

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE HASSIBA BEN BOUALI CHLEF
Faculté des Sciences et des Sciences de l'Ingénieur
Département d'Hydraulique

Spécialité: Hydraulique
Option : Hydraulique urbaine

Mémoire de Magister

Thème

**Contribution à l'étude hydrogéologique
des réservoirs aquifères du bassin
du Moyen Cheliff**

Présenté par : ELMEDDAHI Yamina

Devant le Jury composé de:

Mr. SAAD HAMOUDI A.	Professeur, UHB Chlef.	Président
Mr. ISSAADI A.	Professeur, USTHB Alger.	Promoteur
Mr. REMAOUN M.	Maître de conférences, UHB Chlef.	Co-Promoteur
Mr. EZZIANE K.	Maître de conférences, UHB Chlef	Examineur
Mr. NEDJAI S.	Maître de conférences, UHB Chlef.	Examineur

2008-2009

Je remercie Dieu tout puissant de m'avoir donné tout de patience et de courage pour accomplir ce travail.

Je remercie tout particulièrement monsieur Issaadi Abderrahmane, professeur à l'USTHB. Alger, de m'avoir encadré et suivi mon travail avec ses précieux conseils.

Et messieurs les membres du jury :

- ✓ Saad Hammoudi A. Professeur à UHB. Chlef.
- ✓ Remaoun Mohamed. Maitres de conférences à UHB. Chlef.
- ✓ Ezziane Karim. Maitres de conférences à UHB. Chlef.
- ✓ Medjai Saci. Maitres de conférences à UHB. Chlef

Sans oublier messieurs :

Djihad. A (DHW de Chlef), Zemouri. A et Douaoui .A (enseignants à UHB. Chlef), Aissat. D et Hania. K.

Mes remerciements les plus vifs à toutes les personnes qui m'ont facilité la tâche pour acquérir les documents nécessaires à la réalisation de ce travail (L'ANRH de Chlef et Blida, L'ONM de Chlef et le service de mobilisation de DHW de Chlef).

Mes sincères remerciements à mes enseignants du magister et tous mes enseignants du département d'hydraulique.

Mes meilleurs remerciements à mes parents, mes frères et sœurs mes amies qui m'ont encouragé et aidé pour réaliser ce travail et à ma promotion de magister.

Sommaire

Introduction générale	1
------------------------------	---

Chapitre 1

Contexte géographique et géomorphologique

1. Situation géographique	3
2. Contexte géomorphologique	4
2.1 Paramètre géométrique	4
2.2 Etude de relief	6
2.3 Etude du réseau hydrographique	12
3. Le Contexte pédologique	15
4. Végétation	17
5. Conclusion	17

Chapitre 2

Hydroclimatologie

1. Introduction	18
2. Précipitation	19
2.1 Etude des précipitations annuelles	19
2.2 Etude de statistique des précipitations	20
2.3 Détermination de la lame d'eau précipitée sur les bassins	21
2.3.1 Méthode de Thiessen	21
2.3.2 Méthode des isohyètes	23
2.3.3 La méthode arithmétique	24
2.4 Variation annuelle des précipitations (période : 1973- 2006)	24
2.5 Précipitations moyennes mensuelles	26
3. Etude des températures	26
4. Evaporation, Evapotranspiration et déficit d'alimentation	27
4.1 Evapotranspiration réelle et déficit d'écoulement	28
a. Méthode de COUTAGNE	28
b. Méthode de TURC	28
c. Méthode de WUNDT	29
d. Méthode de THORNTHWAITE	30
e. Méthode de P.VERDEIL	33
5. Le climat	34
5.1 Courbes pluviométriques de " GAUSSEN ET BAGNOULS"	34
5.2 Les indices climatiques	36
6. Bilan hydrologique	38
6.1 Ruissellement	40
6.2 Infiltration	40
7. Bilan hydrologique à l'échelle de la formation des « Calcaires à lithothamnium »	41
8. Conclusion.	42

Chapitre 3

Géologie – Géophysique

I – Géologie

1. Introduction	43
2. Cadre géologique général	43
3. Géologie du bassin du Cheliff	44
4. Lithostratigraphie	44
5. Structure	49
6. Conclusion	51

II - Apports de la géophysique

1. Introduction	51
2. Objectifs	52
3. Travaux réalisés	52
4. Forages d'étalonnage	53
5. Structure générale du bassin	54
5.1 Interprétation des coupes	55
6. La variabilité spatiale de la résistivité et la profondeur de la nappe par l'approche géostatistique	61
6.1 La théorie de la géostatistique	61
6.2 Modélisation du variogramme	61
6.3 Les paramètres du variogramme	61
6.4 Cartographie de la résistivité et de la profondeur par krigeage ordinaire	62
6.4.1 Variographie	62
6.4.2 Résultats et interprétation	64
6.3.2.1 Carte des résistivités en lignes AB=2000m	64
6.3.2.2 Carte du mur des formations résistantes	65
6.5 Carte des résistances transversales cumulées	65
6.6 Carte des résistances transversales des calcaires miocènes	66
7. Prospection sismique	66
8. Conclusion	69

Chapitre 4

Hydrogéologie

1. Introduction	70
2. Identification des unités hydrogéologiques	71
3. Principaux aquifères	75
3.1 La nappe des calcaires à lithothamnium	76
3.1.1 Introduction	76
3.1.2 Géologie	76
3.1.3 Limites et caractéristiques du réservoir	77
3.1.4 Le karst	78
3.1.5 Toit des calcaires	84
3.1.6 Le mur des calcaires	84
3.1.7 Exutoires	85
3.1.8 Piézométrie	85
3.1.9 Caractéristiques hydrodynamiques	87

3.1.10 Mode de fonctionnement de la nappe des calcaires	92
3.2 La nappe des grés et sables astiens	94
3.3 Grés, conglomérats et sables villafranchien	96
3.4 Alluvions quaternaires	96
4. Conclusion	103

Chapitre 5 Hydrochimie

1. Introduction	104
2. Hydrochimie des calcaires à lithothamnium	104
2.1 Présentation des résultats	105
2.2 Les caractéristiques physico-chimiques	106
2.3 Classification des eaux et représentations graphiques	110
2.4 L'analyse en composante principales	115
2.5 Etude de l'origine des éléments chimiques	118
2.6 Qualité des eaux de la nappe du calcaire	120
2.7 Récapitulatif	122
3. Hydrochimie de la nappe des grés et sable du pliocène marin	122
3.1 Introductions	122
3.2 Les paramètres physico-chimiques	122
3.3 Classification des eaux de la nappe	123
3.4 Qualité des eaux de la nappe du pliocène marin	123
3.5 Récapitulatif	124
4. Hydrochimie de la nappe alluviale du quaternaire	124
4.1 Introductions	124
4.2 Les paramètres physico-chimiques	124
4.3 Classification des eaux de la nappe	125
4.4 Qualité des eaux de la nappe alluviale du quaternaire	125
4.5 Récapitulatif	125
5. Conclusion	126
6. La pollution des eaux	127
6.1 Introduction	127
6.2 Mécanismes de transport du polluant en milieu souterrain	127
6.3 L'origine de la pollution	127
6.4 Paramètres influençant l'évolution des nitrates dans les eaux souterraines	130
6.5 Incidence de nitrates dans les eaux souterraines	132
6.6 Conclusion	132
	133

Conclusion générale

Références bibliographiques

Annexes

Liste des figures

Figure 1	Situation géographique de la zone d'étude	4
Figure 2	Courbe hypsométrique et diagramme des fréquences altimétriques du bassin O. Ras et Ouahrane	7
Figure 3	Courbe hypsométrique et diagramme des fréquences altimétriques du bassin O. Sly	7
Figure 4	Courbe hypsométrique et diagramme des fréquences altimétriques du bassin O. Cheliff-Ouarizane	8
Figure 5	Carte des altitudes dans le moyen Cheliff occidental (ABH-CZ)	10
Figure 6	Carte du réseau hydrographique du Moyen Cheliff occidental	12
Figure 7	Carte pédologique de la vallée du moyen Cheliff occidental (Source, ABH.CZ)	17
Figure 8	Position des postes pluviométriques de la zone d'étude	18
Figure 9	Précipitations moyennes annuelles des stations de la région	20
Figure 10	La carte des polygones de Thiessen pour le bassin O. Ras et Ouahrane	22
Figure 11	Carte des isohyètes pour le bassin O. Ras et Ouahrane	23
Figure 12	Histogramme des répartitions des pluies annuelles dans les Trois bassins	25
Figure 13	Précipitations moyennes mensuelles (Période 1973-2006)	26
Figure 14	Variation mensuelles des températures (1973/2006). D'après les Données de l'ANRH sur le moyen Cheliff	27
Figure 15	Abaque de Wundt modifié par Coutagne	29
Figure 16	Abaque de VERDEIL	34
Figure 17	Courbes pluviométriques de "GAUSSEN et BAGNOULS"	35
Figure 18	Climmagramme de L.EMBERGER	38
Figure 19	Carte des isohyètes pour le formation du calcaire	41
Figure 20	Cadre géologique (Perrodon 1967 - Mattauer 1958)	43
Figure 21	Carte géologique du Moyen Cheliff occidental d'après Scet-Agri (1985)	46
Figure 22	Log lithostratigraphique de la région de moyen Cheliff (Mattauer, 1958)	48
Figure 23	Coupe NW – SE montrant la disposition structurale d'ensemble (in Bougdal, 1987)	49
Figure 24	La carte structurale du Moyen Cheliff occidental d'après Scet-Agri (1985)	50
Figure 25	Carte de localisation des études géophysiques	53
Figure 26a	Coupe géoélectrique du profil D0 à D7 et 1.1 à 1.8 (Coupe A & B)	56
Figure 26b	Coupe géoélectrique du profil Q1 à Q8 et R1 à R15 (Coupe C & D)	58
Figure 26c	Coupe géoélectrique du profil C1 à C8 (Coupe F)	59
Figure 26d	Coupe géoélectrique du profil G0 à G9 (Coupe G)	60
Figure 27	Ajustement du variogramme et ses paramètres	62
Figure 28	Variogramme ajusté de la variable résistivité apparente	63
Figure 29	Variogramme ajusté de la variable profondeur	63
Figure 30	Carte des résistivités en lignes AB=2000m	64
Figure 31	Carte du mur des formations résistantes	65
Figure 32	Carte des résistances transversales cumulées	67
Figure 33	Carte des résistances transversales des calcaires miocènes	68
Figure 34	Situation des différentes nappes du MCO (ABH –CZ, 2001)	70
Figure 35a	Coupe A –A' dans la plaine de Mouafkia (d'après Scet-Agri 1985)	71
Figure 35b	Coupe B –B' dans la plaine de Chlef d'après Scet-Agri 1985)	72
Figure 36a	Coupe géologique C –C' dans la plaine de Chleff (d'après Scet-Agri 1985)	73
Figure 36b	Coupe D –D' dans la plaine de Chlef (d'après Scet-Agri 1985)	74
Figure 37	Coupe E –E' dans la plaine Chlef-Boukadir (d'après Scet-Agri 1985)	75
Figure 38	Schéma stratigraphique du miocène de la bordure nord de l'Ouarsenis (d'après Perrodon, étude hydrologique par prospection électrique et	77

	sismique d'oued Sly ; 1966)	
Figure 39	Limite sud des collines calcaires à lithothamnium et les monts de l'Ouarsenis dans la région de Boukadir (Oued Taflout)	78
Figure 40	Zone très fracturée de l'épikarst dans la région de Boukadir (Oued Taflout).	79
Figure 41	Lapiaz et grotte dans la région de Boukadir (Oued Taflout)	80
Figure 42	Localisation des différents milieux dans la formation calcaire à lithothamnium	81
Figure 43	Log lithologique des forages (AEP. Boukadir et AEP. Bouachria)	82
Figure 44	Log lithologique des forages (Site sonal gaz O. Sly et P. civil de Chlef)	83
Figure 45	Log lithologique des forages (O MOH F-2 et O. MOH F-3)	83
Figure 46	Schéma structural du calcaire à lithothamnium de l'oued Sly à oued Taflout (d'après l'étude hydrologique par prospection électrique et sismique d'oued Sly, 1966)	86
Figure 47	Evolution du niveau piézométrique du puits 106/35 dans la nappe du calcaire	87
Figure 48	Log lithologique des forages	88
Figure 49	Courbe de descente dans le forage Khelif moumnia F2	91
Figure 50	Courbe de remontée dans le forage Khelif moumnia F2	92
Figure 51	Log lithologique des forages (Haoud Nouala)	95
Figure 52	Courbe de descente dans le forage Haouda Nouala	96
Figure 53	Cartes piézométriques des hautes et basses eaux (avr- sept, 2006)	98
Figure 54	Log lithologique des forages (MCO6)	100
Figure 55	Courbe de remontée dans le forage MCO6 ter(D. Praddine, 1976)	101
Figure 56	Courbe de descente dans le forage MCO6 ter(D. Praddine,1976)	102
Figure 57	Plan d'échantillonnage (Hautes eaux)	104
Figure 58	Plan d'échantillonnage (Basses eaux)	105
Figure 59	Diagramme de Piper pour les puits et les forages de la nappe du Calcaire (Hautes eaux)	112
Figure 60	Diagramme de Piper pour les points d'eaux de la nappe des calcaires (Basses eaux)	112
Figure 61	Diagramme de Schoeller pour les forages de la nappe des calcaires (Hautes eaux)	114
Figure 62	Diagramme de Schoeller pour les puits de la nappe des calcaires (Hautes eaux)	114
Figure 63	Diagramme de Schoeller pour les points d'eaux de la nappe du calcaire (Basses eaux)	115
Figure 64	Diagramme des variables (plan I-II) relatif à l'ACP sur les eaux souterraines de la nappe des calcaires	117
Figure 65	Diagramme des individus (plan I-II) relatif à l'ACP sur les eaux souterraines de la nappe des calcaires	118
Figure 66	Le rapport du couple (Na ⁺ -Cl ⁻)	119
Figure 67	Le rapport du couple Ca ²⁺ - HCO ₃ ⁻	119
Figure 68	La méthode des approches cumulées du Chlorure	120
Figure 69	carte géographique localisant le centre d'enfouissement technique de Meknassa (source : DHW de Chlef, 2005)	128
Figure 70	Carte des sources de pollution dans le moyen Cheliff occidental	129
Figure 71	Impact de la profondeur et type d'ouvrage (hautes eaux, 2002)	130
Figure 72	Evolution saisonnières des points d'eaus (Hautes et basses eaux, 2002)	131

Tableau 1	Principales caractéristiques des sous- bassins versants	6
Tableau 2	les altitudes caractéristiques des sous bassins	8
Tableau 3	Indices des pentes et classes de relief des sous- bassins	11
Tableau 4	Densité de drainage des sous- bassins	14
Tableau 5	Synthèse des caractéristiques morphologiques des sous-bassins	15
Tableau 6	Caractéristiques des stations pluviométriques (ANRH)	21
Tableau 7	Pluies annuelles à différentes probabilités de 11 postes	22
Tableau 8	Estimation de la lame d'eau précipitée sur le bassin de "O. Ras et Ouahrane" par la Méthode de Thiessen	23
Tableau 9	Estimation de la lame d'eau précipitée dans chaque bassin	24
Tableau 10	Estimation de la lame d'eau précipitée dans chaque bassin	24
Tableau 11	Estimation de la lame d'eau précipitée dans chaque bassin	24
Tableau 12	Précipitations en (mm) estimées par les trois méthodes	25
Tableau 13	Précipitations mensuelles et annuelles dans les trois (03) bassins (1973-2006)	27
Tableau 14	Répartition géographique des températures moyennes d'après les Données de l'ANRH sur le moyen Chélif (1973/2006)	28
Tableau 15	Déficit d'écoulement d'après la formule de "M. TURC"	28
Tableau 16	Déficit d'écoulement par la méthode de WUNDT	29
Tableau 17	Réserve utile selon HALLAIRE	31
Tableau 18	Tableau récapitulatif des paramètres du bilan hydrologique Selon la méthode de THORNTHWAITE	33
Tableau 19	Tableau récapitulatif des résultats du Déficit d'écoulement. « P.Verdeil »	33
Tableau 20	Tableau récapitulatif des résultats du déficit d'écoulement des 05 méthodes	33
Tableau 21	Résultats de calcul des courbes pluviométriques de "GAUSSEN et BAGNOULS"	36
Tableau 22	Indice d'aridité annuel dans la région étudiée d'après " DE MARTONNE "	36
Tableau 23	Indice d'aridité mensuel	37
Tableau 24	Indice de L.EMBERGER pour la région de Chlef	37
Tableau 25	Les résultats du ruissellement obtenus par la méthode de Tixeront-Berkaloff période (1973/2006)	39
Tableau 26	Résultats des infiltrations dans les bassins versants du moyen- Cheliff occidental	40
Tableau 27	Echelle de résistivités	54
Tableau 28	Evolution de niveau piézométrique au niveau du puits 106/35 (calcaire)	86
Tableau 29	Résultats des essais de pompages des études antérieures (calcaire)	87
Tableau 30	Résultats des essais de pompages des études antérieures (alluviales)	99
Tableau 31	Classification des eaux de la nappe du calcaire selon Stabler (Hautes eaux	110
Tableau 32	Classification des eaux de la nappe du calcaire selon Stabler (Basses eaux)	111
Tableau 33	Matrice de corrélation	116
Tableau 34	Corrélations entre les variables et les facteurs	116

INTRODUCTION

En milieu aride à semi-aride, particulièrement dans la région méditerranéenne, les eaux souterraines sont fortement sollicitées. On observe une baisse de la pluviométrie et une augmentation des débits pompés pour satisfaire les besoins croissants de l'alimentation en eau potable, l'agriculture et l'industrie. Cette situation se traduit par une diminution des réserves des aquifères exacerbée par les problèmes liés à la pollution de cette ressource.

Les aquifères des formations calcaires fissurées et ou karstifiées ont un intérêt très particulier du fait qu'ils renferment l'essentiel de la ressource en eau souterraine dans certains pays notamment autour de la méditerranée ; la structure et le fonctionnement de ces milieux sont compliqués, car la karstification modifie les conditions de circulation hydrodynamique dans ces systèmes. Leurs exploitations demeurent souvent empiriques en raison d'une connaissance encore limitée, incomplète des phénomènes et souvent difficile à acquérir.

La connaissance et la compréhension du fonctionnement nécessitent des études géologiques, géophysiques et hydrogéologiques qui permettent de définir la structure et l'organisation des différentes parties de l'aquifère. L'objectif est de localiser les zones les plus favorables à l'implantation de forages et celles qui présentent des risques importants de pollution de l'eau souterraine.

La nappe des calcaires à lithothamnium du moyen chéiff est considérée comme l'un des aquifères le plus important de la région. Cependant, s'il s'agit d'un bon aquifère, c'est essentiellement en raison de l'importance de la fissuration du calcaire caractérisée par sa densité, son interconnexion et localement son évolution associée à un karst assez développé comme en témoigne les pertes de boue au niveau des forages. Les eaux qui y circulent devraient être de bonne qualité malgré la forte vulnérabilité à la pollution de ces milieux et les relations hydrauliques avec les eaux superficielles et les eaux des autres aquifères de la région.

Dans un tel contexte il nous a paru utile de faire une synthèse hydrogéologique du moyen Chellif occidental en portant une attention particulière au réservoir aquifère carbonaté du Miocène supérieur : les calcaires fissurés et/ou karstifiés à lithothamnium.

Pour ce faire, nous avons structuré notre travail en cinq chapitres :

- Le premier chapitre traite du contexte géographique et géomorphologique des sous bassins versants.
- Le deuxième chapitre aborde les aspects relatifs à l'hydroclimatologie dont le but est d'établir un bilan hydrologique et dans lequel la quantification de l'infiltration est importante car elle permet d'évaluer la recharge des aquifères.

- Le troisième chapitre s'intéresse aux différentes formations géologiques et tentera d'apprécier la géométrie des différents réservoirs rencontrés en nous fondant aussi bien sur les données lithostratigraphiques et structurales que géophysiques. A ce niveau les données des résultats des campagnes de 1966 et 1972 seront utilisées.
- Le quatrième chapitre est consacré à l'étude hydrogéologique proprement dite, nous passerons en revue les différents réservoirs aquifères et leurs caractéristiques hydrodynamiques. Malgré le peu de données, nous avons tenté de développer en particulier la nappe des calcaires à lithothamniés.
- Le cinquième et dernier chapitre concerne l'hydrochimie. Cette partie portera sur les résultats des différentes analyses chimiques des trois nappes reconnues dans le moyen chélibi occidental. L'interprétation des données permettra de discuter l'origine de la minéralisation et d'apprécier la qualité des eaux (potabilité et aptitude à l'irrigation). Elle sera complétée par une approche succincte de la pollution de ces aquifères.