

Année Universitaire : 2013-2014



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

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et
Techniques

Etude de la zone favorable pour la recharge artificielle de la nappe phréatique Mnasra

Présenté par:

ENNAJI Widad

Encadré par:

- JABRANE Raouf
- SERGHINI Noredine, ABHS

Soutenu Le 20 Juin 2014 devant le jury composé de:

- Mr. JABRANE Raouf Encadrant
- Mme. RAIS Naoual
- Mr. ELGAROUANI Abdelkader
- Mr. SERGHINI Noredine.

Stage effectué à : Agence de bassin hydraulique de sebou, Fès



Résumé

L'aquifère Plio-Quaternaire des Mnasra a connu, au cours de la dernière décennie des prélèvements anarchiques et non rationnels, engendrant la surexploitation de cette nappe et entraînant ainsi la rupture de l'équilibre hydrodynamique et la dégradation de la qualité des eaux. La piézométrie de la nappe montre que 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. Et pour satisfaire les besoins en eau croissants et de lutter contre l'intrusion marine. En effet les opérations de la recharge artificielle permettent de compenser un débit de sécurité insuffisant et aussi de définir les zones favorables à cette recharge ainsi que les actions à entreprendre pour améliorer bien cette opération.

Mots clés: Nappe Mnasra, Intrusion marine, recharge artificielle, zone favorable.

Abstract

During the last decade, the Plio-Quaternary aquifer of Mnasra has been subjected to an anarchic and non-rational groundwater abstraction, generating an overexploitation of the aquifer and causing the rupture of the hydrodynamic equilibrium and degradation of water quality. The piezometry of the watertable shows that the flow in the northern half remains the same since 1992 when, in the southern half there has been a reversal of the general direction of flow, it was oriented to the West in the November map 1992 against the card in December 2007 the flow direction is east. This reversal of flow direction, facing the sea to the mainland, confirms intrusion of sea water in this part of Mnasra in response to the intensification and increased utilization of the waters of the web. And to meet the growing water needs and to fight against seawater intrusion. Indeed, the operations of artificial recharge can compensate for a lack of speed and security also define support this recharge as well as actions to improve this operation.

Keywords : Groundwater, Marine intrusion, Artificial recharge, Favorable zone.

Sommaire

Liste des figures	6
Liste des tableaux	6
Introduction	7
Chapitre I : Présentation générale de la zone d'étude	8
Chapitre II:l'intrusion marine et Hydrogéologie de la zone du Mnasra	18
II.1 Mécanisme régissant l'interface eau douce/eau de mer.....	18
II.2.Hydrogéologie	20
II.2.1. Contexte.....	20
II.3.Caractéristiques hydrodynamiques.....	21
II.3.1. Perméabilité.....	21
II.3.2. Transmissivité.....	21
II.3.3 Porosité efficace.....	22
II.3.4. Bilan hydrique	22
II.3.5 Piézométrie	23
Chapitre III : Etude de la zone favorable pour la recharge artificielle de la nappe Mnasra.....	25
III .1.Considérations générales.....	25
III.2.Objectifs des aménagements de la recharge artificielle.....	25
III.3. Facteurs de la recharge artificielle.....	25
III.4.Dispositifs de recharge artificielle des nappes d'eau souterraine.....	26
III.4.1 Dispositifs superficiels	26
III.4.1.1 Bassins d'infiltration	26
III.4.1.2 Filtre a sable, tertre d'infiltration	26
III.4.1.3 Epan dage	27
III.4.1.4 Tranchées d'infiltration.....	27
III.4.2 dispositifs profonds	27
III.4.2.1 puits et forages d'injection.....	27
III.5 .l'étude des zones favorables de recharge artificielle de la nappe Mnasra.....	28
III.5.1.Infiltration des sols de surface de Mnasra	29

III.5.2 Epaisseur de la Zone non Saturée.....	30
III.5.3. Diffusivité de l'Aquifère Mnasra (T/S).....	31
III.5.4. Méthode multicritères pour l'évaluation des zones favorables à la recharge.....	32
III.5.5 Techniques adoptées pour la recharge Artificielle dans la Région du Mnasra.....	36
III.5.5.1 Processus de l'infiltration.....	36
III.5.5.2 Etudes des sites retenus pour la recharge artificielle.....	37
III.5.5.2.1 Site de recharge Ouled Berjal.....	37
III.5.5.2.1.1 Localisation.....	37
III.5.5.2.1.2 Caractérisation du site Oulad Berjal.....	38
III.5.5.2.1.3 Objectif de l'aménagement.....	39
III.5.5.2.1.4 Ressources en eau mobilisables pour la recharge.....	39
III.5.5.2.1.5 Type du dispositif proposé.....	40
III.5.5.2.2 Site de recharge Ouled Azouz.....	40
III.5.5.2.2.1 Localisation.....	40
III.5.5.2.2.2 Caractérisation du site Oulad Azouz.....	41
III.5.5.2.2.3 Objectif de l'aménagement.....	42
III.5.5.2.2.4 Ressources en eau mobilisables pour la recharge.....	42
III.5.5.2.2.5 Type du dispositif proposé.....	43
III.5.5.3 Pérennisation du canal Fakroune.....	43
III.5.5.4 Site de recharge Nord (Segmat).....	45
III.5.5.4.1. Localisation.....	45
III.5.5.4.2 Caractérisation du site Nord «SEGMAT».....	46
III.5.5.4.3 Objectif de l'aménagement.....	46
III.5.5.4.4 Ressources en eau mobilisables pour la recharge.....	47
III.5.5.4.5 Type du dispositif proposé.....	47
Conclusion générale et recommandations.....	48
Références Bibliographie.....	50

Liste des figures

Figure I-1:image spot de la zone du Mnasra (ABHS, 2006).....	8
Figure I-2:Carte lithologique de la zone du Mnasra.....	9
Figure I-3:Carte des sols de la zone Mnasra	11
Figure I-4: Répartition des pluies mensuelles rencontrées dans les stations de Lalla Mimouna et Kenitra.....	13
Figure I-5:Cadre hydrologique de la région du Mnasra	15
Figure II-1:Schéma illustrant la géométrie de l'écoulement dans un aquifère côtier libre (Ghyben (1888, 1889) –Herzberg (1901))	18
Figure II-2:Limite nappe-océan dans les modèles numériques de nappe côtière à densité variable Ghyben (1888, 1889) –Herzberg (1901)	19
Figure II-3:Coupe géologique NW-SE de la zone côtière du Gharb-Mnasra- (d'après Combe, 1975). 20	
Figure II- 4 : Cartes piézométriques de la nappe Mnasra de 1992 et 2007 (DRPE). Erreur ! Signet non défini.	
Figure III-1: Schéma de l'injection profonde dans la zone littorale (Ghyben (1888, 1889) –Herzberg (1901)).....	28
Figure III-2:carte d'infiltration de la zone du Mnasra	29
Figure III-3:Épaisseur de la zone non saturée (donnée de la piézométre2007).....	30
Figure III-4:distribution du paramètre de diffusivité de l'aquifère Mnasra	32
Figure III-5:classification des zones de recharge dans la zone du Mnasra.....	35
Figure III- 6: Carte de la situation du site de recharge O.Berjal (ABHS, 2009)	38
Figure III-7: Situation de la future STEP de Kenitra par rapport au site de recharge O. Berjal.....	40
Figure III-8: Carte de la situation du site de recharge O. AZOUZ(ABHS, 2009)	41
Figure III- 9: Situation du site de recharge O. Azouz (ABHS, 2009)	42
Figure III-10: Prise d'eau à partir de la retenue du barrage de garde sur Sebou (ABHS ,2009).....	44
Figure III-11: Vanne clapet de la prise d'eau (non fonctionnelle)	44
Figure III- 12: Oued Sebou au niveau de la prise d'eau	44
Figure III-13: Carte de la situation du site de recharge Nord « Segmat » (ABHS ,2009	45
Figure III-14: Situation du site de recharge Nord «Segmat » (ABHS ,2009)	47

Liste des tableaux

Tableau I-1:Précipitation moyenne annuelle dans la zone d'étude	12
Tableau I-2:Précipitation moyenne mensuelle dans la zone d'étude.....	12
Tableau I-3:Débit moyen interannuel transité par les principaux oueds (période 1939/1940-1985/1986) ABHS.	15
Tableau I-4:Résultats des analyses hydro - chimiques obtenus lors de la campagne piézométrique 2005(ABHS).....	16
Tableau II-1:Bilan hydraulique de la nappe de Mnasra évalué en 1994 et 2008	22
Tableau III-1: Indexation des trois critères choisis pour l'évaluation des zones favorables à la recharge (ABHS, 2009).....	33
Tableau III-2: Valeur de chacun des critères indexés (ABHS, 2009)	33
Tableau III- 3:les coefficients de pondération des critères I, E, et D	34
Tableau III-4:Tableau qui présente les différentes solutions possibles de l'équation (1) ci-dessus et qui fournissent des valeurs comprises entre 5 et 20.(ABHS, 2009)	34

Introduction

Une prise de conscience internationale vis-à-vis du changement climatique et de ses conséquences est observée 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.

Au Maroc les eaux souterraines constituent une part importante du patrimoine hydraulique du pays. Les eaux souterraines, souvent protégées géologiquement, sont exposées à des pollutions agricole, industrielle ou urbaine. Ainsi, La nappe phréatique Mnasra représentant la ressource principale en eau de la région dont le volume est estimé à $80 \times 10^6 \text{ m}^3$ pour une superficie de 600 Km^2 est très vulnérable. Cette vulnérabilité est due à la texture sableuse très filtrante, à l'alimentation de la nappe par les eaux superficielles (pluies, oued Sebou, retour d'eau d'irrigation), et à l'utilisation abusive des fertilisants azotés. La pollution des eaux souterraines représente l'un des aspects les plus inquiétants et l'utilisation de ces eaux à des fins alimentaires représente un danger pour la santé. L'aquifère côtier de Mnasra possède un certain nombre de caractéristiques spécifiques. En particulier, la concentration des activités humaines sous forme d'urbanisation, d'industrialisation, d'agricultures maraîchères intenses ainsi que, de 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.

La faible profondeur de l'eau et le grand débit dégagé, a facilité la forte exploitation de la nappe par un millier de puits. La demande en eau pour l'irrigation est en nette augmentation d'année en année : 6000 ha en 1988, 40.000 ha en 2006. Son bilan hydraulique enregistre un déficit allant de 60 à $100 \text{ Mm}^3/\text{an}$, ce qui risque d'accélérer l'avancée du biseau salé déjà constaté dans la zone sud. Pour rétablir l'équilibre de la nappe il faut freiner l'intrusion marine, et ceux en réalisons une étude qui concerne la recharge artificielle de la nappe par un apport d'eau de surface. De ce fait, cette étude a pour but de définir les zones favorables à cette recharge ainsi que les actions à entreprendre pour mener à bien cette opération.

Chapitre I : Présentation générale de la zone d'étude

I.1. Situation géographique

Formant la continuité géographique de la plaine du Gharb le long de l'océan atlantique, l'aire de la zone dite Mnasra s'étend sur 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. (Fig. I.1). De forme allongée sur une longueur de 60 Km le long de la côte atlantique, la zone se rétrécit dans la partie méridionale en aval du barrage de garde avec une largeur de 7 Km en moyenne, elle s'évase dans sa partie septentrionale avec une largeur de 12 à 15 Km au niveau de Sidi Allal Tazi (ABHS, 2006).

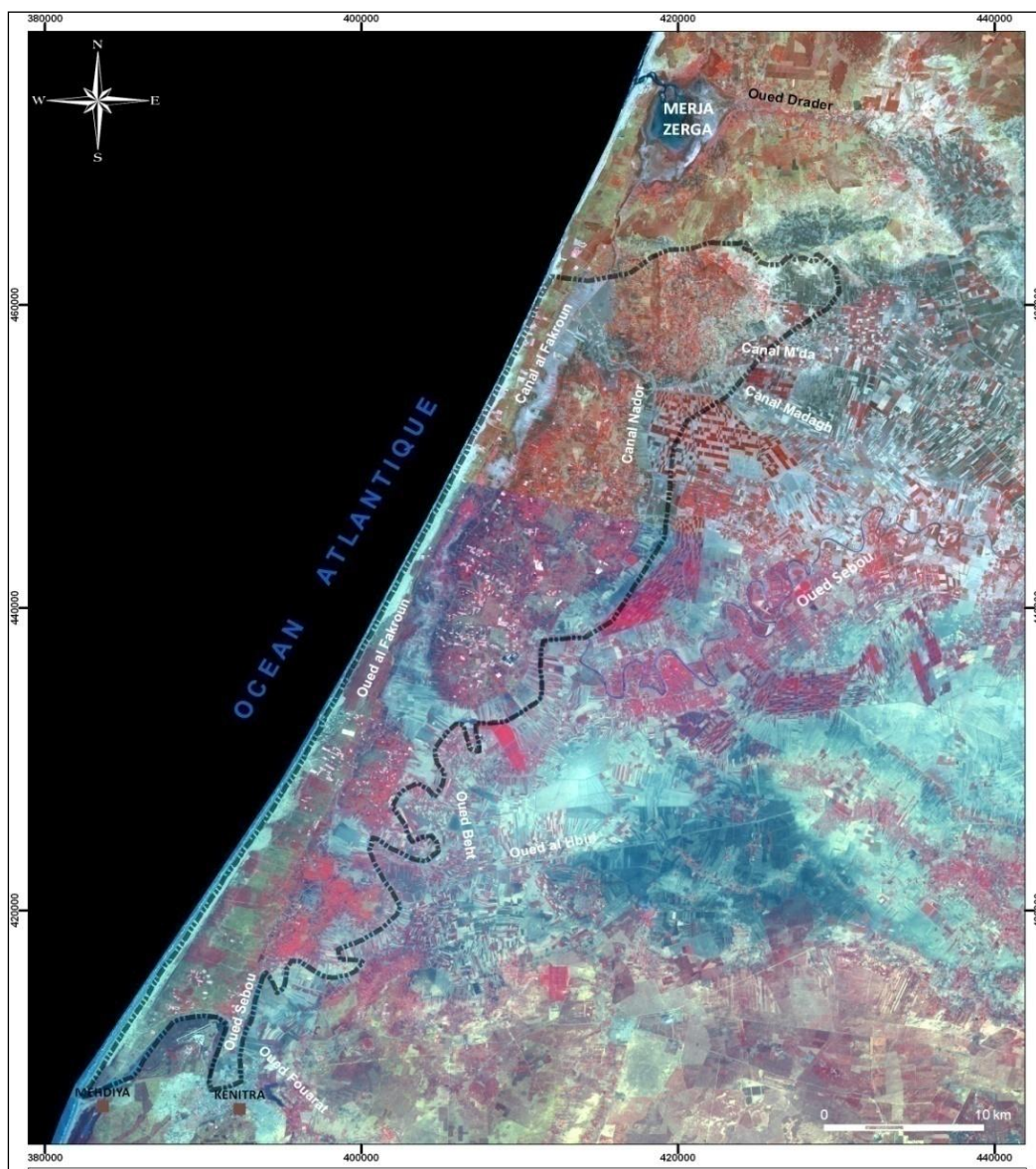


Figure I-1: image spot de la zone du Mnasra (ABHS, 2006).

I.2. CADRE GEOLOGIQUE

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 qui sont le domaine mésétien au sud et le domaine de la chaîne rifaine au nord et à l'Est. Cette plaine est marquée par une subsidence continue depuis le Miocène (Fig. I.2).

Le substratum général de la plaine du Gharb est constitué par une épaisse série des marnes bleues du tortonien. Ce substratum a été recouvert au cours du Pliocène et du Quaternaire par d'importants dépôts très hétérogènes qui provenaient de l'érosion des formations marneuses du domaine rifain, schisteuses du plateau central et des calcaires et dolomies du Moyen Atlas. Le substratum de la nappe est constitué d'un écran imperméable argileux à argilo-marneux du Miocène supérieur et du Pliocène moyen (Cirac, 1985 ; Wernli, 1987).

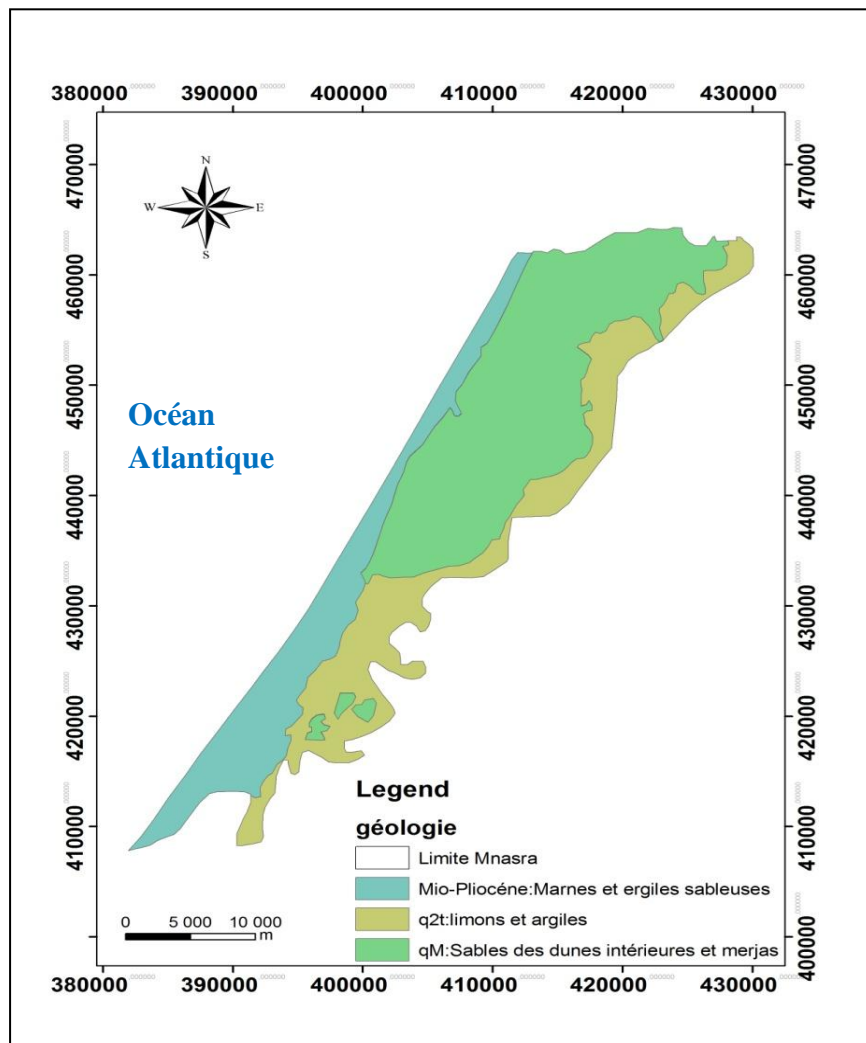


Figure I-2: Carte lithologique de la zone du Mnasra

I. 3. PEDOLOGIE

Les types des sols rencontrés dans la région selon les études antérieures dressée par L'ORMVAG en 1994, se répartissent comme suit : Les sols sableux (Rmel) assez profonds développés sur des formations sableuses et grésos-sableuses. Ce sont des sols qui présentent une perméabilité élevée et une sensibilité à l'érosion (Fig. I.3).

- Les sols hydro morphes : sont caractérisés, d'une part, par le fer qui est réduit en milieu asphyxique (couleur verte du fer ferreux) et oxydé en milieu aéré (couleur rouille du fer ferrique) et, d'autre part, par la faible vitesse de décomposition et d'humification de la matière organique qui va donc s'accumuler.
- Les sols isohumiques : sont caractérisés par le fait qu'ils ont une même teneur en humus dans tout le profil au-dessus de la roche-mère laquelle est le plus souvent un loess. Les sols isohumiques se forment sous climat continental, très froid en hiver, très humide pendant le dégel printanier et très chaud et très sec en été.
- Les sols peu évolués : sont des sols jeunes qui se distinguent par une faible altération des minéraux et une faible teneur en matière organique laquelle se superpose généralement au substrat minéral sans former de complexe organo-minéraux. Ces sols ont des origines diverses liées au climat, à l'érosion ou encore aux apports extérieurs
- Les sols vertiques sont, en effet, des sols très argileux, constitués d'argiles gonflantes (montmorillonite). Ces mouvements vertiques incorporent la matière organique très profondément dans tout le profil du sol sans l'intervention d'une activité biologique
- Les sols calcomagnésiomorphe : Les roches calcaires ou magnésiennes, quand elles libèrent des quantités suffisantes de calcaire actif, sont à l'origine des sols calcimagnésiques, encore appelés sols calcimorphes. On peut rappeler que le calcaire actif a quatre effets principaux sur les sols : il stimule fortement l'activité des lombrics, des bactéries et des autres composantes de la pédofaune ou de la pédoflore ; il provoque un blocage précoce de l'humification avec la formation de mull carbonaté (l'humus est fortement lié à l'argile par un pont calcique) , le complexe argilo humique est très fortement floclé, ce qui donne aux sols une structure grumeleuse très caractéristique , le fer est retenu dans les horizons supérieurs qui apparaissent très colorés.

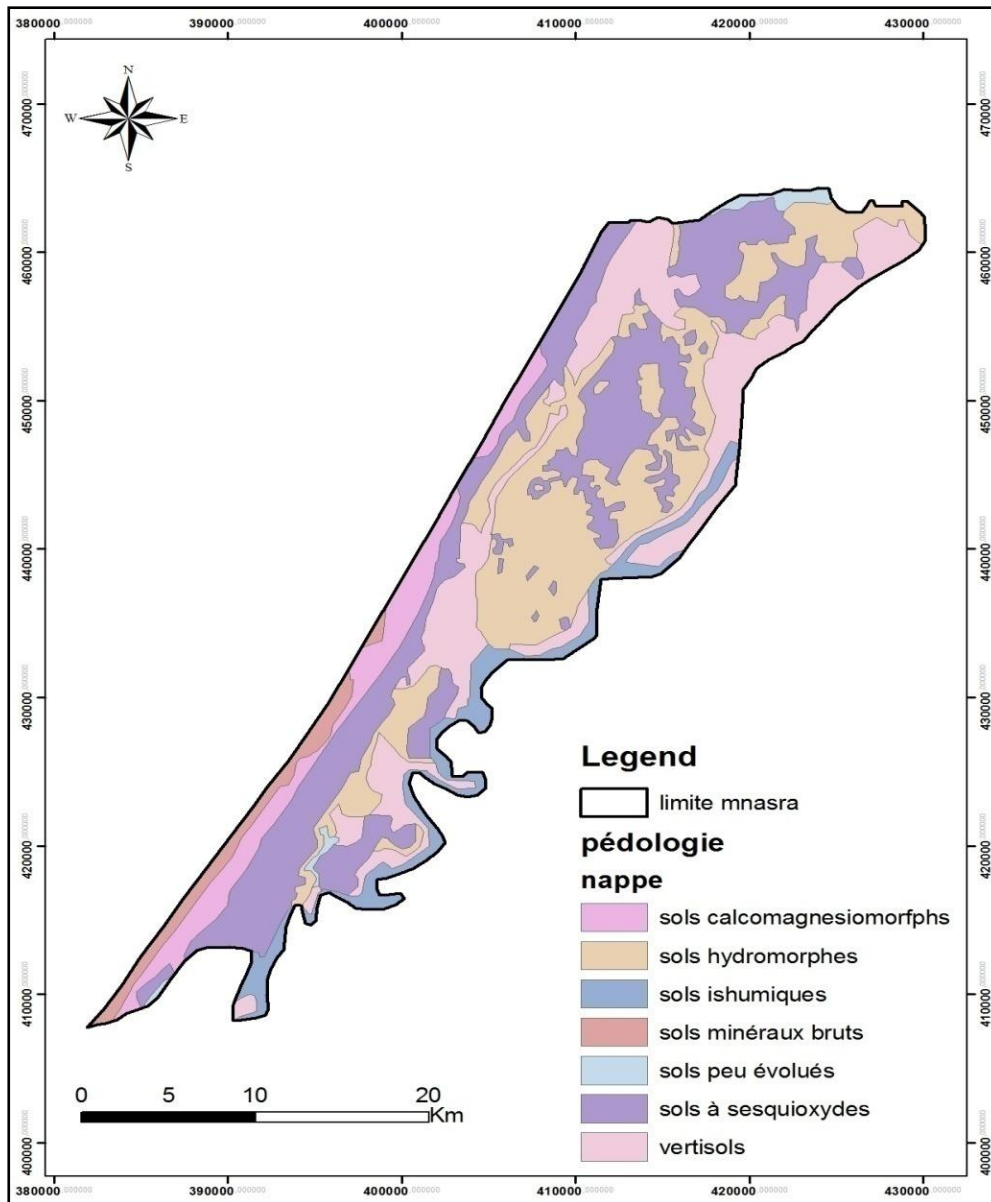


Figure I-3: Carte des sols de la zone Mnasra (Echelle 1cm/2716m).

I. 4. CLIMAT

Le climat de la région du Gharb, dont fait partie de la zone de Mnasra, est un climat méditerranéen, chaud en été et doux en hiver. Il est bien marqué par l'influence océanique, la zone côtière est plus arrosée, plus humide, est plus ventée et moins marquée par les écarts de températures que les zones intérieures de la plaine.

La moyenne annuelle des précipitations est de l'ordre de 536.8mm au niveau de la station de Kenitra et de 551 mm au niveau de la station de lalla Mimouna située au nord de la zone d'étude. (Tab. I.1, Tab .I.2 et Fig.I.4).

Tableau I-1:Précipitation moyenne annuelle dans la zone d'étude

Station	Coordonnées Lambert			Pmoy (mm)	Période d'observation
	X	Y	Z		
Kenitra	389553	411513	5	536.85	1979-2009
Lalla Mimouna	435000	472600	15	551	1990-2009

La pluie infiltrée dans la nappe de Mnasra, représente entre 8 et 29 % de la lame d'eau précipitée. L'infiltration efficace devrait être vraisemblablement de l'ordre de 15 à 20%.

Dans cette zone, on note un net gradient croissant des températures en allant de l'ouest vers l'est : la moyenne des températures annuelles est de l'ordre de 17.1°C dans la zone côtière (Mnasra), de 18.4°C à l'intérieure de la plaine. Les amplitudes thermiques sont moins accentuées dans la zone côtière qu'a l'intérieur de la plaine. L'évapotranspiration annuelle est de l'ordre de 857 mm enregistrée au niveau de la station Kenitra et de 824 mm constatée à la station lalla Mimouna (ABHS, 2009). Elle est maximale en juillet (128 mm à la station de lala Mimouna) et minimale en janvier (28mm à la station de Kenitra).

Tableau I-2:Précipitation moyenne mensuelle dans la zone d'étude

STATION	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	juin	Juillet	Août	Total
KENITRA	12.16	54.83	95.54	97.41	89.12	68.48	49.47	47.14	19.06	3.19	0.00	0.45	536.85
LALLA MIMOUNA	19.8	74.2	90.0	102.8	82.7	58.6	43.7	49.0	26.1	3.9	0.2	0.2	551.0

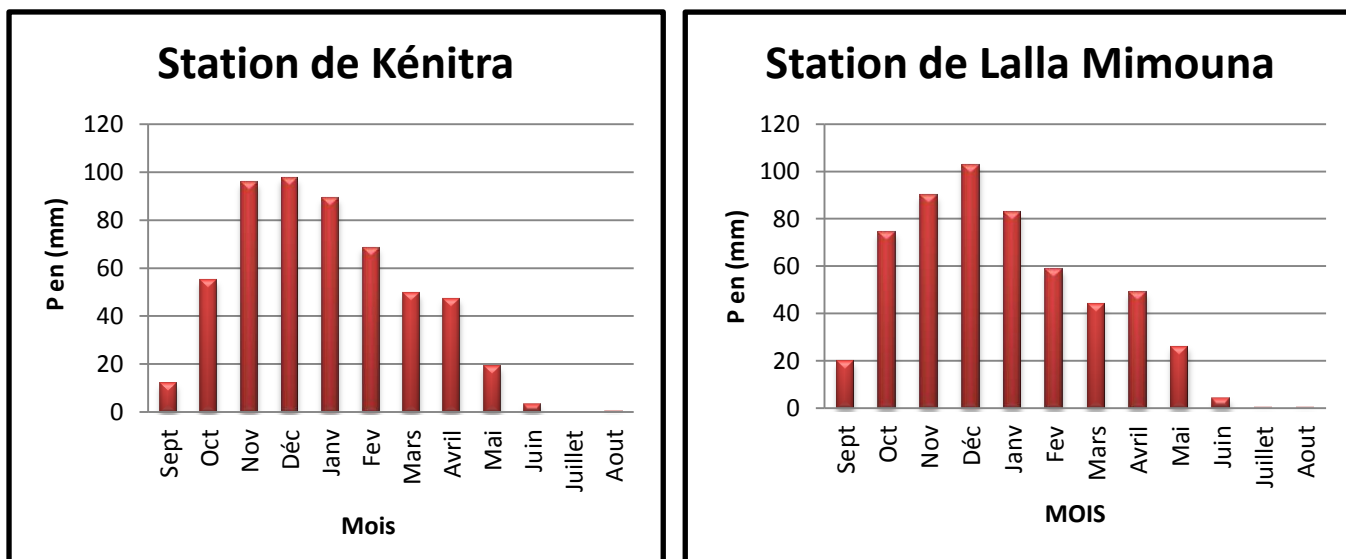


Figure I-4: Répartition des pluies mensuelles rencontrées dans les stations de Lalla Mimouna et Kenitra.

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

L'humidité relative de l'air dans la zone côtière se situe en permanence autour de 80% avec de faibles différences saisonnières et ne s'abaisse que rarement au dessous de 60% au cours des temps de chergui (vent chaud soufflant de l'est). elle varie entre mensuelles moyennes de 94% à 6h du matin en décembre et janvier à 65%) midi au cours des mois de l'été.(ABHS ,2009)

I.5. HYDROLOGIE

On ne distingue pas de réseau hydrographique naturel individualisé au niveau de la zone d'étude. L'oued Sebou limite la zone vers le Sud et le Sud-est. Les eaux des crues n'étaient évacuées vers la mer que par l'intermédiaire de l'oued Sebou au niveau de l'embouchure de Mahdia, le seul exutoire naturel. D'importants travaux ont été réalisés pour assurer l'assainissement de la plaine et l'assèchement des Merjas. Le réseau actuel d'assainissement de la plaine du Gharb comporte quatre sous réseaux réalisés par étapes et selon les objectifs comme suit (Fig. I.5) :

- Réseau de fossés et canaux creusés pour assurer la continuité des oueds naturels, qui à l'entrée de la plaine. Ils ne peuvent s'écouler naturellement vers la mer que par l'intermédiaire de ces canaux. On notera qu'en aval du barrage de garde Lalla Aicha,

de l'oued Sebou reçoit les collecteurs de la zone de sa rive gauche dont principalement les canalisations du Beht et du R'dom ;

- Réseau de fossés et canaux creusés pour l'assèchement des Merjas causés par la topographie, et l'excès d'eau de pluie et/ou les inondations. C'est l'exemple du Merja Zerga au Nord qui reçoit le canal Nador et qui draine presque la quasi-totalité de la zone rive droite du Sebou ;
- Réseau de canaux réalisés pour la protection contre les inondations ;
- Réseau d'assainissement agricole réalisé dans le cadre l'aménagement hydro agricole de la plaine (Fig. I.5).

La superficie totale des principaux merjas s'élève à 325 km². Ce chiffre est appelé à la hausse en raison du grand nombre de petites dayas qui existent en période de pluie. Ces dernières constituent des endroits privilégiés pour l'infiltration de l'impluvium direct mais surtout des eaux de ruissellements. Les deux cordons dunaires qui longent l'Atlantique, séparés par une dépression jouant le rôle de drain des eaux de surface et des nappes supérieures. Les plus significatives de ces dépressions constituent des zones protégées (en raison des oiseaux protégées qu'elles abritent). La lagune de la Merja zerga située juste au Nord du bassin. Les apports en eau du bassin de Sebou s'élèvent à environ 5 milliards de m³/an, soit environ un débit fictif continu de 160 m³/an. Environ 3 milliards m³/an sont régularisés par les barrages (ABHS, 2009). Ces apports présentent une irrégularité dans l'espace et dans le temps :

- Le haut Sebou en amont du barrage Allal El Fassi se distingue par un écoulement pérenne grâce notamment aux apports de sources telles que : Ain Sebou, Ain Timedrine et Ain Ouaender ;
- Les autres affluents de l'oued Sebou, notamment l'Ouergha et l'Inaouène, ont un régime pluvial avec des crues très importantes pendant les saisons pluvieuses et la période de la fonte des neiges.

Le débit moyen interannuel transité par les principaux oueds sur la période 1939/1940-1985/1986 est donné par le tableau I.3 :

Tableau I-3: Débit moyen interannuel transité par les principaux oueds (période 1939/1940-1985/1986) ABHS.

Oued	Station	Débit (m ³ /s)
Sebou	Mechra Bel Ksiri	155
Beht	El Kansera	13
R'dom	Souk El Had	4
R'dat	Had Kourt	3

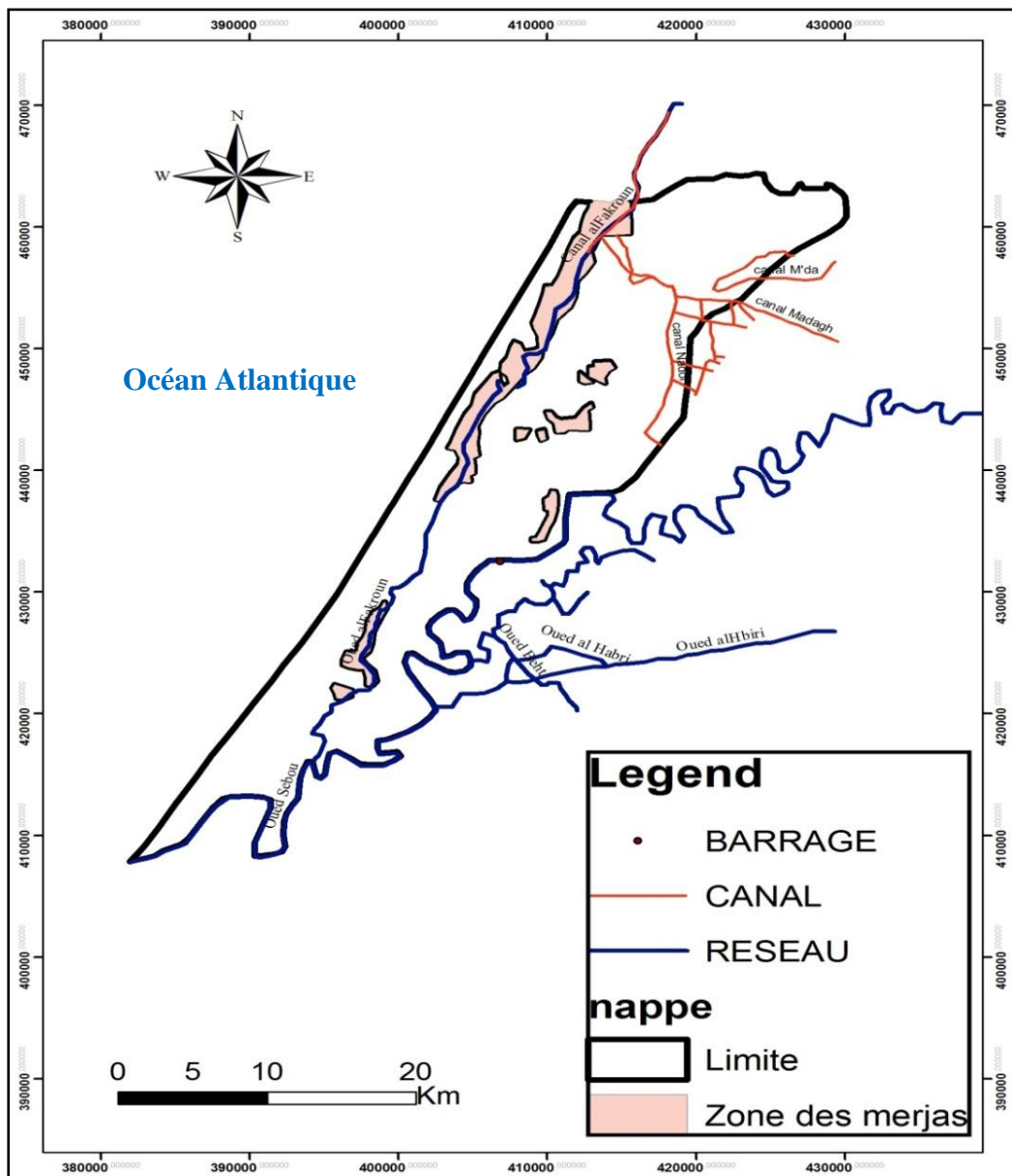


Figure I-5: Cadre hydrologique de la région du Mnasra

I.6 HYDROCHIMIE

L'analyse des conductivités électrique des eaux souterraines que le tableau ci-dessous montre varie entre 500 et 3600 $\mu\text{s/cm}$ pour l'année 1999 et entre 430 et 5300 $\mu\text{s/cm}$ pour l'année 2005. Les conductivités ont excessivement augmenté, surtout dans la partie centrale de la zone d'étude, avec des valeurs pouvant dépasser 5000 $\mu\text{s/cm}$ (valeurs largement supérieur à la norme recommandée dans la potabilité des eaux et l'irrigation (Annexe)) (Tab. I-4).

La présence des chlorures peut être attribuée à la dissolution des sels, à l'écoulement des eaux d'irrigation et à l'intrusion de l'eau de la mer des zones côtières.

Les teneurs en chlore sont très élevées dans le centre de la zone d'étude, elles atteignent 1000mg/l, dans le reste du secteur ces teneurs sont généralement faibles.

Tableau I-4: Résultats des analyses hydro - chimiques obtenus lors de la campagne piézométrique 2005(ABHS).

Points	X (m)	Y (m)	CE $\mu\text{s/cm}$	Cl mg/l	NO3 mg/l
1	414580	464042	800	68,870	82,580
46	418377	464169	950	93,720	167,400
2	419453	462840	710	58,220	175,340
4	422998	459549	690	65,320	41,660
14	422238	456954	2080	283,290	207,580
15	420592	455941	960	100,820	93,990
3	416415	460118	1950	210,160	341,500
5	427175	460561	1420	283,290	21,080
17	417048	450245	730	64,610	24,800
16	413124	452776	1510	174,660	246,510
20	417681	445529	1570	210,160	185,250
19	410529	448124	1220	90,880	266,350
18	409453	447238	950	73,840	167,900
33	415719	442745	1550	210,870	114,330
34	412997	441162	1070	88,040	186,990

45	409896	436352	5300	695,800	45,630
35	409643	437934	1200	89,460	144,340
37	404579	437048	4000	990,450	4,960
39	408693	434770	1030	69,580	165,660
40	405972	433061	1260	107,210	258,910
38	404390	434960	1890	207,320	313,470
83	400782	429567	1430	170,400	215,760
84	398630	430516	750	71,000	50,100
85	399833	427035	900	110,050	90,020
91	394643	423624	550	25,500	52,580
90	397871	423118	1690	288,260	194,430
93	395592	420206	2150	408,250	57,040
92	392301	419700	430	23,430	34,720
106	394389	417358	760	57,510	65,220
98	392301	412681	680	61,770	25,050
99	390529	414136	660	64,610	40,180
100	389010	415339	670	69,580	37,940
102	386794	404136	800	56,090	111,600
101	385085	409706	610	54,670	65,970

Chapitre II:l'intrusion marine et Hydrogéologie de la zone du Mnasra

II.1 MECANISME REGISSANT L'INTERFACE EAU DOUCE/EAU DE MER

Dans un aquifère côtier en régime naturel d'écoulement, la mer constitue son exutoire principal. Les volumes d'eau issus de la recharge sont en grande partie drainés par la mer qui constitue un niveau de base des écoulements souterrains. La figure II-1, qui suit, illustre de façon schématique la géométrie de l'écoulement dans un aquifère côtier libre. La densité d'eau de mer étant supérieure à celle de l'eau douce, les masses d'eau douce s'écoulent vers l'océan au dessus des masses d'eau salée dont la forme est celle d'un biseau dit biseau salé. La première formulation physique de la géométrie de l'interface fut établit par Ghyben (1888, 1889) –Herzberg (1901) connue sous le nom de la relation de Ghyben-Herzberg. Cette relation basée sur plusieurs hypothèses simplistes donne une approximation de la profondeur de l'interface eau douce/eau salée en fonction du niveau piézométrique de l'aquifère (Verrjuit, Arnold (1968)) :

$$Z= (Dd/Ds-Dd)* h$$

Avec : z = profondeur de l'interface

h = niveau piézométrique de l'aquifère

Dd et Ds respectivement les densités d'eau douce (1g/cm^3) et de l'eau salée (1.025g/cm^3). Soit : $z= 40* h$ (Barlow, Paul M. (2003)).

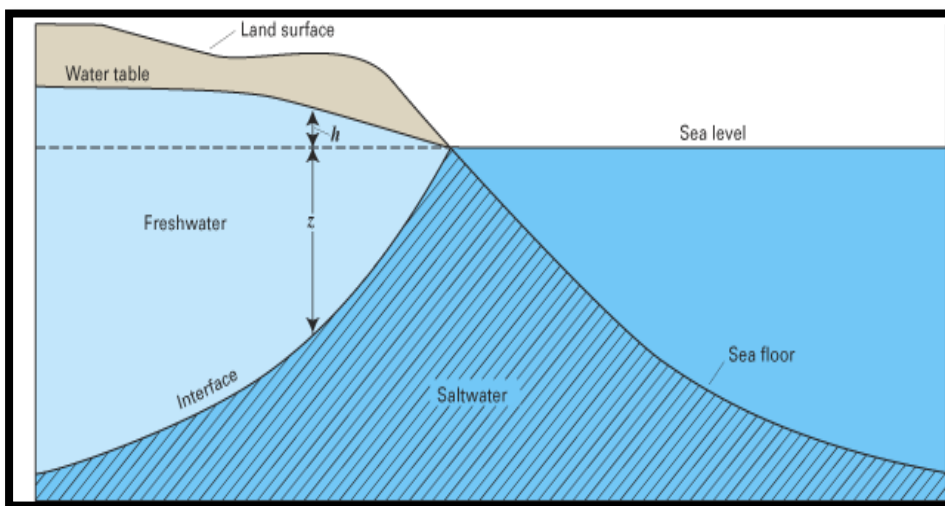


Figure II-1:Schéma illustrant la géométrie de l'écoulement dans un aquifère côtier libre (Ghyben (1888, 1889) –Herzberg (1901))

La formulation de Ghyben-Herzberg suppose une interface abrupte sans mélange. Dans la Réalité les eaux douces et salées sont plutôt miscibles séparées par une zone de mélange régit par des phénomènes dispersifs. Bien que cette zone est généralement peu épaisse comparée aux dimensions de l'aquifère, elle constitue pour l'aménageur et la gestionnaire un moyen de prévenir l'invasion complète des eaux marine.

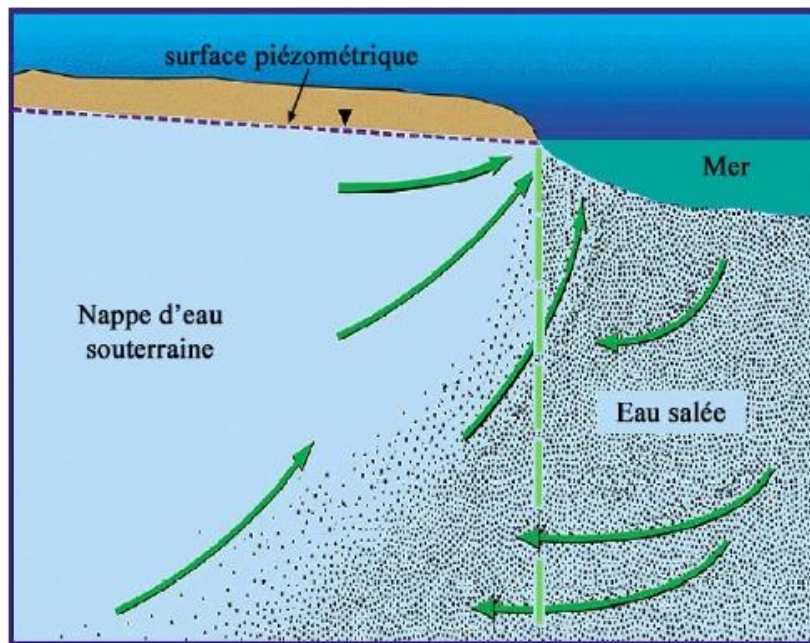


Figure II-2: Limite nappe-océan dans les modèles numériques de nappe côtière à densité variable Ghyben (1888, 1889) –Herzberg (1901)

En fait, l'hypothèse sus-jacente, d'une limite bien précise entre deux fluides homogènes de densité différente (hypothèse d'une interface abrupte) peut être très erronée dans certains cas (Bear, 1979) ; une zone de transition, résultant des phénomènes de dispersion, doit être prise en compte. Leur effet peut être accentué dans les cas de fort battement du niveau de base de la mer (marées d'amplitude variable), mais surtout des variations saisonnières du débit d'eau douce s'échappant vers la mer : à la belle saison correspondent des apports pluvieux faibles alors que les exhaures sont souvent maximales (prélèvements agricoles conjugués aux besoins du tourisme dans les villes balnéaires). Par ailleurs, dans certaines configurations d'aquifères multicouches côtiers, la percolation de l'eau douce des couches profondes à travers l'eau salée qui occupe la base des aquifères subjacents, est susceptible de créer des zones d'eau saumâtre diffuse d'extension généralisée (dans d'autres cas, des prélèvements intensifs dans les horizons profonds sont susceptibles d'appeler l'eau salée résidant à la base d'aquifères supérieurs). Il est donc indispensable de disposer d'outils de simulation pour comprendre les phénomènes en

cause, reproduire les situations actuellement observées et, finalement, d'établir une prédiction des évolutions futures sous l'action de divers scénarios d'aménagement.

II.2.HYDROGEOLOGIE

II.2.1. Contexte

La nappe de Mnasra est localisée dans le bassin hydrogéologique du Gharb et constitue sa zone côtière aval, l'aquifère est formé par un niveau grés-sableux affleurant en surface. Cet aquifère renferme une importante nappe d'eau peu profonde avec une qualité satisfaisante. Le niveau d'eau est généralement situé, entre 2 et 20 m de la surface du sol dans les dunes intérieures, et peu affleurer en surface dans des dépressions profondes au cours des périodes pluvieuses. Sur le cordon dunaire constituant la limite Ouest, la nappe devient relativement profonde, sa profondeur y varie de 20 à 40 m (ABHS, 2009).

Dans la zone d'étude, Il s'agit d'un système de nappes constitué d'un faciès à prédominance de niveaux de sables, de grès et de cal arénites séparés par des niveaux limono-argileux, ce dit système repose directement sur le substratum généralisé, formé par les marnes bleues du Mio-Pliocène (Fig. II-3).

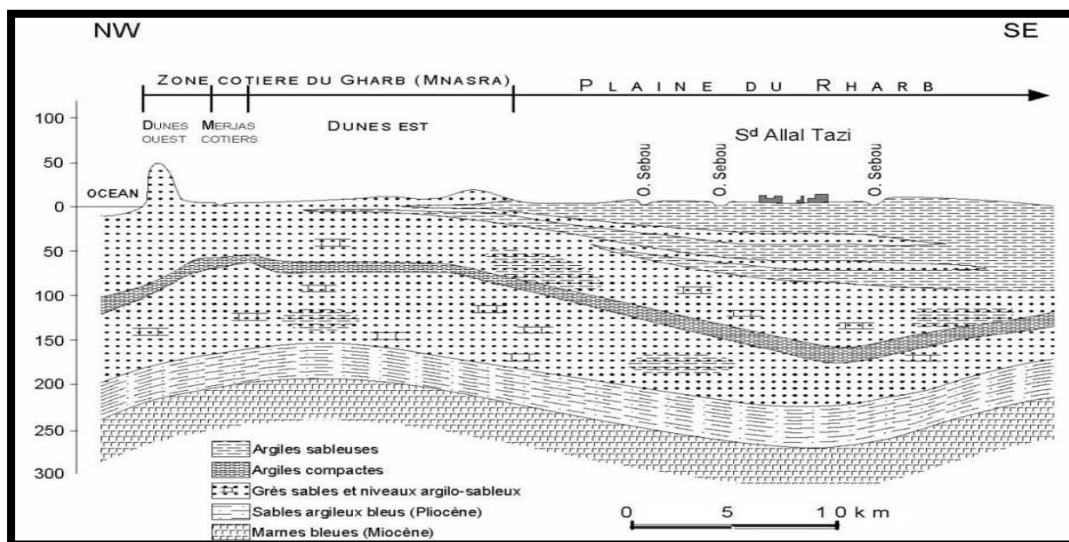


Figure II-3: Coupe géologique NW-SE de la zone côtière du Gharb-Mnasra- (d'après Combe, 1975).

Dans cette zone, à sols sableux très perméables, les eaux de pluies s'infiltrent dans les niveaux et rechargent la nappe, le ruissellement est pratiquement inexistant excepté sur le versant du cordon dunaire lors d'averses violentes ou prolongées.

Le substratum imperméable, constitué par des marnes bleues du Miocène, est situé à une profondeur de 50 à 100 m sur les bordures, et de 200 à 250 m au centre de la plaine.

La nappe dans cette zone côtière, très productive et facilement accessible, elle est exploitée d'une manière intensive pour l'irrigation par des pompages privés. Une superficie de l'ordre de 40 000 ha, de cultures maraîchères en plein champ, d'arachide, de cultures sous serres, d'avocatier, est irriguée par pompage individuel dans cette nappe.

II.3. CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES

Cette partie a pour objectif de présenter de manière succincte les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère profond et de donner des indications sur ceux de la nappe supérieure dans le complexe aquifère du Gharb.

II.3.1. 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 $0,510^{-4}$ m/s et $6 \cdot 10^{-3}$ m/s (DRPE, 1994).

Au niveau de la zone d'étude, les faciès sablo-gréseux existants le long de la côte ont généralement des perméabilités élevées.

II.3.2. Transmissivité

D'une façon générale, les transmissivités oscillent entre $6 \cdot 10^{-4}$ et $2 \cdot 10^{-2} \text{m}^2/\text{s}$ avec une moyenne de $6 \cdot 10^{-3} \text{m}^2/\text{s}$. Les plus importants écarts de la transmissivité sont enregistrés dans le centre de la zone d'étude, avec un maximum de $1,8 \cdot 10^{-2} \text{m}^2/\text{s}$ enregistré près de la zone littorale. Dans la partie septentrionale des Mnasra, les transmissivités sont assez élevées près du littoral où elles atteignent $2,1 \cdot 10^{-2} \text{m}^2/\text{s}$ ainsi que dans la partie centrale près de l'oued Sebou avec des valeurs de l'ordre de $2 \cdot 10^{-2} \text{m}^2/\text{s}$. 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 $2 \cdot 10^{-3}$ à $1 \cdot 10^{-2} \text{m}^2/\text{s}$ au voisinage du barrage de Garde et de l'ordre de $7 \cdot 10^{-3} \text{m}^2/\text{s}$ 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. Bouya et al (2011)).

II.3.3 Porosité efficace

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 3.10^{-7} à 5.10^{-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 $3,6.10^{-7}$. 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 1.10^{-5} et de 13.10^{-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)).

II.3.4. Bilan hydrique

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 (Le plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau). Ces deux essais de bilan sont récapitulés dans le tableau (II.1).

Tableau II-1: Bilan hydraulique de la nappe de Mnasra évalué en 1994 et 2008

		Bilan DRPE (1994)	Bilan PDAIRE
		en Mm ³ /an	actualisé
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

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. 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. Cette interface, s'étend jusqu'à 11 Km à l'intérieur de la zone de Mnasra.

II.3.5 Piézométrie

L'analyse des cartes piézométrique dressée en 2007 montre que l'organisation des écoulements souterrains se scinde en deux parties : (Fig. II.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 par agence de bassin hydraulique de Sebou 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 (Fig II.4).

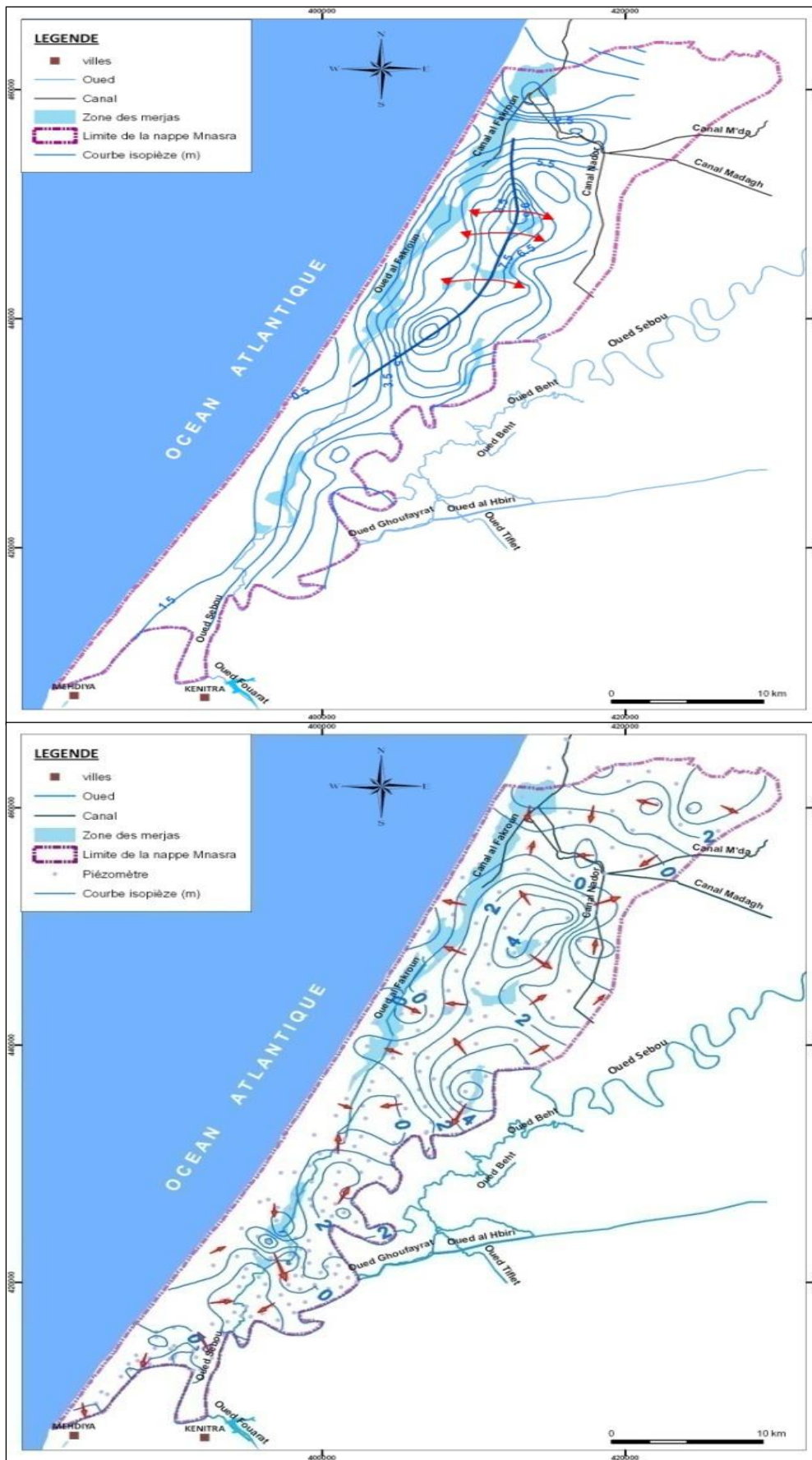


Figure II-4: Cartes piézométriques de la nappe Mnasra de 1992 et 2007 (DRPE).

Chapitre III : Etude de la zone favorable pour la recharge artificielle de la nappe Mnasra

III.1. CONSIDERATIONS GENERALES

Un projet de recharge artificielle correspond à une action sur l'un des organes d'entrée (l'alimentation) d'une nappe et plus spécialement à la création d'une nouvelle limite alimentée. Pour réaliser cette opération on dispose de moyens : la recharge en surface ou bien celle en profondeur.

La première se fait à partir des bassins, zones d'épandage, fosses et canaux,...

La seconde, se fait à l'aide des ouvrages classiques : forages, puits, drains et galeries. On a généralement recours à cette dernière technique lorsque le sol est séparé de la zone aquifère par des couches imperméables ou bien lorsqu'il est difficile de créer des aménagements de surface. Quant à la première méthode, elle est généralement recherchée en raison du coût généralement plus avantageux et des opérations d'entretien moins complexes (ABHS, 2009).

III.2. OBJECTIFS DES AMENAGEMENTS DE LA RECHARGE ARTIFICIELLE

Il s'agit de satisfaire les besoins en eau croissants et de lutter contre l'intrusion marine. En effet les opérations de la recharge artificielle permettent de compenser un débit de sécurité insuffisant. A la notion du débit sécuritaire on pourra substituer celle du débit optimum qui correspond à des pompages prévenant l'avènement de conséquences indésirables à même de rétablir l'équilibre perturbé par l'homme et limiter l'intrusion (ABHT, 2012).

III.3. FACTEURS DE LA RECHARGE ARTIFICIELLE

Les paramètres jouant un rôle fondamental dans le processus de recharge concernent d'une part les caractéristiques des eaux destinées à la recharge et d'autre part celles du milieu récepteur à savoir l'aquifère.

Il ya donc lieu de considérer les conditions hydrologiques, géomorphologiques, pédologiques, géologiques, hydrogéologiques et hydrodynamiques qui vont contrôler et conditionner le processus de réalimentation.

L'alimentation artificielle est pratiquée pour maintenir des taux d'infiltration élevés et accroître la surface mouillée ainsi que le temps de contact entre l'eau et le sol. Les ouvrages de recharge doivent comprendre des dispositifs destinés à sélectionner et régulariser les débits à infiltrer ainsi que les appareils de mesure et de suivi. (ABHS, 2009)

III.4.DISPOSITIFS DE RECHARGE ARTIFICIELLE DES NAPPES D'EAU SOUTERRAINE

Les méthodes les plus pratiquées font appel aux bassins avec plus de la moitié à l'amélioration des lits des cours d'eau. Ensuite vient la recharge profonde (injection par forages et puits) environ 15 %, 12 % environ aux fosses et canaux, 8 % aux carrières de sables et gravières et enfin 7 % à l'épandage, mais ce dernier procédé n'est pas fréquent. Le choix du dispositif à mettre en œuvre dépend de l'adéquation des quatre facteurs :

- Ressource en eau disponible pour la recharge ;
- Contexte hydrogéologique ;
- Surface disponible ;
- Objectif.

III.4.1 Dispositifs superficiels

Compte tenu du cas objet de ce rapport, on ne traitera que des dispositifs de recharge artificielle de nappes libres et à faible profondeur tenant compte de l'intrusion marine.

Schématiquement, il existe cinq grands types de dispositifs de recharge artificielle à faible profondeur.

III.4.1.1 Bassins d'infiltration

Les bassins sont souvent réalisés en déblai-remblai, l'eau est préalablement traitée ou non en fonction de son origine et de sa qualité et dirigée dans le bassin. Elle s'infiltré préférentiellement par le fond, l'infiltration a également lieu, mais dans une moindre mesure, par les parois.

Cette technique est sujette au colmatage, il est donc nécessaire de s'assurer de la qualité des eaux à infiltrer et de prévoir les opérations d'entretien nécessaires, d'évaluer leur fréquence et d'estimer leur coût, (critère de faisabilité économique importante).

Ils peuvent aussi bien être utilisés pour l'infiltration d'eau en provenance de cours d'eau que d'effluents préalablement traités. (Bel, 1986- 1988)

III.4.1.2 Filtre a sable, tertre d'infiltration

Ces techniques sont utilisées en général lorsque l'un des objectifs est le traitement d'eau (eau usée, eau superficielle pour utilisation en eau potable...).

Les eaux à infiltrer sont épandues à la surface d'un massif sableux (en place ou reconstitué) par l'intermédiaire de drains, ou par écoulement direct. Lorsque la surface piézométrique de la nappe phréatique est trop proche du sol, un tertre d'infiltration en matériaux sableux peut être mis en œuvre ; les dispositifs (terrassment important, approvisionnement de matériaux sableux lorsqu'ils n'existent pas sur place) ne peuvent pas à priori intéresser de grands volumes d'eau à infiltrer et seront donc utilisés plutôt dans un contexte local d'assainissement autonome par exemple) (Bel, 1986- 1988).

III.4.1.3 Epannage

L'eau à infiltrer est épandue en général sur des terres agricoles, par l'intermédiaire de rainures (sillon de labour), son écoulement peut être freiné par la réalisation de diguettes de faible hauteur.

Ces dispositifs rustiques présentent l'avantage d'être peu coûteux et de ne pas geler les surfaces d'épandage qui hors période d'infiltration peuvent être utilisées par les cultures. L'alliance épandage, culture (donc labour) évite les phénomènes de colmatage,(Bel, 1986-1988).

III.4.1.4 Tranchées d'infiltration

Des tranchées dont la profondeur dépend du contexte hydrogéologique (profondeur des terrains perméables et profondeur de la surface de la nappe) sont creusées puis remplies de matériaux sablo-graveleux pour en assurer la stabilité. L'injection de l'eau se fait soit par l'intermédiaire d'un drain placé dans la tranchée, soit en surface.

Dans une tranchée d'infiltration, de par sa géométrie (surface des parois supérieures à la surface du fond), la plus grande part de l'infiltration s'effectue à travers les parois latérales, le dépôt des matières en suspension sur le fond de la tranchée n'engendre le colmatage que d'une partie de la surface d'infiltration. La diminution des lames d'eau infiltrées au cours du temps est donc moins importante que dans le cas de bassins. (Hantke H., 1983),

III.4.2 dispositifs profonds

III.4.2.1 puits et forages d'injection

L'injection dans des couches aquifères peut-être pratiquée à partir d'ouvrages existants ou au contraire spécialement projetés pour cela. Ils sont essentiellement utilisés dans le cas de stockage de résidus nocifs et de lutte contre l'intrusion d'eau salée, notamment dans le cas

d'aquifères côtiers où elle peut atteindre plusieurs milliers de mètres à l'intérieur des terres. Une barrière d'extraction de l'eau salée peut alors être éventuellement couplée à celle de recharge. Un dispositif de quelques forages peut repousser loin le biseau salé au rivage après une invasion marine. Ce mode de recharge est également utile dans le cas de zones urbanisées où le terrain est coûteux.

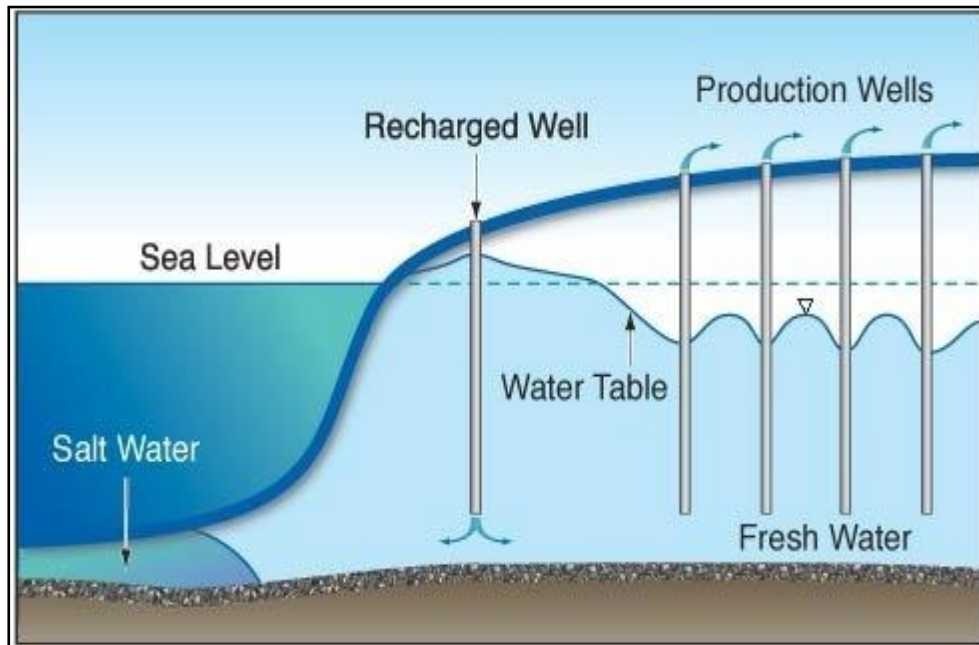


Figure III-1: Schéma de l'injection profonde dans la zone littorale (Ghyben (1888, 1889) –Herzberg (1901))

III.5 .L'ETUDE DES ZONES FAVORABLES DE RECHARGE ARTIFICIELLE DE LA NAPPE MNASRA

Pour définir les zones potentiellement favorables à la recharge de l'aquifère de Mnasra objet de l'étude, et obtenir des résultats concluants, trois paramètres ont donc été pris en considération :

- Le pouvoir infiltrant des terrains de surface ;
- L'épaisseur de la zone non saturée ;
- La diffusivité de l'aquifère.

Le taux d'infiltration des terrains de surface est d'une importance capitale dans le choix des zones favorable de recharge. Il faudra aussi s'assurer que le taux d'infiltration au niveau des zones de recharge se maintiendra ce qui pourra nécessiter des traitements au préalable de l'eau injectée.

III.5.2 Épaisseur de la Zone non Saturée

L'épaisseur de la zone non saturée est déterminée à partir de la campagne piézométrique 2007 effectuée sur 106 points d'eau creusés dans l'aquifère de Mnasra. Les mesures effectuées (Fig. III.3) affichent des profondeurs d'eau par rapport au sol allant de 1.2m à 60m. Les épaisseurs les plus élevées (20 à 60m) de la zone non saturées se retrouvent en grande partie le long du cordon dunaire de la bordure littorale et dans la zone sud de Mnasra. Les dunes intérieures présentent des épaisseurs beaucoup plus faibles comprises entre 5 et 10m. Partout ailleurs, la nappe est située à des profondeurs inférieures à 5m (ABHS, 2009).

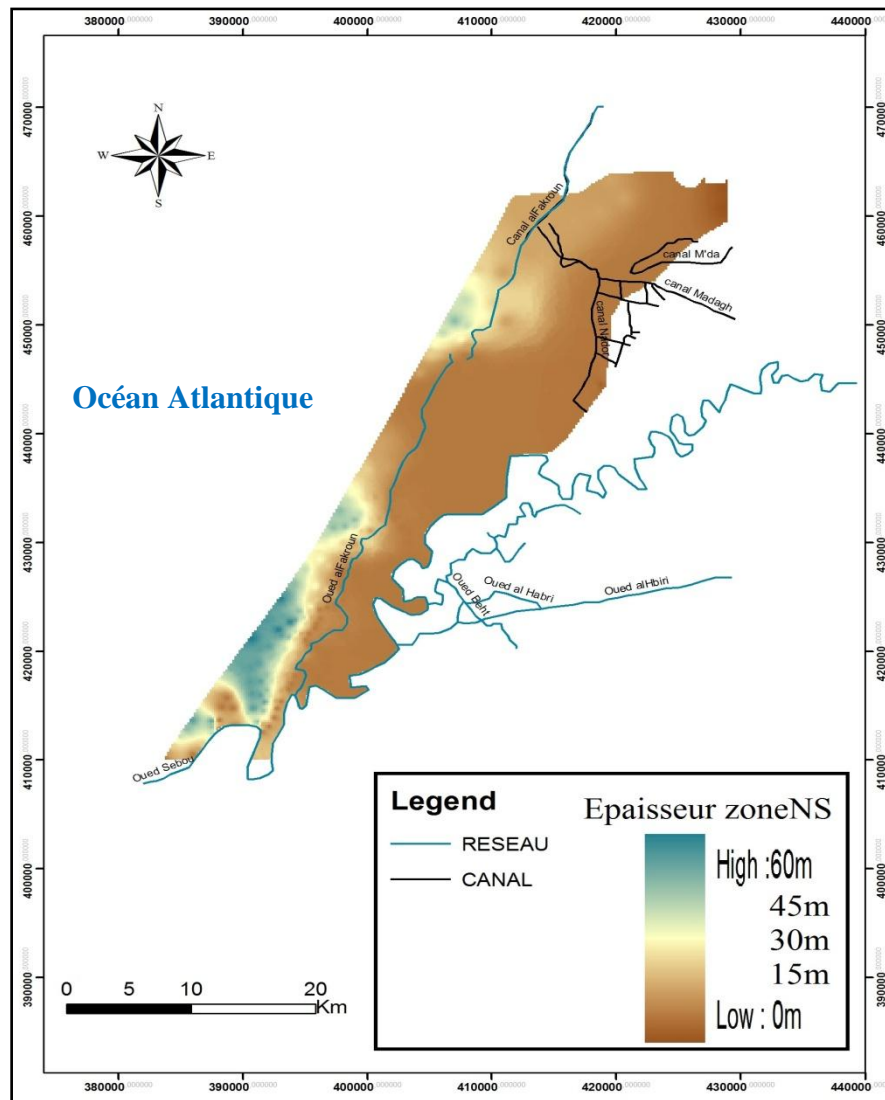


Figure III-3:Épaisseur de la zone non saturée (donnée de la piézométre2007)

III.5.3. Diffusivité de l'Aquifère Mnasra (T/S)

Les données de transmissivité de l'aquifère de Mnasra sont issues des résultats des essais de pompages réalisés par la Direction Générale de l'Hydraulique sur 22 points d'eau appartiennent à la zone d'étude. Ces points sont irrégulièrement répartis dans l'espace aquifère de Mnasra. La quasi-totalité des essais sont concentrés dans la moitié septentrionale des Mnasra. Les données ponctuelles de la transmissivité ont néanmoins servi pour établir une carte des transmissivités de l'aquifère de Mnasra dont les valeurs varient de 6.10^{-4} et 2.10^{-2} m^2/s (ABHS, 2009). Les valeurs du coefficient d'emmagasinement disponibles sont très peu nombreuses pour permettre la caractérisation de la fonction capacitive (emmagasinement ou libération de l'eau) du réservoir plio-quadernaire des Mnasra. Les deux seules valeurs disponibles affichent des ordres de grandeurs très faibles (10^{-6}) incompatibles avec la nature et le régime d'écoulement de l'aquifère. On retiendra une valeur plus raisonnable qui correspond à la nature et aux conditions d'écoulement de l'aquifère de Mnasra soit 10^{-2} . La distribution du paramètre de diffusivité calculé à la base de ces données est reportée sur la carte de la figure III.4. La distribution du paramètre diffusivité (T/S) obtenue montre en gros trois grandes unités :

- Une unité de forte diffusivité localisée dans la zone littorale nord ;
- Une unité de diffusivité plutôt faible qui longe l'oued Sebou ;
- Partout ailleurs une diffusivité moyenne à modérée.

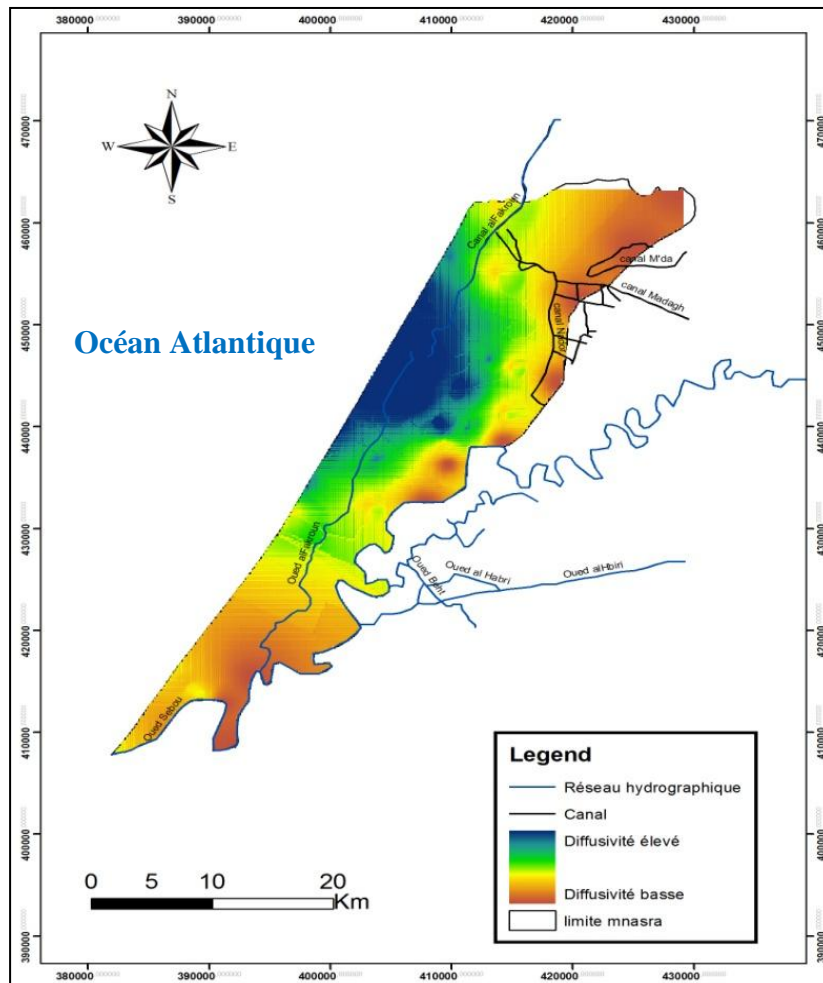


Figure III-4: distribution du paramètre de diffusivité de l'aquifère Mnasra

III.5.4. Méthode multicritères pour l'évaluation des zones favorables à la recharge

Cette méthode permet d'évaluer les zones favorables à la recharge de manière globale et rigoureuse (ABHS, 2009).

La méthode se déroule en trois étapes :

- Evaluation semi quantitative et cartographie de chacun des trois critères- Infiltration des sols, épaisseur de la zone non saturée et diffusivité de l'aquifère de Mnasra (T/S) ;
- Calcul de la somme des pondérations en tout point de la zone d'étude ;
- Délimitation des zones favorables à la recharge.

Le tableau, résume les caractéristiques d'indexation des trois critères.

Tableau III-1: Indexation des trois critères choisis pour l'évaluation des zones favorables à la recharge (ABHS, 2009)

Infiltration des sols de surface	I1	Sols légers et sols lourds	Infiltration égale à 15 %
	I2	Merjas - dayas	Infiltration égale à 25 %
	I3	Sols apparentés	Infiltration égale à 30 %
	I4	Sols sableux	Infiltration égale à 35 %
Epaisseur de la Zone non Saturée	E1	Epaisseurs très faibles	< à 5m
	E2	Epaisseurs faibles	de 5 à 10 m
	E3	Epaisseurs élevées	de 10 à 20 m
	E4	Epaisseurs très élevées	de 20 à 60 m
Diffusivité de l'aquifère (T/S)	D1	Diffusivité faible	<0,5
	D2	Diffusivité modérée	de 0,5 à 1
	D3	Diffusivité moyenne	de 1 à 1,5
	D4	Diffusivité forte	> à 1,5

-La combinaison des trois critères indexés est effectuée de la manière suivante :

$$\mathbf{ZF = aI_i + bE_j + cD_k \quad (1)}$$

Avec, **ZF** : Zone favorable à la recharge

a, b, c : Coefficient de pondération de chacun des critères

I_i, E_j, D_k : Valeur de chacun des critères indexés

Avec, I_i=i par exemple I₁=1 comme le tableau III-2 l'explique.

Tableau III-2: Valeur de chacun des critères indexés (ABHS, 2009)

I1	I2	I3	I4	E1	E2	E3	E4	D1	D2	D3	D4
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4

• **Coefficients de pondération**

Le critère de l'infiltration des sols et la diffusivité de l'aquifère sont considérés comme les critères les plus importants, ils contribuent principalement à la recharge de la nappe et ont un coefficient, élevé (a et c = 2). Le critère de l'épaisseur de la Zone non Saturée conditionne moins fortement le phénomène de la recharge de la nappe et à un coefficient de pondération plus faible (b =1). Le tableau suivant présente les coefficients de pondération des critères I, E et D. (Tableau III-3)

Tableau III- 3:les coefficients de pondération des critères I, E, et D

Critère	I	E	D
Coefficient de pondération	a	b	c
Poids relatif	2	1	2

Avec : I=infiltration de sol

E=épaisseur de la zone non saturée

D=diffusivité de l'aquifère

Tableau III-4:Tableau qui présente les différentes solutions possibles de l'équation (1) ci-dessus et qui fournissent des valeurs comprises entre 5 et 20.(ABHS, 2009)

	I ₁ =1				I ₂ =2				I ₃ =3				I ₄ =4			
	E ₁ =1	E ₂ =	E ₃ =	E ₄ =	E ₁ =1	E ₂ =	E ₃ =	E ₄ =	E ₁ =	E ₂ =	E ₃ =	E ₄ =	E ₁ =1	E ₂ =	E ₃ =	E ₄ =4
D ₁ =	5	6	7	8	7	8	9	10	9	10	11	12	11	12	13	14
D ₂ =	7	8	9	10	9	10	11	12	11	12	13	14	13	14	15	16
D ₃ =	9	10	11	12	11	12	13	14	13	14	15	16	15	16	17	18
D ₄ =	11	12	13	14	13	14	15	16	15	16	17	18	17	18	19	20

	Zone non favorable à la recharge
	Zone peu favorable à la recharge
	Zone favorable à la recharge
	Zone très favorable à la recharge

La compilation des trois critères à savoir le pouvoir infiltrant des terrains de surface, l'épaisseur de la zone non saturée et le paramètre hydrodynamique de l'aquifère diffusivité montre a priori que la zone côtière et la zone sud seraient les plus favorables tenant compte du taux d'infiltration et de l'épaisseur de la zone non saturée (Fig. III.5). Toutefois, la diffusivité très élevée de l'aquifère et la proximité de la mer pénalisent la zone littorale. En effet toute recharge effectuée dans cette zone serait inutile puisqu'elle sera vite évacuée vers la mer qui constitue l'exutoire de la nappe. La zone sud serait par contre favorable à la recharge artificielle à condition que l'on s'éloigne suffisamment du littorale. Une distance de 3 à 4 Km de la côte est recommandée afin d'éviter un vidange rapide vers mer. Le long du littorale une recharge profonde par injection sous pression de l'eau douce dans des forages atteignant l'interface eau douce/eau salée permettrait de repousser celle-ci plus en profondeur et de créer une barrière à l'avancée du biseau salé. (ABHS, 2009). Les zones présentant des conditions favorables de recharge artificielle correspondraient donc :

- à la zone située au sud de l'aire de l'étude. Cette zone constitue une presque île limitée par l'océan atlantique à l'ouest et l'estuaire de l'oued Sebou envahi par les eaux marines. Elle est de ce fait, La zone la plus affectée par l'intrusion marine comme en témoignent la piézométrie 2007 (inversion d'écoulement, ouest-est) et les profils de tomographie électrique de la campagne géophysique 2007.
- aux dunes intérieures qui constituent des aires d'alimentation naturelle de l'aquifère de Mnasra. Les dispositifs superficiels de recharge artificielle sont recommandés pour ces zones. Les opérations de recharge nécessitent par contre un contrôle et un suivi rigoureux en raison des faibles profondeurs d'eau.

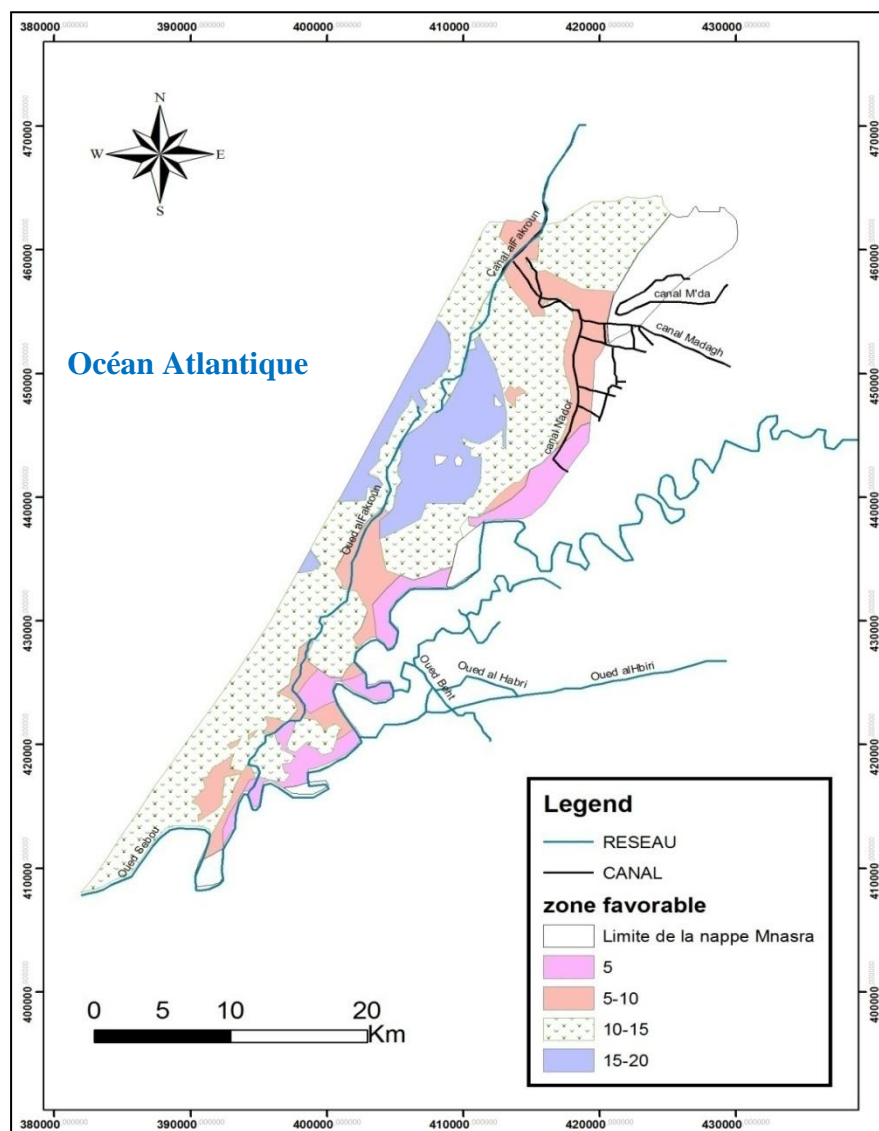


Figure III-5:classification des zones de recharge dans la zone du Mnasra

III.5.5 Techniques adoptées pour la recharge Artificielle dans la Région du Mnasra.

La recharge artificielle qui sera utilisée dans la région du Mnasra permettra de lutter contre le biseau salé en introduisant de l'eau douce dans l'aquifère, de façon à créer un dôme piézométrique à l'aval des pompages. Les processus de recharge à diffèrent suivant qu'il s'agisse de techniques d'injection ou de techniques d'infiltration. A l'échelle nationale il n'existe pas d'exemple de dispositif expérimental ayant fonctionné pour limiter la pénétration du biseau salé.

Nous analyserons les avantages et les inconvénients des dispositifs d'infiltrations et d'injection avant de proposer un système adapté à la configuration de la nappe Mnasra (topographie du terrain, eau de surface brute, présence de dunes de sable, etc...).

III.5.5.1 Processus de l'infiltration

Le processus de réalimentation peut se décomposer succinctement en trois phases (Bize, Bourguet, Lemoine 1972) :

- Phase 1 : la mise en eau d'un dispositif d'infiltration est suivie de l'avancée d'un front d'humidité (eau-air). Le principal moteur de l'écoulement pendant cette phase est l'effet de succion dû au contraste de teneur en eau à travers l'interface. Le gradient hydraulique est donc très nettement supérieur à 1. Pendant cette phase, bien que l'infiltration mesurée en surface soit non nulle, la nappe n'est pas rechargée. Il y a stockage dans la zone non saturée. La durée de cette phase d'infiltration sans recharge est fonction de la nature de la couche superficielle de sol et du sous-sol, du degré initial de saturation, des charges hydrauliques imposées et de la profondeur de la surface piézométrique.

- Phase 2 : la surface libre de la nappe commence à remonter dès qu'elle est atteinte par la frange d'humectation. La teneur en eau dans la tranche supérieure du sol s'égalise (proche de 100 %), la perméabilité tend vers la perméabilité du sol saturé, la succion interne à cette tranche s'annule, l'écoulement devient gravitaire, le gradient hydraulique de l'infiltration est voisin de 1. Le gradient hydraulique de la nappe augmente légèrement au fur et à mesure de sa remontée.

- Phase 3 : une connexion hydraulique s'établit entre la plage d'infiltration et la surface de la nappe. L'écoulement est saturé dans sa totalité. Le gradient hydraulique devient

caractéristique d'un écoulement saturé en nappe sur l'ensemble du profil (gradient de nappe) et diminue jusqu'à l'établissement d'un régime permanent.

Afin de bénéficier d'un gradient hydraulique maximum, et donc d'un volume infiltré maximum, il peut être préférable d'infiltrer durant la phase 2. Le choix du site d'infiltration devra être un compris entre :

- une profondeur initiale de la surface piézométrique de nappe suffisamment faible pour que la phase 1 ne soit pas trop longue (stockage très important dans la zone non saturée sans bénéfice pour la nappe) ;

- et une profondeur initiale de la surface piézométrique de nappe suffisamment importante pour que la phase 2 ne soit pas trop courte afin de maximiser les débits d'infiltration.

Une optimisation du site pourra être obtenue par la pratique de cycles d'infiltration et repos sur un même bassin.

III.5.5.2 Etudes des sites retenus pour la recharge artificielle

Le but de cette étude est de rechercher dans les zones favorables des sites potentiels d'aménagement d'ouvrages de réalimentation et le type du dispositif approprié. Trois sites ont été choisis pour l'implantation des ouvrages destinés à la recharge artificielle de la nappe de Mnasra. Le choix de ces trois sites est effectué en fonction des critères suivants :

- Situation à l'intérieur des zones favorables ;
- Disponibilité de terrain aménageable ;
- Origine, potentiel et qualité des eaux destinées à la recharge.

III.5.5.2.1 Site de recharge Ouled Berjal

III.5.5.2.1.1 Localisation

Ce site est situé au sud de la zone d'étude dans l'espace interdunaire d'Ouled Berjal. Il constitue un site de première priorité compte tenu de sa situation dans la zone d'estuaire de l'oued Sebou où le phénomène d'intrusion est le plus accentué en raison de l'effet conjugué de l'intrusion marine et la remontée des marées le long de l'oued à l'aval du barrage de garde.

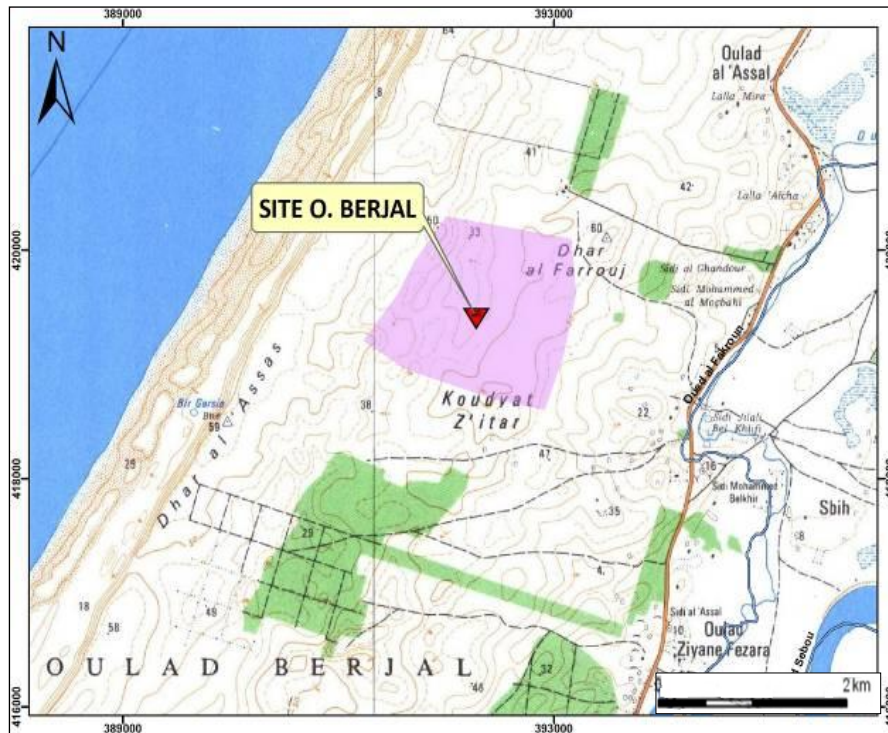


Figure III- 6: Carte de la situation du site de recharge O.Berjal (ABHS, 2009)

III.5.5.2.1.2 Caractérisation du site Ouled Berjal

Selon l'analyse multicritère pour classement des zones favorables pour la recharge artificielle, le site d'Ouled Berjal correspond à un indice de zones favorables, ledit indice est déterminé selon cette approche mettant en relation l'indice de la zone favorable en fonction des coefficients d'infiltration du sol de surface (**I**), de l'épaisseur de la zone non saturée (**E**) et le coefficient de diffusivité (**D**)

- **Infiltration**

La nature du sol du site d'Ouled Berjal correspond à une lithologie à dominance sableuse s'étendant sur une profondeur de 1 à 2 m (Forages N°IRE 923/8 ; 924/8 et 925/8) Selon l'approche multicritère utilisée pour la définition des zones favorables au niveau dudit site, du point de vue lithologique ce site lui correspond la valeur I4 (sol sableux) à taux d'infiltration de 35%(ABHS, 2009).

- **L'épaisseur de la zone non saturée**

Au niveau du site Ouled Berjal, l'épaisseur moyenne non saturée qui lui correspond est de l'ordre de 25 m soit une valeur de l'indice E4, selon l'évaluation multicritère, cet indice E4 correspond à une épaisseur non saturée très élevée. La nature lithologique de la zone non saturé est grés-sableuse.

- **Diffusivité**

Calculée selon le rapport T/S, le site d'Ouled Berjal affiche une diffusivité moyenne comprise entre 0.5 et 1 m²/j, dans l'équation multicritère cette zone lui correspond à un indice D2.L'indice global calculé au site Ouled Berjal selon l'équation :

$$I = aI_4 + bE_4 + cD_2 \quad \text{avec} \quad a = 2; b = 1; c = 2 \text{ ET } I_4 = 4, E_4 = 4, D_2 = 2.$$

Donc

$I_{\text{Berjal}} = 16$
--

Le site Ouled Berjal correspond ainsi à une zone favorable avec un indice de 16.

III.5.5.2.1.3 Objectif de l'aménagement

L'objectif de la recharge artificielle de la nappe au niveau d'Ouled Berjal est d'une part de réduire l'impact des prélèvements d'eau souterraine en améliorant le stockage de la nappe et d'autre part créer une barrière à l'avancée du biseau salé en rehaussant le niveau piézométrique à proximité du littoral.

III.5.5.2.1.4 Ressources en eau mobilisables pour la recharge

Pour ce site, deux variantes seront étudiées pour la mobilisation des eaux de la recharge :

- **1^{ère} variante**

Dans ce cas, La disponibilité en eau pour la recharge sera assurée par les eaux épurées de la STEP de Kenitra. La STEP projetée de produire un volume d'eau traité de l'ordre de 18 Mm³/an pour un débit d'entrée moyen de 950 l/s, la capacité maximale étant de 2110 l/s en période hivernale. La distance séparant les sites de recharge de la STEP est de l'ordre de 8 Km avec une dénivelée de 45 m. Un tracé préalable longeant la route secondaire N°206 depuis la station de fourniture d'eau (STEP de Kenitra).

Cette option proposée à savoir alimentation en eau du site à partir de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Kenitra s'avère difficilement réalisable, en effet la faisabilité économique n'est pas du tout justifiée, le calcul donne une puissance nécessaire de 800 KW pour refouler un débit de 1m³/s sous une HMT(Hauteur manométrique total) de 50 m, la longueur de refoulement est de 8km.

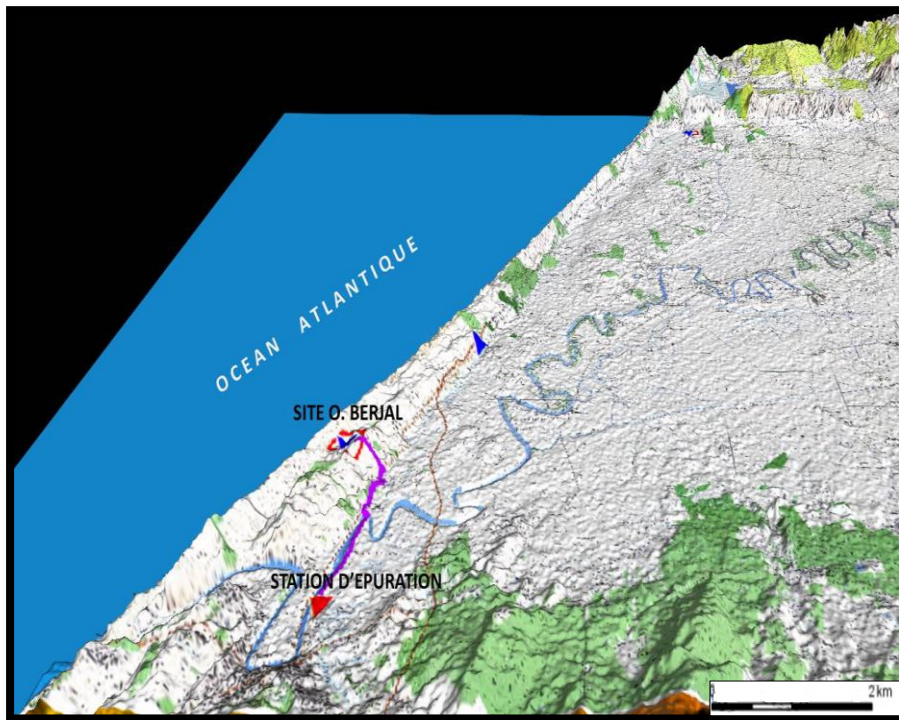


Figure III-7: Situation de la future STEP de Kenitra par rapport au site de recharge O. Berjal

- **2^{ème} variante**

Dans cette variante, l’approvisionnement en eau des bassins de recharge est effectué à partir d’oued Sebou via le canal FAKROUN. Cette alternative constitue un choix de premier ordre pour la recharge du site Ouled Berjal, de point de vue économique du projet.

III.5.5.2.1.5 Type du dispositif proposé

En raison de la disponibilité de grandes surfaces de terrains aménageables et de la nature perméable des sols de surface en majorité sableuse affichant un taux d’infiltration maximal (30%), le choix est porté par conséquent sur les dispositifs de recharge de type superficielle par l’aménagement de bassin d’infiltration.

III.5.5.2.2 Site de recharge Ouled Azouz.

III.5.5.2.2.1 Localisation

Ce site est situé à la limite Ouest des affleurements des dunes intérieures. Il constitue un site en deuxième priorité, il se situe dans le prolongement des carrières de sables abandonnées, il appartient à une zone identifiée comme zone favorable selon les critères techniques utilisés présentant des difficultés en ce qui concerne le statut foncier pour l’acquisition des terrains pour l’aménagement des sites de recharge, ce statut de terrain est en majorité Melk utilisés

pour des activités agricoles, le seul endroit pouvant servir de site pour une recharge correspond bien à ces zones de carrières abandonnées d'extractions de sables.

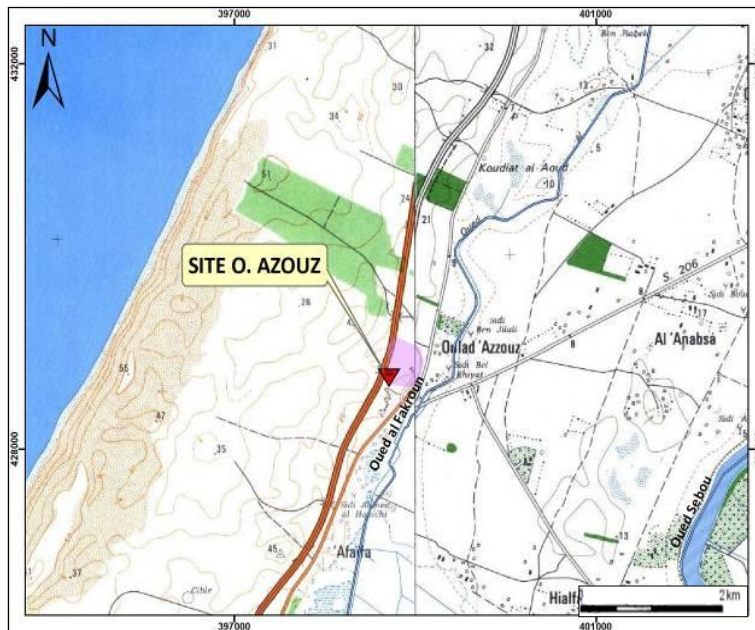


Figure III-8: Carte de la situation du site de recharge O. AZOUZ (ABHS, 2009)

III.5.5.2.2 Caractérisation du site Oulad Azouz

Le site d'Ouled Azouz correspond à un indice de zones favorables défini selon une approche multicritère mettant en relation les coefficients d'infiltration du sol de surface (I), l'épaisseur de la zone non saturée (E) et le coefficient de diffusivité (D).

- **Infiltration**

La nature du sol du site d'Ouled Azouz correspond aussi une lithologie à dominance sableuse s'étendant sur une profondeur 1m (Forage N°IRE 3618/8). Selon l'approche multicritère utilisée pour la définition des zones favorables, le site Ouled Azouz lui correspond la valeur I4 (sol sableux) à taux d'infiltration de 35% (ABHS, 2009).

- **L'épaisseur de la zone non saturée**

Au niveau du site Ouled Azouz, l'épaisseur moyenne non saturée qui lui correspond est de l'ordre de 10 à 20m soit une valeur de l'indice E3 selon l'évaluation multicritère, cet indice E3 correspond à une épaisseur non saturée très élevée. La nature lithologique de la zone non saturée est gréseuse.

- **Diffusivité**

IL est calculé selon le rapport T/S, le site d'Ouled Azouz affiche une diffusivité moyenne comprise entre 0.5 et 1 m²/j, dans l'équation multicritère cette zone lui correspond un indice D2.L'indice global qui correspond au site Ouled Azouz selon l'équation :

$$I = aI_4 + bE_3 + cD_2 \quad \text{avec :} \quad a = 2; b = 1; c = 2 \text{ et } I_4 = 4, E_3 = 3, D_2 = 2$$

Donc :

$I_{\text{Azouz}} = 15$

Le site Oulad Azouz fait partie des zones favorables avec un indice global de 15.

III.5.5.2.3 Objectif de l'aménagement

L'objectif de la recharge artificielle de la nappe au niveau d'Ouled Azouz est d'une part de réduire l'impact des prélèvements d'eau souterraine en augmentant le stockage de la nappe et d'autre part contrecarrer l'avancée du biseau salé en rehaussant le niveau piézométrique à proximité du littoral.

III.5.5.2.4 Ressources en eau mobilisables pour la recharge

La proximité du canal de Fakroun qui passe à 300m à l'Est des sites de carrières constitue un atout pour la mobilisation de l'eau à partir dudit canal, ce canal fait partie de l'infrastructure d'assainissement de la plaine de Mnasra pour le drainage des eaux pluviales en période de pluie et des eaux de colature des terrains agricoles. La distance séparant les sites de recharge est le canal est de l'ordre de 300m avec une dénivelée de 10m.

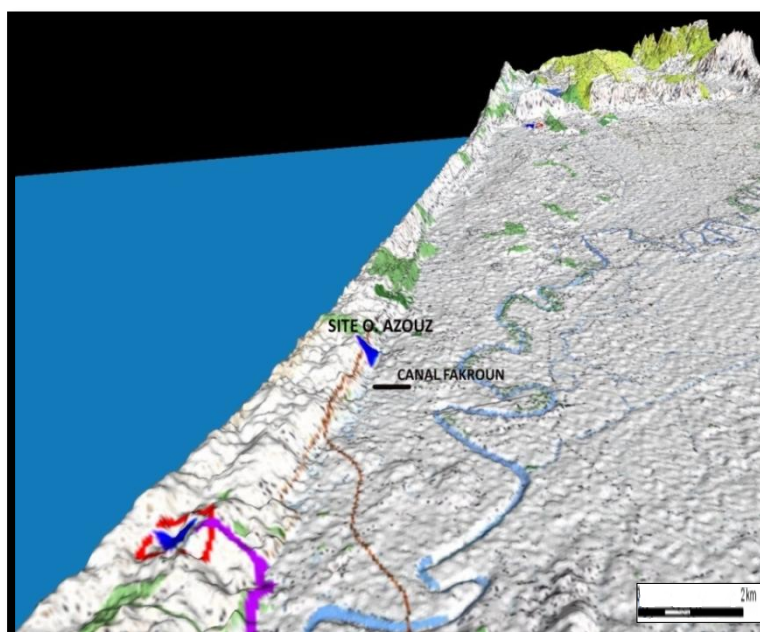


Figure III- 14: Situation du site de recharge O. Azouz (ABHS, 2009)

III.5.5.2.2.5 Type du dispositif proposé

En raison de la disponibilité de terrains aménageables et de la nature perméable des sols de surface en majorité sableuse affichant un taux d'infiltration maximal (30%), le choix est porté par conséquent sur les dispositifs de recharge de type superficielle par l'aménagement de bassin d'infiltration.

III.5.5.3 Pérennisation du canal Fakroune

La pérennisation du canal constitue une action primordiale dans le schéma d'aménagement hydro-agricole de Mnasra. En effet en plus d'assurer la disponibilité des ressources en eau nécessaire à la recharge au droit des sites identifiés dans la présente étude ; il permettrait aussi :

- Une recharge naturelle de la nappe de Mnasra par infiltration directe à partir du canal ;
- Une eau facilement accessible aux agriculteurs, riverains du canal, pour l'irrigation ce qui pourrait soulager pression sur les eaux souterraine surtout en période sèche.

Le Canal Fakroune, longe les dunes côtières depuis Koudiat Bou Merzoug au niveau du Merja Daoura au nord, en traversant la zone d'Ouled Berjal jusqu'au point de rejet dans oued Sebou au droit du douar Ouled Larbi. Il est d'une longueur de 50 km, sa situation par rapport au barrage de garde est comme suit:

- partie sud, elle s'étend depuis la station de pompage Qabat-Ouled Berjal sur une longueur de 24 km au sud ;
- partie nord, d'une longueur de 26 km, ce tronçon permet d'assainir la Merja de Ben Mansour en période de pluie.

A noter que ce canal Fakroune véhicule un débit important en période de pluie et il est pratiquement à sec en période d'étiage. Il faut signaler aussi l'existence d'un canal secondaire reliant Oued Sebou et Canal Fakroune avec déversement des eaux dudit canal secondaire au niveau de la station de pompage de Qabat. En ce qui concerne la mobilisation de l'eau à partir du canal Fakroune pour la recharge des sites désignés dans la présente étude surtout en période d'étiage ou ledit canal est quasiment sec, il est recommandé une alimentation à partir d'oued Sebou (barrage de garde) moyennant des canaux secondaires. Les transferts d'eau de l'ensemble du système doit se faire d'une façon gravitaire de la retenue du barrage de garde au canal Fakroune moyennant des canaux en terre tertiaires et secondaires d'assainissement

existants. Cette solution est de loin la plus avantageuse surtout sur le plan coûts (investissement et d'exploitation).

En effet, suite à des sorties sur les lieux avec des équipes du « service eau » et en fonction du contact avec la population pour examiner la faisabilité de cette variante, Il a été constaté que cette prise d'eau en question à partir d'oued Sebou a existé avant la réalisation du barrage de garde dans les années 50 où une dérivation a été aménagé à partir de l'oued Sebou dans le but d'irriguer gravitairement des terres agricoles situées en rive droite de l'oued Sebou. Ce système d'irrigation a du être abandonné après construction du barrage de garde principalement dans la partie aval du barrage.

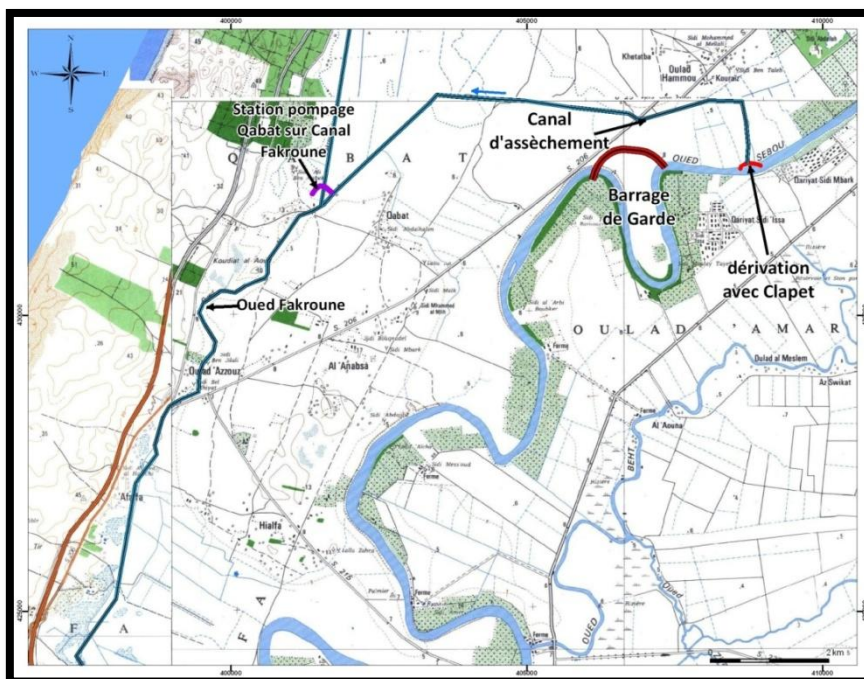


Figure III-10: Prise d'eau à partir de la retenue du barrage de garde sur Sebou (ABHS ,2009)



Figure III-11: Oued Sebou au niveau de la prise d'eau



Figure III-12: Vanne clapet de la prise d'eau (non fonctionnelle)

La prise d'eau est située à environ 2 km en aval du corps du barrage de garde dans la rive droite d'oued Sebou. Elle est dotée d'une vanne clapet fermée et non fonctionnelle. A la cote normale de la retenue du barrage, les eaux peuvent se déverser gravitairement par un canal tertiaire, puis secondaire pour rejoindre canal Fakroune.

III.5.5.4 Site de recharge Nord (Segmat)

III.5.5.4.1. Localisation

Ce site est situé au nord de la zone d'étude à l'Est du canal du Nador, à la limite Ouest des affleurements des dunes intérieures. Il constitue un site en troisième priorité, il appartient à une zone identifiée comme zone favorable selon les critères techniques présentant un statut foncier de type collectif, et par conséquent moins de difficultés d'acquisition des terrains pour l'aménagement des sites de recharge, ce statut de terrain qui est en majorité collectif est utilisé actuellement pour des activités agricoles, la superficie disponible pour cette recharge obtenue à partir de la photo interprétation de l'image satellite dans cette zone du site n° 3 ne dépasse pas 7 Ha.

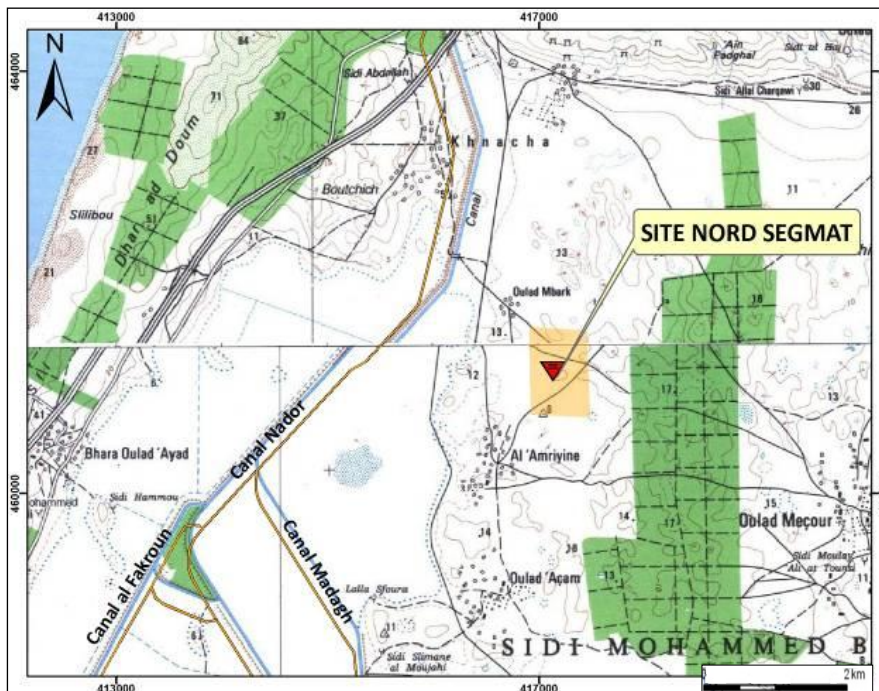


Figure III-15: Carte de la situation du site de recharge Nord « Segmat » (ABHS, 2009)

III.5.5.4.2 Caractérisation du site Nord «SEGMAT»

Le site Nord « SEGMAT » correspond à un indice de zones favorables, il a été défini aussi selon une approche multicritère mettant en relation l'indice de la zone favorable en fonction des coefficients d'infiltration du sol de surface (I), de l'épaisseur de la zone non saturée (E) et le coefficient de diffusivité (D).

- **Infiltration**

La nature du sol du site Nord « SEGMAT » correspond aussi à une lithologie avec présence de sable s'étendant sur une profondeur 0,6 à 2m (Forages N°IRE 1540 ; 1541). Selon l'approche multicritère utilisée pour la définition des zones favorables le site Nord «SEGMAT», il lui correspond la valeur I3 (sol apparenté) à taux d'infiltration de 30%.

- **L'épaisseur de la zone non saturée**

Au niveau du site «SEGMAT», l'épaisseur moyenne non saturée qui lui correspond est de l'ordre de 10 à 15m soit une valeur de l'indice E3 selon l'évaluation multicritère, cet indice E3 correspond à une épaisseur non saturée très élevée. La nature lithologique de la zone non saturée est sableuses et grésosableuse.

- **Diffusivité**

IL est calculé selon le rapport T/S, le site « SEGMAT » affiche une diffusivité moyenne comprise entre 0.5 et $1 \text{ m}^2/\text{j}$, dans l'équation multicritère cette zone lui correspond un indice D2. L'indice global qui correspond au site «SEGMAT» selon l'équation global :

$$I = aI_3 + bE_3 + cD_2 \quad \text{avec : } a = 2, b = 1, c = 2 \quad \text{Et } I_3 = 3, E_3 = 3, D_2 = 2$$

Donc :

$I_{\text{Segmat}} = 13$
--

Selon cet indice, le site Nord «SEGMAT» est situé juste à la limite des seuils des zones favorables accumulant une notation de 13.

III.5.5.4.3 Objectif de l'aménagement

L'objectif de la recharge artificielle de la nappe au niveau du « SEGMAT » est d'une part de réduire l'impact des prélèvements d'eau souterraine en augmentant le stockage de la nappe et d'autre part de faire face à l'avancée du biseau salé.

III.5.5.4.4 Ressources en eau mobilisables pour la recharge

Lors de l'enquête de terrain, il s'est avéré que le canal de Nador passe à proximité du site et constitue par conséquent atout pour la mobilisation de l'eau à partir dudit canal, ce canal fait partie aussi de l'infrastructure d'assainissement de la plaine de Mnasra pour le drainage des eaux pluviales en période de pluie et des eaux de colature des terrains agricoles. La distance séparant les sites de recharge est le canal est de l'ordre de 400m avec une dénivelée de 5m.

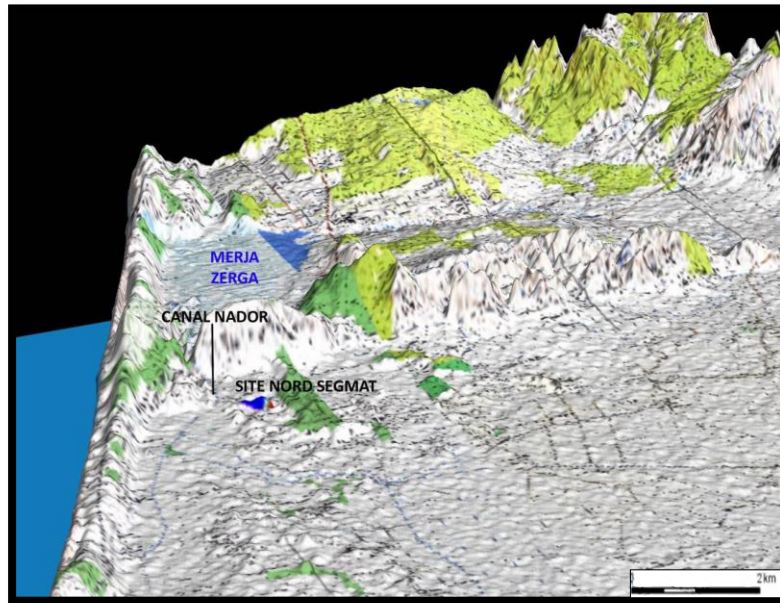


Figure III-14: Situation du site de recharge Nord «Segmat » (ABHS ,2009)

III.5.5.4.5 Type du dispositif proposé

En raison de la disponibilité de terrains aménageables et de la nature perméable des sols de surface en majorité sableuse affichant un taux d'infiltration maximal (30%), le choix est porté par conséquent sur les dispositifs de recharge de type superficielle par l'aménagement de bassin d'infiltration.

Conclusion générale et recommandations

La région de Mnasra renferme un aquifère côtier fortement menacé par l'avancée du biseau salé et par conséquent très vulnérable.

Le rôle stratégique que joue cet aquifère dans le développement socio-économique de la région impose la mise en place d'urgence d'actions de sauvegarde, de protection et la mise en place de dispositifs de recharge artificielle en vue de restaurer une partie du potentiel hydraulique exploité dans cet aquifère.

Les paramètres jouant un rôle fondamental dans le processus de recharge concernent d'une part les caractéristiques des eaux destinées à la recharge et d'autre part celles du milieu récepteur à savoir l'aquifère.

Il faut, donc considérer les conditions hydrologiques, géomorphologiques, pédologiques, géologiques, hydrogéologiques et hydrodynamiques qui contrôlent et conditionnent le processus de réalimentation.

Ainsi la compilation des données disponibles synthétisées en trois paramètres : Le pouvoir infiltrant des terrains de surface, l'épaisseur de la zone non saturée et la diffusivité de l'aquifère, a permis de définir les zones potentiellement favorables à la recharge de l'aquifère de Mnasra.

Trois sites ont été choisis pour l'implantation des ouvrages destinés à la recharge artificielle de la nappe de Mnasra : **Site Ouled Berjal, Site Ouled Azouz et site Segmat**. Le choix de ces trois sites est effectué en fonction des critères suivants :

- situation à l'intérieur des zones potentiellement favorables ;
- disponibilité de terrain à aménager ;
- origine, potentiel et qualité des eaux destinées à la recharge.

Les sites d'Ouled. Berjal et Ouled Azouz sont classés en premier rang en raison de leurs situations en zone sensible et fortement menacée par le phénomène d'intrusion encore plus accentué par l'effet conjugué de l'intrusion marine et la remontée des marées le long de l'oued à l'aval du barrage de garde.

Au terme de cette étude et afin d'améliorer la gestion des ressources en eau, des recommandations sont à proposer liés à plusieurs mesures concernant la gestion de l'irrigation, l'utilisation adéquate de la nappe et la lutte contre l'intrusion marine. Elle consiste à :

- L'exécution des sondages géophysiques dans la zone côtière afin d'améliorer la configuration des réservoirs, notamment dans la zone des merjas pour but de caractériser la nature des formations aquifère et de situer la profondeur des niveaux semi perméables.
- L'établissement de profils salinométriques ainsi que le suivi périodique de la qualité des eaux de la nappe
- Limitation des pompages dans les nappes
- Renforcement des responsabilités des ABH dans la gestion des nappes
- Prospection des nappes profondes
- Sensibilisation
- L'adoption d'un réseau optimal de contrôle de piézométrie avec des points bien répartie dans la zone

Ces données permettront d'améliorer la qualité de l'eau de la nappe et accroître les ressources en eau et aussi pour lutter contre l'intrusion du biseau salé en zone côtière.

Références Bibliographie

ABHS(2006) : Etude d'actualisation du plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau du bassin hydraulique de sebou.Ministère de l'aménagement du territoire de l'eau et de l'environnement. Rapport provisoire mars 2006 inédit

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

ABHT, (2012) : Gestion intégrée des ressources en eau au Maroc : Fiche de projet de coopération Etude de recharge artificielle de la nappe du Haouz au niveau de l'oued Ghmat 2012 ABHT.

B. Bouya¹, M. Faouzi¹, M. Ben Abbou¹, A. Essahlaoui², M. Bahir³, N. Youbi^{3, 4}, M.A. Hessane¹ *Comunicações Geológicas* (2011, 98, 73-81) : L'aquifère côtier des Mnasra (plaine du Gharb, Maroc): hydrogéologie et modélisation hydrodynamique.

Barlow, Paul M. (2003) : "Ground Water in Freshwater-Saltwater Environments of the Atlantic Coast". USGS. Retrieved 2009-03-21.

Bear, J., 1979 :Hydraulics of groundwater: New York, McGraw-Hill Book Company, 569 p.

Bel, (1988) : Dossier technico-commercial du procédé de «production d'eau potable par réalimentation de nappe BRGM/88SGN772 MPY »

Bel, (1989) : Etude hydrogéologique de la station de réalimentation de nappe Lavelanet de comminges (31) : BRGM/30008 MPY4S89.

Bize, Bourguet, Lemoine (1972) : L'alimentation artificielle des nappes souterraines 199 pages.

Cirac, P, (1985) : Le bassin sud-rifain occidental au Néogène supérieur. Évolution de la dynamique Sédimentaire et de la paléogéographie au cours d'une phase de comblement. Thèse es Sciences, Université de Bordeaux I, France, 283.

Combe (1975) : Le bassin Gharb –Maamoura et les petits bassins septentrionaux des oueds dradère et souieire in ressources en eau du Maroc, tome 2, plaine et bassin du Maroc atlantique. Notes et mémoires du service géologique du Maroc n°231

DRPE (1994) .Etude de modélisation de la nappe côtière du Gharb (région d'elMnasra).ministère des travaux publics de la formation professionnelle et de la formation des cadres, administration de l'hydraulique, direction de la recherche.

Hantke, R. 1978: Die jüngste Erdgeschichte der Schweiz und ihrer Nachbargebiete. Band 1: Eiszeitalter. OttVerlag, Thun, Schweiz

ORMVAG (1996) : Aménagement hydro-agricole de la troisième tranche d'irrigation de la plaine du Gharb,zone Mnasra (zone côtières).Rapport

Rice R.C. (1974): "Soil clogging during infiltration of secondary effluent". JWPCF, vol. 46, n° 4: 708-716, 1974.

Verrjuit, Arnold (1968) : "A note on the Ghyben-Herzberg formula". *Bulletin of the International Association of Scientific Hydrology* (Delft, Netherlands: Technological University) **13** (4): pp. 43–46. Retrieved 2009-03-21.

Wernli, R. (1987) : Micropaléontologie du Néogène post-nappes du Maroc septentrional et description systématique des Foraminifères planctoniques. Notes et Mem. Serv. Géol. Maroc, 331, 265.

