N° d'ordre

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université d'Oran

Faculté des Sciences de la Terre, de Géographie et d'Aménagement du Territoir**e**

Laboratoire : Eau et Environnement

Mémoire

Présenté pour l'obtention du grade de

Magister en sciences de la terre

Option : Hydrogéologie

MODELISATION DE LA NAPPE DE LA PLAINE DE MAGHNIA

Par :

M^{me} Sabrine BOUDJEMA, née GUETTAIA

Soutenue le 30/ 06 / 2007, devant la commission d'examen :

M^{r} BELLAREDJ.B	Professeur	Université d'Oran	Président
M^{r} BENALI. A	Maître de conférence	Université d'Oran	Rapporteur
M^{r} HAYANE. S. M	Chargé de cours	Université d'Oran	Co- Rapporteur
M^{r} STAMBOUL.M	Maître de conférence	Université de Laghoua	Examinateur

Oran

REMERCIEMENTS

Au moment de présenter ce travail, il m'est agréable d'adresser mes vifs remerciements à toutes les personnes qui m'ont aidé à le mener à terme.

Tout d'abord, j'exprime ma sincère gratitude à ***M^r^ A.BENALI*** *et à* ***M^r^ S.M HAYANE*** *pour leur précieuse contribution pédagogique et scientifique. Leurs orientations et leurs critiques constructives, tout au long de ce travail, ont été pour moi un apport considérable.*

Que ***M^r^ B.BELLAREDJ*** *trouve ici l'expression de mes chaleureux remerciements pour l'honneur qu'il me fait de présider le jury.*

Mes remerciements vont aussi à ***M^r^ M.STAMBOUL*** *pour avoir accepter de faire part du jury.*

Je suis particulièrement reconnaissante à ***M^r^ L.MEKAHLI*** *doyen de la faculté des sciences de la terre, de géographie et de l' aménagement du territoire d'Oran, pour son aide et son encouragement.*

Mes vifs remerciements vont aussi à ***M^r^ M.BENSALAH*** *chef de département des sciences de la terre de Tlemcen de m'avoir toujours intégré à son département.*

J'exprime ma gratitude à ***M^r^ BENZEGUIR*** *, directeur de l'ANB et à* ***M^r^ KIESS****, directeur de l'hydraulique de Tlemcen de m'avoir fourni l'accès à la documentation nécessaire à l'accomplissement de ce travail.*

Mes remerciements vont également :

- *A tous les enseignants et chercheurs des sciences de la terre des universités de Tlemcen et d'Oran.*
- *Aux Ingénieurs et techniciens supérieurs de l'ANRH de Tlemcen et d'Oran.*
- *Aux Ingénieurs de l'hydraulique de Tlemcen.*
- *Aux Ingénieurs de la DSA de Tlemcen.*
- *Aux Ingénieurs de l' ADE de Tlemcen.*
- *Aux personnels de l'administration de Tlemcen et d'Oran.*

J'aurai une pensée particulière pour tous mes camarades d'études, de graduation et de post-graduation ainsi qu'à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail A :

Mes chers parents, pour leurs soutiens et encouragements pendant toutes ces années d'études.

Mon cher mari, pour son encouragement, sa patience et sa compréhension.

Ma chère HAKIMA .

Mes frères et sœurs,

Toute ma famille et à ma belle famille.

Mes amies .

Tous mes collègues de promotion d'Hydrogéologie à qui je souhaite beaucoup de réussite.

Sommaire

PREMIERE PARTIE

(Considérations générales)

Avant propos

Chapitre 1 : Généralités

1- Situation géographique
2- Hydrographie
3- Morphométrie
4- Couvert végétal
5- Nature du sol

Conclusion

Chapitre2 : Etude géologique

1- Analyse litho-stratigraphique
2- Analyse structurale

Conclusion

Chapitre3 :Etude climatique

1- Historique
2- Présentation des stations choisies
3- Etude des précipitations
   3-1 Précipitations mensuelles
   3-2 Précipitations saisonnières
   3-3 Précipitations annuelles
4-Etude des températures
   4-1 Températures mensuelles
   4-2 Températures annuelles
   4-3 Régime thermique
      - Méthode ombrothermique
      - Indices climatiques
   4-4 Déficit d'écoulement
   4-5 Bilan hydrologique

Conclusion

Chapitre 4 : Hydrologie de surface

1- Caractéristiques de la station hydrométrique
2- Etude des apports
    2-1 Apports annuels
        2-1-1 Modules inter-annuels et débits spécifiques
        2-1-2 Apports annuels et lame d'eau écoulée
    2-2 Apports mensuels
        2-2-1 Débits moyens mensuels
        2-2-2 coefficients mensuels des débits

    Conclusion

Chapitre 5 : Etude géophysique

1-Programme d'exécution
2-Etude du substratum jurassique résistant
3-Etude du recouvrement
4-Les possibilités hydrogéologiques

Conclusion.

Chapitre 6 : Etude hydrogéologique

1- Historique des études
2- Caractéristiques des aquifères
3- Relations entre nappes
4- Relations nappes-oueds
5- Rôle des failles
6- La nappe du Plio-Quaternaire
7- Synthèse des études antérieures
8- Etude hydrodynamique (Nouvelles reconnaissances)
10- Bilan hydrogéologique

Conclusion

DEUXIEME PARTIE

(Modélisation mathématique)

1- Généralités sur les modèles

2- Les étapes de l'élaboration d'un modèle

3- Evaluation et préparation des données nécessaires à la mise en œuvre du modèle :
   3-1 Maillage (discrétisation du domaine)
   3-2 Géométrie de l'aquifère
   3-3Conditions aux limites (limites étanches, à débit entrant et sortant, à potentiel imposé, infiltration et ré infiltration)
   3-4 Conditions initiales
   - Géométrie du mur de l'aquifère
   - Débits mesurés des prélèvements
   - Hauteurs mesurées de la pièzométrie
   - Paramètres caractérisant la recharge et la décharge
   - Caractéristiques hydrogéologiques (T,K,S)

4- Analyse géostatistique des paramètres hydrodynamiques
   4-1Calage du modèle
   4-1 Concept de calage

5- Identification du système hydrogéologique
   5-1 Résultats du calage en régime permanent
   5-2 Tests de cohérence
   5-3 Résultats du calage en régime transitoire
   5-4 Tests de cohérence
   5-5 Analyse statistique des paramètres hydrodynamiques après calage.

6- Exploitation du modèle
   6-1 Conditions de scénarios d'exploitation
   6-2 Etat actuel
   6-3 Simulation d'un scénario d'exploitation
   6-4 Prévision à court, moyen et long terme
   6-5 Recommandations

7- Conclusion sur la modélisation

8- Conclusions générales et recommandations

9- Bibliographie

10- Annexes.

RESUME

Ces dernières années, la recharge par les précipitations a diminué à cause de la sécheresse.

Par ailleurs, l'accroissement des besoins a nécessité l'augmentation des pompages ce qui peut mener à un déséquilibre de la nappe.

Pour éviter une telle situation et pour une utilisation plus rationnelle des capacités de la nappe de Maghnia, il nous a paru nécessaire, dans le cadre de ce travail, de présenter des scénarios de gestion basés sur un modèle mathématique : A.S.M : « Aquifer Simulation Model»

Ces scénarios d'exploitation seront proposés en fonction des réponses du modèle.

ABSTRACT

These last years, the refill by precipitations decreased because of the dryness.

In addition, the increase in needs required the increase in pumpings what can lead to an imbalance of the aquifer.

To avoid such a situation and for a more rational improvement of the capacities of the aquifer of MAGHNIA, it appeared necessary to us, within the framework of this work, to present scenarios of management based on a mathematical model:

A.S.M " Aquifer Simulation Model ".

These scenarios of exploitation will be proposed according to the answers of the model.

Pourquoi des modèles ?

Depuis une vingtaine d'années, on assiste à une diversification considérable des problèmes hydrogéologiques à résoudre, surtout dans les pays industrialisés. La surexploitation des aquifères, l'enfouissement des déchets dans le sous-sol, les constructions perturbant les écoulements souterrains ou les pollutions accidentelles altèrent, de plus en plus fréquemment, la qualité et la quantité de l'eau souterraine.

La gestion et la protection de l'eau souterraine deviennent fondamentales. Or, gérer les ressources en eau, c'est comprendre le fonctionnement de l'aquifère dans les conditions naturelles et prévoir l'influence de l'intervention humaine sur la qualité de l'eau souterrraine.

Objectifs de la modélisation :

Dans les problèmes de prévision à long terme, l'expérimentation en grandeur nature n'est ni possible ni souhaitable, d'où la nécessité d'utiliser des instruments de prévision, des « simulateurs » ou des « modèles », pouvant simuler le comportement des nappes d'eau souterraines dans des conditions naturelles et sous l'effet perturbateur de l'intervention humaine.

Ces modèles ont pour but de:

- *Transmettre les connaissances sous forme synthétique,*
- *Visualiser l'influence des paramètres physiques, comme l'hétérogénéité ou l'anisotropie des perméabilités, et l'influence des conditions aux limites, comme l'hétérogénéité des infiltrations ou l'altitude des exutoires, sur les écoulements souterrains,*
- *Servir d'instrument d'expérimentation et de démonstration,*
- *Contrôler, dans une certaine mesure, la cohérence des hypothèses que l'on fait sur les propriétés physiques du milieu et sur les conditions aux limites (infiltration, pertes par évapotranspiration, niveau de la nappe) .*

PREMIERE PARTIE

« CONSIDERATIONS GENERALES »

- **CHAPITRE 1 : GENERALITES**
- **CHAPITRE 2 : ETUDE GEOLOGIQUE**
- **CHAPITRE 3: ETUDE CLIMATIQUE**
- **CHAPITRE 4 : HYDROLOGIE DE SURFACE**
- **CHAPITRE 5 : ETUDE GEOPHYSIQUE**
- **CHAPITRE 6 : ETUDE HYDROGEOLOGIQUE**

CHAPITRE 1 :



1- SITUATION GEOGRAPHIQUE : (Carte N°01)

La zone étudiée dénommée « Plaine de Maghnia » est située au Nord –Ouest de l'Algérie, à 160 km au Sud –Ouest de la ville d'Oran et à 60 km à l'Ouest de la ville des Zianides, Tlemcen.

La plaine de Maghnia, limitée à l'Ouest et au Sud par la frontière algéro-marocaine, s'étend entre les Monts de Béni-Ouassine (Monts des Traras) au Nord, les Monts de Ghar-Roubane (Monts de Tlemcen) au Sud et la vallée de la Tafna à l'Est. Sa continuité vers le Sud-Ouest constitue la plaine des Angads, située en territoire marocain.

Cartographiquement, la plaine étudiée occupe la moitié ouest de la feuille de Maghnia (N°299), déborde légèrement sur le Sud-Est de la feuille de Sidi-Boudjenane(N°268) et le Sud de la feuille de Nédroma (N°269).

2- HYDROGRAPHIE :(Carte N° 02)

Quatre Oueds transitent par la plaine de Maghnia, il s'agit de :

L'oued Mouillah : Affluant de la rive gauche de la Tafna. Il traverse le territoire marocain où il prend le nom de l'Oued Bounaim (Isly) ; Son cours d'eau intermittent redevient permanent en aval de la ville d'Oujda (Maroc). A son entrée en Algérie, il prend le nom de l'Oued Mouillah où il est permanent, il représente les 4/5 des apports au barrage de Hammam Boughrara.
Oued Mouillah est alimenté par les rejets urbains et industriels de la ville d'Oujda et de quelques petites localités avoisinantes.

L'oued Ouerdefou : Est un cours d'eau temporaire en amont de la ville de Maghnia, permanent en aval, il draine les eaux usées urbaines de cette ville et les eaux de certaines activités industrielles dont principalement : « L'entreprise nationale des produits miniers non ferreux et des substances utiles ENOF », située en plein centre urbain de la ville de Maghnia. L'Ouerdefou déverse dans l'oued Mouillah et conflue avec la Tafna à une altitude de 260m à l'intérieur de la retenue actuelle du barrage de Hammam Boughrara.

L'oued Abbès : Alimenté par les rejets industriels de Maghnia –Est, particulièrement :

- Le complexe des corps gras « ENCG »
- La maïserie « Tafna »
- La céramique « CERTAF»

Oued Abbès déverse dans l'Ouerdefou en aval et à quelques kilomètres de la ville de Maghnia.

Les oueds ***Méhaguène*** et ***Aouina***, souvent à secs, ne sont que des torrents à la suite d'épisodes orageux anachroniques.

3- MORPHOMETRIE DU SOUS BASSIN VERSANT DE MOUILLAH :

Les paramètres morphométriques interviennent dans les modalités de l'écoulement.

3-1 Paramètres géométriques :

Superficie	S = 2650 km²
Périmètre	P = 230m
Indice de compacité de Gravelus	Kc=1,25 Cette valeur traduit un allongement du B.V et un développement d'une érosion linéaire. Puisque le Kc est supérieur à 1,12 et d'après Gravellus, le B.V peut être représenté par un rectangle équivalent.
Rectangle équivalent	L=81,63km l=32,46km

Source :Korti F.N(1998)

3-2 Paramètres du réseau hydrographique :

Densité de drainage	Dd=ΣL/S =0,16km/km² L : longueur cumulée de tous les talwegs en km Le BV est assez bien drainé, il contribue dans l'alimentation en eau. L'importance du drainage est due principalement à la nature des formations qui constituent le BV ainsi qu'aux pentes assez fortes des versants d'une part et d'autre part, au régime climatique caractérisé par son aridité et ses pluies irrégulières. Les valeurs de la densité de drainage sont faibles dans la région des plaines en raison de la tectonique moins prononcée.
Rapport de confluence	Rc=Nn/N(n+1) Rc=3,88 Nn : nombre de cours d'eau d'ordre n Si la valeur de Rc > 2 le BV est mal hiérarchisé.
Rapport de longueur	Rl =L(n+1)/Ln Rl =2,35 Ln : longueur de cours d'eau d'ordre n

Source :Korti F.N(1998)

3-3 Paramètres du relief :

Indice de pente de Roche	Ip= 0,116
Indice de pente global	Ig=0,0122 Selon la classification de l'ORSTOM, le relief est modéré (0,01<Ig<0,02)m/km

Source :Korti F.N(1998)

4-MORPHOMETRIE DU SOUS BASSIN VERSANT DE L'OUERDEFOU :

3-1 Paramètres géométriques :

Superficie	S = 642,449 km²
Périmètre	P = 130km
Indice de compacité de Gravelus	Kc=1,447 Cette valeur traduit un allongement du B.V et un développement d'une érosion linéaire. Puisque le Kc est supérieur à 1,12 et d'après Gravellus, le B.V peut être représenté par un rectangle équivalent.
Rectangle équivalent	L=53,481km l=12,012km

Source :Ameur et Saâd,(1990)

3-2 Paramètres du réseau hydrographique :

Densité de drainage	Dd=ΣL/S =0,508 km/km² L : longueur cumulée de tous les talwegs en km Le BV est assez bien drainé.
Rapport de confluence	Rc=Nn/N(n+1) Rc=2,66 Nn : nombre de cours d'eau d'ordre n Rc > 2 le BV est mal hiérarchisé.
Rapport de longueur	Rl =L(n+1)/Ln Ln : longueur de cours d'eau d'ordre n Rl =2,21

Source : Ameur et Saâd,(1990)

3-3 Paramètres du relief :

Indice de pente global	Ig=13m/km

Source : Ameur et Saâd,(1990)

On a établi quatre classes de pentes, calculées selon la formule suivante :

$$Pm\ \% = \frac{H}{D} \times 100$$

Pm : Pente moyenne (en %)

H : La distance entre deux courbes de niveau

D : Dénivelée

Le tableau ci-dessous représente les quatre classes de pente qui ont été retenues pour faire valoir les degrés de déclivité du relief des zones constituant le bassin versant, et caractérisent la morphologie des lieux.

Tableau N° 1 **: Les différentes classes de pentes**

Classes de pente	Zones caractérisées	**Pentes(%)**	**Résistance**
	Vallées, plaines et plateaux	0% - 3%	Arrachage faible
	Plateaux vallonnés, et bas piémonts.	3% - 12,5%	Résistance moyenne à l'érosion
	Hauts piémonts, et zones de colline	12,5% - 25%	Ecoulement pouvant provoquer certains dégâts
	Relief accidenté : zones de montagnes	Supérieur à 25%	Ruissellement superficiel entraînant un arrachage plus important

Voir carte N°03.

5-Couvert végétal :

L'architecture de la végétation, sa nature et son réseau raciner jouent un grand rôle dans le ruissellement superficiel.

La carte de végétation (carte N°04) montre les différentes formations végétales à la surface du bassin versant étudié.

6-Nature du sol :

La meilleure zone d'extension (2000ha) est située à l'Ouest de la plaine, de part et d'autre de la route Maghnia-Oujda. Elle est constituée de sols profonds, limoneux, susceptibles de porter des cultures irriguées.

Les autres sols présentent tous des inconvénients plus ou moins accentués : certains ont une profondeur limitée par une accumulation calcaire importante, d'autres ont des horizons argileux superficiels ou profonds pouvant parfois ralentir la pénétration de l'eau, d'autres encore sont pauvres chimiquement, surtout en phosphore.

7-Aspects socio-économiques :

L'évolution des besoins en eau à Maghnia, pour un taux d'accroissement de 3,27% et une dotation domestique de 250l/j/hab, est présentée dans le tableau suivant :

Tableau N° 02 :

Années	Population(hab)	Besoins (m^3/j)				Besoins totaux (m^3/s)
		Equipements	Industries	Domestiques	Total	
1985	70096	1752	2500	17524	21776	0,252
1986	72388	1810	3000	18097	22907	0,265
1987	74755	1869	3000	18689	23558	0,273
1988	77200	1930	3000	19300	24230	0,280
1989	79724	1993	3000	19931	24924	0,288
1990	82331	2058	3000	20583	25641	0,296
1991	85023	2126	3000	21256	26382	0,305
1992	87803	2195	3000	21951	27146	0,314
1993	90674	2267	3000	22669	27936	0,323
1995	96701	2379	3000	24175	29554	0,342
2000	113580	2722	3000	28395	34117	0,395
2007	142272	3159	3000	35568	41727	0,483

Source :ADE (2007)

8-Inventaire et débits extraits de la nappe du Plio-Quaternaire de la plaine de Maghnia :

-Les puits sont très nombreux dans la plaine de Maghnia. L'inventaire effectué en 1980 par l'A.N.R.H a fait état de 880 points d'eau. L'inventaire de 1992 entamé en Février, interrompu en Juin de la même année (faute de véhicule, selon les responsables)est resté inachevé.

-L'enquête qui s'est déroulée du 09/02/1995 au 23/09/1996, sur une superficie de 351km², a donné les résultats suivants :

14,15 Hm^3 d'eau sont prélevées de la nappe du Plio-Quaternaire de Maghnia dont 9,73 Hm^3 pour l'irrigation, l'élevage et 4,42 Hm^3pour l'AEP.

*Pourcentage des volumes prélevés et leur répartition par secteur économique :

AEP : 30,71%
Agriculture : 68,79%
Industrie : 0,15%
Non utilisé : 0,35%

Source :ANRH.

-Les volumes d'eau extraits de la nappe , en 2001 sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau N° 03 :

DESIGNATION	MOIS												TOTAL
	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	ANNUEL
Forage Bettaim	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2300	2500	2400	2300	2400	2300	28600
Puits Chouhadah	2700	2700	1237	339	944	1265	949	393	A l'arrêt				10527
Forage A/Lotfi	7401	7547	7243	7808	7565	7565	10932	10090	9024	8481	8967	6816	99439
Forage Messamda	A l'arrêt												0
Forage Maghnia 07	A l'arrêt												0
Puits A/ lotfi (OPI)	A sec												
Puits Messamda	A sec												
Puits A/Abbes N°1	A sec												
Puits A/Abbes N°2	A sec												
Puits A/Lotfi N°1	A sec												
Puits A/Lotfi N°2	A sec												
Puits Bekhata	A sec												
Puits 2	A sec												
Puits 3	A sec												
s/Total	12501	12647	10880	10547	10909	11230	14181	12983	11424	10781	11367	9116	138566

Source :ADE

CHAPITRE 2 :

ETUDE GEOLOGIQUE

Il est plus que nécessaire de connaître les types et la distribution des faciès dans la région d'étude. Les différents caractères géologiques de ces faciès nous permettront de quantifier les réservoirs aquifères.

1- ANALYSE LITHOSTRATIGRAPHIQUE :

La plaine de Maghnia est une cuvette allongée selon une direction ENE-WSW, comblée par des dépôts d'érosion des montagnes bordières (Rhar-Roubane et Djebel Fillaoucène), formées de crêtes, de plateaux et de vallées.

De part et d'autre de la plaine, on reconnaît au Nord le synclinal perché, d'âge Jurassique, du Djebel Fillaoucène et au sud le grand anticlinal de Rhar Roubane. Entre eux, apparaît le bombement anticlinal des Béni-Ouassine qui recoupe la plaine.

Du point de vue stratigraphique(fig n°01), on distingue d'une part, les formations primaires et secondaires qui constituent les reliefs et d'autre part, les terrains néogènes et quaternaires qui forment la plaine de Maghnia.

La série débute par des schistes et des quartzites primaires qui forment l'ossature des assises géologiques de la région étudiée. Il s'agit d un socle d'âge paléozoïque qui, à l'échelle régionale, affleure par des pointements recouverts par des terrains mésozoïques et tertiaires.

1-Le Paléozoïque :

Les terrains les plus anciens de la région restent encore mal connus au point de vue de la datation. S'ils sont rapportés au Paléozoïque, dans le détail plusieurs problèmes d'ordre bio-stratigraphique restent à éclaircir. C'est pour cette raison, qu'ils sont mal datés et souvent rapportés à plusieurs âges mal déterminés.

1-1 Le Silurien supérieur ou Gothlandien :

Les terrains rapportés à cet âge sont bien remarquables à Djorf Ouazzène (Maroc), (G.Lucas 1942).

1-2 Le Dévonien :

On y rencontre essentiellement des schistes et des quartzites avec des inclusions de micro-brèches probablement carbonifères. On n'y trouve parfois des granites à tourmalines. Des débris de plantes se rencontrent fréquemment au sommet des lits microbrèchiques et caractérisent, dans le massif des Traras, le Dévonien. Ce dernier âge était inconnu dans la région, jusqu'à la découverte de fossiles dans les
marbres exploités au pied du Djebel Aourir, au sud d'Oujda (G.LUCAS, 1942)

Il se caractérise, dans cette région, par un socle constitué de schistes très plissés et légèrement métamorphiques.

1-3 Le Carbonifère :

Les dépôts carbonifères sont bien visibles dans le Horst de Rhar-Roubane, Djorf Ouazzène et autour de Touissit (Chebket El Hamra)(G.LUCAS,1942). Dans ces terrains, on y trouve des calcaires,
des schistes, des quartzites et des micro-brèches.

2-Le Mésozoïque :

Sur les schistes et quartzites primaires reposent en discordance et en transgression des assises essentiellement carbonatées d'âge secondaire. Ces assises renferment parfois des éléments détritiques provenant des reliefs primaires préexistants.
Il s'agit ici d'un remaniement des terrains primaires par la venue de la mer qui reprend des débris érodés et les re-dépose durant la transgression, c'est une re-sédimentation in situe.

2-1 Le Permo-Trias :

Les premiers dépôts qui reposent sur les schistes quartziques sont souvent indifférenciés et très mal daté. Par conséquent ils sont rapportés au Permo-Trias et appelés parfois « Permo-Trias des Horsts ».

Ils sont visibles au nord de Maghnia et dans les Horsts frontaliers (sur le bord sud du Horst de Rhar Roubane),plus spécialement dans « Chebket El Hamra »à l'ouest de « Touissit ».Il est Constitué par des roches formées en territoire émergé, aux dépends du substratum, soit sous l'effet des agents d'érosion et de transport, qui ont donné des poudingues en couches minces et étendues, soit sous l'influence d'un climat tropical.

Le Trias gypseux comporte des sédiments peu variés : ce sont des argiles rouges, provenant de la destruction des terres rouges et des gypses.

2-2 Le Jurassique :

Il est très bien caractérisé dans la région :

2-2-1 Le Jurassique inférieur :

*Le Lias inférieur : Il affleure principalement dans la zone de Sidi El Abed au sud de Rhar-Roubane (G.LUCAS, 1942). Il est constitué des calcaires gris plus ou moins foncés.

*Le Lias moyen : Est représenté au chebket en Nemer, près d'El Baaj dans la région de Sidi El- Abed et au Djebel Tenouchfi (surtout dans le flanc nord et ouest) où il est constitué par une masse puissante de dolomies supportant des calcaires bruns à noir.

*Le Lias supérieur: (formation définie par S.ELMI, 1983).

Il s'agit de calcaires à oolithes de Belaïch , il est très bien représenté dans le Horst de Rhar-Roubane à Djebel Belaïch (situé au niveau oriental du Horst de Rhar-Roubane) , ainsi que dans les monts des Traras.

2-2-2 Le Jurassique moyen :

La stratigraphie du Jurassique moyen :

*Aaléno-Bajocien : Il est représenté par des calcaires à oolithes ferrugineuses à Deglen et au Djorf El Khorchef. Des calcaires gris qui passent aux calcaires micro-gréseux affleurant au Djebel Tazemouret.

*Bathonien inférieur et moyen : Représenté par des terrains très variables : les calaires à oolithes ferrugineuses, calcaires micro-gréseux ferrugineux et calcaires à grains ferrugineux, non micro-gréseux.

Visible dans la partie orientale et occidentale du Horst de Rhar-Roubane, ainsi que dans la région de Sidi El Abed.

2-2-3 Le jurassique supérieur :

*Le Callovo-Oxfordien (Les argiles de Saïda) : Ce terme désigne habituellement un ensemble argileux, à minces bancs gréseux à caractères flyschoîdes. Cette formation,définie à Cacharou (wilaya de Mascara) par Auclair et Biehler en 1967,prend le nom « d'Argiles de Saïda » où elle est bien datée et très bien représentée. On la rencontre par tout dans la partie nord-occidentale de l'Algérie.

Elle se trouve dans tout le massif des Traras , les monts du Kef,la partie Est et Ouest du horst de Rhar-Roubane (Près de Namlou et dans le Djebel Timeschouine), Koudiat Ezerga et Djorf Rokma et dans les Horst occidentaux (Dans la région comprise entre Djorf Ouazzène, la falaise SW du plateau du Ras Asfour,le Tounzaït et laChebket Tiouli).

*Les grès de Boumediène(Oxfordien supérieur au Kimmeridgien supérieur) : Cette formation est représentée essentiellement par des sédiments terrigènes à caractères molassiques avec des bioturbations affectant souvent les faciès supérieurs des bancs gréseux. Ces grès, à intercalations marneuses et à ciment calcaire sont connus dans les Traras, les Monts du Kef, la partie inférieure du talus des Béni-Boussaid et la barrière de Ras Asfour.

*Les Dolomies de Tlemcen (Kimméridgien supérieur) : Dolomies cristallines parfois crypto-cristalines, affleurant au Djebel Tazemouret et au Djorf Déglène, en bancs massifs dessinant une première grande falaise bien visible dans le paysage.

*Les marno-calcaire de Raouraï (Tithonique inférieur) : Marnes à intercalations de calcaires en bancs épais alternés par des plaquettes de calcaires riches en petites huîtres. Cette formation correspond aux marno-calcaires intermédiaires définies par D.Auclair et J.Biehler en 1967.

Il s'agit d'une grande couche intermédiaire entre deux grandes falaises.

*Les dolomies de Terni (Tithonique inférieur): Affleurant dans le Djorf de Dégléne, ce sont des dolomies cristallines à crypto-cristallines caractérisées par des grandes stratifications entrecoupées et obliques : c'est la deuxième grande falaise.

*Les calcaires de Lato : Ce sont des calcaires massifs passant vers le haut à des calcaires argileux.

*Les marno-calcaires de Hariga : Il s'agit d'alternance de marnes, de micrites bioturbées et de laminites.

*Les marno-calcaires d'Ouled Mimoun : Cette formation est représentée par une alternance de marnes et de calcaires avec notamment des niveaux plus calcaires dans l'ensemble de la série.

3-Le Cénozoïque :

*Le Miocène : Il est représenté par des formations sédimentaires transgressives, formées par une bande plus ou moins large de grès calcaires qui s'appuient directement sur le Jurassique, au Nord et au Sud. Plus on s'éloigne de ce contact vers le centre du bassin, plus le pourcentage des particules fines augmente et les grès sont progressivement remplacés par des horizons argileux ou marneux, plus épais.

4-Le Plio-Quaternaire :

Il s'agit d'une série complexe de dépôts discontinus, formés d'éléments très mêlés qui se chevauchent et s'entrecroisent. Quelques lambeaux de basaltes inter- stratifiés sont les témoins d'une activité volcanique située au Nord –Ouest de la plaine et coïncide avec la période d'instabilité de la région.

La granulométrie varie des fractions fines argileuses aux fractions grossières de galets. On y rencontre les faciès suivants :

*Des marnes rouges avec peu ou pas de galets plus ou moins tufeuses, parfois très épaisses surtout dans le sous bassin de l'oued Abbès.

*Des anciennes alluvions allant des marnes alluvionnaires verdâtres aux galets en passant par les limons et les graviers.

*Les limons, sables et graviers récents qui s'étendent entre oued Mehaguène et Chabet El Arneb au Nord-Est de la frontière Algéro-marocaine.Les limons sont jaunes en général avec des couches rougeâtres. Les galets se trouvent surtout en lits à la base des limons.

2-ANALYSE STRUCTURALE :

Du point de vue tectonique, la plaine de Maghnia correspond à l'emplacement d'une fosse entourée par des reliefs d'âge Jurassique. Elle est limitée par des failles et correspond à une grande cuvette où se sont accumulés des sédiments allant du Miocène au Quaternaire.

De part et d'autre de la plaine, on reconnaît au Nord le synclinal perché de Djebel Fillaoucène, au Sud le grand anticlinal de Rhar-Roubane. Entre eux, le bombement anticlinal des Beni-Ouassine qui recoupe la plaine de Maghnia (Fig n°).

2-Les principales phases tectoniques :

D'après les travaux antérieurs(BENEST, 1982), nous avons les phases suivantes :

*Phase eocrétacée :

La subsidence durant le Jurassique supérieur et l'Eocrétacé est contrôlée par le jeu des grands accidents SW-NE, SE-NW et sub-méridiens, hérités de l'orogenèse hercynienne(M.BENEST, 1982).
Au Nord Ouest, dans les monts des Traras (P.GUARDIA, 1975) a également signalé des mouvements syn-sédimentaires, qu'il rapporte à une tectogenèse pré-atlasique.

*Phase atlasique :

Elle correspond aux mouvements qui se sont produits dans les Monts des Traras à partir du Cénomanien et se terminent avant la mise en place de nappes telliennes (P.GUARDIA, 1975) et permet d'envisager deux types de mouvements compressifs puis distensifs.

*Importante phase de compression N-S, NW-SE avec un paroxysme miocène probable :

Par comparaison avec la région des Traras, cette phase anti-messénienne est à l'origine des structures coulissantes et chevauchantes (M.BENEST, 1974).

*Phase dominante distensive :

C'est une phase qui a contribué à la surrection du relief actuel et a entraîné la régression pliocène ainsi que le rejeu des failles préexistantes. Elle a accentué le découpage en Horsts et Grabens.

*Phase récente :

Elle est traduite par des mouvements soit compressifs, soit distensifs.

CONCLUSION

La plaine de Maghnia est une cuvette allongée selon une direction ENE,WSW comblée par des dépôts provenant d'érosion des montagnes bordières (Rhar Roubane et Djebel Fillaoucène).

Du point de vue stratigraphique, nous distinguons d'une part, les formations Primaires et Secondaires qui constituent les reliefs et d'autre part, les terrains Néogènes et Quaternaires qui forment la plaine de Maghnia.

Le substratum de la plaine de Maghnia est constitué par des marnes du Miocène, recouvertes d'une formation alluvionnaire du Plio-Quaternaire. Les marnes apparaissent en surface à la périphérie de la plaine et s'enfoncent rapidement sous les formations fluvio-lacustres.

L'analyse litho- stratigraphique des différentes formations montre les différents niveaux qui présentent un intérêt hydrogéologique dans la région étudiée :

ETAGE	LITHOLOGIE
Plio-Quaternaire	Alluvions
Miocène	Grès
Kimméridgien	Dolomies
Lias	Calcaires

CHAPITRE 3 :

ETUDE CLIMATIQUE

L'intérêt d'une étude climatologique est d'établir un bilan d'eau et de fixer les paramètres physiques du mécanisme de la réponse de la nappe aux précipitations.

1-Observations météorologiques :

Historique :

En Algérie, le premier bulletin mensuel du service météorologique parut en 1873, ce service fut rattaché à l'école supérieure des sciences en 1884 et augmenta le nombre des stations à travers tout le territoire algérien en le portant à 87 en 1874 et à plus de 300 en 1912.L'établissement national d'exploitation météorologique de l'Algérie (E.N.M.A) a pour tâche, la gestion de toutes les stations météorologiques en Algérie et il faut noter qu'il existe d'autres stations gérées par d'autres organismes nationaux comme l'agence nationale des ressources hydriques (A.N.R.H) et l'institut national de la recherche agronomique(I.N.R.A) d'Alger.
La pluviométrie en Algérie a été étudiée par de nombreux auteurs (P.Seltzer1913-1938,G.Medinger1913-1953,A.Halitim,1977,B.Aissani,1938…).

1-1Description du réseau climatique

Le réseau climatique de la zone d'étude se compose de 4 stations gérées par l'ANRH.
Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques des stations retenues pour l'étude :

Tableau N° :

Nom de la station	Altitude (m)	Latitude	Longitude	Type de la station
Maghnia	430	177,2	88,8	Climatologique
Béni-Ouassine	418	180,7	90,8	Pluviométrique
Sidi-Boudjenane	425	192,9	77,4	Pluviométrique
Béni-Boussaid	675	159,6	92,3	Pluviométrique

Source :A.N.R.H

2-Analyse des paramètres :

2-1 Les températures :

Le tableau N° présente les valeurs des températures moyennes mensuelles des stations (1987-2002)

STATIONS	Moy	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Jui	At	Annuel
1	Max	26,6	21,8	17,2	14,6	22,4	13,4	16	16,2	20	25	36,3	28,6	21,5
	Min	13,5	17	12,3	9,1	8	9	11,8	13	7	18,7	24	25,2	14,05

	Moy	20,1	19,4	14,8	11,9	15,2	11,2	13,9	14,6	13,5	21,9	30,15	26,9	17,8
2	Max	26,6	21,8	17,2	14,6	22,4	13,4	16	16,2	20	25	36,3	28,6	21,5
	Min	13,5	17	12,3	9,1	8	9	11,8	13	7	18,7	24	25,2	14,05
	Moy	20,1	19,4	14,8	11,9	15,2	11,2	13,9	14,6	13,5	21,9	30,15	26,9	17,8
3	Max	26,5	21,7	17,1	14,5	22,3	13,3	15,9	16,1	19,9	24,9	36,2	28,5	21,41
	Min	13,4	16,9	12,2	9	7,9	8,9	11,7	12,9	6,9	18,6	23,9	25,1	13,95
	Moy	20	19,3	14,7	11,8	15,1	11,1	13,8	14,5	13,4	21,8	30,1	26,8	17,7
4	Max	25,4	20,6	16	13,4	21,2	12,2	14,8	15	18,8	23,8	35,1	27,4	20,30
	Min	12,3	15,9	11,1	8,2	6,8	7,8	10,6	11,8	5,8	17,5	22,8	24	12,88
	Moy	18,9	18,3	13,6	10,8	14	10	12,7	13,4	12,3	20,7	29	25,7	16,6

NB.

ST N°1 :Station de Sidi Boudjnane

ST N°2: Station de Maghnia

ST N°3: Station de Béni Ouassine

ST N°4: Station de Béni Boussaid

L'analyse des courbes obtenues (fig N°) permet de voir la variation de la température au cours des années d'observation, elle est la même pour toutes les stations.

Nous remarquons que la température la plus faible est enregistrée en mois de Février (11,2°C) à Maghnia et à Sidi Boudjenane , 11,1°C à Béni Ouassine et 10°C à Béni Boussaid , tandis que le mois de Juillet est le plus chaud , la température atteint 30,15°C à Maghnia et à Sidi Boudjenane, 30,1°C à Béni Ouassine et 29°C à Béni Boussaid

2-2 Les précipitations :

Tableau n° :Variations inter- annuelles des précipitations (1986-2001)

Années	Station. Maghnia	Station.Béni-Ouassine	Station. Sidi-Boudjenane	Station.Béni-Boussaid
1986-1987	93.5	153.9	203.3	166.8
1987-1988	187.4	258.8	300.6	181.3
1988-1989	198.8	251	303.1	281.7
1989-1990	203.1	298.1	448.7	325.4
1990-1991	293.6	362.9	518.1	316.4
1991-1992	193.6	235.2	327.0	335.8
1992-1993	162.4	237.4	359.6	287.9
1993-1994	187.1	215.4	373.5	363.4
1994-1995	257.5	212.3	404.1	372.7
1995-1996	144.2	139	300.1	220.2
1996-1997	152.2	217	399.7	133.6
1997-1998	156.2	150.2	342.7	290.1
1998-1999	27.6	143.2	222.5	115.8
1999-2000	96.4	278.4	335.6	170.1
2000-2001	114.4	296.8	327.9	296.1

2-2-1 Analyse des variations inter- annuelles :

Le report des données pluviométriques annuelles sur des graphes (Fig N°) a permis de constater que l'évolution pluviométrique est marquée par une succession de périodes relativement sèches qui varient d'une station à l'autre.

*Station de Sidi- Boudjenane : L'analyse de la courbe nous montre des périodes pluvieuses réparties entre 1990-1991,1993-1994. Les périodes sèches sont présentées comme suit:
1986-1989, 1995-1996 et 1997-2001.Le maximum des précipitations est de 484,9mm.

*Station de Maghnia : Les années sèches sont réparties comme suit:de1986à1987,1995 à 2001, tandis que la période pluvieuse est répartie entre1988-1992,1994-1995. la valeur maximale atteinte est de 310,8 mm, la valeur minimale est de 27,6 mm.

*Station de Béni- Boussaid : Le graphe nous montre une période sèche allant de 1986-1988 à 1988 , 1996 à 1997 et de 1999 à 2001. La valeur minimale atteinte est de 115,8mm. Les périodes pluvieuses sont réparties de 1990 à 1992et de 1994à1995, avec un maximum de 372,7mm.

*Station de Béni- Ouassine :Nous distinguons une période sèche allant de 1987 à 1989 et de 1992 à 2001. La valeur minimale enregistrée est de 139mm. La période humide s'étend de 1990 à 1991. Le maximum atteint est de 362,9mm.

2-2-2 Analyse des variations pluviométriques mensuelles :

Les variations pluviométriques mensuelles sont données au tableau N° sur la période allant de 1987-2001.

Tableau N° : Valeurs des précipitations moyennes mensuelles 1987-2001 (mm)

Stations/Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill.	Août	Moy annuelle (mm)
Maghnia	30,3	46,05	65,75	30,65	30,95	32,05	53,25	44,5	33,4	18,9	7,6	13,5	406,9
Sidi-Boudjenane	28	28,6	88	51,05	62,4	61,65	92	56,2	67,75	18,15	1,05	24,05	578,9
Béni-OB Beni - Ouassine Ouassine	28,85	47,75	67,45	32,35	31,1	31,35	52,1	34,8	30,95	19,95	3,75	9,15	389,55
Béni-Boussaid	45,2	47,7	51	36,25	62,65	43	106,4	46	48,65	32,5	13,65	21,5	554,5

L'histogramme des précipitations mensuelles des stations montre que :

*Dans la station de Beni Ouassine et Maghnia, le mois de Novembre est le plus humide tandis que le mois de Juillet est le plus sec.

*Dans les stations :Beni Boussaid et Sidi Boudjenane le mois le plus humide est celui de Mars, par contre, le mois de Juillet est le plus sec.

2-2-3 Analyse des variations pluviométriques saisonnières :

Tableau N° : Répartition saisonnière des précipitations :

Stations/Saisons	Automne	Hiver	Printemps	Eté
Maghnia	142,1mm	93,65mm	131,15mm	40mm
Sidi-Boudjenane	144,6mm	175,1mm	215,95mm	43,25mm
Béni-Ouassine	144,05mm	115,55mm	117,85mm	32,85mm
Béni-Boussaid	143,9mm	141,9mm	201,05mm	67,65mm

3-Synthèse climatique :

Pour l'étude du climat, nous disposons de différentes méthodes :

A-Méthode graphique : permet de visualiser les périodes sèches et humides.

B-Méthode basée sur le calcul des indices qui permettent à partir des précipitations et des températures de caractériser le climat de la région.

a-Méthode des courbes pluviothermiques :

a-1Diagramme de Bagnouls et Gaussen (1954) :

Bagnouls et Gaussen considèrent qu'un mois est sec quand le total des précipitations exprimé en mm est égal ou inférieur au double de la température en degrés Celsius(P=2T.).

Les diagrammes de la figure montrent que les mois secs se succèdent de la mi-Février à Octobre pour la station de Sidi Boudjenane, de la mi-Janvier au mois d'Octobre, pour la station de Béni Boussaid, tandis que pour les deux stations :Béni Ouassine et Maghnia les mois secs sont répartis entre deux périodes : de Janvier à Mai, de Mai à Septembre.

b-Indices climatiques :

Plusieurs auteurs ont défini les indices climatiques qui permettent de mieux cerner les types de climats des régions.

b-1 Méthode de De Martonne :

*Indice d'aridité annuel :

De Martonne, 1923 a défini l'indice d'aridité par l'équation suivante :
I = p/T +10

P: Précipitation moyenne annuelle en mm
T : Température moyenne annuelle en C

*Pour la station de Maghnia : Fig n°
P = 406,9mm
T = 17,8 C
I = 14,63

*Pour la station de Sidi Boudjenane : Fig n°
P= 578,9mm
T = 17,8 C
I = 20,82

*Pour la station de Beni Ouassine: Fig n°
P= 389,55mm
T = 17,7 C
I = 14,06

*Pour la station de Beni Boussaid: Fig n°
P= 554,5mm
T = 16,6C

I = 20,84

*Indice d’aridité mensuel :

Utilisé par les élèves de De. Martonne dans le but de préciser les conditions de la semi-aridité.

i= 12P/T +10
P: Précipitation moyenne annuelles en mm
T : Température moyenne annuelles en °C

Stations/ Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Maghnia	12,09	18,79	31,87	16,83	14,73	18,14	26,73	21,70	17,05	7,12	2,27	4,39
Sidi Boudjenane	11,18	11,67	42,66	28,03	29,71	34,89	46,19	27,41	34,59	6,83	0,31	7,82
Beni Ouassine	11,54	19,52	32,83	17,84	14,86	17,82	26,26	17,04	15,87	7,54	1,12	2,98
Beni Boussaid	18,8	20,26	25,98	20,91	31,32	25,8	56,24	23,58	26,17	12,72	4,20	7,22

Tableau N : Valeurs des indices d'aridité mensuelle

Le report des indices sur l'abaque montre les résultats suivants :

i	Climat	Maghnia	Sidi Boudjenane	Beni Ouassine	Beni Boussaid
i<5	Hyper aride	Juillet-août	Juillet	Juillet-août	Juillet
5<i<10	*Régime désertique *Ecoulement temporaire, *Drainage inférieur	Juin	Août- juin	Juin	Août
10<i<20	*Régime désertique Ecoulement temporaire, *Drainage inférieur *Formations herbacées	Septembre-Octobre-Decembre-Janvier-Fevrier-Mai	Septembre-Octobre	Septembre-Octobre-Decembre-Janvier-Fevrier-Mai-Avril	Septembre-Juin
20<i<30	*Zone tempérée *Drainage extérieur *Irrigation non indispensable	Mars-Avril	Decembre-Janvier-Avril	Mars	Octobre-Novembre-Decembre-Fevrier-Avril- mai
30<i<40	*Ecoulement exoréique	Novembre	Fevrier-Mai	Novembre	Janvier
40<i<50	*Ecoulement abondant	-	Novembre	-	-

b-2 Methode d'Emberger :

La formule d'Emberger est donnée par la relation suivante:

$Q_2 = P * 2000 /(M^2 – m^2)$

P : Précipitations moyennes annuelles en mm
M : Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en °K
m : Moyenne des températures minimales du mois le plus froid en °K
M- m : Amplitude thermique extrême moyenne
M+ m/2 : Temperature moyenne.
Les températures sont exprimées en degrés Kelvin

T°k= T°C+273,2

Stations/Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Maghnia	0,75	1,20	2,43	1,38	1,10	1,50	2,09	1,66	1,35	0,41	0,09	0,20
Sidi Boudjenane	0,69	0,74	3,25	2,3	2,23	2,88	3,61	2,10	2,74	0,39	0,01	0,36
Beni Ouassine	0,72	1,25	2,51	1,46	1,12	1,47	2,06	1,31	1,26	0,43	0,04	0,14
Beni boussaid	1,23	1,36	2,05	1,73	2,44	2,15	4,54	1,87	2,13	0,77	0,18	0,35

Les Q_2 calculés sont les suivants :

*Station de Maghnia :

M =309,5 k

m = 280,2 k

Q_2 =47,09

*Station de Sidi Boudjenane :

M =309,5 k

m = 280,2 k

Q_2 =67

*Station de Beni Ouassine :

M =309,4k

m = 282,1 k

Q_2 =48,24

*Station de Beni Boussaid :

M =308,3 k

m = 279 k

Q_2 =64,44

En reportant ces valeurs sur le diagramme qui comporte en ordonnées les valeurs de Q_2 et en abscisses la moyenne du mois le plus froid en degrés Celsius, nous pouvons constater que les stations considérées présentent un climat semi-aride à hiver chaud pour la station de Beni Ouassine et doux pour la station de Beni Boussaid (voir fig n°)

B-3 Indice de Moral :

D'après Moral, la classification en mois secs et humides était insuffisante pour préciser le caractère climatique, alors il a proposé un indice mensuel i_m (voir tableau n°) .

$I_m = P/ 0,1T^2 - T+20$

T : Température du mois en °C

P : Précipitation du même mois en mm

Tableau N° : Calcul des indices de Moral mensuel :

TableauN° : Classification en mois secs, arides, humides et pluvieux

Stations/Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Maghnia	S	H	H	H	H	H	H	H	H	S	A	A
Sidi Boudjenane	S	S	P	H	H	P	P	H	P	S	A	A
Beni Ouassine	S	H	P	H	H	H	H	H	H	S	A	A
Beni Boussaid	H	H	H	H	H	P	H	H	H	S	A	A

NB:
A: Aride
H: Humide
P: Pluvieux
S : Sec

4-Bilan hydrologique de la station de Maghnia :

4-1)Le déficit d'écoulement :

Plusieurs formules sont utilisées pour estimer la valeur de ce paramètre en fonction de la température de l'air et du module pluviométrique.

4-1-1) Formule de Turc :

$ETR=P/\sqrt{0,9+P^2/L^2}$ avec $L=300+25T+0,05T^2$

ETR :Evapotranspiration réelle annuelle en mm
T : Température moyenne annuelle en °C
P :Précipitation annuelle en mm

Valeur de déficit d'écoulement par la méthode de Turc :

P(mm)	T(°C)	L	ETR(mm)	Ecoulement et infiltration
292,3	22,13	877,73	290,73	0,5 ٪ de P

4-1-2) Formule de Coutagne :

Le déficit d'écoulement (D) exprimé en mètres se déduit à partir de la formule suivante :
$D=P-\lambda P^2$
$\lambda=1/ 0,8+0,14T$
T : Température moyenne annuelle en °C
P :Précipitation annuelle en m

Cette méthode n'est applicable que si :

$$1/ 8 \lambda < P < 1/2 \lambda$$

P(m)	λ	1/2 λ	1/8 λ
0 ,2923	0,25	2	0,5

La méthode n'est pas applicable pour la station de Maghnia car P est inférieure à 1/8 λ donc le déficit d'écoulement est égal aux précipitations.

Valeur de déficit d'écoulement par la méthode de Coutagne :

P(mm)	T(°C)	D(mm)	Ecoulement et infiltration
292,3	22,13	292,3	0 ٪ de P

4-1-3) Méthode de Wundt :

L'hydrogéologue Wundt a établi un abaque (Fig n°15) qui permet d'obtenir une valeur du déficit d'écoulement en fonction de la température moyenne annuelle et des précipitations.
L'application de cette méthode nous donne les résultats suivants :

Valeur de déficit d'écoulement par la méthode de Wundt :

P(mm)	T(°C)	D(mm)	Ecoulement et infiltration
292,3	22,13	285	2,50 ٪ de P

Le quotient d'écoulement est inférieur à 10٪ pour la station de Maghnia.

4-1-4) Méthode de P.Verdeil(1988) :

L'abaque donne directement les valeurs du déficit d'écoulement en (mm) en fonction des précipitations (Fig n°16).

Pour la station de Maghnia :

D=280mm soit 11,16mm pour l'écoulement (R+I),(3,82٪ des précipitations)

Le tableau n°08 donne la comparaison des différentes méthodes utilisées pour le calcul du déficit d'écoulement et de l'infiltration.

Tableau n°08: Comparaison des différentes méthodes utilisées.

Méthodes / Paramètres	TURC	COUTAGNE	WUNDT	P.VERDEIL
Déficit(mm)	290,73	292,3	285	280
Ecoulement et infiltration	0,5 ٪de P	Nul	2,50٪de P	3,83٪de P

4-1-5 Méthode de thornthwaite :

Cette méthode consiste à calculer pour chaque mois l'évapotranspiration potentielle, en utilisant la relation suivante :

$ETP= (10\ T/\ I)^{a}.\ 1,6$

$a= 675.10^{-9}.I^{3} +771.\ 10^{-7}.I^{-2} +1792.10^{-5}.I+0,4239$

I: La somme des 12 indices mensuels

T : température moyenne

ETP : évapotranspiration potentielle.

$i = (T/5)^{1,514}$

4-1-6) Calcul de la réserve en eau du sol :

La réserve utile de la nappe est calculée par la méthode de « Hallaire » en fonction de la capacité de rétention du sol.

$Ru=h.d(c-f)/100+30mm$

Avec :

Ru: réserve d'eau utile en mm

c : capacité du champ

f : point de flétrissement

d : densité apparente du sol d=1

h : profondeur du sol (mm)

Les 30mm correspondent à l'entraînement capillaire.

L'expérience montre que l'on peut prendre c-f/100

.)sol limoneux 10% a 15%

.)sol sableux 5%

.)sol argileux limoneux 20%

Le terrain étudié présente un sol limoneux d'où (c-f)/100=10%

H : l'épaisseur moyenne du sol limoneux est égale : 600mm,d'après le rapport pédologique sur la plaine de maghnia établie par (M.RAYMOND) d'où :

Ru=0.10*600*1+30mm=90mm

Station de Maghnia(1977-1989)

MOIS	S	O	N	D	J	F	M	A	MAI	JUN	JUI	A	ANN
Pmm	10	11,5	30,9	21,8	30,4	17,5	41,7	34,4	26,5	4,7	2,5	2,2	233,7
ETPcorri(mm)	107,69	71,08	34,30	23,68	17,22	24,04	37	50,23	79,66	124,07	173,84	160,43	903,3
Ru(90mm)	0	0	0	0	13,18	6,54	11,24	0	0	0	0	0	30,96
ETR	10	11,11	30,9	21,8	17,22	24,04	37	45,74	26,5	4,7	2,5	2,2	233,71
DEFF AGR	97,69	59,97	3,4	1,88	0	0	0	4,49	53,16	119,37	171,34	158,23	669,53
EXCEDENT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RUISS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

1977-1989	s	o	n	d	j	f	m	av	m	j	jui	ao
i	9.56	7.4	4.9	3.3	2.47	3.32	4.05	5.09	6.73	9.7	12	
T	22.13	18.3	13.74	10.91	9.09	11	12.5	14.28	17.28	21.9	26	
ETP corri	107.7	71.09	34.3065	23.681	17.2	24.048	37.01	50.236	79.661	124.1	173.84	16
1977-1995	s	o	n	d	j	f	m	av	m	j	jui	ao
i	9.45	7.19	4.75	3.32	2.5	3.24	4.08	4.93	6.65	9.42	12	
T	22.05	18.4	13.99	11.04	9.17	10.9	12.7	14.34	17.48	22	26	
ETP corri	107.8	72.63	36.08	24.74	18	24.16	38.8	51.46	82.39	126.1	174.6	
1977-2001	s	o	N	d	j	f	m	av	m	j	jui	ao
i	9.36	7.58	5.11	3.78	3.2	3.35	4.56	5.26	6.69	10.2	13	
T	21.9	19.1	14.7	12.1	10.8	11.1	13.6	15	17.6	23.1	27.1	
ETP corri	103.9	70.24	35.503	26.21	21.7	22.31	39.5	50.24	75.19	125	171.3	1

Station de Maghnia(1977-1995)

MOY	S	O	N	D	J	F	M	A	MAI	JUN	JUI	A	ANNU
Pmm	12,25	22,29	38,24	31,44	29,9	40,65	42,71	34,04	30,87	7,57	2,51	2,51	294,8
ETPcorri(mm)	107,78	72,62	36,07	24,73	17,96	24,15	38,84	51,45	82,39	126,08	174,58	167	923,71
Ru(90mm)	0	0	2,17	8,88	20,82	37,32	41,19	23,78	0	0	0	0	134,16
ETR	12,25	22,29	36,07	24,73	17,96	24,15	38,84	51,45	54,65	7,57	2,51	2,31	294,78
DEFF AGR	95,53	50,33	0	0	0	0	0	-	27,74	118,51	172,07	164,69	628,84
EXCEDENT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RUISS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Station de Maghnia(1977-2001)

MOY	S	O	N	D	J	F	M	A	MAI	JUN	JUI	A	ANNU
Pmm	15,3	23,3	41	31,53	30,40	35	37,5	30,42	27,36	5,83	2	3,67	283,6
ETPcorri(mm)	103,88	70,24	35,50	26,21	21,69	22,31	39,52	50,23	75,19	125,03	171,33	164,95	906,12
Ru(90mm)	0	0	5,5	10,82	19,53	32,22	30,2	10,39	0	0	0	0	108,66
ETR	15,3	23,3	35,50	26,21	21,69	22,31	39,59	50,23	37,75	5,83	2	3,67	283,38
DEFF AGR	88,58	46,94	0	0	0	0	0	0	37,44	119,2	169,33	161,28	622,77
EXCEDENT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RUISS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

mmentaire du bilan de THORNTWAITE :

*Le maximum de l'évapotranspiration réelle est atteint en mois d'avril pour les années 1989,2001 et en Mai pour l'année 1995 .

*Le minimum de l'évapotranspiration réelle est remarquable au mois d'Août pour les années 1989,1995 et Juillet pour l'année 2001.

ellement par la méthode de Tixeront et Berckaloff :

Tixeront et Berckaloff ont établi une formule qui permet d'estimer le ruissellement moyen annuel :

$$R=P^3/3(ETP)^2$$

Le tableau ci -dessous présente le ruissellement calculé pour chaque année:

tation de Maghnia.

ANNEES	RUISSELLEMENT
1989	5,15mm
1995	33mm
2001	9,20mm

Calcul de l'infiltration :

infiltration est déduite comme suit :

$$I=P-ETR-R$$

eau ci -dessous présente les infiltrations calculées pour chaque année .

Station de Maghnia

NCLUSION :

La région de Maghnia est caractérisée par un climat semi-aride avec des influences méditerranéennes.

Elle reçoit une précipitation moyenne annuelle de 406,9mm à la station de Maghnia, 578,9mm à la station de Sidi Boudjenane ,554,5mm à la station de Béni Boussaid et 389,55mm à la station de Béni Ouassine .

La température moyenne annuelle est de 17,8 °C à la station de Maghnia, 17,8°C à la station de Sidi Boudjenane , 16,6°C à la station de Béni Boussaid et 16,6°C à la station de Béni Ouassine .

L'étude climatique nous a permis d'estimer les différents paramètres régissant le bilan hydrologique et d'évaluer les facteurs tels que L'ETR et l'infiltration contribuant à la recharge des aquifères.

ANNEES	INFILTRATION
1989	0
1995	0
2001	0

CHAPITRE 4 :

ETUDE HYDROLOGIQUE

L’évaluation des ressources en eaux superficielles est utile aux fins de planification de leur aménagement et e leur utilisation, c’est l’un des paramètres essentiels dans l’estimation globale des ressources en eau d’une gion.

La plaine de Maghnia est parcourue par un ensemble d’oueds dont la plupart sont à sec pendant la majeure artie de l’année.

Pour l’étude du régime d’écoulement de l’Oued Mouillah, nous disposons des mesures effectuées sur la ation de Sidi-Belkheir, portant sur une période comprise entre 1973 et 1998, tandis que pour l’Oued uerdefou, les relevés dont nous avons pu disposer ont été effectués par la D.M.R.H et portent sur une période omprise entre 1975 et 1987

1-Caractéristiques de la station hydrométrique :

Tableau n° 09 :

Nom de la station	Code de la station	Nom du cours d’eau	Coordonnées		Surface du BV (km^2)	**Périm du BV** (km)	Long. de l’oued (km)	Altitude		
			Latitude	Longitude				Min	Max	
Mouilah	160504	Mouilah	1°39’30’’	34°13’14’’	2650	230	83	285	1825	765,75

Source : ANRH.

Description de la station :

La station de Sidi-Belkheir est choisie en aval de la confluence du Mouillah-Ouerdefou. Le lit de l’Oued Mouillah est large, formé de sables et limons.

2- Etude des débits :

*Station de Sidi-Belkheir : Oued Mouillah

2-1- Apports annuels :

a) Module inter - annuel et débits spécifiques :

Le module inter- annuel est obtenu, en faisant la moyenne arithmétique des débits moyens annuels de 25 ans d'observation, au niveau de la station Sidi Belkheir (1973 – 1998)

Le tableau ci-dessous, représente les modules inter-annuels de cette station.

Tableau n°10: les modules inter-annuels de la station de Sidi Belkheir (Oued Mouillah) (1973-1998)

es	73-74	74-75	75-76	76-77	77-78	78-79	79-80	81-82	82-83	83-84	84-85
les(m^3/s)	3,56	2,91	2,44	2,20	1,85	1,82	2,46	1,35	0,99	0,89	0,73
es	85-86	86-87	87-88	88-89	89-90	90-91	91-92	92-93	93-94	94-95	95-96
les(m^3/s)	0,71	1,74	0,60	0,89	1,16	1,42	1,20	0,58	0,91	3,21	3,78

D'où :

module inter - annuel au niveau d'Oued Mouillah :

= 1,74m^3/s

ébits spécifiques :

Le débit spécifique est le module inter - annuel rapporté à une unité de surface du bassin versant : $\left[q = \frac{Q}{S} \right]$

q : Débit spécifique

Q : Module inter - annuel

S : Superficie du bassin versant

D'où :

$q_1 = \frac{Q_1}{S_1}$ (Oued Mouillah) avec $S_1 = 2650km^2$

$$q_1 = \frac{1,74m^3/s}{2650km^2} = 66 \times 10^{-5} m^3/s/km^2$$

3- Apports annuels et lames d'eaux écoulées:

L'apport moyen annuel du bassin est estimé par des formules empiriques ou par des données de mesure à la station hydrométrique

3-1 L'utilisation des données d'observations :

Les apports annuels et les lames d'eau écoulées sont calculés à partir des modules annuels de 25ans d'observation au niveau d'Oued Mouilah (Voir tableau n°11)

$A = Q.N$ **$L_C = A/(S.10^3)$**

A : Apport annuel (hm^3) = ($10^6 m^3$).

Q : Débit moyen annuel (m^3/s).

N : Nombre de secondes dans l'année (365x60x60x24).

L_C : Lame d'eau écoulée (mm).

S : Surface du bassin versant (km^2) .

Tableau n°11 :

Années	73-74	74-75	75-76	76-77	77-78	78-79	79-80	80-81	81-82	82-83	83-84
Apport annuel (hm^3)	112,26	91,77	76,94	69,37	58,34	57,39	77,57	62,75	42,57	31,22	28,06
$L_{C(mm)}$	42,36	34,63	29,03	26,17	22,01	21,65	29,27	23,67	16,06	11,78	10,58

Années	84-85	85-86	86-87	87-88	88-89	89-90	90-91	91-92	92-93	93-94	94-95	95-96	96-97	97-98
Apport annuel (hm^3)	23,02	53,92	54,87	18,92	28,06	36,58	44,78	37,84	18,29	28,69	101,23	119,20	65,27	32,16
$L_{C(mm)}$	8,68	20,34	20,70	7,13	10,58	13,80	16,89	14,27	6,90	10,82	38,2	44,98	24,63	12,13

D’où :

La moyenne des apports annuels au niveau d’Oued Mouilah est égale à $62,32 Mm^3$/an avec L_C =25,42

4- Les apports mensuels :

a- Débit moyen mensuel :

Tableau n°12 : Les valeurs des débits mensuels moyens et des coefficients mensuels d'Oued Mouillah (1973-1998)

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
(m^3/s)	1,28	1,98	2,35	2,10	1,59	1,67	3,87	1,94	1,48	1,17	0,84	0,88
Coef Mensuel	0,73	1,13	1,35	1,20	0,91	0,95	2,22	1,11	0,85	0,67	0,48	0,50

Pour la station de Sidi Belkheir (Oued Mouillah), les valeurs des débits moyens mensuels sont représentées sur l'histogramme (Fig17) .Le maximum($3,87m^3/s$) correspond au mois de Mars, tandis que le minimum ($0,84m^3/s$) est atteint au mois de Juillet, pour un module annuel de $1,74m^3/s$.

b- Coefficient mensuel des débits (Fig18) :

Le coefficient mensuel du débit est défini comme étant le rapport entre le débit moyen mensuel et le module moyen annuel (Tableau n°12) .La représentation de ces coefficients (Fig18) nous permet de voir la variation des débits mensuels au cours de l'année, par rapport au module annuel. En effet, nous remarquons que pour l'Oued Mouillah, cinq mois sur douze (40%), le débit mensuel est supérieur au module annuel, ce qui explique une relative régularité et surtout la contribution assez importante des rejets urbains et industriels de l'agglomération d'Oujda.

La caractéristique la plus marquante de l'Oued étudié, est la grande variation du régime des apports pendant l'année. Les fluctuations les plus grandes, ainsi que les plus grands apports ont lieu pendant la période hiver - printemps de Décembre en Mai. Pendant le reste de l'année et avec la brusque diminution des précipitations, les apports sont moins abondants car l'Oued n'est pratiquement alimenté que par les eaux superficielles et quelquefois, par les rejets d'eaux usées

(c'est le cas actuellement d'Oued Mouillah qui draine exclusivement tous les rejets domestiques et industriels de l'Agglomération d'Oujda, en période d'étiage.

aperçu sur le régime d'écoulement de l'oued Ouerdefou :

Par manque de données des débits, nous nous sommes basées sur l'étude faite par M. Ameur et F. Saâd, dans laquelle ils ont traité la partie hydrologique de l'oued Ouerdefou sur la période de 1975-1987.

1-Caractéristiques :

L'Ouerdefou, réunion des trois Oueds (Abbès, Aounia et Mehaguène) présente toujours un écoulement d'eau en amont et ceci malgré, que les trois Oueds sont à secs la majeure partie de l'année. Cette eau ne pourrait provenir que d'une alimentation par la nappe Plio-Quaternaire de la plaine par un système de trop plein.

Cet apport de la nappe peut être calculé par les mesures de jaugeage sur l'Oued Ouerdefou pendant les mois où les trois Oueds sont à sec.

2-1- Les débits annuels :

Les débits moyens annuels de l'Oued Ouerdefou sont donnés au tableau n° 22 en annexe.

Le débit moyen de l'Oued Ouerdefou, pendant cette période (1975-1987), est de $0,80 m^3/s$

Le débit inter- annuel maximum, est égale à $1,32 m^3/s$, le débit minimum est de $0,27 m^3/s$

Le coefficient d'irrégularité est déterminé par le rapport entre le maximum et le minimum du débit, est égal à :

$\frac{Q_M}{Q_m} = \frac{1,32}{0,27} = 4,8$: Valeur traduisant un régime d'écoulement irrégulier.

2-2- Les débits mensuels :

Le maximum est atteint au mois de Janvier ($1,181 m^3/s$), au-delà on remarque une diminution des débits jusqu'au mois d'Août. A partir de Septembre il y a un léger relèvement des débits(tableau n° 22 en annexe)

3-Relation : Précipitation - Ecoulement : (Fig16)

L'observation des diagrammes précipitations - débits montre que le débit moyen mensuel de l'Oued Ouerdefou est au maximum en Janvier, par contre le maximum des précipitations mensuelles moyennes est atteint en Décembre.

Conclusion :

L'étude hydrologique de l'Oued Ouerdefou montre que ce cours d'eau est caractérisé par un régime d'écoulement irrégulier.

L'écoulement de l'oued Ouerdefou (débit moyen :0,80m^3/s) dépend d'une alimentation par la nappe du Plio-Quaternaire.

Actuellement l'Oued Ouerdefou est alimenté par les eaux usées industrielles de la ville de Maghnia.

Nous pouvons dire aussi, que l'écoulement dans les sous bassins étudiés est caractérisé par :

*Une grande dépendance par rapport aux précipitations.

*Une forte irrégularité inter -mensuelle, inter annuelle et dans l'espace.

* Un débit d'étiage presque nul pendant la période de juin - septembre.

D'autre part, les Oueds Mouillah et Ouerdefou sont alimentés, presque uniquement, par des eaux usées.

CHAPITRE 5 :

ETUDE GEOPHYSIQUE

L'analyse de la géométrie à l'aide de la géophysique est un moyen classiquement utilisé pour obtenir les grandes unités à fort contraste de résistivité et

compléter utilement les informations peu nombreuses des forages de reconnaissances.

L'étude géophysique a été réalisée par la compagnie générale de géophysique, conduite par M.GILLARD, en 1964.

Le problème posé à la prospection électrique consistait à :

*Préciser l'allure du toit des formations imperméables au-dessous de la tranche grossière des alluvions Plio-Quaternaires et fournir des indications sur la perméabilité de ces dernières ;

*Déterminer la profondeur et les variations stratigraphiques du Jurassique au-dessous du remplissage miocène de la plaine.

Les techniques utilisées étaient celles du sondage électrique quadripôle Schlumberger et du profil de résistivité.

1-PROGRAMME D'EXECUTION :

Le programme comportait à l'origine l'exécution de :

A- 4 profils de sondages électriques (S.E) en grande ligne (AB=8000m) pour l'étude de la structure jurassique entre Maghnia et les affleurements du Sud de la plaine.
b- 6 profils de S.E en petite et moyenne longueur de ligne pour atteindre l'étude du recouvrement Plio-Quaternaire à la partie occidentale de la plaine.
c- 5 profils de S.E et 2 profils de résistivité pour préciser la structure de l'extrémité sud-ouest de la plaine.
134 points d'eau ont fait l'objet d'un relevé du niveau statique et d'une mesure de la résistivité de l'eau.

2-ETUDE DU SUBSTRATUM JURASSIQUE RESISTANT :

2-1 *Coupes le long des profils ABCD (pl 01) :*

2-1-1 Profil A :

La remonté du substratum s'amorce entre les S.E.A8 et A9 avec un compartiment incliné au Sud. Aux S.E.A5 et A6 L'épaisseur du remplissage à 2,5 Ohm.m au-dessus d'un substratum peu résistant (moins de 20ohm.m) est de l'ordre de 400m.Plus au Nord, la résistivité

du recouvrement dépasse 8Ohm.m.Un dernier accident entre les S.E.A2 et A1 porte les grès de Boumédiène en affleurement.

Sur l'extrémité Sud du profil, le S.E.A19 peut être interpréter de deux façons : selon que l'on attribue au remplissage miocène une résistivité de 4Ohm.m comme aux S.E.voisins, ou de 7Ohm.m le substratum se trouve à une profondeur moindre ou plus forte qu'au S.E.A20.

2-1-2 Profil B :

Le profil B se raccorde aux affleurements jurassiques au Nord et au Sud de la plaine. Une fosse très importante, comblée par des marnes miocènes de résistivité 2,5Ohm.m apparaît entre les S.E.B9 et B17. La profondeur maximale du toit du substratum résistant est de l'ordre de 1300m aux S.S.B9, B10 et B11.

Vers le Sud, le substratum remonte par gradins jusqu'à l'affleurement des grès de Boumédiène du S.E.B28 et le remplissage très conducteur de la zone profonde fait place à un recouvrement de résistivité 5à8 Ohm.m. Des failles de rejet compris entre 100et 200 m séparent les compartiments jurassiques.

Les S.E.B19, B20, B21 et B23 permettent de distinguer 3 niveaux successivement conducteurs et résistants à l'intérieur du substratum :

*Le premier niveau résistant possède une résistance transversale comprise entre 12500 et 20000 Ohm.m^2 .Ils représente les grès de Boumédiène , de résistivité 100Ohm.m, et d'épaisseur variable de 125 à 200m.

*Le niveau conducteur successif correspondrait aux formations argileuses du Jurassique moyen .

*Le dernier horizon résistant devrait être logiquement assimilé, soit au Jurassique moyen calcaire, soit à des termes inférieurs.

Au Nord de la fosse, un accident de rejet supérieur à 800m relève le substratum entre les S.E.B3et B4. Les S.E.B1, B2 et B3 montrent la superposition de trois niveaux à l'intérieur du substratum.

Le niveau le plus superficiel, résistant, épais de 100 à 200m et de résistivité voisine de 100 Ohm.m, correspond aux de Boumédiène qui affleurent à 200m au Nord de B1.L'horizon sous-jacent de résistivité ,voisine de 10 Ohm.m ,pourrait représenter le Jurassique marneux au-dessus de terrains plus résistants constituant le dernier niveau visible.

2-1-3 Profil C :

Sur la partie sud du profil C, le substratum plonge régulièrement à partir des affleurements de grès de Boumédiène jusqu'au S.E.C22 où une première faille à rejet nord l'approfondit d'une centaine de mètres. Les S.E.C20, C19 et C18 indiquent une diminution de la résistivité des terrains constituant le substratum jusqu'à moins de 30Ohm.m. Au Nord du S.E.C18, nous retrouvons la fosse remplie de sédiments très conducteurs qui se poursuit jusqu'au S.E.C5.Un niveau résistant visible sur les S.E.C1 et C2 et dont la profondeur serait voisine de 200m pourrait représenter le panneau de grès de Boumédiène, sub-affleurant sur l'extrémité Nord du profil B.

2-1-4 Profil D :

Le substratum de faible résistivité visible sur les S.E.C18 à C20 se trouve sur toute la partie sud du profil D. A partir du S.E.D18, les diagrammes indiquent, au contraire, la présence d'un substratum franchement résistant. Celui-ci se prolonge par une série de gradins jusqu'au S.E.D9 où le recouvrement atteint 1500m d'épaisseur. Il

remonte ensuite régulièrement vers le Nord jusqu'au S.E.D4 ,situé à proximité de l'accident majeur bordant le massif des Béni-Ouassine.

2-2 CARTE DU TOIT DU SUBSTRATUM JURASSIQUE RESISTANT (pl 02) :

La planche représente une carte en courbes de niveau avec une équidistance de 100m du toit du substratum résistant destiné à servir de base à un essai de synthèse structurale. Elle met en évidence 3 unités structurales :

**Un môle sud :* Bordant les affleurements jurassiques du Horst de Ghar-Roubane.

Le substratum résistant plonge vers le Nord suivant 3 gradins séparés par deux accidents parallèles. Ces derniers, orientés SW-NE sur les profils D et C, s'infléchissent nettement à l'Est à partir du profil B.

Les terrains formant le substratum correspondent aux grès de Boumédiène lorsqu'ils sont résistant. Les terrains ,les plus conducteurs, qui apparaissent sur les profils C, D représentent les marnes du Jurassique moyen. La série jurassique plongerait d'Ouest en Est.

**Une fosse centrale :* Comblée par une épaisse série de marnes conductrices du Miocène inférieur, surmontées de formations plus détritiques sur une épaisseur de 200 à 400m.Le substratum est difficilement identifiable ; toutefois la remontée terminale de la majorité des diagrammes permet de supposer qu'il est constitué de terrains résistants ou très résistants.

**Un môle Nord :* Bordant le massif des Béni-Ouassine, séparé de la fosse centrale par un accident très important entre les profils B et D.Vers l'Est, le schéma structural se complique : La remontée du substratum s'effectue par une série de gradins obliques sur la faille

majeure. Le substratum, qui se situe à faible profondeur sur l'extrémité du profil B, comporte un premier niveau de grès de Boumédiène, d'épaisseur inférieure à 200m, plongeant vers le Sud-Ouest.

3-ETUDE DE RECOUVREMENT :

3-1 Carte de la résistivité de la nappe superficielle : (pl 03)

L'inventaire de 134 points d'eau a été effectué au cours de l'étude géophysique. Pour chaqu'un d'entre eux, ont été mesurées la résistivité de l'eau et la profondeur du toit de la nappe.

Les valeurs les plus élevées de la résistivité des eaux sont rassemblées au S-E de la ligne de chemin de fer entre la frontière et Maghnia ; elles correspondent à une alimentation proche par les dépôts de piedmonts. Vers le N-W les courbes d'équirésistivité s'alignent parallèlement à l'oued Méhaguène et les valeurs décroissent progressivement pour atteindre moins de 4 Ohm.m à l'extrémité nord des profils C, D et E.

3-2 Carte du mur des formations Plio -Quaternaires : (pl 04)

Sur la base des résultats de la géophysique, complétés par les sondages mécaniques, la carte n° présente l'allure du mur des formations plio-quaternaires.

D'après les coupes géologiques, interprétées par les sondages électriques(PL1)

On remarque que les formations jurassiques sont affectées par un réseau de failles qui donnent naissance à des Horsts et grabens.

La partie centrale, affaissée est comblée par une épaisse formation du Miocène, issue d'une transgression marine. Les formations plio-quaternaires, d'origine fluviatile, qui surmontent les formations du Miocène, correspondent à un paléo-chenal, orienté SW-NE et de pente NE .Ce chenal ne correspond pas à une direction structurale, mais il s'agit d'une ancienne rivière, creusée dans les marnes miocènes et comblée par des alluvions (d'après Bonnet 1965).

On constate que la partie affaissée du jurassique au SE (voir carte n°), comblée par le Miocène, correspond à une formation épaisse du Plio-Quaternaire (voir carte n°), par contre, la partie NW, du Jurassique soulevé , correspond à un amincissement de la formation plio-quaternaire (voir carte n°).

On remarque aussi un épaississement des formations plio-quaternaires dans les zones A,B,C,D qui correspondent à un affaissement du Jurassique .

L'épaisseur des alluvions tend à réaliser un nivellement par compensation des variations topographiques du relief miocène enterré(voir les zones A,B,C,D,carte n°) Elle diminue sur les crêtes miocènes et augmentent au dessus des vallées antérieures.

4- LES POSSIBILITES HYDROGEOLOGIQUES :

4-1 Formations superficielles :

Les formations superficielles résistantes correspondant aux niveaux de dépôts grossiers et perméables atteignent leur plus grand développement dans deux zones distinctes :

A) Entre la R.N n°7 et la voie de chemin de fer à partir de la frontière et jusqu'au profil B.Les résistivités assez élevées des formations laissent supposer une bonne granulométrie.

B) Au Sud, entre les S.E.G11, G15, et A16, A19.Il s'agit probablement de dépôts de piémonts, particulièrement épais et résistants.

4-2 Réservoirs jurassiques :

Il paraît pratiquement exclu de vouloir atteindre les réservoirs jurassiques dans le centre de la plaine où l'épaisseur du recouvrement dépasse un millier de mètres. Vers l'Ouest les renseignements sur cette structure sont incomplets. Il serait ,par contre, intéressant d'exploiter les zones de bordures. Sur la bordure Nord de la plaine, l'extension de la plate forme entourant le massif des Béni-Ouassine est limitée. Un forage de 150m pourrait être retenu au droit du S.E.B2 ,en vue de préciser les possibilités des grès de Boumédiène.

CONCLUSION :

Le résultat principal de l'étude géophysique consiste à la découverte d'une profonde fosse tectonique, occupant le centre de la plaine et comblée par des marnes miocènes.

Au Sud de la fosse, la plate forme, bordant le Horst du Ghar-Roubane montre un plongement général de la série jurassique. Les failles la découpent en gradins.

Au Nord de la fosse centrale, le panneau de grès de Boumediène constitue la plate forme bordière du massif des Béni-Ouassine.

A l'intérieur du recouvrement Plio-Quaternaire, les niveaux grossiers résistants sont particulièrement développés dans deux zones distinctes. Au S-E de la R.N n°7,ils comblent une gouttière allongée WSW-ENE qui paraît se refermer immédiatement au S-W de Maghnia.

Plus au Sud, des terrains résistants disposés suivant une bande E-W semblent correspondre à des dépôts de piémonts. Ceux –ci présentent les plus fortes épaisseurs et les résistivités les plus élevées.

CHAPITRE 6 :

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE

Le but d'une étude hydrogéologique est d'identifier et de décrire les unités géologiques ayant un important intérêt sur le plan des

ressources en eau de Maghnia et de faire ressortir les paramètres hydrodynamiques nécessaires pour l'élaboration du modèle.

1-LES FORMATIONS AQUIFERES :

Du point de vue lithologique, les seules formations qui peuvent être considérées comme perméables sont :

a-Les alluvions du Plio-Quaternaire.
b-Les grès du Miocène.
c-Les Dolomie de Terni.
d-Les Dolomies de Tlemcen..
e-Les calcaires du Lias.

Le tableau n°14 présente l'inventaire de tous les réservoirs possibles ainsi que les niveaux imperméables

Age non déterminé	Granites	Peu perméables

Etages	Lithologie	***caractères***
Plio-Quaternaire	Alluvions	Perméables
Miocène	Grès	Perméables
Miocène	Marnes	Imperméables
Dolomie de Terny (Tithonique inférieur)	Dolomies	Perméables
Marno-calcaire deRaourai (Tithonique inférieur)	Alternance de marnes et de calcaires	Imperméables
Dolomies de Tlemcen (Kimméridgien supérieur)	Dolomies cristallines	Perméables
Grès de Boumédiène (Oxfordien supérieur, Kimméridgien supérieur)	Intercalation de marnes dans les grès bruns	Peu perméables
Argiles de Saîda (Callovo-Oxfordien)	Argiles et marnes calcaires	Imperméables
Lias	Calcaires	Perméables
Permo-Trias	Argiles et grès	Imperméables
Primaire	Schistes et quartzites	Imperméables

Source : (BONNET, 1965)

-Les grès du Miocène :

Des puits implantés sur les grès miocènes indiquent la présence d'une nappe

Les grès, bien différenciés le long des massifs jurassiques, ne semblent pas se poursuivrent en profondeur sous la plaine de Maghnia et passent latéralement à des marnes sableuses .L'eau arrêtée par ce barrage souterrain ne peut pas traverser verticalement la couverture imperméable de marnes miocènes qui la sépare du remplissage plio-quaternaire. Tout se passe comme s'il existait un barrage souterrain derrière lequel l'eau s'accumule pour déborder ensuite en amont au dessus de la couverture imperméable miocène. Le seul mouvement qui intéresse la nappe est un écoulement sous la surface du sol et au dessus des marnes, vers les alluvions.

La quantité d'eau infiltrée dans les grès contribue à l'alimentation de la nappe des alluvions par migration latérale et les deux nappes se comportent comme une nappe unique (Fig n°20).

-Les Dolomies de Terni :

Ce sont des Dolomies cristallines présentant des passées stromatolitiques , les marnes miocènes recouvrent les dolomies de Terny .

-Les Dolomies de Tlemcen :

Ce sont des Dolomies cristallines en bancs massifs. Elles possèdent une forte perméabilité de fissure qui favorise l'écoulement souterrain. Ces Dolomies sont surmontées par un banc miocène épais qui rend la nappe isolée de celle des alluvions .

-Les calcaires du Lias :

Le Lias constitue un réservoir continu, isolé des autres nappes et ne peut être alimenté que par son propre impluvium ;la zone d'alimentation est en grande partie des affleurements liasiques des Monts de Tlemcen (Fig n° 21).

2-RELATIONS ENTRE NAPPES :

Le bassin d'alimentation de chaque nappe ne peut être défini, car il semble que les failles mettent en communication les réservoirs de telle manière que l'un d'entre eux bénéfice d'apports propres aux autres réservoirs. Il y a donc, migration des eaux à l'intérieur de leur réservoir et, sous pression, elles sortent, en suivant le réseau de fissures.

3-RELATION NAPPE-COURS D'EAU:

Les eaux souterraines dont l'écoulement est dirigé vers le Nord –Est n'ont pas d'exutoire à l'extérieur du bassin et se concentrent le long des points bas représentés par l'Ouerdefou et Mouillah qui drainent tout le réservoir aquifère.

4-ROLE DES FAILLES :

L'existence de failles ayant rejoué pendant et après le Miocène peut influencer les déplacements de l'eau. Elles ont un rôle de fermeture et agissent sur la circulation des eaux par interruption totale ou partielle d'un ou de plusieurs réservoirs.

*Pour une fermeture totale(fig n°22) : Il faut que le rejet de la faille soit supérieur à la puissance du réservoir. Une série argileuse vient au contact du réservoir le long du plan de faille qui sera une faille barrage. La nappe soit devient captive (l'eau sous pression présentera un grand intérêt et le débit dépendra de la perméabilité de la couche réservoir) soit vient en communication avec un réservoir supérieur amené à son niveau lors du mouvement de descente du compartiment affaissé et les nappes des deux réservoirs auront le même niveau piézométrique.

*pour une fermeture partielle(fig n° 23) : Il faut que le rejet soit inférieur à l'épaisseur de l'aquifère. Le réservoir n'est pas fermé, il y a seulement réduction de la section offerte à l'écoulement.

Les failles de Maghnia réalisent l'une ou l'autre de ces fermetures ; Suivant leur rejet, le bloc affaissé qui prolonge le Jurassique des Monts de Tlemcen sous la plaine de Maghnia est à reconnaître car il possède soit des nappes captives s'il y a fermeture totale, soit une zone très productive, s'il y a écran partiel.

5-LA NAPPE DU PLIO-QUATERNAIRE:

La plaine de Maghnia contient une nappe exploitée pour l'irrigation et l'alimentation humaine par des puits qui dans la majorité des cas n'ont pas traversé l'aquifère sur toute sa hauteur.

5-1) Remplissage fluvio-lacustre :

Les séquences montrent dans un ordre variable des argiles, sables fins ou grossiers, des graviers, des galets ou des calcaires lacustres. Par cette hétérogénéité lithologique verticale et horizontale, le remplissage interdit la construction d'une nappe homogène.

Le réseau de puits est si dense qu'il ne nécessite pas de risque **de confusion,** il s'agit d'une nappe unique et non de nappes différenciées.

Verticalement, la nappe n'imprègne pas tous les niveaux, mais se localise dans les horizons les plus détritiques, c'est à dire, que la nappe se tient dans la partie supérieure des alluvions en dessous de laquelle les assises semblent avoir systématiquement une granulométrie plus fine et peuvent être considérées comme imperméable.

5-2) Substratum :

Le niveau de base hydrogéologique général de la nappe est constitué par des marnes du Miocène qui peuvent être considérées comme étanches. Elles apparaissent en surface à la périphérie de la plaine et s'enfoncent rapidement sous les formations fluvio-lacustres.

5-3) Structure hydrogéologique :

La topographie du premier terrain conducteur formé de marnes et décelé par la géophysique montre une surface inégale où se dessinent deux zones :

*Un chenal de direction WSW-ENE

*Un talus de direction E-W

Le chenal de pente ENE ne correspond pas à une direction structurale mais à un paléo-chenal creusé dans les marnes miocènes. Le talus proviendrait des dépôts effectués aux pieds des reliefs jurassiques.

En dehors de ces deux zones, le reste de la plaine peut contenir des niveaux grossiers, d'épaisseur réduite et à ciment souvent argileux d'où la diminution de la porosité et de la perméabilité du milieu.

La nature des alluvions du recouvrement varie latéralement et le réservoir de la nappe se trouve dans des lentilles de galets plus ou moins cimentés à l'intérieur des formations Plio-Quaternaire .

5-4) Caractéristiques hydrodynamiques :

Les essais de pompage effectués ne pouvaient pas donner des résultats représentatifs, malgré les corrections apportées et ce à cause des ouvrages testés qui ne traversent pas la totalité de l'aquifère (puits incomplets).

La rareté des puits dotés de piézomètres a pour conséquence une mauvaise connaissance du coefficient d'emmagasinement.

Les résultats des valeurs de transmissivités, de perméabilités et des coefficients d'emmagasinement obtenues sont rassemblés dans le tableau n°14, en annexes.

5-5)Inventaires réalisés :

Les puits sont très nombreux dans la plaine de Maghnia. L'inventaire effectué en 1980 par l'A.N.R.H a fait état de 880 points d'eau. L'inventaire de 1992 entamé en mois de Février, interrompu en Juin de la même année (faute de véhicule, selon les responsables) est resté inachevé.

Les forages et sondages sont relativement nombreux (36 ouvrages anciens et nouveaux) qui ont été réalisés dans un double objectif :

*La reconnaissance proprement dite,

*L'exploitation.

.

5-6) Situation des piézomètres dans la plaine :

11 piézomètres sont réalisés dans la plaine de Maghnia :

*04 sont testés en bon état,

*07 sont comblés.

5-7)Interprétation des cartes piézométriques : 1950,1989,1995,2001.

***Alimentation :**

L'alimentation résulte des infiltrations sur la plaine auxquelles s'ajoutent le trop plein des nappes jurassiques des Monts de Tlemcen.

au Nord, Les courbes iso-pièzes sont perpendiculaires aux reliefs jurassiques ce qui traduit une alimentation nulle du Jurassique due à la présence d'une faille majeure qui joue le rôle d'écran.

Au Sud, les courbes iso pièzes suivent une direction E-W et WSW-ENE.Le gradient hydraulique croit en allant vers le Sud, ce qui indique une alimentation à fort débit et cela confirme le déversement souterrain des nappes jurassiques vers la plaine de Maghnia.

*Drainage :

Au Nord-Ouest de la plaine de Maghnia, les lignes de courant divergent. L'eau souterraine échappe au drainage de L'Ouerdefou et rejoint oued Mouillah qui capte une quantité importante du débit de la nappe de Maghnia.

A l'est, les courbes iso pièzes divergent ce qui traduit une direction de drainage latéral vers l'est où les marnes miocènes séparent le bassin de l'Ouerdefou en aval de la plaine de Maghnia.

Donc, la plaine de Maghnia drainée principalement par l'Ouerdefou perd une certaine quantité d'eau vers le Nord et l'Oued Mouillah ainsi que vers l'Est.

5-8)Bilan hydrogéologique :

<u>5-8-1) Carte piézométrique, Septembre1950 :</u>

La carte piézométrique établie en septembre 1950 (carte n°06) montre que l'écoulement des eaux souterraines est dans l'ensemble vers le Nord, suivant la morphologie du relief. Le gradient hydraulique est variable, compris entre 2% et 0.3%

Les courbes iso pièzes sont caractéristiques d'une nappe en milieu aquifère alluvial hétérogène (filets de courant convergents ou divergents) dont la profondeur diminue suivant le sens d'écoulement.

L'allure de la surface pièzométrique est comme suit :

- La zone ouest : Les courbes sont espacées, à concavité orientée vers l'Est, ce qui correspond à une forte alimentation venant du Maroc. Le bombement de la nappe traduit un drainage inférieur à l'alimentation (Zone favorable aux captages).
- La zone médiane (SW-NE) : Les courbes sont serrées, de forte concavité vers l'aval (divergence) et une alimentation latérale des courbes pièzométriques due à la convergence (présence d'un ancien thalweg, zone favorable aux captages).
- La zone Est : Les courbes sont espacées avec une légère concavité vers l'aval. Au S.E on remarque un brusque relèvement de la surface pièzométrique qui indique une alimentation par le Sud.

A partir de la carte pièzométrique (carte n° 06), on peut évaluer le volume des écoulements :

$Q=T.i.L$

$T(m^2/s)$: Transmissivité mesurée par les essais de pompage.

i : Gradient hydraulique

L(m) : Longueur de la ligne de niveau située entre deux isopièzes, déterminée graphiquement.

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau ci-dessous

Tableau n° :16

	Q nappe (Q Total)		Drainage latéral nord		Drainage principal		Drainage latéral Est	
Unités / Isopièze	L/s	m^3/an	L/s	m^3/an	L/s	m^3/an	L/s	m^3/an
430	600	$18,9.10^6$	50	$1,57.10^6$	510	$16,05.10^6$	40	$1,26.\ 10^6$
390	430	$13,51.\ 10^6$	50	$1,57.10^6$	350	$11.\ 10^6$	30	$0,94.\ 10^6$

*Analyse des résultats :

A l'entrée en territoire algérien, les eaux souterraines se répartissent selon trois drainages et alimentent deux oueds.

Le débit total de la nappe Q_n à la sortie sera :

$Q_n = Q_n$ Ouerdefou + Q_n Mouillah

$Q_n = 11,94.\ 10^6\ m^3/an + 1,57.\ 10^6\ m^3/an$

Q_n total $= 13,51\ .\ 10^6\ m^3/an$

Selon le tableau n° 16 :

Le débit total entrant = 600 L/s

Les débits sortants cumulés = 430 L/s

Le déficit de 170 L/s est due aux pompages.

Le débit total à l'exutoire est estimé à $13,5.10^6 m^3$/an. La quasi-totalité de ce volume se concentre dans le lit drainant jusqu'à la hauteur de Maghnia. Mouillah reçoit $1,57.10^6 m^3$/an, au Nord, tandis que l'Ouerdefou, en aval, reçoit $0,94.10^6 m^3$/an.

5-8-2) Carte pièzométrique,1989 :

L'étude de la carte pièzométrique (carte n°07) montre que l'écoulement se fait du Sud vers le Nord. Les axes de drainages correspondent aux oueds El Abbès, Méhaguène et Aouinia. Toutes les eaux se rassemblent et sont drainées par l'Ouerdefou.

Q =T i L

Q : débit calculé selon une courbe isopièzomètrique

T : Transmissivité

i : Gradient hydraulique

L : longueur de la ligne de niveau située entre deux lignes de partage des eaux

Calcul du débit qui passe à travers l'hydrohypse 390, à l'intérieur du chenal :

Q=TiL

$T=15. 10^{-3} m^2/s$

$L=9. 10^3 m$

$i_1=0,013$

$i_2=0,011$

$imoy = 3,4. 10^{-3}$

$Q=0,46 m^3/s$

$Q=14,50.10^6\ m^3/an$

Calcul du débit qui passe à travers l'hydrohypse 430, à l'intérieur du chenal :

$Q=TiL$

$T=3,5.10^{-3}\ m^2/s$

$L=13,5.10^3 m$

$I_{moy}=0,014$

$Q=0,67\ m^3/s$

$Q=21,13.10^6\ m^3/an$

Calcul du débit qui passe à travers l'hydrohypse 390, à l'extérieur du chenal :

*Drainage latéral nord :

L= 3500m

$I_{MOY}=0,0035$

$T=2,5.10^{-3} m²/s$

$Q=0,030\ m^3/s$

$Q=0,94.10^6\ m^3/an.$

*Drainage latéral Est :

L= 4250m

$I_1=0,010$

$I_2=0,011$

$I_{MOY}=0,010$

$T=2.10^{-3}m^2/s$

$Q=0,085\ m^3/s$

$Q=2,68.10^6\ m^3/an$

Calcul du débit qui passe à travers l'hydrohypse 430, à l'extérieur du chenal :

*Drainage latéral nord :

$L= 2.10^3m$

$I_{MOY}=0,005$

$T=4.10^{-3}m^2/s$

$Q=0,04\ m^3/s$

$Q=1,26.10^6\ m^3/an$

*Drainage latéral Est :

$L= 2.10^3m$

$I_{MOY}=0,05$

$T=10^{-3}m^2/s$

$Q=0,1\ m^3/s$

$Q=3,15.10^6\ m^3/an$

	Q nappe (Q Total)		Drainage latéral nord		Drainage principal		Drainage latéral Est	
Unités / Isopièze	L/s	m^3/an	L/s	m^3/an	L/s	m^3/an	L/s	m^3/an
430	810	$25,54.10^6$	40	$1,26.\ 10^6$	670	$21,13.10^6$	100	$3,15.\ 10^6$
390	575	$18,12.10^6$	30	$0,94.10^6$	460	$14,5.\ 10^6$	85	$2,68.\ 10^6$

Le débit entrant total est de 810 L/s, les débits sortants cumulés sont égaux à 575L/s, le déficit de 235L/s est due aux pompages.

Le débit total à l'exutoire est estimé à $18,12.10^6 m^3$/an. La quasi-totalité de ce volume se concentre dans le lit drainant jusqu'à la hauteur de Maghnia. Mouillah reçoit $0,94.10^6 m^3$/an, au Nord, tandis que l'Ouerdefou, en aval, reçoit $17,18.10^6 m^3$/an.

Il suffit d'un abaissement ΔH en aval des captages de – 2,5m, pour que l'équilibre du bilan se trouve rétabli.

5-8-3) Carte piézomètrique , 1995 :(Carte n° 08)

Après les travaux de nivellement entrepris par l'A.N.R.H en Janvier 1994, une campagne piézomètrique a été réalisée en 1995, les points d'eau qui ont fait l'objet d'observation dans cette campagne sont en nombre de 25, répartis dans toute la plaine de Maghnia .

*Calcul du débit qui passe à travers l'hydrohypse 390, à l'intérieur du chenal :

Q=TiL

$T=15.10^{-3}$ m^2/s

$L=12.10^3 m$

$imoy = 0,0022. 10^{-3}$

$Q=0,39$ m^3/s

$Q=12,30.10^6$ m^3/an

Calcul du débit qui passe à travers l'hydrohypse 420, à l'intérieur du chenal :

$Q=TiL$

$T=3,5.10^{-3}$ m^2/s

$L=13,5.10^3 m$

$I_1=0,006$

$I_2=0,009$

$I_3=0,014$

$I_{moy}=0,009$

$Q=0,42$ m^3/s

$Q=13,24.10^6$ m^3/an

Calcul du débit qui passe à travers l'hydrohypse 390, à l'extérieur du chenal :

<u>*Drainage latéral nord :</u>

L= 1500m

$I_{MOY}=0,005$

$T= 4.10^{-3} m^2/s$

$Q=0,030$ m^3/s

$Q=0,94.10^6\ m^3/an$

*Drainage latéral Est :

$L= 2,5.10^3 m$

$I_{MOY}=0,006$

$T=10^{-3} m²/s$

$Q=0,015\ m^3/s$

$Q=0,47.10^6\ m^3/an$

Calcul du débit qui passe à travers l'hydrohypse 430, à l'extérieur du chenal :

*Drainage latéral nord :

L= 1500m

$I_{MOY}=0,005$

$T=4.10^{-3} m²/s$

$Q=0,03\ m^3/s$

$Q=0,94.10^6\ m^3/an$

*Drainage latéral Est :

L= 3250m

$I_{MOY}=0,015$

$T=2.10^{-3} m²/s$

$Q=0,09\ m^3/s$

$Q=2,83.10^6\ m^3/an$

$L_1= 13250m$

	Q nappe (Q Total)		Drainage latéral nord		Drainage principal		Drainage latéral Est	
Unités / Isopièze	L/s	m^3/an	L/s	m^3/an	L/s	m^3/an	L/s	m^3/an
420	540	$17,01.10^6$	30	$0,94.10^6$	420	$13,24.10^6$	90	$2,83.10^6$
390	435	$13,71.10^6$	30	$0,94.10^6$	390	$12,30.10^6$	15	$0,47.10^6$

Le débit entrant total est de 540 L/s, les débits sortants cumulés sont égaux à 435L/s, le déficit de 105L/s est due aux pompages.

Le débit total à l'exutoire est estimé à $13,71.10^6 m^3$/an. La quasi-totalité de ce volume se concentre dans le lit drainant jusqu'à la hauteur de Maghnia. Mouillah reçoit $0,94.10^6 m^3$/an, au Nord, tandis que l'Ouerdefou, en aval, reçoit $12,77.10^6 m^3$/an.

5-8-4)Carte pièzométrique, Avril 2001 :(Carte n° 09)

Calcul du débit qui passe à travers l'hydrohypse 390, à l'intérieur du chenal :

$Q=TiL$

$T=15.10^{-3}\ m^2/s$

$L=12.10^3 m$

imoy = 0,0025

$Q=0,45\ m^3/s$

$Q=14,19.10^6\ m^3/an$

*Calcul du débit qui passe à travers l'hydrohypse 420, à l'intérieur du chenal :

$Q=TiL$

$T=3,5.10^{-3}\ m^2/s$

$L=13,5.10^3 m$

$I_1=0,008$

$I_2=0,01$

$I_{moy}=0,009$

$Q=0,54\ m^3/s$

$Q=17,03.10^6\ m^3/an$

Calcul du débit qui passe à travers l'hydrohypse 390, à l'extérieur du chenal :

<u>*Drainage latéral nord :</u>

L= 1000m

$I_{MOY}=0,005$

$T= 4.10^{-3} m²/s$

$Q=0,02\ m^3/s$

$Q=0,63.10^6\ m^3/an$

<u>*Drainage latéral Est :</u>

L= 2750m

$I_{MOY}=0,008$

$T=10^{-3}m^2/s$

$Q=0,022\ m^3/s$

$Q=0,69.10^6\ m^3/an$

Calcul du débit qui passe à travers l'hydrohypse 420, à l'extérieur du chenal :

*Drainage latéral nord :

L= 2000m

$I_{MOY}=0,005$

$T=4.10^{-3}m^2/s$

$Q=0,04\ m^3/s$

$Q=1,26.10^6\ m^3/an$

*Drainage latéral Est :

L= 2250m

$I_1=0,015$

$I_2=0,014$

$I_{MOY}=0,0145$

$T=2.10^{-3}m^2/s$

$Q=0,06\ m^3/s$

$Q=1,89.10^6\ m^3/an$

	Q nappe (Q Total)		Drainage latéral nord		Drainage principal		Drainage latéral Est	
Unités / Isopièze	L/s	m^3/an	L/s	m^3/an	L/s	m^3/an	L/s	m^3/an
420	640	$20,18.10^6$	40	$1,26.10^6$	540	$17,03.10^6$	60	$1,89.10^6$
390	492	$15,51.10^6$	20	$0,63.10^6$	450	$14,19.10^6$	22	$0,69.10^6$

Le débit entrant total est de 640 L/s, les débits sortants cumulés sont égaux à 492L/s, le déficit de 148L/s est due aux pompages.

Le débit total à l'exutoire est estimé à $15,51.10^6 m^3$/an. La quasi-totalité de ce volume se concentre dans le lit drainant jusqu'à la hauteur de Maghnia. Mouillah reçoit $0,63.10^6 m^3$/an, au Nord, tandis que l'Ouerdefou, en aval, reçoit $14,88.10^6 m^3$/an.

Conclusion :

La plaine de Maghnia contient une nappe constituée par des formations alluvionnaires ou lacustres du Plio-Quaternaire, exploitée pour l'irrigation et l'alimentation humaine.

L'étude piézométrique nous montre que l'écoulement de la nappe se fait du Sud vers le Nord, les axes de drainage coïncident avec les Oueds. les courbes piézométriques nous montre une alimentation nulle au Nord (Béni-Ouassine) et une alimentation latérale de la nappe par les formations jurassiques.

Le réservoir souterrain du Plio-Quaternaire en communication hydraulique avec les réservoirs jurassiques des Monts de Tlemcen, a pour exutoire principal :l'Ouerdefou.

DEUXIEME PARTIE

« MODELISATION MATHEMATIQUE »

- CHAPITRE 7 : MODELISATION DES ECOULEMENTS SOUTERRAINS
- CHAPITRE 8 : CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

CHAPITRE 7 :

MODELISATION DES ECOULEMENTS SOUTERRAINS

1- GENERALITES SUR LES MODELES:

1-1 Définition :

En hydrogéologie, un modèle est une représentation plus ou moins conceptuelle d'un système aquifère. A une impulsion d'entrée correspond une réponse impulsionnelle du système résultant de la fonction de transfert.

Nous distinguons différents modèles selon le degré de conceptualisation. Ce niveau varie avec le problème posé.

Une étude fine des écoulements en milieu poreux nécessite un modèle très détaillé, faisant intervenir des relations entre les grandeurs physiques définissant le milieu.

Une simulation des débits à l'exutoire d'un bassin versant peut par contre, n'exiger qu'une représentation plus globale du domaine souterrain pour laquelle un modèle à réservoirs conviendra parfaitement.

Enfin, la méconnaissance de la structure d'un système étudié, peut rendre obligatoire une approche entièrement paramétrique au moyen d'un modèle de type « boite noire ».

D'un point de vue approche, nous distinguons deux familles de modèles :

- Les modèles déterministes qui mettent en œuvre des relations déterminées entre l'impulsion d'entrée et la réponse de sortie.
- Les modèles stochastiques ou statistiques où l'impulsion est considérée comme aléatoire.

La modélisation mathématique est donc une schématisation déterministe ou probabiliste d'un système aquifère par une formulation mathématique des relations entre la ou les impulsions et la ou les réponses du système avec ou sans prise en compte de ses paramètres physiques (G.CASTANY et J.MARGAT, 1977)

Nous intéresserons dans notre cas aux modèles numériques déterministes. Les plus utilisés en hydrogéologie sont les modèles hydrodynamiques (simulation des écoulements) et les modèles hydrodispersifs (simulation de la propagation des poluants).

1-2 Limitation de la méthode du modèle :

La méthode du modèle admet les mêmes limitations théoriques que la méthode expérimentale qui tient, en particulier, aux points suivants :

*Différence fondamentale entre la réalité et la représentation mathématique :

Le modèle ne peut jamais être isomorphe à l'objet, ils sont de nature différente et l'information recueillie sur le comportement de l'objet n'est jamais pure, elle est entachée d'erreurs de mesures.

*Relativité des lois de la physique :

Concerne les modèles constitués à partir des lois qui entrent dans leurs programmation.

1-3 Les différentes étapes de la modélisation :

La mise en œuvre du modèle nécessite le déroulement des étapes suivantes :

A) Conception et construction du modèle : Caractérisation

La caractérisation est la phase de reconnaissance détaillée de l'objet en vue d'aboutir à un modèle adéquat. Elle consiste à rassembler le maximum de données sur l'objet.

A-1Analyse de données naturelles :

*Structure de la nappe :

-Elle s'appuie principalement sur les données géologiques, cartographie de surface, coupes lithologiques, géophysique…
-Cette structure doit être résumé par des cartes qui comporteront tous les renseignements possibles (courbes isopaches, isobathes…)

*Typologie de l'écoulement et du système :

-C'est l'étape la plus importante de la caractérisation. Elle a pour objectif de définir l'écoulement qui se produit dans le système.

*Paramètres structuraux :

Ce sont deux paramètres fondamentaux :

1- La perméabilité :

-La perméabilité de Darcy est un paramètre de conductivité hydraulique qui exprime la perte d'énergie de l'écoulement à la traversée du matériau. Quand l'hypothèse bidimensionnelle est assurée, on peut substituer à la notion de perméabilité, celle de la transmissivité.

-Dans la pratique des modèles, il y a deux modes d'introduction des valeurs de transmissivité selon le type d'écoulement et les propriétés du milieu :

*Si les limites inférieures et supérieures entre lesquelles se produit l'écoulement sont invariables, la transmissivité est introduite directement comme un paramètre fixe :

$T = K.e$ (Aquifère homogène)

$T = \sum K_i e_i$ (Aquifère stratifié)

*Si la limite supérieure de l'écoulement en l'occurrence de la surface libre varie par rapport à la hauteur mouillée e_m ,on définit la loi de variation de la perméabilité selon la verticale :

$T = Ke_m = K (h-Z_s)$

2- Le coefficient d'emmagasinement:

C'est un terme sans dimension qui exprime la capacité du milieu à stocker et restituer l'eau.

*Conditions aux limites des systèmes :

1-Limites à niveau imposé :

Elles correspondent à des plans d'eaux libres: Rivières, lacs ou étangs, qui sont indépendant du fonctionnement du système qu'ils limitent.

Les sources peuvent être considérées comme des points limites à niveau imposé, mais il faut s'assurer de leur pérennité au moins durant la période à représenter.

2-Limites étanches :

Ce sont les contacts entre les formations perméables et imperméables, elles sont définies par l'analyse géologique et dérivent directement de l'étude de la structure du système.

3-Limites à flux imposé :

Nous avons principalement :

-Des lignes de contact entre domaines aquifères de perméabilité différentes, d'emmagasinement et d'extensions différentes. Par exemple : une nappe alluviale très transmissive mais de capacité limitée et un coteau moins perméable mais présente une forte réserve soutenue par une alimentation permanente.
-Des zones de pertes à partir de cours d'eau éloigné du plan de saturation pour qu'il n'y ait pas relation directe entre l'eau libre et le niveau pièzométrique.

*Conditions internes-singularités :

Après avoir analyser les données qui ont conduit à définir un domaine fermé par des limites externes linéaires, il faut se préoccuper de rechercher les conditions à afficher à l'intérieur du système.

Les conditions de débit imposables par zones :

-Elles correspondent à des aires d'échange de la nappe avec l'hydrosphère, comme il peut s'agir de prélèvement ou d'apports.

A ce type de condition appartiennent :

- Les aires d'alimentation des nappes à surface libre :pluies, épandage de crue en piémonts, pertes des eaux d'irrigation…
- Les aires d'émergence de ces mêmes nappes(par action de l'évaporation)
- Les aires drainant des nappes captives, c'est à dire, les zones où se produisent des transferts à travers une éponte.

Les conditions d'émergence liées à la pièzométrie :

Elles correspondent aux notions de sources de débordement ou de cours d'eau indigènes dont l'existence n'est garantie que pour autant que la pièzométrie de la nappe se maintient alentour à un niveau supérieur à leurs côtes d'émergence.

Les conditions de niveau liées à la pièzométrie :

Il s'agit de fenêtres dans la nappe qui peuvent être d'origine naturelle ou artificielle, mais ne sont pas reliées à un écoulement superficiel.

Les conditions ponctuelles de prélèvement ou d'injection :

Il faut bien connaître le comportement du système à représenter avant la mise en œuvre du modèle.

Dans la phase d'analyse des données, il faut d'abord se poser la question du type de régime qui sera à représenter et choisir le comportement dont on visera la reproduction sur modèle (comportement de référence).

-Choix de comportement de référence :

Il faut pour chaque état pièzométrique connu avec une bonne précision, indiquer les conditions jugées explicatives en les exprimant en termes numériques.

-Résultat de la caractérisation :

1)Choix d'une stratégie de modélisation :

La méthode du modèle a un but essentiel qui est d'aboutir à des prévisions de comportement nouveaux liés à des conditions particulières de fonctionnement du système. On doit donc définir le modèle qui permettra le mieux de faire ces prévisions.

*****Forme générale du modèle :

Elle écoule de l'analyse des comportements observés et de la nature des prévisions à faire. Elle se résume par la forme de l'équation d'écoulement.

*Maillage et précision :

Le maillage doit être assez fin pour que l'erreur de discrétisation due à la méthode des différences finies soit largement inférieure à l'incertitude.

*Conditions imposées :

Les modèles aux différences finies permettent d'imposer directement pour chaque maille 3 types de conditions :

1- *Limite étanche :* Pour imposer une telle condition sur le côté d'une maille, il suffit d'afficher un débit nul en provenance de la maille adjacente, ce qui avec le mode d'imposition des conductivités que nous préconisons revient à afficher une transmissivité nulle dans la maille adjacente.

2-Niveau imposé : Il ne peut être imposé, que par maille et sur l'ensemble de la maille.

3-Débit imposé : Il est de même affiché pour l'ensemble de la maille et présente un débit réparti de manière homogène sur toute la surface.

*Paramètres *:*

Il sont affichés par maille. Certaines valeurs sont valables pour le centre de la maille, tandis que d'autres sont valables pour toute la maille.

Il faut obligatoirement afficher une valeur par maille, même dans les zones où les paramètres sont mal connus.

*Régime transitoire : conditions initiales :

Selon le théorème de superposition, tout régime transitoire est décomposable à partir d'un instant donné en deux termes :

1- La suite de la variation en cours avant cet instant sous l'influence des conditions qui l'ont engendrée.
2- La variation engendrée par les nouvelles conditions.

B-Identification (calage) et vérification :

B-1 Considérations théoriques :

Identifier, c'est valider la forme du modèle choisi et d'autre part, rechercher les meilleurs paramètres.

Le principal problème à résoudre, une fois la caractérisation achevée est l'identification des paramètres du système qui ne sont connus par mesure qu'en quelques points.

La résolution du problème d'identification se fait dans un domaine d'espace étendu que l'on désigne du nom : « problème inverse ».

B-1-1 Le problème inverse selon la théorie des équations aux dérivées partielles :

Les principales conclusions qui ont un intérêt pratique pour l'identification des paramètres :

*La démarche directe : L'équation fondamentale du mouvement admet une solution unique dès que sont fixées à la fois la forme du domaine, conditions aux limites et répartitions des paramètres .
Pour un système déterminé, la répartition des paramètres, conditions aux limites et réponses du système sont tenus à être cohérentes entre elles.

*La démarche inverse : Selon la théorie des équations aux dérivées partielles, cette démarche consiste à expliquer les relations entre ces divers éléments.

B-1-2 Le problème inverse par les théories d'optimisation :

Dans cette approche, on cherche la répartition des termes à identifier qui satisfasse au mieux l'équation du mouvement sous un certain nombre de contraintes.

A- D'abord, on doit formuler l'écart entre la pièzométrie donnée par le modèle Hp et celle observée Hr :
$\sum(Pi) = || Hpi-Hr ||$
Pi : Paramètre

B- Proposer une méthode d'optimisation afin de trouver la répartition du paramètre qui minimise $\sum(Pi)$

B-2 Règles pratiques d'identification :

B-2-1 Tests de cohérence :

Ce test a pour objectif de vérifier s'il y a cohérence entre l'ensemble des données et l'hypothèse formulée.

A la suite des tests de cohérence, la forme du modèle doit pouvoir être considérée comme définitivement fixée ainsi que la position et la nature des conditions aux limites. Ce n'est qu'à cette condition que peut être valablement entreprise l'étape d'identification des paramètres.

B-2-2 Identification des paramètres :

C'est l'étape fondamentale du calage. Elle consiste à rechercher les meilleurs répartitions de paramètres. Cette opération suppose une bonne détermination de la forme du modèle et des conditions aux limites.
Trois paramètres sont à identifier :

1) Transmissivité (T), en prenant comme référence le régime permanent,
2) Coefficient d'emmagasinement (S),lorsque T est fixé,
3) Infiltration (I), lorsque T,S sont fixés.

B-2-3 Vérification :

Pour les nappes qui ont subi de fortes perturbations, soumises à des états pièzométriques très différents, il faut vérifier la répartition des paramètres.

C-Exploitation des modèles calés :

La phase d'exploitation des modèles constitue l'apport le plus original et le plus important pour les clients de l'hydrogéologie , puisqu'elle permet d'apporter des réponses précises à leur questions et de trouver une stratégie de gestion des ressources en eau souterraines.

1-4 Erreurs liées à l'utilisation des modèles :

Différentes erreurs peuvent fausser l'utilisation des modèles :
Le dimensionnement des mailles est important, il est conditionné par les connaissances initiales du milieu physique. A titre d'exemple, il est inutile d'utiliser un maillage trop petit si l'on ne se dispose pas de données suffisantes. Il en découle une dépense de calculs superflus.

En général, on distingue quatre types d'erreurs :

A- Erreurs conceptuelles :

L'utilisation d'un modèle non approprié au problème, ou la mauvaise formulation du modèle lui même entraîne des erreurs incontournables.

B- Erreurs de données :

Elles sont issues de la mauvaise connaissance des conditions hydrodynamiques qui régissent les écoulements souterrains (conditions initiales et conditions aux limites).

C- Erreurs de troncature :

Elles sont liées à la mauvaise discrétisation du domaine (mailles trop grandes) ainsi qu'à la méthode de résolution des équations différentielles qui régissent les écoulements (Méthodes des différences finies ou des éléments finis).

D-Erreurs d'arrondis :

Ces dernières sont généralement négligeables par rapport aux autres types d'erreurs.

1-5Théorie sur les modèles « formulation mathématique » :

Les écoulement souterrains sont décrits par des équations selon le régime d'écoulement :

*Ecoulement permanent :

L'équation tri-dimensionnelle définissant l'écoulement permanent sans débit entrant ou sortant est la suivante :

$$d/dx\ (kx\ dh/dx) + d/dy\ (ky\ dh/dy) + d/dz\ (kz\ dh/dz) = 0 \qquad (1)$$

Cette équation indique que l'écoulement net en un point est égal à zéro lorsqu'il existe un état stable.

Dans l'étude de l'écoulement souterrain régional, il a été supposé que les composantes verticales de l'écoulement sont négligeables car les distances verticales telles que l'épaisseur de l'aquifère sont faibles par rapport aux distances horizontales.
L'équation (1) peut être écrite sous une autre forme en termes de transmissivités :

$$d/dx\ (Tx\ dh/dx) + d/dy\ (Ty\ dh/dy) = 0 \qquad (2)$$

*Ecoulement transitoire avec débit entrant et sortant :

En régime transitoire, les hauteurs pièzométriques varient avec le temps. L'eau peut donc être emmagasinée ou libérée à un taux Sdh/dt.

Lorsqu'une réalimentation, un prélèvement ou un drainage ont lieu ,ces différents phénomènes peuvent être incorporés à l'équation sous la forme d'un débit .

L'équation (2) peut être développée sous la forme transitoire suivante :

$$d/dx\ (Tx\ dh/dx) + d/dy\ (Ty\ dh/dy) = Sdh/dt + -q(x,y,t) \qquad (3)$$

Cette équation est l'expression de base définissant l'écoulement souterrain régional bidimensionnel, elle inclut l'emmagasinement , les débits entrants et sortants.

Les symboles utilisés dans l'exposé ci-dessus sont comme suit :

Kx , ky , kz: Perméabilités dans les directions x,y,z. (m/s)
Tx , Ty : Transmissivités dans les directions x,y (m^2/s)
H ou H : Hauteur piézométrique en une maille déterminée (m)
S : Coefficient d'emmagasinement
Q : Réalimentation nette ($m^3/s/m$)
t: Temps (s)
x,y,z : Coordonnées cartésiennes (m)
q (x,y,z) : Débit entrant (+) ou sortant (-) (m^3/s)

- *Approximation par différences finies* :

Pour résoudre l'équation (3), des approximations sont faites sur les termes différentiels en divisant l'espace et le temps en unités discrètes.

Exemple :

Soient 4 mailles appartenant au découpage d'un domaine D représenté par la figure n° et dont le nœud central est entouré de 4 nœuds N, S, E,W distants d'un pas de distribution a. Pour chaque volume élémentaire(maille), l'équation des différences finies peut s'écrire de la façon suivante :

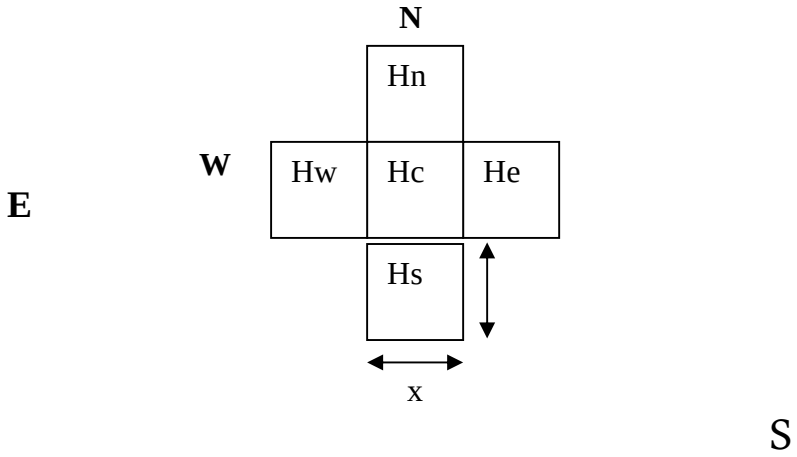


Fig n° : Découpage d'un domaine « D » en quatres mailles.

- Dans l'axe des x suivant l'orientation Est-Ouest :

$$d/dx\,(Tx\,dh/dx) = \left[\frac{(Te-Tc)(He-Hc)}{\Delta x} - \left[\frac{(Tw-Tc)(Hc-Hw)}{\Delta x}\right]\frac{1}{\Delta x}\right] \quad (4)$$

- Dans l'axe des y suivant l'orientation Nord-Sud :

$$d/dx\,(Ty\,dh/dy) = \left[\frac{(Tn-Tc)(Hn-Hc)}{\Delta y} - \left[\frac{(Ts-Tc)(Hs-Hw)}{\Delta y}\right]\frac{1}{\Delta y}\right] \quad (5)$$

- Après addition des expressions (4) et (5) nous obtenons :

$$d/dx[Tx\,dh/dx]+d/dy[Ty\,dh/dy] = \frac{(He-Hc)-(Hc-Hw)}{\Delta x^2} - \frac{(Hn-Hc)-(Hc-Hs)}{\Delta y^2} \quad (6)$$

Par égalité de l'équation de diffusivité (3) avec l'équation (6) on aura, avec $\Delta x = \Delta y$

$$(He-Hc)-(Hc-Hw) + (Hn-Hc)+(Hs-Hc) = S\,\Delta x^2\,dHc/dt +- qc$$

$$(He-Hc)-(Hw-Hc) + (Hn-Hc)+(Hs-Hc) = S\,\Delta x^2\,dHc/dt +- qc \quad (7)$$

qc : c'est le débit échangé par la maille c avec le milieu extérieur.
Soit «n» le nombre de mailles, le potentiel hydraulique est calculé au sein de chaque nœud (centre de la maille) par intégration de l'expression précédente à un domaine de «n» mailles. La solution du système d'équation de «n» équations à «n» inconnues sera résolue sous la forme matricielle suivante :

$$[T]\,[H] = \Delta x^2\,[S](dh/dt) +- [q]$$

D'où l'on tire **H** :

$$[H] = T^{-1}\,[\,\Delta x^2\,[S](dh/dt) +- [q]\,]$$

La solution du système à «n» équations ne sera possible qu'après avoir défini les conditions aux limites de l'aquifère quaternaire.

2- UTILISATION DU MODELE DES EAUX SOUTERRAINES DE LA NAPPE DE MAGHNIA:

2-1 Modèle choisi :

Les modèles mathématiques ont l'avantage d'autoriser une grande liberté des variations des paramètres. En effet, la transformation des données s'effectue simplement par l'échange de cartes.

« Aquifer Simulation Model : ASM » a été mis au point et perfectionné par W.KINZELBACK et R.RAUCH en 1995, pour la gestion des ressources en eau souterraines. Ce modèle a été choisi pour simuler la nappe alluvionnaire de la plaine de Maghnia.

2-2 Application du modèle à la plaine de Maghnia :

L'alimentation en eau potable de la ville de Maghnia et l'irrigation agricole ont toujours occupé une place primordiale dans la planification et la programmation des besoins futurs.

L'exploitant pense que la nappe de Maghnia est surexploitée, les mesures de contrôle de niveau de l'eau dans les forages et puits indiquent des rabattements croissants.

L'intérêt de cette étude réside dans l'évaluation du bilan général de cette nappe, afin de proposer à l'exploitant des recommandations qui lui permettent d'en préserver les réserves et la démarche à prendre pour la maîtrise, le contrôle et la gestion de l'eau afin de faire face ensemble aux enjeux dans le futur.

2-2-1 Discrétisation du domaine :

Le domaine étudié a été discrétisé en mailles carrées de 1km de côté, disposées selon 21lignes et 14colonnes.

2-2-2 Géométrie de l'aquifère :

Déterminer la géométrie de l'aquifère, revient à bien définir la nature des conditions aux limites de l'aquifère. Au fait, ces conditions aux limites contrôlent les règles d'échanges des flux entre le domaine discrétisé et le milieu extérieur.

La description des conditions aux limites fait partie de la définition de la structure du modèle et en conditionne par conséquent la validité, car c'est effectivement à travers les limites que s'établit le bilan de l'aquifère, les relations entre les différentes zones de circulation sont d'un intérêt essentiel pour cerner le fonctionnement du système en entier.

La nappe de la plaine de Maghnia est limitée par :

-Les Monts de Tlemcen et la frontière algéro- marocaine , au Sud et au Sud Ouest.
-Le bombement anticlinal de Béni Ouassine, au Nord
-Le Miocène marneux, à l'Est
-Oued Mouillah, à l'Ouest

Les limites du domaine étudié sont constituées par :

*<u>*Limites étanches :*</u>

Elles sont constituées par :

- le Miocène marneux à l'Est.
- D'après la carte piézométrique, la zone nord située au contact du bombement jurassique des Béni –Ouassine montre des courbes isopièzométriques perpendiculaires aux reliefs jurassiques et une direction d'écoulement Ouest-Est .Ceci traduit une alimentation nulle. La géophysique vérifie cette interprétation par la présence d'une faille au pied des Monts de Béni Ouassine.

<u>**Limites à potentiel imposé :*</u>

Représentées par Oued Mouillah.

<u>**Limites à débit entrant :*</u>

*D'après la carte piézométrique, la zone sud possède des courbes sensiblement W,E avec un gradient hydraulique croissant vers les affleurements jurassiques des Monts de Tlemcen. Ces faits indiquent une alimentation à fort débit et confirment l'important déversement souterrains des nappes jurassiques qui se mettent en charge vers la plaine de Maghnia.
Donc, l'alimentation résulte des infiltrations sur la plaine auxquelles s'ajoute le trop plein des nappes jurassiques des Monts de Tlemcen.

*Les apports du territoire marocain sont déterminés à partir de la carte piézométrique, limitée à l'Ouest par la frontière Algéro-marocaine.

<u>**Limites à débit sortant :*</u>

-Drainage par les oueds Mouillah et Ouerdefou.
-Soutirage par les puits et forages.

2-2-3Evaluation et préparation des données :

Les données nécessaires, introduites dans le modèle (ASM) sont les suivantes :

-Géométrie du maillage,
-Débits mesurés des prélèvements (pompages),
-Hauteurs mesurées de la piézométrie,
-Caractéristiques hydrogéologiques (K, porosité efficace…),
-Paramètres caractérisant la recharge (infiltration, flux entrant),
-Paramètres caractérisant la décharge (flux sortrant),
-Côte du substratum imperméable.

Les données correspondantes à chacune de ces catégories sont décrites comme suit :

*Géométrie du maillage :Les données suivantes sont requises par le modèle :
-Nombre de mailles selon les axes x et y.
-Matrice représentant la position relative des mailles les unes par rapport aux autres.
-Coordonnées des centres des mailles internes.
-Superficie des mailles.

*Débits mesurés des prélèvements (pompages) : Introduction du nombre de forages et de leurs position x, y ainsi que leurs débits d'exploitation en m^3/s.

*Hauteurs mesurées de la pièzométrie : Elles sont déduites de la carte pièzométrique initiale , celle de Mars 1995 établie d'après les compagnes pièzométriques faites par l'A.N.R.H.La carte finale a été dressée pour le mois de Juillet 1995.
On introduit pour chaque maille une charge hydraulique correspondante.

*Caractéristiques hydrogéologiques K,S :
Ces données sont obtenues à partir des essais de pompages.
Le domaine aquifère a été paramétisé en plages de valeurs constantes pour réduire le nombre de paramètres à manipuler, en analysant géostatistiquement la variabilité spatiale de chacun de ces paramètres.

Le coefficient d'emmagasinement est le rapport entre le volume libéré emmagasiné par unité de surface d'un aquifère et la variation de la charge hydraulique correspondante est indépendamment du temps .Ce coefficient est sans dimensions et dans le cas d'une nappe libre S est équivalent à la porosité.
Les seules valeurs estimées par essais de pompages ,dont nous disposons, ne nous permettent pas de tirer l'emmagasinement global de la nappe, vu la variation lithologique du terrain.

* Côtes du substratum imperméable :

Déterminées à partir de l'étude géophysique et des forages réalisés dans la plaine étudiée.

*La recharge : Représentée par les précipitations efficaces. Les premières tentatives d'évaluation de la recharge à partir des données climatologiques n'ont pas donné satisfaction. Les ajustements finaux ont été faits à l'aide du modèle numérique ASM.

*La décharge : Représentée par les volumes drainés dans la partie avale de la plaine par les oueds Mouillah et Ouerdefou.

A)- ANALYSE GEOSTATISTIQUE DES PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES :

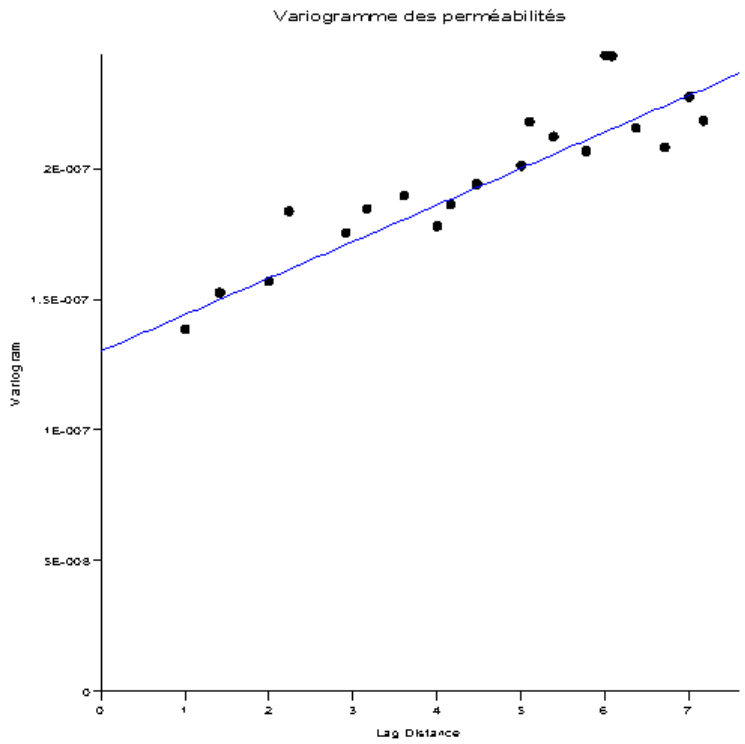
La géostatistique constitue un ensemble de méthodes dont l'objet est l'analyse de la variabilité et l'estimation de phénomènes régionalisés .Les fondements de ces méthodes se basent sur la théorie probabiliste des fonctions aléatoires. Les méthodes d'interpolation prennent en compte la variabilité spatiale des phénomènes physiques à l'inverse des méthodes purement analytiques.

La géostatistique, en plus d'être un outil d'estimation est aussi un moyen d'analyse et de critique de données.

1-Les perméabilités :

Variogramme des perméabilités :

Le variogramme donne une description synthétique de la structure du phénomène étudié et permet en outre la liaison entre cette structure et la précision avec laquelle pourront être résolus les différents problèmes d'interpolation et d'estimation posés.



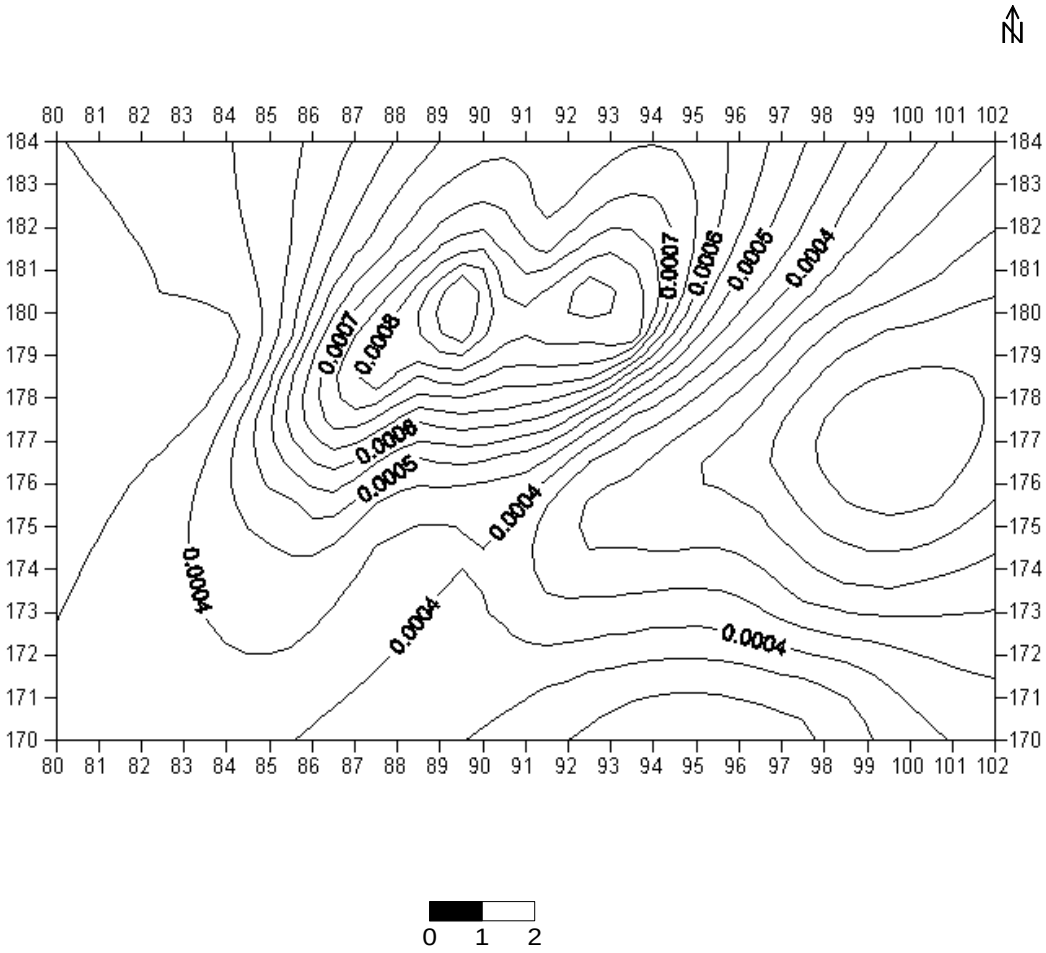
Le variogramme des perméabilités présente une discontinuité à l'origine (effet de pépite) : signifie que la variable est très irrégulière .

Le terme « effet de pépite » tire son nom des gisements d'or pépitiques, où la teneur en or varie considérablement selon que le point se trouve à l'intérieur ou à l'extérieur d'une pépite. Le terme a été conservé pour désigner cette discontinuité du variogramme qui peut être due :

*Soit à une micro-régionalisation d'échelle très inférieur à l'espacement des données,

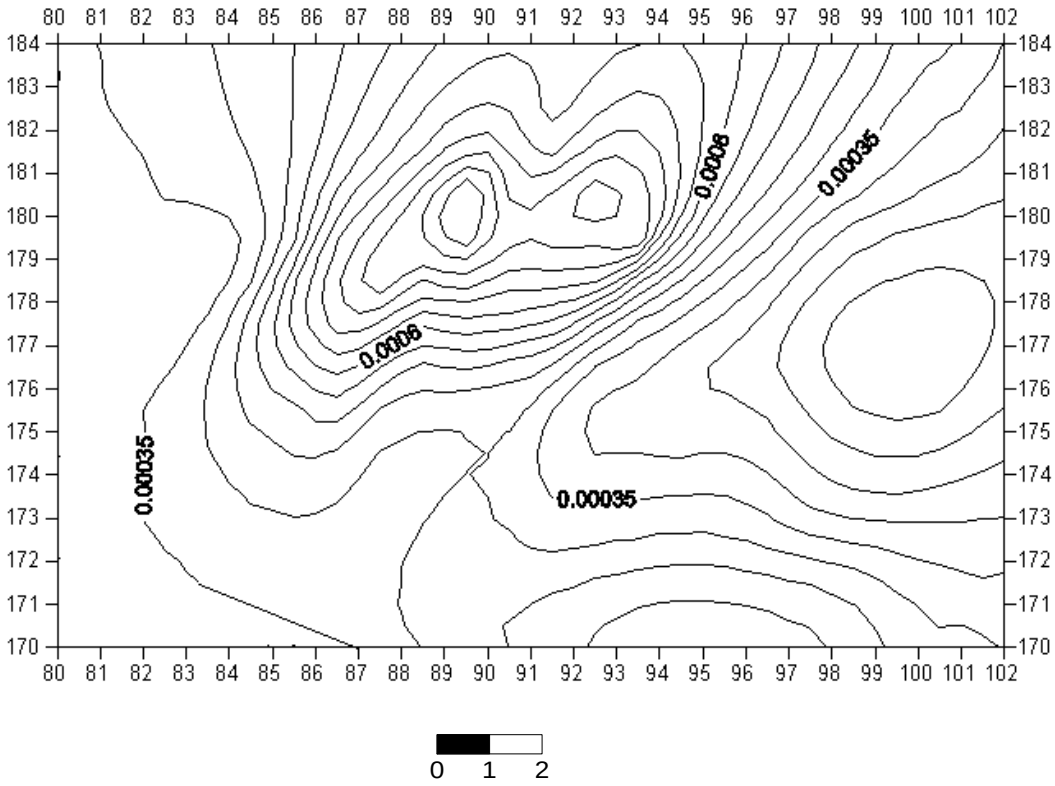
*Soit à des erreurs de mesures.

Carte des perméabilités

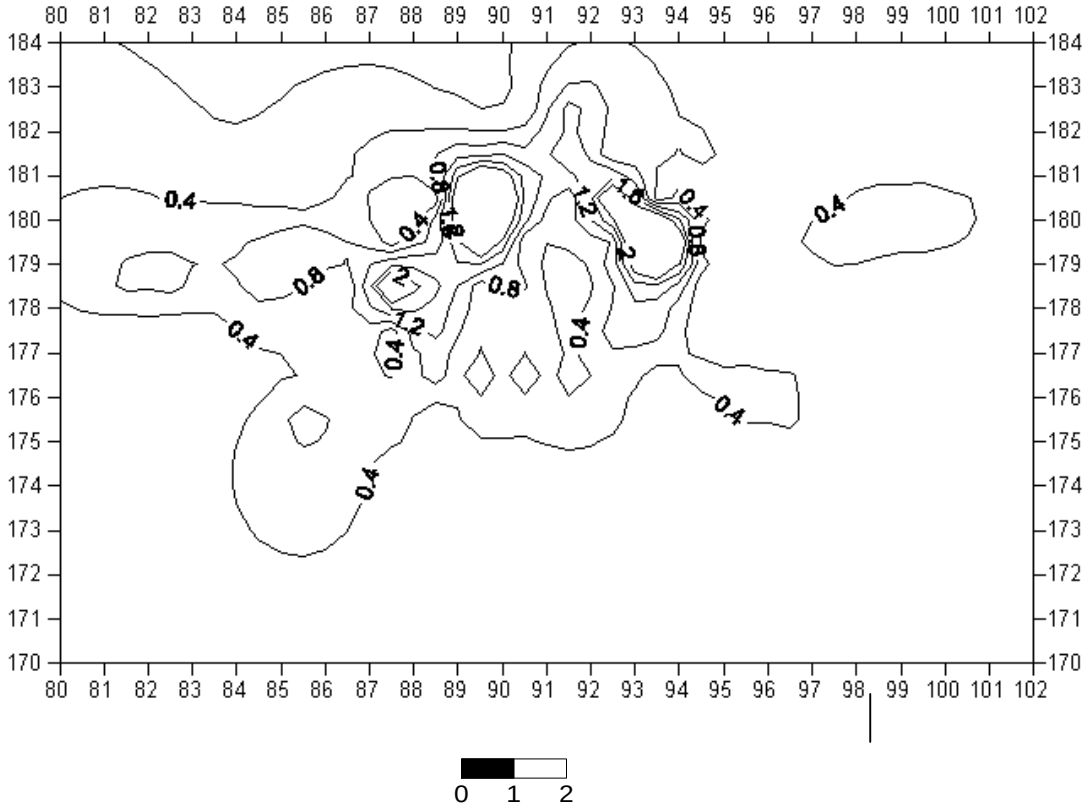


Les valeurs de perméabilité ont été augmentées au niveau du chenal, de part et d'autre de la nappe, elles sont médiocres à faibles.

Carte des écarts type des perméabilités



Carte des écarts réduits de calage des perméabilités

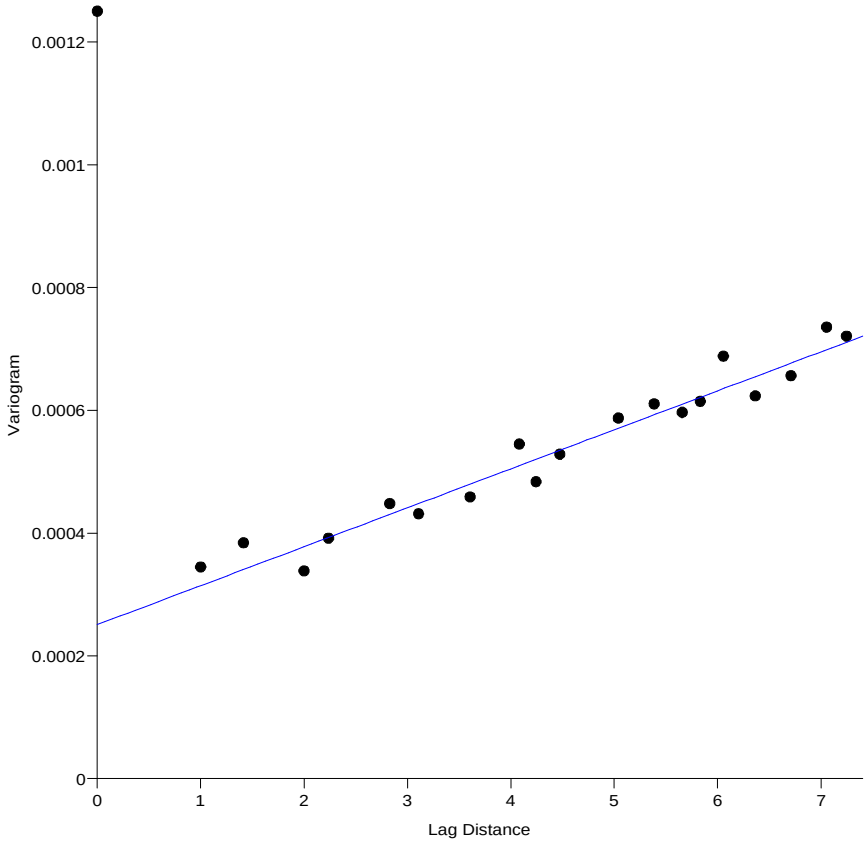


La répartition des écarts réduits des perméabilités est acceptable sur les limites de l'Ouest, de l'Est et dans la partie sud et nord de la nappe ,tandis que la partie centrale présente des écarts supérieurs ou égales à 2.

L'identification du champ des perméabilités à partir des données des essais de pompages ne peut conduire à un résultat sans incertitude. La quantification de la confiance qu'on peut lui accorder reste à discuter selon les besoins du modèle.

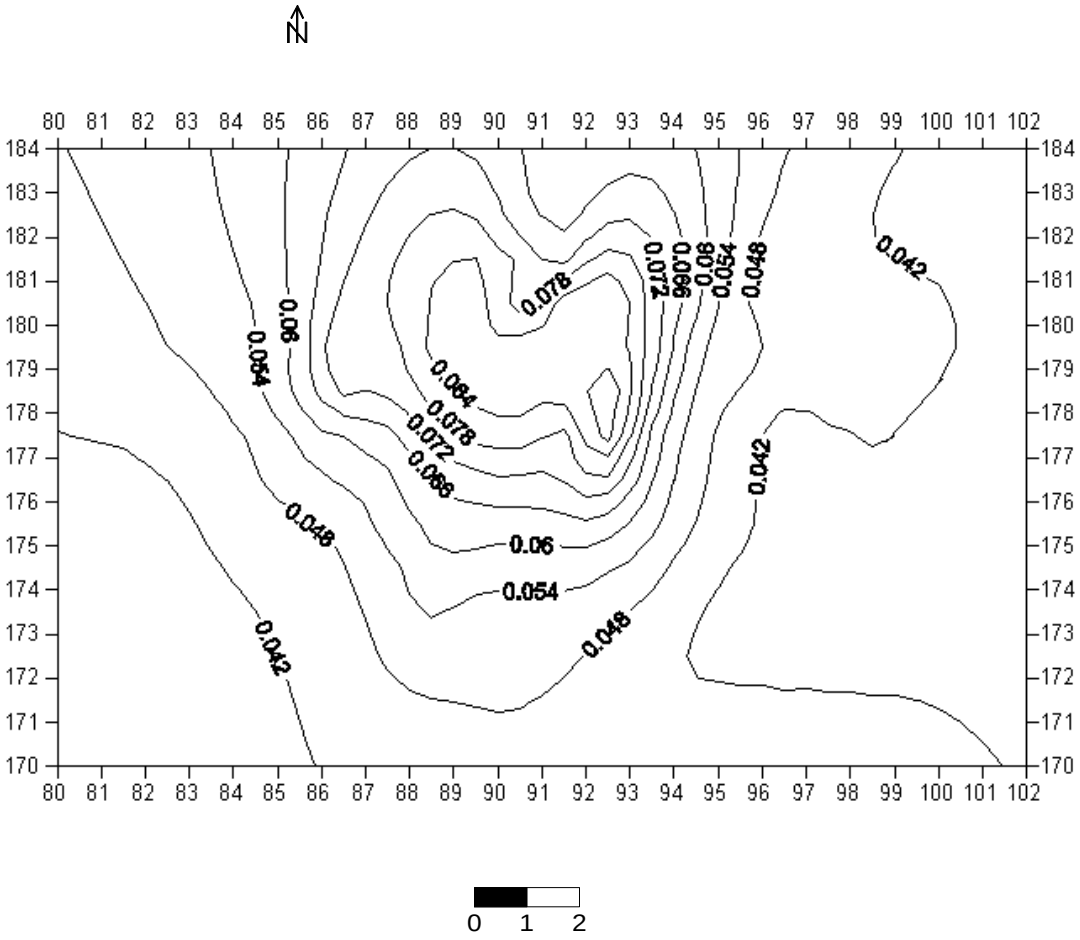
2-Les Porosités efficaces :

Variogramme des porosités efficaces



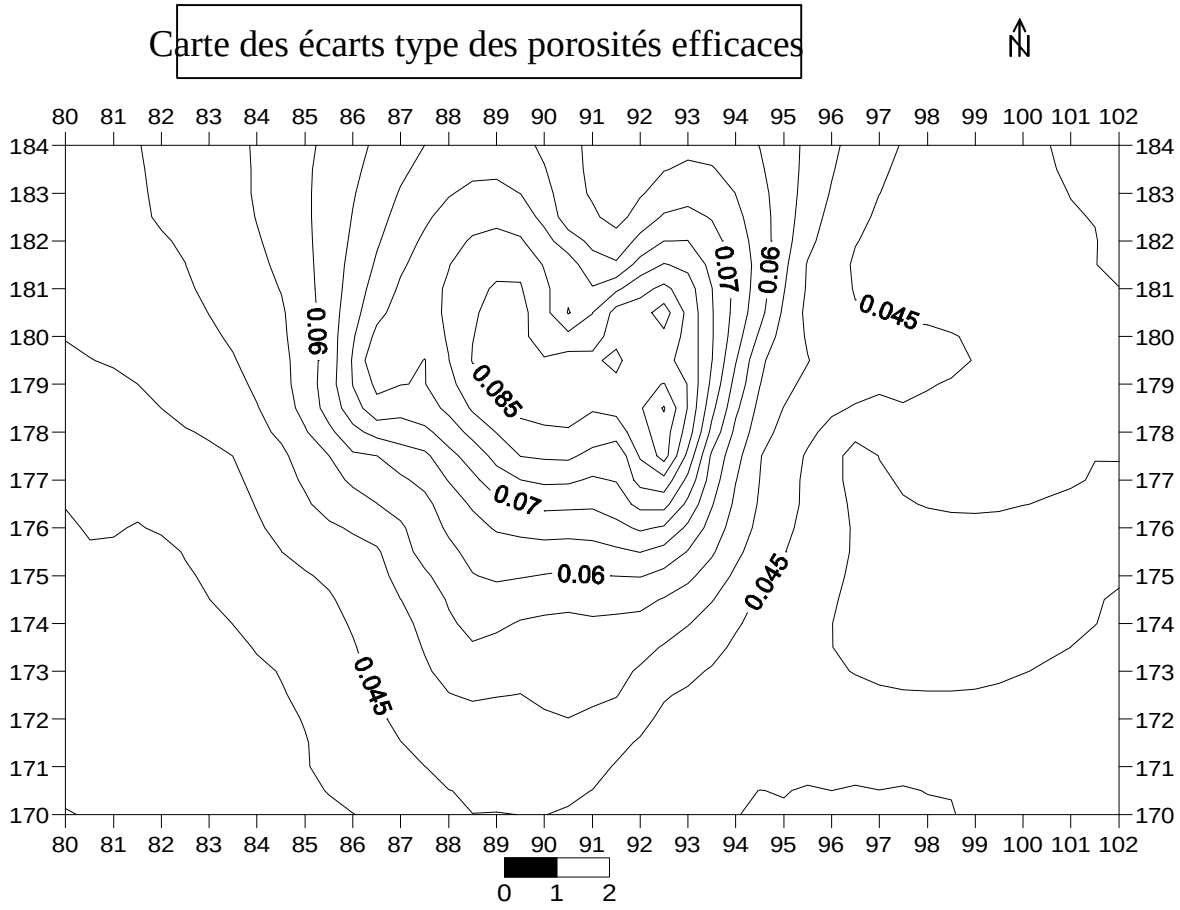
L’effet de pépite est remarquable dans ce variogramme, ce qui traduisait un caractère discontinu et irrégulier de ce phénomène. Ce facteur pose le problème de la représentativité de l’échelle d’échantillonnage adopté ou de l’incertitude affectant les mesures (Delhomme,1978 ; Razak,1984) .

Carte des porosités efficaces

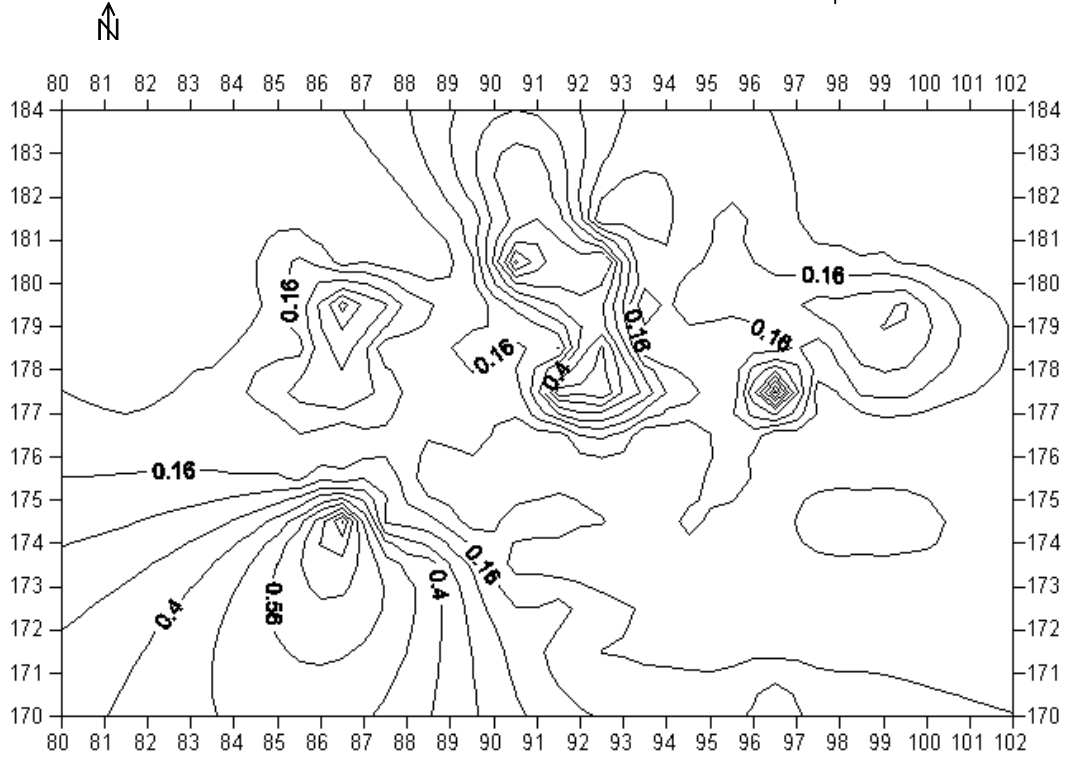


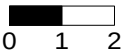
La distribution des porosités efficaces montre des valeurs fortes au centre de la nappe, les autres parties ont des valeurs moyennes.

Carte des écarts type des porosités efficaces



Carte des écarts réduits des porosités efficaces





La répartition des écarts réduits des porosités efficaces est dans l'ensemble acceptable.

B)- CALAGE DU MODELE :

**** Concept de calage :***

Il est peu probable que l'on ne puisse jamais disposer des valeurs de tous les paramètres qui contrôlent l'écoulement souterrain de l'eau dans un système aquifère, ce qui est notre cas. Il existe toujours une certaine incertitude due à l'absence de données et aussi au fait que l'extrapolation des données locales et ponctuelles à une distribution régionale sur l'ensemble du domaine d'étude ne peut pas être bien définie. Pour cette raison, un calage du modèle est toujours nécessaire, il consiste à tester différentes distributions régionales des paramètres, jusqu'à ce que une concordance acceptable existe entre les résultats du modèle et le comportement connu du système aquifère simulé. Les variantes testées de la distribution d'un paramètre sont obtenues par ajustements successifs, qui prennent en compte les mesures réalisées et les résultats des tentatives précédentes.

Dans toute étude de modélisation, certains paramètres sont moins bien connus que d'autres à cause de l'absence de mesures et d'observation. Ce sont ces paramètres presque inconnus qui sont ajustés au cours du calage du modèle numérique et pour lesquelles on doit définir un intervalle des valeurs vraisemblables.
Généralement, la première tentative de calage est réalisée au moyen d'estimation aussi réaliste que possible de l'ensemble des données introduites. La piézométrie calculée est ensuite comparée aux mesures disponibles (piézométrie mesurée).

Le calage est achevé lorsque la piézométrie calculée est en concordance acceptable avec la piézométrie mesurée. La notion de concordance acceptable varie selon les besoins du modèle et la qualité de sa base de données. On accepte généralement des écarts allant de quelques centimètres à quelques mètres.

C)- IDENTIFICATION DU SYSTEME HYDROGEOLOGIQUE

(NAPPE DU PLIO-QUATERNAIRE DE MAGHNIA) :

Le calage du modèle mathématique consiste à essayer de reproduire les états piézométriques observés en ajustant différents paramètres (perméabilités ,débits, coefficients d'emmagasinement…). Cet ajustement se fait par essais et erreurs, en comparant la carte piézométrique calculée avec celle de référence.

Tests de cohérence :

Ces tests ont pour objectif de vérifier s'il y a cohérence entre l'ensemble des données et l'hypothèse formulée.

RESULTATS DU CALAGE EN REGME PERMANENT:

L'état de référence qui a servi au calage du modèle en régime permanent est celui qui a été mesuré en Mars 1995, correspondant à une période de moyennes eaux.

Pour caler le modèle, nous avons ajusté les débits mais surtout les perméabilités.

Tout d'abord, un certain nombre de simulations ont été réalisées pour obtenir une concordance entre les potentiels mesurés et calculés. Pour obtenir ce résultat, nous avons adopté une zonation découpée des perméabilités, en tenant compte de l'hétérogénéité de l'aquifère.

1-Ecarts de calage aux points de mesures(moyennes eaux) :

Maille	Pièzométrie mesurée(m)	Pièzométrie calculée(m)	Ecart (m)
(3-4)	407,76	408	0,24
(10-4)	418	420	2
(4-6)	417,532	419	1,468
(7-6)	417,227	418	0,773
(5-6)	413,8975	415	1,1025
(8-7)	425,0306	426	0,9694
(9-5)	418,5354	420	1,4646
(12-5)	423,7937	425	1,2063
(11-6)	424,4194	425	0,5806
(10-6)	423,3834	424	0,6166
(8-5)	416,4695	418	1,5305
(9-6)	421,1223	422	0,8777
(7-3)	408	410	2
(8-6)	417	419	2
(6-6)	416,2643	418	1,7357
(6-5)	416,4	418	1,6

Les écarts entre les potentiels calculés et les potentiels mesurés sont relativement acceptables. Cet état est moins bien ajusté, les écarts dépassent le mètre dans la partie centrale de la nappe.

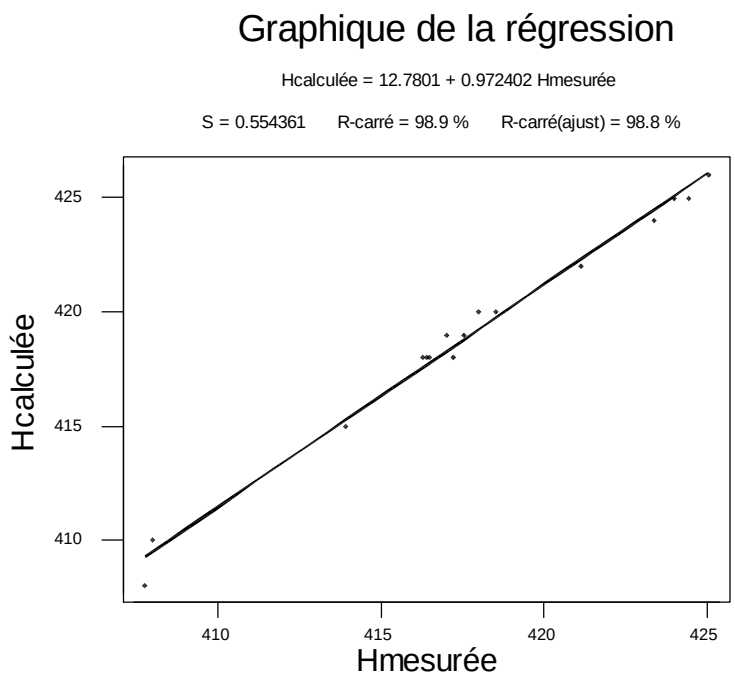
2-Test statistique :

***Régression linéaire :**

C'est une technique (corrélation) qui permet d'étudier la liaison existant entre 2 échantillons de valeurs x et y.

La régression linéaire permet de déterminer la relation linéaire avec laquelle on peut le mieux calculer les valeurs de l'échantillon y à partir de celle de l'échantillon x.

La méthode de calcul est celle des «moindres carrés» qui consiste à rendre minimale la somme des carrés des distances verticales entre les points de coordonnées x_i ,y_i et la droite représentant la relation linéaire y = ax + b.



On remarque sur le graphique que le nuage de point a une forme allongée selon la droite d'ajustement.

Les deux variables augmentent ou diminuent simultanément ,donc une relation linéaire positive existe. Les points sur ce diagramme serrent la ligne de près, ce qui suggère une relation importante entre les variables.

***Calcul du coefficient de corrélation entre Hcalculée et Hmesurée :**

Le coefficient de corrélation peut avoir une valeur de -1 à +1 et donne deux informations concernant les relations linéaires entre deux variables :

·*Puissance* : plus la valeur absolue du coefficient est importante, plus la relation linéaire entre les variables est forte. Une valeur absolue indique une relation linéaire parfaite et une valeur nulle indique l'absence de relation linéaire. Une valeur intermédiaire peut être interprétée comme une corrélation faible, modérée ou forte selon les objectifs et les besoins.

·*Direction* : le signe du coefficient indique la direction de la relation. Si les deux variables tendent à augmenter ou à diminuer ensemble, le coefficient est positif. Si une variable tend à augmenter tandis que l'autre diminue, le coefficient est négatif.

Les résultats donnent les indications suivantes :

*Corrélation de Pearson de Hcalculée et Hmesurée = 0,994

Le coefficient de corrélation pour la relation entre Hcalculée et Hmesurée est de 0,994. Cela signifie que lorsque Hmesurée augmente, Hcalculée augmente également.

***Calcul des coefficients de régression**

L'équation de régression est :

Hcalculée = 12.7801 + 0.972402 Hmesurée

3-Ecarts réduits de calage :

Afin d'obtenir un champ réaliste de charges hydrauliques, la géostatistique, par la méthode du Krigeage , permet d'établir à partir des données de terrain, un document qui pourra être comparé directement aux résultats du modèle ; elle permet en outre de définir un critère d'adéquation entre le modèle et la réalité. Les travaux de Delhomme (1976) représentent l'une des premières approches géostatistiques à la solution du problème inverse en hydrogéologie.

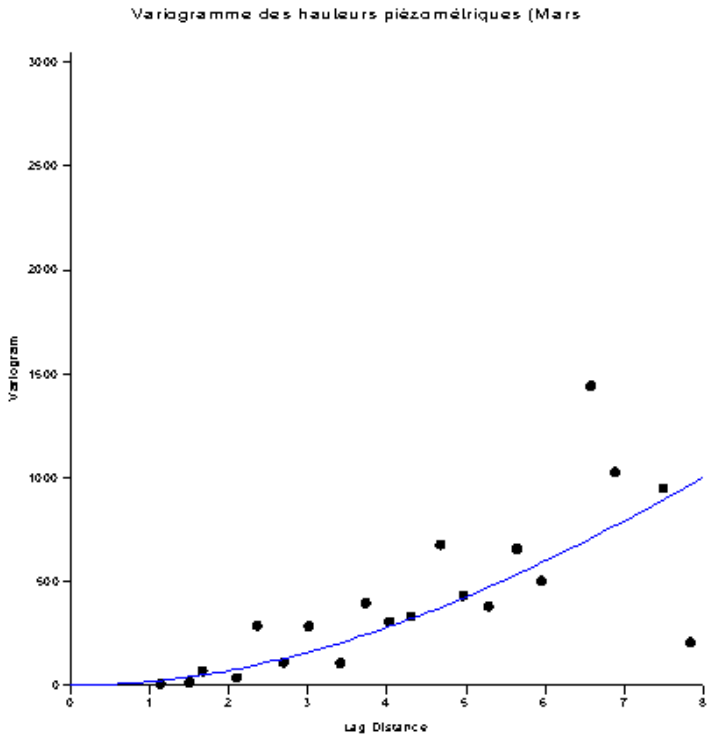
L'écart réduit du calage, définit comme la différence entre la pièzométrie calculée sur le modèle et celle obtenue par krigeage, rapportée à l'écart type d'estimation, est en valeur absolue inférieur ou égale à 2.

$$\frac{\left| Z^*_i - Z^c_i \right|}{\sigma_{ki}} \leq 2$$

Z^*_i : Charge estimée.

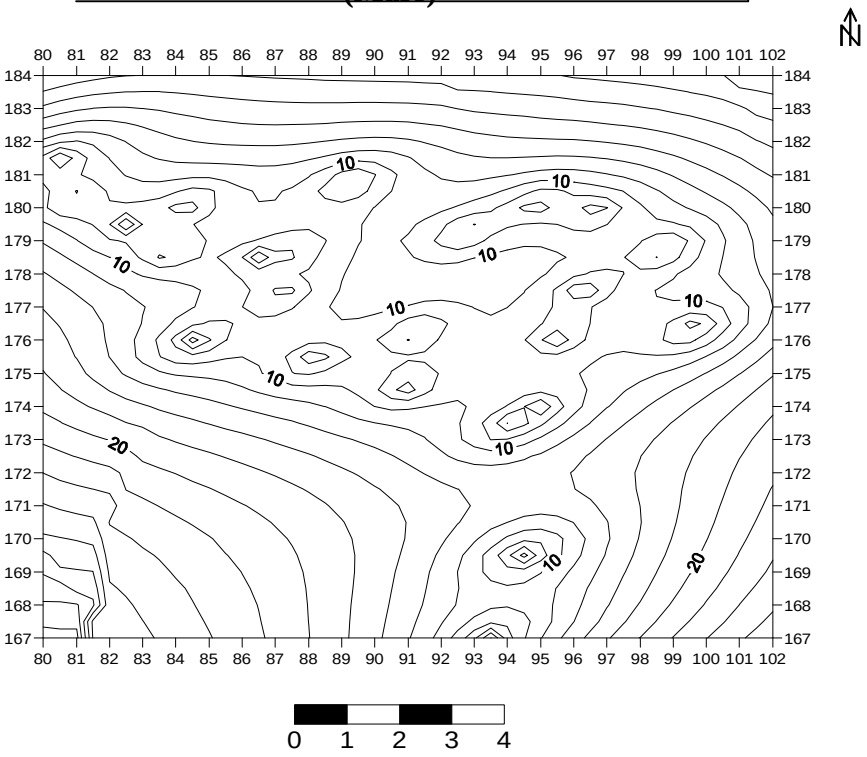
Z^c_i : Charge calculée.

σ_{ki} : Ecart type d'estimation.

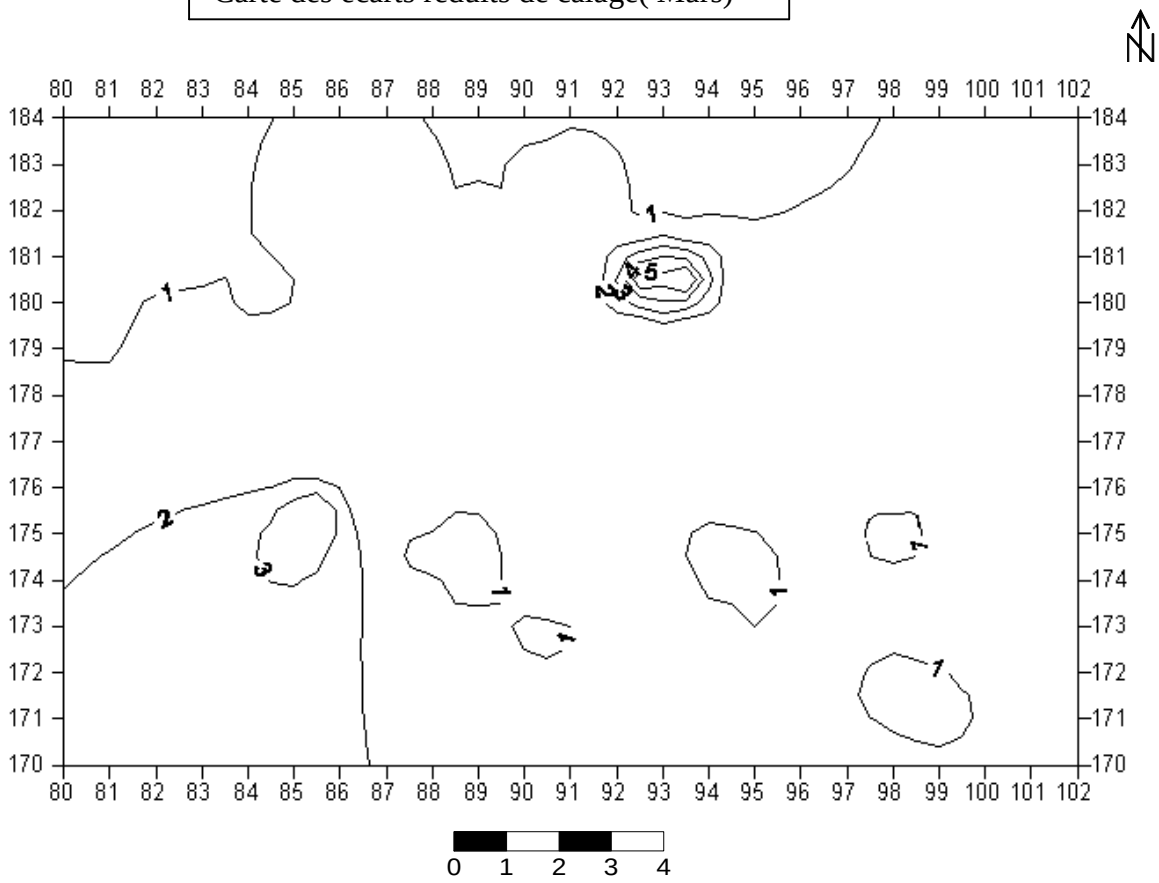


Le variogramme ci-dessus présente une forme parabolique ,continue à l'origine ce qui traduit une régularité acceptable de la pièzométrie.

Carte des écarts type d'estimation du krigeage **(Mars)**



Carte des écarts réduits de calage(Mars)



Le passage à l'écart réduit du calage a permis de mieux focaliser les zones où il subsiste un problème.

La répartition des écarts réduits du calage est médiocre, la partie centrale présente des écarts supérieurs au mètre. On est en effet en présence d'une nappe libre et l'échantillonnage piézométrique est relativement lâche.

Bilan de la nappe :

Au terme du calage définitif de la simulation en régime permanent, le modèle a permis de restituer un bilan d'eau de la nappe de Maghnia, à savoir la recharge de l'aquifère, le stockage ou le déstockage, l'écoulement total de la sub-surface relatif au drainage, les apports latéraux et la quantité d'eau extraite des puits et forages.

Entrées	Débits (m^3/s)	(%)	Sorties	Débits (m^3/s)	(%)
Débit de recharge	1.749997E-04	0.01367	Débits extraits	-0.7363	57.51
Débits des limites	1.280001	99.98632086	Potentiel imposé	-0.5438526	42.49
Débit horizontal	1.170556E-07	0.00000914	-	-	-
Total	1.280176117	100	Total	-1.2801526	100

Le débit total de la nappe est de 2.3517E-05m^3/s.

RESULTATS DU CALAGE EN REGIME TRANSITOIRE:

A l'issue du calage de l'état des moyennes eaux ,en régime permanent, nous avons calculé les pièzométries correspondantes aux états des hautes(Janvier 1995) et basses eaux (Juillet1995), en régime transitoire.

Les limites du modèle sont les mêmes, les potentiels imposés ont varié selon qu'il s'agissait de hautes ou de basses eaux et les apports de la pluie efficace ont été pris comme nuls en période de basses eaux .

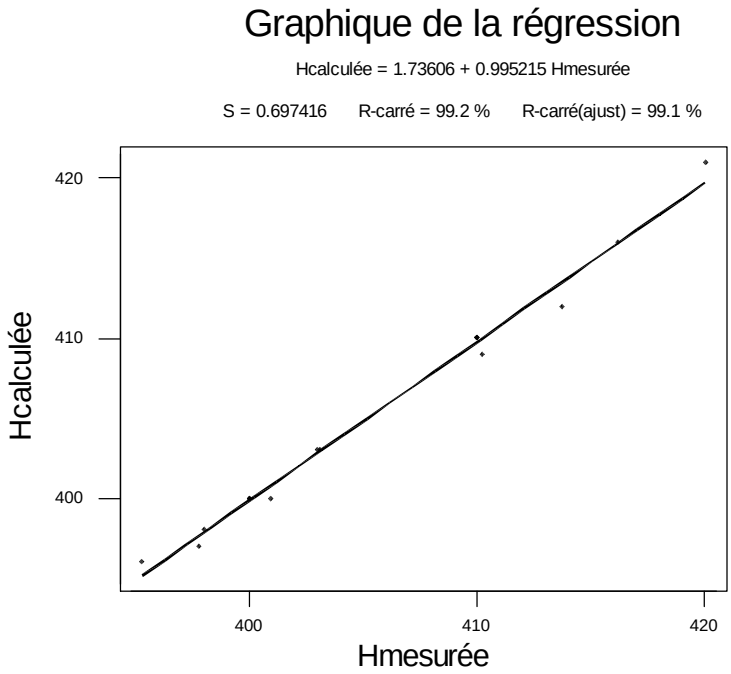
Le calage du modèle a été effectué en interprétant sa réponse à la répartition des porosités efficaces, aux changements de la recharge, des apports et des prélèvements en période de hautes et de basses eaux.

1-Ecarts de calage aux points de mesures(hautes eaux) :

Maille	Pièzométrie mesurée(m)	Pièzométrie calculée(m)	Ecart (m)
(3-4)	410	410	0
(10-4)	397,8	397	0,8
(4-6)	420	421	1
(7-6)	410	410	0
(5-6)	416,2	416	0,2
(8-7)	410,2	409	1,2
(9-5)	398	398	0
(12-5)	395,3	396	0,7
(11-6)	400	400	0
(10-6)	400	400	0
(8-5)	400,94	400	0,94
(9-6)	400	400	0
(7-3)	403,1	403	0,1
(8-6)	403	403	0
(6-6)	413,73	412	1,73
(6-5)	410	410	0

Les meilleurs écarts de calage sont présentés dans les mailles à 0m. Les autres observations sont acceptables.

2-Test statistique :



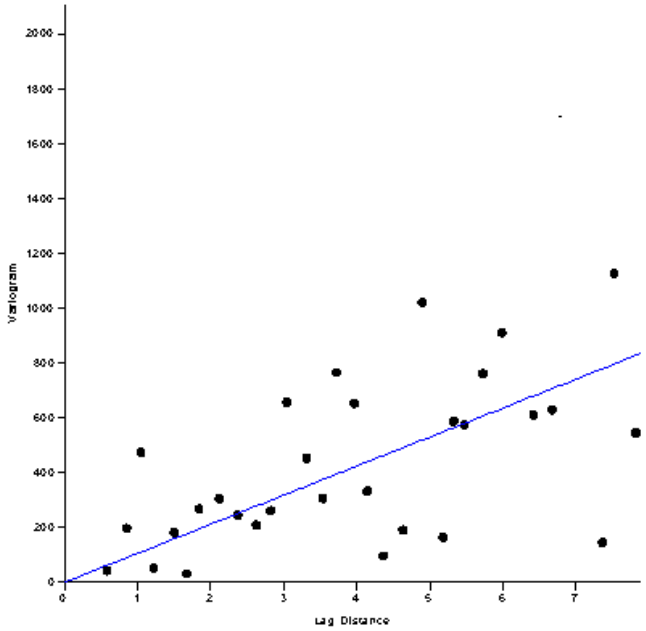
Les deux variables augmentent simultanément ,donc une relation linéaire positive existe. Les points sur ce diagramme sont proches de la droite, ce qui suggère une relation importante entre les variables, cela est justifié par le coefficient de corrélation qui est de 0,996 .

L'équation de régression est :

Hcalculée = 1.73606 + 0.995215 Hmesurée

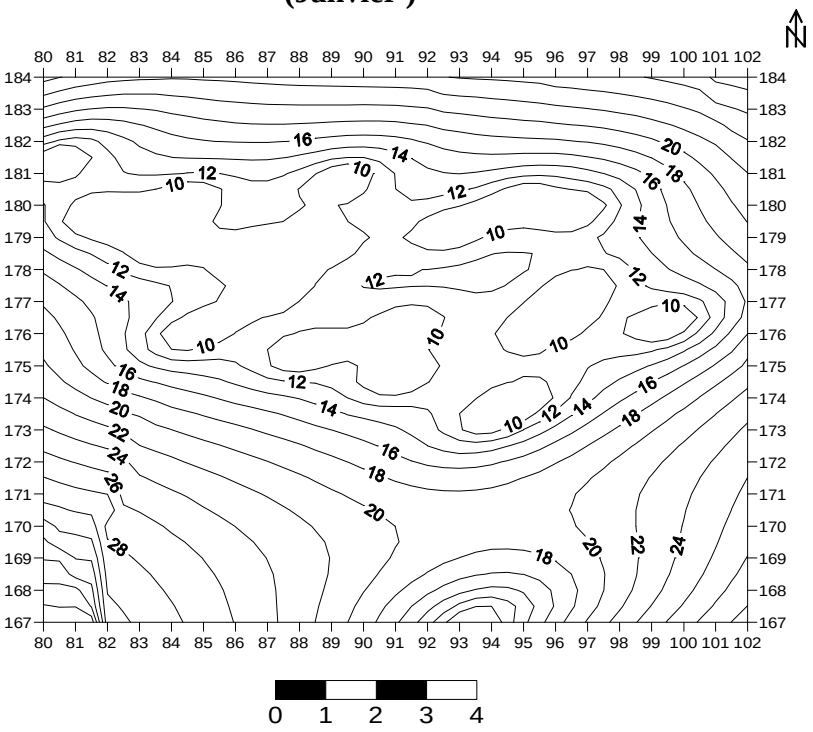
3-Ecarts réduits de calage :

Variogramme des hauteurs pièzométriques (Janvier)

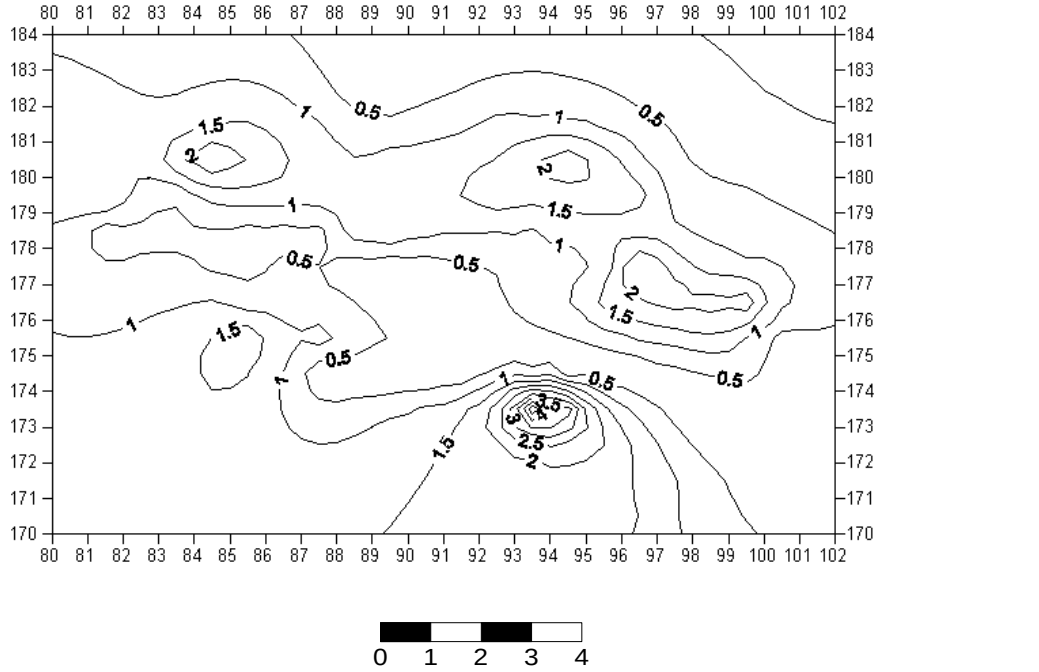


Ce variogramme d'aspect linéaire présente une certaine régularité des échantillons.

Carte des écarts type d'estimation du krigeage (Janvier)



Carte des écarts réduits de calage (Janvier)



Le calage est considéré comme satisfaisant sur les limites où l'écart réduit est dans les normes. Par contre, on trouve des zones où les écarts sont supérieurs à 2 : la pièzométrie est en fait assez mal connue.

Bilan de la nappe :

***En période des hautes eaux (Janvier 1995) :**

Entrées	Débits (m^3/s)	(%)	Sorties	Débits (m^3/s)	(%)
Débit de recharge	0,3699986	15,68	Débits extraits	-0,7880999	65,25
Débits des limites	1,440001	61,04	Potentiel imposé	-0,4196908	34,75
Débit horizontal	0,5488232	23,28	-	-	-
Total	2,3588228	100	Total	-1,2077907	100

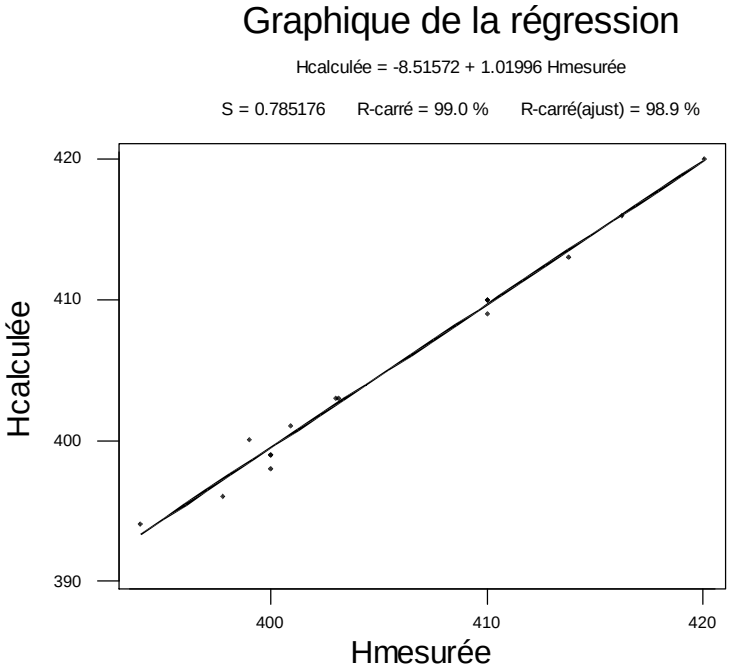
Le débit total restant et transitant par la nappe est de 1,151031m^3/s.

1-Ecarts de calage aux points de mesures (basses eaux) :

Maille	Pièzométrie mesurée(m)	Pièzométrie calculée(m)	Ecart (m)
(4-6)	420	420	0
(8-7)	410	409	1
(9-5)	400	398	2
(12-5)	394	394	0
(6-5)	410	410	0
(6-6)	413,73	413	0,73
(11-6)	400	399	1
(12-5)	394	394	0
(3-4)	410	410	0
(10-6)	399	400	1
(8-5)	400,94	401	0,06
(9-6)	400	399	1
(7-3)	403,1	403	0,1
(8-6)	403	403	0
(5-6)	416,2	416	0,2
(10-4)	397,8	396	1,8

Les écarts entre les potentiels calculés et mesurés sont acceptables et du même ordre de grandeur que pour l'état des hautes eaux.

2-Test statistique :

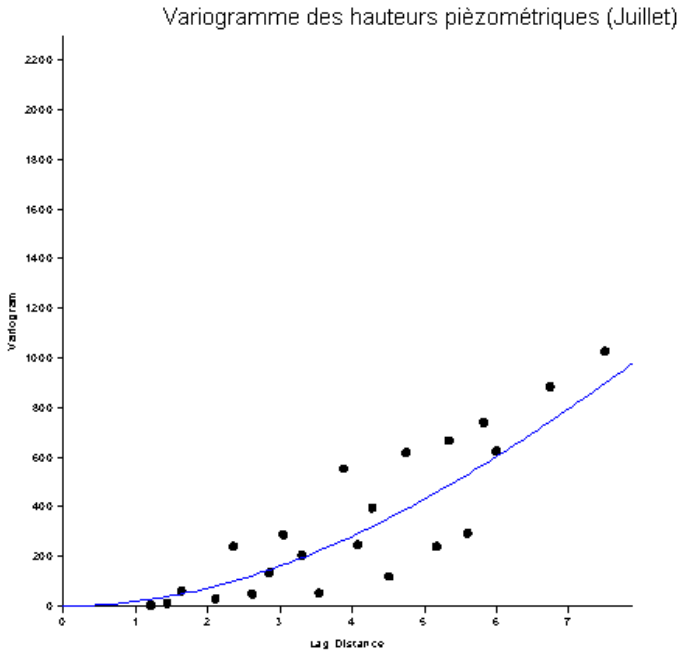


Les points sur ce diagramme sont proches de la droite, ce qui signifie une bonne relation entre les variables.

*Corrélation de Pearson entre : Hcalculée et Hmesurée = 0,995

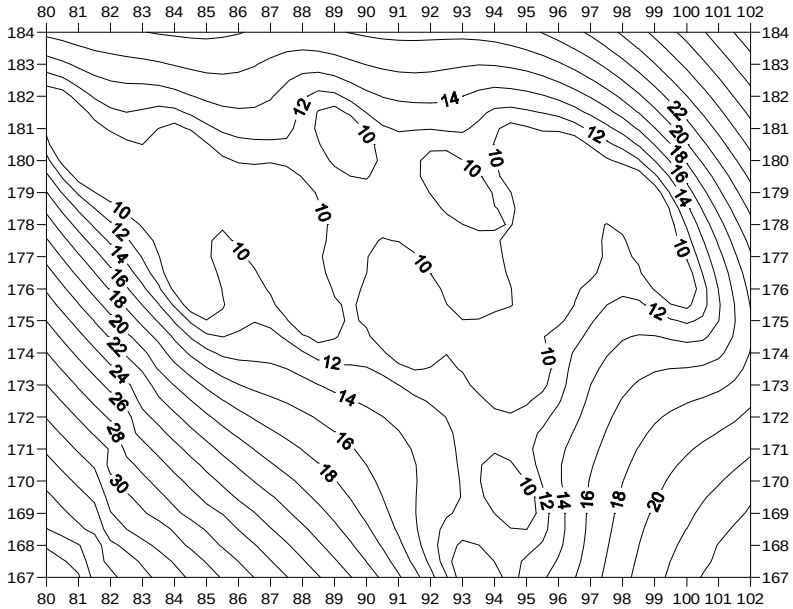
*L'équation de régression est :
Hcalculée = -8,51572 + 1,01996 Hmesurée

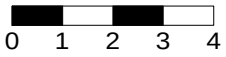
3-Ecarts réduits de calage(basses eaux) :



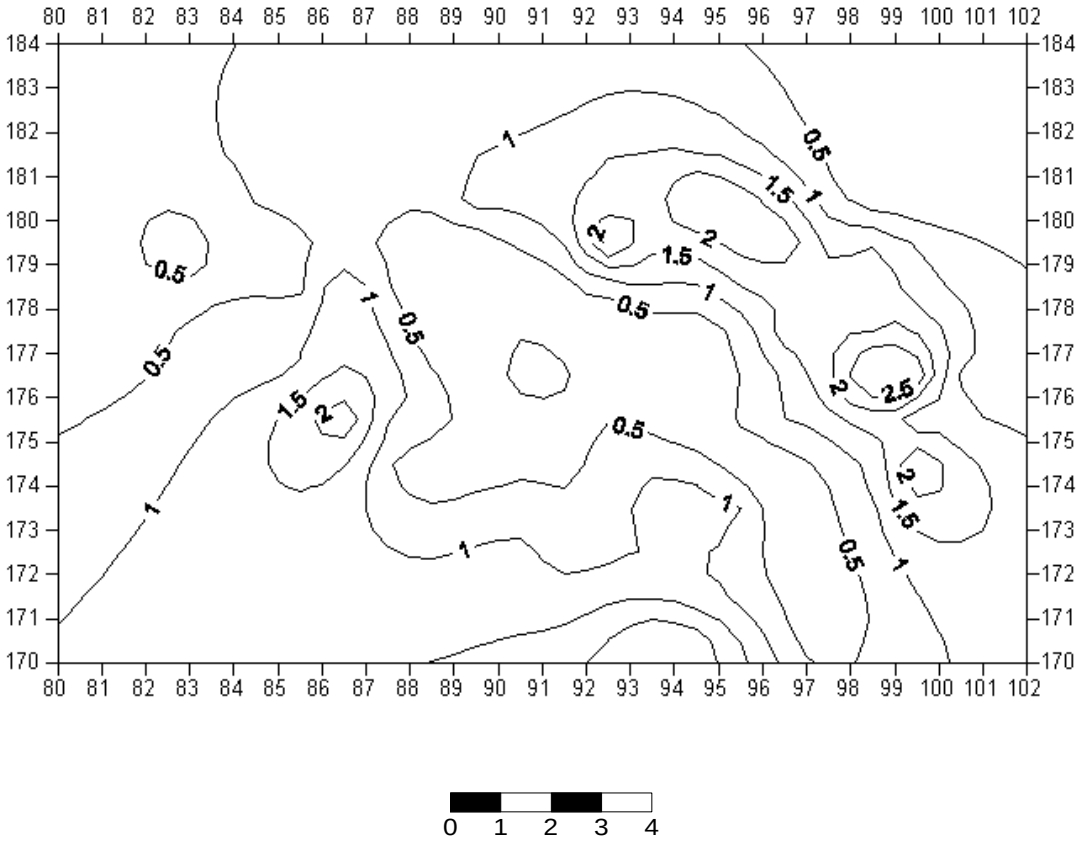
Variogramme d'aspect parabolique, avec régularité des hauteurs piézométriques.

Carte des écarts type d'estimation du krigeage (Juillet 1995)





Carte des écarts réduits du calage (Juillet)



La répartition des écarts réduits du calage est acceptable, à l'exception des zones du Nord-Est Sud-Est et Sud-Ouest où l'écart est compris entre 2 et 2,5 .

***En période des basses eaux (Juillet1995) :**

Entrées	Débits (m^3/s)	(%)	Sorties	Débits (m^3/s)	(%)
Débit de recharge	0	0	Débit extrait	-1,4403	85,35
Débits des limites	1,02	64,97	Potentiel imposé	-0,247266	14,65
Débit horizontal	0,5499159	35,03	-	-	-
Total	1,5699159	100	Total	-1,687566	100

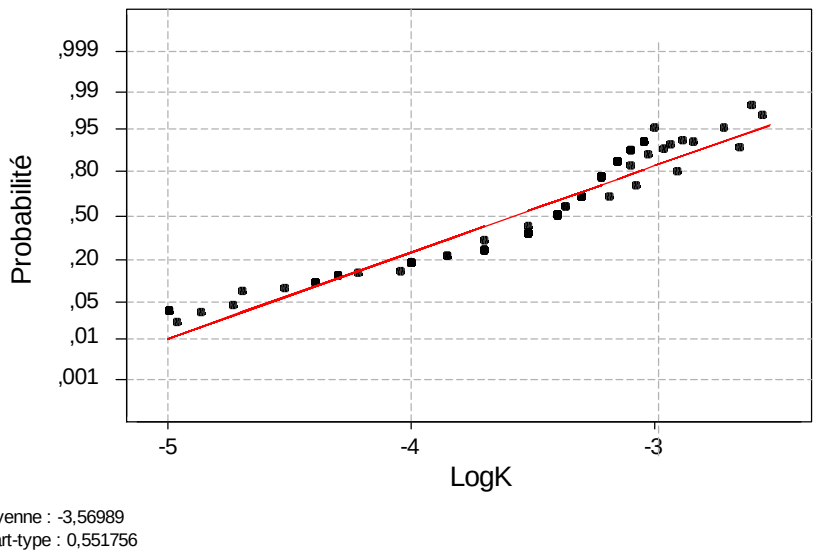
Le bilan total de la nappe est de –0,1176499 m^3/s. Ce bilan négatif résulte d'une surexploitation de la nappe.

ANALYSE STATISTIQUE DES PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES :

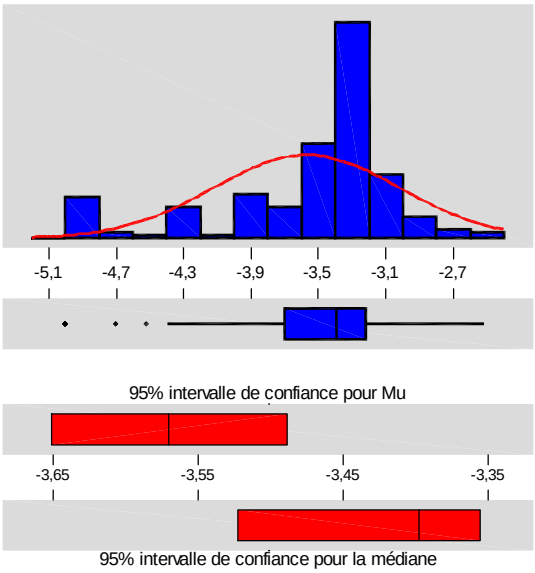
De nombreuses procédures statistiques supposent que les données suivent une loi normale ou log normale. Pour vérifier cette supposition, plusieurs tests de normalité sont proposés : test d'ANDERSON-DARLING, test de RYAN-JOINER et test de KOLMOGOROV-SMIRNOV.

La droite d'HENRY permet de vérifier la supposition de normalité lorsque les points du diagramme sont relativement proches d'une ligne droite.

Ajustement des perméabilités :



Statistiques descriptives



Variable : Logk

Test de Anderson-Darling

Moyenne	-3,56989
Ecart-type	0,55176
Variance	0,304434
Asymétrie	-1,29037
Aplatissement	1,21431

Minimum	-5,00000
1er quartile	-3,69897
Médiane	-3,39794
3ème quartile	-3,22185
Maximum	-2,52288

95% intervalle de confiance pour Mu

-3,65081 -3,48896

95% intervalle de confiance pour Sigma

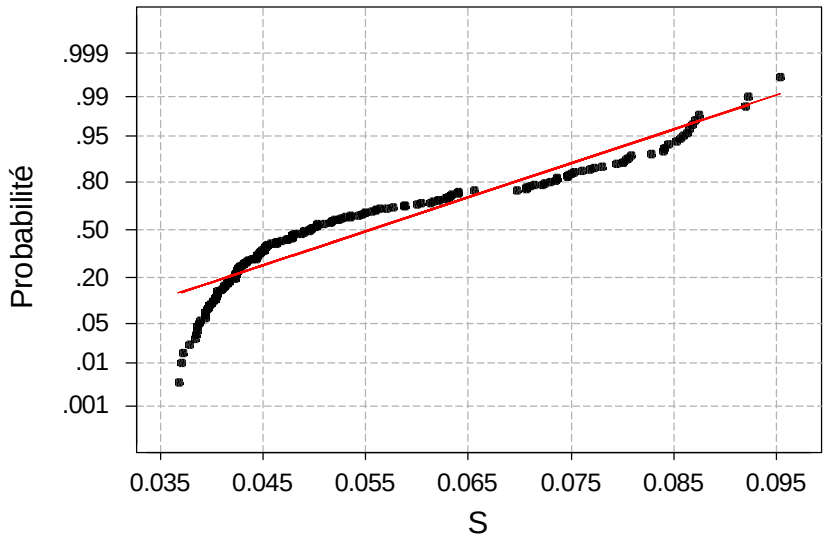
0,50017 0,61530

95% intervalle de confiance pour la médiane

-3,52288 -3,35591

Ajustement des porosités efficaces :

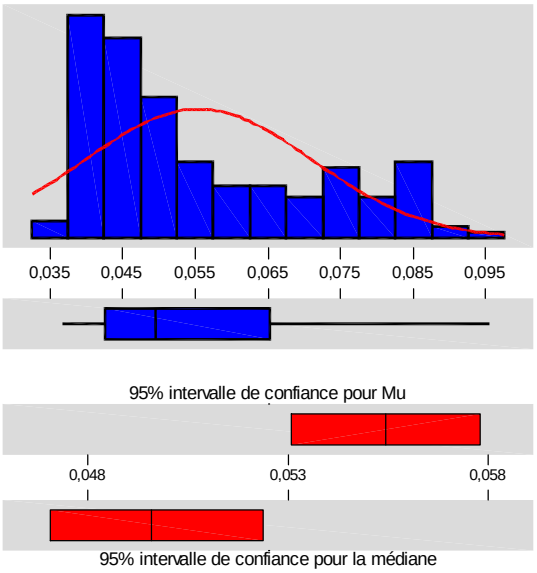
Graphique de la courbe normale ou droite de Henry



Moyenne : 0.0554386
Ecart-type : 0.0156344

Test de normalité de Kolmogorov-Smirnov
D+: 0.171 D-: 0.116 D : 0.171
Valeur de P < 0.01

Statistiques descriptives



Variable : S

Moyenne	5,54E-02
Ecart-type	1,56E-02
Variance	2,44E-04
Asymétrie	0,842856
Aplatissement	-5,7E-01

Minimum	3,67E-02
1er quartile	4,26E-02
Médiane	4,96E-02
3ème quartile	6,52E-02
Maximum	9,54E-02

95% intervalle de confiance pour Mu

5,31E-02	5,78E-02

95% intervalle de confiance pour Sigma

1,41E-02	1,75E-02

95% intervalle de confiance pour la médiane

4,71E-02	5,24E-02

<u>Interprétation des résultats</u> :

L'histogramme et la courbe nous donnent une idée sur la forme de la distribution des données.

La valeur d'asymétrie pour les données sur les logarithmes des perméabilités est de –1,29037 ce qui signifie que la distribution a une asymétrie à gauche. Elle est due aux valeurs aberrantes présentées à l'extrémité gauche de l'histogramme.

Les porosités efficaces, présentent une valeur positive (+0,842856)donc l'asymétrie est à droite.

L'aplatissement de 1,21431 fait référence à la forme plus ou moins pointue. L'histogramme des logarithmes des perméabilités montre que les données forment un pic légèrement élevé . Pour les porosités efficaces, l'aplatissement est de –0,57.Cette valeur négative indique une distribution plus aplatie que la normale.

La boite à moustaches offre un récapitulatif des informations sur la forme, la dispersion et la symétrie des données. La ligne qui traverse la boite représente la médiane des données. Les lignes qui sortent de la boite sont appelées les moustaches, elles indiquent les valeurs les plus basses et les plus élevées dans le fichier des données. Les points à gauche, représentent les valeurs aberrantes(pour les log de k).

On utilise la boîte à moustaches pour évaluer la symétrie des données :

*Lorsque les données sont symétriques, la ligne médiane se situe à peu près au milieu de la boîte et les moustaches sont de la même longueur.

*Si les données sont asymétriques, il se peut que la médiane ne tombe pas au milieu de la boîte et une moustache peut être nettement plus longue que l'autre.

Dans la boite à moustaches des données sur les logarithmes des perméabilités et sur les porosités efficaces, la médiane n'est pas centrée dans la boite, les moustaches sont de même longueur pour les log de k tandis que pour les porosités, l'une est plus longue que l'autre. Nous avons 3 valeurs aberrantes inférieures au 3ème quartile pour les Log de k, cela signifie que nos données sont asymétriques.

*Intervalles de confiance pour μ (moyenne de la population étudiée), σ (écart type de la population étudiée) et pour la médiane :

Cet intervalle est utilisé pour estimer un paramètre de population à partir de données échantillons.

Les intervalles de confiance pour les données sur les log de k indiquent qu'on peut être certain à 95% que :

μ: est entre –3,65081 et –3,48896

σ :est entre 0,50017 et 0,61530

La médiane est entre –3,52288 et –3,35591 .

Les intervalles de confiance pour les données sur les porosités efficaces indiquent qu'on peut être certain à 95% que :

μ: est entre 5,31E-02 et 5,78 E-02

σ :est entre 1,41E-02 et 1,75E-02

La médiane est entre 4,71E-02 et 5,24E-02

D)-EXPLOITATION DU MODELE :

L'intérêt principal de la modélisation est d'aboutir à la phase prévisionnelle, mettant en évidence l'état futur de l'aquifère.

La descente de la surface pièzométrique de la nappe résulte de l'intensification des prélèvements (pour l'AEP et l'irrigation) et l'absence de la recharge. Dans ce cas, le problème de gestion optimum devient complexe, d'où la nécessité de définir l'état prévisionnel de la nappe .

***Conditions de scénario d'exploitation** :*

La simulation du scénario d'exploitation sera faite en période des hautes et basses eaux en 1995. Cette année se caractérise par :

*Une précipitation annuelle de 317,8mm.
*Une température moyenne annuelle de 17,8°C.

1-**ETAT ACTUEL :**

1-1 ***La demande :*** Elle est variable dans le temps et dans l'espace :

1-1-1 Variation dans le temps :

Le tableau suivant montre les débits extraits de la nappe pour l'irrigation et l'AEP

Périodes	Hautes eaux	Moyennes eaux	Basses eaux
Q (m^3/s)	0,7880999	0,6733	1,4403

1-1-1 Variation dans l'espace : Cette variation est basée sur l'intensification des prélèvements soit pour l'AEP soit pour l'irrigation.

*L'irrigation :

La plaine de Maghnia englobe le périmètre le plus important de la wilaya de Tlemcen par son étendu , ses caractéristiques pédologiques rencontrées (fertilité des sols) et par l'importance de sa nappe phréatique. La surface irrigable retenue est de 2856,79 ha (Source : DSA, voir Fig n°28) .

L'irrigation est indispensable pour :
-Régulariser et améliorer les productions végétales.
-Permettre l'introduction de nouvelles cultures adaptées aux sols.

*Détermination des besoins en eaux par type de cultures :

La détermination des besoins en eau au niveau des différentes activités sur le périmètre étudié va permettre d'établir pour chaque culture les besoins moyens en eau.

Tableau n° :

CULTURES	SUPERFICIES (Ha)	VOLUME DEAU (m^3/an)
Culture maraîchères	1700	6000
Culture fourragères	250	14000
Agrumes	300	10000
Arbre a noyaux	22	6000
Arbre a pépins	06	6000
Vignes de table et olives	60	4000

Source : DSA,(2006).

2-LES BESOINS FUTURS :

2-1 Besoins d'équipements :

L'évolution des besoins d'équipement en fonction du temps est donnée par la relation suivante :
Besoins d'équipements= 65*(x-1995) + Y
X >1995
Y : équipement de l'année passée.
Exemple :
Besoins d'équipement (2007) = 65*(2007-1995) + 2379
Besoins d'équipement (2007) = 3159 m^3/j

2-2 Besoins domestiques :

Avec un taux d'accroissement de 3,27% et une dotation de 250 l/j/hab , on calcul la population et les besoins domestiques futurs, par la formule suivante :

$P_f = P_a(1+\alpha)^n$

P_f : Population future
P_a :Population actuelle
α : Taux d'accroissement (3,27%)
n : La différence d'année.

Exemple :

$P_{f2007} = 96701(1+0,0327)^{12}$

P_{f2007} = 142272 Hab.

1Hab ⟶ 250l/j (0,250m^3/j)

142272Hab ⟶ 35568 m^3/j

Tableau n° : Besoins futurs d'AEP:

Années	Population	Besoins d'équipements	Besoins d'industries	Besoins domestiques	Total (m^3/j)	Total (m^3/s)
1995	96701	2379	3000	24175	29554	0,342
2007	142272	3159	3000	35568	41727	0,483
2015	184040	3679	3500	46010	53189	0,615
2025	253896	4329	3500	63474	71303	0,825

On constate d'après le tableau ci-dessus que :

A l'an 2007 : il y a un accroissement des débits de 39 % par rapport à l'an 1995.
A l'an 2015 : il y a un accroissement des débits de78 % par rapport à l'an 1995.
A l'an 2025 : il y a un accroissement des débits de 139 % par rapport à l'an 1995.

Donc, on simule les accroissements des débits prélevés par puits et forages selon les pourcentages prévus pour chaque année, avec une augmentation de la surface irrigable à la surface planimétrie brute.

3-SIMULATIONS :

1ère simulation : Prévision à court, moyen et long terme :

L'état prévisionnel de la nappe aux horizons 2007,2015 et 2025 a été atteint grâce au modèle.

Les buts recherchés sont :

-Indiquer l'état pièzométrique de la nappe.
-Localiser les zones de dénoyage de la nappe et mettre en évidence les zones critiques.
-prendre des précautions concernant la gestion de la nappe.

Interprétations :

Carte 2007 : Pour une demande de 770 L/s pour l'irrigation et 483 L/s pour l'AEP dont 34,72 L/s pour l'industrie et 36,56 L/s pour l'équipement, on remarque un recul des courbes isopièzes au niveau du périmètre irrigué. Dans les autres parties, on a une stabilité des courbes pièzométriques (Fig n°).

Carte 2015 : Pour une demande de 770 L/s pour l'irrigation et 611 L/s pour l'AEP dont 40,50L/s pour l'industrie et 42,581 L/s pour l'équipement, on a un recul des courbes isopièzes par rapport à l'an 2007,surtout au niveau du chenal principal(Fign°)

Carte 2025: Pour une même demande d'irrigation et 820L/s pour l'AEP dont 40,50 L/s pour l'industrie et 50,10 L/s pour l'équipement, on constate un recul rapide des courbes isopièzes par rapport à l'an 2015, il atteint l'axe de drainage secondaire ouest (Fig n°).

Sur la base des résultats obtenus, nous constatons que pour une année dont les caractéristiques climatiques sont similaires à celle de 1995, malgré l'intensification des pompages, la nappe peut satisfaire les besoins en eau.

2ème simulation : Prévision à court terme :

On a simulé l'état prévisionnel de l'an 2007 en basses eaux en augmentant les débits de pompages de 39% (Fig n°)

On remarque :

-Un recul brusque des courbes isopièzes vers le Sud,

-L'effet des pompages est assez net et se traduit par un étirement des isopièzes en direction des pompages,

-Un dénoyage au niveau de l'axe de drainage principal représenté par la maille

(8-7).

3ème simulation : Prévision à long terme(2025) :

Hypothèse 1 : Diminuer les débits d'alimentation provenant de la frontière Algéro-marocaine et des Monts de Tlemcen.

Le débit total de la nappe sera :0,13 m^3/s

*Hypothèse 2 :*Supposition d'une recharge nulle.

Le débit total de la nappe sera :0,637 m^3/s

D'après ces résultats, on constate que les débits provenant de la frontière Algéro-marocaine et des nappes jurassiques des Monts de Tlemcen ont une grande importance dans l'alimentation de la nappe de Maghnia.

CONCLUSION :

L'aquifère de Maghnia est affecté par des variations brutales des différentes caractéristiques hydrodynamiques. Le modèle retenu nous a permis de reproduire les hétérogénéités et les variations du milieu, bien que la précision quantitative des résultats est limitée par la quantité et la qualité des données de base.

Le calage du modèle a permis de vérifier la fiabilité des résultats concernant la géométrie et les limites de l'aquifère ainsi que ses paramètres hydrodynamiques.

Le modèle hydrodynamique de la nappe de Maghnia simule d'une manière acceptable le comportement du système aquifère.

Les cartes piézométriques calculées (en moyennes ,hautes et basses eaux) ne représentent pas fidèlement la piézométrie observée. Par ailleurs, nous pouvons dire que les écarts obtenus par les différents tests de cohérences sont acceptables.

Cela est dû probablement :

- Au choix du maillage (1Km de côté) : Erreur de troncature.
- A l'incertitude des relevés topographiques sur la carte au 1/50 000.
- Au nombre de puits et forages obtenus pour l'étude et leurs localisation seulement dans le chenal principal.
- A la localisation des forages qui ne coïncide pas exactement avec le centre de la maille dans le modèle.
- Au nombre réduit de points de mesures à chaque campagne piézométrique (25 points).
- Au nombre réduit des valeurs des caractéristiques hyrodynamiques(T,S).
- A l'absence de données de jaugeage sur l'Oued Ouerdefou (condition de surface libre).
- A l'absence des informations sur les volumes d'eaux transitant par la frontière Algéro- Marocaine.
- A l'existence de conditions locales telles que l'influence d'un pompage situé à proximité du point de mesure.

Dans le but de l'utilisation optimale des eaux souterraines, la simulation en régime transitoire a un double rôle :

- De gestion des ressources souterraines,
- De prévision dans le temps et dans l'espace, d'un accroissement de l'exploitation.

Le déséquilibre du bilan en basses eaux sera de plus en plus accentué avec le temps et les ressources de la nappe de plus en plus utilisées, tendront vers un épuisement graduel. A ce stade, toute nouvelle exploitation de la nappe ne sera possible que si une ré- alimentation supplémentaire aura lieu (envisager une ré-alimentation artificielle).

La surexploitation de la nappe de Maghnia est due à l'intensification des pompages ainsi qu'à la surexploitation de la nappe des Angads au Maroc. Vu le manque de données de débits à la bordure Sud Ouest de la plaine, qui constituent un moyen de vérification très important pour le modèle, nous pouvons admettre que les débits obtenus de la carte piézométrique sont estimatifs.

Il apparaît que les eaux souterraines se trouvent dans un milieu de caractéristiques hydrauliques très variables et ne sont exploitables à gros débits que dans certaines zones perméables. La répartition des zones favorables et défavorables, l'existence de drainages latéraux font ressortir l'intérêt de captages à l'amont et à degrés moindre au Sud –Est et à l'Ouest.

Vu l'insuffisance des pluies sur la plaine de Maghnia, seule l'irrigation peut rendre les terres productives. Le développement de l'agriculture dépend directement de l'irrigation et ceci a entraîné la multiplication anarchique des puits.

L'exploitation des eaux superficielles pour l'irrigation peut être assurée par le barrage de Hammam Boughrara (capacité de 177 Mm^3) qui participera avec celui de Béni-Bahdel à l'alimentation du périmètre de Maghnia.

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS :

L'étude que nous avons menée, nous a permis d'apporter notre contribution à la connaissance des caractéristiques hydrogéologiques de la plaine de Maghnia.

Par ailleurs, ce travail nous a initié à la modélisation des écoulements souterrains.

La plaine de Maghnia se trouve au Nord-Ouest de l'Algérie, d'une superficie de 351 Km^2 . Cette plaine est drainée par les Oueds Mouillah, Ouerdefou et ses affluents.

Essentiellement constituée par des alluvions anciens et récents, avec une granulométrie qui varie des fractions fines argileuses aux fractions grossières de galets. La seule nappe exploitée, est celle du Plio-Quaternaire. Elle assure la presque totalité de l'alimentation en eau potable, industrielle et agricole de la ville de Maghnia.
Le substratum imperméable est constitué par des marnes miocènes.

L'étude climatologique montre que la plaine de Maghnia est caractérisée par un climat semi-aride avec des influences méditerranéennes.

L'hydrologie joue un rôle important dans l'étude de modélisation des eaux souterraines. Elle permet d'estimer la recharge de la nappe qui vient des infiltrations des précipitations.
Les débits des Oueds doivent être mesurés régulièrement et en différents endroits le long du lit. Ceci est important, non seulement pour avoir une idée sur le volume d'eau infiltrée, mais aussi pour localiser les tronçons des Oueds où se produit une infiltration vers l'aquifère.

L'étude géophysique par prospection électrique dans la plaine de Maghnia a permis de :
-Reconnaître et préciser l'épaisseur et les caractéristiques de résistivité du recouvrement plio-quaternaire au-dessus des marnes miocènes.
-Reconnaître la profondeur et la structure des formations jurassiques au-dessous du recouvrement plio-quaternaire et miocène.

En hydrogéologie, le réseau piézométrique existant (25 points d'eau) doit être amélioré en augmentant le nombre de points de mesure. Comme il est souhaitable d'effectuer un plus grand nombre de nouvelles valeurs des caractéristiques hyrodynamiques (T,K,S).
L'état des 11 piézomètres réalisés dans la plaine de Maghnia doit être pris en considération (4 seulement sont en bon état).

Le modèle hydrodynamique simule d'une manière acceptable le comportement du système aquifère. L'ajustement des paramètres hydrodynamiques souligne la présence d'un axe de drainage orienté SW/NE qui constitue la meilleure part de l'aquifère (le chenal).Hors du chenal, les terrains ont un comportement hydraulique médiocre.

Bien que les résultats du bilan montrent que le débit total de la nappe suffirait aux besoins en eau à court, moyen et long terme, l'augmentation des prélèvements n'est pas souhaitable, car toute surexploitation mènera sûrement à l'épuisement de la nappe.

L'une des possibilités serait de réduire la quantité d'eau d'irrigation provenant des eaux souterraines et de la remplacer par un apport d'eau superficielle. L'insuffisance des ressources en eau peut être atténuée aussi par une alimentation artificielle de la nappe éventuellement en utilisant les eaux urbaines traitées.

Les possibilités quantitatives de la nappe du Plio- Quaternaire seront réduites tôt ou tard. Donc, il est temps d'entamer des travaux de reconnaissance sur les réservoirs et les nappes du Jurassique.

L'industrialisation et l'urbanisation jointes à l'intensification des activités agricoles ont généré l'augmentation de la demande en eau.

Une baisse du niveau statique deviendrait inquiétante, compte- tenu de la sécheresse que connaît notre pays ces dernières années, vu l'augmentation des pompages en Algérie comme au Maroc. Sauf accord entre les deux pays,sus-cités, ce stade d'exploitation sera atteint inévitablement un jour. En tout état de cause, il est souhaitable d'envisager dès maintenant des solutions pour protéger la nappe du Plio-Quaternaire d'une part, de la surexploitation et d'autre part, de la pollution qui la menace.

OUVRAGES :

-ALLOUANI A, BADAOUI B.(1998)-Recherche d'un modèle précipitations-débits liquides, dans le bassin versant de l'oued Mouillah.Mém.Ing.Inst.Hydraulique, Univ/Tlemcen,69p.

-AMEUR A, SAAD F. (1990)- Etude hydrogéologique de la plaine de Maghnia. Mém. Ing ,Inst.Sciences de la terre, univ/Oran,193 p.

-BANTOU O, LUMONY M. (1999)-Hydrogéologie, multisciences environnementales des eaux souterraines. Edit.AUPELF, 450 p.

-BEAR J. (1970)-Hydraulics of groundwater. 299P.

-BDPA. (1964)-Etude agro- pédologique de la plaine de Maghnia, 61 P.

-BELHADJ CH, DAHEL H. (1998)-Cartes hydrodynamiques d'un aquifère de la plaine de Maghnia. Mém. DEUA, Inst .Sciences de la terre, Univ/Tlemcen.

-BENABDERRAHMENE H.(1988)-Simulation numérique de la pollution saline d'un système aquifère dans une région semi-aride à aride. Hodna, Algérie . Thèse Doc.Ing.Univ.Besançon,183p.

-BENALI A. (1980)-Cours de modélisation. Univ/Oran, 57 P.

-BENBOUZIANEA.(1984)-Stratigraphie et sédimentologie du Lias et du Dogger inférieur du bassin de Guercif (Maroc oriental).Thèse.Doc,3èmecycle .Univ/Claude Bernard,Lyon,145p.

-BENSALAH F. (1998)-Etat de la pollution au niveau de la plaine de Maghnia (carte de vulnérabilité à la pollution, échelle 1/100000).Mém. Ing .Univ/Oran, 102 P.

-BENZIADA M. (1994)-Etude hydrogéologique de la plaine de la Mitidja- Est (Application d'un modèle mathématique ASM au bassin côtier algérois, Algérie). Thèse. Doct. Univ/Franche- Compté en sciences de la terre, 242P.

-BESSEDIK M. (1995)-Essai de modélisation d'une nappe : Application à la nappe d'Hennaya et sur banc d'essai. Mém.Ing ,Inst.Hydraulique, Univ/Tlemcen,85 P.

-BONNET P. (1965)-Etude hydrogéologique de la plaine de Maghnia. Rapp, S.E.S , N° 59/GE,45P.

-BONNET P. (1966)- Plaine de Maghnia : Les réservoirs et les nappes jurassiques. Rapp, S.E.S, N° OR1/DH, 28P.

-BONNET P. (1967)-Géohydraulique : Plaine de Maghnia. Rapp N° 3 ,67P.

-BONNET P. (1967)- Géohydraulique : Plaine de Maghnia. Rapp N° 4 ,21P.

-BONNET P. (1967)- Plaine de Maghnia : Nappes du Plio Quaternaire. Rapp, S.E.S,N°10-12/DH ,87P.

-BONNET P. (1969)- Géohydraulique : Plaine de Maghnia. Rapp N° 5 ,21P.

-BONNET P.(1982)-Méthodologie des modèles de simulation en hydrogéologie.Thèse de Doc.Univ. P.et M.Curie, Ecole Polytechn. de Lorraine et BRGM,78SGN,655Hyd.270p.

-BOUMAHRAT M, COURDIN A. (1993)-Méthodes numériques appliquées, 440P.

-CASTANY G, MARGAT J.(1977)-Dictionnaire français d'hydrogéologie.Edit.BRGM,249P.

-CASTANY G. (1982)-Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Edit. Dunod, 233P.

-DELHOMME J.P. (1976)-Application de la théorie des variables régionalisées dans les sciences de l'eau. Thèse. Doct. Univ/P, M CURIE , Paris-6, 130P.

-DE MARSILY G. (1981)-Hydrogéologie quantitative. Edit. Masson, Paris, 215P.

-DJELLOULI F, MAGHROUS A.(1996)-Essai de modélisation d'une nappe : Application à la nappe de Maghnia. Mém. Ing, Inst Hydraulique, Univ/Tlemcen, 128 P.

-DOMENICO PA, SCHWARTZ FW. (1990)-Physical and chemical hydrogeology.755P.

-ENHYD D. (1994)-Données hydrogéologiques et hydroclimatologiques.86P.

-GUETTAIA S ,SOLTANI W ,SOUIKI N.(2000)-Contribution à l'étude de la pollution des eaux superficielles à l'amont du barrage de Hammam Boughrara-Tlemcen.Mém.Ing.Inst. Sciences de la terre, Univ/Tlemcen,174p.

-HABIB S, GHADI F. (1997)-Irrigation de la plaine de Maghnia. Mém. Ing, Inst.Hydraulique, Univ/Tlemcen ,103P.

-HAOUCHINE A.(1993)-Simulation numérique des transferts de masse en milieu poreux –Exemple d'une intrusion marine dans un aquifère côtier.Th.Magister-I.S.T/USTHB-Alger.

-KINZELBACH W.(1986)-Groudwater modelling.An introduction with simple programs in basic.Elseiver Ed,333p.

-KINZELBACH W. et RANDOLF R.(1990)-Aquifer simulation model ,ASM-Doc.bas27,version2,Stuttgart,53p.

-LASCAUX P ;THEODOR R.(1986)-Analyse numérique matricielle appliquée à l'art de l'ingénieur.Tome1 ;400p.et Tome2 ;790p.Edit masson,Paris.

-LEDOUX E.(1980)-Modélisation intégrée des écoulements de surface et des écoulements souterrains sur un bassin hydrologique .Thèse.Doc.Ing.ENSMP ,Paris,236p.

-LUCAS G. (1942)-Description géologique et pétrographique des Monts de Ghar-Roubane et du Sidi-El Abed (Frontière Algéro-marocaine).Bull. Serv. Carte. Géol. Alger, 539P.

-MANIA J.(1978)-Gestion des systèmes aquifères.Application au Nord de la France.Thèse Doc.Es-Sc .Univ.Sc. et Techn. Lille,215p.

-MANIA J. (1993)-Hydraulique souterraine :Cours de maîtrise des sciences et techniques de géologie appliquée. Univ/Franche-Compté, Labo. géologie structurale et appliquée, Besançan, 11P.

-MARSAC M.J.(1984)-Modélisation sur micro-ordinateur des écoulements souterrains par la méthode des différences finies.Th.3ème cycle,Bordeaux,155p.

- MEKAHLI L. (1988)-Etude lithostratigraphique, sédimentaire et dynamique des formations carbonnatées du Jurassique inférieur et moyen de la partie occidentale du Horst de Ghar-Rouban.Thèse. Magister, Univ/Oran, 245 P.

-NOUGIER J.P.(1983)-Méthodes de calcul numérique.Edit.Masson-Paris,317p.

-SCHNEEBLI G.(1966)-Hydraulique souterraine .Eyrolles Edit. Paris,362p

-SCHNEEBELI G. (1987)-Hydraulique souterraine. Edit. Paris, 375P.

-SGRHA. (1964)-Etude hydrogéologique par prospection électrique dans la plaine de Maghnia ,31P.

-THIER D.(1985)-Initiation à la modélisation hydrodynamique des nappes souterraines. BRG ,note technique ,85/28,10p.

CARTES consultées :

Carte d'état major: Maghnia 1/50.000

Carte d'état major: Sidi boudjenane 1/50.000

Carte d'état major: Nedroma 1/50.000

Carte géologique: Maghnia 1/50.000

Carte géologique: Ghar Roubane 1/200.000

Carte pédologique de la plaine de Maghnia :1/50 000