe phréatique de Maamora respecte les normes déclarée par l'OMS (Organisation Mondiale de Santé).



**Fig.13 : La carte de qualité (répartition de  $\text{No}_3$  sur la nappe Maamora) (Rèf.faita par les données de l'ABHS et le logiciel ARC.GIS)**

Cette carte montre la répartition de  $\text{No}_3$  au différentes zone de la nappe et on déduit que :

- $\text{No}_3 < 5$  : On trouve deux petites parties situé au niveau de la zone centrale qui sont caractérisée par une excellente qualité.
- $5 < \text{No}_3 < 25$  : on a une grande partie situé au Nord-est dans la zone centrale ainsi une petite partie dans le Sud-Ouest et ils sont caractérisée par une bonne qualité.
- $25 < \text{No}_3 < 50$  : Pour cette norme c'est la plus répartis dans la zone orientale et la zone centrale exactement le Nord-Ouest et ils sont caractérisée par une qualité moyenne.
- $50 < \text{No}_3 < 100$  : on a une répartition aux limites de la carte dans le Nord-est au niveau de la zone orientale ainsi dans le Nord-Ouest pour la zone côtière qui sont identifiée par une mauvaise qualité.
- $> 100$  : Cette norme est concentrée au niveau de la zone côtière cette dernière est caractérisée par une très mauvaise qualité.

## 4.2. D'autres problèmes de la nappe

### ➤ Contamination naturelle

Liée à l'élévation du pH-Eh des eaux souterraines et de la dissolution de minéraux dans l'eau (la pollution anthropique et l'exploitation aveugle).

### ➤ Contamination des têtes de puits

Conception inadéquates et constructions défectueuses des puits permettent une introduction directe d'eaux souterraines peu profondes polluées.

### ➤ Remonter de nappe

Due à des causes naturelles sont essentiellement représentées par des précipitations dont la hauteur évaluée en pluie efficace est très supérieure à une valeur moyenne.

## 1. Les Solutions pour sauvegarder la nappe MAAMORA

Les axes stratégiques du plan de sauvegarde de la nappe doivent être articulés autour de :

- La création d'un périmètre d'interdictions au niveau de la nappe côtière de la MAAMORA, la surface concernée est de 220km<sup>2</sup>.
- Interdiction de creusement de tout forage pour l'AEP des villes de Salé et Kenitra.
- Interdiction de l'extension des superficies irriguées.
- Mise en place de périmètre protection autour des champs captant d'AEP (Alimentation d'Eau Potable).

Pour pouvoir suivre l'évolution de biseau salé dans le temps et dans l'espace,

Il faut disposer de plusieurs séries de piézomètres de contrôles implantés perpendiculairement à la cote pour déterminer avec précision la surface piézométrique de la nappe le long de la zone côtière et surtout au niveau des zones fortement sollicitées comme les zones agricoles, côtières ou les champs de captages.

**Conclusion**

Notre rapport sur les synthèses hydrogéologique de nappe souterraine MAAMORA a été basé sur l'étude hydrogéologie de la MAAMORA a l'aide du logiciel d'Arc Gis.

Dans le 1<sup>er</sup> chapitre, Nous avons réalisé une monographie plus en moins complète pour cette nappe souterraine du bassin de Sebou, (les données ont été fournies gracieusement par l'agence hydraulique du bassin de Sebou).

- Suite à la connaissance du positionnement de chaque nappe, et la reconnaissance de la lithologie.
- il faut disposer de plusieurs séries de piézomètres de contrôle pour suivre l'évolution de niveau piézométrique de la nappe à fin de sensibiliser les agricultures à diminuer l'exploitation des eaux souterraines. Le part épargné serait consacré uniquement pour les besoins d'eau potable.

Le 2<sup>ème</sup> chapitre était consacré pour :

- définir et de mieux connaître les paramètres et de la qualité (risque menaçant) et la quantité (le bilan hydrique), cette information est très utile pour que l'ABHS puisse prendre les décisions adéquates pour sauvegarder les eaux souterraines de chaque nappe.

Enfin, pour remédier à ses problèmes de la nappe Maamora il existe plusieurs solutions à suivre à fin de sauvegarder la nappe.

# Référence bibliographique

- ❖ Mr. Radouane Saadi (12 juin 2012), Apport des éléments traces dans l'étude des systèmes aquifère du bassin de Sebou
- ❖ EPDR (Etude d'actualisation du Plan Directeur d'aménagement des Ressources en eau du bassin hydraulique de Sebou), (ABHS 2006).
- ❖ Mr. Bouzgarne Chef de service des eaux continentales et Chef de division des Ressources en eaux. Etude de qualité des eaux suivi et surveillance de la qualité des ressources en eau dans le bassin de Sebou (2012), Auteurs :.,
- ❖ Inventaire du degré de pollution dans le bassin de Sebou 2012 (Centre d'étude et de recherche de l'environnement et de pollution)

## Référence Sitographique

- [www.Google.com](http://www.Google.com)
- Logiciel Encarta
- Logiciel Arc Gis
- Logiciel Map Info