



République Algérienne Démocratique & Populaire

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Université de BLIDA « SAAD DAHLAB »

جامعة سعد دحلب- البليدة

Faculté Des Sciences de L'Ingénieur

كلية علوم المهندس

Département de science de l'eau et de l'environnement

قسم العلوم المائية و البيئة

Mémoire de Projet De Fin d'Etudes

مذكرة نهاية التدرج

Pour l'Obtention du Diplôme De MASTER En Hydraulique

Option: protection et préservation les ressources en eau.

Thème :

APPROCHE
HYDROCHIMIQUE,
HYDRODYNAMIQUE ET
ISOTOPIQUE DE L'INTRUSION MARINE SUR LA VALLEE D'OUED
NADOR
(W TIPA7A)

Présente par :

BEGHDAD AIDA

Les membres du jury :

- **Président : M. BENSALIA DJILALI.**
- **Examineur : M. BESSENASSE MOHAMED.**
- **Examineur : M. MESSOUD NACER.**
- **Promoteur : M. GUENDOZ ABDELHAMID**

2010-2011



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

REMERCIEMENTS

- *je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mon promoteur M^r GUENDOZ, pour son suivi et ses conseils tous le long de l'élaboration de mon projet.*

- *Mon parfaite considération va à l'ensemble des enseignants ayant contribués à mon formation.*

- *je tiens à remercier aussi toutes les personnes qui ont apporté leur aide de près ou de loin surtout l'Agence Nationale Des Ressources Hydrique, sans oublier les fonctionnaires de la bibliothèque centrale*

- *Enfin, mon sincères salutations aux membres de jury qui me ferais l'honneur de juger mon travail.*

Dédicaces

Je dédie mon mémoire de fin d'études à ma grande famille : Mes parents, mes frères : RIADH et NASSIM, ma sœur : IMEN,

Surtout à ma mère « FATIMA-ZOHRA » qui m'a soutenue moralement et qui a beaucoup souffert pour nous élever afin que nous puissions arriver à notre but dans la vie.

Ainsi qu'à mes copines ZOUBIDA et HADJER, ma tante « FADHILA»,

Et toute la promotion de 2011 (LMD).

ملخص

الهدف الأساسي لهذه الدراسة هي تحديد تقدم المياه المالحة نحو المياه الحلوة في منطقة شنوه.

اولا نقوم بتعريف المفاهيم الجيومرفولوجية, الهيدروكليماتولوجية, والهيدروكليماتولوجية, والجيولوجية للمنطقة. بعد ذلك, نركز على المعايير الجيوفيزيائية, الهيدروكليماتولوجية, والهيدروكليماتولوجية وذلك باعتماد على خرائط مساعدة لفهم و تحليل ظاهرة تقدم المياه المالحة

RÉSUMÉ

L'objet principal de ce mémoire est de faire un constat sur l'état actuel de l'invasion marine dans la baie chenoua.

En premier lieu, on a défini les contextes, géomorphologique, hydroclimatologique, géologique et hydrogéologique de la région d'étude.

Par la suite, en se basant sur des critères, géophysique, hydrodynamique et hydrochimique, on a des cartes assistées par système d'information géographique mettant en évidence l'ampleur du phénomène étudié.

Abstract

The principal purpose of this memory is to make a report of the actual marine intrusion state in the bay of chenoua.

Initially, we have defined geomorphological, hydroclimatological, geological and hydrogeological contexts of the studies area.

Then, while basing itself on geophysical, hydrodynamical and hydrochemical criteris, we could establish maps assisted by geographical information system highlighting the extent of the studied phenomenon.

SOMMAIRE :

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : PHENOMENE DE L'INTRUSION MARINE	
INTRODUCTION.....	4
I-1-DESCRIPTION D'UN AQUIFERE COTIER	5
I-2-DEFINITION D'UN BISEAU SALE.....	5
I-3- DEFINITION DE L'INTRUSION MARINE.....	6
I-4-MECANISMES REGLANT LES RAPPORTS ENTRE L'EAU DOUCE ET L'EAU SALEE	6
I-5-MECANISMES DE POLLUTION DES AQUIFERES COTIERS	6
I-6-LOCALISONS DE L'INTERFACE	7
I-7- CRITERES DE RECONNAISSANCE DE L'INVASION MARINE	9
I-7-1- CRITERE GEOLOGIQUE	9
I-7-2-CRITERES HYDRODYNAMIQUE	9
I-7-3-CRITERES GEOPHYSIQUE	10
I-7-4-CRITERES HYDRO CHIMIQUE	10
I-8-EXEMPLE D'INVASIONS MARINES A L'ECHELLE INTERNATIONALE	10
I-9- IMPACT DE L'INVASION MARINE	11
I-9-1- IMPACT SUR LA SANTE HUMAINE	11
I-9-2- IMPACT SUR LES PLANTES	11
CONCLUSION	13
CHAPITRE II : ZONE D'ETUDE	
INTRODUCTION	15
II-1-ETUDE GEOMORPHOLOGIQUE	15
II-L-L- SITUATION GEOGRAPHIQUE	15
II-I-2-SITUATION DE LA REGION D'ETUDE	15
II-1-3-GEOMORPHOLOGIE DU BASSIN VERSANT DE L'OUED NADOR.....	16
II-1-4- RESEAU HYDROGRAPHIQUE	17
II-1-5- COUVERTURE VEGETALE	17
II-2- ETUDE HYDROCLIMATOLOGIQUE	18
II-2-1-CYCLE DE L'EAU	18
II-2-2-PLUVIOMETRIE	19
II-2-2-1- LES PRECIPITATIONS	19

II-2-2-2- LES PRECIPITATIONS MENSUELLES	20
II-3-DETERMINATION DU BILAN HYDROLOGIQUE	21
II-3-1-INTRODUCTION	21
II-3-2- ETUDE DE L'EVAPOTRANSPIRATION	21
II-3-2-1- EVAPOTRANSPIRATION REELLE	22
II-3-3- L'INFILTRATION	23
II-3-4- ESSAI DE BILAN HYDROLOGIQUE	23
CONCLUSION	25

CHAPITRE III : CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

INTRODUCTION	27
III.1.CONTEXTE GEOLOGIQUE	27
III.1.1.DESCRPTION LITHOSTRATIGRAPHIQUE DU SECTEUR D'ETUDE	28
III2CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE	29
INTRODUCTION	29
III-2-1- QUELQUES DEFINITIONS ET GENERALITE	29
III-2-1-1- CLASSIFICATION DES AQUIFERES	29
III-2-2- COEFFICIENT DE PERMEABILITE, TRANSMISSIVITE ET DIFFUSIVITE	31
III-2-2-1- DEFINITION DE LA PERMEABILITE, COEFFICIENT DE PERMEABILITE ET PERMEABILITE INTRINSEQUE	31
III-2-2-2- LA TRANSMISSIVITE	32
III-2-2-3- LA DIFFUSIVITE	32
III-2-3- LES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX SOUTERRAINES	32
III-2-4- L'HYDROGEOLOGIE DE LA VALLEE DE L'OUED NADOR	33
III-2 -4-1-DIFFERENTS NIVEAUX AQUIFERES	33
III-2-4-2-CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES DE LA NAPPE DU PLIO-QUATERNAIRE	33

CHAPITRE IV : DIFFERENTES APPROCHES DU PHENOMENE :

HYDRODYNAMIQUE, HYDROCHIMIQUE, GEOPHYSIQUE ET ISOTOPIQUE

A-APPROCHE HYDRODYNAMIQUE DE L'ETUDE DE L'INTERFACE EAU DOUCE/EAU SALEE

INTRODUCTION	35
IV-RESEAU PIEZOMETRIQUE DE LA PLAINE ALLUVIALE DE L'OUED NADOR ..	35
IV-1-DESCRIPTION DU RESEAU DE SURVEILLANCE	35
IV-2-PIEZOMETRIE DE LA NAPPE	36

IV-3-PROFONDEUR DU TOIT DE LA NAPPE DE L'OUED NADOR	38
IV-3-1-PROFONDEUR DU LA NAPPE POUR LES ANNEES 1993-94-03-04	38
IV-3-2-PROFONDEUR DE LA NAPPE POUR LES ANNEES 09-10.....	41
IV-4- BILAN DE LA NAPPE	42
IV-5- ETAT QUALITATIF DES EAUX DE LA NAPPE DE L'OUED NADOR	45

**B-APPROCHE HYDROGEOCHIMIQUE DE L'ETUDE DE L'INTERFACE EAU
DOUCE/EAU SALEE**

INTRODUCTION	46
IV-6-MECANISMES D'ACQUISITION DE LA SALINITE	46
IV-7-QUALITE CHIMIQUE DES EAUX DE LA PLAINE DE L'OUED NADOR POUR L'ANNEE 2003-2004-2009-2010.....	46
IV-7-1-RESULTATS DES ANALYSES CHIMIQUES POUR TOUTES LES CAMPAGNES (2003 A 2010)	47
IV-8-REPRESENTATION GRAPHIQUE ET CLASSIFICATION DES EAUX	50
IV-8-1-CLASSIFICATION DES EAUX SELON STABLER	50
IV-8-2- CLASSIFICATION DES EAUX SELON PIPER	52
IV-8-3-INTERPRETATION DES RESULTATS DU RESIDU SEC	56
IV-9- INTERPRETATIONS DES RESULTATS	57
CONCLUSION.....	59

**C-APPROCHE GEOPHYSIQUE DE L'ETUDE DE L'INTERFACE EAU
DOUCE/EAU SALEE**

IV-10- APPROCHE GEOPHYSIQUE	61
IV-10-1-TRAVAUX GEOPHYSIQUES	62

**D-APPROCHE ISOTOPIQUE DE L'ETUDE DE L'INTERFACE EAU DOUCE / EAU
SALEE:**

INTRODUCTION	64
IV-11-QUELQUES RAPPELS SUR LES ISOTOPES	64
IV-11-1-DEFINITION	64
IV-11-2- TRAVAUX REALISES DANS LE CADRE DU PROJET	66
IV-11-3-TENEURS EN ISOTOPES STABLES DES EAUX DE LA PLAINE	66
IV.11.4.LOCALISATION DE L'INTERFACE EAUX DOUCE /EAU SALÉ	67
CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATION	70

ANNEXE

BIBLIOGRAPHIQUE

INTRODUCTION

GENERALE

INTRODUCTION

L'eau des aquifères, lorsqu'ils sont rechargés, circule vers le niveau de base locale. Sur les îles et en zone littorale, les aquifères se déversent donc en mer. Cependant un aquifère étant par essence perméable, l'eau de mer peut aussi y pénétrer. Les deux milieux vont donc s'affronter selon des règles théoriques simples, mais qui s'avèrent dans la réalité d'une grande complexité.

Les régions littorales sont généralement caractérisées par une population importante et la sollicitation de ses aquifères ne cesse d'augmenter. Mais lors d'une exploitation intense, leur utilisation est confrontée au problème de la contamination par l'eau saline de la mer. Sachant que la pénétration des eaux marines dans un aquifère littoral a parfois un caractère difficilement réversible.

Ce problème touche un nombre important d'aquifères en méditerranée dont les aquifères du littoral Algérien sont les plus concernés.

L'Algérie connue se problème à cause de :

Sécheresse des deux dernières décennies, La surexploitation de ces dernières, pour l'irrigation et l'alimentation quotidienne des populations rurales, provoquerait une chute importante du niveau piézométrique, une inversion du sens d'écoulement souterrain et par conséquent des problèmes d'intrusion marine vers l'aquifère côtier, surexploité surtout pendant les saisons sèches. Ce qui va provoquer une pollution des eaux de la nappe par une augmentation de la salinité.

Le but de cette étude est d'actualiser les connaissances sur le problème de l'intrusion marine dans la baie de CHENOUA. En se basant sur les études antérieures et les données recueillies aux services de l'ANRH, on a effectué le plan suivant :

Présentation de phénomène de l'intrusion marine.

Zone d'étude (étude géomorphologique et hydro climatologique).

Etude géologique.

Etude hydrogéologique.

Historique sur le réseau d'exploitation.

Intrusion marine sur la vallée de l'oued Nador.

Dans le premier chapitre (présentation du phénomène), on va donner quelques définitions concernant le phénomène ainsi que des exemples et l'impact de ce phénomène.

Introduction générale

La zone d'étude basée sur l'étude géomorphologie différents paramètres physiographiques et morphologique ayant une influence sur l'écoulement dans le bassin, et l'étude hydro climatologique qui basée sur l'analyse et l'interprétation des différents paramètres hydro climatologiques dans le but d'estimer le bilan hydrologique.

Dans l'étude géologique, permettre de définir la structure et la nature des formations géologiques.

L'étude hydrogéologique consiste à définir les aquifères de la nappe de l'oued Nador.

Pour l'historique sur le réseau d'exploitation, on va présenter le réseau de surveillance des eaux souterraines de la nappe alluviale de l'oued Nador.

Dans le dernier chapitre (invasion marine), on va faire une approche sur l'état de l'invasion d'eau salée dans la baie de CHENOUA en se basant sur des critères hydrodynamique, hydro chimiques et géophysiques (situation de l'interface Eau douce /Eau salé).

Enfin, on terminera par une conclusion générale où vas synthétiser les résultats obtenus afin de nous permettre de proposer des recommandations et des solutions potentielles aux problèmes de l'invasion marine.

CHAPITRE I :
PHENOMENE DE L'INTRUSION
MARINE

Introduction :

Les aquifères côtiers sont fragilisés par des prélèvements massifs concentrés sur une courte période de l'année, avec le cumul des prélèvements destinés à l'eau potable pendant la saison estivale et les forages destinés à l'irrigation ainsi que ceux utilisés pour l'industrie.

Un traitement pour fabriquer de l'eau douce potable est techniquement toujours possible ; mais l'utilisation des nappes pour l'irrigation est irrémédiablement condamnée.

Les prélèvements sont alors reportés sur d'autres ressources, rivières ou autres nappes, jusqu'à épuisement et/ou condamnation pour les mêmes raisons. [1]

I-1-Description d'un aquifère côtier :

Les aquifères côtiers sont, en général, en communication avec la mer. Ce sont des systèmes globaux aquifère/mer. L'eau souterraine s'écoule vers le rivage où leur progression est limitée par l'invasion, courant inverse de l'eau salée marine. Le contact est marqué par une interface eau douce/eau salée dont la position est imposée par la différence d'altitude (différence de charge) entre le niveau piézométrique et le niveau moyen de la mer (cote 0).

Les problèmes posés par l'exploitation d'un aquifère côtier sont en général délicats car ils associent la notion de quantité à celle de qualité. L'expérience a montré que des captages entrepris sans discernement ont pu, dans certains cas, entraîner des pollutions par l'eau de mer dont il a été très difficile sinon impossible de se débarrasser par la suite.

Le problème est d'autant plus important que les zones côtières constituent souvent en pays aride des secteurs privilégiés du point de vue climatique où la demande en eau est généralement grande impliquant une motivation particulière pour tenter d'y mobiliser l'eau.[1]

I-2-Définition d'un biseau salé :

C'est le contact entre la mer et une nappe d'eau dans un aquifère poreux s'appelle l'interface eau douce/eau salée.

Généralement cette interface est en bordure de mer, mais il peut se déplacer à l'intérieur des terres en cas d'exploitation trop importante de la nappe ou de précipitations insuffisantes dues à un changement climatique.

Cette limite peut être plus ou moins franche (sur quelques mètres) ou progressive (plusieurs dizaines de mètres). [1]

I-3- Définition de l'intrusion marine :

Des pompages excessifs d'eau douce peuvent entraîner des dépressions, comblées par les eaux de mer voisines. L'eau de mer pénètre par le sous-sol et par effet de contraste de densité entre l'eau douce continentale et l'eau salée (l'eau de mer contient en moyenne trente grammes de sel par litre et est donc plus dense et plus lourde que l'eau douce). Ce phénomène est connu sous le nom d'intrusion du biseau salé ou intrusion marine. [1]

I-4-Mécanismes réglant les rapports entre l'eau douce et l'eau salée :

Il est reconnu que dans un aquifère côtier non perturbé par l'activité humaine, l'eau douce en provenance de l'infiltration des précipitations constitue une nappe s'écoulant vers la mer qui surmonte une masse d'eau salée affectant la forme d'un biseau pénétrant à l'intérieur des terres.

La transition entre eau douce et eau salée s'effectue relativement brusquement sur une épaisseur ne dépassant pas quelques mètres. A l'échelle de l'aquifère, cette zone de transition est souvent assimilée à une interface abrupte séparant l'eau douce de l'eau salée.

L'existence de la zone de transition est due à la coexistence de plusieurs phénomènes :

- Les fluctuations naturelles de la nappe d'eau douce ou encore l'effet de la marée provoquent un mélange des eaux par déplacement de l'interface ;
- La diffusion moléculaire du sel dans l'eau tend à diminuer les contrastes de concentration ;
- Enfin, la dispersion en milieu poreux due à l'écoulement le long de l'interface contribue également au mélange.

L'ensemble de ces causes tendrait à un envahissement progressif de l'aquifère par la saumure, si l'écoulement de la nappe d'eau douce vers la mer n'entraînait un nettoyage permanent et si l'effet de densité ne tendait à maintenir le sel en profondeur. [1]

I-5-Mécanismes de pollution des aquifères côtiers :

Avec un coefficient d'emménagement apparent très élevé par rapport à celui de la nappe libre d'eau douce. Il en résulte une évolution lente de la piézométrie. Sous l'effet d'un pompage, la zone de transition eau douce/eau salée subit un déplacement d'ensemble vers l'intérieur des terres. Si cette zone de transition atteint les crépines des forages (phénomène connu sous le nom « **d'upconing** »), il se produit une pollution intense de l'eau pompée. Cet événement peut apparaître même si la nappe d'eau douce n'est pas surexploitée, il s'agit seulement d'une remontée locale de l'eau de mer dans la zone des captages.

Le phénomène est d'autant plus grave que consécutivement au déplacement de l'interface en cours d'exploitation, l'écoulement s'effectue de l'aquifère qui masque le caractère inacceptable de la situation à long terme. [1]

I-6-Localisations de l'interface :

Les aquifères littoraux poreux ont été étudiés à la fin du XIX^{me} siècle par GHYBEN et HEZBERG. L'eau douce, plus légère, flotte sur l'eau de mer avec un contact incliné assimilé à un plan, dont la position est liée à la différence de densité des deux milieux, 1 pour l'eau douce et environ 1.025 pour l'eau de mer.

La loi de GHYBEN-HERZBERG définit la position du contact entre deux milieux à l'équilibre : (voir Fig.1.)

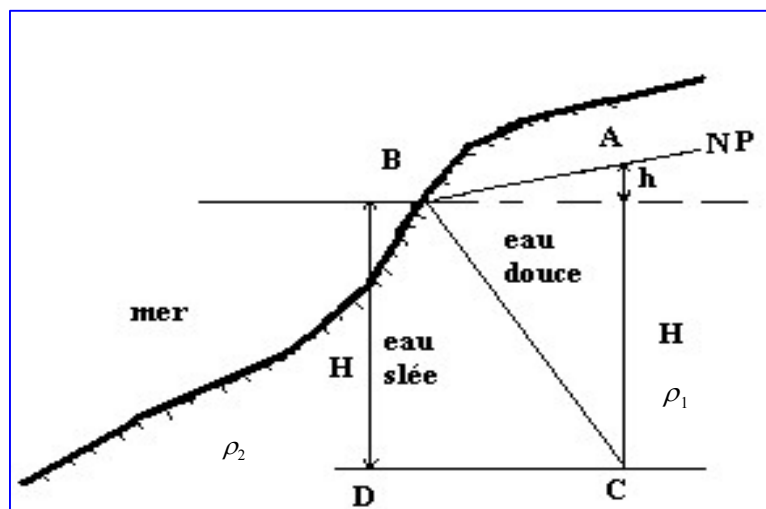


Fig.1.: Schéma théorique de l'invasion marine le long du littoral pour une nappe libre. (D'après GHYBEN-Herzberg)

NP : niveau piézométrique ;

BC: interface ;

H : niveau de l'eau salée ;

ρ_1 : densité de l'eau douce ;

ρ_2 : densité de l'eau salée ;

Phénomène de l'intrusion marine

h : charge hydraulique ;

P_D : la pression hydrostatique au point D ; Donnée par la formule suivant :

$$(P_D = \rho_2 \times g H) ;$$

P_C : la pression hydrostatique au point C ; Donnée par la formule suivant :

$$(P_C = \rho_1 (H + h) g).$$

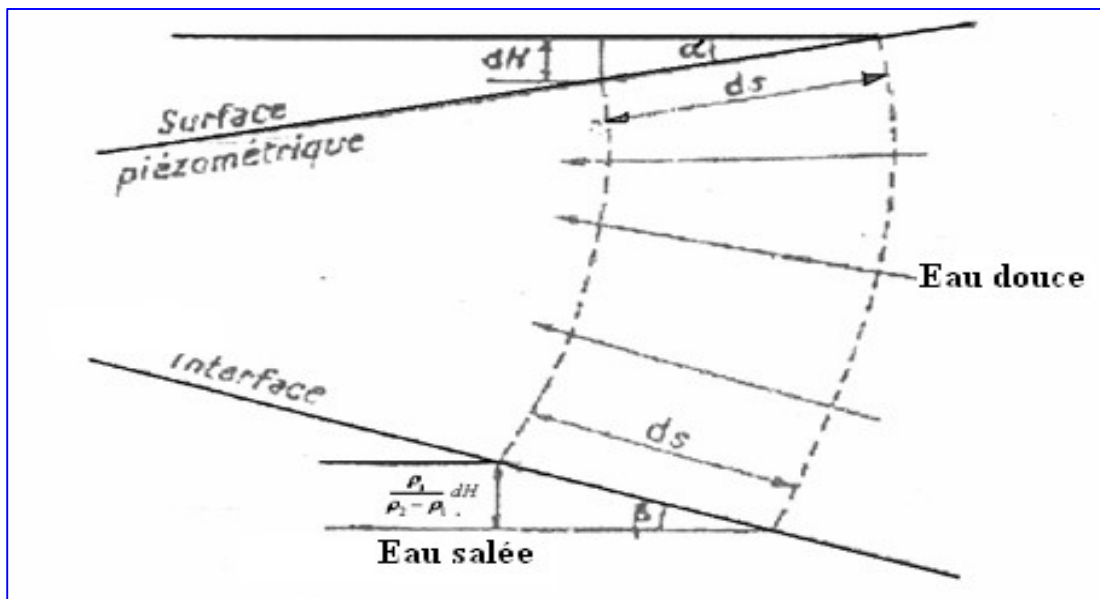
En hydrostatique $P_C = P_D$ (C et D au même niveau)

Donc la profondeur du biseau salée est :

$$H = \frac{\rho_1 \times h}{\rho_2 - \rho_1}$$

Dans la réalité, un mélange se produit par diffusion et le système n'est pas statique, car l'aquifère s'écoule et son niveau piézométrique change ainsi que la mer est soumise à l'oscillation de la marée. Les deux milieux peuvent se mélanger et forment une frange d'eau saumâtre d'épaisseur variable et l'interface réelle étant donc une courbe qui se situe plus profondément que la droite théorique de GRYDEN -Herzberg .

Cela a conduit M.K.Hubbert à chercher une solution mathématique plus appropriée, il a étudié dans une coupe transversale, deux lignes équipotentielles séparées d'une distance DS.



(Voir Fig.2.).

➤ α : Pente de la surface piézométrique de la nappe en écoulement.

D'après Darcy :

$$\sin \alpha = \frac{dH}{ds} = \frac{v}{k}$$

D'où :

v : vitesse d'écoulement (m/s).

K : coefficient de perméabilité (m/s).

La charge correspondante à l'intervalle DS, le long de l'interface eau douce/eau salée est :

$$\frac{p_2}{p_2 - p_1} \times dH$$

➤ β : angle de l'interface horizontale.

$$\sin \beta = \frac{p_2 \times v}{p_2 - p_1} \times \frac{v}{k}$$

Comme les droites convergentes vers la mer, la vitesse δ décroît dans cette direction, donc l'interface est une courbe concave. [1]

I-7- Critères de reconnaissance de l'invasion marine :

Il existe différents critères qui nous permettent d'identifier le cas d'une intrusion marine :

I-7-1- Critère géologique :

La description géologique complète (lithologie, stratigraphie) et la définition des limites géologiques de l'aquifère (mur et toit) dans la zone littorale permettent de préjuger de l'existence du biseau salé.

La connaissance de la géologie fine sur le littoral sur un profil terre-mer permet d'optimiser la gestion des aquifères côtiers d'une part et de mieux appréhender les problèmes d'intrusion saline d'autre part.

I-7-2-Critères hydrodynamique :

L'établissement d'une carte piézométrique permet de définir le sens de l'écoulement qui peut s'avérer significatif de l'intrusion marine (cas d'écoulement de la mer vers la nappe).

I-7- 3-Critères géophysique :

L'étude de la résistivité permet une meilleure approche du problème de l'invasion marine, et dans certains d'identifier la zone de contact eau douce/ eau

Pour suivre ces évolutions et les risques de salinisation, des mesures par (log de conductivité) sont effectuées sur les forages et piézomètres proches de la cote.

Comparable à la mise en œuvre pour les plans d'eau, les mesures de conductivité (bon marqueur de la salinité) sont réalisées à différentes profondeurs.

I-7- 4-Critères hydro chimique :

L'analyse hydro chimique des éléments majeurs (Na^+ , Cl^- , $\text{HCO}_3 \dots$ etc.) et l'étude de certains rapports caractéristiques comme le rapport de Todd ($r \text{Cl}^-/r\text{HCO}_3$) sont caractéristiques de l'invasion marine.

I-8-Exemple d'invasions marines à l'échelle internationale :

Un grand nombre de pays dans le monde souffrent du problème de l'invasion marine.

On peut citer quelque cas en Afrique :

La Mauritanie :

Du fait de la décroissance de la pluviométrie et de l'augmentation de la population urbaine, l'équilibre entre la nappe et la mer a été rompu et le biseau salé a évolué à l'intérieur des terres à une distance très importante (une certaine kilomètre de la cote).

Un autre exemple se rapporte à la nappe des alluvions du fleuve du Sénégal (qui est une nappe du quaternaire).L'aquifère de cette nappe est lui aussi contaminée à cause de l'avancée des eaux marines. [1]

Ce phénomène existe encore au **Maroc**, surtout au niveau de l'aquifère barremienaptien de la zone côtière d'Essaouira.

En méditerranée, ce risque a été évoqué surtout en France pour onze nappes (d'Ouest en Est).

- Nappe du Roussillon (région de Perpignan).
- Nappe de la Basse Vallée de l'Aude (région de Lézignan- Narbonne).
- Nappe de la vallée de l'Orb (région de Béziers).
- Nappe de l'Astien (région de Béziers).
- Nappe de la vallée de l'Hérault (région d'Agde).
- Nappe de Maugio -Lunel (région de Montpellier).
- Nappe de Crau (région d'Arles).

- Nappe de Gapeau (région d'Hyères).
- Nappe de Giscle et Mole (région de Grimaud).
- Nappe d'Agens (région de Saint-Raphael).
- Nappe côtière de Corse (région de Filitosa).

Toujours en France et pour la côte Atlantique, ce risque a été évoqué pour deux nappes, situées à l'entrée de l'estuaire de la Gironde (région de Soulac et de Rochefort). (Source : Tableau de bord du SDAGE Rhône Méditerranée Corse panoramique 2000, page 86.) Beaucoup d'autres pays sont menacés par ce phénomène comme le Canada, les Etats Unis ...etc. [1]

1-9- Impact de l'invasion marine :

Du fait de l'utilisation des eaux souterraines contaminées par les eaux salées, il en résulte un double impact sur la santé humaine et sur les plantes et cultures irriguées.

1-9-1- Impact sur la santé humaine :

Diverses maladies sont issues de la consommation des eaux salées :

a- L'hypertension :

L'hypertension artérielle se caractérise par une trop forte pression du sang sur les parois artérielles. Même si le rôle du sel dans l'hypertension artérielle reste controversé il n'empêche que l'hypertension touche des millions de personnes dans le monde (environ 9 millions).

b- Les maladies cardio-vasculaires :

Hormis l'hypertension artérielle qui est directement liée aux risques de maladies cardio-vasculaire, l'excès de sel aurait tendance à engendrer une hypertrophie du ventricule gauche. Or cette hypertrophie d'une partie du cœur a un rôle important dans le déclenchement de maladies cardio-vasculaires.

c- L'ostéoporose :

L'ostéoporose, qui se traduit par une fragilité des os accrue, touche $\frac{1}{4}$ des personnes âgées. En fait l'os se solidifie grâce à la présence de calcium, mais une partie de celui-ci part dans les urines. Le sel favorise cette fuite de calcium par les urines.

1-9-2- Impact sur les plantes :

*La qualité des eaux d'irrigation doit être de bonne qualité parce qu'une eau de mauvaise qualité peut avoir des incidences graves sur le développement des plantes.

*La plante peut absorber l'eau de deux façons soit par les organes aériens (cas de l'irrigation par aspersion) soit par les racines, mais la quantité d'eau nécessaire à la plante.

*La présence de sels dans le sol et l'eau d'irrigation pose trois groupes principaux de problèmes :

a- Un problème d'alimentation en eau des plantes :

- Le passage de l'eau du sol à la plante est dû en partie à la pression osmotique développée par les cellules racinaires.
- La présence ou l'accumulation des sels dans la zone racinaire diminue le potentiel osmotique des plantes
- L'augmentation de la concentration saline dans la solution du sol peut arriver à annuler la pression osmotique et entraîner pour la plante un phénomène de sécheresse physiologique fatale.

b- Un problème lié à la dispersion des argiles et à l'imperméabilisation du sol :

L'imperméabilité peut être engendrée par l'arrosage avec des eaux salées de sol bien structuré, et à teneur en sodium en regard de la teneur en ion flocculant (et notamment l'ion calcium) renseignera sur les risques de défloculation entraînée par une eau salée.

c- Un problème de rendement et de toxicité :

Les éléments chimiques qui sont importants à considérer dans l'étude de la salinité sont :

- Les cations : Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Li^+
- Les anions : Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} , NO_3^-
- Autres éléments chimiques : Si, B, Se
- Le tableau ci-dessous nous donne quelques seuils de tolérance de certaines cultures.

Cultures	Limite de salinité (mmhos / cm)	Cultures	Limite de salinité (mmhos / cm)
Avocatier	6	Vigne	12
Amandier	7	Figuier	14
Agrumes	8	Grenadier	14
Pommier	8	Olivier	14
Poirier	8	Palmier Dattier	32

Tableau I : seuil de tolérance au seuil de tolérance à la salinité des cultures arbustives (régions méditerranéenne). [1]

Conclusion :

L'intrusion marine est donc un phénomène qui se produit au niveau des aquifères côtiers. La principale cause est l'exploration irrationnelle de la nappe d'eau douce pour l'alimentation en eau potable, l'irrigation ainsi que pour l'industrie. Ce phénomène et les températures élevées.

Plusieurs critères sont utilisés pour la reconnaissance de l'intrusion marine : géologiques, hydrodynamiques, géophysique et hydro chimique.

Une étude approfondie de ce phénomène s'avère donc plus que nécessaire puisque la salinité affecte la santé de l'être humain, les plantes et les cultures irriguées.

CHAPITRE II :
ZONE D'ETUDE

Introduction :

Ce chapitre comporte deux parties :

Une première partie (étude géomorphologique) ayant pour objet d'illustrer et de définir les paramètres physiques et géomorphologiques de la région d'étude. Ces paramètres ont une influence importante sur la circulation des eaux à l'intérieur du bassin.

Et une deuxième partie (étude hydroclimatologique), où on va étudier les paramètres hydroclimatologiques qui servent comme support pour le calcul du bilan hydrologique.

II-1-Etude géomorphologique :

II-1-1- Situation géographique :

La basse vallée de l'oued Nador située à 75 Km à l'ouest d'Alger, est une plaine alluviale faisant partie d'un grand ensemble littoral appelé Algérois.

Elle est limitée à l'ouest par le massif de CHENOUA, au Sud et à l'Est par les contreforts du Sahel et au Nord par la mer méditerranéenne (**Fig.n⁰3**).

Cette vallée empreinte un sillon synclinal d'orientation NNE-SSW dont l'axe principal est occupé par l'oued Nador qui a donné son nom à la plaine alluviale.

La longueur de la plaine d'environ 40 Km et sa largeur maximale est de 3 Km, traduisant ainsi une surface d'environ 120 Km². [2]

II-1-2-Situation de la région d'étude :

Dans notre étude on s'intéresse à la partie la plus touchée par le phénomène de l'intrusion marine. Il s'agit de la partie nommée « la baie de CHENOUA » qui est en contact direct avec la mer.

Zone d'étude:

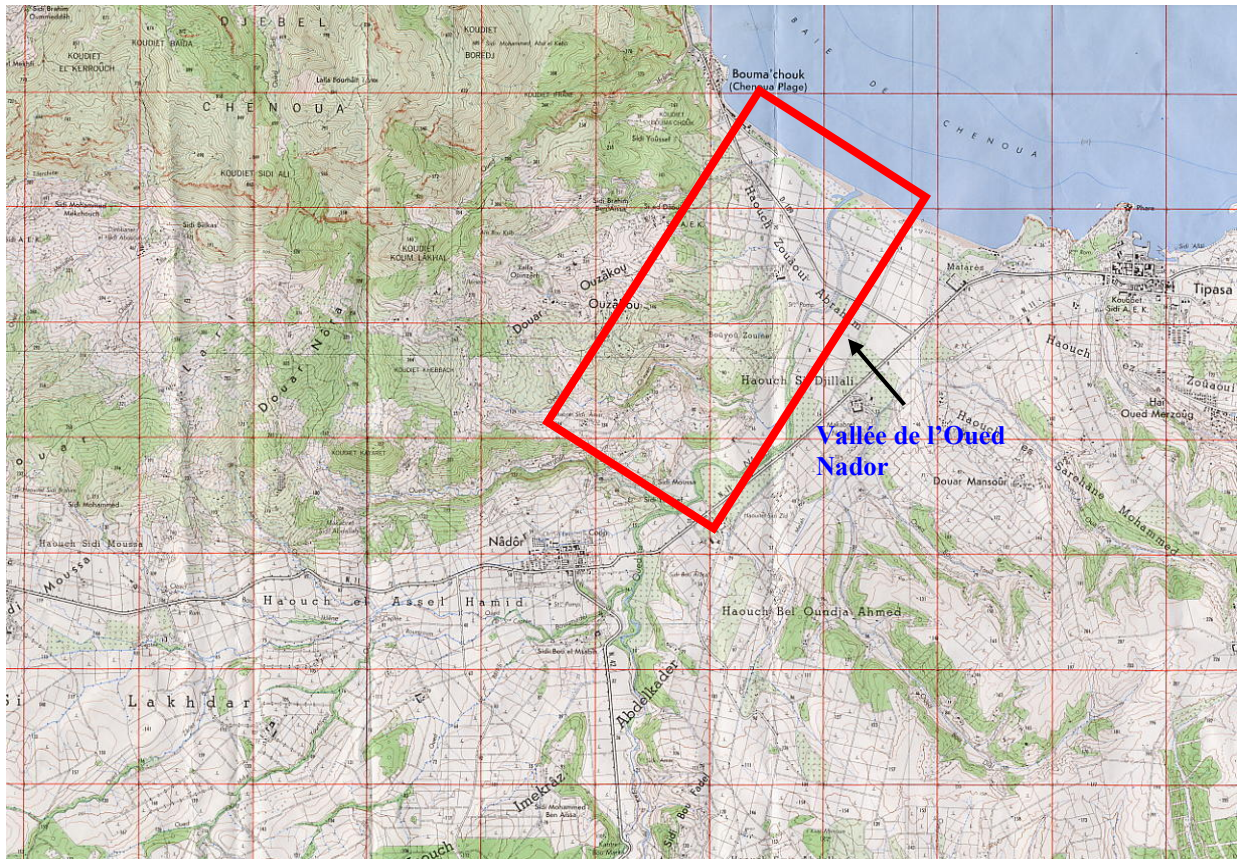


Fig.3 : Situation de la vallée de l'Oued Nador Echelle 1/50.000. [3]

II-1-3- Géomorphologie du bassin versant de l'oued Nador :

Le comportement hydrologique d'un bassin versant est intimement lié à ses paramètres Géographiques, morphométriques, et orographiques qui prédéterminent les différents paramètres du bilan (ruissellement, infiltration, précipitations, évapotranspiration).

L'assemblage de deux cartes topographiques à l'échelle du 1 /50.000 (Tipaza N°40 et Hadjout N° 62) nous a permis de délimiter le bassin versant de l'oued Nador.

Le bassin versant de l'oued Nador, appartenant au bassin du côtier algérois codé **0203** est situé entre les latitudes $36^{\circ} 24' 15''$ et $36^{\circ} 36' 5''$ Nord, et les longitudes $2^{\circ} 17' 44''$ et $2^{\circ} 33' 54''$ Est (fig. 3). [2]

Les caractéristiques du bassin versant de l'oued Nador sont mentionnées dans le tableau n°2ci-dessous :

Paramètres physiographiques	Unités	Valeurs
Altitude maximum	(m)	904
Altitude minimum	(m)	0
Surface	Km ²	636
Périmètre	Km	92
Longueur de rectangle équivalent	Km	33.98
Largeur de rectangle équivalent	Km	18.72
Indice de compacité	%	1.02
Longueur d'oued Nador	Km	8.5

Tableau 2 : Paramètres physiographiques du bassin versant de l'oued Nador

Le bassin versant de l'oued Nador occupe une superficie de 636 Km² et un périmètre de 92Km, présente une forme sensiblement allongée, puisque la valeur de l'indice de compacité de Gravelius est légèrement supérieure à 1 et la longueur du rectangle équivalent est plus grande que sa largeur, ce qui suggère à priori le ruissellement des eaux superficielles aux dépens de l'infiltration.

Les altitudes extrêmes du bassin versant sont comprises entre 0m à l'embouchure et 904m sur les versants de djebel CHENOUA. [2]

II-1-4- Réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique du bassin versant de l'oued Nador est particulièrement dense à l'amont. D'une longueur de 8.5Km. Il s'écoule entre le massif du CHENOUA au NNE et les formations astiennes des contreforts sahéliens au SSW.

Il a comme affluents principaux et secondaires :

oued Guergour, oued Ozakou, oued Hamamra, oued Barrich, oued Roumroum, oued Boukelal, oued Bou Kisnadene, oued Melah, oued Arar, oued Bourkika, oued Meurad, oued Bou Ardoun, oued Bou chenoun, oued bou Yerseme, oued Fodda, oued Bou Djabroun, oued Mereroun, oued Bou Hamou, oued Soumata, oued atallah, oued Rheraba. [2]

II-1-5- Couverture végétale :

Le couvert végétal influence les écoulements superficiels. Il joue un rôle atténuateur des crues en réduisant et en freinant le ruissellement.

Par ailleurs, la végétation agit sur la qualité physique des eaux du cours d'eau qui seront

moins chargées en matière solide.

Dans notre région d'étude, la couverture végétale est dominée par des cultures annuelles. On y trouve des cultures maraichères, des agrumes et des fourrages. [2]

II-2- Etude hydroclimatologique :

Le climat se définit comme étant l'ensemble des phénomènes météorologique qui caractérisent l'état de l'atmosphère et de son évolution en un lieu donné.

Cette partie a pour but l'analyse des principaux paramètres climatologiques (précipitations, températures, évaporations....) intervenant dans l'établissement du bilan hydrologique. [2]

II-2-1-Cycle de l'eau :

Le cycle de l'eau se définit comme étant la circulation générale de l'eau, en circuit fermé et avec changements d'état, entre les réservoirs de l'hydrosphère – océan, atmosphère , surface et sous-sol des terres émergées – mettant en jeu les phénomènes d'évaporation, de convection, de condensation et précipitation, d'écoulement et d'infiltration, ainsi que les variations et renouvellements des stocks dans ces réservoirs. Le cycle de l'eau, mu par l'énergie solaire, joue un rôle fondamental sur la redistribution de celle-ci à la surface de la terre.

Le cycle de l'eau est d'abord initié par la distillation de l'eau de mer, principalement importante dans les régions intertropicales du globe. À ce niveau, près du quart de la chaleur fournie par jour par le soleil est stockée dans les 3 premiers mètres des océans. Cette énergie va permettre l'évaporation de l'eau. La vapeur d'eau, en se condensant dans les nuages, restitue une partie de cette énergie laquelle sert au réchauffement de l'atmosphère. Le réchauffement de l'atmosphère déclenche la circulation atmosphérique qui va entraîner les stratus et les stratocumulus néoformés. L'eau stockée dans les nuages sous forme de vapeur, d'eau liquide ou de cristaux de glace précipite, sous l'effet de la gravité, sous forme de pluie, de neige ou de grêle, d'abord et principalement sur les océans et pour partie sur les continents. Les précipitations, quand elles arrivent sur les sols, ruissellent ou s'infiltrent, sont partiellement évaporées ou évapotranspirées. Au final, l'eau retourne à l'océan ou à l'atmosphère. [3]

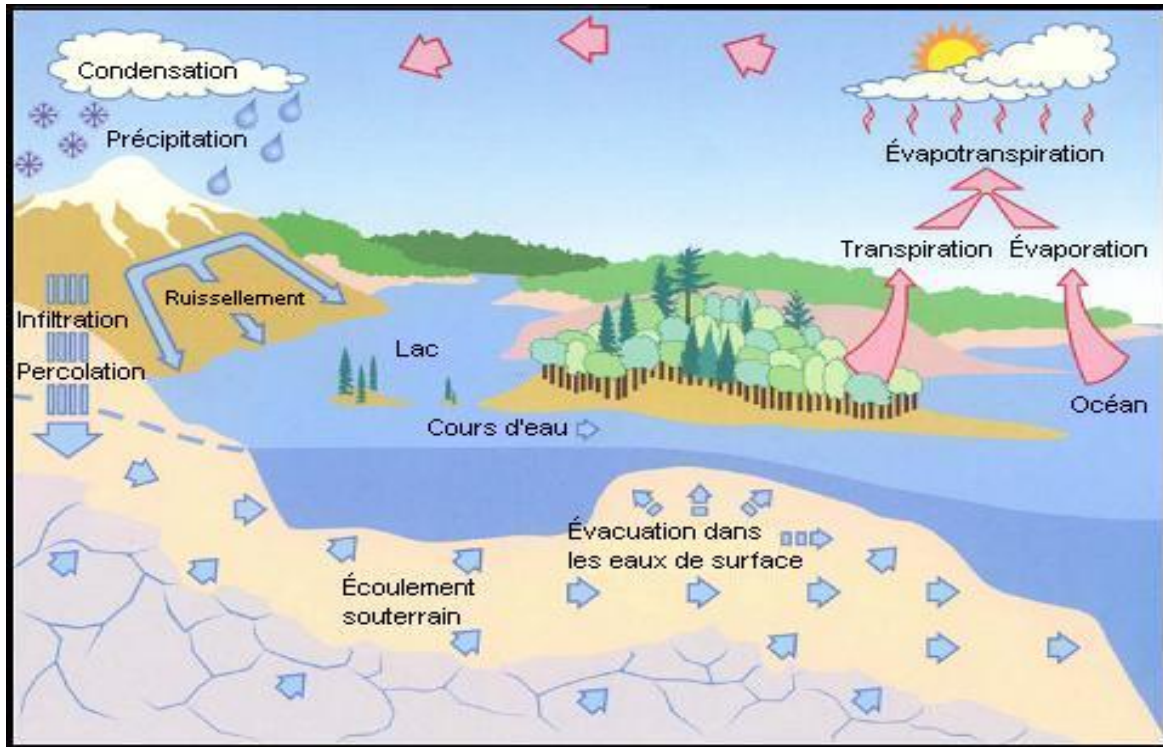


Figure 4. Le cycle de l'eau dans la nature.

II-2-2-Pluviométrie :

II-2-2-1- Les précipitations :

La pluviométrie assure la recharge des nappes à partir de l'infiltration efficace par gravité des eaux de pluie en traversant le sol et le sous-sol. Pour l'étude des précipitations mensuelles et annuelles, ils ont sélectionné trois stations pluviométriques les plus proches du bassin versant de l'oued Nador (Fig.6), et dont les différentes caractéristiques sont regroupées dans le tableau n° 3.

Stations pluviométriques	Code (ANRH)	Coordonnées		Altitude	Période de fonctionnement
		X	Y		
Meurad barrage	020306	473.8	349.9	300	1900/1901-2003/2004
Djebabra	020307	476.25	343.9	440	1969/1970-2003/2004
Hadjout	020325	475.85	358.85	59	1972/1973-2003/2004

Tableau N°3 : Caractéristiques des stations pluviométriques utilisées.

II-2-2-2- Les précipitations mensuelles :

Pour caractériser le régime des pluies en une station pluviométrique, il est de - d'établir la courbe des hauteurs de pluies moyennes mensuelles pour chacun des mois de l'année.

Les hauteurs moyennes des précipitations mensuelles enregistrées au niveau du bassin - versant de l'oued Nador durant la période (2003-2004), pour les stations pluviométriques de Meurad barrage, Djebabra et Hadjout sont reportées dans le **tableau n° 4**.

Station	Code	Pluviométrie (mm)													
		Sep	Oct	Nov	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juill	Août	année	moyenne annuelle
Meurad barrage	020306	18.5	29.5	115.8	95	156.9	115.9	9	-	39.4	1.4	0.3	0	581.7	603.282
Djebabra	020307	12	13.5	96	175	205.6	85.2	2.50	115.7	45.1	0	0	0	750.6	649.5
Hadjout	020325	3.2	12.7	46.1	22.8	159.3	121.8	6.20	46.5	5.3	0	0	0	423.9	-

Tableau N°4 : Précipitations totales mensuelles (2003-2004).

Le tableau ci-dessus montre que les précipitations sont réparties suivant deux saisons distinctes, à savoir :

- Une saison pluvieuse et humide s'étalant du mois de Novembre en Mai.
- Une saison sèche qui s'étend du mois de Juin en octobre.

Par ailleurs, la comparaison entre les précipitations annuelles correspondant à l'année hydrologique 2003–2004 et les précipitations moyennes annuelles déterminées sur une série de 24 ans montre :

- Pour la station de
- barrage, l'année hydrologique 2003 – 2004 présente un excédent de précipitations de l'ordre de 71.3mm.
- Pour la station de Djebabra, l'année hydrologique 2003 – 2004 présente un déficit de précipitations de l'ordre de 46.3mm.

Zone d'étude:

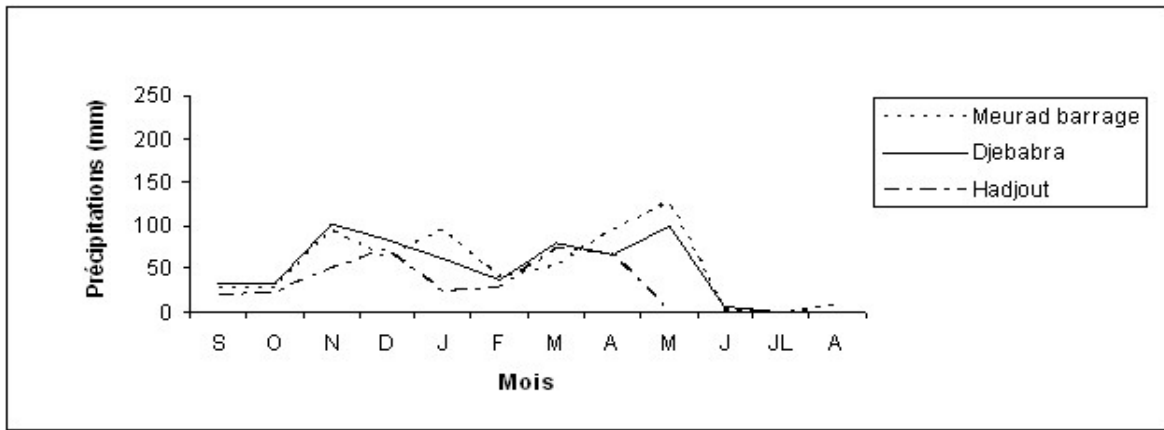
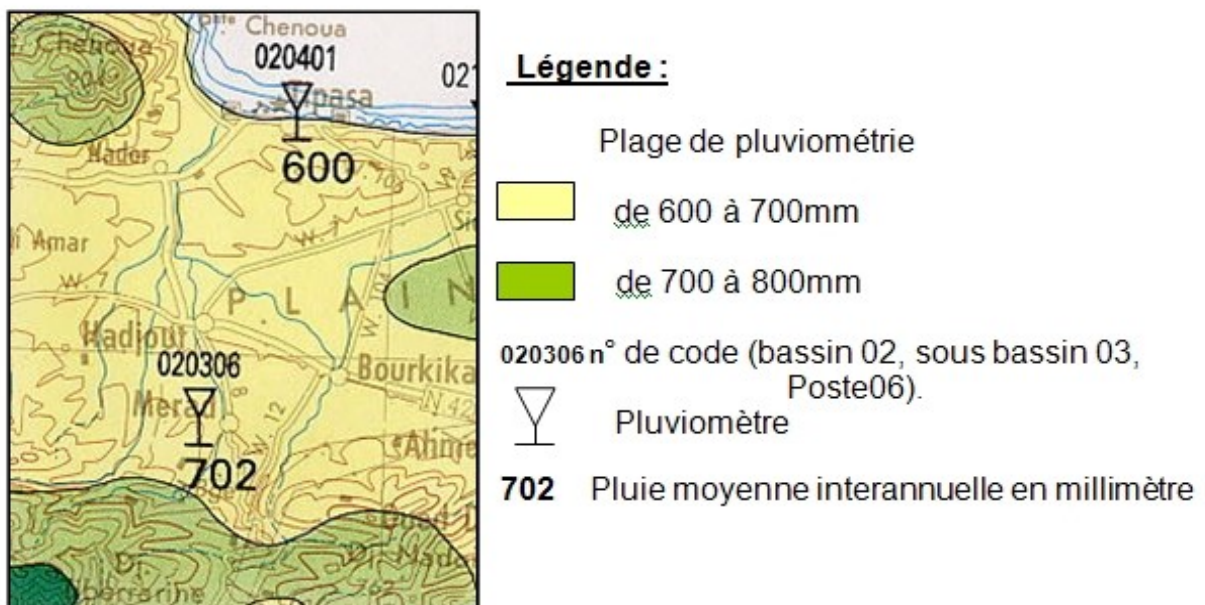


Fig.5. Précipitations mensuelles (mm)

Le graphique de la figure n°5, montre que l'évolution saisonnière des précipitations est presque similaire dans toutes les stations. Toutefois, nous constatons que le mois le plus pluvieux correspond au mois de mai pour la station de Meurad barrage, au mois de Novembre pour la station de Djebabra, et au mois d'avril pour celle de Hadjout.

En revanche, le mois le plus sec correspond au mois d'Août pour les stations de Djebabra et Hadjout, et au mois de Juillet pour celle de Meurad barrage.

La carte pluviométrique de l'Algérie du Nord (fig. n° 6), montre que dans notre région d'étude, la valeur de la pluie moyenne interannuelle dans notre région d'étude varie de 600 à 700mm. Par conséquent, l'année hydrologique 2003-2004 avec une valeur de précipitations moyennes annuelles de 607.2mm n'est pas éloignée de cette moyenne.



**Fig. n° 6 : Extrait de la carte pluviométrique de l'Algérie du Nord
Echelle : 1/500.000.[3]**

II-3-Détermination du bilan hydrologique :

II-3-1-Introduction :

L'exploitation et la conservation des nappes aquifères sont intimement liées aux paramètres du bilan hydrologique. De ce fait, nous tenons à évaluer les différents paramètres hydrologiques afin de quantifier le bilan de la nappe de l'oued Nador, qui nous permettra d'apprécier les apports et les sorties de cette nappe.

II-3-2- Etude de l'évapotranspiration :

L'évapotranspiration représente la restitution de l'eau sous forme de vapeur d'eau de la surface terrestre à l'atmosphère, et résulte de deux phénomènes dont le premier est l'évaporation de nature physique, et le second est la transpiration de nature biologique.

On distingue l'évapotranspiration potentielle (ETP) et l'évapotranspiration réelle (ETR).

Différentes formules empiriques ont été proposées pour le calcul de l'évapotranspiration, les plus utilisées étant celles de THORNTWAITE, de TURC et de COUTAGNE.

II-3-2-1- Evapotranspiration réelle :

L'évapotranspiration réelle correspond à la quantité d'eau effectivement évaporée et transpirée par le sol et la végétation. Elle peut être déterminée à l'aide des formules de Turc et de Coutagne.

Pour le calcul de l'ETR à l'aide des différentes méthodes nous utilisons les données de températures relatives à la station de barrage Boukourdane (1989-2004), du fait de l'inexistence de d'autres stations complètes au niveau du bassin versant de l'oued Nador.

- **Formule de Turc :**

Cette formule est fonction de la température moyenne annuelle et de la hauteur moyenne des précipitations annuelles, elle s'écrit :

$$E.T.R_{(mm)} = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Avec :

P = Précipitations moyennes annuelles en mm relative à la période 1980 -2004.

L = Pouvoir évaporant de l'atmosphère : $L = 300+25T+0.05T^3$

T = Température moyenne annuelle en °C relative à la période 1989-2004.

On a :

$$P = 607.2\text{mm.}$$

$$T = 18.25^\circ\text{C.}$$

$$L = 1060.15.$$

Selon cette méthode, l'ETR calculé à l'échelle de tout le bassin versant de l'oued Nador est égale à 552mm, représentant ainsi 90.91% des précipitations.

• **Formule de Coutagne :**

Cette formule est fondée sur les mêmes paramètres que celle de TURC, elle est applicable pour des précipitations comprises entre $1/8 \lambda$ et $1/2\lambda$.

La formule s'écrit :

$$E.T.R = P - \lambda P^2 \quad \text{et} \quad \lambda = \frac{1}{0,8 + 0,14T} = 0,30$$

P : Précipitation moyennes annuelles (mm)

T : Température moyenne annuelle ($^\circ\text{C}$)

Dans le cas de notre région :

$$0,416 < P = 0,6072 < 1,66$$

Donc l'E.T.R obtenue par cette méthode est égale à 497mm, soit 81.85% des précipitations.

Les méthodes de Turc et de Coutagne utilisées pour le calcul de l'ETR, conduisent à des résultats assez comparables. Ainsi, nous retiendrons la moyenne arithmétique de l'ETR obtenue par ces méthodes, soit 524.5mm.

II-3-3- L'infiltration :

L'infiltration a été estimée à l'aide de la courbe établie par SOGETHA et SOGREAH (fig. n° 7). La valeur obtenue est de 12mm, soit 1.98% des précipitations.

II-3-4- Essai de bilan hydrologique :

Le bilan hydrologique est déterminé à l'aide de la relation suivante :

$$P = ETR + R + I \pm \Delta S$$

Avec:

P : Précipitations moyennes annuelles en mm pour la période 1980-2004.

ETR : Evapotranspiration réelle moyenne en mm

R : Ruissellement moyen annuel en mm

I : Infiltration moyenne annuelle en mm

ΔS : Variation des réserves en eau en mm

Zone d'étude:

En remplaçant tous les termes de l'équation du bilan hydrologique, on peut déterminer le ruissellement :

$$R = P - ETR - I \quad \text{avec } \Delta S = 0$$

Avec :

$$P = 607.2\text{mm.}$$

$$ETR = 524.5\text{mm.}$$

$$I = 12\text{mm.}$$

Le ruissellement estimé est de 70.7mm, ce qui correspond à 11.64% des précipitations. L'essai du bilan hydrologique de la nappe de l'oued Nador, montre que les précipitations qui tombent à l'échelle du bassin versant retournent en majeure partie à l'atmosphère sous forme d'évapotranspiration, ou ruisselle en surface. Cependant, la lame d'eau infiltrée dans la nappe ne représente que 1.98% des précipitations (voir fig. n°7).

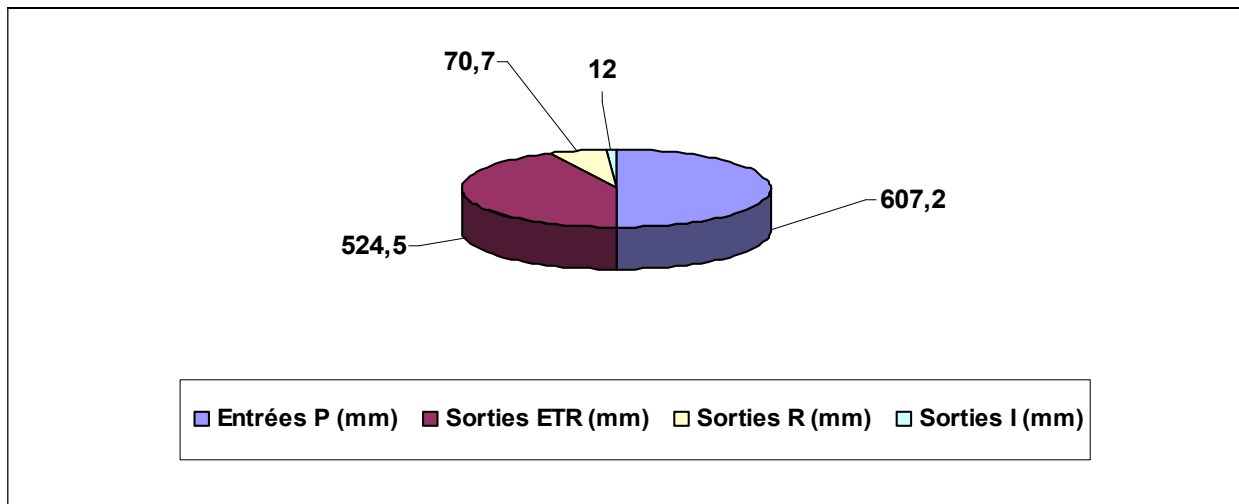


Fig.7. Principaux éléments du bilan hydrologique de la nappe alluviale de l'oued Nador.

Il est possible d'estimer le volume infiltré à l'échelle du bassin versant en utilisant la relation suivante :

$$VI = A \times I = 7632 \times 10^3 \text{ m}^3 = 763.2\text{Hm}^3$$

Avec:

VI : volume d'eau infiltré

A : superficie du bassin versant

I : la lame d'eau infiltrée

Le volume infiltré à l'échelle de la nappe est le suivant :

$$VI = 1.44 \times 10^6 \text{ m}^3 = 1.44 \text{ Hm}^3$$

Sachant que la superficie de la plaine est de 120Km²

Conclusion :

La plaine de l'oued Nador limite la Mitidja ouest suivant un axe orienté NNE-SSW. Il s'agit d'une plaine à remplissage plio- quaternaire. Bien qu'elle soit à proximité de la mer, les résultats obtenus reflètent un climat méditerranéen avec des hivers humides et pluvieux et des étés relativement chauds et secs.

L'aquifère utile est constitué essentiellement de graviers, de sables et d'une série calcarogréseuse d'épaisseur maximum de 63 m.

Les meilleures valeurs de la transmissivité s'observent à l'aval de la plaine, ceci est dû à la perméabilité des alluvions grossières et leur forte épaisseur, par contre en amont la perméabilité diminue à cause de la présence d'éléments plus fins (argiles).

La nappe a enregistré un rabattement du niveau statique durant la campagne d'Octobre 2003 avec une baisse variant de 0.1m à 7m par rapport à la campagne de Juillet 2003.

Les fluctuations de la nappe durant l'année 2004, révèle une baisse du niveau statique lors de la campagne des basses eaux variant de 0.2 à 2.50m.

Pour les années 2009 et 2010 Le niveau de la nappe a marqué une remontée moyenne de **1m** entre les basses eaux 2009 et les hautes eaux 2010.

La variation interannuelle moyenne de la nappe marque une remontée de 1 m, allant de 8.9 à 7.9m respectivement entre les années hydrologiques 2004 et 2009.

Chapitre III :
CONTEXTE GEOLOGIQUE
ET HYDROGEOLOGIQUE

Introduction :

Un aquifère est défini par trois critères : Géologique, hydrodynamique et hydrochimique. L'alimentation, le stockage et l'écoulement de l'eau souterraine sont imposés, en premier lieu, par la géologie, base fondamentale de l'hydrogéologie. La géologie identifie, par des études stratigraphiques et structurales, des formations lithostratigraphiques.

Dans ce chapitre, nous allons donner un aperçu géologique sur la région de oued Nador, en se basant sur la description lithostratigraphique et l'évolution paléogéographique et tectonique.

III-1-Contexte géologique :

Sur le plan géologique la région étudiée fait partie du domaine tellien constituant la ride du Sahel. D'un point de

La plaine de l'oued Nador constitue la limite ouest de la Mitidja. Il s'agit d'un synclinal orienté globalement NNE-SSW à remplissage plio-quadernaire, délimité à l'Ouest par des terrains d'âge miocène (faciès argileux, roches éruptives), à l'Est et au Sud par des affleurements calcaires-gréseux astiens.

Du point de vue lithostratigraphique, les affleurements rencontrés appartiennent à la série pliocène (Plaisancien, Astien) et à la série quadernaire (fig. n° 8).

III-1-1-Description lithostratigraphique du secteur d'étude :

Les formations pliocènes occupent essentiellement les parties Est et Sud de la plaine. Les affleurements du Plaisancien se rencontrent uniquement dans le Sahel.

a- Le Plaisancien :

Il est composé principalement d'une série épaisse et uniforme de marnes grises et blanches qui présentent localement des bancs gréseux faiblement glauconieux à la base, avec des intercalations de lentilles gréseuses vers le sommet. Son épaisseur est voisine de 1000 m.

Au-dessous se trouve le conglomérat qui marquerait la limite entre le Miocène et le Pliocène et qui appartiendrait soit à la fin du Miocène soit au début du Pliocène. [4]

b- l'Astien :

Il est bien développé sur les bordures de la plaine et est limité à sa base par un niveau à glauconie souvent fossilifère et surmonté d'une molasse astienne. Le niveau à glauconie presque toujours présent dans le Sahel d'Alger a une épaisseur qui varie de 10 cm à 10 m.

Au-dessus du niveau à glauconie, on rencontre à la base de l'Astien les marnes gréseuses fossilifères d'une quinzaine de mètres d'épaisseur, ensuite des bancs gréseux où apparaissent des lits de conglomérats à petits galets provenant de l'Atlas, ces bancs sont accompagnés

d'intercalations de grès coquilliers à ciment calcaire. Vers le haut de la série, on trouve des grès sableux et calcaires coquilliers d'une quarantaine de mètres d'épaisseurs. [4]

C-Quaternaire :

Les formations visibles au Nord et au centre de la plaine pourraient se placer soit à la fin du cycle pliocène (Astien supérieur), soit dans le Quaternaire ancien (Calabrien). Ces dépôts Marins d'une trentaine de mètres d'épaisseur reposent en discordance sur l'Astien grésocalcaire et sont formés de sables mêlés de galets, de conglomérats et de micro-conglomérats à ciment calcaire. Ils sont parfois surmontés par des dépôts alluvionnaires dits de Maison-Carrée d'âge probablement villafranchien.

Le Villafranchien est connu sous le nom de formations de marnes d'El-Harrach, c'est une séquence relativement uniforme d'argiles jaunâtres ou grises par endroits avec quelques cailloutis et lentilles de graviers. [4]

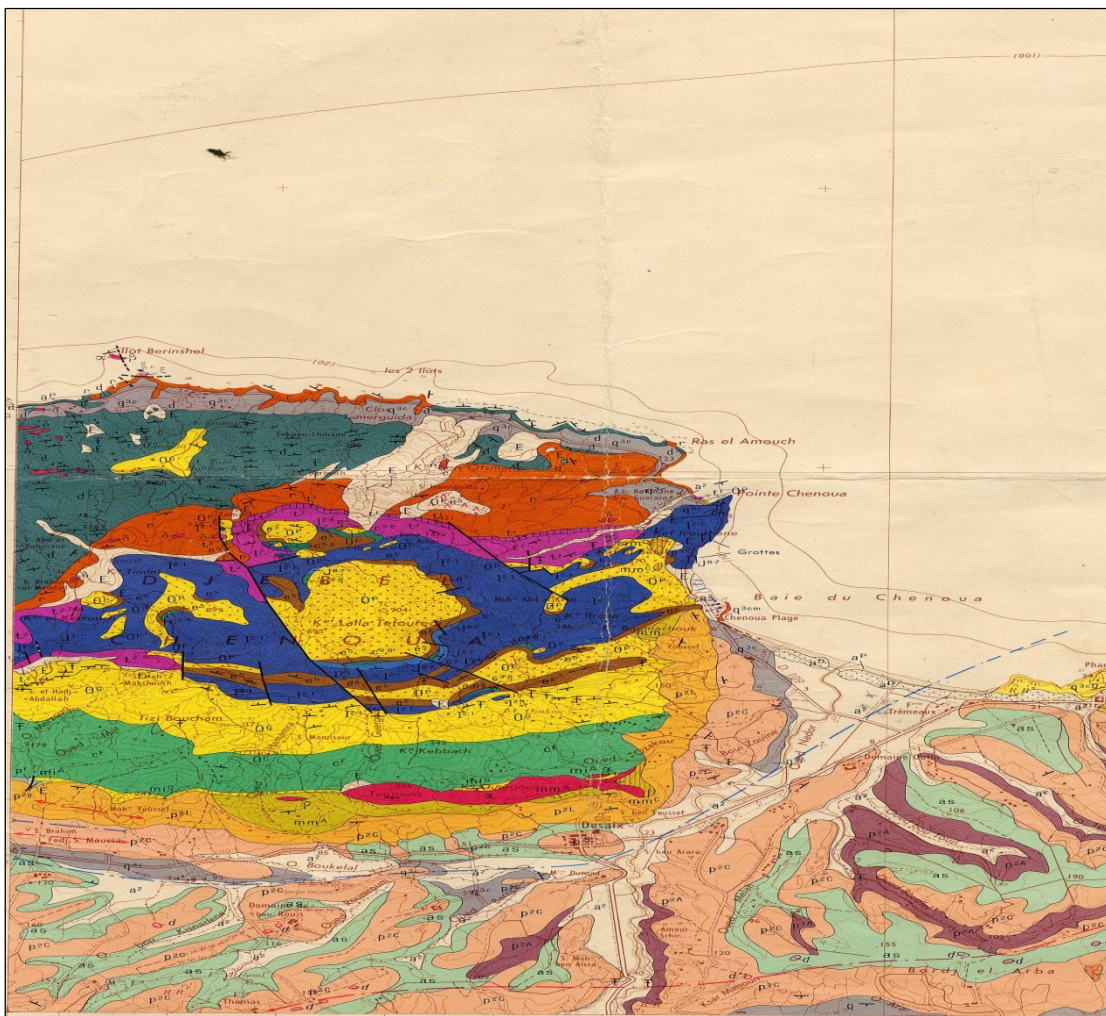


Fig.8. Carte géologique de la région de Tipaza et monts CHENOUA. [4]

III-2-Contexte hydrogéologique :

INTRODUCTION :

Le principal objectif de l'étude hydrogéologique, est d'identifier et de décrire les unités géologiques ayant une importance du point de vue ressources en eau de la plaine alluviale de l'oued Nador, afin d'identifier le problème de l'intrusion.

III-2-1- Quelques définitions et généralité:

III-2-1-1- Classification des aquifères :

L'aquifère est un système dynamique caractérisé par sa configuration, sa structure, les fonctions de son réservoir et son comportement. On distingue quatre types d'aquifère :

a-Aquifère à nappe libre :

La base de l'aquifère (le substratum) est imperméable. La limite supérieure est hydrodynamique : la surface piézométrique peut s'élever ou s'abaisser librement dans la formation hydrogéologique perméable formant le réservoir(Fig.9.1).

b-Aquifère à nappe captive :

Les eaux souterraines sont emprisonnées entre deux formations imperméables fixes : le substratum et le toit. L'aquifère subit une pression, dirigée de haut en bas, due au poids de la colonne de terrain. Cette pression est équilibrée par la pression de couche à l'intérieur de l'aquifère(Fig.9.2).

C-Aquifère à nappe suspendue :

Il existe encore un cas particulier de nappe qui se présente quand une formation imperméable apparaît entre la zone saturée et la surface du sol, donnant origine à la rétention des eaux des infiltrations au- dessus de cette formation(Fig.9.3).

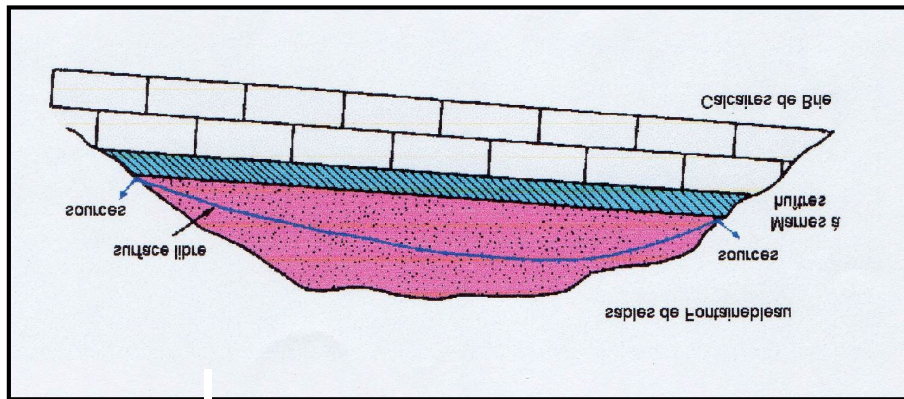


Figure 9.1 : Aquifère à nappe libre.

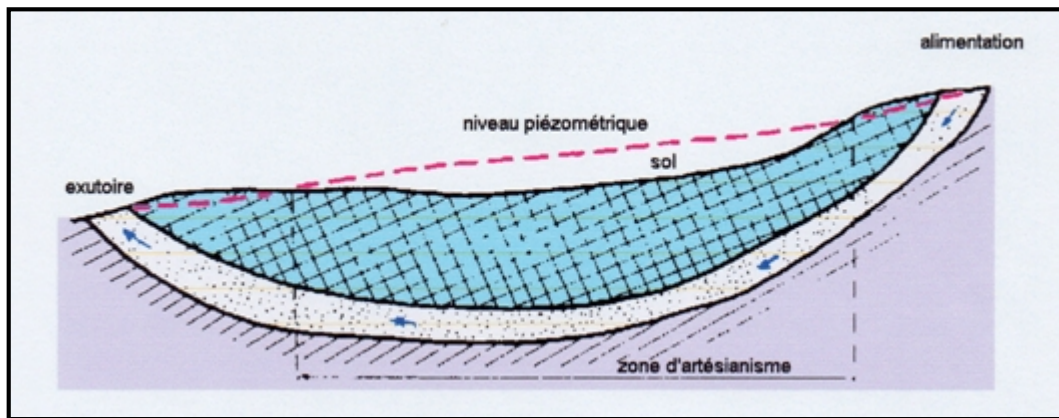


Figure 9.2 : Aquifère à nappe captive.

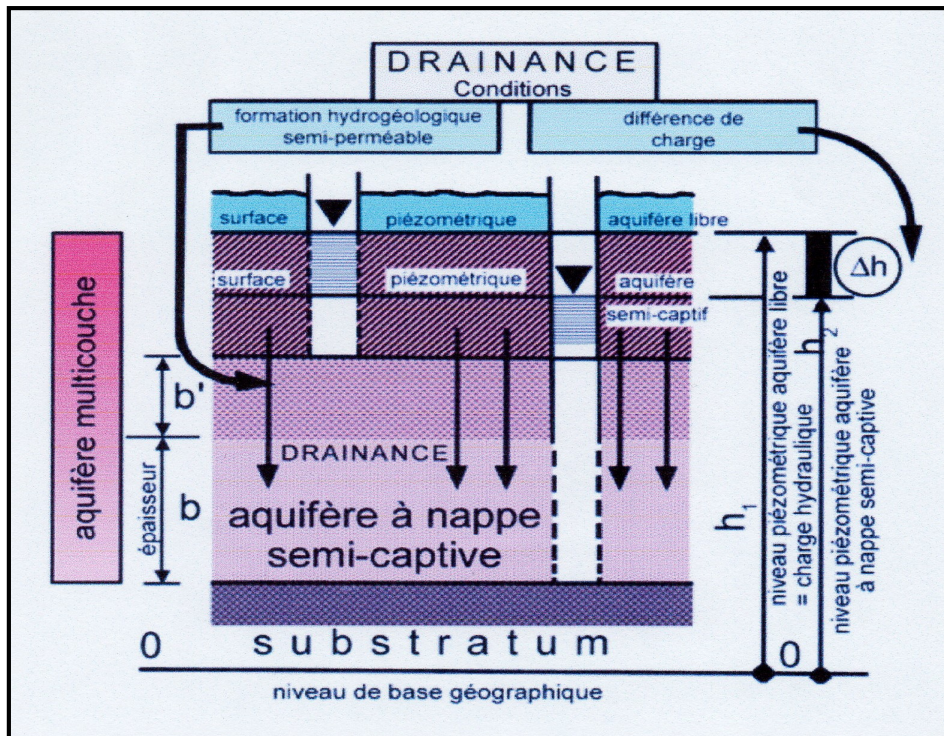


Figure 9.3 : Aquifère à nappe semi-captive.

III-2-2- Coefficient de perméabilité, transmissivité et diffusivité :

III-2-2-1- Définition de la perméabilité, coefficient de perméabilité et perméabilité intrinsèque :

a- La perméabilité :

La perméabilité est l'aptitude d'un réservoir à se laisser traverser par l'eau, sous l'effet d'un gradient hydraulique. Elle exprime la résistance du milieu à l'écoulement de l'eau qui le traverse. Elle est mesurée par deux paramètres : le coefficient de perméabilité et la perméabilité intrinsèque. [1]

b- Le coefficient de perméabilité :

Le coefficient de perméabilité, noté K , est défini par la loi de Darcy. C'est le volume d'eau gravitaire en m^3 traversant en une unité de temps (une seconde) sous l'effet d'une unité de gradient hydraulique, une unité de section en m^2 orthogonale à la direction de l'écoulement, dans les conditions de validité de la loi de Darcy (à la température de $20^\circ C$). Il a la dimension d'une vitesse et s'exprime en m/s . Le coefficient de perméabilité dépend à la fois des caractéristiques du réservoir (granulométrie, porosité efficace) et des caractéristique du fluide (viscosité, donc température, et masse volumique). Il est grossièrement proportionnel au carré du diamètre des grains pour une nappe libre. Il varie de $10^{-9} m/s$ à $10^{-1} m/s$. Un matériau est considéré comme imperméable au-delà de $10^{-9} m/s$. [1]

c- La perméabilité intrinsèque :

La perméabilité intrinsèque, notée k_I , est le volume du liquide en m^3 d'unité de viscosité cinématique (une centipoise) traversant en une unité de temps, sous l'effet d'une unité de gradient hydraulique, une unité de section (un m^2) orthogonale à la direction de l'écoulement. Elle s'exprime en m^2 ou en darcy. Elle est parfois appelée perméabilité géométrique. Le darcy est la perméabilité d'un milieu débitant $1 cm^3/s$ à travers une surface de $1 cm^2$ sous un gradient hydraulique, normal à cette surface, de 1 atmosphère par centimètre. [1]

III-2-2-2- La transmissivité :

La transmissivité, notée **T**, caractérise la productivité d'un captage. C'est le produit du coefficient de perméabilité **K** par l'épaisseur de la zone saturée **b** : $T \text{ (m}^2\text{/s)} = K \text{ (m/s)} * b \text{ (m)}$. [1]

III-2-2-3- La diffusivité :

La diffusivité, notée **T/S**, régit la propagation d'influences dans l'aquifère. C'est le rapport de la transmissivité **T** sur le coefficient d'emmagasinement **S**. elle s'exprime en $\text{m}^2\text{/s}$. [1]

III-2-3- Les paramètres physico-chimiques des eaux souterraines :

Les eaux souterraines ont des propriétés étroitement liées à leur origine géologique, c'est-à-dire déterminées par la nature et structure des terrains. Les paramètres physico-chimiques sont des paramètres simples à mesurer. On les mesure généralement sur le terrain. [1]

-La température:

La mesure de la température sur le terrain permet d'ajuster les valeurs de conductivités, d'apprécier l'origine plus ou moins profonde de l'eau et de calculer les équilibres de dissolution. Sa mesure est simple (thermomètre à Hg ou thermocouple). [1]

- La conductivité électrique :

L'eau peut être considérée comme une solution électrolytique, car presque tous ses constituants dissous, majeurs et mineurs, sont présents sous forme Ionique. Grâce à la présence de ces ions, l'eau devient susceptible de se laisser traverser par un courant électrique. Cette caractéristique s'appelle la conductivité électrique **C**. On la mesure à l'aide d'une cellule portable légère sur le terrain. L'eau est retenue entre deux électrodes d'un cm^2 , distantes d'un cm. On l'exprime en micro-ohm.cm^{-1} ou $\text{micro-Siemens.cm}^{-1}$ [$-\text{S cm}^{-1}$] à une température généralement de 20°C , parfois de 25°C .

-Le pH :

$$\text{PH} = -\log ([\text{H}^+])$$

On utilise la valeur du **PH** pour établir l'état des équilibres de dissolution et ainsi connaître le caractère agressif ou incrustant de l'eau (particulièrement par les carbonates). Comme la variation de la pression des gaz (CO_2 , O_2) modifie le **PH**, il est important de le mesurer directement lors de la prise d'échantillon. Sa mesure est faite à l'aide d'une cellule légère, en verre. [1]

- L'oxygène dissous :

On mesure les teneurs en oxygène dissous afin de reconnaître rapidement la qualité d'une eau qui est liée à une bonne oxygénation. On effectue sur le terrain cette mesure en prenant l'échantillon en immersion. La mesure se fait également à l'aide d'une petite cellule (l'O₂ traverse une membrane poreuse avant de réagir avec un électrolyte et d'être mesurée par un voltage).

III-2-4- L'hydrogéologie de la vallée de l'oued Nador :

Sur la retombée NW de l'anticlinal du Sahel, les oueds ont profondément entaillé la molasse et mis à jour, dans leur cours moyen, les argiles plaisanciennes. Sur ce substratum imperméable, la molasse débute par des sables fins à galets. Enfin, des formations consolidées, calcaires et grès, appartenant d'après Ayme au Calabrien, couronnent les crêtes le long de l'axe anticlinal ainsi qu'à l'approche du synclinal de l'oued Nador dans lequel elles constituent les principaux horizons aquifères des forages alimentant l'agglomération de Tipaza. [2]

III-2-4-1-Différents niveaux aquifères :

L'étude stratigraphique et l'étude géophysique par sondages électriques (CGG, 1967) ont permis de définir les niveaux aquifères. En fait, nous distinguons un aquifère sans discontinuité hydraulique, regroupant [2] :

- Une partie de la base du Quaternaire généralement constitué de graviers et de galets.
- Une série calcaro-gréseuse formant la molasse astienne.

Ces grès ou calcaires gréseux dont l'épaisseur peut varier de 20 à 40 m reposent sur un substratum de très faible perméabilité (argiles-silteuses ou silt-argileux) ou quasi-imperméable (marnes bleues du Plaisancien).

III-2-4-2- Caractéristiques hydrogéologiques de la nappe du Plio-Quaternaire :

C'est une petite nappe alluviale qui va de la mer jusqu'au village de Nador avec des grès-calcaires et des marnes gréseuses de l'Astien à la base et des argiles graveleuses, graviers et sables du Quaternaire au sommet.

Les transmissivité de la nappe varient de 10^{-2} à 10^{-3} m²/s. Les meilleures valeurs s'observent à l'aval de la plaine où l'aquifère présente une meilleure perméabilité du essentiellement à la présence de niveaux constitués d'alluvions grossières, contrairement à la partie amont de la plaine où la perméabilité diminue en raison de la présence d'éléments plus fins (argiles). [2]

CHAPITRE IV :
DIFFERENTES APPROCHES DU
PHENOMENE :
HYDRODYNAMIQUE,
HYDROCHIMIQUE, GEOPHYSIQUE
ET ISOTOOPIQUE

A-Approche hydrodynamique de l'étude de l'interface eau douce/eau salée:

Introduction :

IV-Réseau piézométrique de la plaine alluviale de l'oued Nador :

IV-1-Description du réseau de surveillance :

Un réseau de mesure piézométrique était sélectionné par l'Agence Nationale Des Ressources Hydriques (ANRH) depuis 1993 mais qui n'a pas fonctionné continuellement notamment entre 1994 et 2003. [6].

Ce réseau était composé au départ de 50 points de mesures (38 puits, 06 forages et 04 sources et 02 points où la prise de mesure est effectuée à partir d'un repère sur le pont), ce réseau est caractérisé par :

- Une bonne répartition spatiale des points sur toute l'étendue de la plaine.
- Possibilité de mesure et de prélèvement.

Lors de la campagne du mois de Juillet 1994, les mesures du NS et les prélèvements ont été effectués dans 21 points. Au cours de la campagne de mesure de Juillet 2003, la plupart des points d'eau étaient secs, fermés ou remblayés.

Ainsi, lors de la campagne des hautes eaux (Avril 2004), ce réseau compte 19 points de mesure (17 puits, 01 forage et 01 source) (**Fig. n° 10**).



Fig.10. Carte de situation du réseau de surveillance de la nappe [6]

De la vallée de l'Oued Nador.

IV-2-Piézométrie de la nappe :

Quand on examine l'historique de la piézométrie de la nappe de la plaine de l'Oued Nador entre les années 80 et 90 on est frappé par le changement dans les directions d'écoulement. En effet avant 1980 l'écoulement naturelle de la nappe se faisait en gros du sud vers le nord (vers la mer), au milieu des années 90, la multiplication des forages et donc de l'exploitation de la nappe a provoqué une inversion de ces axes et a entraîné des dépressions piézométriques de côtes négatives, c'est à dire inférieur au niveau de la mer. La principale dépression a été relevé autour du groupe de forage F4, F6 et F12 et elle est liée directement à la surexploitation de l'aquifère. Cette situation avait entraîné un appel d'eau de mer au fur et à mesure que l'exploitation augmentée et donc une détérioration progressive de la qualité chimique des eaux, certains forages sont devenus totalement contaminé, devant cet état de fait ces forages ont été abandonné et sont à l'arrêt (**Tableau.5**). [Fig17, 18 et 19]

Intrusion marine dans la nappe de l'oued Nador

N° BIRH	COORDONNEES		Z/RR (m)	NATURE POINT
	X	Y		
W040-199	470,37	362,47	80,291	PUITS
W040-197	470,55	362,75	71,168	PUITS
W040-198	470,87	362,6	61,975	PUITS
W040-200	471,45	362,05	80,353	PUITS
W040-191	471,95	363,5	94,09	PUITS
W040-149	472,97	362,62	33,59	PUITS
W040-185	473,78	364,3	48,09	PUITS
W040-122B	476,77	365,36	NN	PUITS
W040-195	472,65	363	35,542	PUITS
W040-184	473,6	364	68,9	PUITS
W040-183	473,22	364,37	108,63	PUITS
W040-193	472,9	363,5	30,943	PUITS
W040-154	474,28	364,27	17,908	FORAGE
W040-201	473,1	362,97	25,882	PUITS
W040-143	474,15	363,47	19,766	PUITS
W040-146	473,67	362,47	74,1	PUITS
W040-147	473,57	362,42	49,56	PUITS
W040-131	474,9	363,75	31,499	PUITS
W040-138	475,57	363,75	35,51	PUITS
W040-136B	475,27	363,87	NN	PUITS
W040-133	474,65	363,3	41,938	PUITS
W040-142	475,6	364,57	14,97	PUITS
W040-124	475,86	364,77	14,49	PUITS
W040-126	475,95	364,42	35,04	PUITS
W040-127	476,02	365,4	9,327	PUITS
W040-128	475,96	365,3	6,05	PUITS
W040-13	476,17	365,67	3,291	PUITS
W040-150	474,92	365,1	8,583	FORAGE
W040-151	474,75	364,72	11,41	FORAGE
W040-152	474,82	365,41	7,456	FORAGE
W040-153	474,97	365,45	7,26	FORAGE
W040-153B	475,38	365,33	NN	FORAGE
W040-161B	474,15	366,65	NN	PUITS
W040-129	475,175	364,6	NN	PUITS
W040-129B	475,425	364,562	NN	PUITS
W040-144	473,82	363,52	NN	PUITS
W040-233	474,35	362,75	NN	PUITS
W040-234	474,325	362,25	NN	PUITS
W040-127B	476,275	365,425	NN	PUITS
W040-126B	475,8	364,5	NN	PUITS
W040-234B	473,95	362,005	NN	PUITS
W040-239	474,15	361,09	NN	PUITS
W040-235	473,95	361,425	NN	PUITS
W040-159B	474,95	366,4	NN	PUITS
W040-191B	471,937	362,962		FORAGE
W040-153	474,97	365,45		FORAGE
W040-148	473,360	363,320		p, oued
W040-160	475,100	365,600		p, oued

Tableau.5: Réseau piézométrique de la plaine alluviale d'oued Nador (historique).

IV-3-Profondeur du toit de la nappe de l'oued Nador :

IV-3-1-Profondeur du la nappe pour les années1993-94-03-04 :

Pour suivre les fluctuations de la nappe alluviale de l'oued Nador au cours de l'année 1994 et 2005 cinq campagnes de mesure des niveaux statiques ont été effectuées :

- Campagne de Juillet 1994.
- Campagne de Juillet 2003.
- Campagne d'Octobre 2003.
- Campagne d'Avril 2004 (hautes eaux).
- Campagne de Septembre 2004 (basses eaux).

Les niveaux statiques (NS) ont été mesurés par rapport à un repère rouge (rr).

Le niveau statique des eaux souterraines de la nappe de l'oued Nador, mesuré durant la campagne de Juillet 1994 est compris entre 2.65m et 24.30m.

Le niveau statique des eaux souterraines de la nappe de l'oued Nador, mesuré durant les campagnes de hautes eaux (Avril) variait de 1.20 à 25.90m, tandis que durant la campagne de basse eau, il a varié entre 2.80 et 27.50m

La comparaison entre les résultats des mesures piézométriques effectuées lors de la campagne d'Octobre 2003 et celle des basses eaux 2004,et 2005 montre une remontée du niveau piézométrique de la nappe alluviale de l'oued Nador de l'ordre de 0.25m à 2.60m dans la plupart des points de mesure dû à des précipitations plus importantes à la même période. Néanmoins, une baisse du niveau de la nappe est enregistrée au niveau des points d'eau suivants : P198, P200, P193 et P161B.

Par ailleurs, la comparaison entre les résultats des mesures piézométriques des Campagnes de Juin 1993, Juillet 1994 et celle de septembre 2004, montre une remontée du Niveau de la nappe dans la plupart des points de mesure due à l'importance des précipitations Enregistrées au cours de Septembre 2004.

Ces fluctuations sont bien mises en évidence par la représentation graphique des figures.

❖ Interprétation graphique :

Les niveaux statiques mesurés durant les deux campagnes piézométriques de 1994 et 2003, sont représentés sous forme des graphes interprétatifs ci-dessous illustrant l'évolution de la Profondeur de la nappe en fonction du temps.

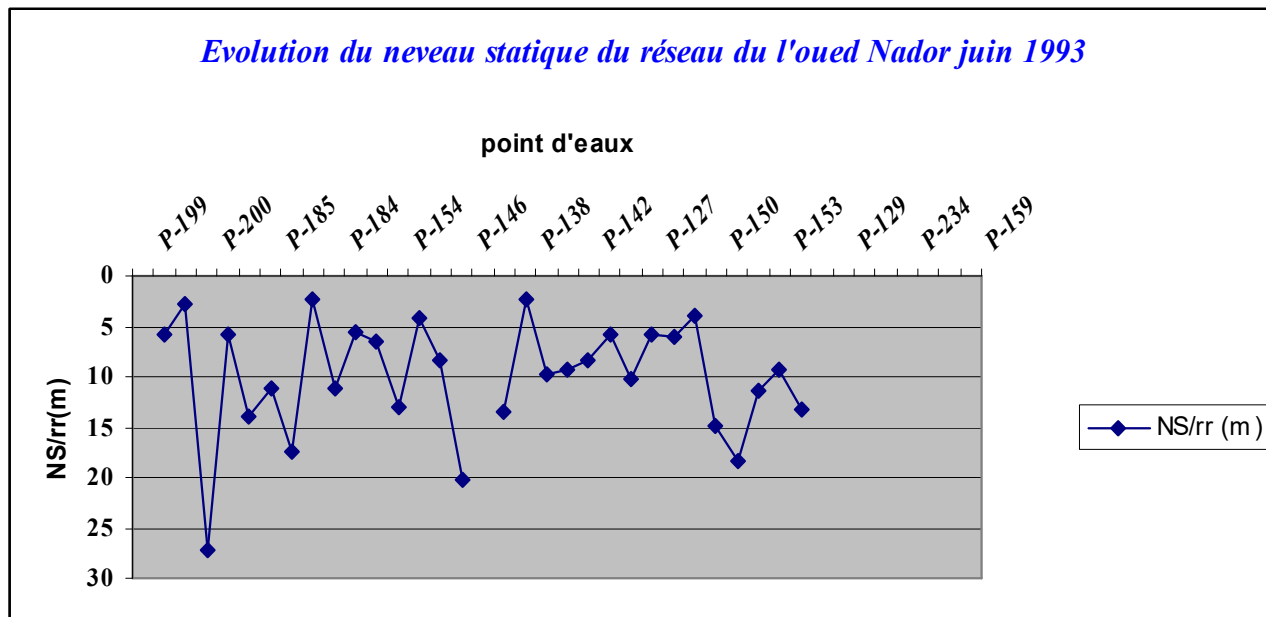


Fig.11. Evolution du niveau statique du réseau du l'oued Nador (93)

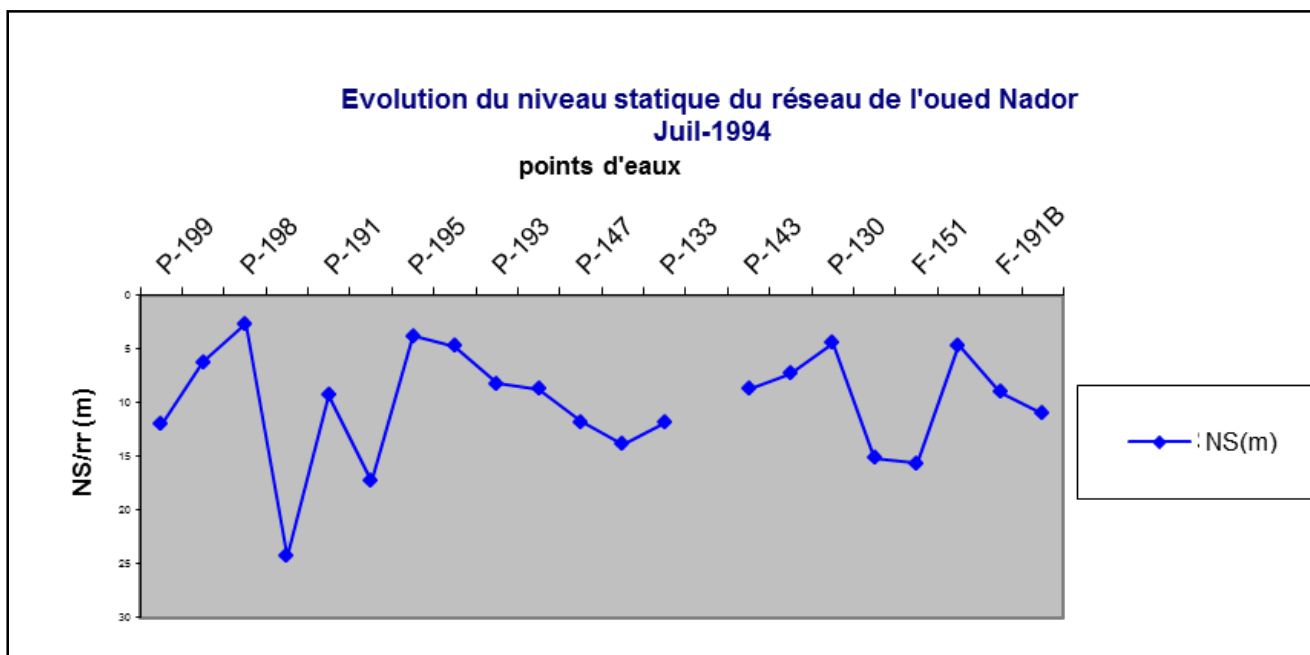


Fig.12. Evolution du niveau statique du réseau du l'oued Nador (94)

Intrusion marine dans la nappe de l'oued Nador

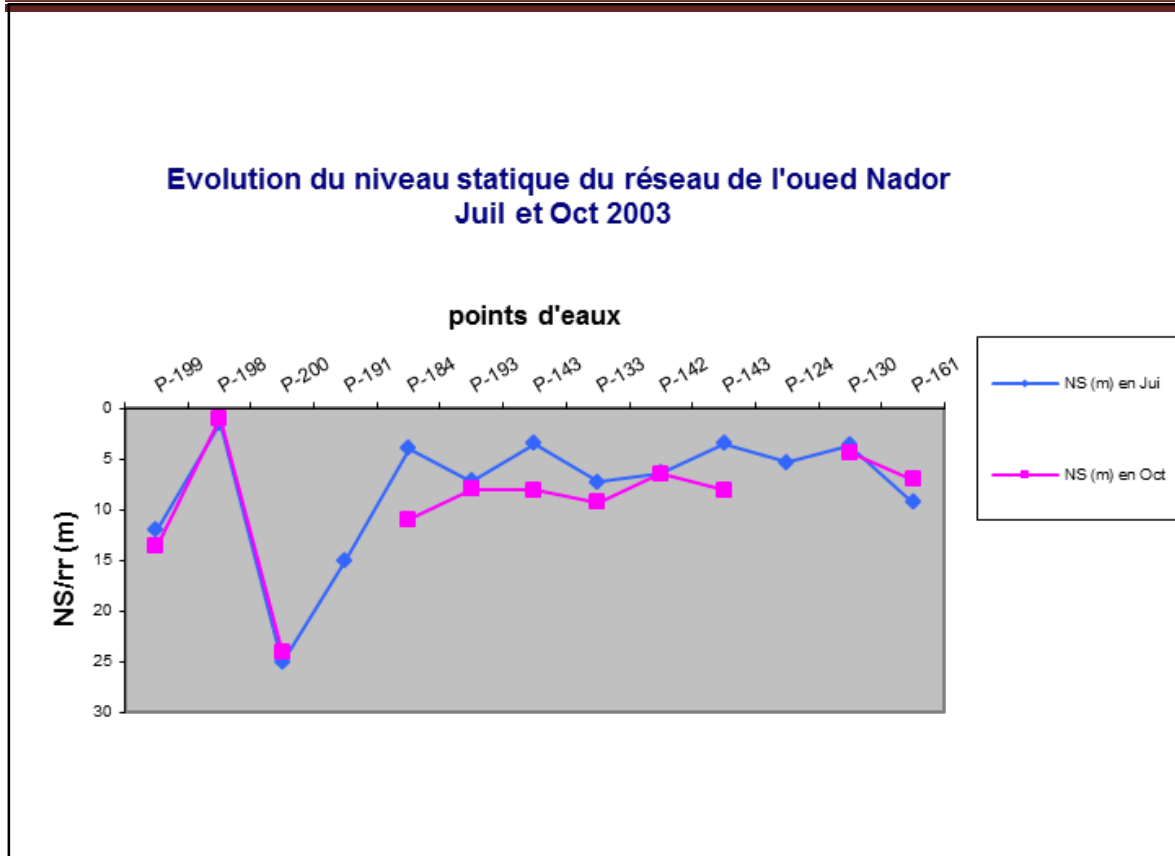


Fig.13. Evolution du niveau statique du réseau du l'oued Nador (2003)

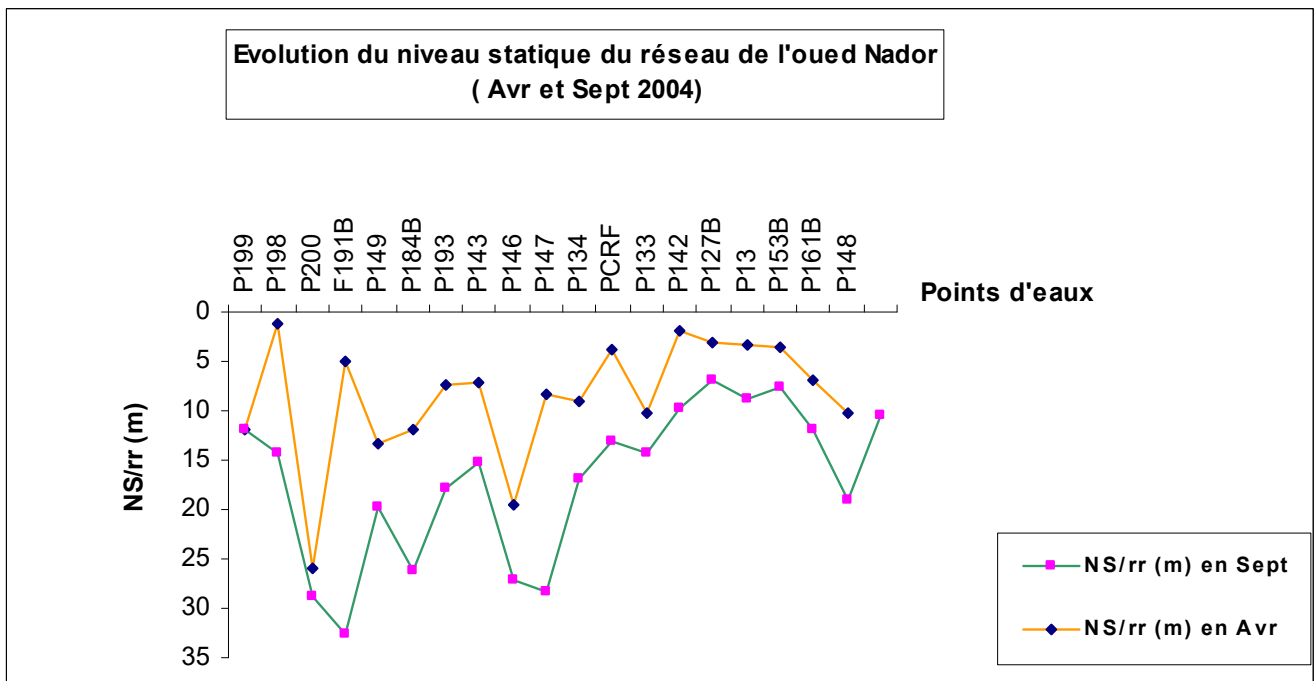


Fig.14. Evolution du niveau statique du réseau du l'oued Nador (2004)

L'examen des différents figures permet de constater que :

- ◆ Le niveau statique mesuré lors de la campagne de Juillet 1994, est de l'ordre de 4 m enAval de la plaine, et varie de 2.65m (P 198) à 24.30m (P 200) en amont de la plaine.Cette courbe représentative de l'évolution du niveau statique pour Juillet 1994 présente au Centre un cône de dépression du niveau statique, correspondant au centre de la plaine oùSe situe la majorité des points d'eau.
- ◆ Les deux courbes correspondant à la campagne de 2003 (Juillet et Octobre) montrent que Les profondeurs du niveau statique évoluent en dents de scies reflétant des fluctuations relativement importantes entre la campagne de Juillet et celle d'Octobre. En effet, la nappe a enregistré un rabattement du niveau d'eau en mois d'Octobre avec une baisseVariant de 0.1m à 7m. Nous tenons à signaler que la région de l'oued Nador est à vocation agricole, les ouvrages sont destinés à l'irrigation, ce qui explique cette baisse après une saison estivale d'une part et à l'absence des précipitations d'autre part ; surtoutEn mois d'Août.

IV-3-2-Profondeur de la nappe pour les années 09-10 :

D'après la comparaison des résultats des deux dernières campagnes piézométriques et l'examen du graphe de la Figure 15, nous constatons la remontée du niveau statique de la nappe de l'oued Nador d'environ **1m**, passant d'une profondeur moyenne de **8.4** à **7,4 m**, respectivement du mois d'octobre 2009 au mois d'avril 2010, cela est dû à l'apport de la période pluvieuse.

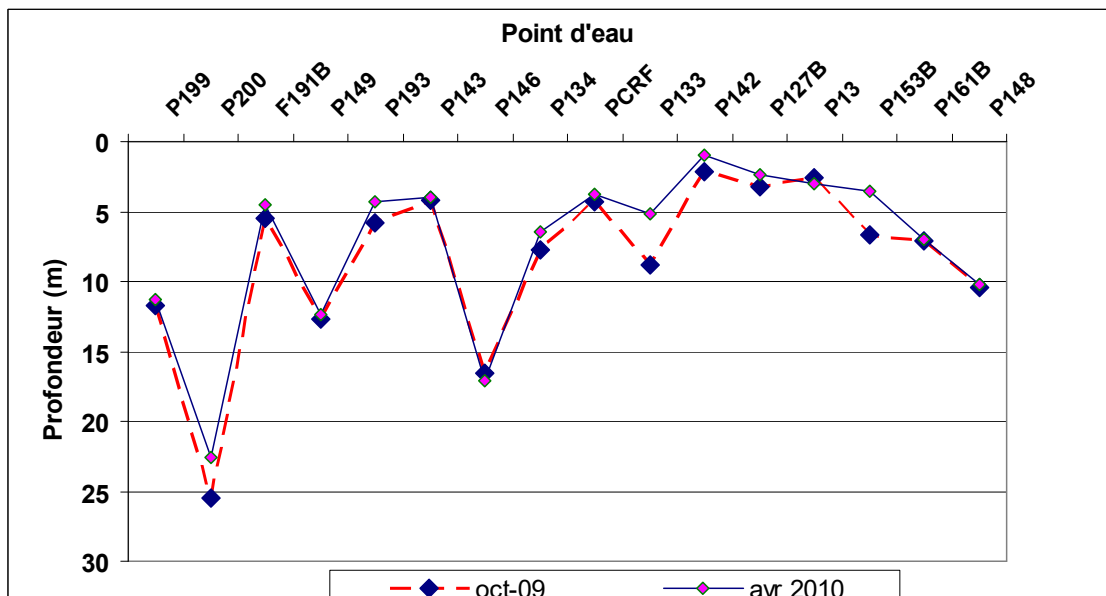


Fig.15. Fluctuation du niveau statique de la nappe de l'oued Nador pour l'année hydrologique 2009-2010.

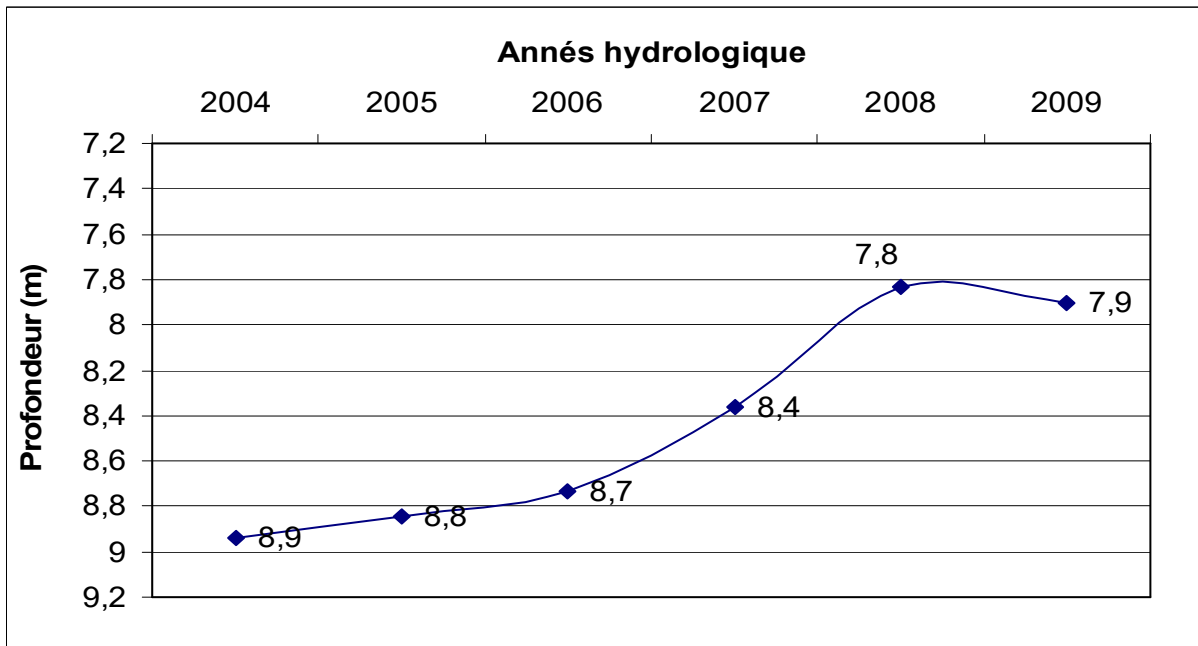


Fig.16. Variation interannuelle du niveau statique moyen de la nappe de l'oued Nador.

La variation interannuelle du niveau statique moyen de la nappe de l'oued Nador, d'après la Figure 16, montre une remontée progressive du niveau statique de la nappe de l'année

Hydrologique 2004 à 2008 avec une légère baisse en 2009 par rapport à 2008. Cela est dû au régime de précipitation et/ou à la baisse des prélèvements.

IV-4- Bilan de la nappe:

Le niveau statique de la nappe est influencé par 3 facteurs essentiels qui sont :

- L'alimentation de la nappe par les précipitations en période pluvieuse, avec une moyenne de 600 mm/an (station Barrage Meurad), se traduit par une recharge moyenne de 1m.
- Les prélèvements dans les forages et puits ;
- L'écoulement en mer par l'exutoire naturel de l'oued Nador.

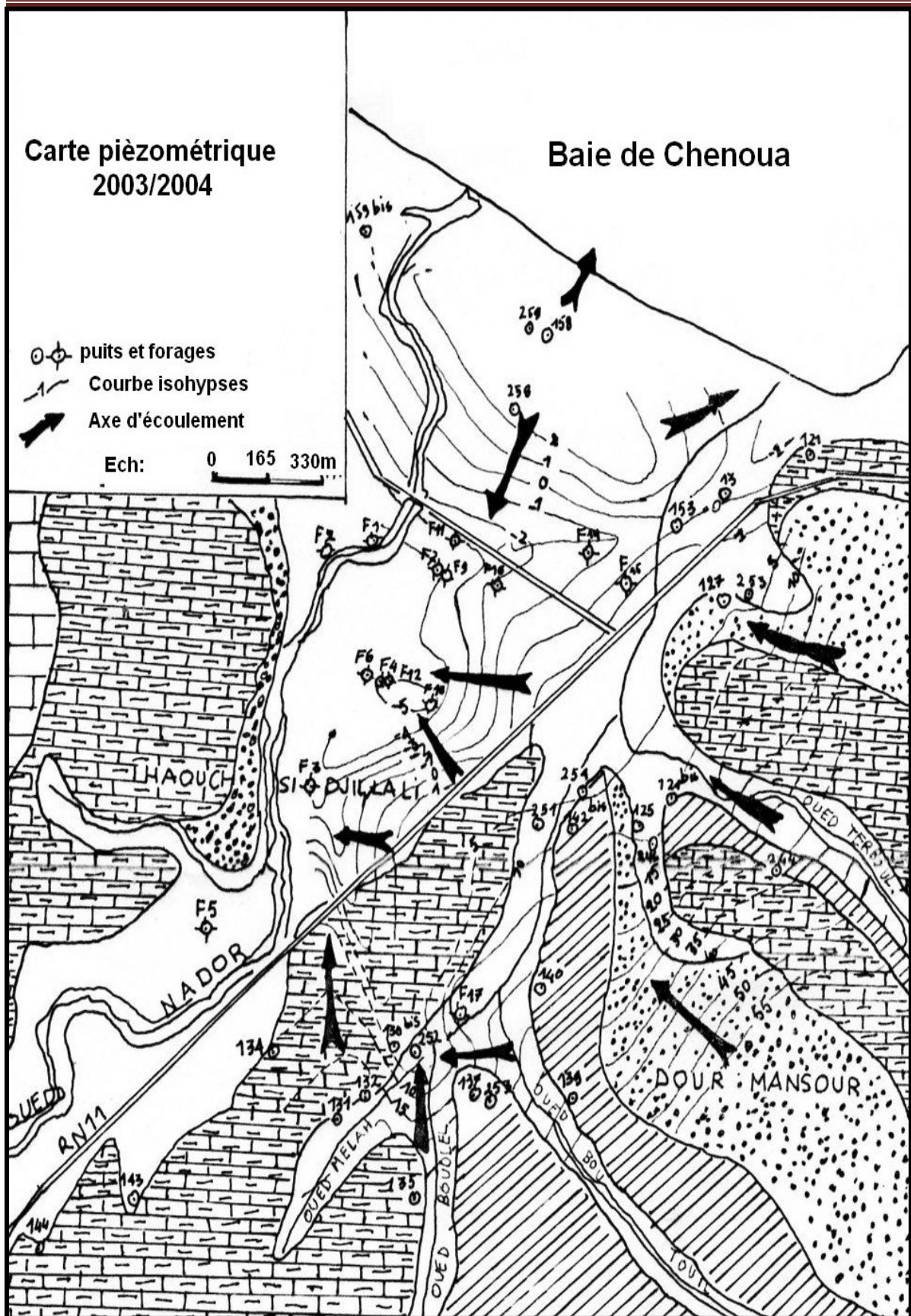


Fig17. : Carte piézométrique de la nappe de l'oued Nador (2003-2004). [6]

Intrusion marine dans la nappe de l'oued Nador

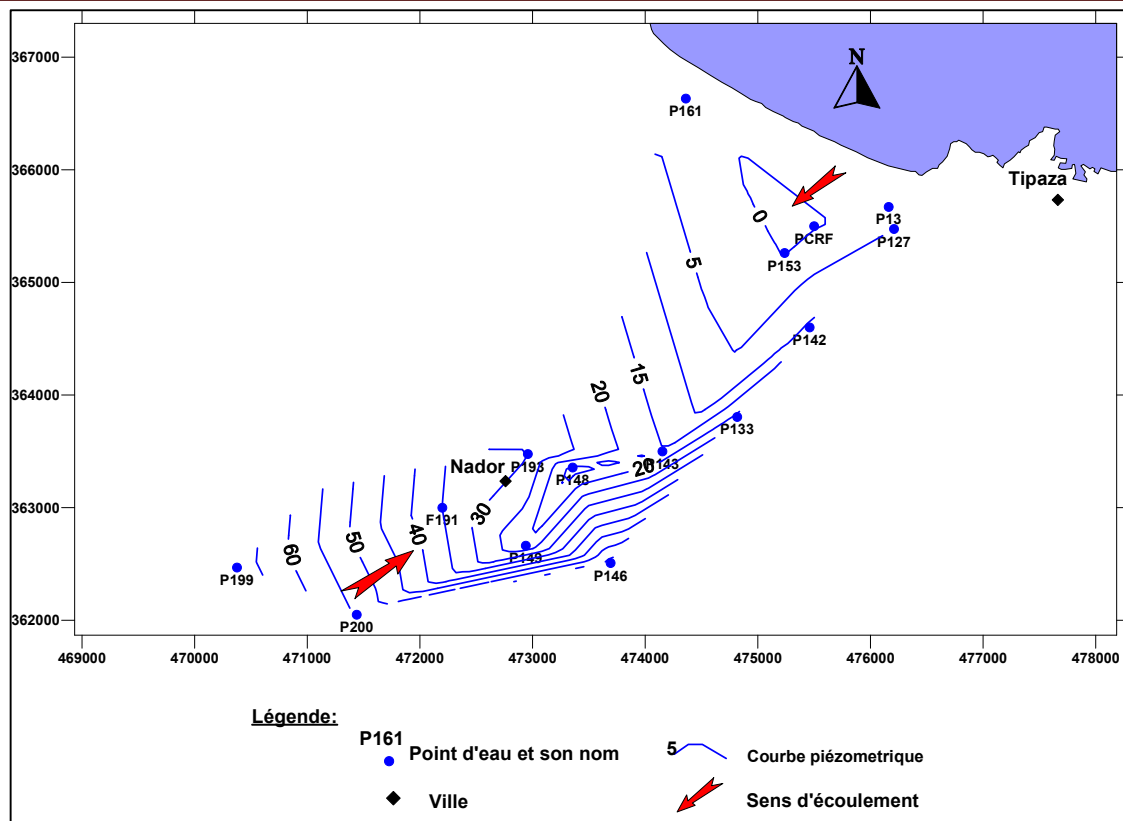


Fig.18. : Carte piézométrique de la nappe de l'oued Nador (octobre 2009).

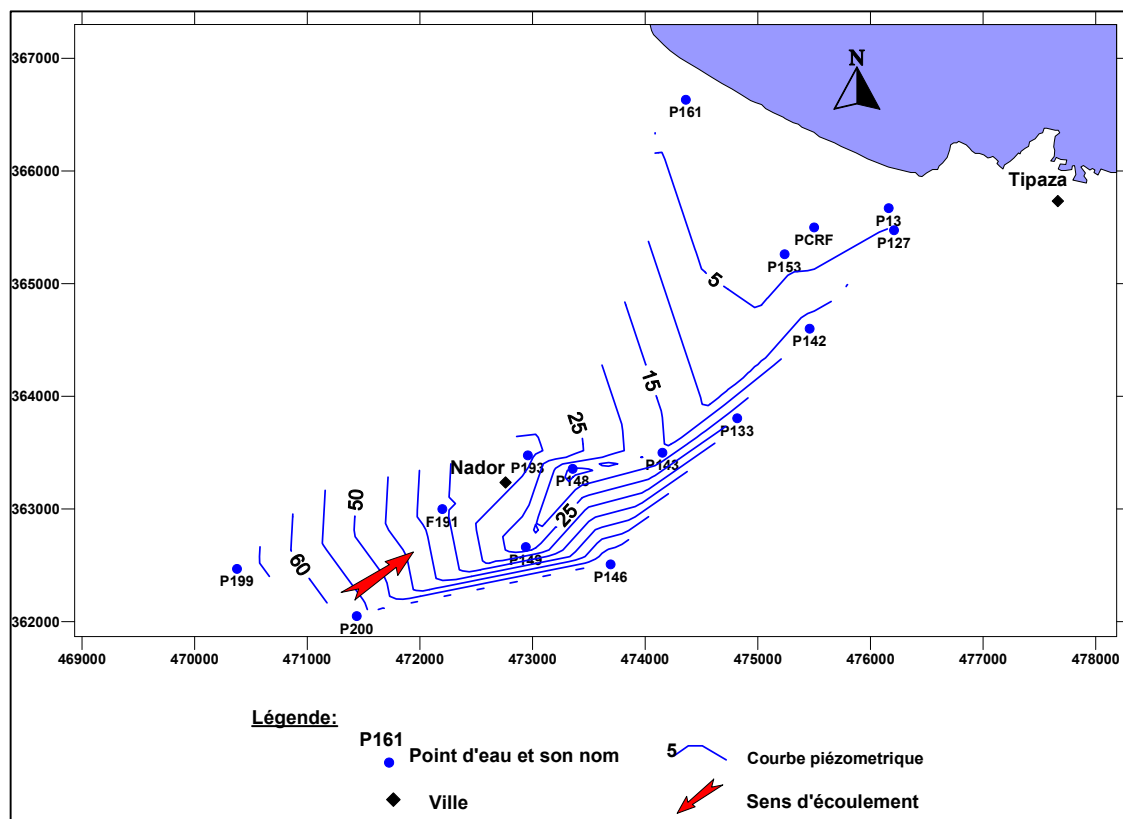


Fig.19 : Carte piézométrique de la nappe de l'oued Nador (avril 2010).

[6]

IV-5- Etat qualitatif des eaux de la nappe de l'oued Nador :

Pour la détermination de l'état qualitatif des eaux de la nappe de l'oued Nador, on a basé sur les résultats d'analyses chimiques effectuées sur les prélèvements réalisés lors de les campagnes piézométriques d'avril 2010 [6].

Conclusion :

-L'évolution du niveau statique mesurés durant les campagnes (1993-2010), montre une remontée et abaissement du niveau d'eau dans la nappe.

-l'évolution prie tonie dans le temps, montre que suite à l'arrêt de l'exploitation de la nappe [Forage: F4, F5], le phénomène s'est estompé.

B-Approche hydrogéochimique de l'étude de l'interface eau douce/eau salée:

Introduction :

IV-6-Mécanismes d'acquisition de la salinité :

Les cycles hydrogéochimiques associent de manière complexe le sol, l'eau et l'air, l'interaction entre ces trois milieux détermine les processus qui interviennent à l'entrée du système hydrologique (zone de recharge), ainsi la minéralisation des eaux souterraines est tributaire de la composition initiale à cette entrée ainsi qu'au phénomène de dissolution et de mise en solution des sels au sein de l'aquifère lors du parcours souterrain.

Cette composition initiale des eaux peut être modifiée par des phénomènes divers :

- Mise en solution et dissolution
- Evaporation
- Mélange entre différentes masses d'eau
- Processus biologiques

Les missions de terrains effectuées (Par l'ANRH) sur la vallée de l'Oued Nador, ont permis de prélever sur l'ensemble du réseau de surveillance établi par l'ANRH Forages, puits, sources et eau de mer (Les paramètres mesurés et analysés avec l'ensemble des résultats sont reportés en annexe)

L'origine, l'évolution et la répartition spatiale des paramètres physico-chimiques (pH, température, conductivité, éléments majeurs et en traces), sont étudiés et examinés. L'étude concernera la distribution des concentrations et la variation des rapports molaires par rapport à un élément conservé (l'ion chlorure), les corrélations entre différents éléments chimiques. Les rapports molaires dans l'eau de mer, ainsi que les droites de dilution de l'eau de mer sont donnés comme référence. [5].[6]

IV-7-Qualité chimique des eaux de la plaine de l'oued Nador pour l'année 2003-2004-2009-2010:

Pour évaluer la qualité des eaux prélevées de la nappe alluviale de l'oued Nador, on doit comparer les résultats d'analyse avec les normes internationales établies par l'organisation mondiale de la santé (O.M.S).

IV-7-1-Résultats des analyses chimiques pour toutes les campagnes (2003 à 2010) :

◆ **PH :**

Le pH des eaux souterraines de la région étudiée pour l'ensemble des campagnes varie de 6.80 à 8.20. Traduisant ainsi une eau de caractère légèrement basique. Ces valeurs de pH répondent aux normes établies par l'O.M.S. qui exigent un pH compris entre 6.5 à 9.5.

◆ **Dureté :**

Le titre hydrotimétrique des eaux souterraines de la nappe alluviale de l'oued Nador varie de 31 F° à 157 F°. Ces valeurs dépassent la norme recommandée par l'O.M.S. Et qui est de 50 F° ; ce qui traduit des eaux dures à très dures de caractères incrustant à cause de la substitution des ions Na^+ par Ca^{++} et Mg^{++} .

◆ **Ca^{++} :**

Les valeurs des teneurs en Ca^{2+} de notre secteur d'étude varient de 75 mg/l à 366 mg/l, qui se situent donc dans la fourchette de la norme de l'O.M.S. qui est de 200 mg/l pour une eau potable ; à l'exception de P161B, P198, P200, P133, et P153B.

Ces concentrations sont probablement dues au lessivage des alluvions et des formations calcaires.

◆ **Mg^{++} :**

Les concentrations en ion magnésien sont comprises entre 25 mg/l et 207 mg/l. Les faibles teneurs en magnésium se localisent essentiellement au SW de la plaine, au fur et à mesure qu'on se rapproche de l'aval ces teneurs augmentent.

◆ **Na^+ :**

Les teneurs en sodium sont comprises entre 65 mg/l et 790 mg/l. Ces teneurs sont supérieures à celles retenues par l'O.M.S, correspondant à 100 mg/l. Les valeurs les plus élevées sont concentrées à l'aval de la nappe où elle est en contact avec l'eau de mer. Par conséquent, l'intrusion marine qui a été noté par plusieurs ingénieurs est toujours en cours.

◆ **NO_3^- :**

Dans le secteur étudié, les teneurs en nitrates varient entre 0 mg/l et 165mg/l; ce qui est excessif pour la plupart des points d'eau. Seulement 42.86 % de l'ensemble des points d'eau présentent des concentrations en Nitrates qui répondent aux normes de l'O.M.S.

Les teneurs élevées en nitrates proviennent probablement des épandages d'engrais chimiques et organiques, du fait que la région est à vocation agricole.

◆ HCO_3^- :

Les teneurs en bicarbonates varient entre 211 mg/l et 760 mg/l. Les teneurs élevées sont observées aussi bien en aval qu'en amont de la plaine. Ces concentrations sont probablement dues au lessivage des terrains marno-calcaire par les eaux d'infiltration.

◆ SO_4^{2-} :

Les sulfates proviennent généralement de la dissolution du gypse contenu dans les formations argileuses et du lessivage des engrais chimiques à base azotée dans les terrains agricoles.

Les teneurs en sulfates du secteur étudié sont inférieures à celles retenues par l'O.M.S qui correspondent à 400 mg/l. La forte concentration s'observe et de valeur égale à 625mg/l.

$$75\text{mg/l} < \text{SO}_4^{2-} < 625\text{mg/l}$$

◆ Cl^- :

Les teneurs en chlore des eaux des points échantillonnés sont comprises entre 95 mg/l Et 1920 mg/l.

Cette forte concentration en chlore en aval de la plaine confirme qu'il y a effectivement contamination par les eaux de mer.

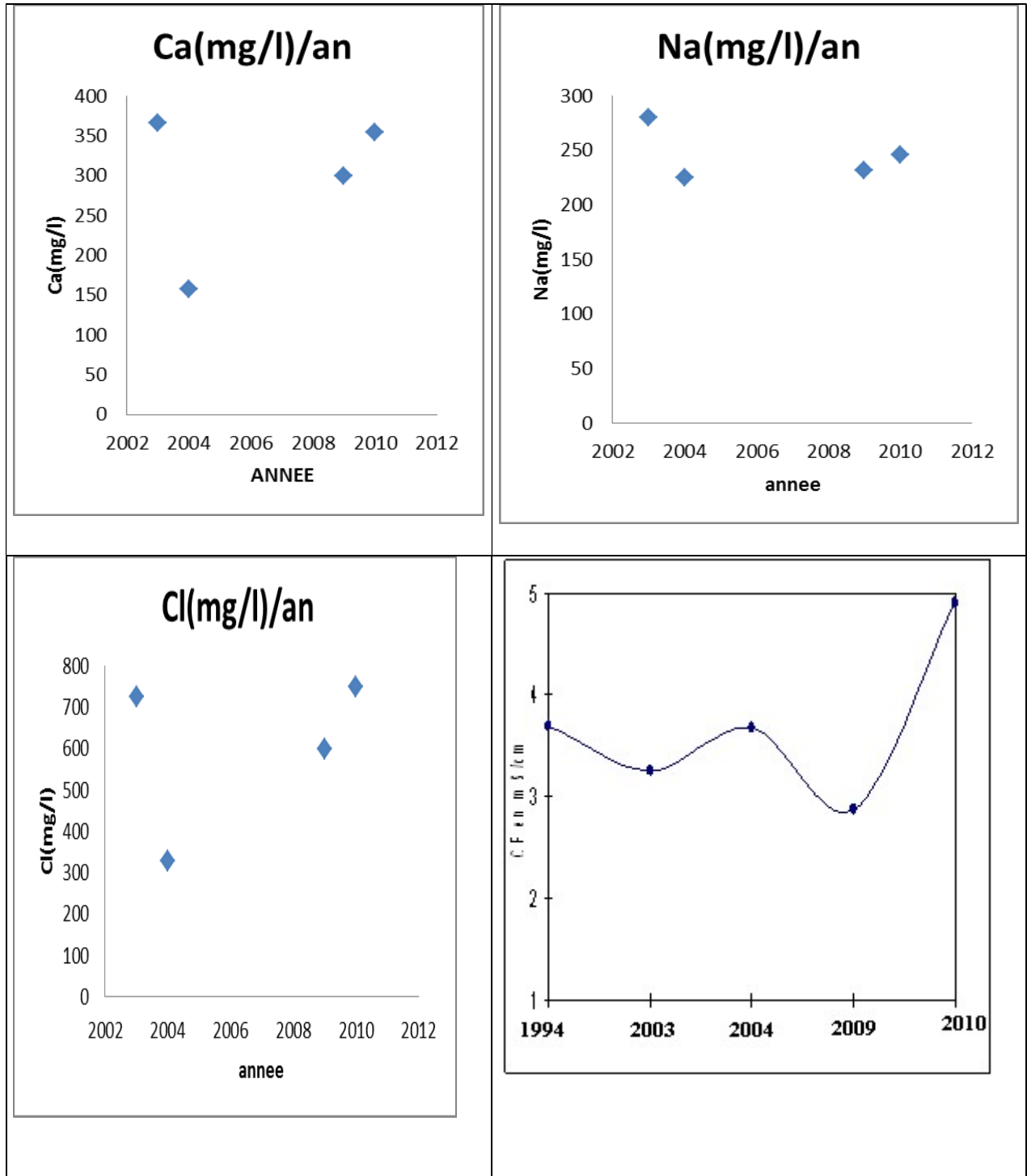


Fig. 20: Variation de la conductivité, calcium, chlorure, sodium au point P153 (X= 475,238/Y=365,261 Km).

IV-8-Représentation graphique et classification des eaux :

IV-8-1-Classification des eaux selon Stabler :

Cette classification consiste à distinguer les différents faciès chimiques en fonction des anions et cations les plus dominants. Elle consiste en premier lieu à faire le calcul du pourcentage de chaque ion en quantité en réaction par rapport à la concentration totale, ensuite à classer séparément les anions et cations par ordre décroissant et ainsi de déterminer le faciès chimique de chaque eau.

La classification de Stabler fait apparaître quatre types de faciès chimiques, à savoir : le chloruré calcique, le chloruré sodique, le bicarbonaté calcique et le bicarbonaté sodique.

- **Pour l'année 2003:**

D'après la classification de Stabler, le faciès chimique dominant est le chloruré calcique, à l'exception des puits 142 et 161B, qui représentant le faciès chloruré sodique.

En effet, le taux de Chlorure est de l'ordre de 190 mg/l au niveau de P124 à 1920 mg/l au niveau de P161B, dépassant ainsi les normes admissibles par l'OMS au niveau de P153B et P161B.

Pour le taux de Sodium, il varie de 100 mg/l au niveau de P124 à 875 mg/l au niveau de P161B, dépassant ainsi les normes admissibles pour la plupart des puits à l'exception de P124, P130 et P199.

L'origine de l'augmentation des éléments Chlore et Sodium est dû à l'influence des eaux saumâtres.

- **Pour l'année 2004(Avril):**

Elle est basée sur l'analyse des échantillons d'eau prélevés lors des campagnes piézométriques des hautes et basses eaux 2004.

Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux de la nappe de l'oued Nador pour les Deux campagnes piézométriques sont regroupés dans les tableaux n° I et n° III en annexe.

- Mois d'Avril:**

Les résultats obtenus sont mentionnés dans le tableau n° III en annexe.

On remarque que la majorité des points (56.25%) sont caractérisés par un faciès chloruré calcique, 25% des points ont un faciès chloruré sodique, par contre les points P127 et P143 ont un faciès bicarbonaté calcique et le P153B est caractérisé par un faciès bicarbonaté sodique.

Le faciès chloruré sodique caractérise les points d'eau situés dans la partie avale de la plaine et reflète l'influence des eaux saumâtres sur les eaux de la nappe alluviale. Ce faciès est

caractérisé par des eaux dures à très dures avec une dureté qui peut atteindre 157°F au P161B, et des concentrations élevées en éléments Chlorure et Sodium qui dépassent souvent les normes de l'OMS avec un maximum au P161B ($\text{Cl}^- = 1815 \text{ mg/l}$, $\text{Na}^+ = 790 \text{ mg/l}$). L'origine de l'augmentation des éléments Chlore et Sodium est dû à l'influence des eaux saumâtres.

Le faciès chloruré calcique caractérise les points d'eau situés au centre et en amont de la plaine et est caractérisé par une dureté élevée qui peut atteindre 92°F au P200 et des concentrations élevées en éléments Chlore et Calcium, dépassant les normes de l'OMS au P198 et P200.

Le faciès bicarbonaté calcique caractérise les points P127 et P143 et résulte du lessivage des formations calcaires traversées par les eaux d'infiltration.

Le faciès bicarbonaté sodique est représenté par l'échantillon du point d'eau P153B situé en aval de la plaine, et est caractérisé par une eau dure et des concentrations en éléments Bicarbonate et Sodium qui dépassent les normes de l'OMS.

-Mois d'Septembre:

On remarque que la majorité des points (36.4%) sont caractérisés par un faciès Chloruré magnésien, 27.3% des points ont un faciès chloruré sodique ou chloruré calcique, et le point P127B est caractérisé par un faciès sulfaté magnésien.

Le faciès chloruré magnésien caractérise les points situés en amont de la plaine ainsi que le point P153B situé en aval, et est caractérisé par une dureté moyenne à élevée au P153B et P199. Les concentrations en élément Chlore sont élevées comparativement aux autres éléments, avec une valeur qui dépasse les normes de l'OMS enregistrée au P153B. L'origine de l'augmentation des concentrations en élément Chlore est due à l'influence des eaux saumâtres.

Le faciès chloruré calcique caractérise les points situés au centre et en amont de la plaine et traversant les formations calcaires, avec des eaux dures.

Le faciès chloruré sodique caractérise des points situés en aval et au centre de la plaine avec une dureté des eaux moyenne à élevée au P161B.

Le faciès sulfaté magnésien caractérise le P127B situé en aval de la plaine et dont l'eau est moyennement dure.

- **Pour l'année 2009-2010:**

- Le bicarbonaté calcique:** 33,3% des eaux prélevées, représenté par les points P199, P127B, P134 ;

-Le **chloruré calcique**: 33,3% des eaux prélevées, représenté par les points P153, P133, P200;

-Le **chloruré sodique**: 22,2% des eaux prélevées, représenté par les points P146, P191;

-Le **bicarbonaté sodique**: 11.1% des eaux prélevées, représenté par le point PCR.F.

IV-8-2- Classification des eaux selon Piper :

Dans cette classification, les éléments sont convertis en %. On utilise un triangle équilatéral dans lequel chaque côté est divisé en deux parties de 100 % (en élément). Les éléments sont reportés sur leurs côtés, alors chaque eau se retrouve représentée par un point à l'intérieur du triangle.

▪ Calcul de la concentration en % des éléments :

Pour un élément x(cation ou anion), on aura :

$$r\% x = \frac{x.100}{\Sigma \text{Cations}} \quad \text{ou} \quad \frac{x.100}{\Sigma \text{anions}}$$

❖ **Commentaire :**

La présentation des échantillons des points d'eau sur le diagramme losangique de Piper confirme celle de Stabler et mis en évidence les deux faciès chimiques suivants :

- Le faciès chloruré sulfaté calcique et magnésien pour les eaux des puits suivants : P124, P130, P153B, P193, P199.
- Le faciès chloruré sodique et potassique relatif aux eaux de P142 et P161B.

Il ressort d'après cette classification, une tendance des cations vers les pôles calciques et sodiques, et pour les anions une tendance vers le pôle chloruré.

▪ **Le faciès chimique :**

Les faciès chimiques caractérisant les eaux des échantillons prélevés de la plaine de l'oued Nador, a été établie suite à la classification des eaux selon les deux méthodes de Stabler et de Piper.

Le faciès chimique le plus prédominant est le chloruré calcique, seulement le P142 et le P161B sont caractérisés par un faciès chloruré sodique.

Le faciès chloruré sodique est typique de l'eau de mer, et le chloruré calcique est le passage du bicarbonaté calcique qui caractérisent la région vers le chloruré sodique.

- **Pour l'année 2003:**

Intrusion marine dans la nappe de l'oued Nador

D'après Todd, le rapport R_C caractérise bien une pollution saline.

Ce rapport R_C est donné par la formule suivante :

rCl^-

$$R_C = \frac{rCl^-}{rHCO_3^-}$$

Si :

$R_C = 0.5$ l'eau est qualifiée de normale.

$R_C = 1.3$ il y a contamination légère par la mer.

$R_C = 2.2$ la contamination est modérée.

$R_C = 6.6$ la contamination est forte.

$R_C = 15.5$ l'eau est très fortement contaminée.

$R_C = 20$ c'est l'eau de mer contenant un peu d'eau douce.

Les résultats du rapport de Todd sont représentés dans le tableau n°6 ci-dessous :

Points d'eau	R_C	Observation
P124	1.2	Contamination légère
P130	1.6	Contamination légère
P142	1.3	Contamination légère
P153B	2.26	Contamination modérée
P161B	10.6	Contamination forte
P193	2.8	Contamination modérée
P199	1.81	Contamination modérée

Tableau N° 6: Résultats obtenus par le rapport de Todd

Le rapport de Todd atteste une contamination des eaux par les agents salins, avec un degré qui va du léger pour P124, P130 et P142 au modéré pour P153B, P193, P199 et une contamination forte enregistrée au niveau de P161B.

D'après ces résultats l'invasion marine se confirme, et on remarque la progression du biseau salé vers l'intérieur de la plaine.

- **Pour l'année 2004:**

Intrusion marine dans la nappe de l'oued Nador

-Mois d'Avril :

Les résultats du rapport de Todd sont représentés dans le tableau n°7 ci-dessous :

Points d'eau	R _C	Observation
PCRf	2.1	Contamination modérée
P130	1.5	Contamination légère
P127	0.65	Eau normale
P133	3.19	Contamination modérée
P134	1.23	Eau normale
P142	1.4	Contamination légère
P143	0.73	Eau normale
P147	1.73	Contamination légère
P153	0.99	Eau normale
P161	7.64	Contamination forte
P184B	1.5	Contamination légère
F191B	1.45	Contamination légère
P193	2.8	Contamination modérée
P198	1.7	Contamination légère
P199	1.7	Contamination légère
P200	1.83	Contamination légère

Tableau N°7 : Résultats obtenus par le rapport de Todd (avril 2004)

Le rapport de Todd atteste une contamination des eaux par les agents salins, à l'exception des points : P127, P134, P143, P153 où l'eau est qualifiée normale.

Le degré de contamination des eaux par l'eau de mer varie du léger pour P130, P142, P147, P184B, F191B, P198, P199, P200 au modéré pour PCRf, P133, P193 et une contamination forte enregistrée au niveau de P161B.

-Mois Septembre :

Intrusion marine dans la nappe de l'oued Nador

Les résultats du rapport de Todd sont représentés dans le tableau n°8 ci-dessous :

Points d'eau	R _C	Observation
P127B	1.6	Contamination légère
P134	3.4	Contamination modérée
P142	2.8	Contamination modérée
P146	4.9	Contamination modérée
P147	2.86	Contamination modérée
P153B	10.86	Contamination forte
P161B	4.6	Contamination modérée
P184B	4.5	Contamination modérée
F191B	5.6	Contamination modérée
P199	5	Contamination modérée
P200	5.5	Contamination modérée

Tableau N°8 : Résultats obtenus par le rapport de Todd (sept 2004).

Le rapport de Todd atteste une contamination des eaux par les agents salins, avec un degré modéré pour la plupart des points, sauf le P127B caractérisé par une contamination légère et le P153B caractérisé par une contamination forte.

Même remarque, l'invasion marine se confirme, et on remarque la progression du biseau salé vers l'intérieur de la plaine.

▪ **Pour l'année 2009-2010 :**

Les résultats du rapport de Todd sont représentés dans le tableau n°9 ci-dessous :

Points d'eau	R _C	Observation
P127B	3.79	Contamination modérée
P134	4.60	Contamination modérée
P146	7.54	Contamination forte
P153B	18.26	Contamination très forte
F191B	7.76	Contamination forte
P199	5.99	Contamination modérée
P200	9.62	Contamination forte
CRF	7.76	Contamination forte
P134	4.60	Contamination modérée

Tableau N°9 : Résultats obtenus par le rapport de Todd (2010).

Les eaux de la nappe sont affectées essentiellement par deux phénomènes qui nuisent à leur

qualité, à savoir :

- L'effet l'eau de mer marquée par une valeur de **3** pour le rapport de Todd (Calculé par la formule de Todd $R_c = rCl/rHCO_3$) au niveau du point P153, indiquant une contamination forte d'après la même classification, la cause de cette contamination est probablement l'existence de pompage illicite dans la partie aval de la nappe;
- Les taux très élevés en nitrates qui dépassent les normes de potabilité pour 44% des échantillons prélevés, la cause principale est liée à l'activité humaine qui se traduit par les épandages agricoles, les rejets domestiques incontrôlés et les fuites au niveau des canalisations des eaux usées, ainsi que l'état dégradés des points d'eau.

D'après les normes de l'OMS, 55% des eaux prélevées sont impropre à la consommation.

IV-8-3- Interprétation des résultats du résidu sec :

-Pour l'année 2003 :

Les valeurs sont comprises entre 945 mg/l au niveau de P124 et 3727 mg/l au P161B.

Ces teneurs en résidu sec sont supérieures à celles retenues par l'O.M.S pour la majorité des points d'eau ; à l'exception de P124, P193 et P199.

Les valeurs élevées du résidu sec témoignent une intense exploitation de la nappe de l'oued Nador d'une part et une augmentation de la salinité des eaux due à l'invasion marine d'autre part.

-Pour l'année 2004 :

***Mois d'Avril :**

Les teneurs en résidu sec sont comprises entre 916mg/l au niveau de p134 et 3778mg/l pour le p161B, ces valeur sont aussi > a la valeur fixé par l'O.M.S.

***Mois d'Septembre :**

Les valeurs varient entre 820mg/l pour p127B et 1800mg/l p153B, Les teneurs en résidu sec sont aussi dépassé les normes de l'O.M.S.

Pour les deux campagnes, on remarque une surexploitation de la nappe cela implique déplacement de biseau salé vers la nappe du l'oued Nador.

-Pour l'année 2009-2010 :

Les valeurs sont comprises entre 680 mg/l au niveau de PCRf et 3203 mg/l au P153B.

Ces teneurs en résidu sec sont supérieures à celles retenues par l'O.M.S pour la majorité des points d'eau ; Les valeurs élèves provoquent une augmentation de la salinité des eaux due à

l'invasion marine.

IV-9- Interprétations des résultats :

1-Couple de valeur Sodium/Chlorure et Brome chlorure :

Les variations du bromure (Br^-) et du chlorure (Cl^-), peuvent être utilisés pour déterminer l'origine des eaux souterraines, des eaux de formation et des sels dissous. Le rapport Br^-/Cl^- dans l'eau de mer actuelle est relativement constant ($\text{Br}^-/\text{Cl}^- = 1.5 \cdot 10^{-3}$) du fait du temps de résidence extrêmement long de ces ions dans les masses océaniques, au cours de l'évaporation de l'eau de mer le rapport Br^-/Cl^- reste fixe jusqu'à ce que la halite (NaCl) commence à précipiter. Ainsi, une solution saline formée par simple concentration de l'eau de mer avant la saturation en NaCl aura un rapport Br^-/Cl^- équivalent à celui de l'eau de mer et une solution plus concentrée formée par évaporation continue au-delà de la précipitation de l'halite aura un rapport Br^-/Cl^- plus élevé.

Les corrélations entre le sodium et le chlorure d'une part et le brome et chlorure d'autre part des eaux de la vallée de l'Oued Nador, permettent de remonter à l'origine de ces éléments dans les eaux, en effet sur le diagramme Na^+ vs Cl^- l'ensemble des points se répartissent parallèlement à la droite de dilution de l'eau de mer et confirme l'origine marine. [5]

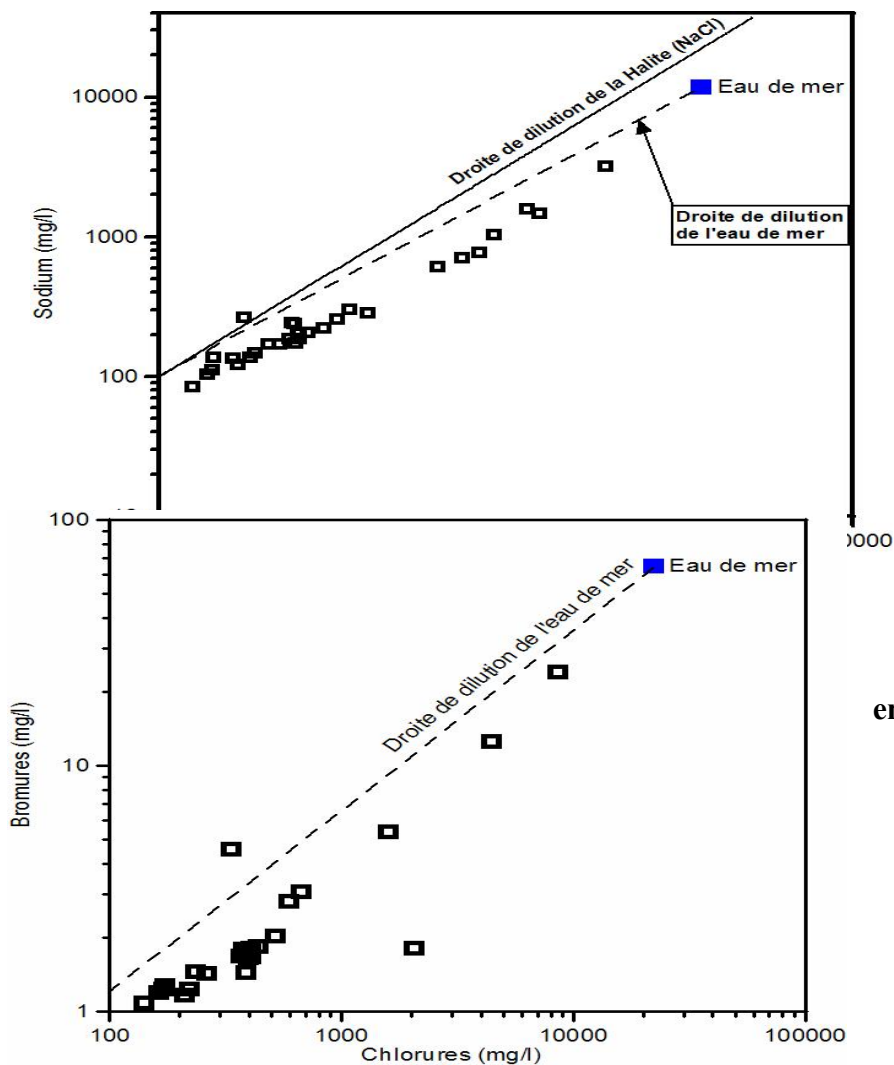


Fig.21.
Sodium
chlorure

Relation
en fonction du

Fig.22. Relation Sodium et brome en fonction du chlorure

2. Eléments SO_4/Cl , Ca/Mg , Na/k , Na/Cl en fonction de Cl :

La variation de certains rapport caractéristiques en fonction de l'élément chlorure permet de mettre en évidence leur origine et notamment des mélanges. Pour les eaux de la vallée de l'oued Nador (Fig.23), Ces variations font ressortir deux groupes ; le premier compose essentiellement des puits superficiels ou la minéralisation est acquise en grande partie par dissolution et le phénomène d'intrusion ne semble pas les atteindre. Un deuxième groupe compose en grande partie par les forages et puits assez profonds ou l'évolution des rapports n'augmentent pas avec le chlorure ce qui indiquerait une arrivée d'eau de mer dans ces points d'eau. [5]

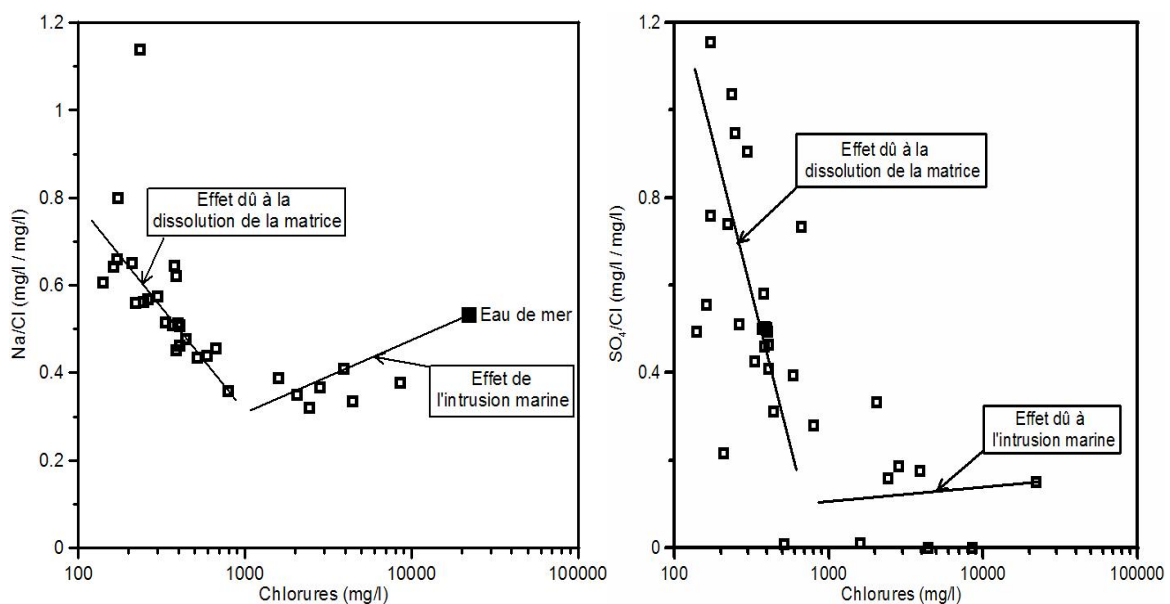


Fig.23.Variation des rapports SO₄/Cl, Na/Cl en fonction de Cl

Conclusion :

L'eau de mer est connue par sa forte concentration en éléments chlorure, sodium et magnésium par rapport à une eau douce. Par conséquent, une augmentation dans une nappe d'eau douce de la concentration des éléments précités est l'un des indices indiquant la pollution de la nappe par l'eau de mer.

De ce fait, on tentera par le biais de cette approche hydrochimique de confirmer l'invasion marine dans la plaine de l'oued Nador d'après les caractères physico-chimiques des eaux. [5]

L'étude hydrochimique met en valeur deux faciès chimiques :

- Le chloruré calcique pour la majorité des points d'eau.
- Le chloruré sodique prononcé au niveau des points d'eau les plus proches de l'aval.

Par ailleurs, les concentrations des différents éléments chimiques (Na⁺, Cl⁻ et Mg⁺⁺) sont généralement élevées pour l'ensemble des points, avec un maximum enregistré au niveau des points d'eau les plus proches de l'aval.

La minéralisation des eaux est en général élevée et croît de la plaine vers la mer. Elle atteint 4049 mg/l au P161B.

La teneur en résidu sec est élevée et se situe aux environs de 1.5 g/l et atteint 3.7 g/l au P161B. Les eaux prélevées ont généralement une conductivité élevée pouvant atteindre 6.53 ms/cm au niveau de P161B caractérisant ainsi les eaux saumâtres.

Les eaux sont alcalines dures à très dures.

Le rapport de Todd atteste une contamination légère, modérée à forte des eaux de la plaine de l'oued Nador par les agents salins (tel que le chlore). L'invasion marine se confirme.

L'étude hydrochimique des eaux de la nappe de l'oued Nador durant la campagne des hautes eaux (2004), fait ressortir quatre types de faciès chimique, il s'agit par ordre décroissant de prédominance des faciès suivants : le chloruré calcique, le chloruré sodique, le bicarbonaté calcique et le bicarbonaté sodique.

Les eaux sont caractérisées par une minéralisation et une dureté élevées à très élevées, avec un maximum enregistré au P161B (minéralisation = 4080mg/l, Dureté = 157°F).

Le rapport de Todd atteste une contamination des eaux de la nappe de l'oued Nador par les eaux de mer avec un degré qui varie du léger, modéré au fort.

Cependant, durant la campagne des basses eaux, les eaux souterraines de la nappe de l'oued

Nador sont caractérisées par quatre faciès chimiques, qui sont par ordre de prédominance décroissant : le chloruré magnésien, le chloruré calcique ou sodique et le sulfaté magnésien.

Le rapport de Todd atteste une contamination des eaux de la nappe de l'oued Nador par les eaux de mer, avec un degré qui varie du modéré pour la plupart des points, au fort pour le P153B.

Le rapport de Todd montre que le degré de contamination des eaux de la nappe de l'oued Nador par les eaux de mer, est plus élevé pendant la campagne des basses eaux, ceci est dû à l'augmentation de l'exploitation de la nappe durant cette période pour satisfaire les besoins en eau d'irrigation après une saison estivale.

On remarque pour la campagne (2009-2010), que il y a une dominance entre les faciès chloruré et bicarbonaté calcique. Les eaux de la nappe sont affectées par le phénomène du biseau salé et la pollution par les nitrates cause de surexploitation du la nappe.

C-Approche géophysique de l'étude de l'interface eau douce/eau salée :

IV-10- Approche géophysique :

- pour l'année 2003-2004:

L'objectif envisagé pour cette étude géophysique est la matérialisation de l'interface eau douce – eau saumâtre. Pour ce faire, on s'est référé aux travaux antérieurs et on a pris les résultats des deux campagnes géophysiques par prospection électrique réalisées par l'A.N.R.H en collaboration avec le département de l'hydrogéologie de l'institut des sciences de la terre (U.S.T.H.B) durant la période du 25/05 au 13/06/1991.[7]

En résumé des conclusions de cette étude, il a été constaté que l'interprétation des données géophysiques a mis en évidence l'interface eau douce / eau saumâtre par un contraste de

Résistivité. La résistivité de la formation aquifère saturée en eau douce est de l'ordre de 40 ohm.m et celle de la même formation mais imbibée d'eau saumâtre est de l'ordre de 1 à 5 ohm.m.

Cependant, la résistivité de cette formation aquifère imbibée d'eau salée et celle des argiles qui constituent le substratum sont proches l'une de l'autre, il est alors difficile de différencier entre les deux valeurs de résistivité.

Les traînées électriques ont montré que la valeur de résistivité sont croissantes du Nord vers le Sud, liée à une modification de la minéralisation des eaux de la nappe.

Mais en s'aidant des données des coupes de forages, il a été possible de suivre l'allure du contact supposé qui présente grossièrement la même allure que celui du toit de la nappe. Il se trouve à une profondeur de 6 à 10m au Nord, et de 25 à 30m au Sud par rapport au niveau topographique. L'interface eau douce / eau salée recoupe le substratum argileux à environ 2.9Km de la côte. [2].

-Pour l'année2005 :

Afin de délimiter l'extension et la localisation de l'interface eau douce/eau salée, une campagne de géophysique par prospection électrique a été menée sur la vallée de l'Oued Nador. Des traînées ont été effectuée sur la partie avale de la plaine (Parcelle suspectée) où le phénomène d'intrusion est très accentué(Fig.24). Cette opération a été menée fin 2005, début 2006. [5].

IV-10-1-TRAVAUX GEOPHYSIQUES :

a) Mise en œuvre :

Le choix de l'emplacement des sondages électriques verticaux sur le site a été fait en fonction des conditions hydrogéologiques et de l'objectif recherché à l'échelle de la plaine, pour cela, ils eux utilisé le dispositif de SCHLUMBERGER avec une longueur d'émission de courant entre les électrodes A et B de 250m de façon à obtenir une profondeur d'investigation de 65m. L'appareillage utilisé est un résistivimètre de type : ABEM SAS 1000, avec une gamme de courant Output de 1 à 1000 Ma, tension Max : 400 V, puissance Max : 100W de marque suédoise.

Le choix du périmètre à explorer était fait à partir de la campagne de mesure des profils de conductivités menés sur les différents points d'eau. Les traînées réalisées sont reportés sur la fig.24 et les résultats des sondages électriques verticaux sont reportés en annexes (recueil). [5].

Intrusion marine dans la nappe de l'oued Nador

L'investigation s'est limitée essentiellement à la partie aval de la plaine alluviale entre le groupe de forages F1, F2 et F3, F4. La superficie prospectée couvre environ 500 m².

b) Résultats des travaux :

Le groupe de forage F1 et F3 existant a servi d'étalon, et l'étude des sondages électriques Na1 et Na5 a conduit aux valeurs de la résistivité suivantes :

Alluvions argileux sableuses/sableux argileuse.....	5-20Ωm
Alluvions grossières.....	10-25 Ωm
Molasse gréseuse(base de l'astien).....	25-30 Ωm

Trois profils ont été réalisés sur lesquels ont été implanté 03 sondages électriques verticaux distant chacun de 100m. Ils ont été localisés entre le groupe de forage F6 /F4 et F3, la profondeur d'investigation des traînées était de 70 m.

Sur les profils électriques réalisés entre les forages F6/F4 et F3, les valeurs des résistivités n'ont guère dépassé 30 Ωm pour le réservoir utile (plio-quaternaire), alors qu'ailleurs sur la plaine, ces mêmes résistivités sont de l'ordre de 40 à 50 Ωm, ce qui indique clairement une zone d'arrivée d'eau saumâtre et conforte donc les résultats des profils de la conductivité à savoir que l'interface eau douce eau salée est bien localisé entre ces deux groupes de forage F6 /F4 et F3.

Intrusion marine dans la nappe de l'oued Nador

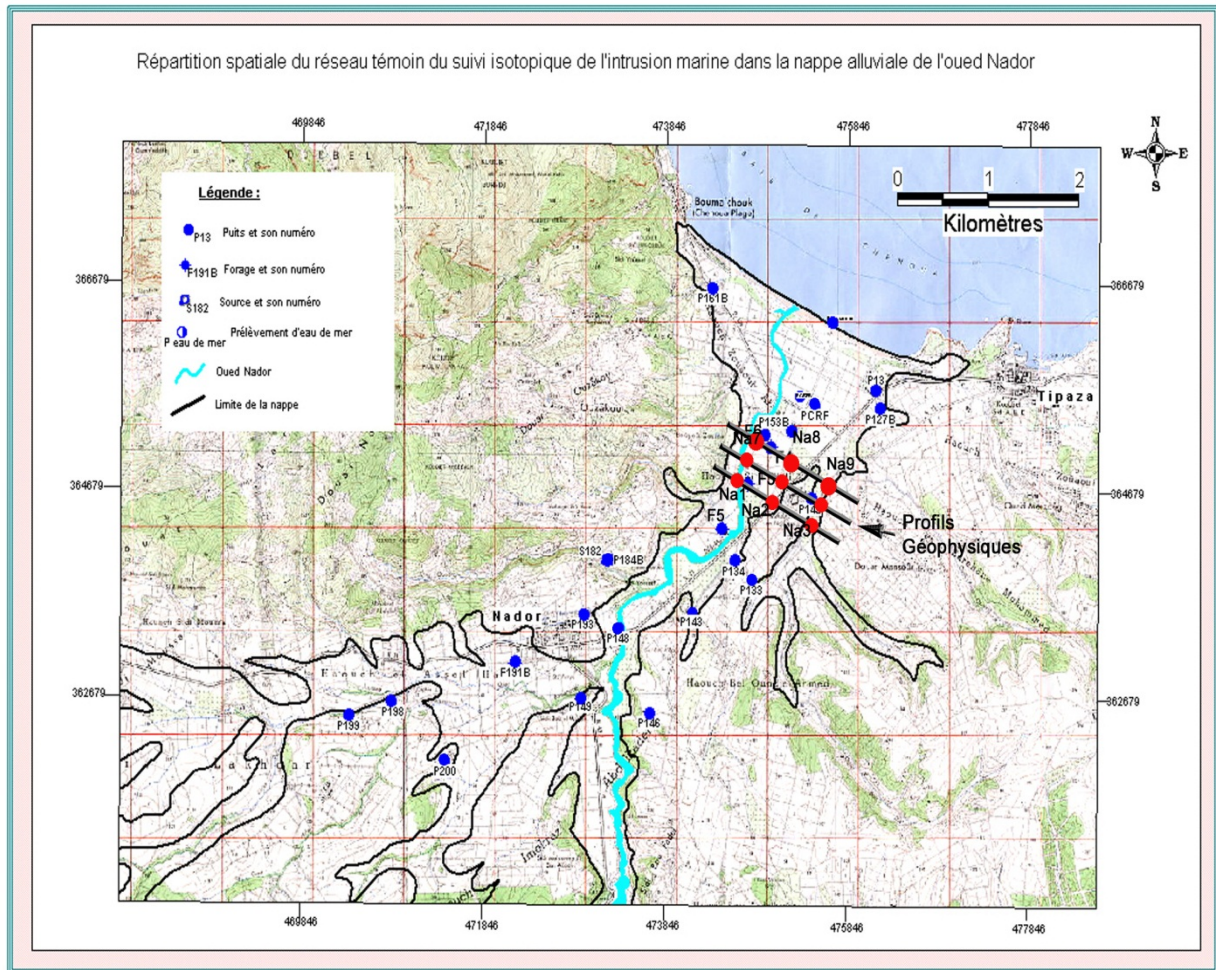


Fig.24.Profil de géophysique. [5]

D-Approche isotopique de l'étude de l'interface eau douce / eau salée:

Introduction :

Au cours de ces trente dernières années, il s'est développé à travers le monde une nouvelle méthodologie, basée sur l'application des techniques nucléaires en hydrogéologie, hydrologie, géologie, hydraulique, agronomie, géochimie pétrolière, climatologie, etc. Ce créneau très porteur a déjà fait ses preuves, est devenu de nos jours l'un des principaux outils de recherche appliquée en science de l'eau principalement. La capacité de cette nouvelle discipline, à acquérir des informations très difficiles ou impossibles à obtenir par les méthodes classiques ont tellement apporté et contribué à une meilleure gestion des ressources en eau en général et souterraines en particulier.

En hydrologie et hydrogéologie, les principes et domaines d'application de ces techniques sont aussi nombreux que variés, nous pouvons citer à ce titre quelques exemples:

Eaux souterraines :

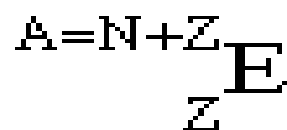
- recharge qualitative et quantitative des nappes
- localisation des zones de recharge
- relation eau de surface et eau souterraine
- drainance et mélanges entre aquifères
- datations, temps de séjour, vitesse et direction d'écoulement
- intrusion des eaux marines en zones côtières

IV-11-Quelques rappels sur les isotopes :

IV-11-1-Définition :

On appelle isotopes l'ensemble des atomes d'un élément chimique dont les noyaux contiennent le même nombre de protons Z , mais des nombres de neutrons N différents, d'où un nombre de nucléons A différent ($A = N + Z$).

Notation : En haut à gauche le nombre de nucléons A et en bas à gauche le nombre de protons Z , soit :



Intrusion marine dans la nappe de l'oued Nador

Où **E** représente le symbole de l'élément chimique.

Exemple pour l'eau H_2O :

L'isotope de l'oxygène le plus commun est $^{16}_8O$ puis $^{18}_8O$ et $^{17}_8O$.

L'isotope de l'hydrogène le plus abondant est 1_1H puis 2_1H (Deutérium) puis 3_1H (Tritium).

Plus simplement par commodité d'écriture on n'écrit que le nombre de nucléons en haut à gauche, c'est à dire $^A E$. Propriétés

1) Stabilité – Instabilité :

Certains isotopes sont stables, d'autres se désintègrent au cours du temps en un autre élément en donnant de l'énergie sous forme d'émission de rayonnement, ils sont appelés radioactifs ou instables.

Exemple pour l'eau H_2O :

^{16}O , ^{17}O , ^{18}O et 1H , 2H sont stables.

3H est instable : $^3H \Rightarrow ^3He$ (Hélium) + β^- (rayonnement)

2) Abondance relative des isotopes stables de l'oxygène et de l'hydrogène sur le globe :

Oxygène (%)	Hydrogène (%)
^{16}O : 99,76	1H : 99,98
^{17}O : 0,04	2H : 0,02
^{18}O : 0,20	/

On distingue ainsi les isotopes abondants et les isotopes rares, les isotopes légers et les isotopes lourds.

3) Dans l'eau naturelle sont présentes différentes molécules en fonction de la combinaison des différentes espèces isotopiques :

$^1H_2^{16}O$, $^1H^2H^{16}O$, $^2H_2^{16}O$, $^1H_2^{18}O$, $^1H^2H^{18}O$, $^2H_2^{18}O$ cette dernière molécule d'eau est la plus lourde ("eau lourde").

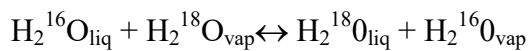
Le dosage de ces différentes molécules se fait par spectrométrie de masse.

4) Les isotopes ont le même cortège électronique et un nombre de masse différent. D'où les mêmes propriétés chimiques* alors que les propriétés physiques sont différentes, par exemple la densité, le masse molaire, la température d'ébullition et de fusion, la pression de vapeur saturante, la viscosité, le coefficient de diffusivité,

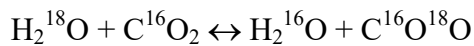
* Mais il est à noter que la cinétique chimique diffère suivant la masse.

5) Les isotopes peuvent s'échanger entre deux phases d'un même produit ou entre deux composés comportant le même élément sans aucune autre réaction.

Exemple de l'équilibration isotopique entre l'eau et sa vapeur, cas de l'oxygène :



Exemple de l'équilibration entre de l'eau et du dioxyde de carbone :



Cet équilibre est le fondement de la méthode d'équilibration avec du CO_2 pour la mesure du rapport isotopique $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ dans l'eau.

IV-11-2- Travaux réalisés dans le cadre du projet :

La méthodologie consiste donc à prélever des échantillons d'eau dans forages, des puits ou des sources et de déterminer leur teneur en isotopes stables, ce qui permettra de déterminer l'origine de cette eau (eau de mer, eau de pluie, un mélange entre différentes masses d'eau, etc.).

Pour la vallée de l'Oued Nador tous les points d'eau du réseau retenu ont été analysés en oxygène 18 et en deutérium . [5]

IV-11-3-Teneurs en isotopes stables des eaux de la vallée :

Les teneurs en Oxygène-18 et Deutérium des eaux prélevés sur la nappe plio-quaternaire sont très dispersées et reflètent le phénomène d'intrusion marine. Les valeurs qui ont été mesurées sur 24 points d'eau varient entre -6.74 ‰ (puits P161bis) et $+2.74 \text{ ‰}$ (Eau de mer) pour les $\delta^{18}\text{O}$ et -41.5 et $+12.7 \text{ ‰}$ pour les $\delta^2\text{H}$. [GUENDOZ ET AL, 2007]

Sur le diagramme $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ (Fig.25), les points d'eau se répartissent selon deux groupes. Le premier se répartit près des eaux de pluies actuelles et compose de forage et de puits n'ayant pas subi d'évaporation ni de mélange avec les eaux de mer, il s'agit des forages et puits situés en amont du forage F3. Un deuxième groupe dont les points se répartissent selon une droite de mélange avec l'eau de mer (forages et puits concernées par l'intrusion)

avec une tendance à l'évaporation pour certains (puits CRF ; Centre de repos Familial). [3]

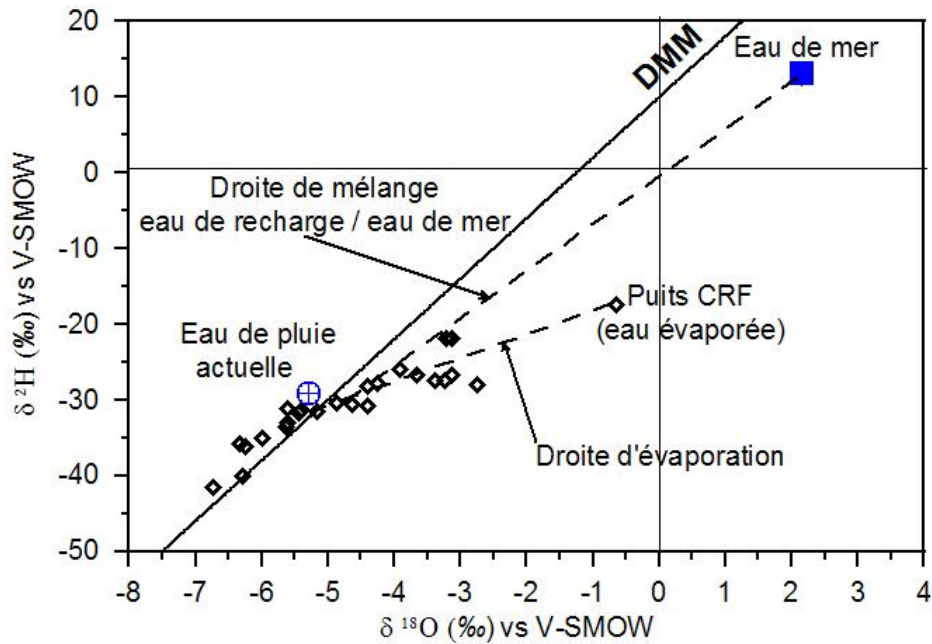


Fig.25. Relation $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ des eaux de la vallée de l'Oued Nador.

IV.11.4. Localisation de l'interface eaux douce /eau salé

Les différentes approches utilisées (piézométrique, géophysique, hydrochimique et nucléaire) pour caractériser la localisation et l'extension ont toutes convergé quant à la zone d'extension du biseau sur la vallée de l'oued Nador : Les puits superficiels même situés près de la côte ne sont pas très touchés par le phénomène pour des raisons de profondeurs. Quant au forage et sous l'effet de l'exploitation intenses durant les vingt dernières années ont fait appel à l'eau de mer ce qui a provoqué une contamination quasi généralisé sur la partie avale de la vallée notamment autour des forages F2, F12, F6, F1 qui ont été tous abandonnés durant les cinq dernières années. A l'état actuel l'interface est toujours là et sa localisation à partir de cette étude a été fixé avec précision entre le forage F4 et F3 avec une zone de transition. (Fig.26).

Intrusion marine dans la nappe de l'oued Nador

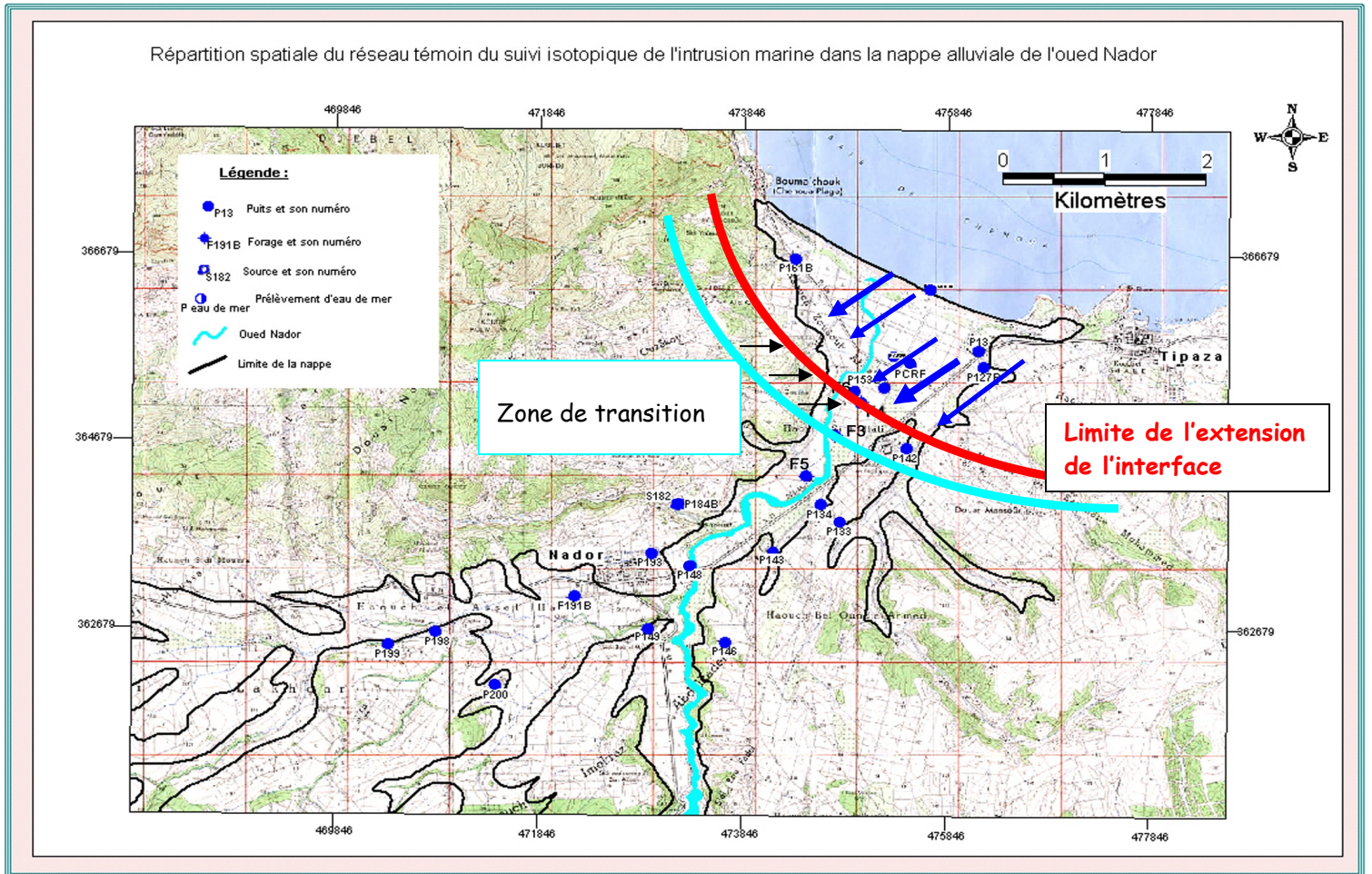


Fig.26. Carte de situation de la limite d'extension de l'interface eau douce eau salée.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] – **c. castany** : principes et méthodes de l'hydrogéologie et [http : www.e-geologie.org](http://www.e-geologie.org)
- [2] – **MESBAH.M (1981)** : Contribution à l'étude hydrogéologique de la basse vallée de l'oued Nador.
- [3] – **SAPIN.S (1960)** : Alimentation en eau potable d'une cité musulmane au sud de Tipaza.
- [4] – **ANRH. SOUMAA (1998)**: Ressources en eaux et en sols de la wilaya de Tipaza.
- [5] – **GUENDOUZ et AL, (2007)** : Etude de l'intrusion marine des aquifère côtière par les techniques hydrochimiques et isotopiques : Rapport ONEDD (office nationale de l'environnement et du développement durable, 100 projets.
- [6] – **ANRH : SOUMAA(2010)** : rapport de mission de terrain, sur le suivi de la nappe d'oued Nador.
- [7] – **CGG** (compagne générale de géophysique 1967 : rapport sur la projection électrique de la Mitidja : 1967).

Conclusion générale :

Conclusion :

La plaine alluviale du l'oued Nador constitue un aquifère vulnérable à l'invasion par les eaux de mer.

L'examen des données hydrodynamiques, géophysiques, et hydrochimiques met l'accent sur la portée de la pénétration du biseau salé et de la situation approximative de l'interface (eau douce/ eau salée). Pour lutter ce phénomène, on peut adapter quelque méthode :

▪ Méthodes utilisées pour lutter contre l'invasion marine :

Les méthodes les plus récentes qui sont utilisées pour lutter contre l'avancé de l'eau de mer sont celles proposées par D.K. Todd, ces méthodes se basent sur des techniques qui agissent sur le niveau piézométrique de la nappe.

🚧 La modification des pompages (Fig.27. a):

C'est la méthode la plus directe pour lutter contre ce problème, elle consiste à limiter les Pompages de façon à garder un niveau piézométrique minimal qu'il ne faut pas dépasser, mais elle est ni la plus efficace ni la plus rationnelle. Il est déjà plus adroit de réaliser des forages loin du bord de la mer en arrière du coin d'intrusion.

🚧 La recharge artificielle (Fig.27. b):

La méthode consiste à alimenter la nappe par l'injection de l'eau douce dans les ouvrages ou par épandage en surface. Ainsi le niveau de la nappe va remonter et le coin de l'intrusion va se réduire.

🚧 La ligne de rabattement parallèle à la côte (Fig.27. c):

Elle permet de stabiliser l'interface à une certaine distance du rivage, dans la pratique elle consiste à implanter des forages en ligne parallèle à la côte, et par pompage simultané la ligne de rabattement sera créée. L'inconvénient de cette méthode réside dans le fait qu'elle extrait une partie de l'eau douce et augmente la longueur de l'invasion marine sous la nappe d'eau douce.

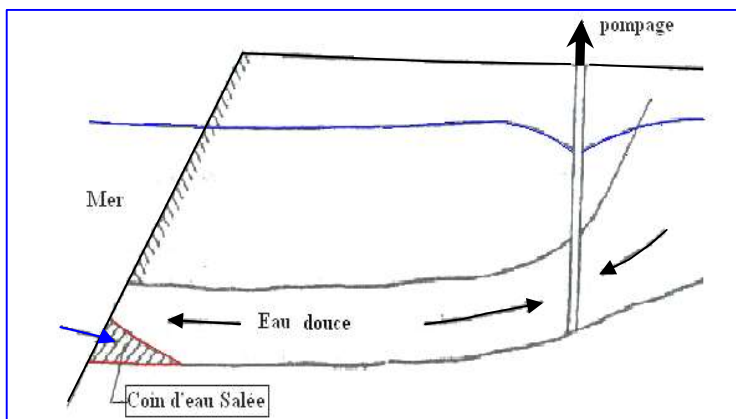


Fig.27. a : Forage implanté loin du rivage.

Conclusion générale

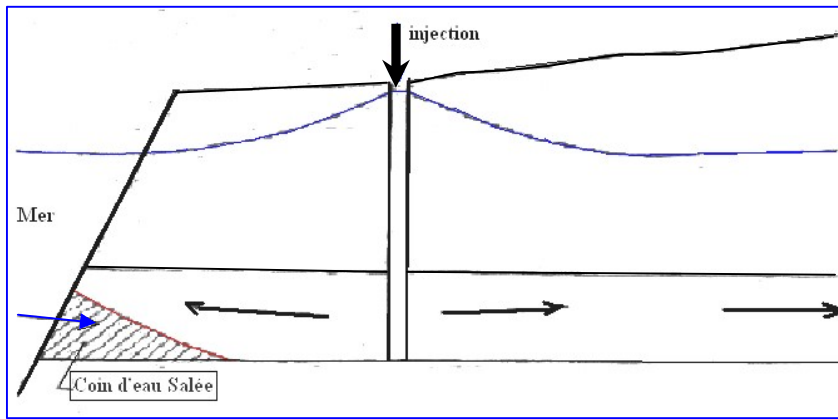


Fig.27.b : Recharge artificielle.

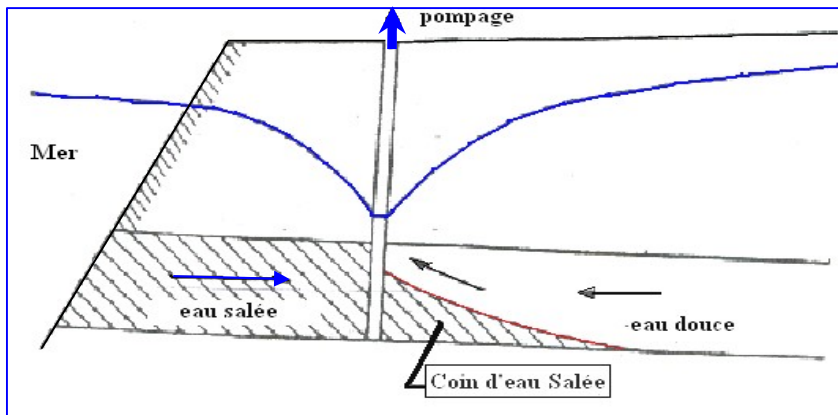


Fig.27. c : Ligne de rabattement parallèle à la côte (D'après D.K. Todd).

Recommandation :

Une meilleure compréhension des problèmes hydrogéologiques de la région s'impose afin de porter les solutions adéquates. Dans cette optique, nous recommandons :

- L'installation de stations hydrométriques en amont et en aval du lit de l'oued Nador et l'élaboration des jaugeages différentiels pour reconnaître son régime, l'exhaure et l'étude de la relation oued – nappe.
- Mener une campagne de sensibilisation des habitants et des agriculteurs exploitant la nappe en leur expliquant les causes et les conséquences qui résultent d'une intrusion marine afin de respecter les débits d'exploitation pour éviter l'épuisement des ressources dû à la surexploitation de la nappe.
- L'étouffement du réseau de surveillance par des piézomètres plus profonds en aval et en amont de la plaine, pour un suivi plus rigoureux des fluctuations de la nappe et de la qualité physico-chimique des eaux, afin de détecter l'influence de l'intrusion marine.
- Identification et diagnostic des forages abandonnés, dans lesquels on peut installer des appareils de surveillance du niveau statique et de conductivité, afin de suivre l'avancé du biseau salé.
- Faire un suivi de la station de prise qui est installée dans l'oued Nador pour alimenter le barrage de Boukerdane, et ce pour savoir son influence sur l'état de la nappe de l'oued Nador. D'où une prise de contact avec les directions responsables est importante.
- D'élaborer des procédures de recharge et de réalimentation artificielle de la nappe par un réseau d'infiltration selon la nature de la nappe.
- Installation d'une station de traitement des eaux usées à la sortie des rejets effectués dans la partie amont de l'oued Nador à partir des villages de Hadjout et Nador.

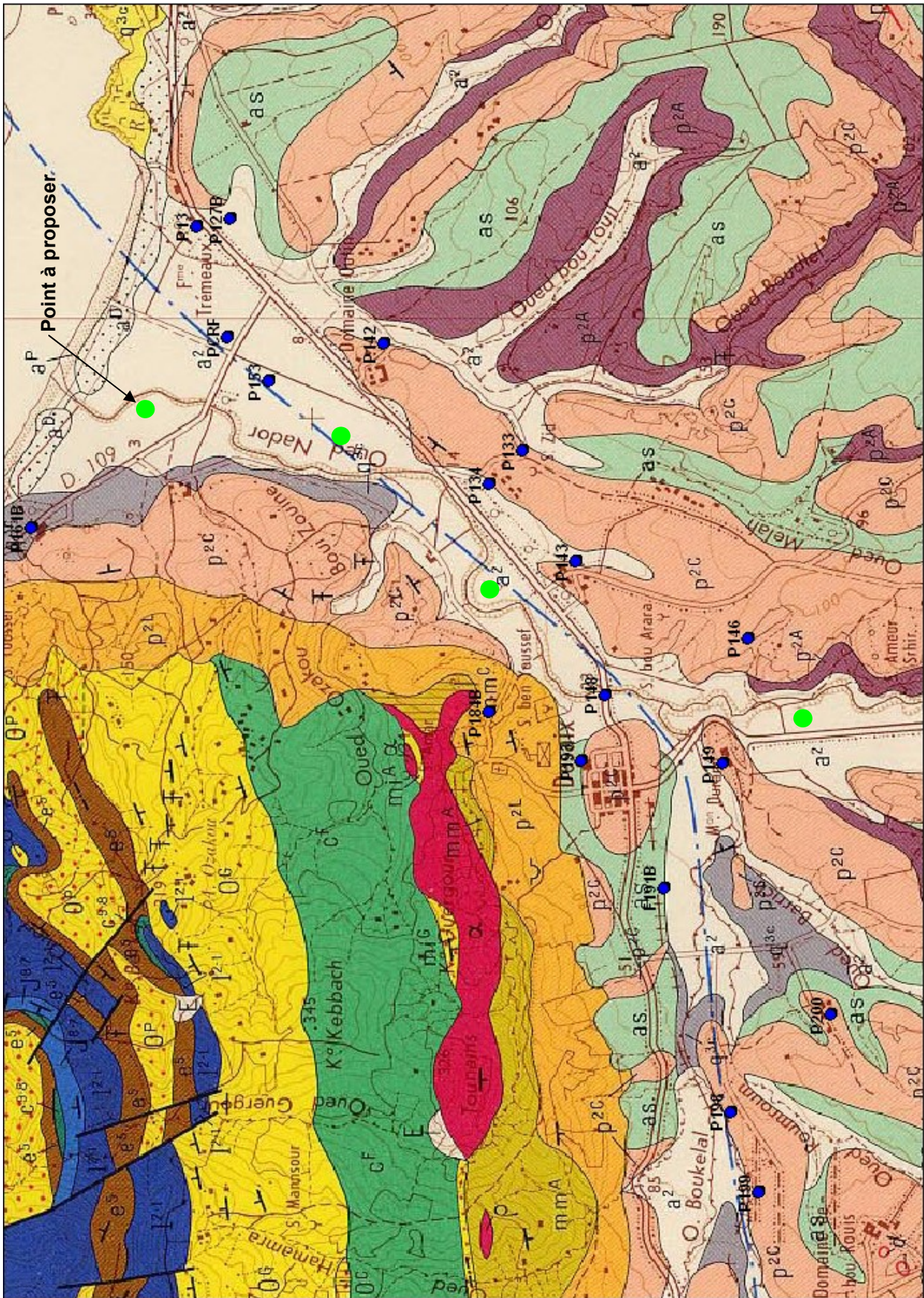


Fig.28. les points proposés pour le nouveau réseau.

ANNEXE

Résultats des analyses chimiques pour toutes les campagnes (2003 à 2010)

Point d'eau	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	HCO3 (mg/l)	NO3 (mg/l)	C.E (m mhos/cm)	Minéralisation (mg/l)	R.sec à 105° (mg/l)	pH	TH
P124	141	38	100	1	190	153	296	55	1.38	856	945	7.2	51
P130	193	65	125	1	328	158	354	68	2.44	1513	1556	7.8	76
P142	178	68	260	2	385	270	506	62	2.46	1525	1644	7.4	73
P153B	366	115	280	5	725	525	552	23	4.11	2548	2584	7.3	139
P161B	239	172	875	10	1920	200	311	42	6.53	4049	3727	7.5	131
P193	180	27	170	1	349	142	214	99	1.85	1147	1161	7.5	57
P199	194	43	140	4	355	167	336	14	1.87	1159	1149	7.4	67

Tableau N° 1 : Résultats des analyses physico- chimiques des eaux de la nappe de l'oued Nador 2003.

Annexe

Point d'eau	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	HCO3 (mg/l)	NO3 (mg/l)	CE (mmhos/cm)	Minéralisation (mg/l)	R.sec à 105° (mg/l)	pH	TH (F°)
PCRF	132	66	170	12	392	180	320	10.0	1.95	1,209	1,226	7.70	61
P13	152	69	355	6	415	350	475	46.0	2.70	1,674	1,795	7.80	67
P127	182	44	128	0	172	258	450	85.0	1.75	1,085	1,241	7.80	64
P133	178	27	155	0	392	110	211	15	1.73	1,073	1,049	7.50	56
P134	177	25	65	0	183	120	254	140.0	1.34	831	916	7.40	54
P142	128	82	240	0	375	235	462	110.0	2.32	1,438	1,548	7.60	66
P143	176	36	95	0	165	133	385	170.0	1.52	942	1,082	7.60	59
P147	187	30	130	0	325	142	323	0.0	1.68	1,042	1,075	7.50	59
P153	157	92	225	0	328	430	570	7.0	2.51	1,556	1,722	7.50	77
P161	285	207	790	6	1,815	305	408	24.0	6.58	4,08	3,778	7.70	157
P184B	152	67	115	0	292	158	337	80.0	1.75	1,085	1,136	7.90	66
F191B	179	71	120	0	345	115	409	12.0	1.85	1,147	1,158	7.70	75
P193	173	25	175	4	371	175	227	0.0	1.79	1,11	1,114	7.70	54
P198	203	94	158	0	425	190	428	57.0	2.30	1,426	1,459	7.10	90
P199	197	59	150	0	392	163	394	23.0	2.05	1,271	1,249	7.30	74
P200	248	72	200	0	493	205	462	63.0	2.60	1,612	1,628	7.90	92

Tableau N°2 : Résultats des analyses physico- chimiques des eaux de la nappe de l'oued Nador mai-2004.

Annexe

Point d'eau	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	HCO ₃ (mg/l)	NO3 (mg/l)	CE (mmhos/cm)	Minéralisation (mg/l)	R.sec à 105° (mg/l)	pH	TH (F°)
PCRf	132	66	170	12	392	180	320	10	1.95	1,209	1,226	7.70	61
P13	152	69	355	6	415	350	475	46	2.70	1,674	1,795	7.80	67
P127	182	44	128	0	172	258	450	85	1.75	1,085	1,241	7.80	64
P133	178	27	155	0	392	110	211	15	1.73	1,073	1,049	7.50	56
P134	177	25	65	0	183	120	254	140	1.34	831	916	7.40	54
P142	128	82	240	0	375	235	462	110	2.32	1,438	1,548	7.60	66
P143	176	36	95	0	165	133	385	170	1.52	942	1,082	7.60	59
P147	187	30	130	0	325	142	323	0	1.68	1,042	1,075	7.50	59
P153	157	92	225	0	328	430	570	7	2.51	1,556	1,722	7.50	77
P161	285	207	790	6	1,815	305	408	24	6.58	4,08	3,778	7.70	157
P184B	152	67	115	0	292	158	337	80	1.75	1085	1,136	7.90	66
F191B	179	71	120	0	345	115	409	12	1.85	1,147	1,158	7.70	75
P193	173	25	175	4	371	175	227	0	1.79	1,11	1,114	7.70	54
P198	203	94	158	0	425	190	428	57	2.30	1,426	1,459	7.10	90
P199	197	59	150	0	392	163	394	23	2.05	1,271	1,249	7.30	74
P200	248	72	200	0	493	205	462	63	2.60	1,612	1,628	7.90	92

Tableau N°3 : Résultats des analyses physico- chimiques des eaux de la nappe de l'oued Nador sept-2004.

Annexe

Point d'eau	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	HCO3 mg/l	NO3 mg/l	CE mmhos	Minéralisation mg/l	R.Sec mg/l	pH	TH °F
P-153	300	107	232	2	600	431	476	29	3,26	2 021	2 147	6,8	120
P-133	201	54	273	2	333	258	392	125	2,5	1 550	1 962	7,4	73
P-142	155	46	251	2	268	274	469	61	2,11	1 308	1 492	7,6	58
P-146	162	23	216	2	279	167	393	64	1,88	1 166	1 335	7,6	50
P-199	186	19	189	2	286	156	381	9	1,79	1 110	1 281	7	54
P-200	238	29	245	2	397	212	426	49	2,22	1 376	1 677	7,1	72
P-191	170	31	151	2	324	111	400	13	1,79	1 110	1 290	7	55
P-184	160	32	152	3	266	146	398	50	1,69	1 048	1 223	7	53
P-193	150	25	115	2	179	172	361	110	1,69	1 048	1 293	7,1	48
P-13	153	34	191	5	224	204	401	61	1,87	1 159	1 274	7,5	52
P-161	145	32	233	6	288	191	415	40	1,92	1 190	1 360	7,3	50
P-149	240	28	125	2	306	157	303	77	1,99	1 234	1 219	7,3	72

Tableau N°4: Résultats des analyses physico- chimiques des eaux de la nappe de l'oued Nador 2009.

Annexe

Point d'eau	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	HCO3 mg/l	NO3 mg/l	CE μ S/cm	Minéralisation mg/l	R.Sec mg/l	pH
P-153	355	143	246	1	750	625	458	31,0	4 900	3 038	3 203	7,1
P-133	229	48	223	3	380	235	571	100,0	2 510	1 556	1 640	7,5
P-146	174	29	223	3	310	155	515	60,0	2 000	1 240	1 169	7,4
P-199	169	24	163	3	246	143	488	15,0	1 739	1 078	1 046	7,6
P-200	243	31	199	3	395	195	367	54,0	2 440	1 513	1 543	7,8
P-191	93	31	199	4	319	75	323	10,0	1 802	1 117	1 198	7,7
P-CRF	79	27	114	3	95	113	314	0,0	1 100	682	680	8,2
P-127B	187	29	146	3	156	192	573	32,0	1 900	1 178	1 392	7,9
P-134	242	28	137	3	189	143	497	165,0	2 200	1 364	1 405	7,9

Tableau N°5 : Résultats des analyses physico- chimiques des eaux de la nappe de l'oued Nador 2010.

Annexe

Points d'eau	Unité	Cations					Anions						Classification d'après Stabler		
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Σr ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻	Σr ⁻	Ordre décroissant	type d'eau	
P 124	mg/l	141	38	100	1	14.58	190	153	296	55	0	13.84	Cl ⁻ >HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ²⁻ >NO ₃ ⁻ >CO ₃ ⁻	Chlorurée calcique	
	meq/l	7.05	3.16	4.35	0.02		5.35	3.19	4.41	0.89	0				Ca ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺ >Mg ²⁺
	r%	24.81	11.12	15.31	0.07		18.82	11.22	15.52	3.13	0				
P 130	mg/l	193	65	125	1	20.52	328	158	354	68	0	19.43	Cl ⁻ >HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ²⁻ >NO ₃ ⁻ >CO ₃ ⁻ Ca ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺ >Mg ²⁺	Chlorurée calcique	
	meq/l	9.65	5.42	5.43	0.02		9.24	3.29	5.80	1.1	0				
	r%	24.15	13.57	13.59	0.05		23.13	8.23	14.52	2.75	0				

Annexe

P 142	mg/l	178	68	260	2		385	270	506	62	0		Cl ⁻ >HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ²⁻ > NO ₃ ⁻ >CO ₃ ⁻ Na ⁺ +K ⁺ >Ca ²⁺ >Mg ²⁺	Chlorurée sodique
	meq/l	8.9	5.67	11.3	0.05	25.92	10.84	5.62	8.29	1	0	25.75		
	r%	17.22	10.97	21.87	0.1		20.98	10.88	16.04	1.93	0			
P 153B	mg/l	366	115	280	5		725	525	552	23	0		Cl ⁻ >SO ₄ ²⁻ >HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻ >CO ₃ ⁻ Ca ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺ >Mg ²⁺	Chlorurée calcique
	meq/l	18.3	9.58	12.17	0.13	40.18	20.42	10.94	9.05	0.37	0	40.78		
	r%	22.60	11.83	15.03	0.16		25.22	13.51	11.18	0.46	0			
P161B	mg/l	239	172	875	10		1920	200	311	42	0		HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ²⁻ >NO ₃ ⁻ > Cl ⁻ >CO ₃ ⁻ Na ⁺ +K ⁺ >Mg ²⁺ >Ca ²⁺	Chlorurée sodique
	meq/l	11.95	14.33	38.04	0.26	64.58	54.08	4.17	5.1	0.68	0	64.03		
	r%	9.29	11.14	29.58	0.2		42.05	3.24	3.96	0.53				
P193	mg/l	180	27	170	1		349	142	214	99	0		Cl ⁻ >HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ²⁻ > NO ₃ ⁻ >CO ₃ ⁻ Ca ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺ >Mg ²⁺	Chlorurée calcique
	meq/l	9	2.25	7.39	0.02	18.66	9.83	2.96	3.51	1.6	0	17.9		
	r%	24.62	6.15	20.21	0.05		26.89	8.1	9.6	4.38	0			

Annexe

P199	mg/l	194	43	140	4		355	167	336	14	0	19.2 1	Cl ⁻ >HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ²⁻ > NO ₃ ⁻ >CO ₃ ⁻	Chlorurée calcique
	meq /l	9.7	3.58	6.09	0.10		10	3.48	5.51	0.22	0			
	r%	25.08	9.25	15.74	0.26	19.47	25.85	8.97	14.24	0.57	0			

Tableau 06: Classification des eaux d'après la méthode de Stabler (2003).

Annexe

Point d'eau	Unités	Anions					Cations					
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Σr ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	No ₃ ⁻	CO ₃ ⁻	Σr ⁻
P124	meq/l	7.05	3.16	4.35	0.02	14.58	5.35	3.19	4.41	0.89	0	13.84
	r%	48.35	21.67	29.83	0.14		38.66	23.05	31.86	6.43	0	
P130	meq/l	9.65	5.42	5.43	0.02	20.52	9.24	3.29	5.80	1.1	0	19.43
	r%	47.03	26.41	26.46	0.1		47.55	16.93	29.85	5.66	0	
P142	meq/l	8.9	5.67	11.3	0.05	25.92	10.84	5.62	8.29	1	0	25.75
	r%	34.34	21.87	43.59	0.19		42.1	21.82	32.19	3.88	0	
P153B	meq/l	18.3	9.58	12.17	0.13	40.18	20.42	10.94	9.05	0.37	0	40.78
	r%	45.54	23.84	30.29	0.32		50.07	26.83	22.19	0.91	0	

Annexe

P161B	meq/l	11.95	14.33	38.4	0.26	64.58	54.08	4.17	5.1	0.68	0	64.03
	r%	18.50	22.19	59.46	0.40		84.46	6.51	7.96	1.06	0	
P193	meq/l	9	2.25	7.39	0.02		9.83	2.96	3.51	1.6	0	17.9
	r%	48.23	12.06	39.6	0.11	18.66	54.92	16.54	19.61	8.94	0	
P199	meq/l	9.7	3.58	6.09	0.10		10	3.48	5.51	0.22	0	
	r%	49.82	18.39	31.28	0.51	19.47	52.06	18.11	28.68	1.14	0	19.21

Tableau N° 07 : Classifications des eaux par la méthode Piper (2003).

Annexe

Point d'eau	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	HCO₃ (mg/l)	NO3 (mg/l)	CE mmhos/cm	Minéralisation (mg/l)	R.sec (mg/l)	pH	T H °F
PCRFB	132	66	170	12	392	180	320	10	1.95	1209	1226	7.70	61
P13	152	69	355	6	415	350	475	46	2.70	1674	1795	7.80	67
P127B	182	44	128	0	172	258	450	85	1.75	1085	1241	7.80	64
P133	178	27	155	0	392	110	211	15	1.73	1073	1049	7.50	56
P134	177	25	65	0	183	120	254	140	1.34	831	916	7.40	54
P142	128	82	240	0	375	235	462	110	2.32	1438	1548	7.60	66
P143	176	36	95	0	165	133	385	170	1.52	942	1082	7.60	59
P147	187	30	130	0	325	142	323	0	1.68	1042	1075	7.50	59
P153B	157	92	225	0	328	430	570	7	2.51	1556	1722	7.50	77
P161B	285	207	790	6	1815	305	408	24	6.58	4080	3778	7.70	157
P184B	152	67	115	0	292	158	337	80	1.75	1085	1136	7.90	66
F191B	179	71	120	0	345	115	409	12	1.85	1147	1158	7.70	75
P193	173	25	175	4	371	175	227	0	1.79	1110	1114	7.70	54
P198	203	94	158	0	425	190	428	57	2.30	1426	1459	7.10	90
P199	197	59	150	0	392	163	394	23	2.05	1271	1249	7.30	74
P200	248	72	200	0	493	205	462	63	2.60	1612	1628	7.90	92

Tableau n° 08 : Résultats des analyses physico-chimiques des eaux de la nappe de l'oued Nador (Avril 2004)

Annexe

Point s d'eau	Unités	Cations					Anions						Classification d'après Stabler		
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Σr ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻	Σr ⁻	Formule caractéristique	Type d'eau	
PCRF	mg/l	132	66	170	12	19.8 3	392	180	320	10	0	20.2 0	Cl ⁻ >HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ²⁻ >NO ₃ ⁻ >CO ₃ ⁻	Chloruré sodique	
	meq/l	6.61	5.52	7.39	0.31		11.04	3.75	5.25	0.16	0				Na ⁺ +K ⁺ > Ca ²⁺ >Mg ²⁺
	r%	16.51	13.79	18.46	0.77		27.58	9.37	13.11	0.40	0				
P 130	mg/l	152	69	355	6	28.9 1	415	350	475	46	0	27.5 1	Cl ⁻ >HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ²⁻ >NO ₃ ⁻ >CO ₃ ⁻	Chloruré sodique	
	meq/l	7.60	5.73	15.43	0.15		11.69	7.29	7.79	0.74	0				Na ⁺ +K ⁺ >Ca ²⁺ > Mg ²⁺
	r%	13.47	10.15	27.35	0.26		20.72	12.92	13.81	1.31	0				

Annexe

P127 B	mg/l	182	44	128	0		172	258	450	85	0		HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	Bicarbonat écalcique
	meq/l	9.12	3.66	5.57	0	18.3 4	4.85	5.38	7.38	1.37	0	18.9 7	>NO ₃ ⁻ >CO ₃ ⁻	
	r%	24.44	9.81	14.93	0		13	14.42	19.78	3.67	0		Ca ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺ > Mg ²⁺	
P 133	mg/l	178	27	155	0		392	110	211	15	0		Cl ⁻ >HCO ₃ ⁻ > SO ₄ ²⁻	Chloruré calcique
	meq/l	8.91	2.21	6.74	0	17.8 5	11.04	2.29	3.46	0.24	0	17.0 3	>NO ₃ ⁻ >CO ₃ ⁻	
	r%	25.54	6.34	19.32	0		31.65	6.56	9.92	0.69	0		Ca ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺ > Mg ²⁺	
P134	mg/l	177	25	65	0		183	120	254	140	0		Cl ⁻ >HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ²⁻ >NO ₃ ⁻ >CO ₃ ⁻	Chloruré calcique
	meq/l	8.84	2.04	2.83	0	13.7 1	5.15	2.50	4.17	2.26	0	14.0 8	Ca ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺ >	
	r%	31.81	7.34	10.18	0		36.58	17.75	29.62	16.0 5	0		Mg ²⁺	
P142	mg/l	128	82	240	0		375	235	462	110	0		Cl ⁻ >HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ²⁻ >NO ₃ ⁻ >CO ₃ ⁻	Chloruré sodique
	meq/l	6.38	6.84	10.43	0	23.6 6	10.56	4.90	7.58	1.77	0	24.8 1	Na ⁺ +K ⁺ >Mg ²⁺ >	
	r%	26.96	28.91	44.08	0		42.56	19.75	30.55	7.13	0		Ca ²⁺	

Annexe

P143	mg/l	176	36	95	0		165	133	385	170	0		$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ $> \text{NO}_3^- > \text{CO}_3^{2-}$ $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+ >$ Mg^{2+}	Bicarbonat é calcique
	meq/l	8.78	3.01	4.13	0	15.9 2	4.65	2.77	6.32	2.74	0	16.4 8		
	r%	27.10	9.29	12.75	0		14.35	8.55	19.51	8.46	0			

**Tableau n° 09 : Classification des eaux d'après la méthode de Stabler
(Avril 2004)**

Annexe

Points d'eau	Unités	Cations					Anions						Classification d'après Stabler	
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Σr ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻	Σr ⁻	Formule caractéristique	Type d'eau
P 147	mg/l	187	30	130	0		325	142	323	0	0		Cl ⁻ >HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ²⁻ >NO ₃ ⁻ >CO ₃ ⁻ Ca ²⁺ > Na ⁺ +K ⁺ >Mg ²⁺	Chloruré calcique
	meq/l	9.33	2.51	5.65	0	17.48	9.15	2.96	5.29	0	0	17.40		
	r%	26.75	7.20	16.20	0		26.23	8.49	15.17	0	0			
P 153B	mg/l	157	92	225	0		328	430	570	7	0		HCO ₃ ⁻ >Cl ⁻ >SO ₄ ²⁻ >NO ₃ ⁻ >CO ₃ ⁻ Na ⁺ +K ⁺ >Ca ²⁺ >Mg ²⁺	Bicarbonaté sodique
	meq/l	7.84	7.65	9.78	0	25.27	9.24	8.96	9.35	0.11	0	27.66		
	r%	14.81	14.45	18.48	0		17.46	16.93	17.66	0.21	0			

Annexe

P 161B	mg/l	285	207	790	6		1,81 5	305	408	24	0	64.55	Cl ⁻ >HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ²⁻	Chloruré sodique
	meq/l	14.2 5	17.24	34.3 5	0.15	66	51.1 3	6.35	6.69	0.39	0		NO ₃ ⁻ >CO ₃ ⁻	
	r%	10.9 1	13.20	26.3 1	0.11		39.1 6	4.86	5.12	0.30	0		Na ⁺ +K ⁺ >Mg ²⁺ >Ca ²⁺	
P 184B	mg/l	152	67	115	0		292	158	337	80	0	18.33	Cl ⁻ >HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ²⁻	Chloruré calcique
	meq/l	7.58	5.60	5	0	18.1 8	8.23	3.29	5.52	1.29	0		NO ₃ ⁻ >CO ₃ ⁻	
	r%	20.7 6	15.34	13.6 9	0		22.5 4	9.01	15.12	3.53	0		Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >N a ⁺ +K ⁺	
F191B	mg/l	179	71	120	0		345	115	409	12	0	19.01	Cl ⁻ >HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ²⁻ >NO ₃ ⁻ >CO ₃ ⁻	Chloruré calcique
	meq/l	8.97	5.94	5.22	0	20.1 2	9.72	2.40	6.70	0.19	0		Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >N a ⁺ +K ⁺	
	r%	22.9 2	15.18	13.3 4	0		24.8 4	6.13	17.12	0.48	0			
P193	mg/l	173	25	175	4		371	175	227	0	0	17.82	Cl ⁻ >HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ²⁻	Chloruré calcique
	meq/l	8.63	2.11	7.61	0.10	18.4 5	10.4 5	3.65	3.72	0	0		NO ₃ ⁻ , CO ₃ ⁻	
	r%	23.7 9	5.82	20.9 8	0.27		28.8 1	10.0 6	10.26	0	0		Ca ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺ >Mg ²⁺	

Annexe

P198	mg/l	203	94	158	0		425	190	428	57	0		23.86	$\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$ $> \text{SO}_4^{2-}$ $\text{NO}_3^- > \text{CO}_3^-$	Chloruré calcique
	meq/l	10.15	7.87	6.87	0	24.89	11.97	3.96	7.02	0.92	0				
	r%	20.82	16.14	14.09	0		24.55	8.12	14.4	1.89	0				
														$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$	

Tableau n° 10 : Classification des eaux d'après la méthode de Stabler (suite)

Annexe

Points d'eau	Unités	Cations					Anions						Classification d'après Stabler	
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Σr ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻	Σr ⁻	Formule caractéristique	Type d'eau
P 199	mg/l	197	59	150	0	21.25	392	163	394	23	0		Cl ⁻ >HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ²⁻ 4>NO ₃ ⁻ >CO ₃ ⁻	Chloruré calcique
	meq/l	9.85	4.88	6.52	0		11.04	3.40	6.47	0.37	0	21.28	Ca ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺ >Mg ²⁺	
	r%	23.16	11.47	15.33	0		25.96	8	15.21	0.87	0			
P 200	mg/l	248	72	200	0		493	205	462	63	0		Cl ⁻ >HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ²⁻ >NO ₃ ⁻ >CO ₃ ⁻	Chloruré calcique
	meq/l	12.42	5.98	8.70	0	27.10	13.87	4.27	7.57	1.02	0	26.73	Ca ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺ >Mg ²⁺	
	r%	23.07	11.11	16.16	0		25.77	7.93	14.06	1.89	0			

Tableau n° 11 : Classification des eaux d'après la méthode de Stabler (suite).

Annexe

Point s d'eau	Unités	Cations					Anions						Classification d'après Stabler	
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Σr ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻	Σr ⁻	Formule caractéristique	Type d'eau
P127 B	mg/l	95	61	58	1	12.37	145	242	155	70	0	12.79	SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻ >HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻ >CO ₃ ⁻	Sulfaté magnésien
	meq/l	4.75	5.08	2.52	0.02		4.08	5.04	2.54	1.13	0			
	r%	18.9	20.2	10.0	0.08		16.22	20.03	10.1	4.5	0			
P 134	mg/l	120	54	40	1		175	145	87	250	0	13.41	Cl ⁻ >NO ₃ ⁻ > SO ₄ ²⁻ >HCO ₃ ⁻ >CO ₃ ⁻	Chloruré calcique
	meq/l	6	4.5	1.74	0.02	12.26	4.93	3.02	1.43	4.03	0			
	r%	23.4	17.5	6.8	0.08		19.2	11.8	5.6	15.7	0			

Annexe

P 142	mg/l	84	50	110	1		230	210	141	82	0		$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- >$ $\text{NO}_3^- > \text{CO}_3^{2-}$ $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} >$ Mg^{2+}	Chloruré sodique
	meq/l	4.2	4.17	4.78	0.02	13.17	6.48	4.37	2.3	1.32	0	14.47		
	r%	16.4	16.2	18.6	0.08		25.24	17.02	9	5.14	0			
P 146	mg/l	77	67	125	0		325	108	113	58	0		$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- >$ $\text{NO}_3^- > \text{CO}_3^{2-}$ $\text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+ >$ Ca^{2+}	Chloruré magnésien
	meq/l	3.85	5.58	5.43	0	14.86	9.15	2.25	1.85	0.93	0	14.18		
	r%	13.2 6	19.2	18.7	0		31.5	7.75	6.4	3.2	0			
P147	mg/l	117	61	90	0		235	140	141	120	0		$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- >$ $> \text{NO}_3^- > \text{CO}_3^{2-}$ $\text{Ca}^{2+} >$ $\text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$	Chloruré Calcique
	meq/l	5.85	5.08	3.91	0	14.84	6.62	2.92	2.31	1.93	0	13.78		
	r%	20.4	17.7	13.7	0		23.13	10.2	8.1	6.7	0			

**Tableau n° 12 : Classification des eaux d'après la méthode de Stabler
(Septembre 2004)**

Annexe

Points d'eau	Unités	Cations					Anions						Classification d'après Stabler	
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Σr ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻	Σr ⁻	Formule	Type d'eau
P153B	mg/l	177	148	180	0		725	392	115	14	0		Cl ⁻ > SO ₄ ²⁻ >	Chloruré magnésien
	meq/l	8.85	12.3	7.83	0	29.01	20.42	8.17	1.88	0.22	0	30.69	HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻ > CO ₃ ⁻	
	r%	14.8	20.6	13.1	0		34.2	13.7	3.1	0.4	0		Mg ²⁺ > Ca ²⁺ > Na ⁺ + K ⁺ >	
P 161B	mg/l	142	56	180	0	19.63	428	330	160	2.5	0		Cl ⁻ > SO ₄ ²⁻ > HCO ₃ ⁻ >	Chloruré Sodique
	meq/l	7.1	4.7	7.83	0		12.06	6.87	2.62	0.04	0	21.6	NO ₃ ⁻ > CO ₃ ⁻	
	r%	17.2	11.4	19	0		29.25	16.7	6.35	0.1	0		Na ⁺ + K ⁺ > Ca ²⁺ > Mg ²⁺	
P184B	mg/l	87	66	165	0		311	195	119	77	0		Cl ⁻ > SO ₄ ²⁻ > HCO ₃ ⁻ >	Chloruré sodique
	meq/l	4.35	5.5	7.17	0	17.02	8.77	4.06	1.95	1.24	0	16.02	NO ₃ ⁻ > CO ₃ ⁻	
	r%	13.2	16.6	21.7	0		26.5	12.3	6	3.7	0		Na ⁺ + K ⁺ > Mg ²⁺ > Ca ²⁺	

Annexe

F 191B	mg/l	85	58	105	0		325	183	99	30	0		$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^- > \text{CO}_3^{2-}$ $\text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+}$	Chloruré magnésien
	meq/l	4.25	4.83	4.56	0	13.64	9.15	3.8	1.62	0.48	0	15.05		
	r%	14.8	16.8	15.9	0		31.9	13.2	5.6	1.7	0			
P 199	mg/l	103	63	120	0		342	213	118	17	0		$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^- > \text{CO}_3^{2-}$ $\text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+}$	Chloruré magnésien
	meq/l	5.15	5.25	5.22	0	15.62	9.63	4.44	1.93	0.27	0	16.27		
	r%	16.1	16.5	16.4	0		30.2	13.9	6	0.8	0			
P 200	mg/l	131	56	140	0		438	163	137	60	0		$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^- > \text{CO}_3^{2-}$ $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$	Chloruré calcique
	meq/l	6.55	4.66	6.08	0	17.29	12.34	3.4	2.24	0.97	0	18.95		
	r%	18	12.8	16.7	0		34	9.4	6.2	2.7	0			

Tableau n° 13 : Classification des eaux d'après la méthode de Stabler (suite)

Annexe

**RESEAU PIEZOMETRIQUE DE LA PLAINE ALLUVIALE D'OUED NADOR
CAMPAGNE PIEZOMETRIQUE 1993**

N° BIRH	N° Catalogue	N° Carte	Type d'ouvrage	COORDONNEES		13/06/1993
				X (Km)	Y (Km)	NS/rr (m)
W040-199	E007-9704	40	Puits	470,370	362,470	
W040-197	E007-9705	40	Puits	470,550	362,750	5,93
W040-198	E007-9706	40	Puits	470,870	362,600	2,82
W040-200	E007-9707	40	Puits	471,450	362,050	27,28
W040-191	E007-9708	40	Puits	471,950	363,500	5,70
W040-149	E007-9709	40	Puits	472,970	362,620	13,95
W040-185	E007-9710	40	Puits	473,780	364,300	11,25
W040-122	E007-9689	40	Puits	476,770	365,350	17,45
W040-195	E007-9711	40	Puits	472,650	363,000	2,33
W040-184	E007-9712	40	Puits	473,600	364,000	11,25
W040-183	E007-9713	40	Puits	473,220	364,370	5,50
W040-193	E007-9714	40	Puits	472,900	363,500	6,55
W040-154	E007-7547	40	Forage	474,280	364,270	12,93
W040-201	E007-9715	40	Puits	473,100	362,970	4,30
W040-143	E007-6806	40	Puits	474,150	363,470	8,32
W040-146	E007-9700	40	Puits	473,670	362,470	20,20
W040-147	E007-9701	40	Puits	473,570	362,420	
W040-131	E007-9698	40	Puits	474,900	363,750	13,5
W040-138	E007-9697	40	Puits	475,570	363,750	2,30
W040-136	E007-9696	40	Puits	475,270	363,870	9,80
W040-133	E007-9695	40	Puits	474,650	363,300	9,20
W040-142	E007-9699	40	Puits	475,600	364,570	8,30
W040-124	E007-9822	40	Puits	475,860	364,770	5,80
W040-126	E007-9716	40	Puits	475,950	364,420	10,22
W040-127	E007-9718	40	Puits	476,020	365,400	5,72
W040-128	E007-9690	40	Puits	475,960	365,300	6,05
W040-13	E007-9717	40	Puits	476,170	365,670	4,00
W040-150	E007-7545	40	Forage	474,920	365,100	14,95
W040-151	E007-7546	40	Forage	474,750	364,720	18,40
W040-152	E007-4197	40	Forage	474,820	365,410	11,40
W040-153	E007-5404	40	Forage	474,970	365,450	9,20
W040-153B		40	Forage	475,380	365,330	13,30
W040-161	E007-9720	40	Puits	474,150	366,650	
W040-129	E007-6804	40	Puits	475,175	364,600	
W040-144	E007-9703	40	Puits	473,820	363,520	
W040-233	E007-9692	40	Puits	474,350	362,750	
W040-234	E007-9718	40	Puits	474,325	362,250	
W040-239	E007-9693	40	Puits	474,150	361,090	
W040-235	E007-9694	40	Puits	473,950	361,425	
W040-159	E007-9702	40	Puits	474,950	366,400	

Annexe

**RESEAU PIEZOMETRIQUE DE LA PLAINE ALLUVIALE DE OUED NADOR
CAMPAGNE PIEZOMETRIQUE 1994**

N° BIRH	N° Catalogue	N° Carte	Type d'ouvrage	COORDONNEES		18/07/1994
				X (Km)	Y (Km)	NS/rr (m)
W040-199	E007-9704	40	Puits	470,370	362,470	12,00
W040-197	E007-9705	40	Puits	470,550	362,750	6,22
W040-198	E007-9706	40	Puits	470,870	362,600	2,65
W040-200	E007-9707	40	Puits	471,450	362,050	24,30
W040-191	E007-9708	40	Puits	471,950	363,500	9,27
W040-149	E007-9709	40	Puits	472,970	362,620	14,14
W040-185	E007-9710	40	Puits	473,780	364,300	11,20
W040-122	E007-9689	40	Puits	476,770	365,350	17,32
W040-195	E007-9711	40	Puits	472,650	363,000	3,81
W040-184	E007-9712	40	Puits	473,600	364,000	4,70
W040-183	E007-9713	40	Puits	473,220	364,370	SEC
W040-193	E007-9714	40	Puits	472,900	363,500	8,20
W040-154	E007-7547	40	Forage	474,280	364,270	
W040-201	E007-9715	40	Puits	473,100	362,970	6,50
W040-143	E007-6806	40	Puits	474,150	363,470	8,75
W040-146	E007-9700	40	Puits	473,670	362,470	23,35
W040-147	E007-9701	40	Puits	473,570	362,420	11,80
W040-131	E007-9698	40	Puits	474,900	363,750	13,90
W040-138	E007-9697	40	Puits	475,570	363,750	
W040-136	E007-9696	40	Puits	475,270	363,870	16
W040-133	E007-9695	40	Puits	474,650	363,300	11,90
W040-142	E007-9699	40	Puits	475,600	364,570	
W040-124	E007-9822	40	Puits	475,860	364,770	7,30
W040-126	E007-9716	40	Puits	475,950	364,420	SEC
W040-127	E007-9718	40	Puits	476,020	365,400	REMBLAYE
W040-128	E007-9690	40	Puits	475,960	365,300	REMBLAYE
W040-13	E007-9717	40	Puits	476,170	365,670	4,45
W040-150	E007-7545	40	Forage	474,920	365,100	15,15
W040-151	E007-7546	40	Forage	474,750	364,720	15,65
W040-152	E007-4197	40	Forage	474,820	365,410	
W040-153	E007-5404	40	Forage	474,970	365,450	11,00
W040-153B		40	Forage	475,380	365,330	23,40
W040-161	E007-9720	40	Puits	474,150	366,650	4,65
W040-129	E007-6804	40	Puits	475,175	364,600	SEC
W040-144	E007-9703	40	Puits	473,820	363,520	12,86
W040-233	E007-9692	40	Puits	474,350	362,750	18,00
W040-234	E007-9718	40	Puits	474,325	362,250	16,60
W040-127B		40	Puits	476,275	365,425	6,50
W040-126B		40	Puits	475,800	364,500	11,30
W040-234B		40	Puits	473,950	362,005	9,81
W040-239	E007-9693	40	Puits	474,150	361,090	11,90
W040-235	E007-9694	40	Puits	473,950	361,425	16,40
W040-159	E007-9702	40	Puits	474,950	366,400	1,80
W040-191B		40	FORAGE	471,937	362,962	9,00

**RESEAU PIEZOMETRIQUE DE L'OUED NADOR COMPAGNE HAUT EAUX
(2005)**

N° BIRH	N° Catalogue	Type d'ouvrage	COORDONNEES		25-26- 27/04/2005	OBS
			X (Km)	Y (Km)	NS/rr (m)	
W040-199	E007-9704	Puits	470,370	362,470	11,97	PE
W040-198	E007-9706	Puits	470,870	362,600	1,10	
W040-200	E007-9707	Puits	471,450	362,050	25,80	PE
W040-191B	E007-9708	Forage	472,200	363,000	ND	PE
W040-149	E007-9709	Puits	472,970	362,620	12,95	
W040-184B	E007-9712	Puits	473,300	363,990	Fermé	PE
W040-193	E007-9714	Puits	472,900	363,500	6,52	
W040-143	E007-6806	Puits	474,150	363,470	6,10	
W040-146	E007-9700	Puits	473,670	362,470	21,20	PE
W040-134		Puits	474,600	364,000	7,37	PE
W040-CRF		Puits	475,500	365,500	3,82	PE
W040-133	E007-9695	Puits	474,650	363,300	7,80	PE
W040-142	E007-9699	Puits	475,600	364,570	0,75	PE
W040-127B		Puits	476,300	365,500	2,93	PE
W040-13	E007-9717	Puits	476,170	365,670	4,30	PE
W040-153B	E007-5404	Puits	475,200	365,300	3,28	PE
W040-161B	E007-9720	Puits	474,400	366,700	8,30	
W040-148		Point pont	473,300	363,300	10,05	

Annexe

Réseau Piézométrique O. Nador (Avril 2010)

N° BIRH	N° Catalogue	Type d'ouvrage	COORDONNEES		Date	
			X (Km)	Y (Km)	10/2009	04/2010
W040-199	E007-9704	Puits	470,376	362,468	11.7	11,3
W040-200	E007-9707	Puits	471,439	362,049	25.5	22,6
W040-191B	E007-9708	Forage	472,199	362,999	5.53	4,5
W040-149	E007-9709	Puits	472,940	362,662	12.72	12,4
W040-184B	E007-9712	Puits	473,252	364,003	ferme	ferme
W040-193	E007-9714	Puits	472,958	363,476	5.8	4,3
W040-143	E007-6806	Puits	474,153	363,499	4.2	4
W040-146	E007-9700	Puits	473,693	362,508	16.6	17,1
W040-134		Puits	474,616	363,994	7.76	6,5
W040-CRF		Puits	475,500	365,499	4.25	3,8
W040-133	E007-9695	Puits	474,817	363,805	8.8	5,2
W040-142	E007-9699	Puits	475,460	364,600	2.1	1
W040-127B		Puits	476,209	365,474	3.2	2,4
W040-13	E007-9717	Puits	476,162	365,670	2.54	3
W040-153B	E007-5404	Puits	475,238	365,261	6.66	3,6
W040-161B	E007-9720	Puits	474,361	366,632	7.05	7
W040-148		Point pont	473,356	363,338	10.41	10,20