



Année Universitaire : 2014-2015



Licence Sciences et Techniques : Géo-ressources et Environnement

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques

Hydrogéologie et Qualité des eaux de la nappe de Mnasra

Présenté par:

**MOUHIB MANAR
EL KOUTAMI WIDAD**

Encadré par:

**Mr. LAHCEN BENAABIDATE
Mr. N. SERRHINI, ABHS-Fès**

Soutenu Le 16 Juin 2015 devant le jury composé de:

- L. BENAABIDATE, FST-Fès
- A. LAHRACH, FST-Fès
- A. CHAOUNI, FST-Fès
- EL M. TAHIRI, FMP-fès
- N. SERRHINI, ABHS-Fès

Stage effectué à : ABHS, Fès





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

**Nom et prénom: MOUHIB MANAR
EL KOUTAMI WIDAD**

Année Universitaire : 2014/2015

Titre: Hydrogéologie et Qualité des eaux de la nappe d'el Mnasra

Résumé

Notre stage a eu lieu dans l'agence du bassin hydraulique 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.

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.

L'étude de l'hydrochimie des eaux souterraines de la nappe d'el Mnasra nous a permis de déterminer les différents faciès chimiques, leurs parentés chimiques ainsi que leur qualité notamment pour les eaux destinées à la consommation.

Mots clés: Hydrogéologie ; Qualité ; Hydrochimie ; Piézométrie

Remerciements

Avant tout, nous tenons à rendre grâce à Dieu pour la vie, la Santé et la Force qu'il nous a accordées pour pouvoir parfaire ce travail.

Nous tenons aussi à remercier la Direction de l'Agence du Bassin Hydraulique de Sebou de nous avoir offert cette opportunité d'apprendre aux côtés de son personnel; Messieurs, Dames, ce fut pour nous un honneur de vous avoir côtoyé.

Nous voudrions adresser toute nos respect à Mr. Benaabidate, notre encadrant, pour son accueil, son encadrement, sa compréhension, ses conseils et ses remarques pertinents.

Nous tenons à remercier également Mr Noureddine Serrhhini pour son encadrement, son suivi et ses conseils avisés.

Aux Professeurs, nous voudrions vous exprimer nos profondes reconnaissances pour avoir accepté, en qualité de membres du jury, porter un jugement sur ce travail.

Nos remerciements vont aussi à tous les personnes (cadres, techniciens et employés) qui ont contribué d'une façon ou d'une autre à l'élaboration de ce travail.

Dédicaces

À Nos parents

À nos frères et sœurs

À notre famille

À tous nos amis

*À toute la promotion de la Licence **GEORESSOURCES ET***

ENVIRONNEMENT** à la **FSJ

À tout ce qui nous sont chers

Nous dédions ce modeste travail.

Listes des figures

Figure I.1 : Photo satellitaire de la zone d'étude (ABHS 2005)

Figure I.2 : Délimitation de la zone d'étude (ABHS 2005)

Figure I.3 : Découpage administratif de la zone (ABHS 2005)

Figure I.4 : Carte Géologique du secteur d'étude (tirée des cartes géologiques au 1/100 000 : Sidi yahya du Rahrb, Rabat, Souk larbaa du Gharb, éditées par l'OCP (Office chérifien et Pétrolier) en 1950,1951)

Figure I.5 : Carte géomorphologique de la zone Mnasra (ABHS 2005)

Figure I.6 : Carte pédologique de la zone d'étude (ORMVAG,1994)

Figure I.7 : Situation de la Merja Zerga (ORMVAG, 2005)

Figure I.8 : Cadre hydrologique (ABHS 2005)

Figure II.1 : variation interannuelle des précipitations dans les stations de Lalla Mimouna et Kénitra

Figure II.2 : Répartition des pluies mensuelles rencontrées dans les stations de Lalla Mimouna et Kénitra

Figure II.3 : Diagramme ombrothermique de la station Kénitra (Secteur S-W) ($X = 389553$ $Y = 411513$ $Z = 5$).

Figure III.1 Coupe NW-SE dans la partie centrale des dunes côtières du Gharb (Mnasra) (D'après Combe, 1975)

Figure III.2 : Corrélation stratigraphique de la série mio-plio-quaternaire entre forage de la zone Mnasra selon une coupe NE-SW

Figure III.3 : Carte piézométrique de la nappe de Mnasra (DRPE, Novembre 1992)

Figure III.4 : Carte piézométrique de la nappe de Mnasra (ABHS, Décembre 2007)

Figure III.5 : Evolution piézométriques de six piézomètres de la zone d'étude (ABHS, 2009)

Figure III .6 : localisation des prélèvements d'eau pour l'irrigation dans la zone du Mnasra (ABHS, 2008)

Figure IV.1 : Histogramme des pH des eaux souterraines de la nappe Mnasra (ABHS, 2013)

Figure IV.2 : Histogramme des conductivités des eaux souterraines de la Nappe Mnasra (ABHS, 2013)

Figure IV.3 : Projection sur le diagramme de piper des analyses des eaux Souterraines de la nappe de Mnasra

Figure IV.4 : Projection sur le diagramme de piper des analyses des faciès chloruré Calcique et magnésien

Figure IV.5 : Projection sur le diagramme de scholler-berkaloff des analyses des eaux souterraines de la nappe du Mnasra

Figure IV.6 : Projection sur le diagramme de piper des analyses des faciès chloruré sodique et sulfato-potassique

Figure IV.7 : Projection sur le diagramme de scholler-berkaloff des analyses des faciès chloruré sodique et sulfato-potassique

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Précipitations moyennes annuelles des stations de Kénitra et Lalla Mimouna (ABHS, 2011)

Tableau II.2 : Précipitation moyenne mensuelle dans la zone d'étude (ABHS, 2011)

Tableau II .3: Répartition de la température moyenne en °C (ABHS, 2011)

Tableau II .4 : Répartition de la température moyenne en °C (ABHS, 2011)

Tableau II.5 : Evapotranspiration calculée en mm (ABHS,2011)

Tableau III .1 : Volume infiltré pour une pluie moyenne de 550 mm/an

Tableau III.2 : Bilan hydraulique de la nappe de Mnasra évalué en 1994 et 2008(DRPE ,ABHS)

Tableau IV. 1 : Qualité des analyses des eaux souterraines (ABHS ,2013)

Tableau IV.2 : La dureté des eaux souterraines (ABHS, 2013)

SOMMAIRE

Préambule	1
Présentation de l'agence du bassin hydraulique de l'oued Sebou	1
Identités et missions	1
Organisations	2
Introduction	3

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

I.1.Le bassin versant de Sebou	5
I.2. Contexte géographique	6
I.3. Contexte géologique	8
A-Les formations géologiques profondes	8
B-Les formations de surfaces	9
I.4.Contexte géomorphologique	9
I.5.Couverture pédologique des Mnasra	11
I.6.Les milieux écologiques	12
A- La Merja Zerga	12
B-L'Embouchure de l'Oued Sebou	13
I.7. Contexte hydrologique	13

CHAPITRE II: CONTEXTE CLIMATIQUE

I.Introduction	15
II.Les paramètres climatiques	15
II.1. Précipitation	15
II.2. Les températures	17

II.3. Relation précipitation et température	17
A- L'indice Xéothermique de Gaussen	18
B- L'indice d'aridité annuelle de De Martonne	19
C- Le quotient pluviaux-thermique d'Emberger	19
II.4. Evapotranspiration	20
II.5. Le vent	21

CHAPITRE III: ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE LA NAPPE D'EL MNASRA

III.1. La géométrie du réservoir	23
III.2. Caractéristiques hydrodynamiques	24
A- La transmissivité	24
B- La perméabilité	25
C- le coefficient d'emmagasinement	25
III.3. Piézométrie	25
III.4. Evolution piézométrique	27
III.5. Recharge de la nappe	28
A- Infiltration pluviale	28
B- Alimentation par l'oued Sebou	29
C- Abouchement souterrain le long de la limite orientale	29
D- Retours d'eau d'irrigation	30
III.6. Décharge de la nappe	29
A- Ecoulement souterrain à la mer	29
B- Drainage	29
C- Ecoulement souterrain vers l'intérieur	29
D- Prélèvements par pompage	29
III.7. Bilan de la nappe	30
III.8. Dégradation du milieu naturel	32
A- Les merjas côtières et les merjas des dunes intérieures	33
B- La Merja Zerga	33
C- L'embouchure du Sebou	34
D- Le cordon dunaire	34
E- Les eaux souterraines	34

CHAPITRE IV: HYDROCHIMIE ET QUALITE DE LA NAPPE D'EL MNASRA

IV.1.Introduction	36
IV.2.La Balance Ionique	36
IV.3.Le PH	37
IV.4.La conductivité	38
IV.5.Identification des facies chimiques	39
A-Diagramme de Piper	39
B-Diagramme de Schöeller-Berkaloff	40
IV.6.Localisation des facies chimiques	40
IV.7.La qualité des eaux de consommation	45
Conclusion générale	47
Références bibliographiques	48

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.

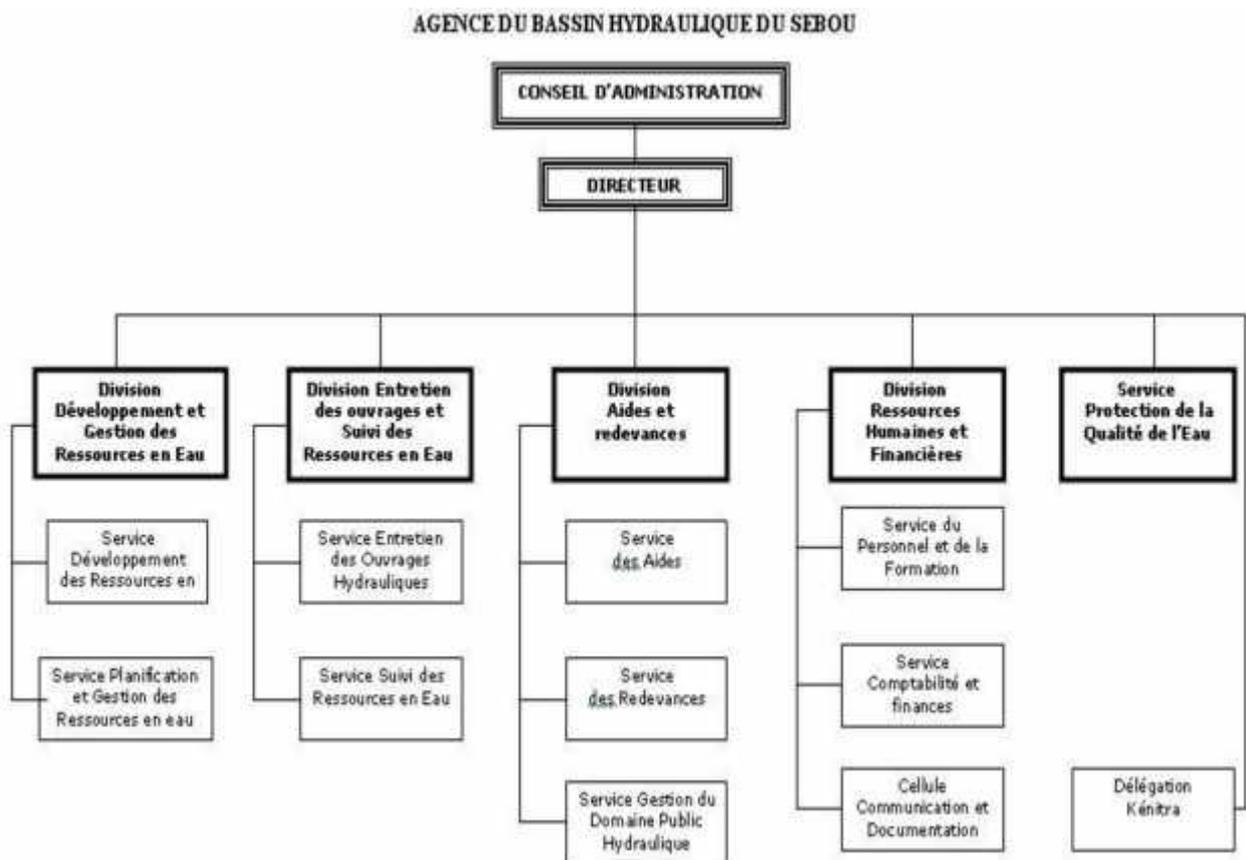
L'Agence du Bassin Hydraulique du Sebou veille à assurer un service de l'eau dans les conditions de qualité et de proximité requises par l'utilisateur notamment à travers :

- 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

Introduction

Une prise de conscience internationale vis-à-vis du changement climatique et de ses conséquences est observé depuis les années 80. Les causes et les impacts de ce changement climatique font l'objet de nombreux débats. L'ensemble des communautés semble être d'accord sur le fait que les événements extrêmes vont s'accroître sous l'effet de ce changement climatique. D'où une inquiétude importante de l'opinion publique face aux impacts de ces changements sur les ressources naturelles et particulièrement les ressources en eau. Ainsi, l'eau a un intérêt particulier partout dans le monde, et surtout dans les zones arides à semi aride comme le Maroc, qui fait face à la problématique de développement et de gestion durable des ressources en eau.

La zone des Mnasra, Objet de notre étude, est située entre les villes de Kénitra et Moulay Bou Salham le long de l'Océan atlantique. Elle fait partie de la plaine du Gharb qui est comptée parmi les principaux aquifères des plaines atlantiques dont la principale source en eau disponible provient des eaux souterraines peu profondes.

L'abondance et la qualité des eaux souterraines ont fait de cette région un pôle d'attraction à une grande population. Elle compte 115 douars pour une population rurale de 84 621 habitants qui représentent près de 33% de la population rurale de l'ensemble du périmètre du Gharb. Les activités économiques sont basées sur l'agriculture et récemment sur de nombreuses industries agro-alimentaires. Ces activités sont dominées par la culture irriguée qui compte actuellement 37 500 ha de superficie utile dont 13 700 ha basées sur l'irrigation à partir des puits ou forage privés et par pompage sur l'Oued Sebou. Ces terres irriguées se trouvent parsemées sur toute la zone d'étude. L'irrigation par pompage, un des atouts majeurs du développement des cultures dans cette zone, a engendré la surexploitation de la nappe et par conséquent l'avancée, à un rythme très accéléré du biseau salé.

L'aquifère côtière de Mnasra possède un certain nombre de caractéristiques superficielles. En particulier, la concentration des activités humaines sous forme d'urbanisation, l'industrialisation, l'agriculture maraîchère intense ainsi que l'activité touristique font que les besoins en eau de bonne qualité y sont très élevés et ont tendance à s'accroître très vite au cours des années prochaines.

Face à cette situation préoccupante et pour répondre au besoin sans cesse croissants, aussi bien pour l'alimentation en eau potable et industrielle que pour l'irrigation il faut une bonne connaissance géologique, hydrologique, un bon suivi de la qualité des eaux ainsi que la production d'un modèle prévisionnelle pour l'exploitation de l'aquifère et la protection de ces ressources exploitables pour l'alimentation en eau potable.

La modélisation, développée ces dernières années constitue un outil pour mieux représenter nos connaissances scientifiques des systèmes aquifères et pouvant être utilisées pour aider à concevoir les expériences, tester des hypothèses étudiées et organiser les données de terrain et de laboratoire. De tel outil doit être capable de fournir des renseignements en matière des ressources en eau et d'environnement pour pouvoir prendre une décision relative à l'aménagement de ces ressources.

Ainsi, ce travail, proposé par l'Agence du Bassin Hydraulique de Sebou (ABHS), constitue dans ce sens une contribution qui vise les objectifs suivants:

- La synthèse des études géologiques antérieures.

- L'actualisation, une exploitation et un traitement des données relatives à la climatologie, à hydrogéologie, et aux différents paramètres hydrodynamiques de l'aquifère côtier du Gharb.
- La réalisation d'un bilan actualisé de la nappe
- L'analyse de la dynamique des fluctuations piézométrique de la nappe
- Détermination des caractéristiques géochimiques

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, TazaAlHoceimaTaounate, 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

Le secteur de Mnasra, objet de notre étude ; constitue le débouché sur l'atlantique du sillon Sud Rifains. Il s'étend sur la côte atlantique entre les altitudes 34°N et 34°45'N. Ses limites sont :

- Les reliefs pré rifains au Nord
- La plaine du Gharb à l'Est
- L'océan Atlantique à l'Ouest
- Le domaine mésétien au Sud

A noter que la zone d'étude est séparée de l'océan atlantique par un cordon dunaire, vers l'intérieur, on note la présence d'un système dunaire et dépressions inter dunaire rattaché à la plaine alluviale du Sebou, à topographie plane.

La région de Mnasra, zone côtière du Gharb, occupe une superficie de 600 Km² entre la ville de Kenitra au sud, l'oued Sebou prolongé par la ligne parallèle passant par Sidi Allal Tazi à l'est, la Merja Zerga à proximité de Moulay Bouselham au nord. (Figures I.1 et I.2)



Figure I. 1 : Photo satellitaire de la zone d'étude

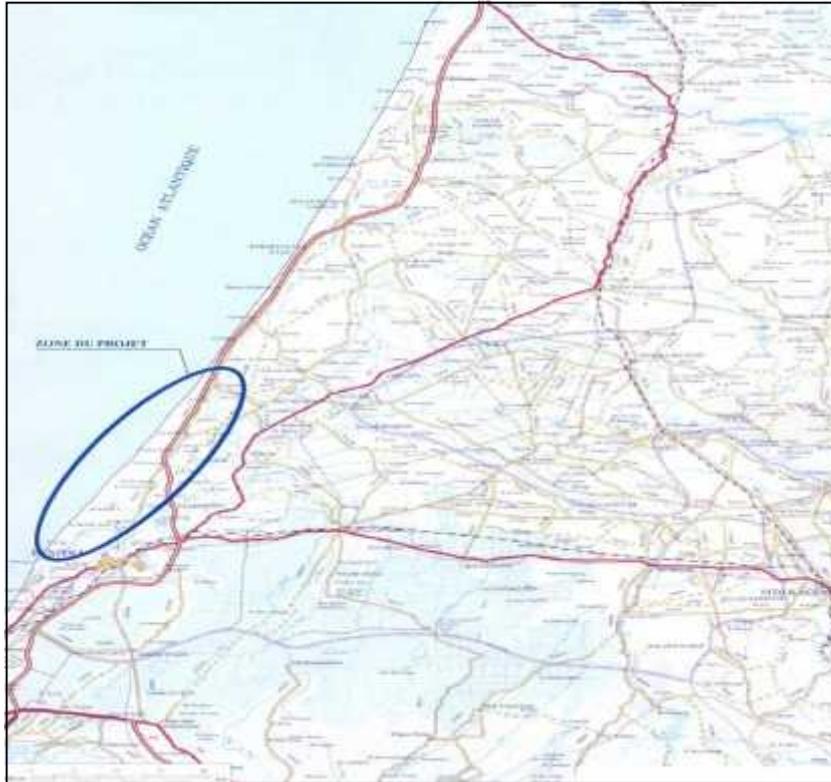


Figure I.2 : Délimitation de la zone d'étude (ABHS 2005)

Sur le plan administratif, l'aire de l'étude couvre quatre communes rurales: Mnasra, Ben Mansour, Bhara Oulad Ayad, Sidi Mohamed Lahmar. (Figure I.3)

La population totale dans la zone de Mnasra est de 144 841 habitants (RGPH 2004) avec 19 618 ménages. Le taux de croissance démographique moyen entre les deux recensements est de 2%. La densité atteinte est de l'ordre de 172 hab/km².

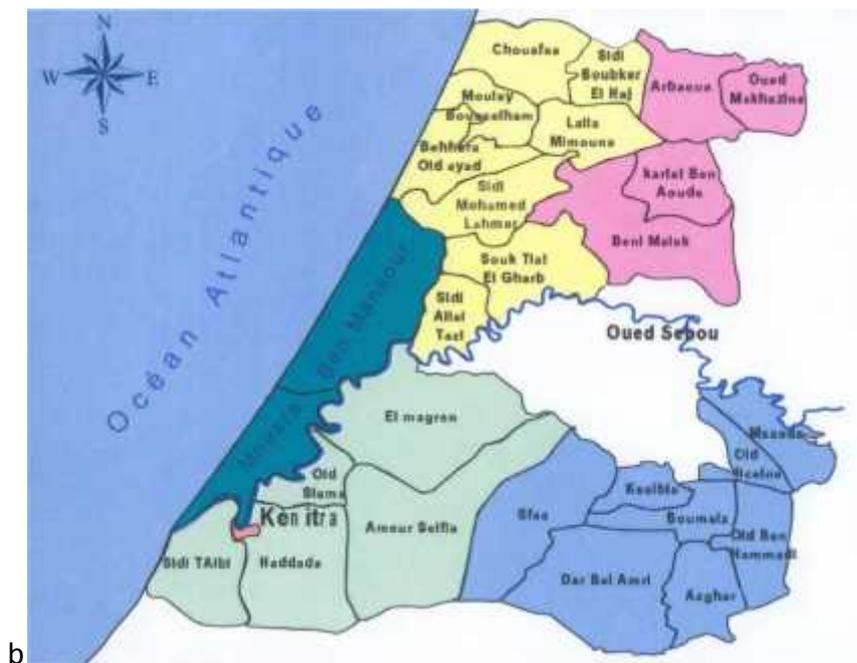


Figure I.3 : Découpage administratif (ABHS 2005)

I.3.Contexte Géologique

Sur le plan géologique, la zone de Mnasra fait partie de la plaine du Gharb, cette plaine correspond à un fossé d'effondrement situé entre deux grands ensembles structuraux reposant sur un substratum général constitué par l'épaisse série marneuse du moi-pliocène (figure I.4) :

-la méséta primaire avec un socle paléozoïque rigide et relativement stable plongeant régulièrement du sud vers le nord avec une pente de 3°

-La domaine rifain qui est marqué par une grande instabilité jusqu'à l'actuel .



Figure I.4 : Carte géologique du secteur d'étude (tirée des cartes géologiques au 1/100000 : Sidi Yahya du Rahrb , Rabat, Souk Larbaa du Gharb , édité par l'OCP (Office chérifien Pétrolier) en 1950,1951

A-Formations géologiques profondes

Le bassin du Gharb est caractérisé par le dépôt durant le Miocène, d'une épaisse série marneuse pouvant atteindre 2000 m de puissance dans la plaine contre quelques centaines de mètres sur les bordures conformément à la subsidence. Le socle primaire, formé de schistes et

de quartzites s'enfouissant sous la plaine, est à plus de 2500 m au centre de la plaine. La série des "marnes bleues" constitue le plancher imperméable du système aquifère du Gharb.

Dès le pliocène, la sédimentation change, caractérisée par des dépôts à caractère régressif, constitués de lumachelles, de grès et de conglomérats.

Dans la zone côtière, les sédiments pliocènes d'origine marine sont très hétérogènes: dépôts de sables, de grès et grès calcaires, dans lesquels s'intercalent de minces niveaux argileux - limoneux qui deviennent plus ou moins sableux vers la côte. L'ensemble de ces formations, localisé en zone côtière, pouvant atteindre deux cent mètres d'épaisseur, constitue un réservoir aquifère de première importance.

Afin de connaître de façon plus précise, les variations latérales du faciès lithologiques, plusieurs coupes lithologiques ont été dressées. Cependant, aucune corrélation entre les différents niveaux argileux n'a pu être établie.

B -Formation de surface

Dans la zone de Mnasra, les formations de surface sont de deux types:

- Les dépôts du quaternaire continental sur les bordures du Sebou, représentés par les alluvions argileuses ou limoneuses du gharbien;
- Les formations sableuses et grés-sableuses du quaternaire marin, principalement d'âge soltanien.

I.4. Le contexte géomorphologique

Deux grandes unités géomorphologiques très inégales d'étendue, se distinguent dans le paysage naturel : (Figure I.5)

- La région côtière à topographie chahutée, constituée par un ensemble de systèmes dunaires séparés par des dépressions intermédiaires.
- L'étendue de la plaine du Sebou, à topographie plane monotone formant la continuité de la plaine du Gharb.



Figure I 5 : carte géomorphologique de la région de Mnasra (ABHS, 2005)

A- La région côtière

Correspondant à une bande parallèle au littoral, relativement étroite (3 à 5 Km de largeur) dans la partie sud, la zone s'étale au nord de Sidi Allal Tazi pour atteindre 15 Km de largeur ; 3 entités naturelles homogènes s'y différencient d'ouest en est :

-Le cordon dunaire : formé par un ensemble de dunes sableuses consolidées, parallèles à la côte, constitue une barrière aux écoulements pluviaux entre la plaine du Gharb et l'océan. L'altitude y varie de 20 à 25 m et les pentes de 2 à 10%. Le niveau de l'eau souterraine est de 2-5 m au pied du cordon et de 20 à 25 m sur les altitudes. L'irrigation par pompage concerne principalement les cultures sous serres bananières. Les sols du cordon dunaire sont en grande partie exploités en bour.

-Les merjas côtières : une série de merjas dites côtières (merjas de Sidi Mohamed Ben Monsour, merjas Daourni) se développent en dépression longitudinale continue sur 25 km et large de 1 à 2 km en contrebas du cordon dunaire. L'altitude moyenne y atteint 1 à 3 m.

Les dunes et replats dunaires intérieurs formés de sables non consolidés, présentent un relief monotone de 5 à 20 m d'altitude. Cette entité est parsemée de nombreuses merjas (merjas Al

Brouga, Ras Al Ain...). Ce domaine connaît un développement important de l'irrigation des cultures maraîchères et de l'arachide par pompage privé à partir de l'eau souterraine dont le niveau est peu profond (3 à 5 m).

B-La plaine alluviale du Sebou

S'étendant en rive droite de l'oud Sebou, la plaine homogène correspondant aux sols lourds (Tirs et Dehs), se caractérise par une topographie plane monotone d'altitude variant de 3 à 7 m entre les bordures du Sebou et les merjas côtières.

I.5.Couverture pédologique des Mnasra

Dans le domaine de la Mnasra, trois principaux types de sol sont rencontrés : (Figure I.6)

Les sols sableux

Les sols noirs des dépressions inter dunaires

Les sols des merjas

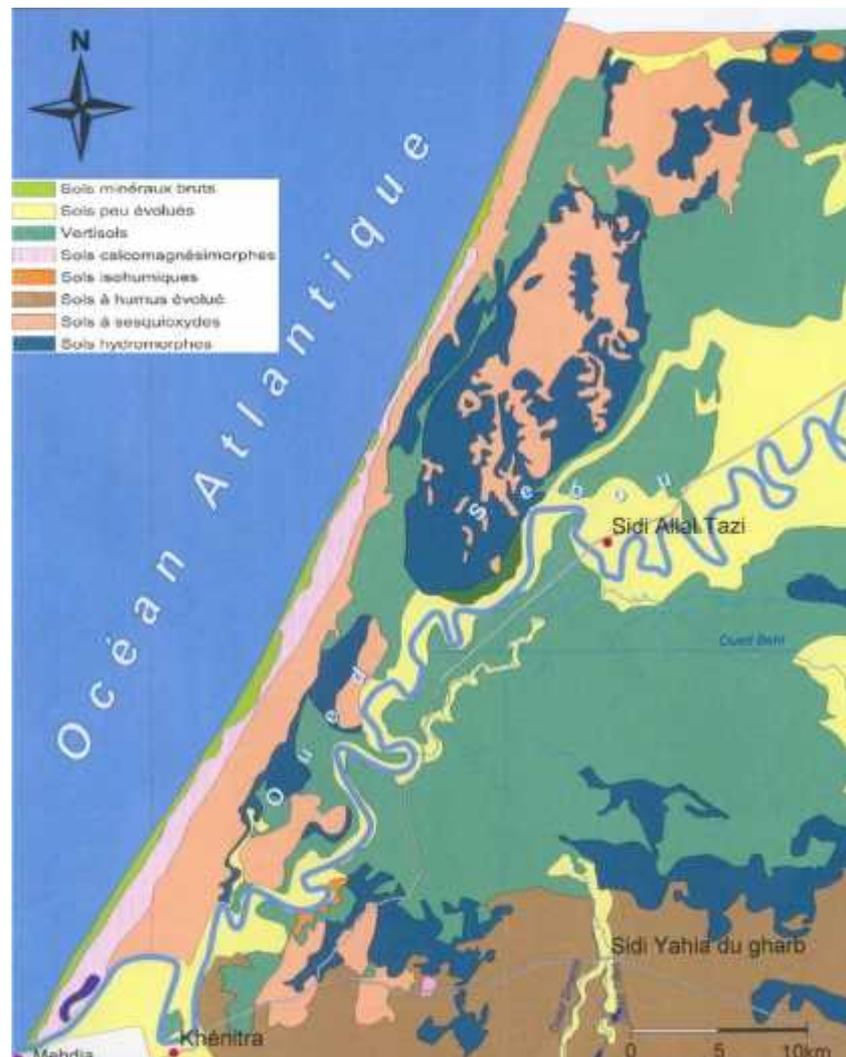


Figure I 6 : Carte pédologique de la zone d'étude (ORMVAG, 1994).

LES SOLS SABLEUX

Ces sols se développent sur les formations sableuses ou grés-sableuses dunaires à topographie plus ou moins tourmentée. Profonds et caractérisés par une texture très sableuse (Rmal), ils reposent sur un sous-sol perméable constitué de formations sableuses meubles ou de grés dunaires à lumachelles. Hors des sommets des dunes, soumis à l'érosion éolienne, ces sols sont cultivés intensément et on y pratique principalement la culture d'arachide. Deux principaux types de sols sableux sont distingués :

-les sols sableux sur dunes intérieures : Ils correspondent à des sols faiblement affectés par la fersiallisation. Sur ces mêmes formations on rencontre des sols peu évolués d'apports surtout éoliens.

- Les sols sableux du cordon dunaire : Ils correspondent à des sols bruns fersiallitiques sur grés sableux plus ou moins consolidés ou à des sols calcimorphes sur sables récents, d'une profondeur variant le plus généralement entre 40 et 80 cm. Ils présentent des textures sableuses à très sableuses avec des perméabilités très élevées (de l'ordre de 30 à 50 cm/h), des réserves utiles très faibles (20 à 0 mm) et un niveau de fertilité très bas : teneur en matière organique (de l'ordre de 0.3 à 0.5%) et capacité d'échange cationique très faibles. Ils sont aussi caractérisés par une forte sensibilité à l'érosion éolienne et hydrique.

LES SOLS NOIRS DES DEPRESSIONS INTER DUNAIRES

Rencontrés dans les zones basses et les dépressions inter dunaires, ces sols se distinguent par une texture plus ou moins argileuse sur les 50 premiers centimètres et une matière organique plus élevée qui leur confère une couleur noir caractéristique.

Du fait de leur position au fond des dépressions, ces sols sont irrigués intensivement par pompage de l'eau souterraine dont le niveau s'organise à faible profondeur.

LES SOLS DES MERJAS

Sols hydromorphes plus ou moins sales des merjas côtières (Daoura, Ben Mansour) et des merjas des dunes intérieures (Al Brouga, Ras Al Ain, Mouibha), sont submergés de l'eau plus de 4 à 5 mois par an et de manière quasi-permanente pour certaines merjas intérieures. Leur drainage est difficile à assurer à cause de leur position très basse, des difficultés d'exutoire vers la mer ou vers l'oued Sebou et du caractère de la nappe phréatique captive en dessous de la couverture argileuse de surface (sue 1 à 2 m).

Ces sols sont cultivés après leur assèchement au printemps pour y pratiquer le tournesol.

I.6. Les milieux Ecologiques

A-La Merja Zerga

Située à l'extrémité nord de Mnasra, la merja Zerga, à caractère pérenne, est considérée comme une zone humide de portée internationale

Séparée par l'océan atlantique par un cordon dunaire, la lagune en communication avec la mer au niveau du centre balnéaire de Moulay Bouselham est alimentée en eau douce par l'oued Drader et le canal Nador drainant le secteur irrigué de la plaine du Gharb situé rive droite de l'oued Sebou.

D'une superficie variant de 1500 à 3200 ha selon les saisons, la merja est intégrée dans une réserve de 7000 ha considérée d'un grand intérêt ornithologique. Cette réserve est limitée "au nord par la route secondaire n° 216 allant de Moulay Bouselham au douar Aïn Lalla Khoja; à l'est par la route n° 2301 allant du douar Aïn Lalla Khoja jusqu'au douar des

Ganafda; au sud par la route n° 2301 allant du douar des Ganafda au canal du Nador, puis par la ligne droite joignant le pont sur le canal du Nador; à l'ouest par l'océan Atlantique. (Figure I.7).

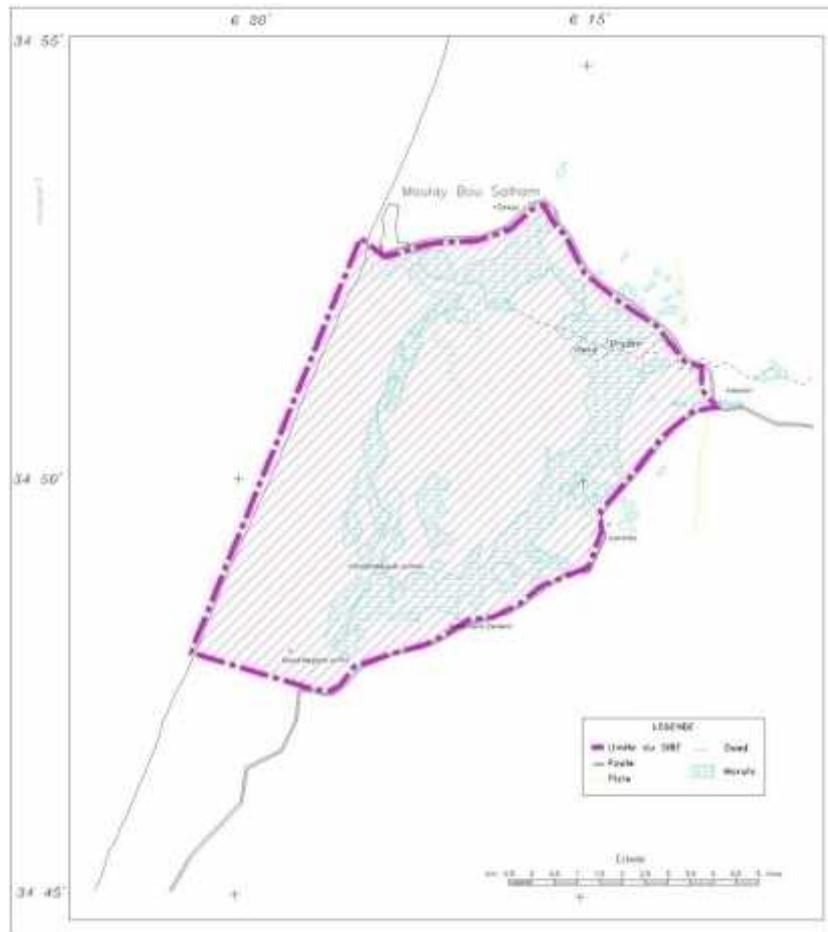


Figure I.7 : Situation de La Merja Zerga (ORMVAG ,2005)

B-L'Embouchure de l'Oued Sebou

L'embouchure de l'Oued Sebou présente un potentiel écologique élevé, comme tout lieu de transition entre deux milieux ; toutefois, l'état critique de la qualité des eaux de l'oued affecte sensiblement les écosystèmes aquatiques et rivulaires.

Le complexe laguno-marin constitué par cette embouchure, dont l'intérêt est relevé par la présence de larges vasières et sansouires servant de lieu de refuge et d'alimentation pour l'avifaune (Limioles et Anatidés) constitue ainsi un des Sites d'Intérêt Biologique et Ecologique recensé dans le cadre du Plan Directeur des Aires Protégées.

I.8.Contexte Hydrologique

Hydrologiquement ,la zone des Mnasra est mal drainée et se caractérise par l'absence d'un réseau hydrographique naturel bien individualisé ; à l'exception des ruissellements très peu développés et localisés.

Elle constitue une aire naturellement endoréique où les ruissellements engendrés par les averses violentes et prolongées se concentrent dans les merjas côtières et les merjas des dunes intérieures. Une partie des eaux accumulées s'infiltrent et une partie s'évapore (figure I.8).



Figure I.8 : Cadre Hydrologique (ABHS,2005)

Les merjas côtières occupent une basse dépression longitudinale et parallèle au rivage. La position des eaux souterraines proches du sol et leur évaporation, par remontée capillaire, entraînent une salarisation des sols et des eaux de la nappe

Les merjas des dunes intérieures se forment dans les dépressions inter-dunaires profondes enclavées entre le cordon dunaire côtier et les dunes intérieures.

En période pluvieuse, ces dépressions reçoivent aussi les eaux ruisselées qui s'y accumulent jusqu'au printemps, saison à partir de laquelle, elles s'assèchent par effet conjugué de l'évaporation et de l'infiltration.

Ces merjas occupent une superficie totale de l'ordre de 17%. A titre indicatif, en année de bonne hydraulité, les merjas et dayas inondent 26% de la commune de Ben Mansour soit 7500 ha, ce qui constitue un problème sérieux pour la population.

Chapitre II : CONTEXTE CLIMATIQUE

I. Introduction

Les données climatiques telles que les précipitations, la température, l'humidité et l'évapotranspiration constituent les facteurs essentiels pour appréhender l'évolution quantitative d'eaux souterraines et évaluer leur recharge naturelle.

Pour la caractérisation climatologique de la zone Mnasra, les données climatiques relevées aux stations de Kenitra au sud-ouest et de Lalla Mimouna au N-W ont été retenues pour leur longue période. Les données sont tirées de l'étude d'actualisation du plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau du bassin du Sebou.

II. Les paramètres climatiques

II.1 Précipitations :

Pour la période de référence postérieure à 1990, la lame d'eau annuelle qui précipite est de l'ordre de 592 mm à kénitra et 561.5 mm à lalla Mimouna, Dans l'aire d'étude la pluviométrie moyenne est de l'ordre de 576 mm (Tableau II.1+ figure II.1).

Tableau II.1 : Précipitations moyennes annuelles des stations de Kenitra et Lalla Mimouna

Années	lalla mimouna	kenitra
1990/91	691,0	578,2
1991/92	534,0	450,6
1992/93	338,0	385,4
1993/94	196,0	471,7
1994/95	265,0	234,4
1995/96	911,0	1020,8
1996/97	500,0	689,6
1997/98	755,0	738,6
1998/99	266,0	369,8
1999/00	397,0	353,6
2000/01	625,0	580,4
2001/02	509,0	399,7
2002/03	716,0	741,6
2003/04	728,0	710,4
2004/05	298,0	343,4
2005/06	521,0	644,3
2006/07	335,0	366,9
2007/08	449,0	393,5
2008/09	934,0	905,2
2009/10	988,0	1011,8
2010/11	836,0	820

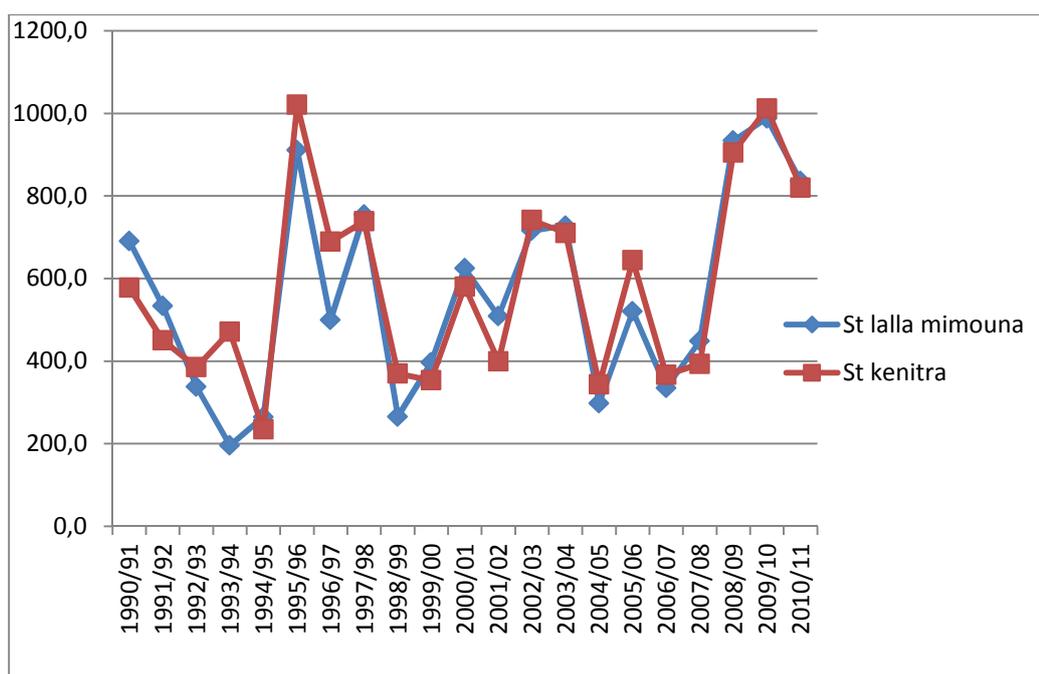


Figure II.1 : Variation interannuelle des précipitations dans les stations de Lalla Mimouna et Kenitra

Tableau II.2 : Précipitation moyenne mensuelle dans la zone d'étude

stations	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aôut	Total
St kenitra	2.5	127.5	216	119.6	100.4	81.5	80.9	58.3	24.3	8.5	00	0.45	820
St lalla mimouna	3.00	127	197	136	85	45	65	108	53	9.0	0.0	8.0	836.0

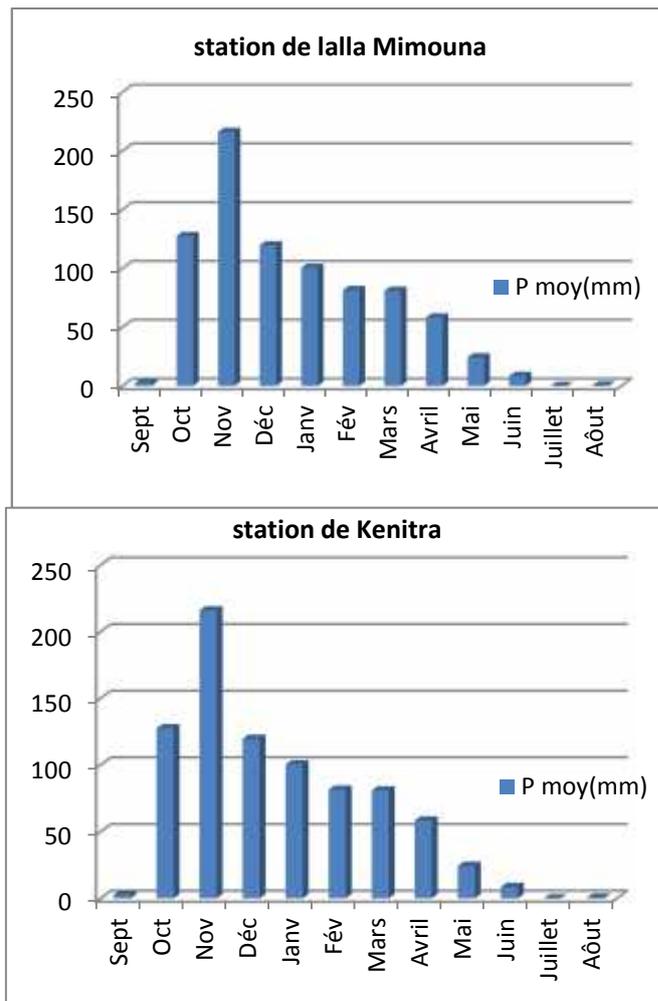


Figure II.2 : Répartition des pluies mensuelles rencontrées dans les stations de Lalla Mimouna et Kénitra

Les précipitations sont concentrées au cours d'une période qui s'étale de Novembre à Mars où il tombe généralement plus de 70% des volumes annuels. Les mois les plus pluvieux et les plus arrosés sont Octobre, Novembre, Décembre et Janvier. La période de Juin à Septembre est pratiquement sèche. Le déficit hydrique climatique se manifeste dès le mois de Mars (Figure II.2+ Tableau II.2).

En fonction des valeurs des précipitations annuelles enregistrées dans la zone, on note que la pluviométrie diminue en général de l'Ouest vers l'Est.

II.1.Température :

Les températures moyennes sont pratiquement identiques pour les deux stations. Le tableau qui suit, présente la répartition de la température moyenne mensuelle à Kenitra et à Lalla Mimouna (Tableau II.3).

Tableau II .3 : Répartition de la température moyenne en °C

Station	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Total
Kénitra	22,3	19,4	16,1	13,6	12,3	13,4	15,0	16,1	18,4	21,0	23,3	23,5	214.4
Lalla Mimouna	24,6	18,9	15,0	14,7	12,4	12,8	14,8	19,4	21,6	24,1	24,7	25,8	228.8

-La température moyenne mensuelle de Mnasra varie approximativement de 12,4° C le mois de janvier à 24° C le mois d'Août, soit une variation mensuelle modérée par l'effet de l'océan atlantique.

-Les mois de juin, juillet, août et septembre sont les mois les plus chauds alors que les plus frais sont décembre, janvier et février.

II.3.Relation précipitation et température :

Le climat, régnant dans une région, peut être estimé à travers certain paramètres, qui mettent en relation la température et les précipitations caractérisant la région. Dans cette optique, le calcul des indices suivants semble utile :

- A- L'indice Xérothermique de Gaussen
- B- L'indice d'aridité de Martonne et les indices mensuelles d'aridité
- C- Le quotient pluvio-thermique d'Emberger

A- L'indice Xérothermique de Gaussen

Cet indice Xérothermique de Gaussen appelé aussi diagramme ombrothermique de Gaussen permet de distinguer les périodes sèches et des périodes humides. Ainsi, une période est considéré comme sèche ; lorsque le total des précipitations (P en mm) est inférieur ou égale au double de la température moyenne mensuelle (T en °C), dans le cas contraire la période est considéré comme humide, par contre lorsqu'il y a une égalité entre les précipitations et le double de la température ($P=2T$) les besoins en eau sont satisfaisantes. Cet indice est commodément figuré par le diagramme ombrothermique de Gaussen .Ce dernier est un mode de représentation sur le même graphique, les Températures et les précipitations moyennes mensuelles.

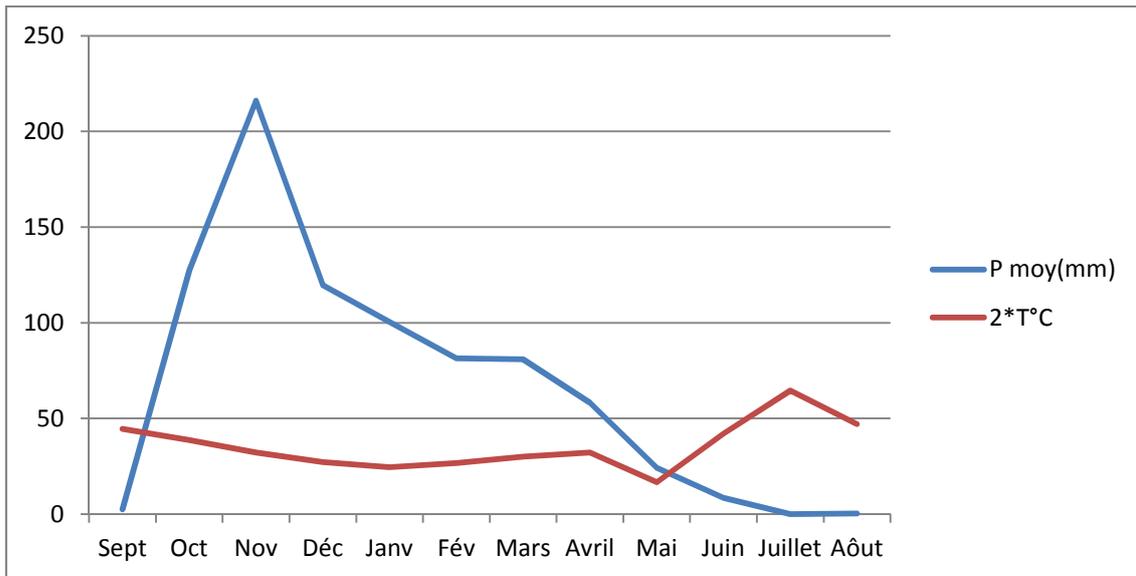


Figure II.3 : Diagramme ombrothermique de la station Kenitra (Secteur S-W) (X = 389553 Y = 411513 Z= 5).

A partir du diagramme ci-dessus (Figure II.3) on peut dire que:

- La période humide s'étale du mois Mai jusqu'à le mois d'Octobre ;
- La période sèche dure 7 mois ;
- Les précipitations ont atteint le maximum au mois Novembre.

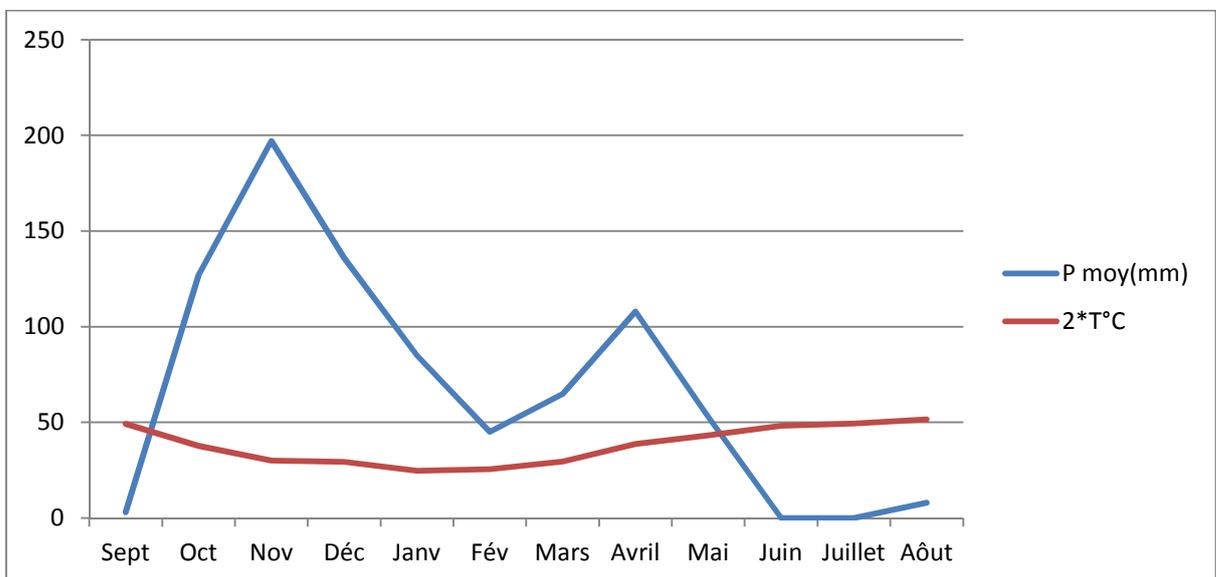


Figure II.4. Diagramme ombrothermique de la station Lalla Mimouna (X = 435000 Y = 472600 Z = 16).

La figure ci-dessus (Figure II.4) montre que :

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

B-L'indice d'aridité annuelles de De Martonne et les indices mensuelles d'aridité :

Une valeur est utile afin d'exprimer les conditions climatiques du milieu et l'indice d'aridité de De Martonne qui est donné par la formule suivante mettant en relation la pluviométrie et la température moyenne annuelle :

$$I = \frac{P}{T + 10}$$

Avec :

P : Précipitation moyenne annuelle (mm)

T : Température moyenne annuelle (°C) Dans cette étude $I= 3,5$ pour la station de lalla Mimouna et $I=3.7$ pour la station de Kenitra

Cette valeur d'indice caractérise un climat hyperaride ($I < 5$).

C-Le quotient pluviaux-thermique d'Emberger :

La classification climatique selon le diagramme d'Emberger permet la mise au point d'un coefficient qui s'applique uniquement aux climats de type méditerranéen.

Le coefficient s'explique par la formule suivante :

$$Q = \frac{1000 \times P}{\frac{(M-m) \times (M+m)}{2}}$$

$$Q = \frac{2000 \times P}{(M^2 - m^2)}$$

Avec :

P : Précipitation moyenne annuelle en mm.

M : Moyenne des maxima de températures du mois le plus chaud en kelvin.

m : Moyenne des minima des températures du mois le plus froid en kelvin.

Le climat d'Emberger comporte la moyenne des minima du mois le plus froid « m » en abscisse et le quotient pluviométrique « Q » en ordonnée. Il est également subdivisé en zone correspondant à divers étages bioclimatiques méditerranéens. Le Q est inversement proportionnel à l'aridité, ce diagramme nous permet de déterminer les étages bioclimatiques et les variantes thermiques.

C'Est ainsi nous obtenons la valeur $Q=68.13$ pour la station de lalla Mimouna et $Q=137$ pour la station de Kenitra, donc on peut classer les stations lalla Mimouna et Kenitra dans le climat sub-humide à humide.

II.4. Evapotranspiration :

Evapotranspiration représente la somme de toutes les pertes d'eau par transpiration des végétaux et par évaporation. Elle est régie par plusieurs facteurs et nature climatique (température , humidité relative, pression atmosphérique , vent), végétal (stade de croissance , espèce , état sanitaire....) ou de sol (porosité , perméabilité , couleur).

Aux stations de Kenitra et Lalla Mimouna, l'évaporation a été mesurée:

A l'aide du bac classe A, de 1957 à 1985 à Kenitra.

A l'aide de l'évaporomètre piche, de 1980 à 1992 à Lalla Mimouna.

Pour la station de Kenitra, l'évaporation annuelle moyenne est de 1310 mm. Pour Lalla Mimouna, elle est de 1355.4 mm.

L'évaporation potentielle dépasse 150 mm durant les mois secs s'étalant de juin à septembre et est inférieure à 80 mm les mois de décembre à février.

Pour représenter la région de Mnasra, la moyenne de l'évaporation des deux stations est retenue après avoir corrigée les valeurs de Kenitra dont les mesures sont faites à l'aide du bac classe A (Tableau II.4).

Tableau II .4 : Répartition de la température moyenne en °C

Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Total
162	121	81	65	60	62	88	109	140	158	190	184	1320

En utilisant les valeurs moyennes de la température et de la pluviométrie de Kenitra et Lalla Mimouna, l'évapotranspiration calculée par la formule de Thonhwaite s'établit comme suit (Tableau II.5):

Tableau II.5 : Evapotranspiration calculée en mm

Station	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Total
Kenitra	100,0	72,9	46,2	33,6	28,4	32,5	48,1	57,9	81,5	104,4	127,8	132,5	856,7
Lalla Mimouna	95,4	71,3	44,9	33,3	28,9	28,9	44,2	47,6	77,0	106,4	123,9	122,0	823,8

II.5. Le vent:

La zone d'étude a cause de sa situation a proximité de l'océan est soumise à des vents locaux d'origine thermique provoqués par des brises de mer. Ces vents soufflent de l'Ouest ou de Nord et peuvent modifier de façon remarquable les conditions climatiques de la région .En été ces vents frais soufflent presque chaque jour en fin d'après-midi en rafraichissant le climat local. Ceci à une action bénéfique sur la végétation et les cultures en diminuant l'évapotranspiration et en économisant de l'eau.

L'intensité de ces vents est variable dans la zone de Mnasra, Elle est plus forte sur le sommet du cordon et deviennent de plus en plus doux en s'éloignant de l'océan .L'effet de

ces vent sur les dunes sableuses se traduit par l'érosion et le remaniement continue des sols sableux de hautes altitudes.

La zone d'étude est aussi soumise à des vents chauds et secs qui soufflent de l'Est (chergui). Ces vents soufflent par périodes et de manière fréquente au cours des mois de Juillet et Août. Ils causent des dégâts aux cultures en accélérant l'évapotranspiration et en exposant les sols sableux à réserve utile très faible, au risque de la sécheresse.

CHAPITRE III: ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE LA NAPPE D'el MNASRA

III.1.La Géométrie du réservoir

Sur le plan hydrogéologique on distingue deux unités aquifères reposant sur un substratum général constitué par l'épaisse série marneuse du mio-pliocène :

Le long du littoral, au droit des deux cordons dunaires, affleure en surface un niveau grés-sableux. Epais de 20 à 30 m dans le cordon littoral, ce niveau s'amincit dans le cordon intérieur pour atteindre 5 à 10 m d'épaisseur.

Dans ce niveau superficiel se localise une nappe phréatique d'extension générale, alimentée par l'infiltration des eaux de pluie. L'eau, peu profonde, est située entre 2 à 3 m du sol.

Sous ce niveau superficiel, un niveau gréseux épais se rencontre au sud de Sidi Allal Tazi, alors qu'au nord ce sont des alternances gréseuses et argileuses qui sont rencontrées. Sous ce niveau argileux ou argilo-sableux, les grés contiennent une nappe captive en charge, dont le niveau piézométrique s'établit au dessous de celui de la nappe phréatique ; le caractère captif de cet aquifère ressort de la valeur des coefficients d'emmagasinement (entre 1×10^{-4} et 2×10^{-5}) et de la rapidité de réaction aux variations d'amplitudes marégraphiques observées dans des forages implantés à proximité de l'océan. Les caractéristiques hydrogéologiques de cet aquifère profond sont en général inférieures à celles de l'aquifère superficiel

Cependant, une extrême hétérogénéité de l'ensemble de la série sédimentaire caractérise la complexité du système aquifère. Les coupes géologiques établies à partir des sondages de reconnaissance, montrent que les différents niveaux argileux rencontrés, sont difficilement corrélables les uns aux autres et constituent des lentilles plus ou moins individualisées (Figure III.2). Aussi, la délimitation de l'extension spatiale de l'écran intermédiaire, séparant la nappe supérieure de la nappe inférieure est imprécise du fait que les différents niveaux argileux ou argileux sableux sont discontinus. Leurs épaisseurs ne dépassent pas 10 m dans la zone d'étude et ces niveaux argileux se rencontrent à des profondeurs différentes.

Cette discontinuité laisse penser à l'existence d'un système global monocouche formant un seul aquifère appelé nappe de Mnasra (Figure III.1). La puissance du système aquifère varie de 80 à 200 m.

Dans la partie septentrionale de la plaine, Le cordon dunaire de direction Nord-Sud correspond à la ligne de partage des eaux, donnant lieux à deux directions d'écoulements, l'une vers l'océan et l'autre vers l'intérieur du pays. Dans la partie méridionale, l'écoulement des eaux souterraines est dirigé de l'océan vers le continent, traduisant ainsi, une incursion des eaux de la mer vers la nappe d'eau douce (Le biseau salé).

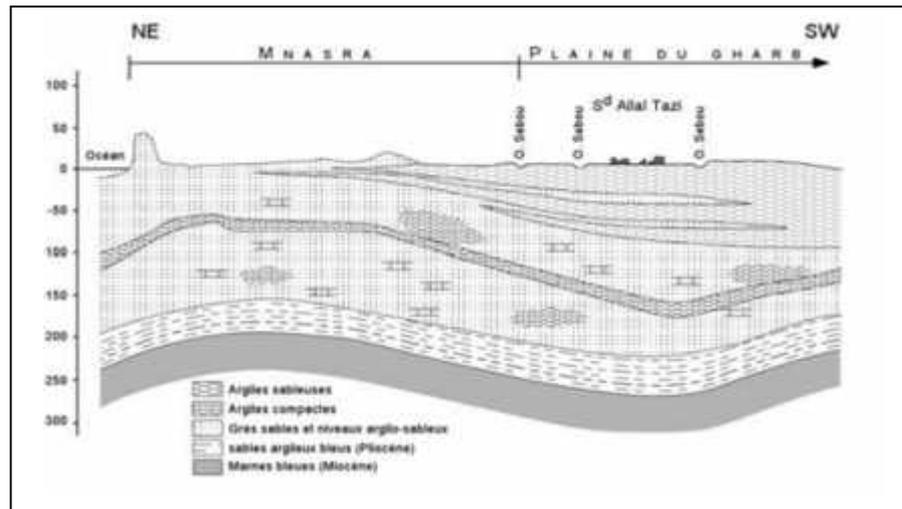


Figure III.1 Coupe NW-SE dans la partie centrale des dunes côtières du Gharb (Mnasra)
(Combe, 1975)

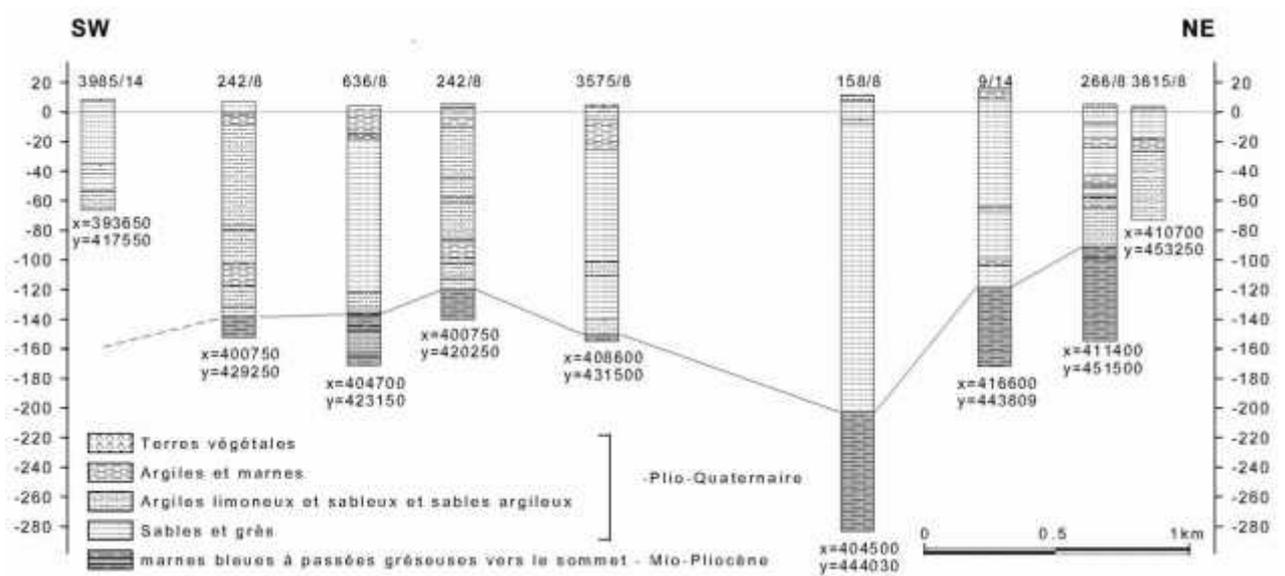


Figure III.2: corrélation stratigraphique de la série mio-plio-quadernaire entre forage de la zone Mnasra selon une coupe NE-SW.

III.2.Caractéristiques Hydrodynamiques

A- Transmissivité :

La transmissivité est le paramètre régnant le flux d'eau qui s'écoule par unité de largeur d'un aquifère sous l'effet d'une unité de gradient hydraulique.

D'une façon générale, les transmissivités oscillent entre 6×10^{-4} et 2×10^{-2} m²/s avec une moyenne de 6×10^{-3} m²/s. Les plus importants écarts de la transmissivité sont enregistrés dans le centre de la zone d'étude; avec un maximum de $1,8 \times 10^{-2}$ m²/s enregistré près de la zone littorale.

Dans la partie septentrionale des Mnasra, les transmissivités sont assez élevées près du littoral où elles atteignent $2,1 \times 10^{-2}$ m²/s ainsi que dans la partie centrale près de l'oued Sebou avec des valeurs de l'ordre de 2×10^{-2} m²/s.

Dans la partie Sud, on note une certaine augmentation des transmissivités en allant du Nord vers le Sud; les valeurs sont de l'ordre de 2×10^{-3} à 1×10^{-2} m²/s au voisinage du barrage de Garde et de l'ordre de 7×10^{-3} m²/s près de la ville de Kenitra.

Il ressort que les valeurs des transmissivités présentent spatialement des écarts importants qui se rapportent à l'hétérogénéité latérale et verticale des faciès lithologiques dans l'aquifère des Mnasra. Dans les grès dunaires, les transmissivités sont plus élevées à cause de l'importance des épaisseurs des formations sablo-gréseuses qui dominent les faciès de l'aquifère en présence alors qu'elles sont moins importantes dans les dunes et replats dunaires de la plaine alluviale.

B- La perméabilité :

Ce paramètre est indispensable pour le calcul de la transmissivité et de la vitesse de filtration. Les valeurs des perméabilités déduites des transmissivités sont comprises entre $0,5 \cdot 10^{-4}$ m/s et $6 \cdot 10^{-3}$ m/s (DRPE, 1994).

C- Le coefficient d'emmagasinement :

Les valeurs des coefficients d'emmagasinement disponibles sont très peu nombreuses pour permettre la caractérisation de la fonction capacitive du réservoir Plio Quaternaire des Mnasra. Ces valeurs obtenues par interprétation des essais de pompage sont au nombre de 5 dont 2 se situent en dehors de la région d'étude, précisément dans la moitié Sud des Mnasra au-delà immédiat du Sebou, limite Est des Mnasra. Il s'agit des forages 3365/08 et 1916/08 exécutés au niveau des affleurements quaternaires du Tirs où les valeurs des coefficients d'emmagasinement sont de l'ordre de $3 \cdot 10^{-7}$ à $5 \cdot 10^{-6}$. Parallèlement, le forage 3346/08 implanté dans Mnasra au niveau de ces mêmes affleurements du Tirs (à 3 km environ au Nord-Ouest du forage 3365/08) présente une valeur d'emmagasinement située dans le même ordre de grandeur que celui des deux forages précités, soit une valeur $3,6 \cdot 10^{-7}$. Les deux forages restants, et presque contigus, sont exécutés dans la moitié septentrionale des Mnasra (à 2 Km environ de la côte Atlantique) au niveau des affleurements des sables quaternaires des Merjas. Ces deux forages présentent des valeurs du coefficient d'emmagasinement de $1 \cdot 10^{-5}$ et de $13 \cdot 10^{-5}$. Ces valeurs quoi qu'elles soient loin d'être représentatives, elles expriment cependant l'hétérogénéité des formations aquifères des Mnasra. (B. Bouya et al. (2011)).

III.3. Piézométrie :

L'analyse des cartes piézométrique dressée en 1992 et 2007 montre que l'organisation des écoulements souterrains se scinde en deux parties : (Figures III.3, III.4).

- La partie Nord s'étendant au nord du barrage de garde,
- La partie Sud s'étendant entre cet ouvrage et la ville de Kenitra.

Dans la partie nord, les iso pièzes forment un dôme piézométrique au droit du secteur dunaire qui constitue une zone favorable d'alimentation de la nappe de Mnasra. L'axe N-S du dôme

correspond à une ligne de partage des eaux donnant lieu à deux directions d'écoulements, l'une vers l'océan et l'autre vers l'intérieur du pays.

Dans la partie méridionale, les lignes piézométriques s'incurvent, juste après le dôme, vers l'intérieur des terres traduisant une organisation déprimée des écoulements.

L'étude comparative de la carte piézométrique de la nappe établi en novembre 1992 et de celle établi en décembre 2007 montre que le sens général de l'écoulement dans la moitié septentrionale reste la même depuis 1992 alors que dans la moitié Sud on assiste à une inversion du sens général d'écoulement, il était orienté vers l'Ouest dans la carte de novembre 1992 par contre dans la carte de décembre 2007 le sens d'écoulement est vers l'Est. Cette inversion des sens des flux, orientés de la mer vers le continent, confirme une intrusion de l'eau de mer dans cette partie des Mnasra en réponse à l'intensification et à l'exploitation accrue des eaux de la nappe



Figure III.3 : Carte piézométrique de la nappe de Mnasra (ABHS, Décembre 2007)



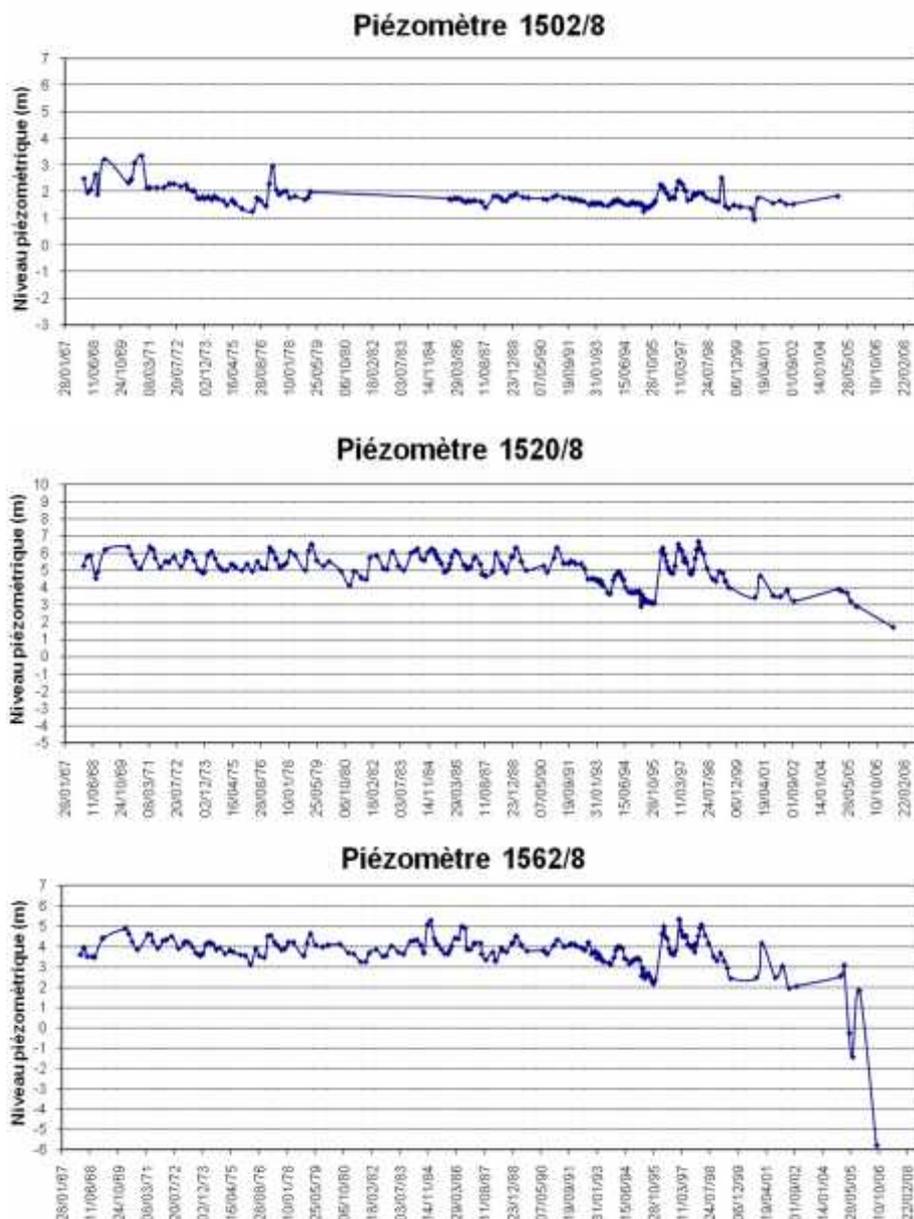
Figure III.4 : Carte piézométrique de la nappe de Mnasra (DRPE, Novembre 1992)

III.4. Evolution piézométrique:

Le suivi de l'évolution piézométrique de la nappe Mnasra est réalisé par le relevé mensuel des niveaux d'eau dans au moins six points d'observation. Les points de mesure disposant d'une longue série sont: 1502/8, 1520/8, 1562/8, 1563/8 et 1564/8 et 1565/8.

L'évolution piézométrique montre des variations plus ou moins régulière d'amplitude liée aux variations pluviométriques. Le niveau piézométrique général reste quasi-constant jusqu'en 1996, année à partir de laquelle une légère remontée s'amorce en concordance avec un excès pluviométrique.

A partir de 1999, on note une tendance à une baisse dans tous les piézomètres, elle est très faible dans la partie du dôme piézométrique et elle est de l'ordre de 0,75 m à 1 m entre 1999 et 2006 dans la partie méridionale en concordance avec l'augmentation des prélèvements d'eau dans ce secteur (Figure III.5).



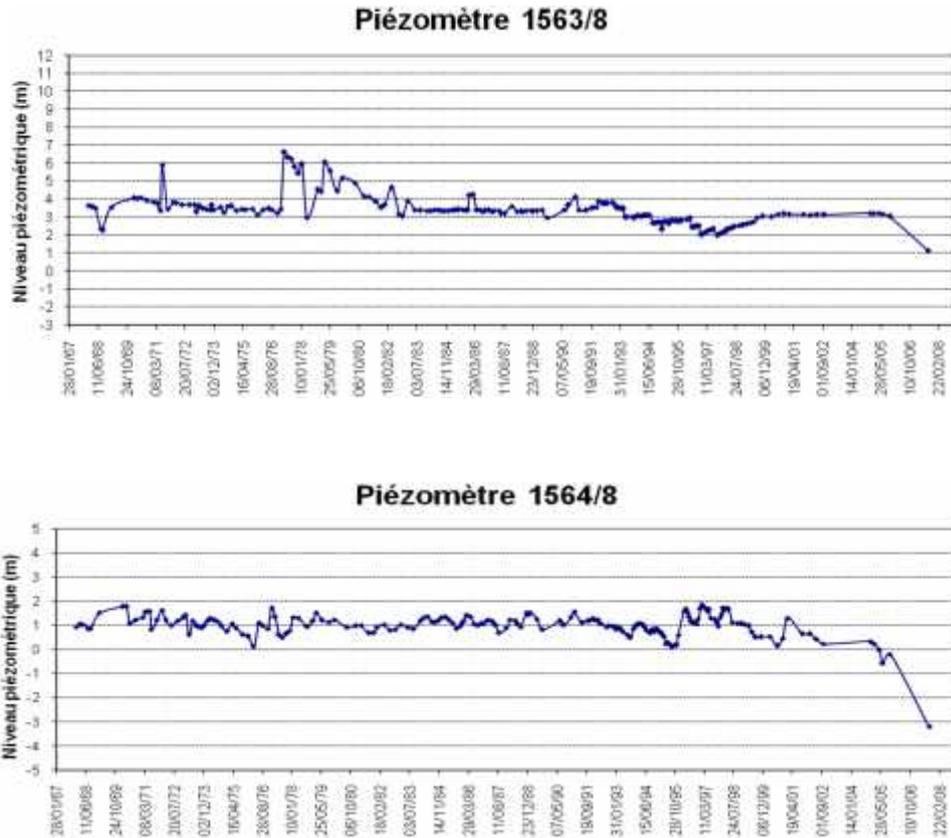


Figure III.5 : Evolution piézométriques de six piézomètres de la zone d'étude (ABHS, 2009)

III.5. Recharge de la nappe

A- Infiltration pluviale :

Dans l'aire de l'étude, le niveau grés-sableux affleurant en surface sur 500 Km² que constitue l'ensemble des dunes anciennes, forme un impluvium privilégié de recharge des eaux souterraines. L'alimentation de la nappe, ne s'opérant principalement que par l'infiltration des eaux pluviales qui se réalise à partir de cet espace.

Les cartes piézométriques dressées montrent clairement que cet espace dunaire joue un rôle de château d'eau alimentant le complexe aquifère par infiltration des précipitations relativement abondantes (en moyenne 550 mm/an pour la période de récente). Les eaux de pluie s'infiltrent

dans les niveaux grésosableux et rechargent la nappe superficielle qui à son tour, par drainage vers le bas, alimente la nappe semi-profonde. L'infiltration est certainement importante dans ces formations perméables au relief atténué, le ruissellement ne se manifestant que lors des épisodes pluvieux violents et prolongés. Dans le texte traitant du bassin Gharb-Mamora du tome 2 des ressources en eau du Maroc, M Combe signale que des expérimentations sur cases lysimétriques avaient montré que 50% du volume de certaines averses était susceptible de s'infiltrer dans ces formations grésosableuses et que des mesures en vraie grandeur réalisées au sud de Rabat (Ain Reloulo) permettent d'admettre un coefficient d'infiltration supérieur à 25%.

Parallèlement, le bilan pluvio-évaporométrique a conduit à une infiltration efficace de 27% sur la base d'une réserve facilement utilisable (RFU) de 100 mm.

Cependant, les études agro-pédologiques entreprises dans la zone d'étude donnent des valeurs de RFU nettement inférieures. Aussi, on propose de retenir, en tenant compte des caractéristiques des sols, les coefficients d'infiltration à retenir sont consignés dans le tableau (Tableau III.1) qui suit :

Tableau III.1 : Volume infiltré pour une pluie moyenne de 550 mm/an

Sols	Superficie (%)	Superficie (Km ²)	Coefficient d'infiltration (%)	Volume moyen infiltré (Mm ³ /an)
Sols légers et sols lourds	17	102	15	8,2
Sols sableux	47	282	35	54,3
Sols apparentés	19	114	30	18,5
Merjas - dayas	17	102	25	14,0
Total	100	600	28	94,0

Selon les coefficients d'infiltration retenus, la recharge moyenne pluviale est de l'ordre de 94 Mm³/an.

B- Alimentation par l'Oued Sebou

L'Oued Sebou constitue, dans la partie méridionale de l'aire de l'étude, une condition aux limites orientale.

Dans cette partie, les cartes piézométriques élaborées montrent que le cours d'eau, sur une distance de 25 Km, tantôt draine la nappe, tantôt l'alimente.

En utilisant la loi de Darcy, un volume global de 7,2 Mm³ profite à la nappe.

C-Abouchement souterrain le long de la limite orientale

Dans cette partie, le transfert d'eau souterraine d'est en ouest est difficilement évaluable du fait des imprécisions sur l'organisation et le sens des écoulements. Cependant, le dôme piézométrique dans une situation d'équilibre minimise le transfert. On peut sans se tromper, considérer un débit négligeable d'abouchement souterrain.

D-Retours d'eau d'irrigation

Selon les estimations effectuées dans les études agronomiques et les enquêtes de terrains, un volume de 194 Mm³/an est prélevé à partir des eaux souterraines par pompage pour irriguer 39000 ha. A signaler que les spéculations pratiquées sont des cultures d'automne en général, elles nécessitent d'être irriguées tout au long du cycle végétatif.

III.6.Décharges:

Elles se repartissent en trois ensembles:

Les décharges naturelles constituées des volumes d'eau écoulés à la mer, des volumes d'eau du trop plein drainés par les ouvrages d'assainissement agricole et l'Oued Sebou ;

Les prélèvements, part pompage pour l'irrigation et l'alimentation en eau potable ;

L'écoulement souterrain vers l'intérieur.

A-Ecoulement souterrain à la mer

La carte piézométrique de 2005 et les quelques transmissivités disponibles permettent le calcul sommaire du débit s'écoulant vers l'océan atlantique. Ce débit est évalué à 4,2 Mm³ /an.

B-Drainage

Le débit des exutoires est difficile à préciser, à cause du nombre insuffisant de mesures de la transmissivité et de l'imprécision des cartes piézométriques élaborées (petites échelles) et de l'absence des données de suivis sur le débit des canaux de drainages.

En ce qui concerne les ouvrages de drainage, leur état actuel ainsi que la surface piézométrique générale actuelle de la nappe conduisent à un débit nul durant toute l'année exception faite des périodes particulières d'épisodes pluvieux abondants entraînant de fortes infiltrations et un rehaussement rapide de la surface piézométrique de la nappe.

L'oued Sebou au sud de Sidi Allal Tazi, par contre, draine la nappe ; les courbes piézométriques étant quasi-parallèles au cours de l'oued. A l'est de Sidi Allal Tazi, les isopièzes sont presque perpendiculaires à la rive droite, ce qui limite le débit d'échange entre la nappe et l'oued dans cette portion de l'oued. Notons aussi que selon des témoignages d'exploitants riverains, l'élévation du niveau d'eau de la retenue du barrage de garde, engendre une remontée des niveaux d'eau des ouvrages de production situés à proximité.

Même si les formations de la rive droite de l'oued sont argileuses, un échange doit s'opérer. Le calcul sommaire à partir des cartes piézométriques existantes et des paramètres hydrodynamiques donne un débit de drainage de l'ordre de 2Mm³/an.

C-Ecoulement souterrain vers l'intérieur

Les cartes piézométriques dressées en 1972 (Tom II de ressources en eau) et en 1992 corroborées à l'esquisse piézométrique de février 2005 (Etude d'actualisation de P.D.A.I.R.E) ne montrent pas d'écoulement souterrain vers l'intérieur hors du domaine d'étude.

D-Prélèvements par pompage

- **Irrigation**

L'évaluation des prélèvements d'eau agricole, en attendant l'achèvement des enquêtes de terrain entreprises par l'agence de bassin hydraulique du Sebou, repose sur la superficie irriguée et le type de cultures réalisées lors de la campagne agricole 2005 (données fournies par l'O.R.M.V.A.G.) corroborées à des enquêtes «vérité» de terrain réalisées dans le cadre de cette étude. Le calcul entrepris sur la base des surfaces irriguées, des assolements et des lois des demandes en eau du développement végétatif et de la pluie efficace donne un volume de l'ordre de 194 Mm³.

- **Alimentation en eau potable et industrielle**

En adoptant des besoins journaliers de 30 l/ha, les prélèvements pour l'AEPI ne dépassent guère 1.5 Mm³/an.

III .7.Bilan de la nappe:

L'alimentation naturelle de la nappe des Mnasra se fait à partir de l'infiltration des eaux pluviales principalement au niveau des affleurements sableux des dunes côtières, du drainage de l'Oued Sebou et des transferts latéraux à partir de la nappe du Ghab qui constitue la continuité hydraulique de la nappe de Mnasra à l'Est. Cette nappe est aussi alimentée par les retours des eaux de la nappe sollicitée pour les besoins de l'irrigation (pompages agricoles). Cependant, les apports météoriques constituent la principale composante de recharge de la nappe représentant 80% des apports totaux et pour des coefficients d'infiltration de 3 à 20% et de 15% en moyenne. Ces coefficients ont été estimés par l'ORMVAG dans le cadre d'une étude pédologique entreprise par l'ORMVAG (1996) et sont calculés sur la base, d'une part, de la nature pédologique et d'autre part, des superficies des différents types de sols. Pour les apports par drainage du Sebou au Sud-Est des Mnasra et des retours d'irrigation, ils constituent respectivement 9.5% et 10%. Par opposition, les faibles apports hydrauliques par transferts latéraux à partir de la nappe du Gharb peuvent s'expliquer par les faibles perméabilités du Pliocène dans la zone d'affleurements des tirs.

En effet, La décennie passée a été déterminante en matière de développement de la zone d'étude. Elle a vu le développement d'une superficie évaluée à 38 000 ha de terrains privés. Ceci est concrétisé grâce à des efforts soutenus de mobilisation des eaux souterraines, trois études se sont intéressées à l'évaluation des prélèvements agricoles :

- Projet dialogue sur l'eau dans la région du Mnasra (ABHS 2008) (Figure III.6).
- Actualisation du PDAIRE du bassin du Sebou (2008)
- Etude d'inventaire des redevables d'eau d'irrigation et d'AEPI dans la plaine du Gharb (2008).

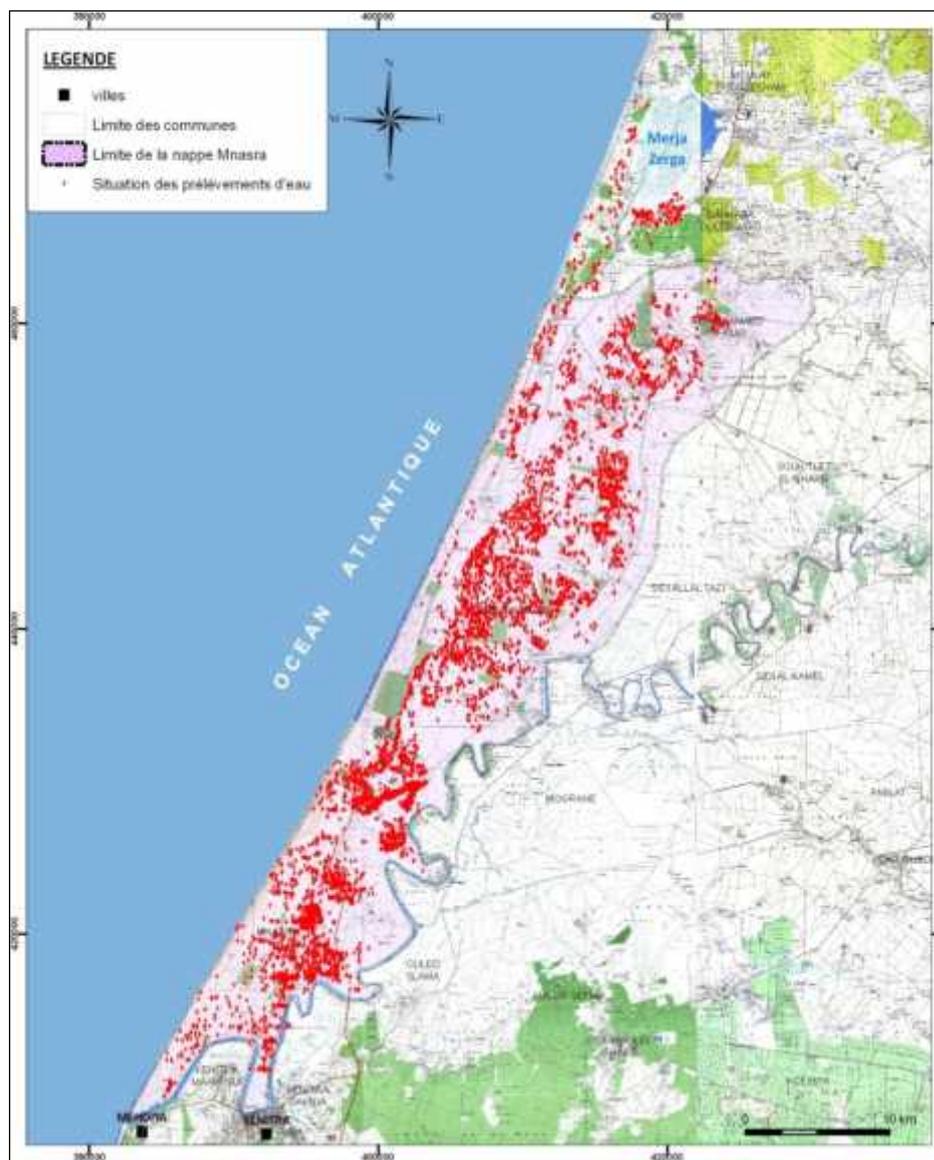


Figure III .6 : Localisation du prélèvement d'eau pour l'irrigation dans la zone du Mnasra (ABHS, 2008)

- 1) Pour l'étude relative au dialogue sur l'eau dans la région du Mnasra, la superficie irriguée a été estimée à 39 686 ha pour un débit prélevé évalué à 195 Million de m³.
- 2) Par contre l'étude afférente à l'actualisation du PDAIRE à l'échelle du bassin du Sebou a aboutit à ce qui suit :
 - une superficie irriguée évaluée à 38 183 ha
 - un besoin moyen par hectare de 4019 m³/ha
 - un prélèvement total au niveau de la zone du Mnasra de l'ordre de 153 Mm³.
- 3) L'étude d'inventaire des redevables d'eau d'irrigation et d'AEPI dans la zone du Gharb (ABHS 2008) a aboutit à un volume prélevé de 107 Millions de m³.

Les principaux termes de sorties de la nappe des Mnasra correspondent donc aux prélèvements agricoles. Le drainage par l'oued Sebou et les sorties vers l'Océan Atlantique sont par contre beaucoup plus faibles constituant respectivement 6 % et 3.5 %. De la nappe des Mnasra est

aussi sollicitée pour les besoins en eau potable du centre ONEP de Sidi Allal Tazi (captages 1769/8 et 1537/8) avec un débit moyen de 812 000 m³/an enregistré au niveau du captage 1769/8 durant la période 1990-1998.

Un essai de bilan de la nappe a été établi dans le cadre d'une étude de modélisation mathématique de la nappe des Mnasra réalisée par la DRPE (1994) et revu à l'occasion de l'étude du PDAIRE. Ces deux essais de bilan sont récapitulés dans le tableau III.2.

		Bilan DRPE (1994) en Mm ³ /an	Bilan PDAIRE actualisé en Mm ³ /an
ENTREE	Apports Précipitations	67,8	82.5
	Alimentation Par Sebou	8,99	9,7
	Retours d'irrigation	5,23	15.3
	Transferts de l'Est	0,47	-
	Total	82,49	107.5
SORTIE	Drainage par Sebou	7,1	7
	Drainage par l'Océan	17,63	4.2
	Prélèvements agricoles	53,1	153
	Débordements des merjas	4,67	-
	Total	82,5	164.2
STOCKAGE		-0,01	-56.7

Tableau III.2 : Bilan hydraulique de la nappe de Mnasra évalué en 1994 et 2008(DRPE ,ABHS)

L'analyse du tableau ci-dessus montre que, par opposition au bilan établi par la DRPE (1994), celui issu du PDAIRE montre un état déséquilibré avec un déficit de la nappe de 56.7 Mm³/an. La baisse enregistrée au niveau des piézomètres 1562/8 (-6m) et 1538/8 (-4m), 1564/8 (-3.5m) reste cependant faible (8 à 12 cm/an) par comparaison au déficit qui est d'environ 56.7 Mm³. Ce qui laisse supposer que le déstockage de la nappe est en relation avec l'avancée du biseau salé dans la moitié sud du Mnasra. Cette intrusion marine déjà mise en évidence par une étude géophysique réalisée par la DRPE et confirmée par l'étude géophysique par tomographie (2007) réalisée par l'ABHS dont les résultats montrent que l'interface eau douce/ eau salée s'étend dans la moitié sud jusqu'à l'oued Sebou avec des remontées abondantes du biseau salé dues au phénomène de l'upconing lié aux pompages intensifs. Cette interface s'étend jusqu'à 11 Km à l'intérieur de la zone de Mnasra. Par conséquent, les flux des eaux salées entrants à la nappe et qui ne sont pas pris en considération dans le bilan hydrique doivent correspondre aux volumes déstockés de la nappe

III.8. Dégradation du milieu naturel:

La région de Mnasra abrite deux sites d'intérêt Biologique et Ecologique (SIBE) faisant partie du domaine littoral et plusieurs merja alignées selon la morphologie du cordon dunaire.

A-Les merja côtières et les merja des dunes intérieures :

L'excédent d'eau pluvial ruissèle sur les hauteurs des dunes pour aboutir aux dépressions naturelles y formant des merja. Une partie de l'eau s'infiltré entraînant la remonté du niveau d'eau de la nappe se situant à moins de 2m, et une partie stagne en surface. L'eau remontant par capillarité, s'évapore entraînant une salinisation des sols et des eaux souterraines gisant au droit des merja.

D'importants travaux d'assainissement ont été réalisés durant les années 1950 pour assécher les merja et permettre leur exploitation. Les travaux ont consisté en l'ouverture de deux canaux de drainage parallèles à la côte, séparés par la digue Sidi El Hachmi :

Le canal appelé Daouara puis Nador, drainant la partie septentrionale vers la merja Zerga située à proximité de Moulay Bouselham ;

Le canal Fakroun drainant le centre et le sud vers l'oued Sebou à proximité de la ville de Kenitra moyennant une station d'exhaure à Kabat.

Ces canaux ne faisant pas l'objet d'entretien ni par les services publics, ni par les exploitants, ne remplissent plus leur fonction. L'eau s'accumule dans ces merja au cours des périodes pluvieuses à cause de l'inexistence d'exutoires superficiels, et le transfert d'eau entre les dépressions et la nappe ne s'effectuant pas à un certain moment. L'épaisseur du niveau non saturé étant faible, le dôme piézométrique provoqué par l'infiltration, vient se coller contre la surface du sol et le gradient d'écoulement, auparavant vertical, s'"horizontalise". La disparition de la tranche non saturée sous le fond des dépressions, se traduit par une baisse considérable de la capacité d'infiltration.

L'accumulation des eaux en surface conduit à une inondation de près de 7500 Ha pénalisant les exploitations agricoles et par conséquent provoquant des mécontentements.

B-La Merja Zerga

Ecosystème particulièrement sensible, la Merja Zerga de part sa proximité de Moulay Bouselham, subit des agressions diverses aussi bien par les constitutionnels qui ne prennent pas en considération les impacts environnementaux des projets réalisés que par les comportements individuels néfastes (extractions des sables, dépôts des gravats et déchets, pollution sonore, agressions diverses en vers la faune et le milieu aquatique, pression sur le foncier).

Les contraintes et menaces sont multiples, on signale entre autre ;

La proximité immédiate de Moulay Bouselham,

L'urbanisation poussée,

La diminution d'alimentation produite par la pression sur la ressource en eau,

L'usage du SIBE comme lieu de parcours, prélèvements de sable, rejets des gravats etc...

La vocation de ce SIBE est de préserver un site remarquable.

Outre l'intérêt écologique (biodiversité et milieu), ce SIBE offre pour le pays, une zone privilégiée, pour y exercer les activités pédagogiques et scientifiques.

La gestion de ce SIBE doit s'appuyer sur une maîtrise de l'espace qui interdit toute extension de l'agriculture et tout prélèvement sur le milieu et de ses ressources, sur la pérennisation de la merja et son environnement naturel, sur la fermeture du périmètre à toute personne non autorisée, sur l'interdiction d'une exploitation touristique que le milieu trop fragile ne peut supporter et sur une valorisation pédagogique et scientifique.

C-L'embouchure du Sebou

L'embouchure du Sebou offre un complexe laguno-marin dont l'intérêt est fortement relevé par la présence de large sansouire, très bien développée surtout dans le premier coude, et site refuge pour toute une petite faune. Actuellement incluse dans le périmètre "militaire", ces formations sont donc protégées de facto, mais pas spécifiquement comme telles, ce qui serait indispensable vu la régression générale de ce type d'écosystème dans le Maroc septentrional.

L'avifaune de la Sansouire est dominée par la reproduction du Busard cendré et par le stationnement (hivernage, migrations) de nombreuses espèces de Laro-Limicoles.

Les larges vasières des berges et de l'embouchure sont, en hiver et en période de migrations, des zones de refuge et d'alimentation pour bon nombre de Limicoles.

Le plan d'eau de la partie avale est souvent fréquenté en hiver par les Anatidés lorsqu'ils sont dérangés sur le site proche de Sidi Bou Ghaba.

D'autre part, les 2 jetées prolongeant l'embouchure pénètrent profondément en mer, et ces avancées artificielles sont remarquables pour l'observation d'Oiseaux marins au sens large ou pour suivre le passage des Passereaux migrants.

En hiver, le site est un lieu important de captures de Civelles (jeunes Anguilles) lors de leurs remontées dans l'estuaire (exportation vers l'Espagne). Une pêcherie d'Aloses y était développée, dont les captures ne cessent de régresser depuis 1976 (diminution du stock engendrée par modification de l'hydrologie de l'oued et pollution des eaux).

Le site ne nécessite pas de mesures spéciales de préservation, si ce n'est une surveillance pour éviter que les biotopes ne soient dégradés.

Le rôle de ce site doit être pris en considération dans un plan global de gestion de l'avifaune sur la zone de Sidi Bou Ghaba - Mehdia.

Les captures de Civelles devraient être contrôlées et contingentées.

D-Le cordon dunaire

La zone littorale de l'aire de l'étude connaît une activité accrue de l'exploitation des carrières de sable. Cette activité, se développant d'une manière considérable et notamment de la CR de Ben Mansour, affecte inexorablement l'environnement en défigurant le paysage naturel par les extractions, en l'agressant par la production sonore des engins et le dégagement des poussières. Cette activité aggrave la vulnérabilité des eaux souterraines, en créant des foyers de pollution par la réduction de la puissance de la tranche non saturée déjà peu épaisse et en exposant les impluviums aux percolations des lubrifiants et des huiles de vidange ainsi qu'aux rejets de ferrailles de toute sorte

E-Les eaux souterraines

Dans la zone de Mnasra, les analyses disponibles relatives au réseau national de surveillance de la qualité de l'eau révèle des teneurs élevées en nitrate dans la zone des dunes intérieures où les teneurs sont généralement très élevées (>100 mg/l). Sur le cordon dunaire, les teneurs deviennent moyennes à élevées. Dans la zone argileuse, les teneurs sont faibles à très faibles avec ponctuellement des valeurs élevées. D'une façon globale, les teneurs en nitrate ont augmenté entre 1999 et 2004 (IRE 1463/8 - 1765/8 - 911/8).

Signalons qu'en 2005, les teneurs en nitrate des eaux souterraines analysées dans le cadre de l'étude salinométrique des deux nappes du Gharb et de la Mamora par l'ABHS, ont varié pour

les 23 prélèvements réalisés entre 43 mg/l et 234 mg/l. la pollution de la nappe par les nitrates s'est pratiquement généralisée.

D'autres campagnes d'analyse en 1992 et 1993 par l'O.R.M.V.A.G. et en 1994 par l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II avaient montré que sur un réseau de 189 puits, 73% de points d'eau dépassaient la norme de potabilité fixée à 50 mg/l.

Cette dégradation est attribuée essentiellement à la pollution diffuse d'origine agricole et ponctuellement aux rejets d'une industrie de la mélasse et aux rejets des eaux usées domestiques.

Les analyses de la conductivité électrique et du résidu sec n'ont pas révélé de valeurs élevées. Celles obtenues ont varié entre 0.45 mmhos/cm et 2.6 mmhos/cm pour la conductivité électrique et entre 1.2 g/l et 1.6 g/l.

Des analyses de pesticides réalisées en 1996 par l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II n'ont pas révélé de contamination par ces produits.

CHAPITRE IV : HYDROCHIMIE ET QUALITE DES EAUX DE LA NAPPE MNASRA

IV.1.Introduction

La nappe de Mnasra est constituée d'un aquifère supérieur et un aquifère profond. 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. On s'intéresse à 9 stations existant dans cette nappe.

IV.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).

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

Idéalement, le total des cations doit être égales 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 $5\% < BI < 10 \%$;
- Douteuse lorsque $BI > 10\%$.

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 9 stations

Les résultats obtenus sont résumés dans le Tableau ci-dessous (Tableau IV.1):

Nom du point de prélèvement	Réf. des points	X(m)	Y(m)	cations	anions	BI(%)	
Forage ferme Med squali	1502/08	410.862	457.565	8,29	8,3	0,06	Excellente
Puits coopérative sefsafa	672/08	416.486	454.321	12,81	20,75	23,65	Douteuse
Puits ferme Bouchekar Hassan	1765/08	407.616	446.971	22,4	30,19	14,81	Douteuse
Puits cité Barrage	1135/08	408.600	434 ,60	10,65	11,37	3,26	Excellente
Puits ferme Benani	911/08	396.636	425.225	6,4	8,85	16,06	Douteuse
Puits Kebir Boutarta	1270/13	383.546	407.614	11,47	14,03	10,03	Douteuse
Puits Mensour Cherini	1563/08	416 .758	444.538	18,6	24,97	14,62	Douteuse
Forage zone industrielle	3340/14	393.059	410.182	42,49	42,9	0,48	Excellente
Forage barrage de garde	1027/14	406.842	432.599	12,33	12,1	0,94	Excellente

Tableau. IV. 1 : Qualité des analyses des eaux souterraines(ABHS,2013)

On remarque que les analyses douteuses sont considérées dans 5 stations seulement « Puits coopérative sefsafa » « Puits ferme bouchekar Hassan » « Puits ferme Benani » « Puits Kebir Boutarta » et « Puits Mensour Cherini » à cause d'une différence remarquable entre la somme des cations et la somme des anions (**BI 10%**)

Dans le reste des stations « Forage ferme Med squali » « puits cité barrage » « Forage zone industrielle » et « forage barrage de garde » les analyses sont considérées excellentes avec des balances ioniques qui oscillent entre 0 et 10.

IV.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.

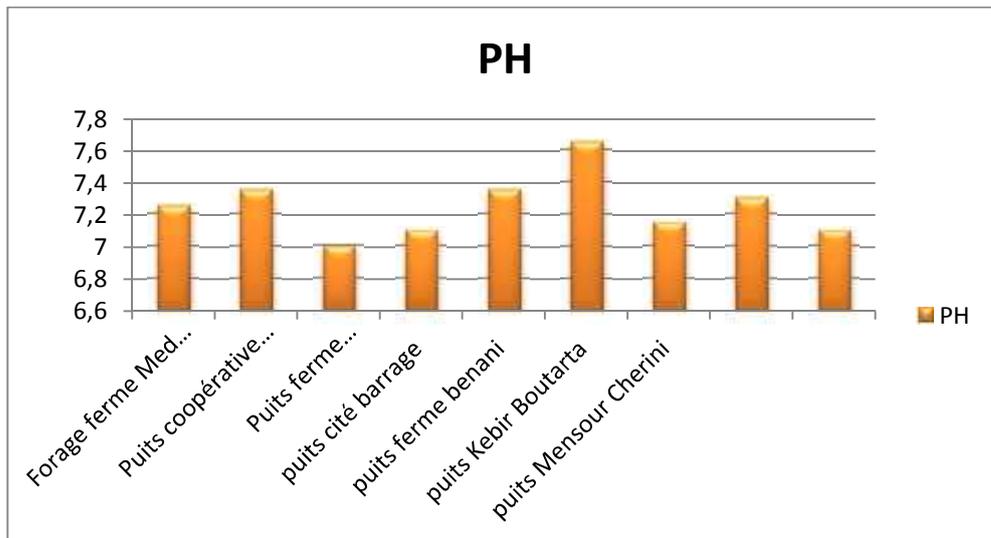


Figure IV.1.Histogramme des pH des eaux souterraines de la nappe Mnasra (ABHS, 2013)

Le pH varie entre 7 enregistré dans la station «puits ferme Bouchenkar Hassan (1765/8) »et 7,65 mesuré dans la station « puits Kebir Boutarta (1270/13) ». La moyenne est de l'ordre de 7,23. 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 (Figure IV.1).

IV.4.La conductivité

La conductivité mesure l'aptitude de l'eau à conduire le courant entre deux Electrodes. 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 (Ca²⁺), l'ion magnésium (Mg²⁺), l'ion sodium (Na⁺), l'ion potassium (K⁺), l'ion bicarbonate (HCO₃⁻), l'ion sulfate (SO₄²⁻) et l'ion chlorure (Cl⁻). Plus l'eau est capable de conduire un courant électrique et plus la conductivité mesurée est élevée.

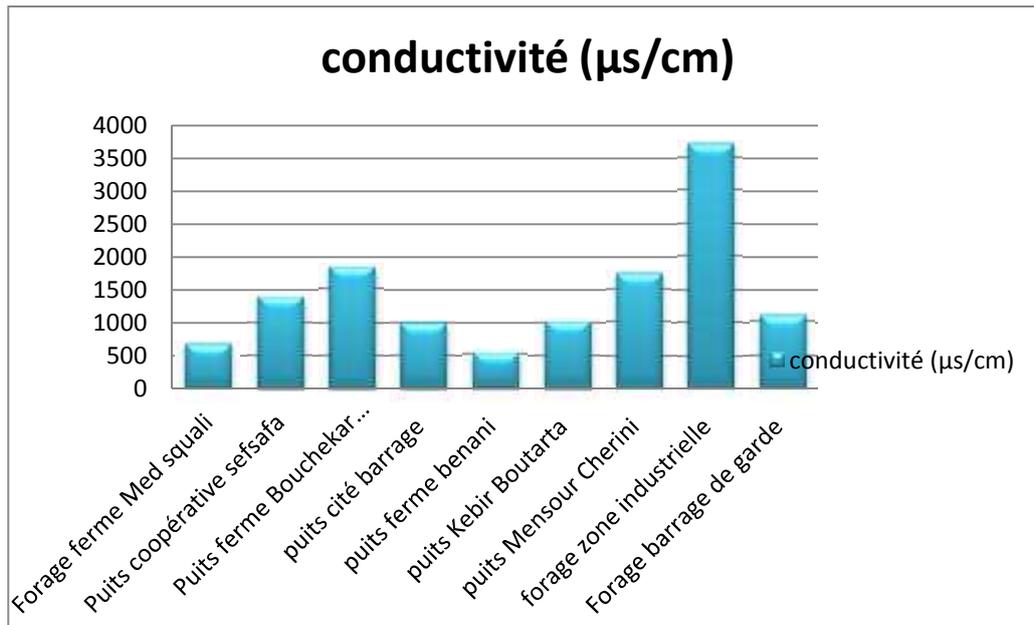


Figure IV.2. Histogramme des conductivités des eaux souterraines de la Nappe Mnasra (ABHS, 2013)

Plus de 66% des échantillons ont une conductivité supérieure à $1000\mu\text{S}/\text{cm}$ ce qui signifie que le type de l'eau est salée, le reste ont une conductivité entre 500 et $1000\mu\text{S}/\text{cm}$, donc l'eau est de type minérale.

Les conductivités enregistrées au niveau des eaux souterraines sont relativement moyennes (entre $535\mu\text{S}/\text{cm}$ et $3710\mu\text{S}/\text{cm}$) (Figure IV.2).

IV.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.

A- 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

B- Le diagramme de Schoeler-Berkaloff

Le diagramme de Schoeler-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 Schoeler-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).

IV.6. La localisation des faciès chimiques

La localisation des analyses relatives aux eaux souterraines de la nappe de Mnasra est représentée dans la figure IV.3 Les eaux se répartissent selon deux faciès principaux :

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

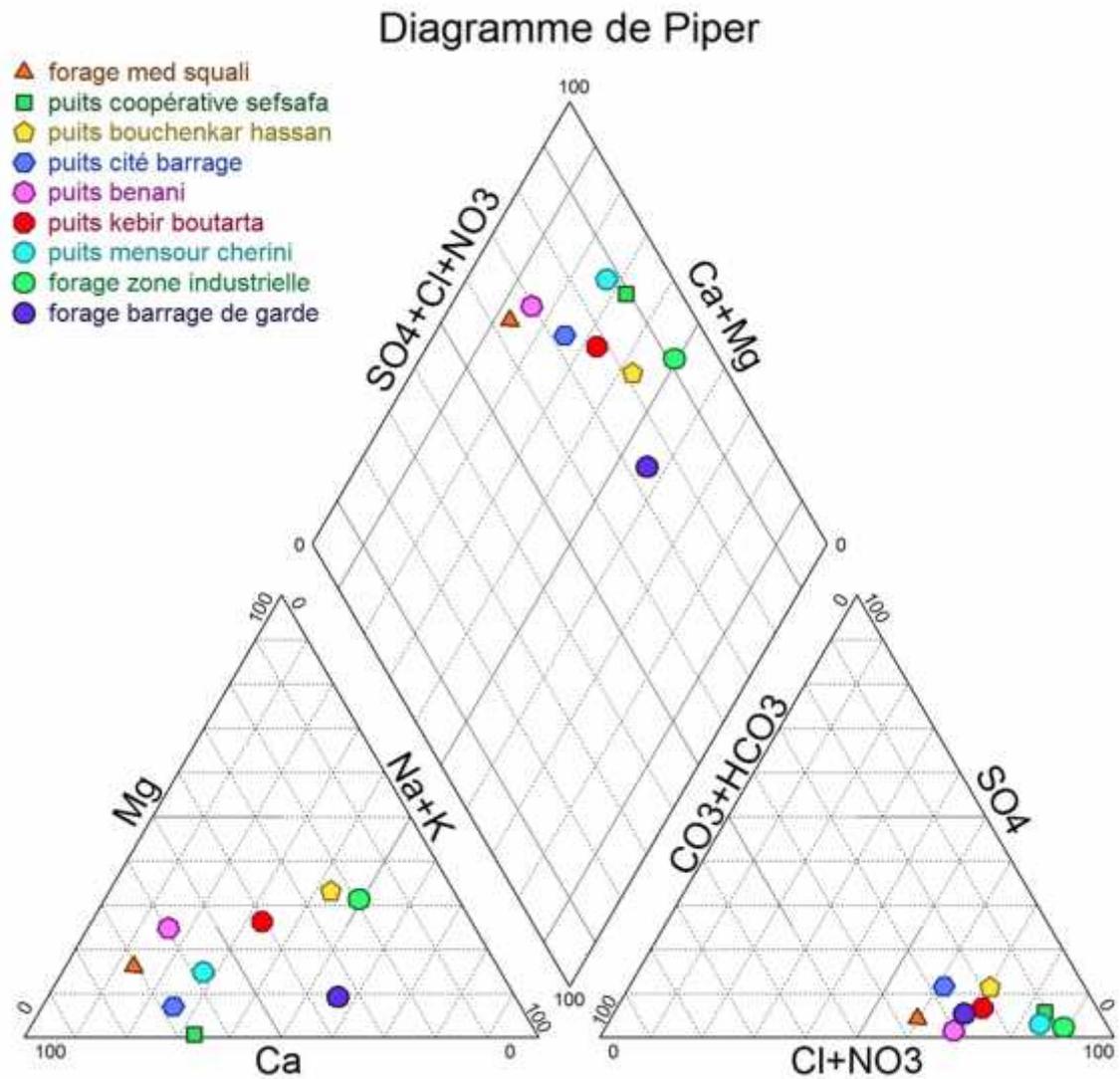


Figure IV.3. Projection sur le diagramme de Piper des analyses des eaux souterraines de la nappe de Mnasra

a- Les faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien

Elles sont représentés par 8 stations sur 9 et moyennement représentés dans le diagramme de Piper (Fig. IV.4). 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 535 et 3710 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

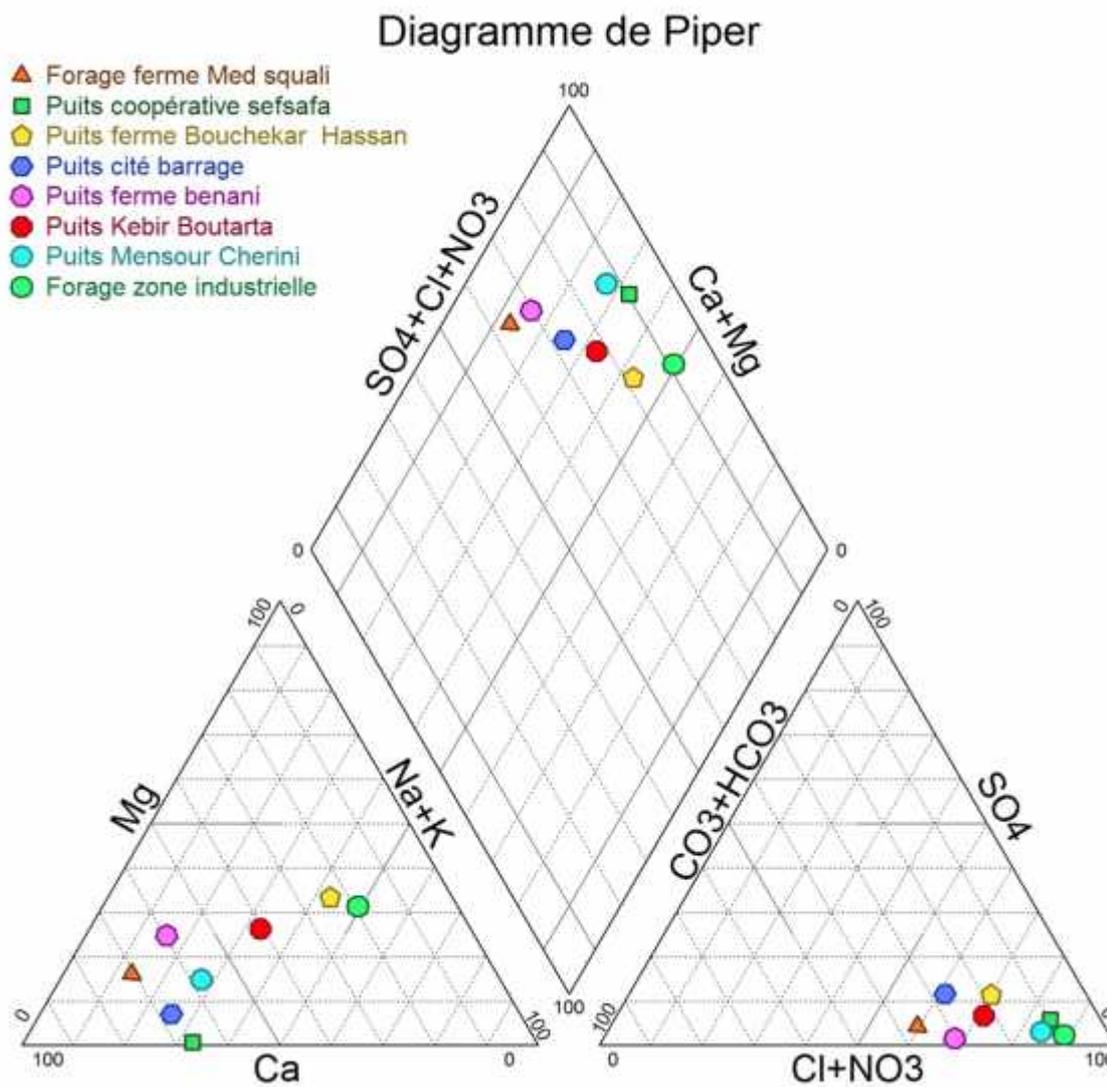


Figure IV.4 Projection sur le diagramme de Piper des analyses des faciès chloruré Calcique et magnésien

Dans le digramme de scholler-berkaloff la majorité des stations connait même évolutions ca Ve dire la même parenté chimique (Fig. IV.5).

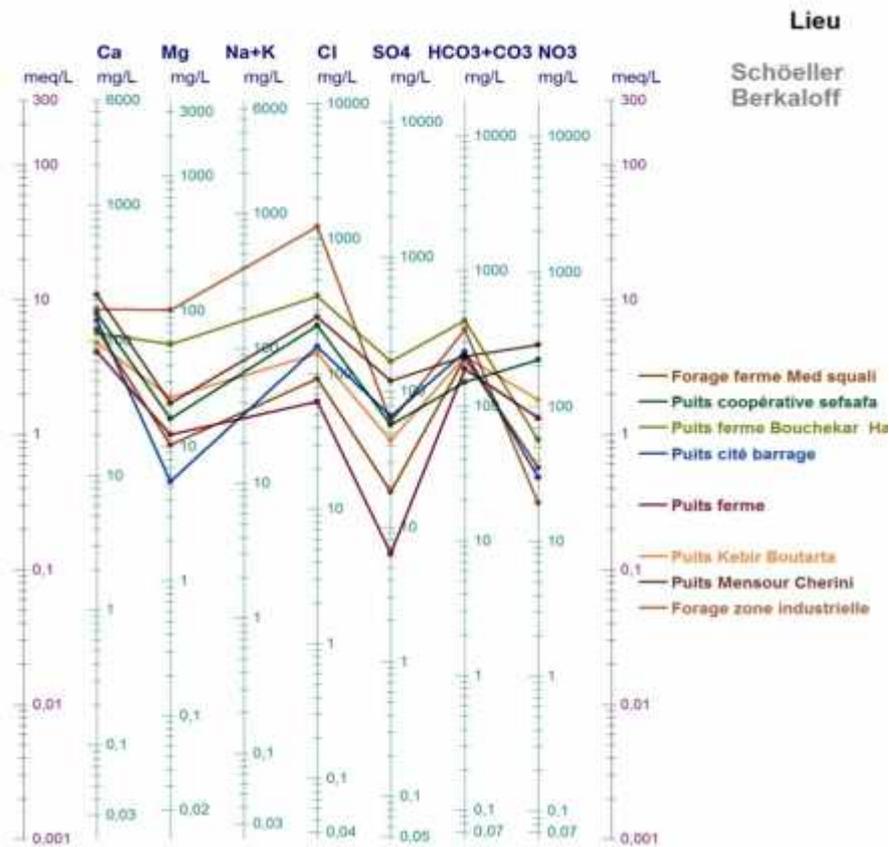


Figure IV.5. Projection sur le diagramme de scholler-berkaloff des analyses des eaux souterraines de la nappe du Mnasra

b- Le faciès chloruré sodique et sulfato-potassique

Il est représenté par une seule station sur 9 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 (Figure IV.6).

Il se distingue par une conductivité considérable ; La station de «forage barrage de garde » est caractérisée par une conductivité qui est de l'ordre de 1105 $\mu\text{S}/\text{cm}$ expliquée par une grande concentration en ion chlorure (238 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.

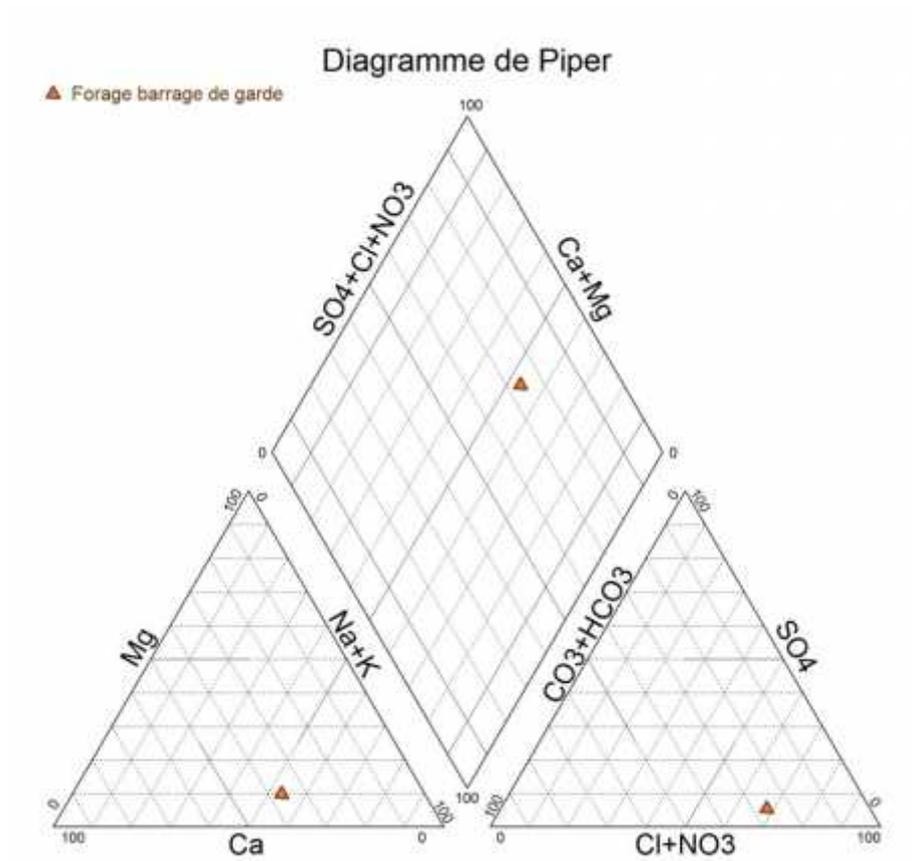


Figure IV.6. Projection sur le diagramme de Piper des analyses des faciés chloruré sodique et sulfato-potassique

D'après le diagramme de scholler-berkaloff seulement la station de «Forage barrage de garde » qui a une différence de point de vue évolution les autres sont semblables (la même parenté chimique) (Fig. IV.7).

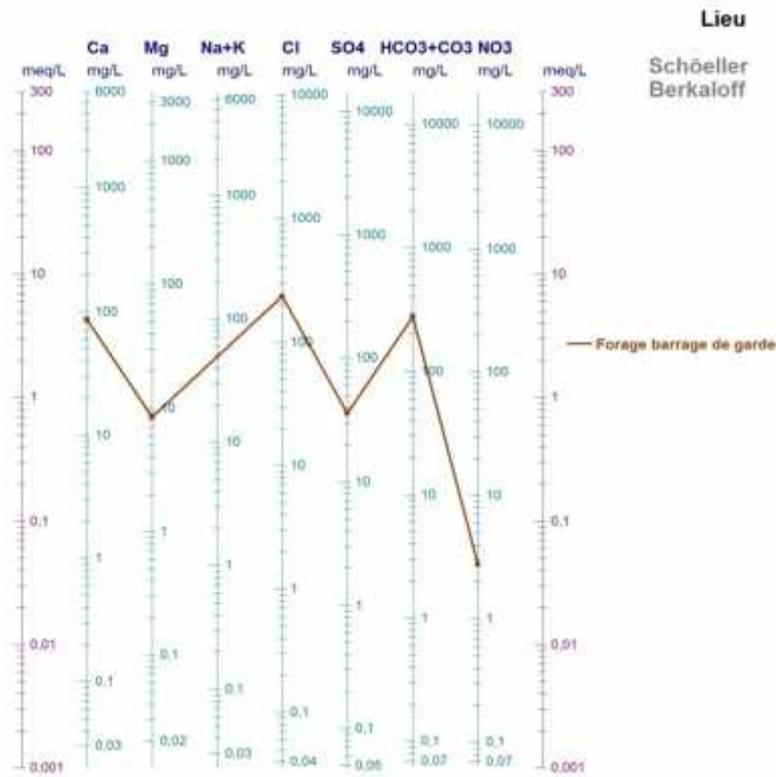


Figure IV.7. Projection sur le diagramme de scholler-berkaloff des analyses des faciès chloruré sodique et sulfato- potassique

IV.7. 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 :

$$TH = 104 (Ca^{2+} + Mg^{2+})$$

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.

Nom	TH	Dureté
Forage ferme Med squali	34,7	Très dure
Puits coopérative sefsafa	46,5	Très dure
Puits ferme Bouchekar Hassan	51,7	Très dure
Puits cité Barrage	37,8	Très dure
Puits ferme Benani	25,5	Dure
Puits Kebir Boutarta	33,7	Très dure
Puits Mensour Cherini	63,2	Très dure
Forage zone industrielle	85	Très dure
Forage barrage de garde	25,5	Dure

Tableau .IV.2 : La dureté des eaux souterraines (ABHS, 2013)

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

Cette étude est portée sur la zone de Mnasra, située dans la partie occidentale de la plaine du Gharb. Sur le plan géologique, le substratum de cette zone de Mnasra est constituée par une épaisse série de marnes bleues d'âge miocène supérieur surmontée par une série des dépôts hétérogènes du Pliocène, Villafranchien et du Quaternaire.

La zone de Mnasra peut être subdivisée en deux zones morphologiques distinctes : la zone côtière sableuse ou grésosableuses, constituée par un ensemble de systèmes dunaires et dépressions inter dunaires, à topographie plus ou moins collinaire et la zone de la plaine alluviale du Sebou, à topographie plane, qui correspond à la continuité de la plaine du Gharb.

Cette zone ne dispose pas d'un réseau hydrographique naturel bien individualisé. Elle constitue une zone où l'infiltration des excès d'eau pluviale au niveau des affleurements sableux très perméables entraîne la remontée de la nappe et aboutit ainsi à la formation des Merjas.

Le climat de la zone d'étude, marqué par l'influence océanique, est assez homogène. Il appartient à l'étage bioclimatique subhumide à hiver tempéré, avec une moyenne de précipitations annuelles de l'ordre 576 mm et de température de l'ordre 18.4 °C. Il se caractérise également par des vents fréquents venant de l'Ouest.

La piézométrie de la nappe superficielle montre que le sens général de l'écoulement dans la moitié septentrionale reste la même depuis 1992 alors que dans la moitié Sud on assiste à une inversion du sens général d'écoulement, il était orienté vers l'Ouest dans la carte de novembre 1992 par contre, dans la carte de décembre 2007 le sens d'écoulement est vers l'Est.

L'évolution piézométrique montre des fluctuations variables d'une année à l'autre selon les précipitations ; des remontées spectaculaires du niveau piézométrique sont en étroite corrélation avec les années exceptionnellement pluvieuses.

L'étude de l'hydrochimie des eaux souterraines de la nappe des Mnasra nous a permis de déterminer les différents faciès chimiques ainsi que leurs parentés chimiques. Les eaux de la nappe présentent des faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésienne, chloruré sodique et sulfato-potassique dominants.

Références bibliographiques

Aberkan M., 1989. Etude des formations quaternaires des marges du bassin du Gharb (Maroc nord-occidental). Thèse des Sciences, Université Bordeaux I, France, 290.

ABHS : Note sur les ressources en eau souterraines dans le bassin de Sebou. Rapport interne.

ABHS (Avril 2009) : Projet de périmètre d'interdiction de la nappe de Mnassra province de Kénitra. Rapport interne.

ABHS (2009) : Etude de la recharge artificielle de la nappe Mnasra.

ABHS(2009) : Collecte des données, missions de reconnaissance terrain et synthèse bibliographique sur la nappe phréatique Mnasra. Rapport interne.

ABHS (2013) : Bultins d'analyse de la qualité des eaux. Rapport interne.

Batchi M., J.Al Karkouri, M.El Maaquili, I.Fenijro (2014): cartographie de la vulnérabilité marine de l'aquifère cotier de Mnasra.

Bouya B., M. Faouzi, M. Ben Abbou, A. Essahlaoui, M. Bahir, N. Youbi, M.A. Hessane 2011 L'aquifère côtier des Mnasra (plaine du Gharb, Maroc): hydrogéologie et modélisation hydrodynamique.

Bouya (2006) : Hydrogéologie et modélisation de l'écoulement souterraine de la nappe cotiere des Mnasra (Gharb-Maroc).

Combe, M., 1975 : Le bassin Gharb-Maamora et les petits bassins septentrionaux des oueds Dradère et Souieire. Ressources en eau du Maroc, Tome 2, plaines et bassin du Maroc Atlantique. Notes et Mem. Serv. Géol. Maroc, 231, 93-145.

DRPE, Direction de la Recherche et de la Planification des Eaux 1994. Etude de modélisation de la nappe côtière du Gharb (Région d'El Mnasra). Ministère des Travaux Publics de la Formation Professionnelle et de la Formation des Cadres, Administration de l'Hydraulique, Rabat, Maroc. Rapport interne.

Ennaji W (2014) : Etude de la zone favorable pour la recharge artificielle de la nappe phréatique Mnasra.

Hammouchi S., Y Kaaouach (2013) : Hydrogéologie et Qualité des eaux de la nappe du Gharb

ORMVAG, Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Gharb 1996. Aménagement hydro-agricole de la troisième tranche d'irrigation de la plaine du Gharb, zone Mnasra (zone côtière) Maroc. Rapport interne, Kénitra, Maroc, 452.