

Mag-1310 - 176/03

UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID-TLEMCEM

N° d'ordre : 16/DST/10

Inscrit Sous le N°:	4761
Date de:	14-09-10
Code:	14-09-10

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET SCIENCES DE LA
TERRE ET DE L'UNIVERS
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE

LABORATOIRE RESSOURCES HYDRIQUES, MINIERES ET PEDOLOGIQUES :
CHOIX TECHNOLOGIQUE ET LEGISLATION DE L'ENVIRONNEMENT

MEMOIRE DE MAGISTER

Option

Ressources en Eau dans leur Environnement

Présenté par
DERDOUR Abdessamed

MODELISATION HYDRODYNAMIQUE DE LA NAPPE DES GRES CRETACÉ DU
SYNCLINAL DE REMTHA –MONTES DES KSOUR- ALGERIE

Soutenu le 02/07/2010 devant les membres du jury :

M^r. MAROK Abbas, Maître de conférences. Univ. Tlemcen.....Président
M^r. BOUANANI Abderrezak, Maître de conférences. Univ. Tlemcen.....Rapporteur
M^{lle}. MABROUK Leila, Maître de conférences. Univ. Oran.....Examineur
M^r. SEDDINI Abdelali, Maître de conférences. Univ. Tlemcen.....Examineur
M^{me}. BABA HAMED Kamila, Maître de conférences. Univ. Tlemcen.....Invité

Dédicaces

A mes très chers parents toujours présents à me donner un magnifique modèle de labeur et de persévérance. J'espère qu'ils trouveront dans ce travail tout mon amour et toute ma reconnaissance.

A mes chers frères: Samir, Mohamed, Hakim, Rachid et leurs petites familles et à Djamel

A toute ma famille

A El Hadj Mansour et mon oncle Abdelkarim

A mes meilleurs amis surtout: Kamel, Mohamed, Kader, Tayeb, Yacine, Farid, SidHmed, Chaoui ainsi que Houria et Chahra

A tous ceux que je porte dans mon cœur.

Je dédie ce mémoire

" *Un pessimiste voit la difficulté dans chaque opportunité, un optimiste voit l'opportunité dans chaque difficulté* "

Winston Churchill

Avant-propos

A l'issu de ce travail je tiens à exprimer ma gratitude aux nombreuses personnes qui ont contribué à son élaboration d'une manière directe ou indirecte. Que ceux que j'ai pu oublier m'en excusent

Je tiens à exprimer mes très vifs remerciements à tous mes enseignants de la faculté des sciences de la terre: université de Tlemcen, auxquels je dois beaucoup pour ma formation

Je tiens tout d'abord à remercier Monsieur **BOUANANI Abderrezak**, Maître de conférences à l'université de Tlemcen, pour m'avoir accordé sa confiance en acceptant d'encadrer ce travail, pour son soutien, pour sa constante disponibilité, pour tous les conseils qu'il m'a promulgués et pour l'aide précieuse qu'il m'a fournie. Son enthousiasme et son optimisme communicatifs m'ont été fort efficaces et très réconfortants.

Mes vifs remerciements et mes respects les plus distingués vont à Monsieur **MAROK Abbes**, Maître de conférences à l'université de Tlemcen, pour avoir accepté de juger ce travail et de me faire l'honneur de présider mon jury de mémoire

J'adresse mes sincères remerciements et ma profonde reconnaissance à M^{lle} **MABROUK Leila**, Maître de conférences à l'université d'Oran et Monsieur **Seddini Abdelali**, Maître de conférences à l'université de Tlemcen qui ont bien voulu examiner ce travail et faire partie du jury de ce mémoire

Je suis conscient de la reconnaissance que je dois à M^{me} **BABA HAMED Kamila**, Maître de conférences à l'université de Tlemcen qui a toujours répondu favorablement à toute sollicitation, et pour son suivi de la progression de travail, et qui m'a beaucoup appris en ASM WIN. Elle m'a prodigué de nombreux conseils et ne m'a jamais ménagé ses encouragements

Mes remerciements vont également à Monsieur **RAHMANI Abderrahmen**, chef de service à la direction de l'hydraulique de la Wilaya de Naama, qui m'a fait profiter de ses compétences en hydrogéologie de la région, pour ses conseils, ses remarques pertinentes et son temps, malgré ses nombreuses obligations.

Je suis très reconnaissant à Monsieur **KACEMI Ali**, chargé de cours à l'université de Tlemcen de m'avoir accompagné sur le terrain, de m'avoir fait bénéficier de sa grande expérience comme un structuraliste et pour m'avoir fait profiter de ses larges connaissances

A toutes les personnes du **laboratoire 25** qui de près ou de loin ont contribué à l'aboutissement de ce travail

Mes remerciements sont adressés aussi aux responsables de: la direction de l'hydraulique de la wilaya de Naama **DHW**, le haut commissariat au développement de la steppe (représentation Naama-Bechar) **HCDS**, la générale des concessions agricoles **GCA**, la direction générale des forets (Naama) **DGF** et la station météorologique d'Ain Sefra.

Mes sincères remerciements aux agriculteurs et aux éleveurs de la région de Tiout et de Remtha pour leurs contributions.

ملخص

ينتمي خزان المياه الجوفية الطباشيري السفلي لمنطقة الرمثا الي سلسلة جبال القصور (الأطلس الصحراوي الغربي) و يزود السكان بالماء الشروب و المساحات الفلاحية لمنطقة عسلة (شرق العين الصفراء) نظرا إلى الأخطار المرتبطة بالظواهر الطبيعية (انخفاض محسوس في مستوى المياه الجوفية ناجم عن قلة كمية التزويد "مناخ جاف" كمية التسرب 2.22 مم/عام) و إلى العوامل الإنسانية (الإفراط في استغلال المياه الجوفية لتلبية الاحتياجات نظرا إلى النمو الديمغرافي و إنشاء العديد من المساحات المسقية) فان تسيير الموارد المائية بنموذج رياضي يعد ضروريا الدراسة البيزومترية تبين أن المياه الجوفية تجري من الجنوب الغربي إلى الشمال الشرقي وهذا ما يؤكد أن مخرج الخزان المائي هو ينبوع بلقراد و انه يتم تزويد الخزان من الجهة الغربية عبر الخزان الجوفي لنقار بعد تمثيل الأداء العام للنظام طبقة المياه الجوفية ، فان استخدام نموذج رياضي استنادا إلى أسلوب فرق محدد في النظام الدائم يحسن معرفة الخواص الهيدروليكية لطبقة المياه الجوفية ، وتقييم شامل على توازن المياه محاكاة النموذج خلال فترات الجفاف والإفراط في الاستغلال سمحت بتوقع انخفاض مستويات المياه.

الكلمات المفتاحية : الطباشيري السفلي , الحوض المقعر, الرمثا, النموذج الرياضي, محاكاة

Résumé

La nappe Barrémo-Albo-Aptienne du synclinal de Remtha qui fait partie des Monts des Ksour (Atlas Saharien occidental), alimente les habitants ainsi que les périmètres agricoles de la région d'Asla (Est Ain Sefra).

Face aux risques liés aux phénomènes naturels (baisse piézométriques de la nappe liées à un faible taux de recharge "climat aride", infiltration 2.22 mm/an), et aux phénomènes anthropiques : surexploitation de la nappe pour les besoins d'alimentation suite à la croissance démographique et surtout agricole car la région a vu la création de plusieurs périmètres agricoles, une gestion des ressources en eau avec un modèle mathématique devient nécessaire.

L'étude piézométrique montre un sens d'écoulement SW-NE en direction de la source de Belgred, exutoire principal de la nappe qui est alimenté à l'ouest par la nappe du synclinal Lankar.

Après une représentation du fonctionnement global du système aquifère, l'utilisation du modèle mathématique basé sur la méthode des différences finies en régime permanent améliore la connaissance des caractéristiques hydrauliques de l'aquifère et l'évaluation d'un bilan hydrologique complet.

La simulation du modèle en périodes de sécheresse et en surexploitation a permis de prévoir les niveaux d'abaissement de la nappe.

Mots clé: Barrémo-Albo-Aptien, synclinal, Remtha, modèle mathématique, simulation

ABSTRACT

The Barremo Albo-Aptian water table of Syncline of Remtha is a part of the Ksour Mountains (Western Saharian Atlas), supplies the inhabitants and the agricultural areas of the Asla's region (East of Ain Sefra).

Given the risks associated with natural phenomena (decreases of the groundwater associated with a low recharge "arid climate" infiltration 2.22 mm / year), and human influences (the overexploitation of groundwater to supply the needs following the population growth and especially for the agricultural region saw the establishment of lot of agricultural areas), a management of water resources with a mathematical model becomes necessary.

The study shows SW-NE piezometric flow direction, confirming that the outlet of the water is the source Belgred and that the water is fed to the west by the Lankar syncline.

After the performance of the overall functioning of the aquifer system, using the mathematical model based on the finite difference method in steady state improves knowledge of hydraulic characteristics of the aquifer and the evaluation of a complete water balance

The simulation of model during periods of drought and overuse has predicted lower levels of the water.

Key Words: Barremian-Aptian-Albian, Syncline, Remtha. Mathematic model, simulation

INTRODUCTION

Les monts des ksour sont constitués par de vastes synclinaux à fond plats, le vaste synclinal de Remtha qui repose sur des terrains attribués au Crétacé inférieur est situé à 50 Km à l'Est d'Ain Sefra sur la route menant à El Bayadh.

Si les nappes d'eau souterraines en zone aride ont des caractéristiques hydrogéologiques classiques, leurs conditions de réalimentation et d'exploitation induisent des problèmes particuliers dont on doit tenir compte de leur modélisation

Le but de travail est de comprendre et de modéliser les flux d'eaux souterraines dans la région de Remtha pour une meilleure gestion des ressources en eau dans la région.

Nous présenterons dans le premier chapitre la situation géographique et l'hydrographie de la zone d'étude

Dans le deuxième chapitre, nous nous intéresserons à l'étude Hydro-climatique qui permet de déterminer le type de climat régnant dans la zone concernée et les éléments du bilan hydrologique bilan à partir des données de températures et de précipitations

Dans le troisième chapitre nous nous intéressons à la géologie de la région, pour déterminer les différentes formations

L'étude hydrogéologique sera consacré pour identifier les principaux aquifères, de préciser la géométrie du réservoir barrémo-albo-aptien du synclinal de Remtha et de déterminer les paramètres hydrodynamiques de la nappe.

Nous nous intéresserons dans l'étude géostatistique à l'analyse de la répartition spatiale des paramètres géométriques et hydrodynamiques de l'aquifère qui nous conduiront à une meilleure compréhension de l'écoulement souterrain. et de former une base de données du modèle mathématique.

Notre cinquième chapitre sera consacré à la modélisation des écoulements du système aquifère en régime permanent. Enfin dans la dernière partie de ce chapitre nous présenterons quelques scénarios d'exploitation.

Tables des matières

	Page
Dédicaces	01
Remerciements	02
Résumé	03
Introduction générale	06
Sommaire	07
Liste des figures	08
Liste des tableaux	09
<u>CHAPITRE 1: Généralités</u>	
	10
I. Situation géographique générale:	11
II. Situation géographique du secteur d'étude:	12
III. Hydrographie:	13
<u>CHAPITRE 2: Climatologie</u>	
	15
I. Etude des précipitations :	16
I.1) <i>Précipitations annuelles à la station d'Ain Sefra :</i>	16
I.2) <i>Coefficient d'irrégularité du régime des précipitations :</i>	17
I.3) <i>Répartition des précipitations moyennes mensuelles</i>	17
I.4) <i>Répartition des précipitations saisonnières :</i>	17
II. Etude des températures :	18
II.1 <i>les moyennes mensuelles:</i>	18
II.2 <i>les moyennes annuelles :</i>	19
III. Evaporation et déficit d'écoulement :	19
III.1 <i>Déficit d'écoulement:</i>	20
III.2 <i>L'évapotranspiration potentielle ETP :</i>	21
III.3 <i>L'évapotranspiration réelle :</i>	21
a) Par le bilan de THORNTHWAITE	21
b) par la méthode de TURC:	22
IV. Bilan hydrologique :	23
<u>CHAPITRE 3: Géologie</u>	
	25
I. Cadre géologique régional:	26
II. Série type des Monts des Ksour :	27
1 -La série Triasique :	27
2- L'infra lias :	27
3-La série Jurassique :	27
4-Le passage Jurassique Crétacé (Région d'Ain Sefra)	29
5-La Série Crétacée (Région de Tiout et Rhoundjaia)	29
6-Les formations post-turoniennes	31
7- Les formations Quaternaires :	32
<u>CHAPITRE 4: Hydrogéologie</u>	
	33
I. Introduction:	34
II. les formations aquifères:	34
1- La nappe du jurassique :	34
2- les nappes du crétacé inférieur	34
2.1 <i>La nappe du néocomien: (formation de Tiloula)</i>	34
2.2 <i>La nappe Barrémo-Albo-Aptienne :</i>	35
3-La nappe du quaternaire :	36

Figure 48: Comparaison entre les potentiels mesurés et calculés après calage du modèle en régime permanent.

Figure 49: Carte de transmissivité adopté pour calage en régime permanent

Figure 50: Simulation hydrodynamique 1

Figure 51: Simulation hydrodynamique 2

Figure 52: Simulation hydrodynamique 3

Figure 53 : Evolution piézométrique simulé sur la coupe AA'

Figure 54: Evolution piézométrique simulé sur la coupe BB'

Figure 55 : Evolution piézométrique simulé en 3D sur le synclinal de Remtha

Figure 56 : schémas type d'un variogramme

Figure 57: Les modèles des variogrammes disponibles au Surfer et leurs équations

Figure 58 : Les variogrammes des phénomènes étudiés et ces équations

LISTE DES TABLEAUX

Tableau1: caractéristique de la station d'Ain Sefra

Tableau2: valeurs des précipitations mensuelles

Tableau3: valeurs des précipitations saisonnières

Tableau4: Température mensuelle minimum et maximum et moyenne

Tableau5: Valeurs d'ETP

Tableau6: Bilan hydrologique selon THORNTHWAITE

Tableau 7 : Evapotranspiration réelle annuelle calculée selon TURC à la station d'Ain Sefra pour la période allant de (1985/2005).

Tableau8: éléments du bilan

Tableau09: durée de pompage

Tableau 10 : Valeurs des transmissivité dans la région d'étude

Tableau 11: valeurs de coefficient d'emmagasinement

Tableau 12 : Ecart entre les potentiels mesurés et calculés après calage du modèle en régime permanent.

Tableau 13 : Bilan de la nappe calculé par le modèle.

Tableau 14 : Bilan de la nappe calculé par le modèle pour le scénario de surexploitation.

Tableau 15 : Bilan de la nappe calculé par le modèle pour le scénario de sécheresse.

Tableau 16 : Bilan de la nappe calculé par le modèle pour le scénario d'augmentation de recharge

Abréviations

AEP: alimentation en eau potable

CGG : Compagnie générale de la géophysique

DHW: Direction de l'hydraulique de la Wilaya

DSA: Direction des services agricoles

DGF: Direction générale des forêts

ETP: Evapotranspiration potentielle

ETR: Evapotranspiration réelle

GCA: Générale des concessions agricoles

HCDS: Le haut commissariat au développement de la steppe

ONM: Office nationale de la météorologie

GÉNÉRALITÉ

CHAPITRE 1

- Au Nord-Ouest par Djebel Afzouz-Talbouna
- Au Sud- Est par Djebel Tanout-Bram
- A l'Est par l'Oued Torba
- A l'Ouest par le synclinal Lankar

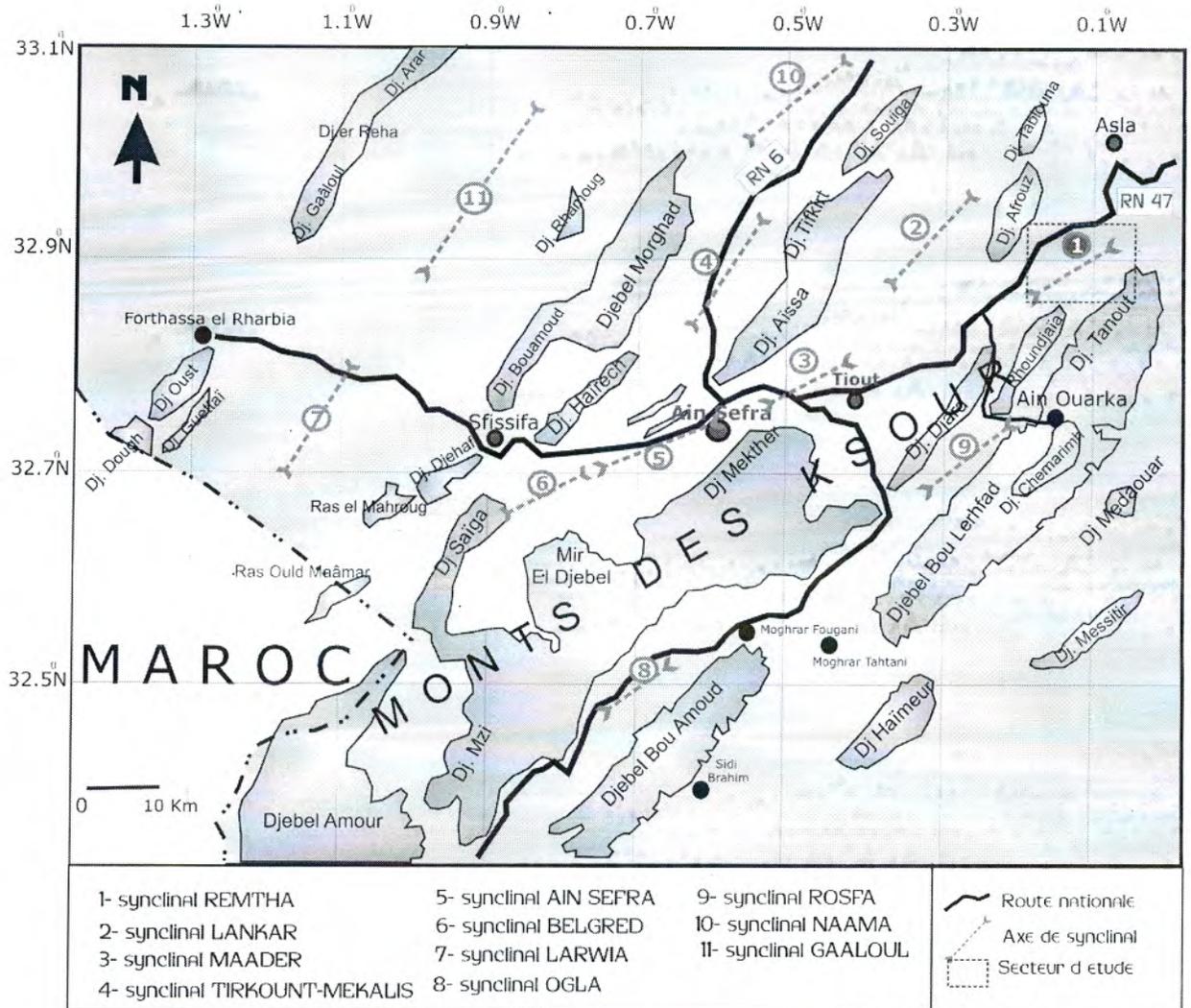


Figure2: les principaux synclinaux des monts des Ksour
(KACEMI A. 2005, modifiée)

III. Hydrographie:

Le Bassin de l'Oued Rharbi fait partie du bassin méridional de l'Atlas saharien (figure3), sa superficie atteint 14600 Km²,

Le Rharbi prend naissance dans la partie orientale des Monts des Ksour vers 1500 m d'altitude jusqu'à son entrée en région saharienne à El Abiodh Sid Cheikh à 65 Km de l'origine, son profil est assez régulier, il se poursuit dans la gouttière sud-atlasique jusqu'à son confluent avec le Chergui, vers 800 m d'altitude et après 130 Km de parcours.

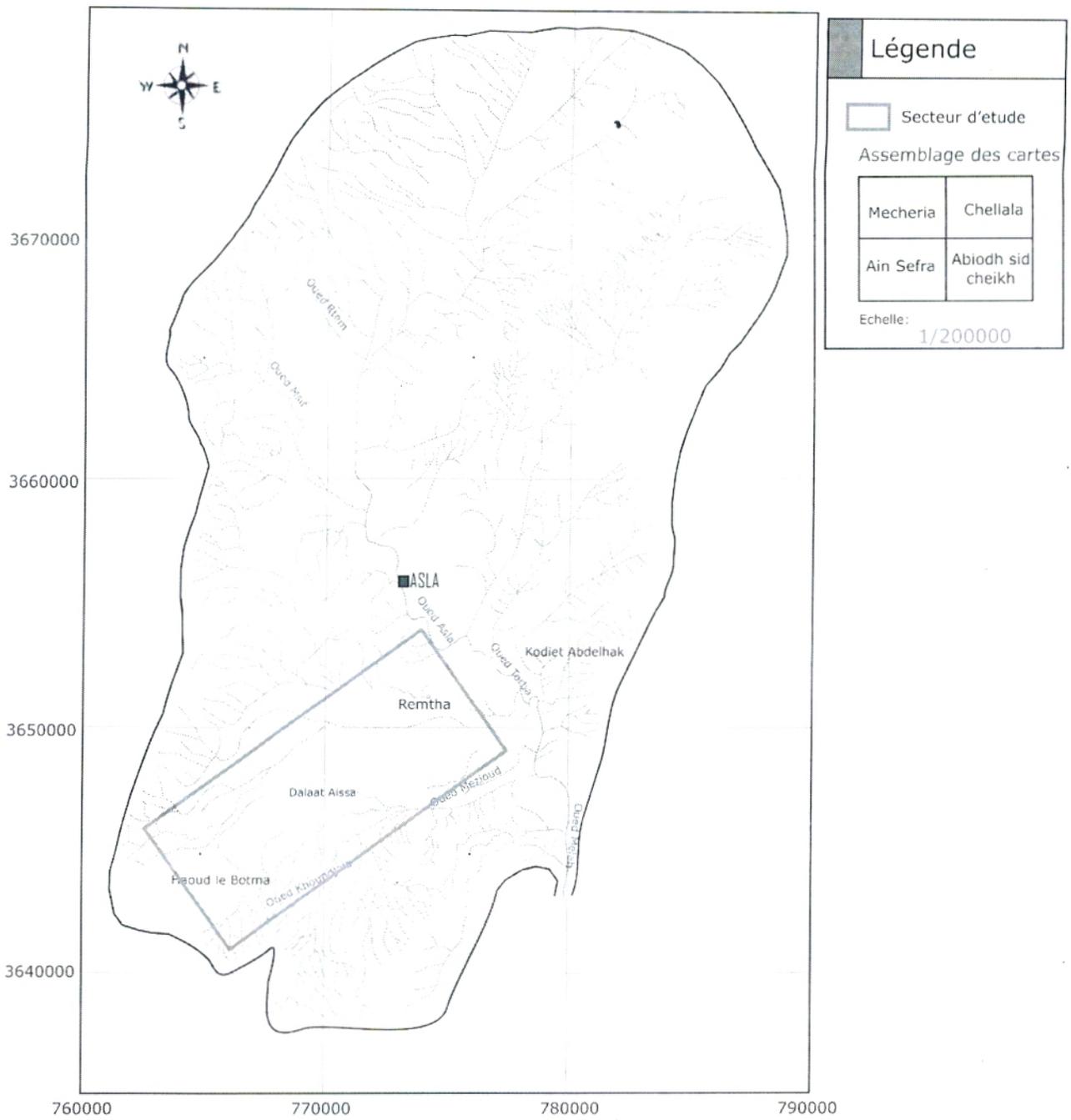


Figure4: Réseau hydrographique de la région d'Asla

III.2 L'évapotranspiration potentielle ETP :

C'est la quantité d'eau nécessaire à la transpiration non ralentie d'un tapis végétal couvrant entièrement le sol et alimenté régulièrement en eau. Elle commande les excès et les déficits des régions humides et arides.

On calcul l'évapotranspiration potentielle par la méthode de THORNTHWAITE :

$$ETP = 1.6 \left(10 \cdot \frac{T}{L} \right)^a \text{ avec}$$

$$a: \left(\frac{1.6I}{100} \right) + 0,5 \Rightarrow a=1.95$$

$$I: \text{somme des 12 indices mensuelles (i) avec : } i = \left(\frac{T_m}{5} \right)^{1,54}$$

T_m : température moyenne mensuelle

Les valeurs d'ETP non corrigé ainsi que les valeurs ETP corrigé sont reportés dans le tableau5

Tableau5: Valeurs d'ETP

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AUT	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN
T°C	6.55	10.04	12.85	15.98	20.65	26.52	29.91	28.7	24	18.12	11.43	7.5	18.9
i	1.52	2.93	4.28	5.99	8.88	13.06	15.72	14.75	11.20	7.26	3.57	1.87	91.01
ETP	0.84	4.845	7.840	11.992	19.771	32.203	40.717	37.566	26.506	15.323	6.239	2.743	206.58
Facteur	1.03	0.97	0.88	0.86	0.8	0.86	1.03	1.08	1.19	1.19	1.21	1.15	-
ETP Corrigé (mm)	10.8	14.70	21.89	41.31	55.817	67.695	141.938	140.572	131.542	68.234	47.549	33.155	775.23

ETP annuel corrigée= 775.23 mm

III.3 L'évapotranspiration réelle :

c) Par le bilan de THORNTHWAITE:(Tableau 6)

Ce bilan nous permet, en se basant sur les précipitations et l'évapotranspiration potentielle de déterminer:

- la variation de la réserve, la réserve utile, l'évapotranspiration réelle, le déficit agricole, l'excédent de l'écoulement

Pour ce bilan on à intérêt à connaître la réserve utile qui caractérise le sol de la région en utilisant la relation:

$$Ru = \frac{C - F}{100hD + 30}$$

Avec:

- ▶ Ru: réserve d'eau utile ou capacité de rétention
- ▶ C: capacité au champ
- ▶ F: capacité aux points de flétrissement
- ▶ H: profondeur du sol en mm

► D: densité du sol

Tableau6: Bilan hydrologique selon THORNTHWAITE

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AUT	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN
P (mm)	14.8	11.2	24.2	15.8	17.6	7.82	3.9	8.26	17.4	21.3	12.9	9.7	164.8
ETP (mm)	10.86	14.7	21.89	41.31	55.81	67.7	141.9	140.5	131.5	68.23	47.5	33.15	775.0
Variations (mm)	3.94	-3.5	2.31	-25.51	-38.2	-59.88	-138	-140.5	-114.1	-46.93	-34.6	-23.45	
R.U (mm)	3.94	3.94	6.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ETR (mm)	10.86	14.7	22.05	15.8	17.6	7.82	3.9	8.3	17.4	21.3	12.9	9.7	164.9
Déficit agricole (mm) ETP-ETR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Excédent (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ecoulement	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\frac{P - ETP}{P}$	0.266	-0.31	0.095	-1.615	-2.17	-7.6573	-35.385	-16.01	-6.557	-2.203	-2.682	-2.418	

d) par la méthode de TURC:

En 1953, TURC a établi une formule de l'ETR se basant sur les expérimentations entreprises sur des bassins versants du monde entier. Comparant les résultats de l'ETR obtenus sur cases lysimétriques et ceux obtenus à partir des bilans hydrologiques des bassins versants, l'auteur suggère la formule suivante valable à l'échelle annuelle :

$$ETR = \left[\frac{P}{\sqrt{\frac{0.9 + P^2}{L^2}}} \right]$$

Avec:

- $L = 300 + 25T + 0.05T^3$
- P : pluviométrie annuelle (mm)
- T : température moyenne (°C)

Dans notre cas $ETR = 169.475$ mm

Le tableau 7 nous donne les ETR annuelles calculées à Ain Sefra pour la période allant de 1985 à 2005

Tableau 7 : Evapotranspiration réelle annuelle calculée selon TURC à la station d'Ain Sefra pour la période allant de (1985/2005).

Année	P (mm)	T (C)	L	0.9+P2/L2	ETR
1985/1986	147.3	17.67	1017.60423	0.9210	153.491
1986/1987	194.8	17.86	1031.34878	0.9357	201.385
1987/1988	147.6	17.65	1016.16861	0.9211	153.792
1988/1989	181.1	17.05	974.073881	0.9346	187.333
1989/1990	329.5	18.38	1069.96062	0.9948	330.354
1990/1991	380.3	16.85	960.454706	1.0568	369.942
1991/1992	151.6	15.43	869.4325	0.9304	157.168
1992/1993	122.5	17.2	984.4224	0.9155	128.030
1993/1994	106.4	17.47	1003.34299	0.9112	111.461
1994/1995	215.7	17.28	989.989018	0.9475	221.599
1995/1996	183.2	17.88	1032.80679	0.9315	189.820
1996/1997	157.8	17.68	1018.32284	0.9240	164.160
1997/1998	87.3	18.43	1073.75121	0.9066	91.686
1998/1999	158.4	17.2	984.4224	0.9259	164.617
1999/2000	39.9	18	1041.6	0.9015	42.024
2000/2001	84.1	18.6	1086.7428	0.9060	88.356
2001/2002	125.9	17.83	1029.16578	0.9150	131.620
2002/2003	163.5	18.83	1104.57662	0.9219	170.284
2003/2004	212.9	18.77	1099.89566	0.9375	219.886
2004/2005	107.4	17.48	1004.05105	0.9114	112.497
					169.475

IV. Bilan hydrologique :

Eléments du bilan : $P=R+I+E$

$$I=P-R-D$$

- ▶ P : Précipitations = 164.88 mm = 0.165 m
- ▶ R : Ruissellement
- ▶ I : infiltration
- ▶ ETP : évapotranspiration potentielle = 775.23 mm= 0.775 m
- ▶ D : déficit d'écoulement (abaque de Verdeil) = 160mm= 0.16 m

Détermination des éléments du Bilan (1985/2005)

a) Apports:

P = 0.165m

b) Ruissellement:

Sa valeur sera donnée par la relation de TIXERONT-BERKALOFF

$$R = \frac{P^3}{3ETP^3}$$

R= 2.76 mm soit 1.673 % des précipitations.

c) déficit d'écoulement :

D=160 mm 97.05% des précipitations

d) Infiltration: I=P-D-R

I= 2.12 mm soit 1.28 % des précipitations

Les résultats des éléments du bilan sont présentés dans le tableau 8

Tableau8: éléments du bilan

Elément du bilan	mm	%
Apports	165	100
Ruissellement	2.76	1.673
Déficit	160	97.05
Infiltration	2.12	1.28

CONCLUSION:

Le secteur étudié est caractérisé par un climat désertique avec une température moyenne annuelle de 17.16°C et une précipitation moyenne annuelle de 165 mm.

A l'échelle saisonnière, on constate qu'on a deux saisons: une relativement pluvieuse de septembre à Mai et une autre sèche pour le reste de l'année.

Le déficit d'écoulement selon la méthode de Verdeil, est évalué à 160mm.

GÉOLOGIE CHAPITRE 3

I. Cadre géologique régional:

La région de Remtha est située dans un de ces synclinaux où les couches sont représentées par des grès crétacés attribués au Barrémo-Albo-Aptien.

Deux anticlinaux l'un au Nord et l'autre au Sud encadrent le synclinal où il y affleure des terrains gréseux plus anciens : Jurassique supérieur et Crétacé inférieur, ces anticlinaux ont donné naissance aux Djebel Afzouz et Djebel Tanout. (figure10)

La structure de ce synclinal se présente comme suit :

On distingue du Nord-Ouest au Sud-Est:

- ▶ L'anticlinal jurassique du Djebel Afzouz
- ▶ Un synclinal néocomien de Dalaat Miloudah
- ▶ Un synclinal Albien à fond très plat de Remtha.
- ▶ L'anticlinal jurassique de Djebel Tanout.

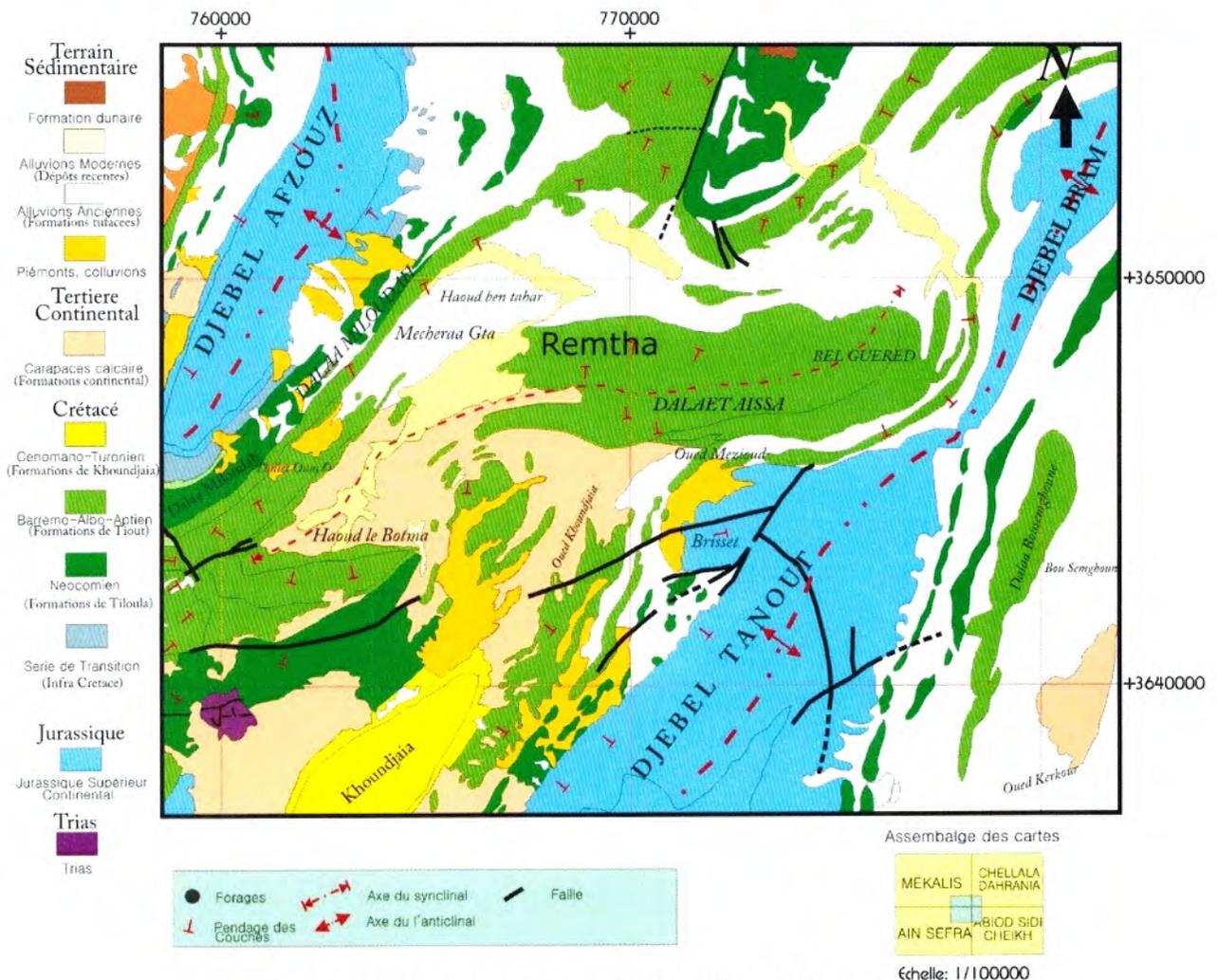


Figure 10 : Carte géologique de la région de Remtha (GALMIER 1970, modifiée: assemblage des carte et digitalisation avec COREL DRAW 12)

II. Série type des Monts des Ksour :

Dans les monts des ksour la majeure partie des affleurements appartiennent aux formations mésozoïques. A l'intérieur de l'Atlas les sédiments Cénozoïques sont localisés dans les dépressions et représentés par le Tertiaire continental discordant sur le secondaire en petits lambeaux dispersés çà et là. C'est au sud de la flexure sud atlasique que l'on peut observer les formations post-Turonniennes avec plus de continuité.

1 -La série Triasique :

Le Trias diapirique se compose d'argile bariolé verticolore, d'évaporites et de carbonates noirâtres. Il est accompagné de roches vertes (basaltes et basaltes doléritiques). Il affleure à Ain Ouarka, El Hendjir, NW d'El Rhoundjaia, Koudiet Tiourtalt, Dj Melah, etc.....Il apparaît le plus souvent aux cœurs des anticlinaux en position stratigraphique anormale sous forme de diapirs ou bien en masses injectées le long des grandes fractures qui ont affecté la couverture sédimentaire.

Le trias diapirique d'Ain ouarka se compose :

- ▼ d'un ensemble évaporitique gypso salin.
- ▼ d'argiles bariolées versicolores (violette, rouges, vertes)
- ▼ d'argiles violettes à barres gréseuses et traînées de sel.
- ▼ des carbonates noirâtres déformés à traînées de sel.
- ▼ des intrusions de basaltes doléritiques et de roches vertes à structure ophitique qui ont repris tous les faciès.

Les ophites dont l'épaisseur à Ain ouarka peut dépasser les vingt mètres forment une coupole au dessus de la masse argileuse et se trouvent stratigraphiquement en position normale sur ces argiles. (DOUIHASNI, 1976)

2- L'infra lias :

Les terrains rapportés à l'infra lias sont le plus souvent en positions anormales, liés aux diapirs, sauf en de rares endroits (Dj.Melah) 30 m d'épaisseur, à Tiout (35 m), est une formation argilo dolomitique d'âge Rhétien à Hettangien (G.B.M .Flamant, 1911 ;J.P Bassoulet,1973).

3-La série Jurassique :

Elle comprend :

a). La « Formation de Chemarikh » (figure 11) : ou les Dolomies de Chemarikh (Mekahli, 1998) ; d'âge Hettangien inférieur –Sinémurien. Elle est d'une épaisseur de 150 à 200 m. il s'agit de calcaires.dolomitiques. (Douihasni, 1976 ; Elmi ,1978)

dolomies (J.P Bassoulet, 1973). Le taux des grès domine et devient important vers le sommet. Cette formation serait d'âge Bathonien inférieur Callovien (A. Kacemi 2005).

h). La formation d'Aïssa: c'est une formation de 623m d'épaisseur entièrement argilo gréseuse. Elle est subdivisée en deux membres :

-membre inférieur ou membre des alternances espacées (304m) : ce membre est généralement constitué d'argiles et d'argiles silteuses, de couleur verdâtre ou lie de vin affleurant en combe. Ces argiles alternant avec de grosses barres de grès à grandes stratifications obliques qui peuvent atteindre 25 m d'épaisseur.

-Membre supérieur ou membre des alternances rapprochées (333m) : il est caractérisé par la rareté des argiles. Les bancs des grès peuvent être d'une soixantaine de mètres d'épaisseur. La partie supérieure de ce membre est caractérisée par la couleur rosâtre des grès et la présence de dragées de quartz. Cette formation serait d'âge jurassique supérieur (Kimméridgien-Porthlandien) (J.P Bassoulet, 1973)

4-Le passage Jurassique Crétacé (Région d'Ain Sefra)

-**La formation de Tiloula:** (figure 12) D'une épaisseur de 466m, cette formation est bien visible dans la nature. Elle constitue un repère structural important car elle débute les grands synclinaux à fond plat par de fortes arêtes gréseuses (synclinal d'Ain Sefra). Elle occupe la périphérie des grands massifs jurassiques tels que Aïssa, Mekther, Djara, etc... cette formation est caractérisée par (1) l'augmentation des épaisseurs des argiles qui étaient très faible dans la formation précédente ; (2) l'apparition des premiers niveaux dolomitiques ; (3) la disparition des grès rosâtres à dragées de quartz ; (4) et enfin l'apparition des grès plus ou moins massifs ou en plaquettes de très faibles épaisseurs et très espacés à grains fins. Le passage jurassique Crétacé s'effectuerait au sein de cette formation (J.P Bassoulet, 1973)

5-La Série Crétacée (Région de Tiout et Rhoundjaia)

- **Coupe de Tiout:** cette formation correspond au plus grand ensemble lithologique qui constitue les vastes synclinaux à fond plats qui séparent les anticlinaux essentiellement jurassiques tels que les synclinaux de Tiout, d'Ain Sefra, d'El Hendjir. Ils sont tous les trois séparés par les anticlinaux de Djebel Mekhter au Sud de Djebel Aïssa et Garet Dabba, au Nord. C'est une très puissante formation de 1065m d'épaisseur environ, qui se compose essentiellement de grès rosâtres à dragées de quartz et d'argiles. Elle correspond à un épandage détritique terrigène qui se généralise à la fin du crétacé inférieur.

Selon la composition lithologique et la disposition géomorphologique et structurale des bancs, cette formation est subdivisée en trois membres:

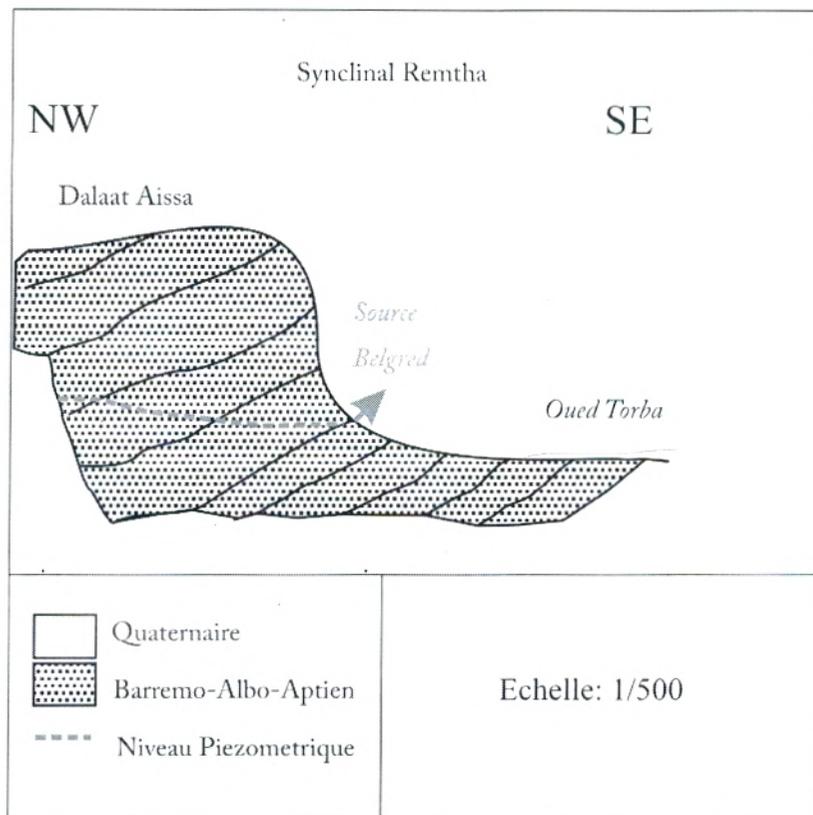


Figure 14: Coupe hydrogéologique schématique de la source Belgred

3-La nappe du quaternaire :

3.1 Les dépôts alluvionnaires :

Les principaux oueds constituent de bons réservoirs lorsque leur étendue et leur puissance sont importantes. Comme c'est le cas des oueds Breïdj et oued Tirkount qui ont laissé dans leurs rives d'importants dépôts alluvionnaires qui contiennent une nappe exploitée par de nombreux puits dans le cadre de la mise en valeur des terres (ex: la nappe alluvionnaire Dzira et la nappe alluvionnaire du Oued Asla).

3.2 Les dépôts dunaires :

La dune d'Ain Sefra contient elle aussi une nappe aquifère qui se manifeste par quelques sources pérennes au bord de la ville (source de la dune), après les grandes averses d'Octobre 2008 plusieurs sources ont émergé dans la dune

La nappe dunaire est certainement en communication avec celle des grès, qu'elle doit suralimenter en certaines périodes

III- Géométrie de l'aquifère

III.1 la coupe hydrogéologique:

La coupe hydrogéologique AA' (Fig. 15) établies à partir des logs stratigraphiques des forages réalisés par la DHW Naama et l'étude géophysique effectuées par la C.G.G (Compagnie générale de la géophysique) en 1974 dans la région des Monts des Ksour, qui consistait à l'étude de l'importance et l'extension des niveaux grossiers, sables, grès et conglomérats des terrains susceptible d'être aquifère, montre l'existence de 03 aquifères interstratifiés.

- des grès compacts avec grande intercalation d'argile
- une série gréseuse attribuée au Barrémo-Albo-Aptien à porosité d'interstices avec intercalation de passées argileuses.
- une formation quaternaire constituée d'alluvion et de dunes de sable.

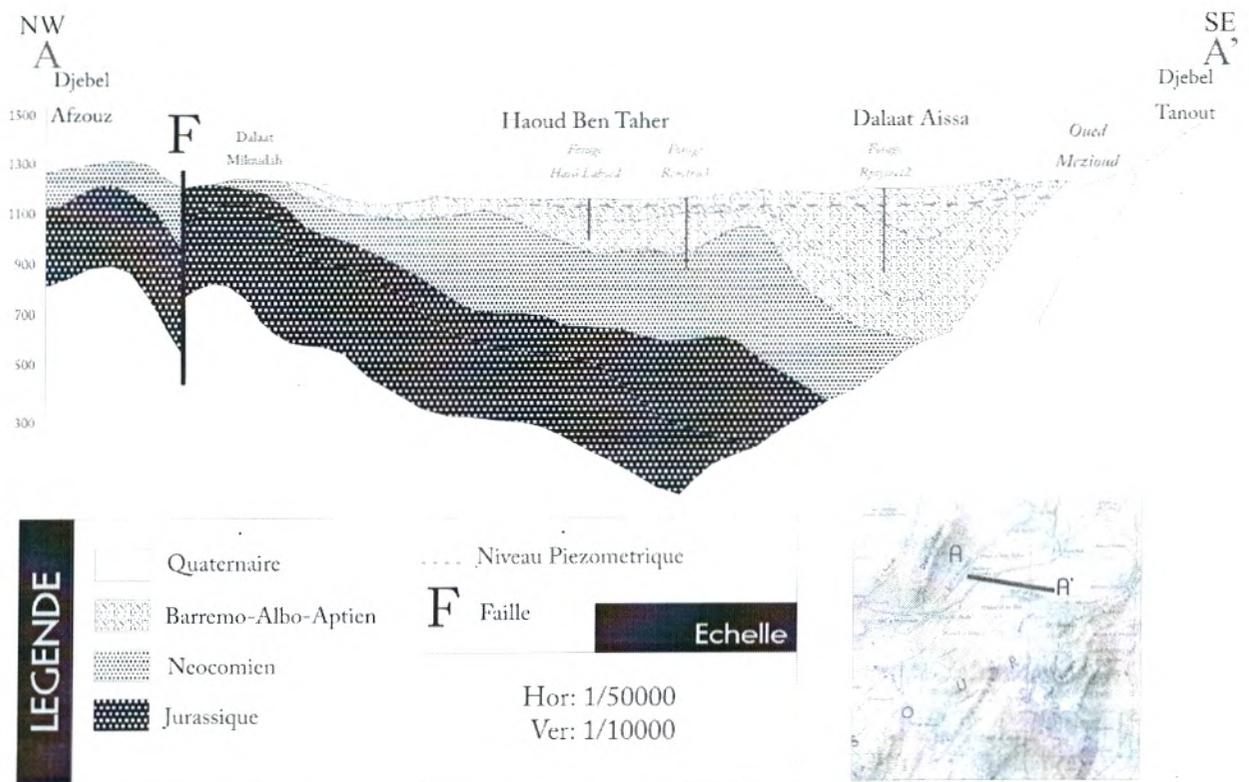


Figure15: Coupe hydrogéologique schématique du synclinal de Remtha

III.2. Coupes des forages:

La stratigraphie des forages indique une alternance gréso-argileuse (figure 16) avec une variation d'épaisseur, la nappe de notre secteur d'étude est généralement captive avec un toit argileux et parfois libre où le niveau piézométrique est situé dans la première couche gréseuse

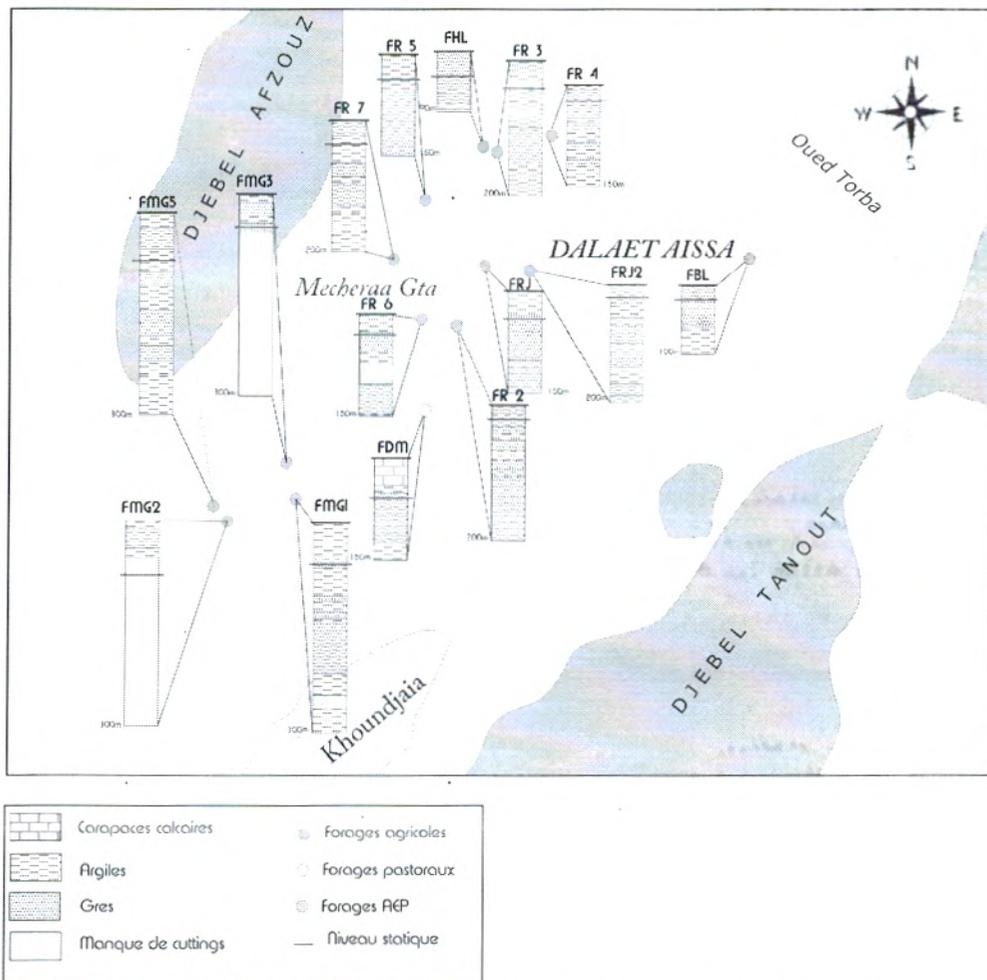
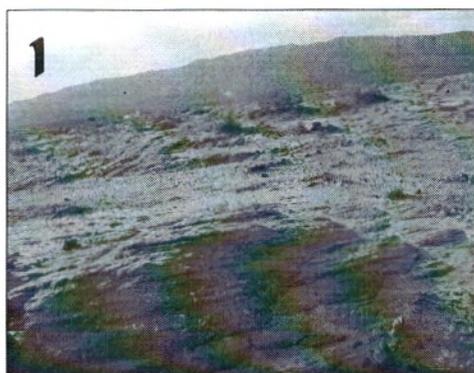


Figure 16 : coupes des forages à travers le synclinal de Remtha

III.3 Les Modes d'alimentation de la nappe: (Fig. 17)

L'alimentation de la nappe s'effectue soit par infiltration directe de la pluie, lorsque les formations gréseuses affleurent (1), ou bien recouvertes par des formations quaternaires, soit à partir des eaux qui s'accumulent dans les dépressions et les Dayas après les fortes averses(2),



Formations gréseuses affleurantes
DALAAT AISSA



Mare Le KAWS

Figure 17 : les modes d'alimentation de la nappe

III-5. Cartographie du toit de l'aquifère :

La nappe Barrémo-albo-aptienne de la région de Remtha est considérée comme captive, la limite de toit de l'aquifère correspond à la première couche argileuse rencontrée par forages (fig. 20). Après interpolation par krigeage (Voir annexe 3) des côtes de substratum on obtient la carte krigée de la cote du toit de l'aquifère (fig. 21).

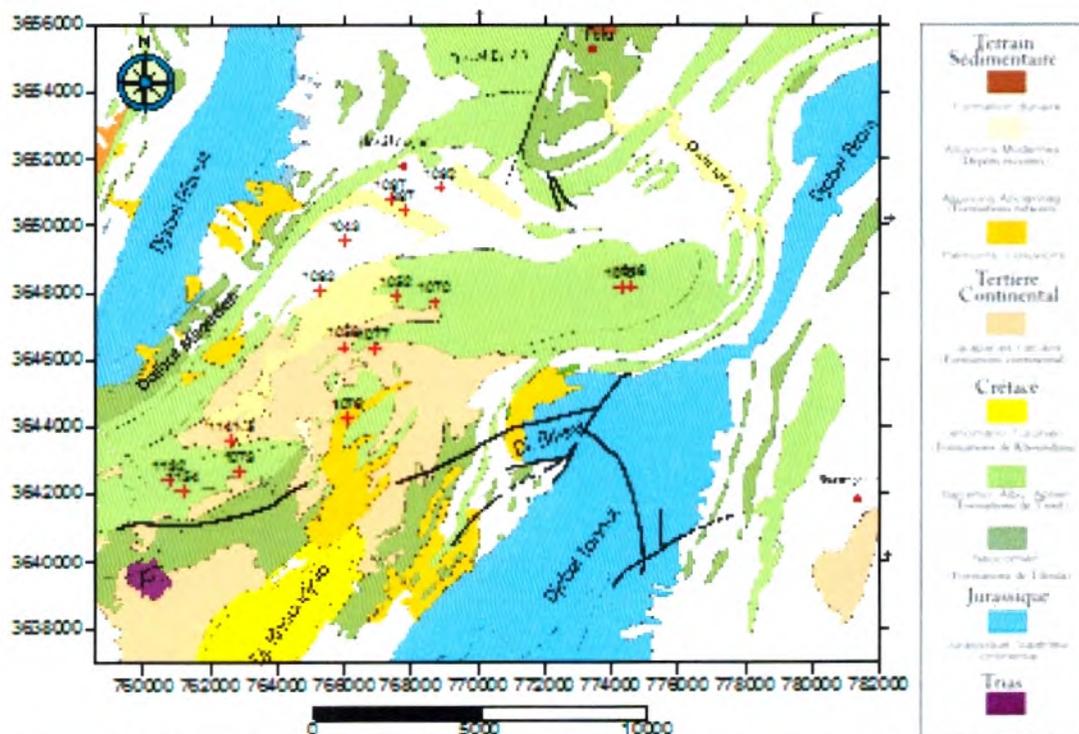


Figure 20: Carte de répartition de la cote du toit de l'aquifère du synclinal de Remtha

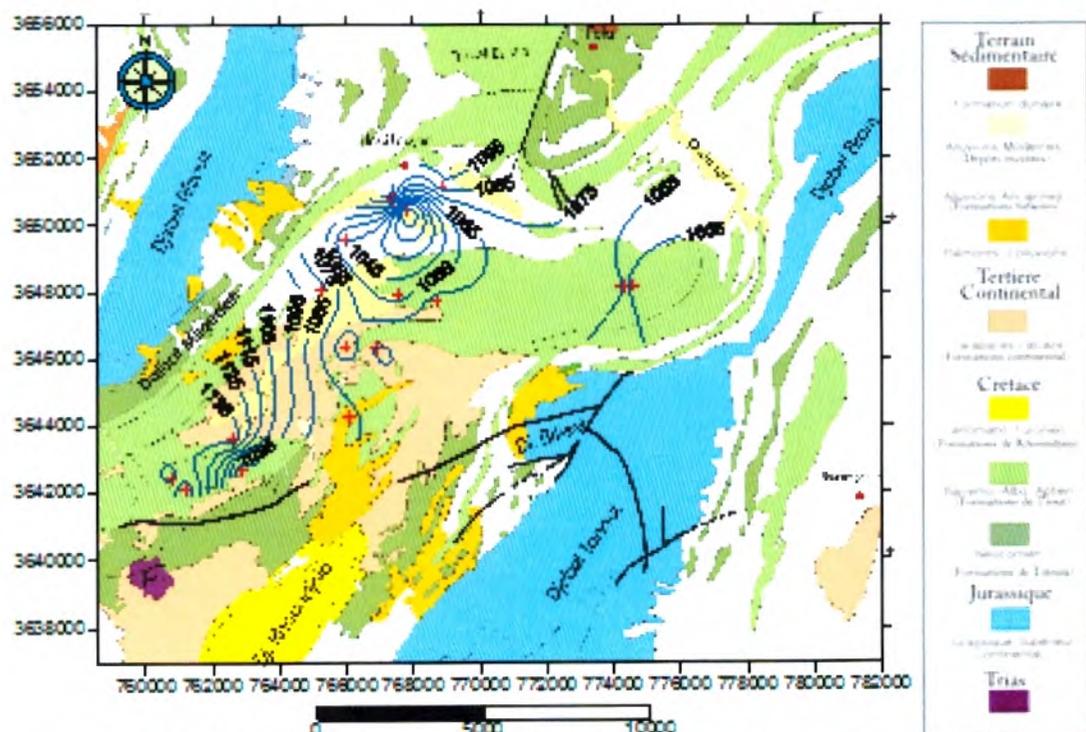


Figure 21: Carte krigée de la cote du toit de l'aquifère du synclinal de Remtha

III-6. Cartographie d'épaisseur de l'aquifère :

Une cartographie d'épaisseur de l'aquifère indique que les grès sont plus épais au niveau de l'axe du synclinal (Dalaat Aissa) où ils atteignent plus de 165 m (fig. 22).

Dans les périphériques du synclinal l'épaisseur des ne dépasse pas 55 mètres

Après interpolation par krigeage (voir annexe 3) on obtient la carte krigée d'épaisseur de l'aquifère (fig. 23).

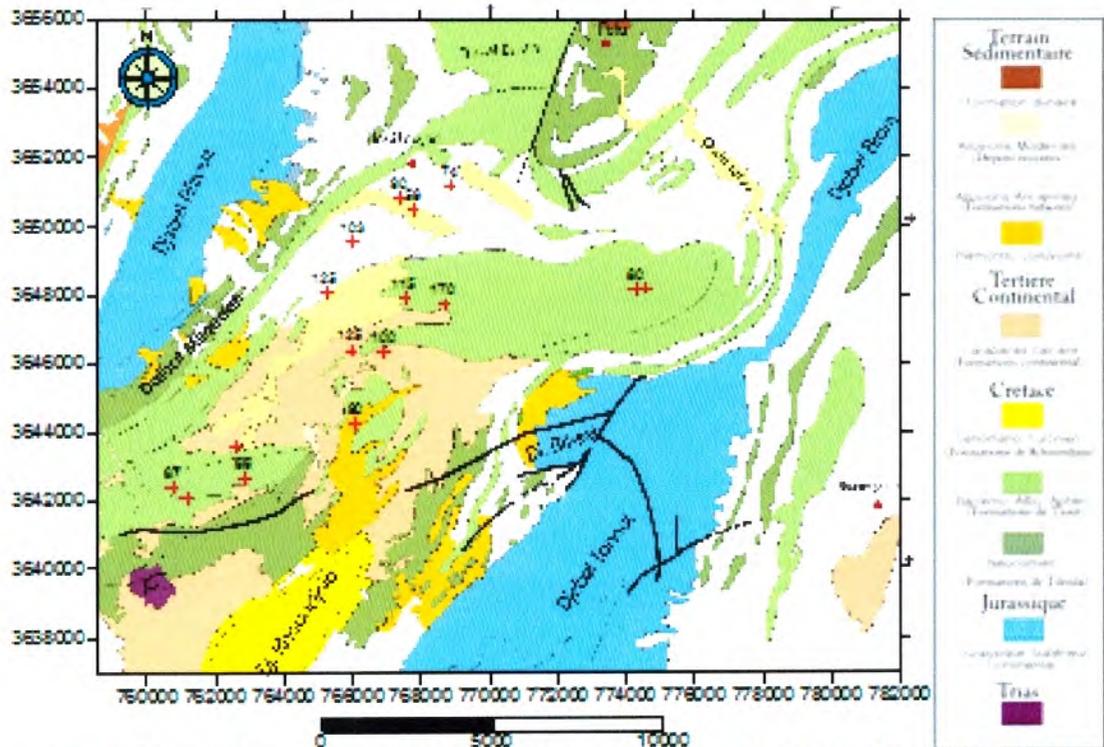


Figure 22: Carte de répartition des épaisseurs de l'aquifère du synclinal de Remtha

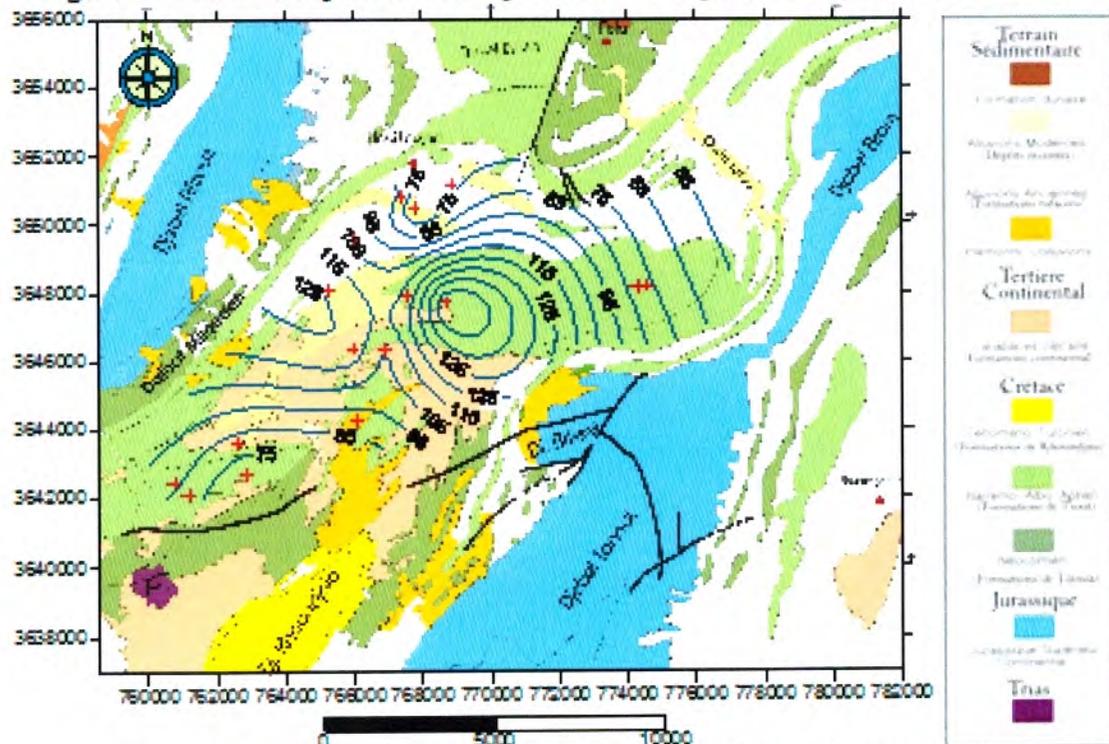


Figure 23: Carte krigée d'épaisseur de l'aquifère du synclinal de Remtha

III.7 cartographie en 3D de l'aquifère:

Après interpolation par krigeage du toit, du mur et l'épaisseur en utilisant le logiciel SURFER8 (Golden Software INC.) on obtient la carte en 3D de l'aquifère des grés crétacé du synclinal de Remtha (Fig. 24)

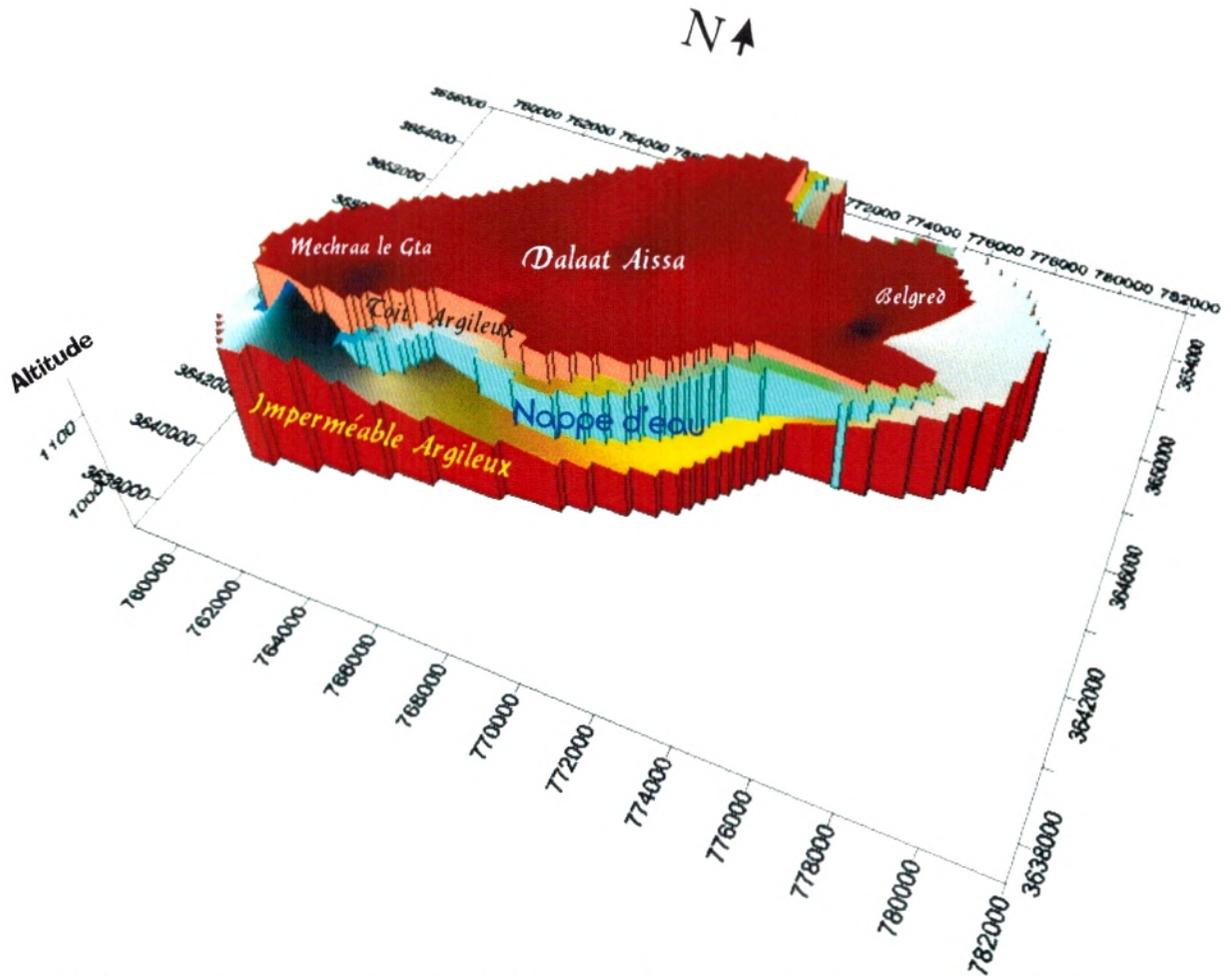


Figure 24: Cartographie en 3D de l'aquifère des grés crétacé du synclinal de Remtha

IV. Piézométrie:

IV.1 inventaire des points d'eau: (Fig. 25- Fig. 26)

Nous avons réalisé une carte piézométrique de la nappe du Crétacé inférieur du synclinal de Remtha sur la base des données des points d'eau fournis par la DHW Naama 2007 (voir annexe 2)

Suite à l'absence des puits dans notre secteur d'étude et la présence des pompes immergés au niveau des forages, nous n'avons pas pu faire une campagne piézométrique récente.

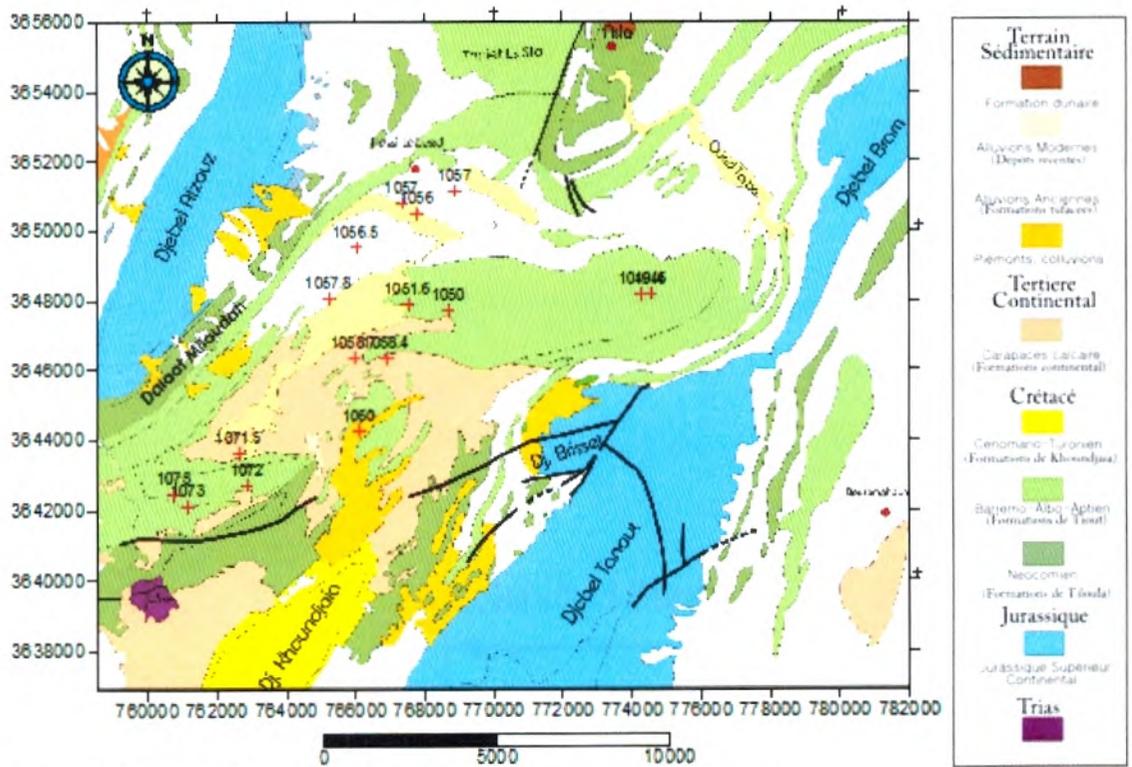


Figure 26: Carte de la répartition des niveaux piézométrique des forages dans la région de Remtha

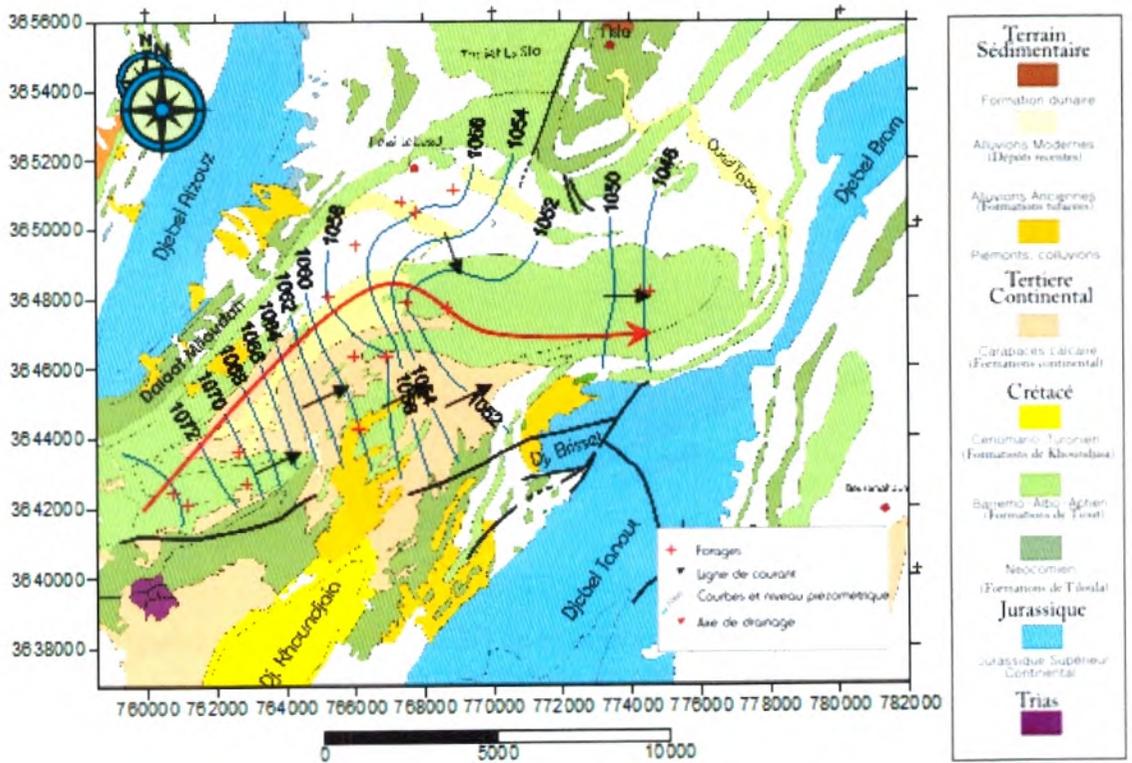


Figure 27 : Carte piézométrique de la région de Remtha

Le synclinal de Remtha est peut être alimenté du coté Ouest, par la gouttière synclinale des grès créacé à fond plat du Lankar (limite NW du synclinal de Remtha).

Pour confirmer cette hypothèse, nous avons établi une carte piézométrique du secteur de Lankar à partir des données de sept forages implantés dans le synclinal.

L'étude piézométrique du synclinal Lankar présente un sens d'écoulement NW-SE vers le périmètre agricole de Machraa el Gta, en direction du synclinal de Remtha (Fig. 29- Fig.30)

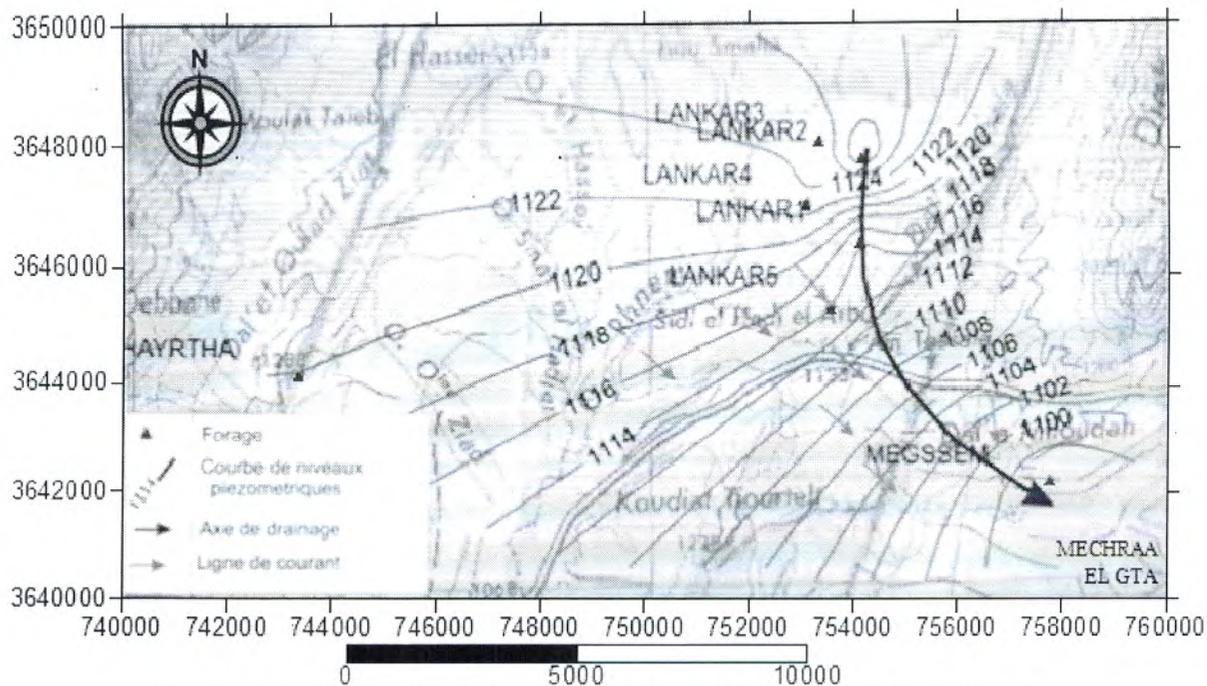


Figure 29 : Carte piézométrique dans la gouttière synclinale de Lankar

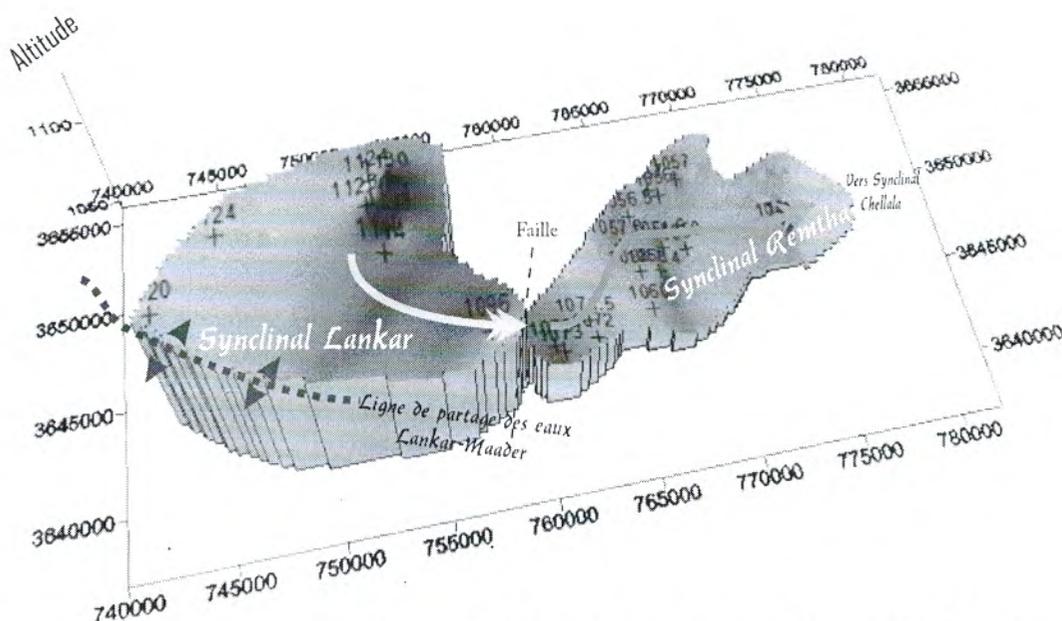


Figure 30 : Alimentation du synclinal Remtha par les eaux du synclinal Lankar

CHAPITRE 1

MODELISATION

Introduction:

Le système hydrogéologique, c'est-à-dire un aquifère et tout ce qui l'affecte, est difficile voire impossible à résoudre au moyen d'une simple équation. Les modèles réduits (aquariums remplis de sables et d'eau), physiques (par analogie avec d'autres sciences physiques), et surtout mathématiques (logiciels) permettent de reproduire, modéliser et simuler la complexité de ces systèmes. L'application de la modélisation hydrogéologique est immense : exploitation ou qualité des eaux souterraines, géothermie, recharge naturelle ou provoquée des aquifères.

Les objectifs de la modélisation hydrodynamique de la nappe des grès crétacés du synclinal de Remtha sont:

- ▶ la quantification des débits naturels transitant dans la nappe
- ▶ la connaissance de la distribution de la transmissivité permettant la reconstitution de la piézométrie
- ▶ et ainsi mieux appréhender le fonctionnement hydrodynamique du système et de dresser le bilan en régime permanent

I- Théorie sur la modélisation mathématique

I-1. Principes de discrétisation

On utilise généralement un découpage de l'aquifère à étudier en mailles homogènes de formes variables dans lesquelles les différents éléments caractéristiques ont des valeurs moyennes :

- Transmissivité (T)
- Coefficient d'emmagasinement (S)
- Débit prélevé ou injecté (Q)
- Infiltration par la pluie efficace (Inf)
- Niveau piézométrique ou charge (H)

On applique à chaque maille les lois fondamentales de l'hydrodynamique. On mène les calculs d'une maille à l'autre par approximations successives de manière itérative. Partant d'un état initial des charges dans les mailles, on les recalcule les unes après les autres plusieurs fois avec les charges

des mailles voisines et les conditions de débit, d'infiltration et de charges imposées dans certaines mailles situées en limite. On arrête les itérations lorsqu'on obtient un quasi stabilisation des charges calculées dans toutes les mailles.

Il est possible, au cours du calcul, de tenir compte des variations de transmissivité avec la hauteur d'eau (nappe libre), de l'assèchement ou du débordement en d'autres points (rivières, gravières, etc....).

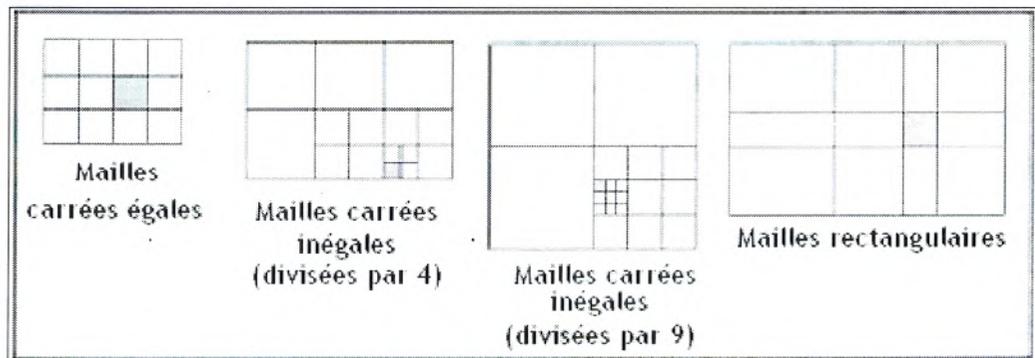


Figure 43 : Taille et forme des mailles (P.A. ROCHE, 2005)

La taille des mailles dépend de plusieurs facteurs :

- ▶ De la précision souhaitée sur les calculs,
- ▶ Des contours plus ou moins sinueux des limites,
- ▶ Du nombre et de l'éloignement des singularités (puits),
- ▶ Mais aussi de la capacité de l'ordinateur.

Il est évident que pour une même précision il y aura un plus grand nombre de mailles carrées égales que de mailles inégales, choisies plus petites dans les zones sensibles. Mais un modèle à mailles égales est beaucoup plus facile à utiliser. Suivant le problème, la dimension des mailles peut être de l'ordre de 5 mètres (pour l'étude d'une digue ou d'un champ captant) à 5 Km (pour l'étude d'une nappe régionale). En pratique, on essaiera de limiter le nombre de mailles à une valeur comprise entre 1000 et 10000 mailles (par couche).

I-2. Les Limites

La géométrie de la nappe est définie (en chaque point) par :

- ▶ Le substratum (mur) : le fond de la ou des couche(s) aquifères,
- ▶ Le toit : la limite supérieure de l'aquifère. Dans certains cas cependant si on est assuré que l'aquifère sera toujours en charge au cours des exploitations, ou bien si la variation de hauteur mouillée est faible, on peut se contenter de déterminer l'épaisseur de l'aquifère.
- ▶ Les limites latérales peuvent être :
 - Des limites naturelles à *potentiel imposé* (niveau imposé). En ces limites, le niveau est fixé (par un cours d'eau, par la mer, etc....) et le modèle calculé le

débit d'échange qui permet d'imposer ce niveau (le débit que la rivière fournit à la nappe ou au contraire que la nappe fournit à la rivière ; le débit de la nappe qui se perd dans la mer, etc. ...)

- Des limites naturelles imperméables : collines, zones argileuses. En ces limites, l'aquifère se termine, mais un débit constant peut arriver (ou partir) par exemple par ruissellement sur un coteau. Parfois ces limites sont appelées à **débit imposé**, car le débit y est constant (ou nul).
- Des limites arbitraires : il est indispensable d'étudier une nappe dans son ensemble. Dans certains cas cependant, quand la nappe est très étendue, on pourra n'en étudier qu'une partie en prenant soin d'isoler une zone assez grande pour que les modifications ou les sollicitations (pompages) qu'on veut faire subir à la nappe aient des influences négligeables sur les limites introduites dans le modèle.

On choisira donc une limite :

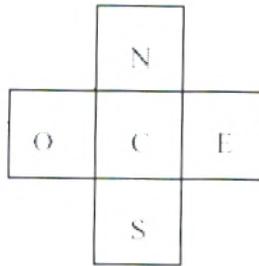
- ▶ soit le long d'une ligne de courant : le débit d'échange par cette limite sera alors nul,
- ▶ soit le long d'une ligne équipotentielle sur laquelle on impose la charge mesurée sur le terrain. Le modèle donne alors le débit d'échange par cette limite. Si cette limite est suffisamment éloignée des exploitations prévues (captage), on peut supposer que ce débit ne changera pas. Pour simuler les exploitations prévues, on mettra alors une limite imperméable et on imposera le débit calculé précédemment (P.A. ROCHE, 2005).

I-3. Quelques équations discrétisées et leur résolution

I-3-1. Les équations :

On peut appliquer les lois fondamentales de l'hydrodynamique directement à tout élément d'aquifère qu'on considère comme homogène et donc aux mailles.

- ▼ La discrétisation se fait généralement par la méthode des différences finies. Si les mailles sont carrées l'équation de l'hydrodynamique en régime permanent avec les hypothèses de Dupuit (vitesses horizontales) décrit le fait que le bilan d'échange est équilibré (P.A. ROCHE, 2005). On a alors :



$$Q + Inf + \sum T_{Ci} (H_i - H) = 0$$

Avec

T_{Ci} Transmissivité entre les mailles C et i.

L'équation d'équilibre à laquelle obéit toute maille est :

$$A \cdot S (H_{t+dt} - H_t) / dt = Q + Inf + \sum_{i=1}^4 T_i (H_{t,i} - H_t)$$

Avec :

A : aire de la maille (=dx² pour une maille carrée de côté dx) ;

S : coefficient d'emmagasinement (libre ou captif, suivant le cas) ;

H_t : charge à la date t ;

t : temps ;

dt : pas de temps ;

i : numéro de la maille Nord, Sud, Est et Ouest ;

Inf : infiltration.

I-3-2. La résolution :

En pratique les calculs se font par approximations successives. Partant d'un état initial des charges dans les mailles, on les recalcule toutes, les unes après les autres plusieurs fois, à partir des équations précédentes avec les charges des mailles voisines et les conditions de débit, d'infiltration et de charge imposée aux limites. On arrête le calcul lorsqu'on obtient un quasi stabilité des charges recalculées.

On peut tenir compte au cours du calcul des variations de transmissivité avec la hauteur d'eau, de l'assèchement ou du débordement en certains points.

Les calculs en régime transitoire se font également par approximations successives avec un découpage en intervalles (subdivisions des pas de temps) en partant d'un état équilibré.

Pour toutes les méthodes de résolution, on donne sur la périphérie du modèle étudié (qui forme les limites du modèle) :

- soit les niveaux : le modèle calcule alors les débits qui transitent par cette limite,
- soit une perméabilité nulle : c'est une limite imperméable,
- soit (plus rarement) un débit d'échange imposé (entrant ou sortant).

I-4. Estimation des paramètres - Calibration

Dans la plupart des cas d'étude, la connaissance quantitative des propriétés de l'aquifère est le problème majeur lors de l'élaboration d'un modèle, à cause de l'insuffisante connaissance quantitative de la géologie, de l'hydrogéologie et des paramètres hydrodispersifs du milieu étudié. Ces constatations démontrent l'obligation de vérifier si les résultats d'un modèle sont réalistes ou non par rapport à la réalité. Cette procédure appelée *calibration* : elle consiste à minimiser la différence entre '**mesures et résultats**' par l'ajustement des données d'entrée (une période du passé dont les conditions initiales, les sollicitations et la réponse du système sont mesurées) jusqu'à ce que le modèle reproduise les conditions du champ mesuré avec un niveau de précision acceptable. (A. DASSARGUES, 1995)

I-5. Exploitation du modèle - Simulation

Après la calibration, le modèle est prêt à l'emploi pour des prévisions. Il a la capacité de calculer des extrapolations dont les résultats constituent une aide précieuse lorsque des décisions concernant des modifications de sollicitations de l'aquifère sont à prendre. Parmi les applications possibles des modèles d'écoulements (A. DASSARGUES, 1995):

➤ **Etudes de bilans :**

- ▶ Détermination des tendances régionales des écoulements dans le réservoir et les interactions avec les eaux de surfaces, les autres réservoirs,...etc.

➤ **Puits de pompage :**

- ▶ Prédiction des effets du pompage sur la piézométrie et sur la suppression de certains flux ;
- ▶ Détermination de périmètres de protection ;
- ▶ Prédiction du mouvement de l'interface entre eau douce et eau salée ;
- ▶ Prédiction de l'effet de l'épandage d'eau pompée lors de l'irrigation.

➤ **Changements dans la réalimentation de la nappe :**

- ▶ Prédiction des effets dus à l'urbanisation ;
- ▶ Prédiction des changements résultants de l'irrigation ou de l'infiltration en provenance d'un nouveau canal ;
- ▶ Analyse à long terme des influences des tendances climatiques sur les niveaux piézométriques et la distinction des effets dus aux facteurs anthropiques.

➤ **Estimation des paramètres :**

- ▶ Précision de la distribution régionale des paramètres hydrogéologiques.

II. Modélisation hydrodynamique de la nappe des grès crétaé du synclinal de Remtha:

II.1. Logiciel de modélisation:

Nous avons utilisé le programme de modélisation ASMWIN, (Aquifer Simulation Model) qui est l'implémentation complète d'un modèle d'eaux souterraines 2-D utilisable sur un PC sous MS-Windows. Il a initialement été développé comme un outil pédagogique à l'intention d'étudiants en hydrogéologie, ingénierie civile et environnementale. La première version d'ASM a été publiée en 1989 et tournait sous MS-DOS. ASM a été continuellement amélioré depuis.

Le modèle de simulation d'aquifère pour Windows (ASMWIN), version très améliorée d'ASM 5.0 qui tourne sous MS-DOS (Kinzelbach & Rausch, 1995), implémente un modèle complet d'écoulement et de transport souterrain en deux dimensions. ASMWIN dispose d'une interface graphique professionnelle, d'un modèle d'écoulement en différences finies, d'un modèle de suivi des particules, d'un modèle de transport de parcours aléatoire, d'un modèle de transport en différences finies et de plusieurs autres outils de modélisation utiles.

L'interface graphique permet de créer et de simuler facilement des modèles. Elle peut manipuler des modèles comportant jusqu'à 150 par 150 mailles et 1000 périodes de temps (intervalles de pompage). ASMWIN peut tracer des cartes d'isovaleurs et des tracés colorés des données d'entrée et des résultats de simulation. Des graphiques pouvant être intégrés dans des publications peuvent être sauvegardés sous une large gamme de formats parmi lesquels SURFER, DXF, HPGL et BMP (Windows Bitmap).

Les outils de modélisation comprennent un extracteur de résultats, un interpolateur de champ, un générateur de champ, un estimateur de bilan hydrique et un visualiseur de graphiques.

L'extracteur de résultats permet à l'utilisateur d'extraire les résultats de simulation de n'importe quelle période et de les diriger vers une feuille de calcul. Les résultats peuvent alors être examinés ou sauvegardés dans des fichiers de données ASCII ou compatibles avec SURFER.

L'estimateur de bilan hydrique calcule non seulement le bilan de zones définies par l'utilisateur mais aussi l'échange de flux entre de telles zones. Il permet à l'utilisateur de déterminer le flux à travers une frontière particulière.

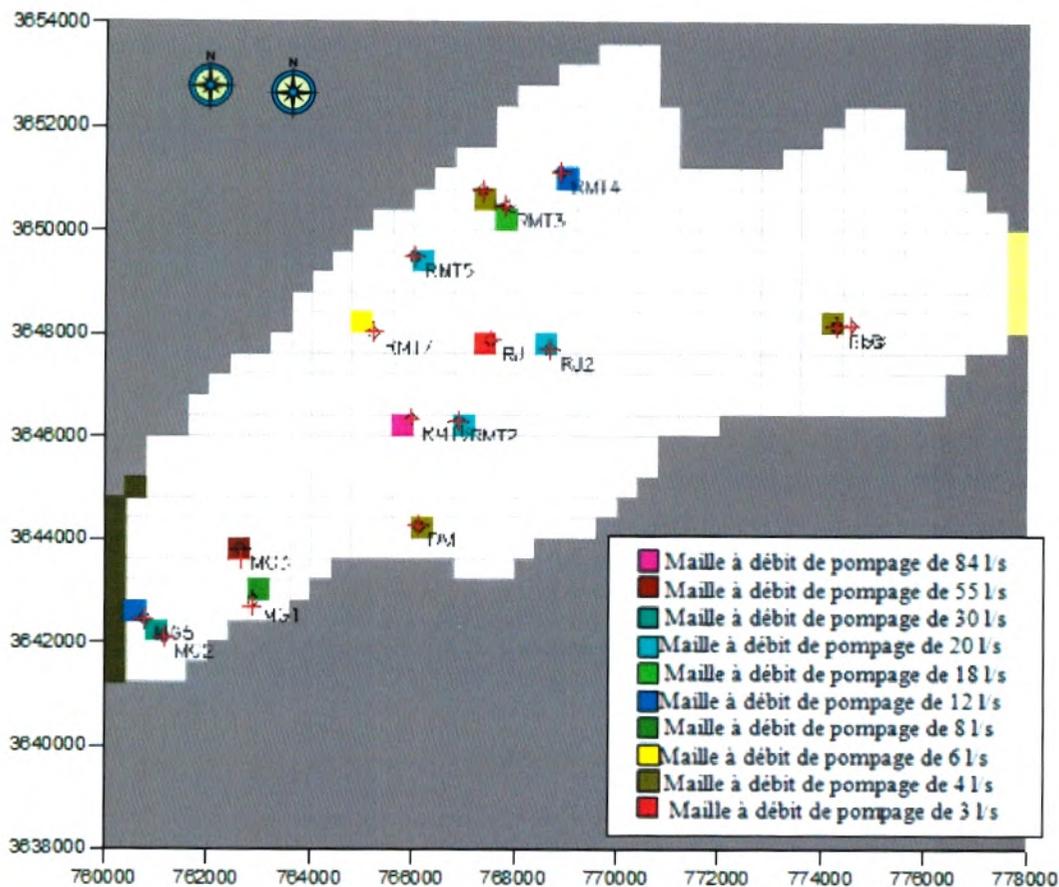


Figure 46: Répartition des débits de pompage des forages du domaine à modéliser

IV. Calage en régime permanent:

L'état de référence retenu pour caler le modèle en régime permanent est la piézométrie de 2007.

IV.1. Potentiels mesurés et calculés

La figure 47 représente les cartes des potentiels mesurés et calculés pour l'état de la piézométrie 2007 qui a servi de référence à l'étalonnage.

Les écarts après l'étalonnage aux points d'observations sont mentionnés dans le tableau 12. Les valeurs de $H_{calculé}$ sont prises au centre de chaque maille.

Nous avons remarqué que la piézométrie calculée est globalement proche de la piézométrie mesurée, et les écarts restent relativement acceptables (moyenne de 0.79 m).

Les écarts sont plus ou moins médiocres dans la partie SW (périmètre de Machraa El Gta, Forages MG1 et MG3) conséquence de manque d'information. En effet dans la partie ouest du synclinal nous ne disposons qu'un seul forage (MG5) où s'effectué un essai de pompage.

Nous avons procédé à une comparaison entre les potentiels mesurés et calculés avec la droite de l'équation $H_{Calculer} = F(H_{mesurer})$, nous avons remarqué par la suite que les écarts sont acceptables. (Fig.48)

Tableau 12 : Ecart entre les potentiels mesurés et calculés après calage du modèle en régime permanent.

NOM FORAGE	COORDONNES (colonne. Ligne)	H MESURER	H CALCULER	Hm-Hc
HL	(19,9)	1057	1056.558	0.442
RMT2	(18,20)	1058.4	1056.983	1.417
RMT3	(20,9)	1056	1056.523	-0.523
RMT4	(23,8)	1057	1056.407	0.593
RMT5	(16,12)	1056.5	1056.667	-0.167
RMT6	(15,20)	1058.7	1056.131	2.569
RMT7	(13,15)	1057.8	1058.353	-0.553
RJ1	(19,16)	1051.6	1050.77	0.83
RJ2	(22,16)	1050	1051.648	-1.648
BL	(36,15)	1049.4	1047.801	1.599
SB	(37,15)	1046	1047.871	-1.871
MG1	(8,28)	1072	1067.77	4.23
MG2	(3,30)	1073	1072.79	0.21
MG3	(7,26)	1071.5	1067.702	3.798
MG5	(2,29)	1075	1074.416	0.584
DM	(16,25)	1060	1058.784	1.216

0.795375

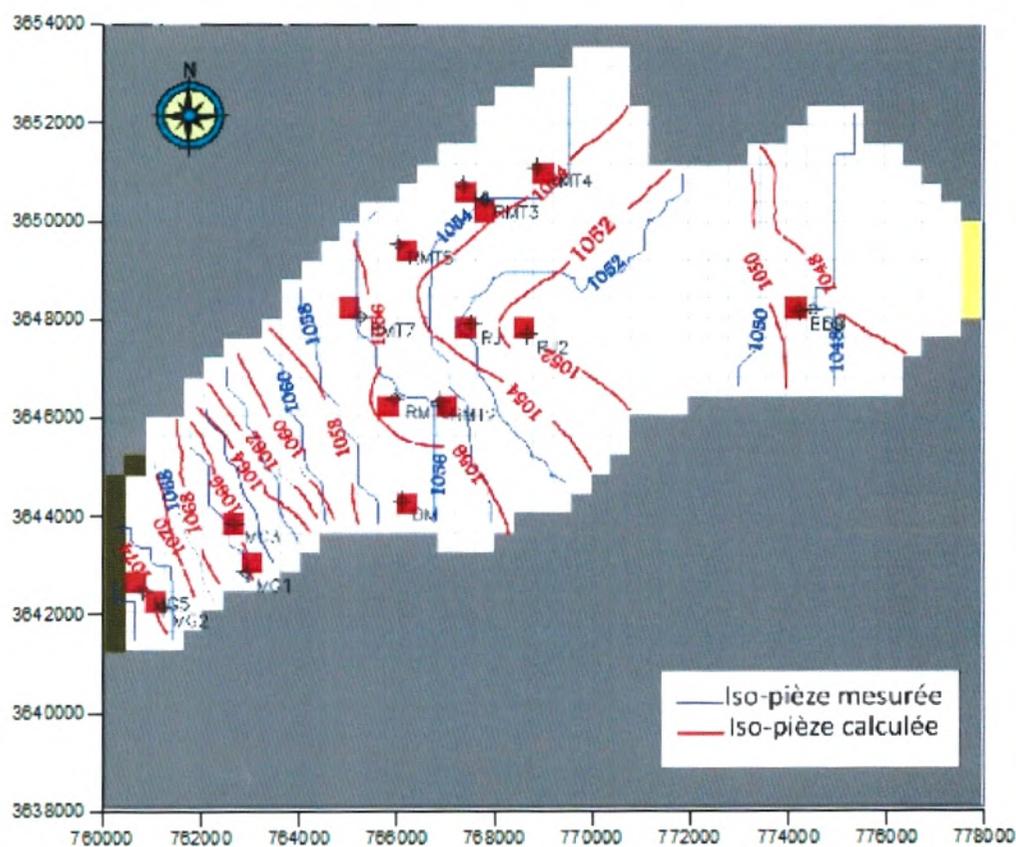


Figure 47: comparaison de la piézométrie calculé et mesurée en régime permanent

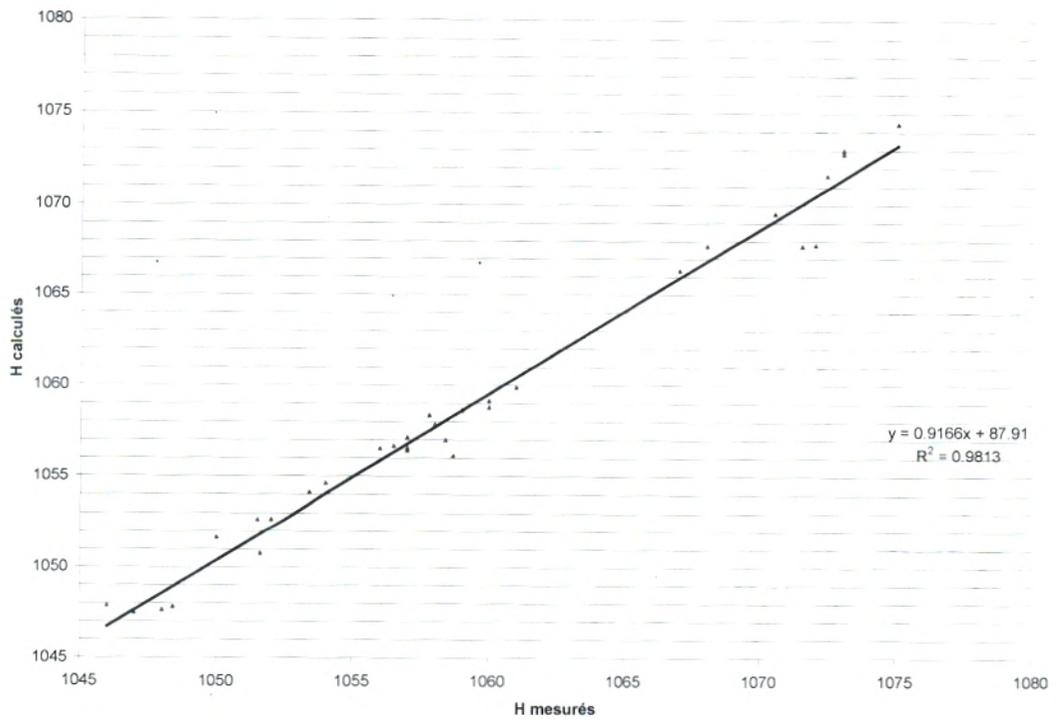


Figure 48: Comparaison entre les potentiels mesurés et calculés après calage du modèle en régime permanent.

IV.2. Carte des transmissivités:

Pour le calage du modèle, nous avons adopté une zonation des transmissivités découpée en 5 classes comprises entre $8,5 \cdot 10^{-6}$ et $2 \cdot 10^{-1}$ m²/s pour tenir compte de l'hétérogénéité de l'aquifère ont été définies. (Fig.49)

Nous remarquons que les bonnes valeurs de transmissivité sont situées au niveau du coeur de synclinal (Dalaat Aissa) liées aux affleurements importants des grès qui favorisent l'alimentation de la nappe. Les basses valeurs situées au niveau des autres forages s'expliquent par les fortes épaisseurs des passées argileuses intercalées.

IV.3. Etude du bilan de la nappe :

Le tableau 13 résume les débits d'échange de la nappe aux limites calculés par le modèle :

Tableau 13 : Bilan de la nappe calculé par le modèle.

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
CONSTANT HEAD	6.564310 E-01	4.236639 E-01	2.327672E-01
WELL	0	-3 E-01	-3 E-01
BOUNDARY FLOW	0	0	0
RECHARGE	6.723331 E-02	0	6.723331 E-02
SUM	7.236643E-01	7.236638E-01	5.364418E-07

Tous d'abord, nous pouvons voir que le bilan est équilibré. Par ailleurs, nous pouvons constater que l'alimentation de la nappe se fait surtout par les infiltrations efficaces.

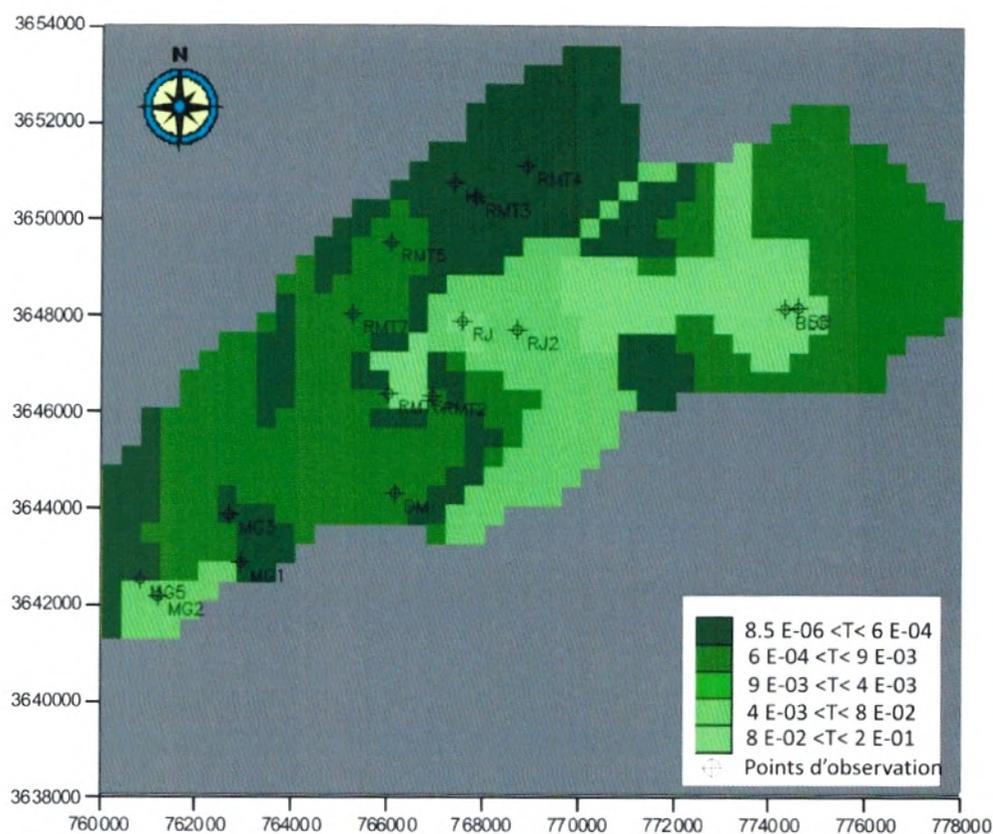


Figure 49: Carte de transmissivité adoptée pour calage en régime permanent

V. Exploitation du modèle:

Nous avons réalisé quelques simulations hydrodynamiques afin de pouvoir estimer les potentialités en eau souterraines de la nappe de Remtha.

V.1. scénario pessimiste:

a- Surexploitation:

Nous avons simulé un scénario d'exploitation pessimiste où nous proposons l'ajout de sept (07) forages au niveau de nouveau périmètre agricole à l'ouest du synclinal. Les débits de pompes imposés sont 10 l/s pour chacun des cinq forages et 100 l/s pour les deux autres forages. La carte piézométrique obtenue (figure 50) montre une baisse piézométrique d'environ 4 m de la nappe, avec tarissement de la source Belgred (l'exutoire de la nappe) et un bilan de $-5.96 \cdot 10^{-08} \text{ m}^3/\text{s}$. Le tableau 14 résume les débits d'échange de la nappe après la simulation de la surexploitation.

Tableau 14 : Bilan de la nappe calculé par le modèle pour le scénario de surexploitation.

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
CONSTANT HEAD	9.168280 E-01	3.440614 E-01	5.727666 E-01
WELL	0	6.400000 E-01	-6.400000 E-01
BOUNDARY FLOW	0	0	0
RECHARGE	6.723331E-02	0	6.723331 E-02
SUM	9.840613 E-01	9.840614E-01	-5.960464E-08

b- Sécheresse:

Nous avons simulé une période de sécheresse par une diminution de la recharge par les précipitations efficaces (0 mm/ an) et le débit d'alimentation de la nappe de son coté Ouest (débit entrant $7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$). La carte piézométrique obtenue (figure 51) montre une baisse piézométrique d'un mètre environ par rapport à la piézométrie initiale, avec tarissement de la source Belgred (l'exutoire de la nappe) et un bilan de $8.34 \cdot 10^{-07} \text{ m}^3/\text{s}$. Le tableau 15 résume les débits d'échange de la nappe après la simulation de la sécheresse.

Tableau 15 : Bilan de la nappe calculé par le modèle pour le scénario de sécheresse.

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
CONSTANT HEAD	6.901741E-01	3.903135E-01	2.998606 E-01
WELL	0	2.998598E-01	-2.998598E-01
BOUNDARY FLOW	0	0	0
RECHARGE	0	0	0
SUM	6.901741E-01	6.901733 E-01	8.334650E-07

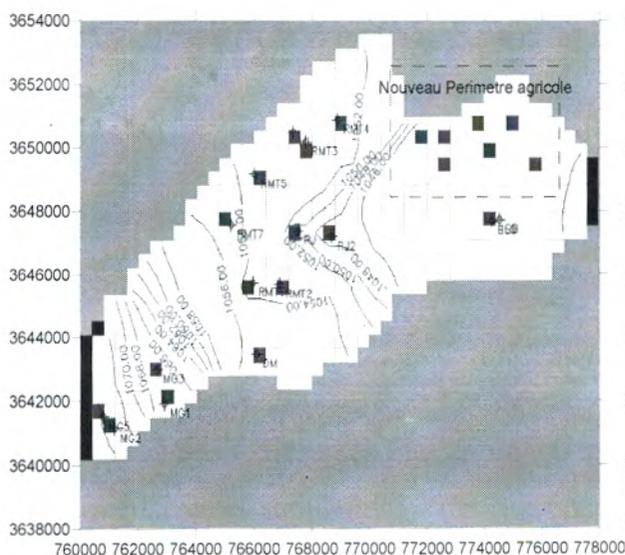


Figure 50: Simulation hydrodynamique 1 (Surexploitation)

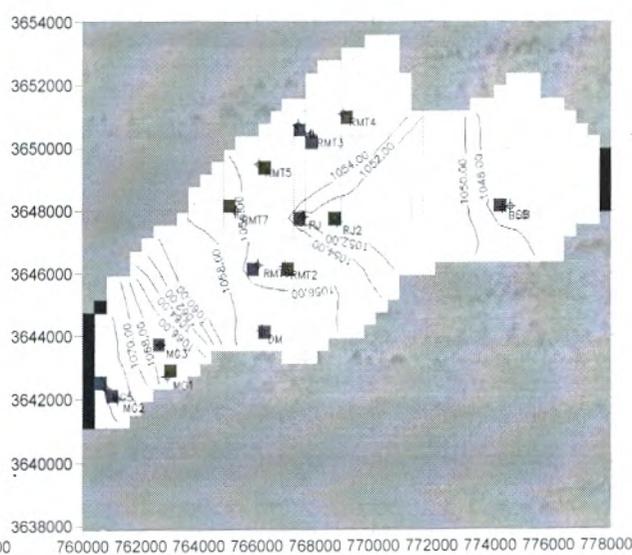


Figure 51: Simulation hydrodynamique 2 (Sécheresse)

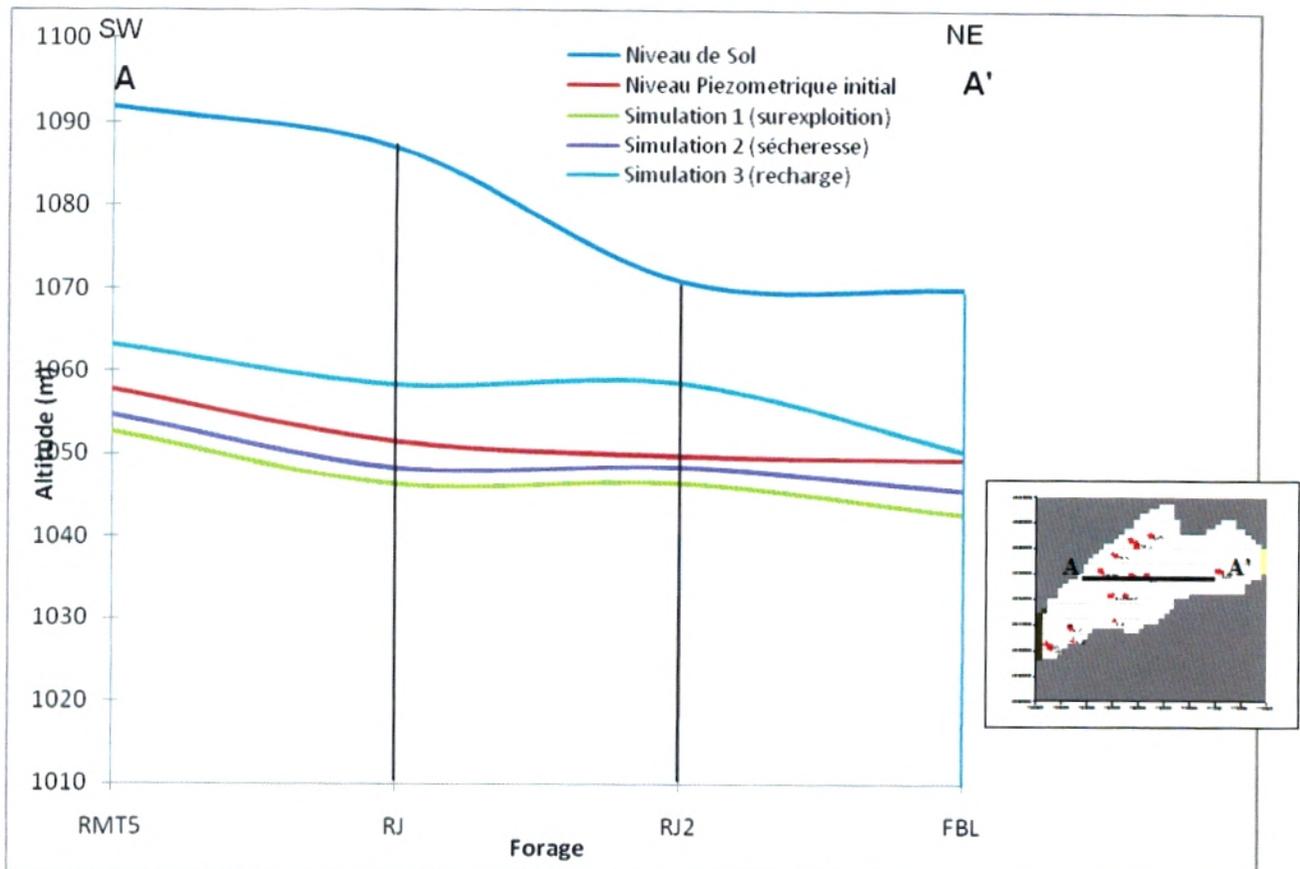


Figure 53: Evolution piézométrique simulé sur la coupe AA'

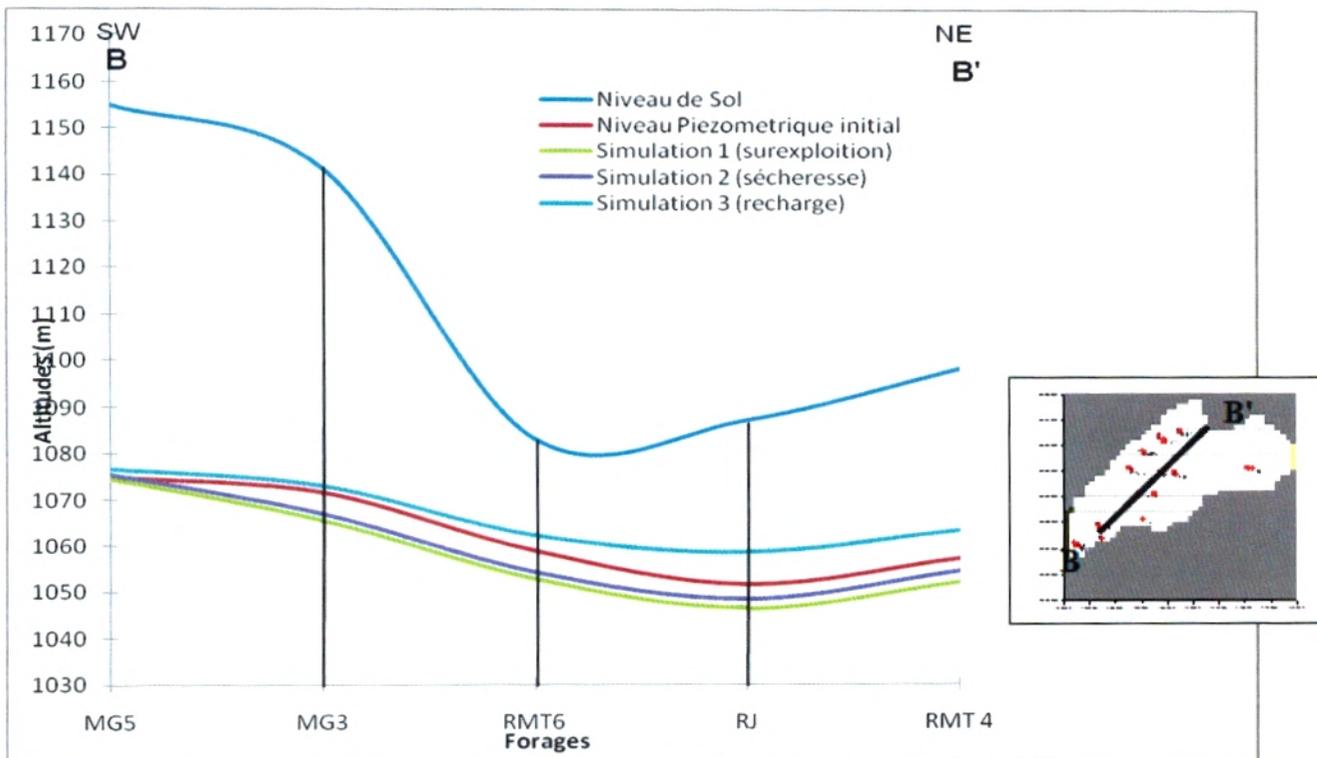


Figure 54 : Evolution piézométrique simulé sur la coupe BB'

Tableau 17 : les résultats des simulations en régime permanent de la nappe de Remtha

NOM	Simulation 1	Simulation 2	Simulation 3
Remta 2	1053.12	1055.018	1063.46
Remta 3	1052.245	1054.49	1063.196
Remta 4	1052.046	1054.38	1063.091
Remta 5	1052.669	1054.683	1063.215
Remta 6	1052.659	1054.27	1062.247
Remta 7	1054.837	1056.49	1064.49
Redjimat 2	1046.54	1049.53	1058.653
Mechraa Lagta 5	1074.331	1074.35	1074.608
Mechraa Lagta 1	1066.657	1067.07	1070.083
Mechraa Lagta 2	1072.619	1072.662	1073.21
Mechraa Lagta 3	1066.618	1067.024	1069.93
Redjimat	1046.609	1048.45	1058.42
Hassi El Abiadh	1052.305	1054.536	1063.22
Belgourad	1042.72	1045.74	1050.57
Dalaa Merdouma	1055.382	1056.93	1064.87
source belgred	1044.451	1074.004	1050.42

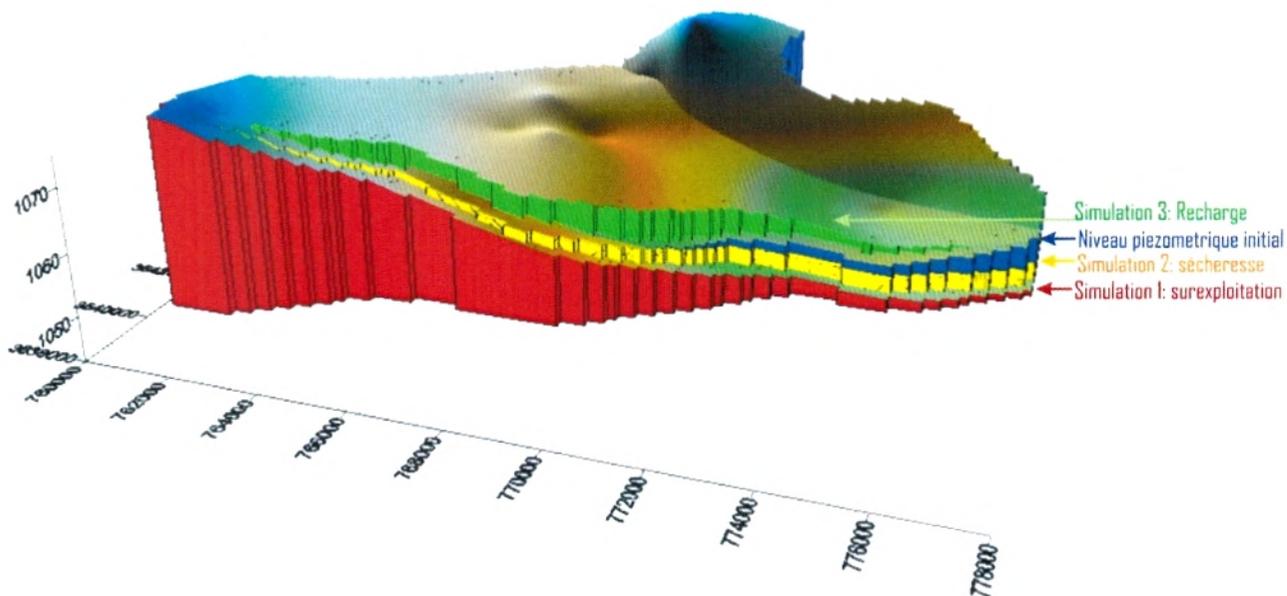


Figure 55 : Evolution piézométrique simulé en 3D sur le synclinal de Remtha

II-3-4. Conclusion :

La modélisation hydrodynamique de la nappe des grès crétacés de la région de Remtha par le code ASMWIN, a permis de comprendre le fonctionnement hydrodynamique de l'aquifère, Le modèle mathématique en régime permanent a permis d'affiner la distribution spatiale de la transmissivité sur l'ensemble du domaine et de dresser le bilan de la nappe en régime permanent.

Les simulations hydrodynamiques des différents scénarios d'exploitation, montrent l'influence des tendances climatiques et l'effet des facteurs anthropiques sur le comportement de la nappe.

Pour palier à ces problèmes il serait judicieux de:

- De bien réfléchir à l'emplacement des nouveaux forages
- Modérer l'exploitation de la nappe
- Réaliser des périmètres d'irrigation en rapport avec la ressource disponible et les caractéristiques climatiques de la région
- Réalisation des retenues collinaires et des aires d'épandage par de petites déviations de cours d'eau pour améliorer la recharge artificielle de la nappe.

CONCLUSION GENERALE

Les monts des ksour sont constitués par de vastes synclinaux à fond plats, le vaste synclinal de Remtha qui repose sur des terrains attribués au Crétacé inférieur est situé à 50 Km à l'Est d'Ain Sefra sur la route menant à El Bayadh.

Ce synclinal correspond au bassin versant de l'Oued Rharbi. L'oued Asla est la principale ressource superficielle dans la région d'étude

Cette étude nous a donné une idée sur les caractéristiques hydrogéologiques du synclinal des grès crétacé de la région de Remtha.

L'étude Hydro-climatique sur la période de 1985-2005 montre que la région de Remtha est caractérisée par un climat désertique avec une température moyenne annuelle de 17.16°C et une précipitation moyenne annuelle de 165mm.

Le bilan hydrologique annuel est déficitaire

L'étude hydrogéologique nous a permis d'identifier les principaux aquifères et de préciser la géométrie du réservoir barrémo-albo-aptien du synclinal de Remtha

L'étude piézométrique montre que l'exutoire de la nappe Remtha est la source de Belgred et que les eaux de la nappe de Remtha enrichissent en eau le synclinal d'Ec Chellala et l'Oued Torba avec un sens d'écoulement SW-NE,

Le synclinal de Remtha est alimenté du côté Ouest, par la gouttière synclinale des grès crétacés à fond plat du Lankar

L'interprétation des essais de pompage a permis de constater que les bonnes valeurs de transmissivité et de coefficient d'emménagement sont situées au niveau du cœur du synclinal Dalaat Aissa.

L'analyse géostatistique des paramètres géométriques et hydrodynamiques de l'aquifère nous ont permis de réaliser une bonne répartition spatiale des paramètres (piézométrie, transmissivité, coefficient d'emménagement, mur toit et épaisseur de l'aquifère). Les résultats forment la base des données pour le modèle mathématique.

Une modélisation mathématique du système aquifère a été réalisée en régime permanent. Le calage en régime permanent. Le calage a permis de réaliser une distribution des transmissivités.

Les simulations mathématiques des différents scénarios d'exploitation à révélé qu'au fur et à mesure que l'on intensifie les débits de captage, l'abaissement piézométrique augmente, et que les tendances climatiques influencent le comportement de la nappe

Cette modélisation mathématique a apporté une contribution à la connaissance du fonctionnement de la nappe des grès créacé du synclinal de Remtha, et constitue un outil de gestion et de prévision pour les futures exploitations.



BIBLIOGRAPHIE

- BABA HAMED K., BOUANANI A., TERFOUS A. (2005)** : Modèle transitoire de la plaine des alluvions de la plaine d'Hennaya (Tlemcen, NW-Algérie) *le journal de l'eau et de l'environnement, revue semestrielle scientifique et technique* p7-p17
- BASSOULET J. P. et ILIOU J. (1967)**: découverte de dinosauriens associés à des crocodiliens et des poissons dans le Crétacé inférieur de l'Atlas Saharien. C. R. Som. Soc. Géol. France, pp 294-295
- BASSOULET J. P. (1973)**, Contribution à l'étude stratigraphique du Mésozoïque de l'Atlas saharien occidental (Algérie), *thèse Sci. Nat.*, Paris VI, 497p
- BERNARD-MICHEL C. (2006)** : Indicateurs géostatistique de la pollution dans les cours d'eau. *Thèse de doctorat*. Ecoles des mines de Paris ENSMP, 179p
- BLONDEL T. (2002)** : Modélisation numérique avec Visuel Modflow v. 3.0. *Rapport Cabinet Conseil Blondel*.
- C.G.S (1974)**, Etude géophysique de la région steppique d'Ain Sefra, *Rapport*
- CASTANY G. (1982)** : Hydrogéologie, principes et méthodes, Dunod, Paris.
- CAUSEUR D. (s.d.)** : Modélisation géostatistique. *Cours*. Laboratoire de mathématiques appliquées. Agrocampus. Rennes.
- CHEYLAN G. (1952)** : Ressources en eau de la mine de cuivre d'El Hendjir, *rapport au Service de la colonisation et de l'hydraulique*, Birmandreïs 22p
- CLARITAS (2002)** : MAPINFO Professional ® 6.5, *manuel de référence* . 645p
- CORENET A. (1952)**: l'Atlas saharien Sud Oranais, XIX congr. Géol, Intern. Alger, monographies régionales, 1ere série, N12, 51 p
- DASSARGUES A. (1995)** : Modèles mathématiques en hydrogéologie. E.D.P. Bucarest.
- DERDOUR A. (2006)**: contribution à l'étude hydrogéologique et hydrochimique du synclinal des grès crétacé d'El Hendjir (Monts des Ksour, Algérie), *mémoire d'ingénieur*, Université de Tlemcen 105P
- D.H.W. NAAMA (Direction de l'hydraulique de la Wilaya) (2008)** : Données d'essais de pompages des forages: Remtha1, Remtha 2, Remtha3, Remtha4, Remtha 5, Remtha 6, Remtha7 et Rejaymet2, *Rapport*
- DELFAUD J. (1975)**: les grès des ksour- un delta de plate forme stable. XIe congr. Intern. Sédimentaire. Nice pp 159-162
- DELFAUD J., DOUIHASNI M. et ROLET J. (1974)**: Mise en évidence de tectoniques superposées dans la région d'Ain Ouarka (Monts des Ksour, Algérie). C.R. Acad. Sci. Paris, Sém. Pp 1817-1820

YEBEDRI L. (2008): L'étude du comportement de quelques traceurs en hydrogéologie sur banc d'essai au laboratoire, *mémoire de magister*, Univ. Tlemcen 157p

YOUSFI S. (2008): hydrodynamique et modélisation de la nappe alluviale de la plaine de Sidi Bel Abbas (Nord Ouest Algérien), *mémoire de magister*, Univ. Tlemcen 79p

Y. SECRETAN, M. LECLERC, S. DUCHESNE, M. HENICHE (2001): une méthodologie de modélisation numérique de terrain pour la simulation hydrodynamique bidimensionnelle. *Revue des Sciences de l'Eau* 14/2, p187-212

ZEROUALI A., LAKFIFI L., LARABI A. et al. (2001) : Modélisation de la nappe de Chaouia Côtière (Maroc). *First International Conference on Saltwater Intrusion and Coastal Aquifers—Monitoring, Modeling, and Management. Essaouira, Morocco.*

ANNEXE 1: CLIMATOLOGIE

Station : Ain Sefra
Code: 60560
Période : 1985-2005

Année/mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AUT	Tota
1985/1986	25	28.1	4.9	34.5	6.4	7.4	17.2	0.1	10.3	7.8	0.9	4.7	147.
1986/1987	44.5	56	40	3.5	1.8	6.1	19.8	1.4	4.6	6	1.9	9.2	194.
1987/1988	1.7	5.5	27.6	12.4	10.3	31.1	16.4	0.9	14	19.3	8.3	0.1	147.
1988/1989	13.2	7.1	14.1	0.6	31.4	5.5	24.1	20.8	24.7	14.6	2.3	22.7	181.
1989/1990	8.7	20.1	13.5	8.4	22.7	0	4.1	68.2	165	4.2	12.2	2.9	329.
1990/1991	12.5	1.1	3	13.4	2.5	52.3	164	53.2	25.6	38.9	6.5	6.9	380.
1991/1992	8.8	55.2	0.6	16	3.7	4.2	13.1	4.2	32.5	0.5	8.8	4	151.
1992/1993	0.6	0	16	1.7	7	31.9	46.5	7.5	4.8	5.1	1	0.4	122.
1993/1994	10.8	14.6	7.6	4.2	49.5	3.6	6.5	0	1.5	3.6	1	3.5	106.
1994/1995	57.8	54.7	12.8	0	1.7	4.5	40.6	34.7	0.5	3.1	0.3	5	215.
1995/1996	11.3	39.2	0.2	5	21.9	23.5	55.3	7.8	5.2	0	12.2	1.6	183.
1996/1997	4.3	2.7	0	25.3	34.9	0	4.6	45.7	2.9	0	3.1	34.3	157.
1997/1998	14.6	6.3	3.3	12.7	6.7	6.5	4	4.4	13.2	14.3	0.8	0.5	87.3
1998/1999	28.5	6.7	0.2	11.6	64.8	12	9.9	9	0	0.4	5.4	9.9	158.
1999/2000	3.4	6	6.6	6.2	0.1	0	1	2.5	8.3	3.4	0	2.4	39.9
2000/2001	22.9	40.1	0	1.8	2.8	1.1	0	2.1	2.2	0.2	0.3	10.6	84.1
2001/2002	8.8	17.9	14	7.6	0	7.5	3.1	27.5	2.3	4.3	1.5	31.4	125.9
2002/2003	11	14.9	38	7.2	20.7	11.1	25.3	8	15.1	0.8	8.3	3.1	163.
2003/2004	14.8	47.1	32.5	4.9	0.5	13.6	25.8	18.8	18.8	25.4	1.8	8.9	212.
2004/2005	44.3	3	22.7	16.9	6.1	2	3.1	0	0.6	4.4	1.3	3	107.
moyenne M	17.4	21.3	12.9	9.7	14.8	11.2	24.2	15.8	17.6	7.82	3.9	8.26	164.8

Tableau (A)
 Valeurs des précipitations moyennes mensuelles et annuelles
 (ONM AIN SEFRA)

ANNEXE 3: GEOSTATISTIQUES

Introduction

La géostatistique est "*l'étude des phénomènes qui fluctuent dans l'espace et/ou le temps*" (DEUTSCH et JOURNEL, 1992, in F. GAGON 1998). La base de la géostatistique repose sur la théorie des variables régionalisées, qui s'applique particulièrement bien aux phénomènes naturels tels que les écoulements souterrains.

La modélisation de l'écoulement des eaux souterraines est un domaine essentiel de l'hydrogéologie dans lequel il s'effectue beaucoup de recherches actuellement. Les paramètres importants qui définissent les caractéristiques d'un aquifère sont généralement connus à seulement quelques points répartis sur l'ensemble du domaine d'étude et sont aussi sujets à des imprécisions. On cherche donc à estimer ces paramètres sur l'ensemble du domaine à partir d'une information partielle, et ce dans le but de déterminer le plus précisément possible les caractéristiques de l'écoulement souterrain.

I- Théorie de la géostatistique:

I-1. Le variogramme :

I-1-1. Définition :

L'outil de base de la géostatistique est le variogramme. L'idée fondamentale du variogramme est que la variance de la différence entre deux observations situées dans un champ donné ne dépend que de la distance entre ces deux observations et de l'orientation dans l'espace, mais pas de la position de la paire d'observations dans le champ.

Le variogramme expérimental (fig. 56) est défini comme suit (F. GAGNON 1998) :

$$\gamma_e = 1/2N(h) \sum_{(i,j) \in D(h)} [Z(x_i) - Z(x_j)]^2$$

Où

N (h) : Nombre de paires dont les points sont espacés de la distance h.

D (h) : Ensemble des paires dont les points sont espacés de la distance h.

Le variogramme théorique se définit comme suit :

$$\gamma(|h|) = 0.5 \text{ Var } [Z(x) - Z(x+h)]$$

Où

x : Vecteur de coordonnées

h : Vecteur de déplacement (distance)

I-3. Equation d'état

En hydrogéologie, nous adoptons un modèle élastique pour expliquer le comportement mécanique de l'eau et de la matrice rocheuse en fonction de la pression (in I.GAUBI 1993, in E.LEDOUX, 1986). Les équation d'état adoptées sont les suivantes :

$$(3) \quad \left. \begin{array}{l} d\rho / \rho = \beta dp \\ dV/V = -\alpha \cdot d\sigma = \alpha dp \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{pour l'eau} \\ \text{pour la matrice} \end{array} \quad \text{où}$$

α : est le coefficient de compressibilité de la matrice poreuse [$M^{-1} \cdot L \cdot T^2$]

β : est le coefficient de compressibilité du fluide (eau) [$M^{-1} \cdot L \cdot T^2$]

σ : représente la contrainte effective au sein du VER de volume V [$M^{-1} \cdot L \cdot T^2$]

p : est la pression interstitielle du fluide [$M^{-1} \cdot L \cdot T^2$]

ρ : est la masse volumique du fluide [$M \cdot L^{-3}$]

En l'absence de contrainte extérieure sur le milieu poreux, il y a égalité entre $d\sigma$ et dp d'après la relation Terzaghi $d\sigma + dp = 0$.

Il en découle l'équation relie la variation $d(\rho\omega)$ du stock en eau dans le VER à la variation dh du niveau piézométrique mentionnée par G. MRSILY 1981 (GAUBI 1993) :

$$d(\rho\omega) = \rho \cdot d\omega + \omega \cdot dp = \rho \cdot g \cdot (\alpha + \omega \cdot \beta) \cdot dp = \rho^2 \cdot g \cdot (\alpha + \omega \cdot \beta) \cdot dh$$

Si l'on pose $S_s = \rho \cdot g \cdot (\alpha + \omega \cdot \beta)$, on définit le coefficient d'emmagasinement spécifique du milieu poreux sur tout VER [L^{-1}].

En combinant les équations (1), (2) et (3), en supposant ρ constant, nous obtenons l'équation de diffusivité en nappe libre :

$$(4) \quad \text{div}(\mathbf{K} \cdot \text{grad } h) = S_s \cdot \delta h / \delta t + q$$

L'équation (4) peut être mise sous une autre forme :

$$(5) \quad \delta/\delta x [K_x \cdot \delta h/\delta x] + \delta/\delta y [K_y \cdot \delta h/\delta y] + \delta/\delta z [K_z \cdot \delta h/\delta z] = S_s \cdot \delta h/\delta t + q$$

En faisant une intégration et en tenant compte de $\delta h/\delta z = 0$ (hypothèse de Dupuit), nous pouvons linéariser cette équation différentielle si l'on considère que z_1 et z_2 varient peu en fonction de x et y et que les quantités

$$T_x = \int_{z_1}^{z_2} K_x \cdot dz, \quad T_y = \int_{z_1}^{z_2} K_y \cdot dz, \quad S = \int_{z_1}^{z_2} S_s \cdot dz \quad \text{et} \quad Q = \int_{z_1}^{z_2} q \cdot dz$$

varient peu avec la charge.

$$(6) \quad \delta/\delta x [T_x \cdot \delta h/\delta x] + \delta/\delta y [T_y \cdot \delta h/\delta y] + \delta/\delta z [T_z \cdot \delta h/\delta z] = S \cdot \delta h/\delta t + Q$$

Où

T_x et T_y sont les transmisivités de l'aquifère selon les directions respectives O_x et O_y [$L^2 \cdot T^{-1}$]

S est le coefficient d'emmagasinement (sans dimension)

Q est le débit prélevé ou injecté par unité de surface [$L.T^{-1}$]

De plus si l'on considère le milieu isotrope ($T_x = T_y$), l'équation (6) devient :

$$(7) \quad \delta^2 h / \delta x^2 + \delta^2 h / \delta y^2 + \delta^2 h / \delta z^2 = S/T. \delta h / \delta t + Q/T$$

II. Méthodes de résolution :

Dés que l'équation différentielle ponctuelle continue (7) est définie avec ses conditions initiales et ses conditions aux limites, deux types de résolution se présentent :

Lorsque l'on choisit des fonctions constantes (polynôme de degré zéro) pour fonction d'approximation, les éléments étant en général rectangulaires ou carrés, la méthode est appelée **méthode des différences finies**.

Lorsque l'on emploie des fonctions d'approximation polynomiales de degré supérieur ou égal à 1, la méthode est dite **méthode des éléments finis** et le maillage est triangulaire.

Dans les deux cas, la méthode aboutit à un ou plusieurs systèmes d'équations linéaires dont les inconnues sont les valeurs approchées de la fonction recherchée (la charge hydraulique en l'occurrence) en un nombre donné de points (le centre de chaque maille en l'occurrence).

Nous exposerons ici la méthode des différences finies présentée par E.LEDOUX (1986) qui est le plus souvent utilisée en hydrogéologie car elle nécessite beaucoup moins d'espace mémoire sur les ordinateurs.

Cette méthode consiste à discrétiser le domaine considéré en mailles carrés de côté a. L'équation (7) va appliquer à chaque maille où nous allons choisir pour approximation de la charge, une fonction H_i définie sur chaque maille i. les calculs sont faits en admettant que la valeur de la charge est attribuée au centre de la maille considérée.

Nous procéderons de la même manière pour tous les autres paramètres (T_i , S_i et Q_i).

En admettant que les fonctions d'approximation satisfont localement (c'est-à-dire au centre de chaque maille) à l'équation de diffusivité, nous obtenons un système d'équations linéaires définissant les valeurs H_i au centre de chaque maille.

Si l'on considère une maille i, elle est entourée de quatre mailles que l'on peut nommer : N (nord), S (sud), E (est) et W (ouest).

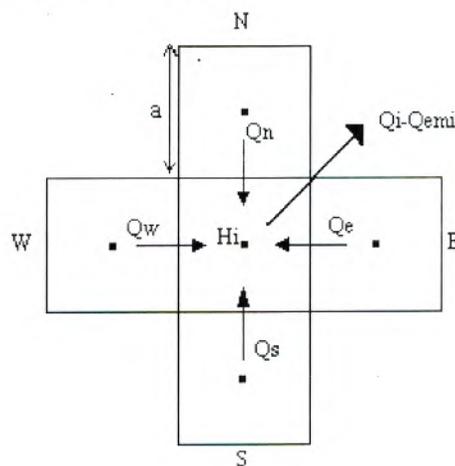


Figure 6-1 : Bilan des flux en eau sur une maille i

Les conditions initiales sont données par la variable h (charge hydraulique) qui est supposée être connue en tout point du domaine modélisé à un temps référence $t = 0$.

III-2. Conditions aux limites

Nous définissons des conditions aux limites (conditions de flux ou de potentiel) en des points qui sont supposés être indépendants des phénomènes internes du domaine qui les entoure.

Les principaux types de conditions aux limites couramment citées dans la bibliographie

(G. de MARSILY, 1981) sont les suivants :

- limites à potentiel imposé (condition de Dirichlet)
- limite à flux imposé (condition de Neumann)
- condition de Fourier
- condition de surface libre.

a) Limite à potentiel imposé

Une limite est dite à potentiel imposé, si le long de cette limite, la charge hydraulique est indépendante des conditions de circulation de la nappe. Cette charge peut varier dans l'espace et le temps.

Dans la réalité, ces limites sont matérialisées par des plans d'eau, des lacs, des canaux ou des rivières en communication avec des nappes.

b) Limite à flux imposé

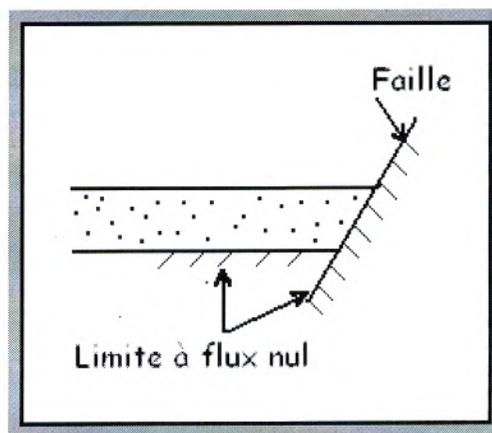
Une limite est dite à flux imposé, si le long de cette limite le débit par unité de surface :

$$q_n = -K \cdot dh / dn \quad \text{est constant et connu.}$$

Cela revient à imposer un gradient de charge perpendiculaire à la limite considérée.

Deux cas se présentent :

- $dh / dn = 0$: limite à flux nul : ces limites sont représentées lorsqu'un aquifère est en contact avec des formations imperméables



(G. MARSILY, 1981)

- $dh / dn \neq 0$: limite à flux imposé non nul : ces limites sont matérialisées par les limites du domaine ou par les ouvrages de captage.

NOM FORAGE	COORDONNES	H MESURER	H CALCULER
	(colonne. Ligne)		
HL	(19,9)	1057	1056.558
RMT2	(18,20)	1058.4	1056.983
RMT3	(20,9)	1056	1056.523
RMT4	(23,8)	1057	1056.407
RMT5	(16,12)	1056.5	1056.667
RMT6	(15,20)	1058.7	1056.131
RMT7	(13,15)	1057.8	1058.353
RJ1	(19,16)	1051.6	1050.77
RJ2	(22,16)	1050	1051.648
BL	(36,15)	1048.4	1047.801
SB	(37,15)	1046	1047.871
MG1	(8,28)	1072	1067.77
MG2	(3,30)	1073	1072.79
MG3	(7,26)	1071.5	1067.702
MG5	(2,29)	1075	1074.416
DM	(16,25)	1060	1058.784
	(41,12)	1047	1047.49
	(37,11)	1048	1047.64
	(28,19)	1052	1052.69
	(26,16)	1051.5	1052.68
	(24,13)	1053.4	1054.129
	(12,16)	1060	1059.15
	(14,13)	1058	1057.84
	(16,15)	1057	1057.131
	(4,27)	1072.4	1071.605
	(8,24)	1067	1066.33
	(11,18)	1061	1059.89
	(13,16)	1059	1058.63
	(6,28)	1070.5	1069.52
	(7,25)	1068	1067.702
	(27,10)	1054	1054.624
	(5,29)	1073	1073

Tableau (A)

Ecarts entre les potentiels mesurés et calculés après calage du modèle en régime permanent.

يتمى خزان المياه الجوفية الطباشيري السفلى لمنطقة الرمثا الى سلسلة جبال القصور (الأطلس الصحراوي الغربي) و يزود السكان بالماء الشراب و المساحات الفلاحية لمنطقة عسلة (شرق العين الصفراء) نظرا إلى الأخطار المرتبطة بالظواهر الطبيعية (انخفاض محسوس في مستوى المياه الجوفية ناجم عن قلة كمية التزويد "مناخ جاف" كمية التسرب 2.22 مم/عام) و إلى العوامل الإنسانية (الإفراط في استغلال المياه الجوفية لتلبية الاحتياجات نظرا إلى النمو الديمغرافي و إنشاء العديد من المساحات المسقية) فان تسيير الموارد المائية بنموذج رياضي يعد ضروريا

الدراسة البيزومترية تبين أن المياه الجوفية تجري من الجنوب الغربي إلى الشمال الشرقي وهذا ما يؤكد أن مخرج الخزان المائي هو ينبوع بلقراد و أنه يتم تزويد الخزان من الجهة الغربية عبر الخزان الجوفي لنقار

بعد تمثيل الأداء العام للنظام طبقة المياه الجوفية ، فان استخدام نموذج رياضي استنادا إلى أسلوب فرق محدد في النظام الدائم يحسن معرفة الخواص الهيدروليكية لطبقة المياه الجوفية ، وتقييم شامل على توازن المياه محاكاة النموذج خلال فترات الجفاف والإفراط في الاستغلال سمحت بتوقع انخفاض مستويات المياه.

الكلمات المفتاحية : الطباشيري السفلي ، الحوض المقعر، الرمثا، النموذج الرياضي، محاكاة

Résumé

La nappe Barrémo-Albo-Aptienne du synclinal de Remtha qui fait partie des Monts des Ksour (Atlas Saharien occidental), alimente les habitants ainsi que les périmètres agricoles de la région d'Asla (Est Ain Sefra).

Face aux risques liés aux phénomènes naturels (baisse piézométriques de la nappe liées à un faible taux de recharge "climat aride", infiltration 2.22 mm/an), et aux phénomènes anthropiques : surexploitation de la nappe pour les besoins d'alimentation suite à la croissance démographique et surtout agricole car la région a vu la création de plusieurs périmètres agricoles, une gestion des ressources en eau avec un modèle mathématique devient nécessaire.

L'étude piézométrique montre un sens d'écoulement SW-NE en direction de la source de Belgred, exutoire principal de la nappe qui est alimenté à l'ouest par la nappe du synclinal Lankar.

Après une représentation du fonctionnement global du système aquifère, l'utilisation du modèle mathématique basé sur la méthode des différences finies en régime permanent améliore la connaissance des caractéristiques hydrauliques de l'aquifère et l'évaluation d'un bilan hydrologique complet.

La simulation du modèle en périodes de sécheresse et en surexploitation a permis de prévoir les niveaux d'abaissement de la nappe.

Mots clé: Barrémo-Albo-Aptien, synclinal, Remtha, modèle mathématique, simulation

Abstract

The Barremo Albo-Aptian water table of Syncline of Remtha is a part of the Ksour Mountains (Western Saharian Atlas), supplies the inhabitants and the agricultural areas of the Asla's region (East of Ain Sefra).

Given the risks associated with natural phenomena (decreases of the groundwater associated with a low recharge "arid climate" infiltration 2.22 mm / year), and human influences (the overexploitation of groundwater to supply the needs following the population growth and especially for the agricultural region saw the establishment of lot of agricultural areas), a management of water resources with a mathematical model becomes necessary.

The study shows SW-NE piezometric flow direction, confirming that the outlet of the water is the source Belgred and that the water is fed to the west by the Lankar syncline.

After the performance of the overall functioning of the aquifer system, using the mathematical model based on the finite difference method in steady state improves knowledge of hydraulic characteristics of the aquifer and the evaluation of a complete water balance

The simulation of model during periods of drought and overuse has predicted lower levels of the water.

Key Words: Barremian-Albian-Aptian, Syncline, Remtha. Mathematic model, simulation