

Université Mohamed Khider – Biskra
Faculté des Sciences et de la technologie
Département de Génie Civil et Hydraulique
Référence :



جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم الهندسة المدنية والري
المرجع:.....

Mémoire de Master

2^{ème} année

Hydraulique urbaine

Essai d'amélioration de la qualité des eaux distribuées dans la ville de Biskra

Soutenu le.....

Etudiante :

BEN ABED ERRAHMANE MEBARKA

Encadreur :

Mr. DJEDRI TOUFIK

Juin 2013

SOMMAIRE

SOMMARE	PAGE
Introduction générale.....	01
Introduction à la première partie.....	03
CHAPITRE I – Cadre de l'étude	04
I-1. Situation géographique	05
I-2. Géomorphologie et relief	05
I-3. Climatologie.....	05
I-3.1. Type de climat.....	05
I-3.2. Températures	05
I-3.3 Les précipitations.....	06
I-3.4. Evaporation	07
I-3.5. Les vents	09
I-4. Aperçu géologique.....	09
I-4.1. Stratigraphie.....	09
I-4.1.1. Quaternaire.....	09
a) Quaternaire Récent.....	09
b) Quaternaire moyen.....	09
c) Quaternaire ancien.....	09
I-4.1.2. Pliocène	10
I-4.1.3. MioPliocène.....	10
I-4.1.4. Miocène supérieur continental	10
I-4.1.5. Eocène moyen (Lutétien)	10
I-4.1.6. Eocène inférieur (Yprésien.....	10
I-4.1.7. Sémonien.....	10
I-4.1.8. Turonien	10
I-4.1.9. Cénomaniens.....	10
I-4.1.10. Albion.....	10
I-4.1.11. Patien.....	11
I-4.1.12. Barrémien.....	11
I-4.1.12. Trias.....	11
I-4.2. Tectonique	11
I-4.3. Géologie de la cuvette de l'Oued Biskra	12
I-5. Contexte hydrogéologique.....	12

I-5. 1. Aquifère de Droh.....	12
I-5. 2. Aquifère d'inféro flux d'Oued Biskra.....	14
3.6.2. Faciès hydro chimique.....	20
3.6.2.1. Diagramme de Berkaloff-Schoeller.....	22
3.6.2.2. Les rapports caractéristiques	22
3.6.2.3. Origine des minéraux dissous	22
3.6.2.4. Potabilité des eaux	22
CHAPITRE II - CARACTERISATION DE LA QUALITE DES EAUX	24
II-1. PARAMETRES PHYSIQUES.....	24
II-1.1. Conductivité électrique.....	24
II-1.2. Température	24
II-1.3. Turbidité.....	25
II-1.4. Potentiel hydrogène (pH).....	25
II-2. PARAMETRES CHIMIQUES	25
II-2. 1. Alcalinité.....	25
II-2. 2. Dureté ou titre hydrotimétrique.....	26
II-2.3. Le calcium.....	26
II-2.4. Le magnésium.....	26
II-2.5. Les Chlorures	27
II-2.6. Les sulfates.....	27
II-2.7. Le sodium.....	27
II-2.8. Le potassium.....	27
II-3. PARAMETRES CONCERNANT LES SUBSTANCES INDESIRABLES	28
II-3.1. Les nitrates.....	28
II-3.2. Les nitrites.....	28
II-3.3. Le fer.....	28
II-3.4. Le Phosphore	28
II-3.5. L'Ammonium	29
II-3.6. Le bore.....	29
II-3.7. L'aluminium.....	29
II-3.8. Le fluor.....	30
II-3.9. Les matières organiques.....	30
II-4. PARAMETRES CONCERNANT LES SUBSTANCES TOXIQUES.....	30

II-5. PARAMETRES MICROBIOLOGIQUES.....	31
II-6. NORMES ET EXIGENCES DE QUALITE.....	31
Conclusion à la première partie.....	34
Introduction à la deuxième partie.....	35
Chapitre III – ANALYSES DES EAUX.....	36
III-1. Matériel utilisé.....	36
III-1. 1. Sur terrain.....	36
III-1.2. Au laboratoire.....	36
a. Laboratoire physico-chimique.....	36
b. Laboratoire de microbiologie.....	37
III-2. Méthodes d'échantillonnage.....	38
III-3. Points de prélèvement.....	39
III-4. Méthodes d'analyse.....	39
III.4.1. 1. Analyses électrochimiques.....	40
III.4.1. 2.	
Analysesvolumétriques.....	41
a) L'alcalinité.....	41
b) La dureté totale	42
c) Détermination de la matière organique	42
d) Mesure du chlorure.....	43
III.4.1. 3. Analyses spectrophotométriques	43
a) Dosage de l'ammonium.....	43
b) Détermination des sulfates.....	44
c) Détermination des nitrates.....	44
d) Détermination des nitrites.....	44
e) Détermination des phosphates	44
f) Détermination du fer.....	45
III.4.2. Détermination des paramètres microbiologiques.....	45
a) Dénombrement des germes totaux.....	45
b) Dénombrement des coliformes totaux et fécaux.....	46
c) Recherche et dénombrement des clostridiums sulfitoréducteurs.....	46
d) Dénombrement des streptocoques fécaux	47
CHAPITRE IV- ETUDE COMPARATIVE DE LA QUALITE DES EAUX.....	47

IV- 1. Résultats des analyses.....	47
IV- 2. Interprétation des résultats.....	49
IV-2.1. Variation de la conductivité.....	49
IV-2.2. Variation des sulfates.....	50
IV-2... Variation du calcium.....	50
IV-2.5. Variation du magnésium.....	51
IV-2.6. Variation des chlorures.....	52
IV-2.7. Variation du résidu sec.....	52
Conclusion à la deuxième partie.....	54
CONCLUSION GENERALE.....	55

RESUME

Résumé :

Les eaux distribuées dans la ville de Biskra pèchent par leur manque de qualité, surtout celles captées dans la nappe de Oued Biskra. Dans notre travail, on étudie la possibilité de mélange des eaux de cette nappe avec celles de la nappe carbonatée de Droh de meilleure qualité. Des analyses physicochimiques et bactériologiques sont effectuées sur trois mélanges possibles. Les résultats obtenus permettent de sélectionner un mélange réalisable alliant la quantité et la qualité pour améliorer l'AEP de la ville de Biskra.

الملخص:

المياه الموزعة في مدينة بسكرة ليست لها النوعية الكافية خاصة منها التي تستغل من تكوينه واد بسكرة. لذا نتطرق في عملنا هذا إلى خليط مياه تكوينه الدروع التي تعتبر أحسن من الجانب النوعي و لتحديد هذا قمنا بتحليل فيزيائية كيميائية و بكتيريولوجية علي العينات وسمحت النتائج المحصل عليها بأختبار خليط يحسن من كمية و نوعية المياه الموزعة في بسكرة.

INTRODUCTION

Introduction Générale

Dans les Ziban, les eaux souterraines constituent la principale ressource hydrique exploitée dans la région, que ce soit pour l'alimentation en eau potable des habitants ou pour assurer l'irrigation des cultures.

La mobilisation de quantités plus importantes de cette ressource est devenue nécessaire devant l'accroissement des besoins en eau potable. Pratiquement chaque année, de nouveaux forages sont exécutés et reliés aux réseaux de distribution.

Dans cette région les aquifères les plus sollicités sont ceux du Complexe Terminal avec la Nappe des Calcaires dans le Zab el Gharbi, et celle des Sables dans le Zab el Chergui, les calcaires maestrichiens de Droh et la nappe d'inféro-flux de Oued Biskra.

Ce n'est qu'en l'année 2007 que l'on a exécuté le transfert de la nappe de Droh vers la ville de Biskra, dans le but d'améliorer surtout la qualité des eaux mobilisées. En effet, les eaux de cette nappe sont de meilleure qualité que celles déjà exploitées. La charge chimique des eaux des autres aquifères est souvent élevée (eaux moyennement à fortement chargées), ce qui constitue une inquiétude permanente pour la population en absence de moyens de traitement et/ou d'adoucissement efficaces.

Notre travail portera sur l'aspect qualitatif des eaux, une étude comparative du chimisme des eaux des aquifères de Oued El Hai et de Droh. L'étude portera aussi sur l'aspect bactériologique des eaux.

La qualité chimique de ces eaux n'étant en réalité que le résultat final d'un ensemble de processus naturels liés au contexte hydrogéologique et géochimique des différents aquifères. Quant à l'aspect bactériologique, il y a souvent intervention des facteurs anthropiques. En effet une contamination par des germes pathogènes est souvent due à l'activité humaine. La comparaison concernera surtout les variations spatio-temporelles du chimisme des eaux, grâce à l'exploitation des données brutes et des analyses que nous nous proposons d'effectuer sur les eaux des deux nappes étudiées.

Notre travail sera organisé en deux parties :

- Une première partie de synthèse bibliographique, où nous présenterons, en premier lieu, le milieu d'étude (les aquifères) avec ses caractéristiques géologiques, géochimiques et hydrogéologiques. On y passera en revue les paramètres généraux de caractérisation de la qualité des eaux, ainsi que les méthodes d'analyse physicochimique et bactériologique des eaux.

- Dans la deuxième partie seront présentés respectivement ; les analyses effectuées, les résultats obtenus à partir de la comparaison des propriétés chimiques et bactériologiques des différentes eaux. Une représentation graphique permet d'évaluer les spécificités de chaque eau et de les interpréter en les liant aux contextes pétrographiques et anthropiques.

Le cas d'un mélange des eaux des deux aquifères est abordé, avec différentes combinaisons, en vue d'améliorer la qualité générale des eaux.

CHAPITRE I

Cadre de l'étude

Introduction à la première partie

Dans cette première partie nous allons présenter une synthèse bibliographique, organisée en deux chapitres, élaborée à partir de la récolte, l'analyse et l'exploitation des données, rapports, études, et articles touchant l'un ou plusieurs aspects de notre thème.

En effet, du point de vue quantitatif, la qualité de l'eau en général est un domaine riche en ressources bibliographiques, vu l'intérêt et l'importance du sujet sur le plan sanitaire et économique. Le développement socioéconomique ne pouvant se concevoir sans la disponibilité en quantité et qualité suffisantes de l'eau de consommation.

Le domaine de l'eau a connu un développement extraordinaire grâce aux travaux scientifiques de milliers de chercheurs et de concepteurs dans le monde. De l'amont des segments de prospection et d'exploitation jusqu'à l'ultime goutte rejetée en aval par les réseaux d'assainissement, la qualité de l'eau est étudiée et corrigée par des techniques chaque fois actualisées

Nous commençons au premier chapitre par présenter le cadre de la région étudiée, celle de Biskra. On y présentera, en premier lieu, ses caractéristiques hydroclimatiques et géologiques, liées intimement à la qualité des eaux. Ensuite, seront exposées les conditions hydrogéologiques d'exploitation des eaux souterraines, notamment les nappes de Oued Biskra et de Drah. Les propriétés pétrographiques et minéralogiques des roches ainsi que les modes d'écoulement des eaux souterraines sont des aspects importants permettant de comprendre le faciès chimique des eaux

Dans le deuxième chapitre nous détaillerons les principes et paramètres de caractérisation des eaux, ainsi que les normes et exigences de leur qualité. On y présentera tous les paramètres utilisés pour évaluer la qualité des eaux.

Dans les normes, sont explicités les marges de tolérance envers chaque paramètre, quelque soit sa nature.

CHAPITRE I – Cadre de l'étude

I-1. Situation géographique

La wilaya de Biskra s'étend sur une superficie de 22 379,95 km². Elle fait partie d'une zone de transition, entre le domaine montagneux de l'atlas saharien et la plateforme saharienne. Le passage entre ces deux ensembles morphologiques se fait par une ligne brutale, formée de longs reliefs sub-verticaux, d'orientation Sud-ouest et Nord-est, qui marquent la fin de la montagne atlasique et le début de la plateforme saharienne.

Plusieurs aquifères sont exploités pour l'alimentation en eau potable, d'une population estimée en 2004 à 713.244 habitants. L'étude porte principalement sur la nappe alluviale de Biskra et la nappe des calcaires de Droh.

La nappe de Oued Biskra est située dans les dépôts alluvionnaires de Oued Biskra. Ce dernier traverse l'ouest de la ville du nord vers le sud, par 34° 50' de latitude et 5°45' de longitude. La commune de BISKRA est limitée approximativement par : Branis et Outaya au Nord, El hadjeb à l'Ouest, Oumache au Sud, Chetma à l'Est.

La deuxième nappe considérée est exploitée par plusieurs forages, dont quatre destinées à l'AEP de la ville de Biskra. Ces forages sont localisés dans la région de Droh.

L'agglomération de Droh est située à 25 kilomètres au Nord-Est de la ville de Biskra, dans l'Atlas saharien, sur le versant sud du massif des Aurès .

Elle est limitée au nord par Djemmorah, au Nord-est par M'chounèche, au sud par Sidi Okba, et au Sud-ouest par Biskra.



Figure 01 : Situation et limites de la ville de Biskra
(Extrait de la carte d'Algérie 1/200 000)

I-2. Géomorphologie et relief

La région de BISKRA constitue la transition entre les domaines atlasiques du Nord et les étendues plates et désertiques au Sud.

Dans la partie Nord : plusieurs chaînons atlasiques, dont l'altitude maximale varie de 1500 m à 1700 m. La moyenne étant de l'ordre de 300 m.

Vers le Sud : la plaine saharienne occupe approximativement les deux tiers de la superficie..

A l'Est : le relief est caractérisé par le développement d'une plaine découpée par les lits d'oueds qui s'écoulent des monts de l'Atlas et disparaissent dans la grande dépression de Chott Melrhir.

Le relief de la région de Biskra est constitué de trois ensembles ; les montagnes, les plaines et les dépressions.

I-3. Climatologie

I-3.1. Type de climat

La région de Oued BISKRA est une zone transitoire entre deux climats, semi-aride de l'Atlas Saharien et désertique du Sahara.

I-3.2. Températures

Le climat de Biskra est chaud et sec, la température moyenne annuelle est de 21°C. Les températures minimales de l'air, ont été enregistrées au mois de Décembre et Janvier, à Ouled Djellal 4,8° C et 3,4 °C à Biskra. Les températures maximales étant de 45 °C en Juillet et Août.

mois	jan.	fév.	mars	avril	mai	juin	juil	août	sep.	oct.	nov.	déc.
T.moy °C	11.7	13.8	16.8	20.2	26.1	31.2	33.8	33.8	29.1	22.4	16.4	12.3

Tableau 1 : températures mensuelles moyennes, période (1991-2000)

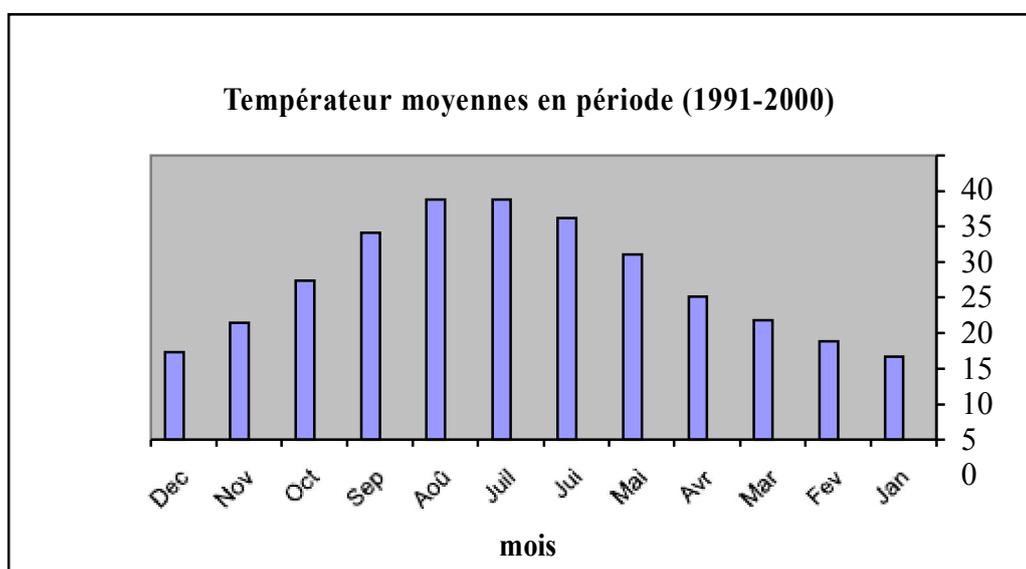


Figure 02: températures mensuelles moyennes, période (1991-2000)

I-3.3 Les précipitation

A Biskra, ainsi que dans les autres stations du Sahara, la fréquence des pluies est maximale en Novembre et en Mars. Il faut noter la prédominance des pluies nocturnes.

La pluviométrie annuelle moyenne est inférieure à 200 mm. Seules les régions de la partie Nord-Est ont une pluviométrie annuelle moyenne plus élevée (entre 200 et 300 mm). Les valeurs annuelles moyennes sont faibles mais les variations interannuelles sont très fortes

La distribution mensuelle des pluies font apparaître deux maxima, l'un correspond au début du printemps (Mars- Avril), l'autre en Novembre et Janvier.

Le minimum d'Eté est toujours bien marqué et les mois chauds de Juillet et Août ont une pluviométrie souvent nulle.

L'alimentation des nappes par infiltration est négligeable, les pluies de faible intensité ne jouent pratiquement aucun rôle, et une forte proportion des eaux précipitées est évaporée.

Les pluies torrentielles les plus intéressantes pour les nappes sont rares

Année	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
1990	40,80	0,00	6,70	25,70	38,5	2,80	1,50	29,70	3,10	0,00	22,50	23,0
1991	11,60	14,80	35,80	2,40	4,10	1,10	0,10	8,70	9,10	32,00	4,00	91,0
1992	25,50	4,30	22,10	10,00	11,7	0,50	4,10	0,60	27,50	1,00	90,70	2,80
1993	0,00	63,20	9,00	0,00	7,40	0,10	0,00	1,10	3,10	0,00	21,10	7,30
1994	21,70	5,70	22,60	0,10	0,00	1,70	1,90	2,40	51,30	47,90	1,10	0,00
1995	4,00	1,80	6,50	4,10	0,00	2,80	0,00	1,70	24,90	3,80	16,60	23,5
1996	64,50	22,80	39,30	0,40	2,80	5,50	0,70	8,10	10,60	0,70	0,00	3,00
1997	4,00	4,60	7,50	76,30	0,00	8,90	0,00	6,00	14,40	7,90	41,10	17,1
1998	0,40	15,00	1,20	46,10	9,60	12,40	0,00	1,10	2,20	3,40	2,00	1,40
1999	66,80	1,80	3,00	3,30	7,60	5,20	0,00	4,20	8,80	12,30	44,30	35,7
2000	0,00	0,00	2,50	5,10	15,8	0,00	0,00	0,00	27,40	4,40	1,40	7,90
moy	21,76	12,18	14,20	15,77	8,88	3,73	0,76	5,78	16,58	10,31	21,71	11,9

**Tableau 2: Distribution mensuelle de la pluviométrie
Période (1991-2000).**

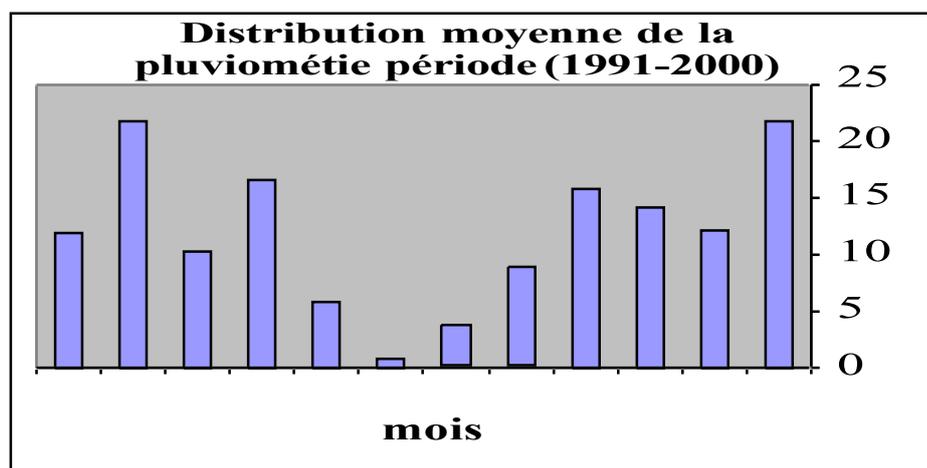


Figure 03: Précipitations mensuelles moyennes, Période (1991-2000)

I-3.4. Evaporation

L'évaporation est un paramètre étroitement lié à la température. Les quantités d'eau évaporées sur l'histogramme (figure 5), sont constituées à partir de la série d'observation d'une dizaine d'années de l'évaporation mensuelle. On constate l'allure croissante à partir de la période hivernale pour atteindre le maximum en été. Ensuite, c'est la décroissance vers la valeur initiale, l'évaporation moyenne maximale est de 323 mm, l'évaporation mensuelle moyenne minimale étant de 215 mm. L'évaporation annuelle peut atteindre 3000 mm (cf. carte de l'évaporation annuelle de l'Algérie).

Année	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sep	Oct	Nov	dec
1990	109	176	181	270	267	399	438	322	393	352	188	124
1991	97	149	258	266	317	346	490	402	254	224	165	119
1992	61	116	209	248	280	452	388	414	321	344	192	126
1993	101	104	1514	322	379	443	425	419	359	306	133	143
1994	204	224	204	342	399	403	437	403	276	132	136	118
1995	149	172	193	253	389	383	460	394	291	176	200	88
1996	105	136	148	257	341	324	454	475	337	260	187	146
1997	133	176	209	237	388	580	547	438	281	249	148	148
1998	149	128	263	347	363	392	466	449	418	276	199	144
1999	116	188	164	371	488	525	516	529	408	228	110	89
2000	86	148	212	275	290	298	339	289	242	164	136	108
moy	119,9	156	205,9	293,1	354,6	413,2	450,9	412,2	320,18	246,4	163,6	123

Tableau 3 : Répartition mensuelle de l'évaporation (1990-2000)

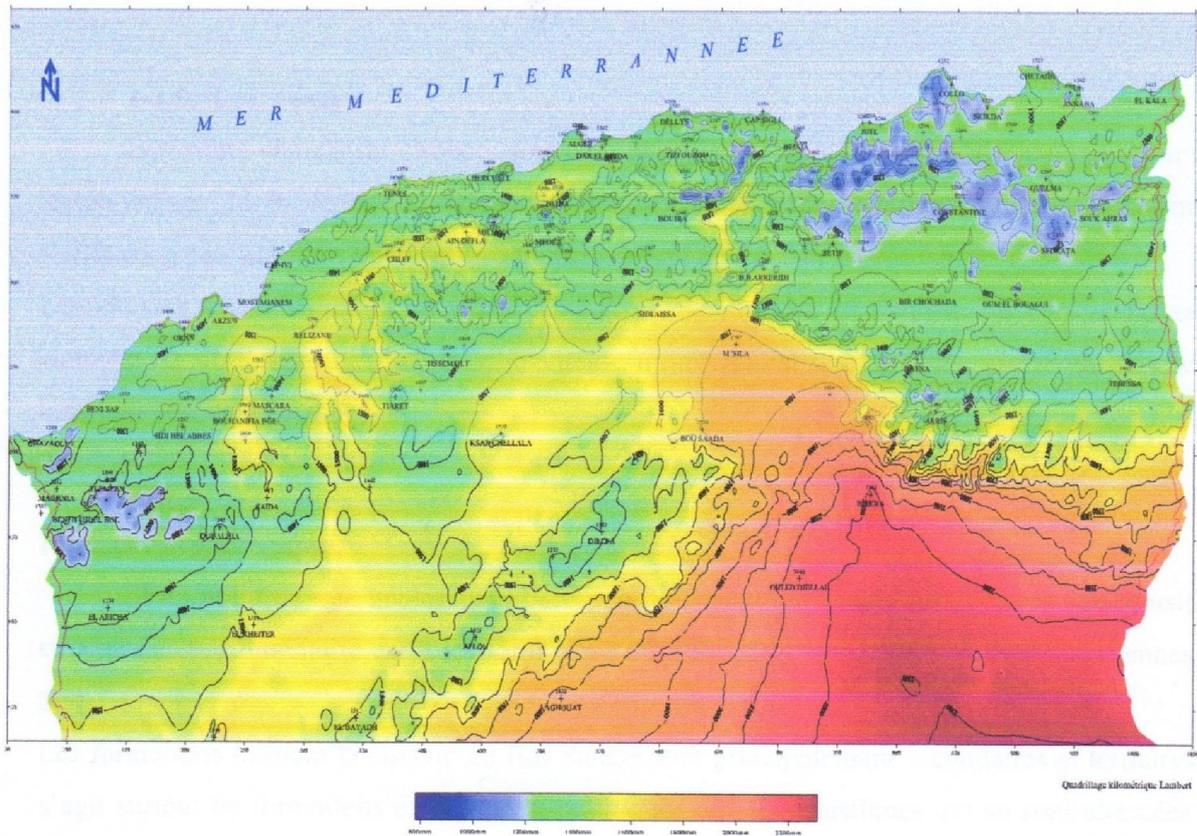


Figure 04 : Distribution de l'évapotranspiration annuelle en Algérie
(D'après J.P.Laborde)

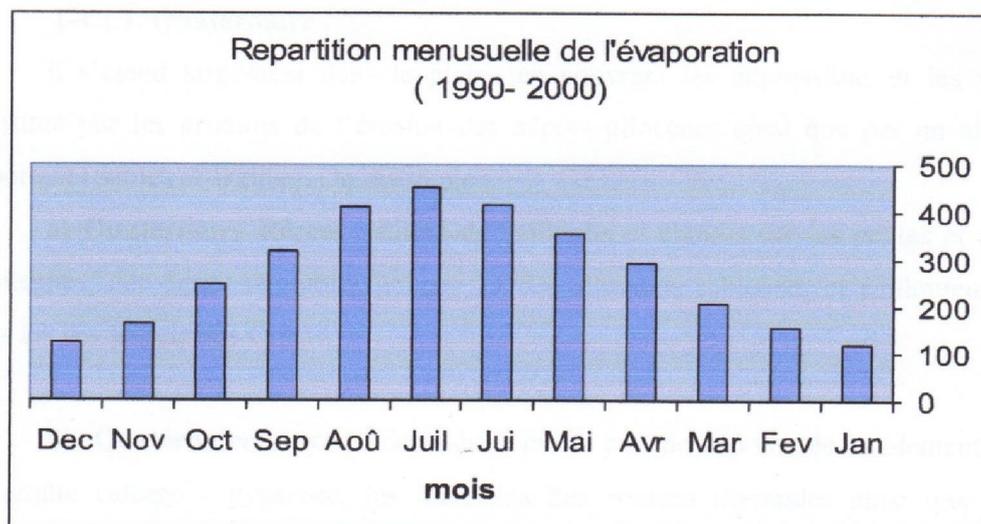


Figure 05 : Evaporation mensuelle moyenne, Période (1991-2000)

I-3.5. Les vents :

Les vents chauds du sirocco, souvent chargés de sable, sont très fréquents pendant la saison chaude. La présence de la chaîne montagneuse de l'Atlas saharien diminue sensiblement l'effet des vents humides du Nord et d'Ouest arrivant de l'océan atlantique.

Les vitesses sont presque homogènes pendant plusieurs mois de l'année. La vitesse moyenne annuelle est de l'ordre de 5,23 m/s, la vitesse minimale est de 4.26 m/s, alors que la vitesse maximale est de 5.28 m/s.

I-4. Aperçu géologique

D'un point de vue géologique, la région de Biskra représente un domaine de transition structurale et sédimentaire entre les formations atlastiques au Nord et les plaines Sahariennes au Sud.

Les formations formant la cuvette du Bas Sahara sont principalement secondaires et tertiaires. Il s'agit surtout de formations carbonatées, pélicolites ou silicoclastiques qui se sont alternées au cours des différents âges et qui ont permis par leurs caractères pétrographiques, granulométriques, et texturaux, l'individualisation de plusieurs aquifères

I-4.1. Stratigraphie :

Dans l'ensemble, la région de Biskra est formée des terrains suivants, successivement des plus récents aux plus anciens :

I-4.1.1. Quaternaire :

Il s'étend largement dans la plaine en couvrant les dépressions et les vallées. Il est constitué par les produits de l'érosion des dépôts pliocènes ainsi que par un alluvionnement important (Sables et argiles). On distingue :

a) Quaternaire Récent : formé de cailloutis et éboulis sur les pentes et aux pieds des montagnes, des dunes de sables éoliens, et des alluvions sableuses et caillouteuses (graviers) dans les lits actuels des Oueds.

b) Quaternaire moyen : caractérisé par la couche dénommée localement « Deb-Deb » ou croûte calcaire - gypseuse, les travertins des sources thermales ainsi que les alluvions sablonneuses et argileuses dans les grandes plaines.

c) Quaternaire ancien : formé de poudingues près des montagnes.

I-4.1.2. Pliocène :

Il se représente sous forme de vastes affleurements près des montagnes. Il est formé de poudingues blancs, de grès et argiles sableuses, de marnes rouges sableuses et gypseuses et une croûte calcaro- gypseuse de quelques mètres d'épaisseur dite (croûte saharienne). Le pliocène repose, avec une légère discordance, sur le Miocène marneux.

I-4.1.3. MioPliocène :

D'une épaisseur d'environ 250 m, il est constitué par des grès, des sables, des argiles, des marnes et gypses.

I-4.1.4. Miocène supérieur continental :

Il est représenté par des argiles, des marnes multicolores, des sables et des graviers. Au Nord de Biskra, il est plutôt marneux et discontinu.

La limite entre le Mio-pliocène et son substratum Crétacé-Eocène est marquée par une discordance régionale nette (tectonique, angulaire ou cartographique). De même, il se sépare des formations quaternaires sus-jacentes par une discordance souvent angulaire dans le Quaternaire. Il est presque partout horizontal.

I-4.1.5. Eocène moyen (Lutétien) :

C'est une formation très épaisse, représentée par des argiles, des marnes rouges et blanches à gypse et à anhydrite, dépôts exclusivement lagunaires.

I-4.1.6. Eocène inférieur (Yprésien) :

Il est formé d'une succession de bancs de calcaires crayeux, de dolomies argileuses et de marnes blanches avec quelques niveaux de silex noir.

I-4.1.7. Sénonien

- **Coniacien - Santonien** : Principalement des calcaires marneux et des marnes blanchâtres.
- **Campanien** : Des marnes, des marnes calcaires, des calcaires gris et des calcaires oolitiques.
- **Maestrichtien** : Alternance de calcaires dolomitiques, de marnes, d'argiles gypseuses avec quelques passées d'anhydrite.

I-4.1.8. Turonien : il comporte des argiles gypseuses avec de rares passées de calcaires dolomitiques et une alternance de calcaires gris et d'argiles grises ou vert - foncé avec des passées d'anhydrite massive.

I-4.1.9. Cénomaniens : Il est représenté par des calcaires cristallins et calcaires marneux, il affleure sur les flancs de Djebel Bou Rhezal.

I-4.1.10. Albien : Il est constitué principalement par des grès rouges ou gris, d'une épaisseur d'environ 250 m. Il affleure dans la dépression de l'anticlinal de Djebel Bou Rhezal au Nord-Est de Chaiba.

I-4.1.11. Aptien : D'une épaisseur environ 60 m, représenté par un faciès lagunaire avec intercalations marines argiles et marnes multicolores, anhydrites, calcaires dolomitiques, dolomies.

I-4.1.12. Barrémien : Caractérisé par des dépôts gréseux rouges avec intercalation d'argile. Il affleure seulement à Chaiba.

I-4.1.12. Trias : Son épaisseur dépasse les 1000 m, il est représenté par des argiles et des marnes gypsifères. Il affleure au Nord de Biskra dans la région d'El Outaya au Djebel Mellah.

I-4.2. Tectonique :

La région de Biskra est montagneuse au Nord, tandis qu'au Sud elle fait partie du Sahara septentrional.

Le passage entre ces deux domaines distincts se fait par l'intermédiaire d'un ensemble de flexures, de plis failles et de failles orientées en Est-ouest appelé « accident sud atlassique ».

Du point de vue tectonique, le secteur étudié ainsi que les régions voisines, ont été l'objet d'au moins trois phases tectorogéniques principales :

- La phase éocène ou atlasique (lutétienne).
- La phase miocène (aquitano-burdigalienne).
- La phase plio-quadernaire (Fin -pliocène, quadernaire basal).

Les deux phases principales sont la phase atlasique et celle du Quadernaire basal. Elles correspondent aux deux principales phases de plissements majeurs dans toute la région. La première a donné des plis vastes (plusieurs dizaines de kilomètres) assez réguliers et souples dont l'orientation est voisine de N 60 E. la deuxième a donné lieu à des plis obliques sur les précédents d'une orientation E – W.

Aussi ces différentes phases tectorogéniques ont généré un important réseau de fractures et failles d'ampleur et d'orientation variables et qui ont pu jouer durant des périodes différentes. Elles se regroupent en quatre groupes selon leur orientations : N-S à N30 °E, N45 °E, N80 °E à N100 °E, N120 °E à N1600 °E. Les deux derniers, les plus fréquemment représentées, montrent dans plusieurs secteurs de la région un passage progressif de l'un à l'autre.

Au sud et au sud est de Biskra la dépression est le siège d'un important remplissage, très épais en certains endroits. C'est là que s'accumulent des matériaux détritiques de différentes tailles résultant de l'érosion intense du massif des Aurès.

I-4.3. Géologie de la cuvette de l'Oued Biskra

La cuvette de l'Oued Biskra est limitée au Nord par la barre calcaire turonienne, au Sud par la barre des poudingues pliocènes, à l'Est par les argiles miocènes.

Au Nord Est, au passage de l'Oued EL Besbes, une épaisseur probable de 10 m d'alluvions sur 120m de largeur, recouvre le miocène, et au Nord – Ouest le miocène n'est pas apparent.

Les formations alluvionnaires de l'Oued Biskra reposent sur les formations d'argiles miocènes pratiquement imperméables. Ce sont les produits de l'érosion des reliefs amont qui ont subi un transport conséquent à partir du Nord. Leur nature est généralement calcaire et argileuse. La granulométrie est variable. Elle devient plus fine vers le Sud ; où les dépôts deviennent plus argileux. A l'amont, les dépôts sont décimétriques et forment une vaste zone d'épandage, à haute perméabilité.

Les matériaux les plus grossiers sont concentrés au milieu de l'Oued selon l'axe de la cuvette. Vers les berges, ils deviennent plus fins.

Les argiles miocènes imperméables, couvrent les limites latérales à l'Est et à l'Ouest de la cuvette de l'Oued Biskra, et forment un substratum pour les formations alluvionnaires. Ce qui favorise l'accumulation des eaux souterraines. Dans les coupes des forages exécutés dans l'oued Biskra, présentés en annexe, la lithologie est dominée par des couches de galets, de graviers et de sables avec quelques passées argileuses. On y décèle en quelques endroits la présence de gypse. Ce sont donc des dépôts assez perméables favorisant l'accumulation des eaux dans les chenaux et interstices aménagés dans les sédiments.

I-5. Contexte hydrogéologique :

Les aquifères, objets de l'étude, sont celui d'inféro flux de Oued Biskra et celui des calcaires de Droh.

I-5. 1. Aquifère de Droh :

C'est un aquifère composé des formations carbonatées du Sénonien, surtout le Maestrichtien. Il s'agit de calcaire micritique blanchâtre à trace d'oxydation. A la base, on y décèle une alternance de calcaires dolomitiques, de marnes, d'argiles gypseuses

avec quelques passées d'anhydrite. Ces calcaires sont surmontés respectivement par les formations de l'Eocène inférieur (calcaire blanc à silex noir à patine blanche) et les formations sommitales du Miocène (argile rouge sableuse et gypseuse).



Figure 06 : Sondage Droh 1

Dans le champ captant de Droh, sont implantés 10 forages à des profondeurs qui peuvent atteindre 400 m, avec des débits extraits qui sont de l'ordre de 8 à 17 l/s, dont une partie est destinée à l'alimentation de la ville de Biskra.



Figure 07 : Disposition des forages de Droh

Cette nappe est alimentée en amont par l'infiltration des eaux de pluie, surtout en période humide.

Le faciès de cette nappe est carbonaté calcique et magnésien.

I-5. 2. Aquifère d'inféro flux d'Oued Biskra :

La nappe alluviale de l'oued Biskra s'étend sur une superficie de 5 Km² avec une épaisseur moyenne de 20 m, le volume d'alluvions étant de 100 millions de m³, déduit par des études géophysiques.

L'aquifère est de forme allongée et de direction générale N-S. Cette forme a été façonnée par l'écoulement de l'oued Biskra creusé dans les marnes imperméables du Miocène et remblayé par des dépôts alluvionnaires perméables, constitués de galets, graviers et sables, avec de faibles intercalations d'argiles sableuses très discontinues.

Ce réservoir se répartit en deux parties distinctes :

- Une zone amont, large, de transmissivité très élevée. Elle s'éteint sans discontinuité jusqu'aux cluses de l'Oued Besbes.
- A l'aval, le lit se rétrécit principalement au niveau de la cluse miocène. Cette partie est l'exutoire naturel de la partie amont.

La limite avale du réservoir est formée par la barre pliocène qui ferme en partie le réservoir.

La direction générale de l'écoulement est du Nord vers le Sud. Les niveaux piézométriques varient de 155 m d'altitude à 115 m à l'aval. La nappe à l'amont a une épaisseur variant entre 10 m à 20 m, puis s'épaissit sensiblement avec des valeurs atteignant 40 m juste après la confluence des oueds Biskra et Laftah.

Vers l'aval, le réservoir présente une épaisseur d'environ 20 m au niveau de l'axe central de l'oued et 10 m vers les berges.

Les plus hautes transmissivités sont observées à l'amont de l'aquifère atteignent $6 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$. Elles diminuent sensiblement vers les berges à $10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

Vers le Sud, les valeurs maximales sont localisées au milieu de l'Oued selon l'axe longitudinal ($2 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$) et diminuent vers les berges pour attendre une valeur de $10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

Notons que ces transmissivités ne sont pas actualisées, et il est fort probable qu'elles ont diminué suite à l'abaissement du niveau piézométrique général de la nappe.

En utilisant un coefficient d'infiltration égal à 0.4, l'apport annuel arrivant à l'Oued a été estimé à environ 30 millions m^3 , dont 12 millions m^3 s'infiltrant vers la nappe. Le débit de la nappe serait de l'ordre de 380 l/s.

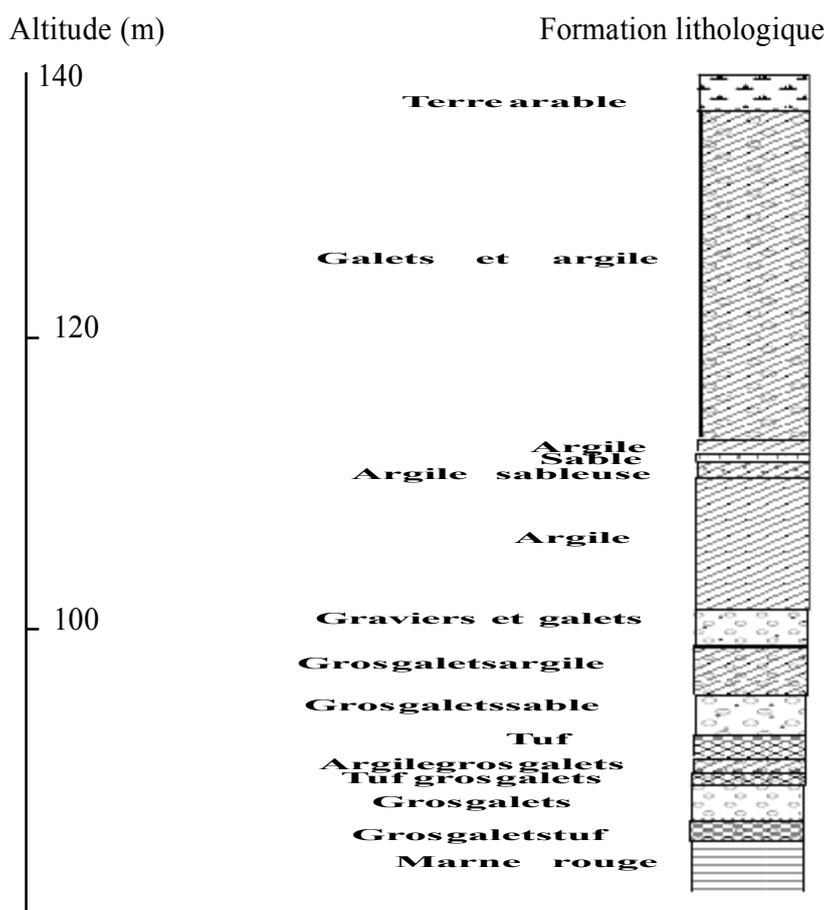


Figure 08 : Coupe lithologique du forage B1 implanté dans la nappe phréatique

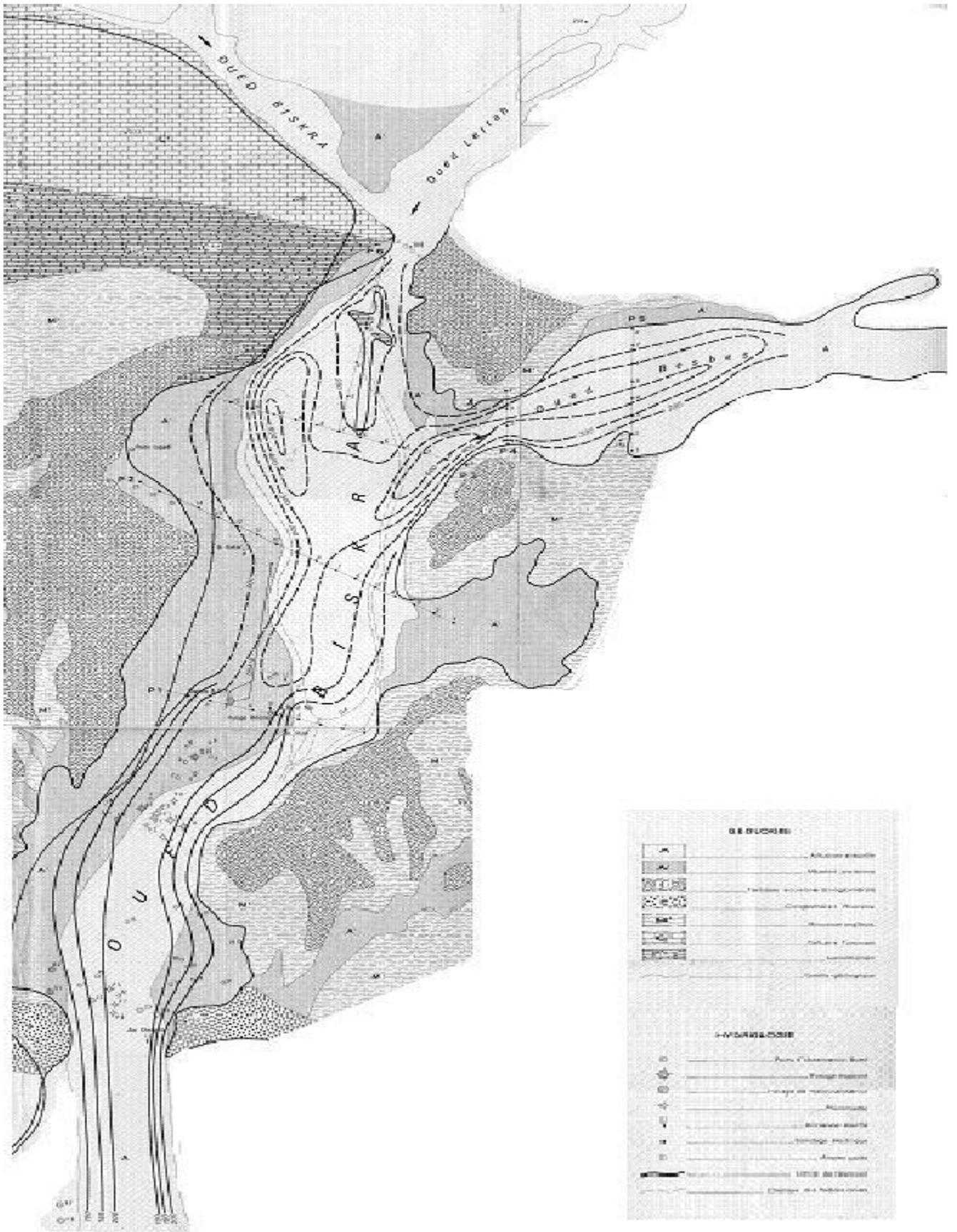


Figure 09 : Carte des transmissivités en $T = 10^{-4} \text{ m}^2/\text{sec}$ (Echelle 1/10000)

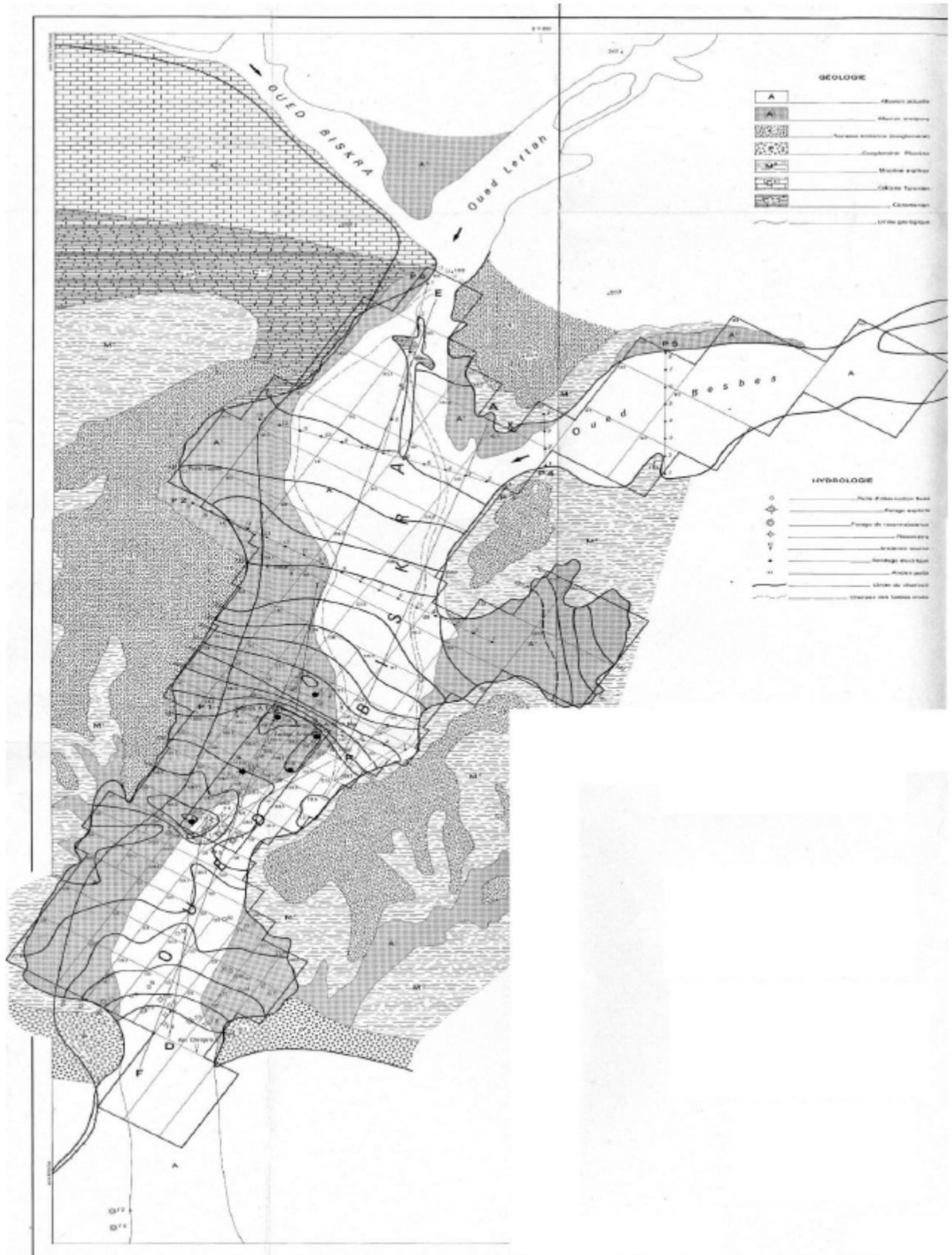


Figure 10 : Carte piézométrique de la nappe d'Oued Biskra (1966)

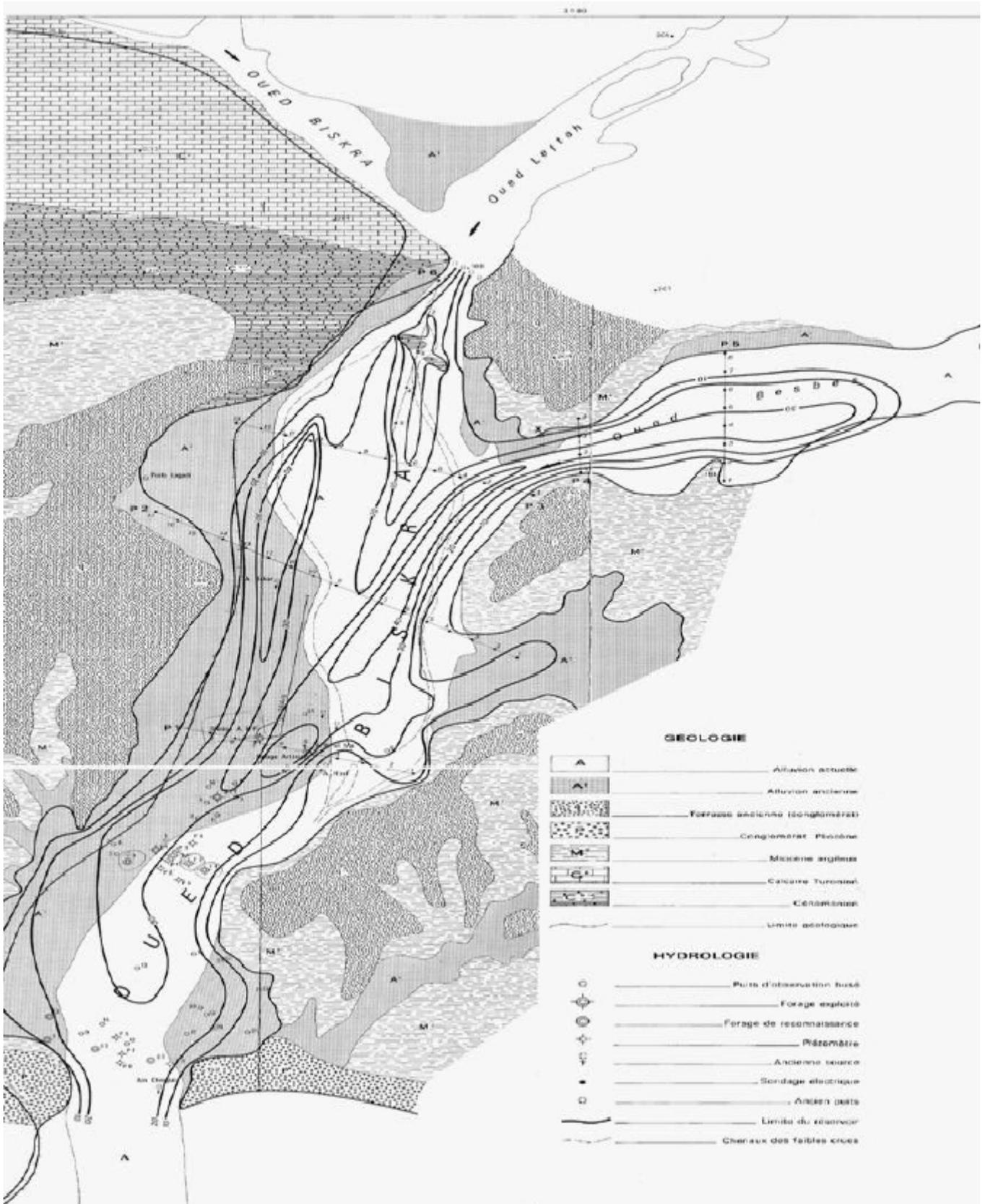


Figure 11 : Carte des épaisseurs du terrain saturé en m (Echelle 1/1000)

Nom	Coord. Lambert	Prof. (m)	Temp. °C	Débit (l/s)	Niveau dynamique	Niveau statique	Nappe
F1 30/04/1980	X=778.050 Y=180.800 Z= ?	40	--	24	8,50 m	6,80 m	Inféro-flux
F2 29/06/1988	X=778.100 Y=180.850	50	--	17	15,15 m	13,20 m	Inféro-flux
F3 22/04/1971	X=778.150 Y=181.260 Z=148.48 m	41	28	50	?	?	Inféro-flux
SIF5 02/11/1970	X=778.210 Y=180.700 Z=141.19m	39,50	31	70	17 m	13 m	Inféro-flux
SIF4 BIS 20/08/1988	X=397.847 Y=389.756 Z=134 m	50	31	15	18 m	17 m	Inféro-flux
SIF6 BIS 19/02/1987	X=778.140 Y=180.740 Z=?	44	--	45	14.15 m	6.55 m	Inféro-flux
B2 31/01/1989	X=750.000 Y=386.200 Z=155 m	45	30	35	24.1 m	11 m	Inféro-flux

Tableau 4 : Forages exploitant la nappe de Oued Biskra

Dans le tableau suivant sont résumées les données hydrochimiques des forages exploitant la nappe. Mais, suite au test d'erreur, seules les données du forage F4 bis sont bonnes.

En effet, dans une analyse complétée de tous les éléments contenus en solution dans l'eau, le nombre de milliéquivalents d'anion (rn) doit être égal à celui des milliéquivalents de cation (rp). La conversion des données milliéquivalents par litre est faire à partir de la formule suivante :

$$X \text{ (meq/l)} = \frac{X \text{ (mg /l)}}{\text{éq. chimique}}$$

L'équivalent chimique (éq.) d'élément étant égal au quotient la masse atomique de cet élément par sa valence : éq. =M/v.

- pour la conversion des données, un degré français = 5 mg
- le pourcentage d'erreur (e) est :

$$e = \frac{rp - rv^{100}}{rp + rv} \quad (\text{Rp, rn en meq /l})$$

Si : e > 5 % Il y a erreur d'analyse ou de calcul
Si : e > 2 % analyse bonne

Caractères chimique	Cations (mg/l)				Anions (mg /l)				pH	R.S. mg/l	C. E. μ S/cm	Date de prélèv.
	Les forages	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻				
F3	152	101	508	20	725	900	171	48	8	2316	3900	25/5/82
SIF6	92	108	440	20	650	715	128	27	8	1892	3500	25/5/82
F1	224	67	380	10	650	615	238	40	8	2118	3500	18/5/78
F4BIS	154	88	520	35	850	520	195	14	8.5	2286	3400	17/2/87
F2BIS	196	65	332	10	563	580	226	22	8	1914	3000	18/5/78
SIF4	284	-	580	24	700	755	189	06	8.3	2510	4000	29/4/80
SIF6BIS	140	84	320	30	475	480	232	19	8.6	1700	2700	18/2/87
Alia Nord N°3-B2	134	64	520	18	610	600	122	22	8.3	2066	2800	31/1/89

Tableau 5 a : Résultats des analyses chimiques des forages de Oued Biskra.

Forage	$\sum rv$	$\sum rp$	e%	\gg	obs.
F3	32.61	38.6	8.4	>5	Erreur
SIF6	35.64	33.24	3.5	<5	Passable
F1	35.55	33.55	2.9	<5	Passable
F4BIS	32.15	38.52	0.5	<2	Bonne
F2BIS	31.93	29.89	3.2	<5	Passable
SIF4	38.61	40.02	1.8	<2	Bonne
SIF6 BIS	34.53	28.68	9.3	>5	Fausse
Alia Nord 3(B2)	32.6	35.09	3.7	<5	Passable

Tableau 5 b : Calcul d'erreur.

3.6.2. Faciès hydro chimique :

Pour déterminer le faciès hydro chimique de l'aquifère, nous reportons les teneurs en anions et cations sur le diagramme de Berkaloff-Schoeller.

3.6.2.1. Diagramme de Berkaloff-Schoeller :

Les résultats des analyses des eaux des forages (1-8), reportés sur ce diagramme, (figure 9), montrent une domination d'un pôle anionique de chlorure et d'un pôle cationique sodique et un degré moindre sulfaté. Ce qui confirme que la faciès chimique des eaux est chloruré – sodique, /quant à la potabilité, elle est médiocre.

N°	Légende	N°	Légende
5	———— F 2B IS	4	- - - - F 4B IS
6	- - - - S IF 4	3	— · — · F1

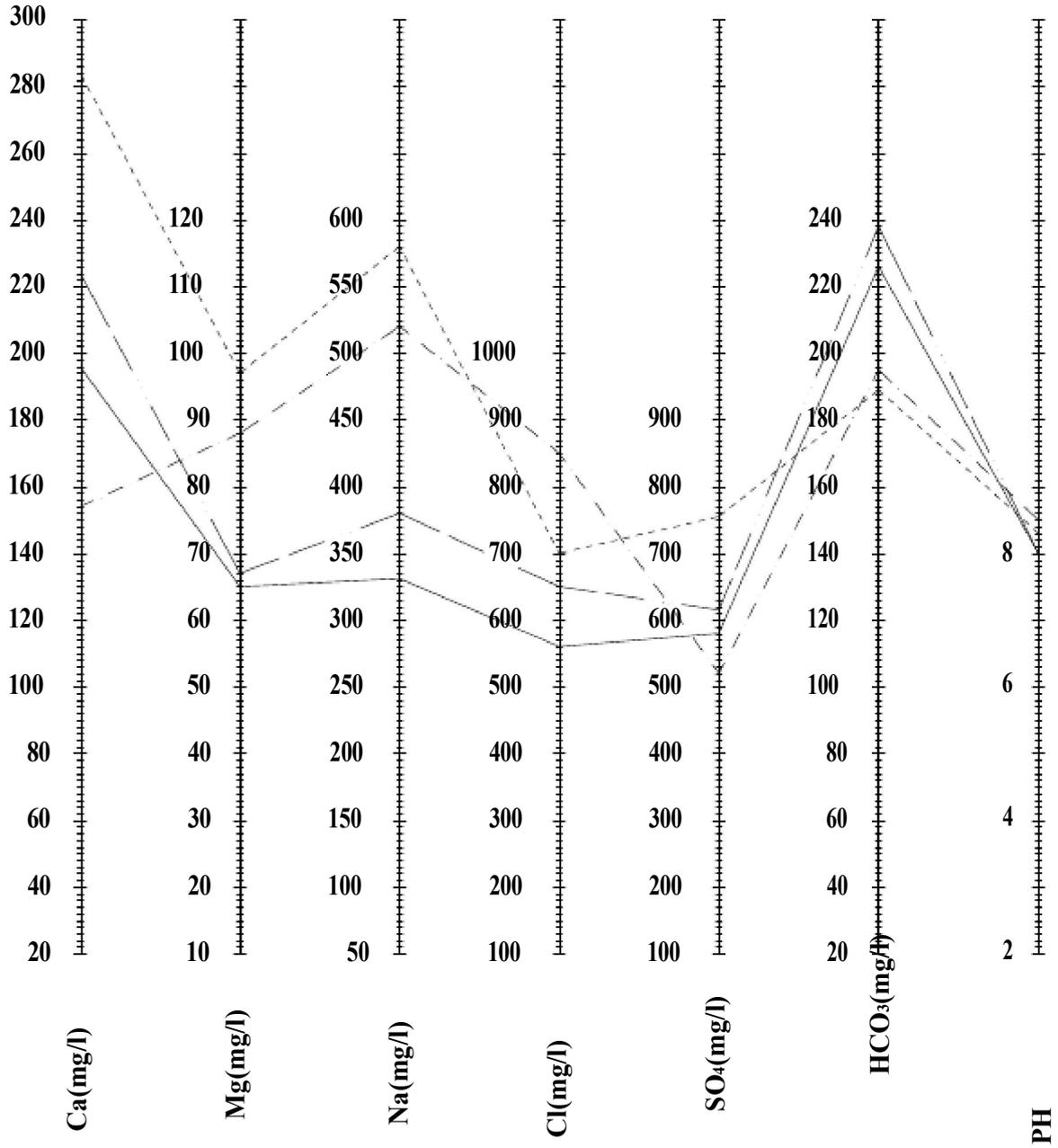


Figure 12 : Diagramme de Berkaloff-Shoeller pour les eaux de la nappe

3.6.2.2. Les rapports caractéristiques :

Les concentrations des éléments chimiques, nous permettent d'évaluer le comportement de la variation d'un élément par rapport à un autre (voir tableau ci-dessous).

N° de puits								
Rapports	(F3)	(SIF6)	(F1)	(F4BIS)	(F2BIS)	(SIF4)	(SIF6BIS)	(B2)
$\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$	1.8	0.81	0.7	0.45	0.76	0.79	0.48	0.72
$\text{Mg}^{++}/\text{Ca}^{++}$	1.1	1.95	0.498	0.95	0.95	0	1	0.79
$\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$	2.9	4.16	1.475	2.97	1.47	1.77	1.98	3.37
$\text{Na}^+/\text{Mg}^{++}$	2.62	2.14	2.96	3.08	2.66	—	1.98	4.24
$\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} / \text{Na}^+$	0.725	0.71	1.01	0.665	1.05	0.55	1	0.53

Tableau 6 : Les rapports caractéristiques.

3.6.2.3. Origine des minéraux dissous :

Au cours de l'écoulement, l'eau souterraine est constamment en contact avec des substances minérales et s'enrichit alors en minéraux dissous grâce à certains processus dont le lessivage et les échanges de base. A partir des caractéristiques minéralogiques de la zone étudiée, nous pouvons situer l'origine probable des minéraux dissous dans l'eau.

3.6.2.4. Potabilité des eaux :

D'après le diagramme de Berkaloff-schoeller, ainsi que les normes de l'OMS, les eaux de l'aquifère de Oued Biskra sont de qualité mauvaise à médiocre.

Toutefois elles sont dépourvues de métaux lourds et ne présente pas un danger lié à ce type d'éléments chimiques (Pb, Zn, Cu, Hg.....).

Quant à la qualité bactériologique, nous signalons que le réservoir est très vulnérable à ce genre de pollution d'une part, par sa nature, car il présente des zones à très hautes perméabilités, et d'autres part, par sa situation, car il traverse la ville du Nord vers le Sud. Les risques de contamination sont donc importants. Les contrôles systématiques et le traitement des eaux avant sont nécessaires, pour mettre la population à l'abri des maladies hydriques.

En général, les eaux d'Oued Biskra présentent des pôles dominants :

- sulfatés calciques et magnésien,
- chloruré sodique,

Ceci est concordant avec la lithologie et le mode d'alimentation de l'aquifère.

CHAPITRE II

Caractérisation de la qualité des eaux

CHAPITRE II - CARACTERISATION DE LA QUALITE DES EAUX

La qualité des eaux est caractérisée par des paramètres physico-chimiques et bactériologiques. Nous présentons dans ce qui suit une revue exhaustive des paramètres utilisés.

II-1. PARAMETRES PHYSIQUES :

II-1.1. Conductivité électrique :

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 à 2 cm² de surface et de distance 1cm. La détermination de la conductivité électrique peut évaluer approximativement la teneur en sels dissous (DUPONT, 1981).

Selon la réglementation française, si la conductivité est comprise entre 666 et 1000 us/cm, la minéralisation est excessive (RODIER, 1984).

II-1.2. Température :

Il est important de connaître la température de l'eau potable, car c'est le facteur le plus apprécié pour une eau de boisson, avec la clarté et le goût. Celle-ci varie avec les saisons et influe sensiblement sur les constantes d'équilibre (constante de l'association des molécules). Pour que l'eau potable soit désaltérante, sa température doit varier entre 8 et 15 °C. Cependant, son augmentation favorise le développement des micro-organismes (LEGRAND et POIRIER, 1976).

L'ébullition de l'eau (100 °C à altitude inférieure à 1000 mètres pendant au moins une minute) permet d'inactiver tous les micro-organismes pathogènes (MMWR, 1993). Des études ont démontré que les espèces bactériennes suivantes sont effectivement éliminées en moins d'une minute à 100 °C : *Compylobacter jejuni*, *Escherichia coli*, *Leginella pneumophila*, *Salmonella sp.*, *Vibrio cholerae* et *Yarsinia enterocolitica* (BANDRE et al, 1988 ; RICE et JOHNSON, 1991 ; PANTIUS, 1994).

Des protozoaires comme *Cryptosporidium parium*, *Giardia lumblia* et *Entamoeba histolytica* sont également inactivées par l'ébullition de l'eau durant au moins une minute (ANDERSON, 1985; FAYER, 1994 ; CDC ,2001).

En ce qui concerne les virus, il a été démontré que celui de l'hépatite A, considéré comme l'un des plus résistants, est également inactivé dans une eau chauffée à 100 °C pendant une minute (KURGMAN et al., 1970). Le tableau 4 montre la relation entre la température d'ébullition et la masse moléculaire de certains corps.

Corps	CH ₄	NH ₃	H ₂ O	H ₂ S	HCl
Masse moléculaire g/mol	- 16	17	18	34	36
Température d'ébullition (°C)	-161	-33	100	62	85

Tableau 7: Température d'ébullition de quelques composés (OUALI, 2001).

II-1.3. Turbidité :

La turbidité est due aux matières en suspension (argile, limon, graine de silice, matière organique, ...etc.). elle est inversement proportionnelle à la transparence.

La turbidité peut être évaluée par une valeur. (RODIER, 1984).

II-1.4. Potentiel hydrogène (pH) :

Le pH est en relation avec la concentration en ions hydrogène H⁺ présents dans l'eau (REJSECK, 2002 a) . Les eaux naturelles sont des solutions ionisées, elles peuvent être acides, basiques ou neutres. Le pH des eaux destinées à la consommation publique est un paramètre très important car il agit sur le goût et l'efficacité des procédés de traitement (coloration, coagulation, ...etc.) ainsi que sur les phénomènes de corrosion, agressivité et entartrage des canalisations (GEUJONS, 1995).

La plupart des pays n'ont pas proposé des limites particulières pour le pH des eaux d'alimentation ; on peut considérer cependant comme intervalle de pH acceptable, des valeurs comprises entre 7,00 et 8,50 et comme limites supérieures des valeurs de 6,50 et 9,00 (BERMOND et VUICHAUD, 1973).

II-2. PARAMETRES CHIMIQUES :

II-2. 1. Alcalinité :

Selon CHEVAL (1972) et GAMRASNI (1986) dans une eau naturelle, les ions responsables de l'alcalinité sont : l'ion hydroxyde (OH⁻), l'ion carbonate (CO₃⁻) et l'ion hydrogénocarbonaté (HCO₃⁻).

En chimie des eaux ont définit deux titres alcalimétriques :

- TA (Titre alcalimétrique simple) = (OH⁻) + ½ (CO₃⁻).
- TAC (Titre alcalimétrique complet) = (OH⁻) + (CO₃⁻).

Toutefois, la présence d'anhydride carbonique donne une saveur agréable à l'eau et ne présente aucun inconvénient pour la santé. Par ailleurs, il n'existe pas de normes relatives à l'alcalinité (RODIER, 1984).

II-2. 2. Dureté ou titre hydrotimétrique :

La dureté ou titre hydrotimétrique (TH) correspond à la somme des concentrations en cations de Ca^{++} et Mg^{++} à l'exception des alcalins.

Une eau est dite douce, lorsqu'elle est pauvre en ces cations et elle est dite dure lorsqu'elle en est riche (LEDLER, 1986).

Selon RODIER (1984), dans l'eau sont déterminées :

- La dureté totale (THT) correspondant à la concentration totale en Ca^{++} et en Mg^{++}
- La dureté calcique qui correspond à la teneur globale en Ca^{++} .
- La dureté magnésienne qui correspond à la teneur globale en Mg^{++} .
- La dureté permanente (THP) ou dureté non carbonatée qui exprime la teneur en Ca^{++} et Mg^{++} restant soluble après ébullition prolongée de l'eau ; elle correspond aux sulfates de Ca^{++} et Mg^{++} .

$$\text{THP} = \text{TH} - \text{THT}$$

II-2.3. Le calcium :

Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonate. Ses sels se rencontrent dans presque toutes les eaux naturelles. Leur teneur dans l'eau est directement liée à la nature géologique des terrains traversés, obtenus en majorité lors de l'attaque des roches calcaires par l'anhydride carbonique dissous (CO_2). Le calcium est l'élément principal de la dureté de l'eau, et est évalué par la méthode de spectrométrie d'absorption atomique ou par dosage titrimétrique à l'E.D.T.A (POTELON et ZYSMAN, 1998).

II-2.4. Le magnésium :

Le magnésium est aussi très répandu dans la nature, sa concentration dans l'eau est liée à la nature géologique des couches traversées. Le Mg dans l'eau provient de l'attaque par l'acide carbonique des roches magnésiennes et de la mise en solution de Mg sous forme de carbonate (MgCO_3) et de bicarbonates (Mg 2HCO_3) (POTELON et ZYSMAN K, 1998).

II-2.5. Les Chlorures :

Fréquent dans la nature, généralement sous forme de sel de sodium (Na Cl), de potassium (KCl), et de calcium (CaCl₂). L'eau contient presque toujours des chlorures mais en proportions très variables. Ainsi, les eaux provenant des régions granitiques sont pauvres en chlore alors que les eaux de régions sédimentaires en contiennent d'avantage. D'ailleurs, la teneur en chlorure augmente généralement avec le degré de minéralisation de l'eau.

Indépendamment de la nature de la formation géologique traversée, la présence des chlorures peut être attribuée aux effluents des industries chimiques, à l'exploitation des puits de pétrole, des mines de potasse, aux drainages d'irrigation...etc. (POTELON et ZYSMAN, 1998 ; MEGHZILI, 2003).

II-2.6. Les sulfates :

Les eaux naturelles contiennent pratiquement des sulfates en proportion très variables, mais ne dépassent généralement pas les grammes par litre, leur présence résulte de la solubilité du sulfate de calcium des roches gypseuses et l'oxydation des sulfures répandus dans les roches.

Une eau destinée à la consommation humaine ne doit pas contenir plus de 400 mg/l de sulfate. Mais des teneurs supérieures à 300 mg/l peuvent contribuer à la corrosion des systèmes de distribution, surtout avec les eaux faiblement alcalines (POTELON et ZYSMAN, 1998 ; MEGHZILI, 2003).

II-2.7. Le sodium :

Le sodium est un métal abondant, toujours associé à d'autres éléments chimiques. Il se trouve dans la majorité des eaux souterraines et de surface. Des teneurs anormalement élevées peuvent provenir d'apports industriels ou domestiques.

La concentration dans l'eau de boisson est normalement inférieure à 50 mg/l, mais elle peut augmenter au cours des traitements d'adoucissement (par échange d'ions) des eaux calcaires. La méthode de référence pour l'analyse est la spectrométrie d'émission de flamme et la spectrométrie d'absorption atomique (POTELON et ZYSMAN, 1998).

II-2.8. Le potassium :

Le potassium est un élément naturel des eaux, où sa concentration à peu près constante, ne dépasse habituellement pas 10 à 15 mg/l, sauf dans certains contextes géologiques particuliers où elle atteint 20 à 25 mg/l.

La méthode de référence pour l'analyse est la spectrométrie d'émission de flamme et spectrométrie d'absorption atomique (POTELON et ZYSMAN, 1998).

II-3. PARAMETRES CONCERNANT LES SUBSTANCES INDESIRABLES :

II-3.1. Les nitrates :

Les nitrates constituent le stade final d'oxydation de l'azote organique, ils sont solubles dans l'eau, se retrouvent naturellement en faible concentration dans les eaux souterraines et superficielles.

Le nitrate présent dans le sol a diverses origines ; telles que les déjections animales ou humaines stockées, ou les apports d'amendement organique. Mais, ce sont surtout les engrais et les rejets d'eaux usées qui donnent des doses importantes (POTELON et ZYSMAN, 1998 ; GROSCLAUDE, 1999).

II-3.2. Les nitrites :

Les nitrites constituent une étape importante dans la métabolisation des composés azotés, ils s'insèrent dans le cycle de l'azote entre l'ammoniaque et le nitrate. Leur présence est due, soit à l'oxydation bactérienne de l'ammoniaque, soit à la réduction des nitrates. Ils ne représentent qu'un stade intermédiaire et sont faiblement oxydés en nitrate. Leur présence dans l'eau est donc rare et en faibles quantités.

Une eau qui renferme les nitrites est considérée comme suspecte car cette présence est souvent liée à une détérioration de la qualité microbiologique (REJSEK, 2002 ; POTELON et ZYSMAN, 1998).

II-3.3. Le fer :

Le fer se retrouve de manière importante dans les eaux souterraines car c'est un élément de la croûte terrestre à raison de 4,5 à 5%. Sa présence dans l'eau dépend des conditions physiques et hydrologiques. Dans les terrains de faible perméabilité ou ceux situés dans les couches imperméables, les eaux contenant moins d'oxygène se chargent en fer. La mise en solution du fer est due à l'activité microbienne du sol qui nécessite des conditions de pH et de potentiel de l'oxydo- réduction particulières.

Il existe deux types de méthodes de dosage de fer : celle par absorption atomique, et celle par spectrophotométrie (REJSEK, 2002).

Les limites de potabilité sont basées sur les effets esthétiques, (sur le seuil gustatif). C'est pour cela qu'il ne doit pas dépasser 0,3 mg/l d'eau destinée à la consommation humaine (POTELON et ZYSMAN, 1998).

II-3.4. Le Phosphore :

Le phosphore existe sous forme minérale ou organique. Les formes chimiques sous lesquelles se rencontre le phosphore dépendent de l'acidité du milieu. Dans les eaux naturelles, de pH compris

entre 5 et 8, seules les formes H_2PO_4^- et HPO_4^{2-} existent en quantités appréciables dans les eaux de surface. La teneur naturelle en phosphate ou ortho phosphate est de l'ordre de 0,1 à 0,3 mg/l. La présence de phosphore dans les eaux souterraines est généralement un indice de pollution. Les méthodes de référence pour l'analyse sont : le dosage du phosphore total par spectrophotométrie après formation d'un complexe ou par chromatographie ionique (POTELON et ZYSMAN, 1998).

II-3.5. L'Ammonium :

L'ammonium est souvent rencontré dans les eaux et traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique. Il constitue un des maillons du cycle de l'azote. L'ammoniac est un gaz soluble dans l'eau, mais suivant les conditions de pH, il se transforme soit en composé non combiné, soit sous forme ionisée.

Les eaux souterraines sont pauvres en azote ammoniacal. Mais des eaux issues de sols riches en substances humiques ou riches en fer peuvent présenter des teneurs de l'ordre de 1 à 3 mg/l. La présence d'azote ammoniacal en quantités relativement importantes peut être l'indice d'une pollution par des rejets d'origine humaine ou industrielle.

Les méthodes de référence pour l'analyse sont le dosage par acidimétrie après distillation ou bien par spectrophotométrie (au bleu d'indo phénol ou au réactif de Nessler) (POTELON. et ZYSMAN, 1998).

II-3.6. Le bore :

Le bore n'existe jamais dans la nature à l'état élémentaire, mais sous différentes formes : borate de sodium, borate de calcium, acide borique, borate et poly borates, dans des dépôts minéraux et les eaux naturelles. Le bore n'apparaît qu'exceptionnellement dans les eaux de distribution, mais plus fréquemment dans les eaux résiduaires.

Le bore est mesuré par méthode de spectrométrie d'absorption moléculaire. Selon l'O.M.S, des quantités de l'ordre du mg/l dans l'eau ne semblent pas présenter d'inconvénient pour la santé humaine (POTELON. et ZYSMAN, 1998).

II-3.7. L'aluminium :

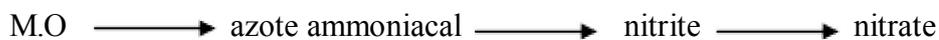
Sa présence est due au traitement de l'eau par des sels d'aluminium comme agent de coagulation pour éliminer la couleur et la turbidité. Il ne représente aucun inconvénient pour l'organisme humain à des concentrations inférieures à 0.2 mg/l (POTELON. et ZYSMAN, 1998 ; ANONYME a, 2007).

II-3.8. Le fluor :

Le fluor n'existe pas à l'état libre mais sous forme de fluorure en association avec d'autres éléments. Les fluorures peuvent atteindre parfois 10 mg/l et exceptionnellement 100 mg/l dans les eaux profondes (ANONYME a, 2007).

II-3.9. Les matières organiques :

Les matières organiques dérivent du lessivage des sols, des métabolismes des organismes vivants (végétaux, animaux, microorganismes) et des activités humaines (rejets agricoles, urbains et industriels). Au delà d'une certaine concentration, elles confèrent à l'eau un goût désagréable. Leur dégradation se traduit généralement par la formation d'éléments tout aussi recherchés et surveillés selon le cycle d'oxydation suivant :



Les eaux souterraines sont généralement très faiblement chargées, de l'ordre du mg/l d'oxygène (ANONYME a, 2007 ; POTELON et ZYSMAN, 1998).

II-4. PARAMETRES CONCERNANT LES SUBSTANCES TOXIQUES :

Des substances présentes dans l'eau et dans la terre sont des éléments nécessaires à la vie des plantes et des animaux. Ils jouent un rôle important dans la transformation de la matière. Au-delà du seuil maximum, ils inhibent la croissance et deviennent toxiques.

En toxicologie, ils peuvent être définis comme des métaux à caractère cumulatif (souvent dans les tissus graisseux), ayant essentiellement des effets très néfastes sur les organismes vivants (GUEMAZ, 2006).

Selon les normes ISO les valeurs de concentrations des substances toxiques doivent être inférieures ou égales aux valeurs suivantes :

Argent.....	0, 05 mg/l
Arsenic.....	0, 05 mg/l
Baryum.....	1 mg/l
Cadmium	0, 01 mg/l
Chrome total.....	0, 05 mg/l
Cuivre.....	1,5 mg/l
Cyanures.....	0,05 mg/l
Hydrocarbures polycycliques aromatiques.....	0, 2 µg/l
Mercure.....	0, 001 mg/l
Plomb.....	0, 05 mg/l
Sélénium.....	0, 01 mg/l

II-5. PARAMETRES MICROBIOLOGIQUES :

Les micro-organismes rencontrés dans l'eau naturelle sont de trois types : des germes typiquement aquatiques, des germes telluriques, et des germes de contamination humaine ou animale.

Les germes typiquement aquatiques sont des algues microscopiques et des bactéries. Les bactéries appartiennent le plus souvent aux genres *Vibrion*, *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Chromobacterium*, mais aussi d'autres genres, à moins d'intérêt, tels que *Spirillum*, *Crenothrix*, *Sphaerotilus*, *Garllionella* ...etc. (Bactéries de la corrosion poussant mal sur les milieux de culture ordinaires).

Les germes aquatiques sont présents dans les nappes et peuvent contaminer les réseaux d'adduction.

Les germes telluriques rencontrés dans l'eau sont des bactéries sporulées (*Bacillus*, *Clostridium*) ou appartenant aux germes Streptomyces et quelques fois les spores fongiques. Ils sont présents parfois dans les nappes et peuvent aussi contaminer les réseaux en mauvais états.

Les germes de pollution humaine ou animale sont souvent pathogènes et essentiellement d'origine intestinale, il s'agit d'Entérobactéries (*Escherichia*, *Coliformes*, *Salmonella*, *Shigella*) de Streptocoques fécaux, de *Clostridium perfringens*, de *Vibrio cholerae* (GUIRAUD, 1998).

II-6. NORMES ET EXIGENCES DE QUALITE :

L'eau potable doit obéir aux normes définies par la réglementation nationale. Si un des paramètres dépasse les concentrations limites autorisées, il y a absence de conformité aux normes établies. Mais si on est en présence d'un faible dépassement limité dans le temps et en absence de pollution accidentelle importante, le dépassement de la norme ne doit pas être systématiquement considéré comme introduisant un risque significatif pour la population. (Rodier J, 1998).

Dans le tableau suivant sont présentées les normes de potabilité des eaux de boisson. Elles sont inspirées des normes ISO.

Paramètres	Unités	Niveau guide	Concentration maximale admissible
Paramètres organoleptiques			
Odeur	Seuil de perception à 25 °C	0	4
Saveur	Seuil de perception à 25°C°	0	4
Couleur	mg / l échelle Pt / Co	-	25
Turbidité	NTU	1	5
Paramètres physico-chimiques			
PH	-	6,5 à 8,5	-
Conductivité	µs / cm à 20 °C	-	2 800
Résidu sec	mg / l après séchage à 105 °C	-	2 000
Dureté totale	mg / l CaCo3	100	500
Calcium	mg / l	75	200
Magnésium	mg / l	-	150
Sodium	mg / l	-	200
Potassium	mg / l	-	20
Sulfate	mg / l	200	400
Chlorure	mg / l	200	500
Nitrate	mg / l	-	50
Nitrite	mg / l	-	0,1
Ammonium	mg / l	0,05	0,5
Phosphate	mg / l	-	0,5
Bore	mg / l	-	1
Matière organique	mg / l	-	3
Oxygène dissous	mg / l	5	8
Aluminium	mg / l	-	0.2
Résidu sec	mg / l	-	2000

Tableau 8: Normes algériennes de potabilité des eaux de consommation (6360 -1992)

Dans le tableau suivant sont présentées les normes ISO pour la qualité bactériologique des eaux de boisson.

Paramètres	Unités	Niveau guide	Concentration max. admissible
Germes totaux	Nombre / 1ml	-	20
Coliformes totaux	Nombre / 100 ml	-	10
Coliformes fécaux	Nombre / 100 ml	-	0
Clostridium sulfito-Réducteur	Nombre / 20 ml	-	0
Stréptocoques fécaux	Nombre / 100 ml	-	0

Tableau 9 : Qualité bactériologique des eaux destinées à la consommation humaine selon les normes ISO.

Conclusion à la première partie

La région de Biskra se trouve dans une zone de transition, au nord les formations plissées du crétacé, au sud l'ouverture sur les plaines sahariennes. Le contraste entre ces deux domaines est limité par l'accident sud atlassique, ensemble de failles, d'orientation générale NE-SW.

Nous retenons pour notre cas, d'une part les formations calcaires fissurées du Sénonien dans la région de Drou et d'autre part les dépôts alluvionnaires du Quaternaire de Oued Biskra.

Nous avons donc deux milieux totalement différents ; un milieu fissuré et un milieu poreux. Ces aspects vont influencer sur l'écoulement souterrain et sur la chimie des eaux. En effet dans le milieu poreux, la vitesse d'écoulement étant plus faible, le temps de contact des eaux avec les roches sera beaucoup plus grand, ce qui favorisera les échanges de base et le lessivage.

D'autre part, du point de vue lithologique, les différences sont aussi importantes. Dans les dépôts de l'oued, on a relevé la présence de gypse, minéral dont la solubilité est beaucoup plus grande que celle du calcaire. Les propriétés chimiques des eaux en seront donc affectées.

A partir des paramètres de caractérisation des eaux, présentés dans le deuxième chapitre, nous choisirons ceux que l'on utilisera pour l'étude comparative.

Quant à la qualité bactériologique, les réservoirs souterrains sont naturellement protégés. Les risques de contamination ne concernent que les aquifères libres, tel l'inféflux de oued biskra. En outre, une contamination est possible au cours du transfert ou du stockage de l'eau.

Introduction à la deuxième partie

Nous avons passé en revue dans la première partie les contextes géologique, hydrogéologique et hydrochimique des réservoirs souterrains étudiés ainsi que les méthodes de caractérisation de la qualité des eaux destinées à la consommation, en indiquant les normes prescrites en la matière.

Le faciès chimique des eaux étant lié aux conditions de gisement des nappes, notamment géochimiques, il est évident que cela ressortira d'une manière claire sur leurs propriétés physico-chimiques ; d'une part des eaux sulfatées et chlorurées de la nappe de Oued Biskra, et d'autre part des eaux calciques de la nappe carbonatée de Droh.

Notre apport dans cette deuxième partie est de mettre en évidence en premier lieu ces singularités par des analyses systématiques des eaux de plusieurs forages, puis d'effectuer des mélanges entre les eaux des deux aquifères, les analyser et recommander la solution optimale.

Dans cette optique nous procéderons successivement par :

- Des analyses sur les différents échantillons prélevés des deux aquifères, celui de Oued Biskra et celui de Droh, en détaillant les méthodes, équipements et réactifs utilisés.
- Les résultats obtenus sont interprétés et comparés à ceux d'anciennes analyses, en soulignant les éventuelles variations observées.
- Des mélanges, à différents pourcentages, testés entre les eaux des deux aquifères en vue d'améliorer la qualité des eaux distribuées.
- Les choix définitifs des mélanges d'eau adoptés en ayant en souci aussi bien la qualité requise que la quantité suffisante pour subvenir aux besoins en eau potables des populations.

CHAPITRE III

Analyses des eaux

Chapitre III – ANALYSES DES EAUX

III-1. Matériel utilisé

III-1. 1. Sur terrain ;

- Glacière
- Des flacons
- Pistolet à flamme
- Multi paramètres

III-1.2. Au laboratoire

a. Laboratoire physico-chimique

- Spectrophotomètre
- Pipettes
- Des béchers
- Des fioles
- Burettes

b. Laboratoire de microbiologie

- Etuve
- Autoclave
- Bain marie
- Rampe de filtration
- Bec benzène
- Des boites de pétries
- Des tubes à essais
- Des membranes de filtration

III-2. Méthodes d'échantillonnage :

Le prélèvement de l'échantillon d'eau est une opération délicate, l'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau. (RODIER, 1998).

Les prélèvements sont manuels, les échantillons sont prélevés dans des flacons en verre ou en polyéthylène, selon l'élément à analyser.

- Pour analyser les éléments minéraux on a utilisé : 01 flacon d'un litre en polyéthylène, 01 flacon de 250 ml en verre blanc et 01 flacon de 250 ml en verre brun. Ces flacons ont été traités à l'acide chlorhydrique (50%), rincés avec de l'eau du robinet puis avec de l'eau distillée, égouttés, fermés sans être séchés.
- Au moment du prélèvement de l'échantillon, les flacons doivent être rincés avec de l'eau du forage, puis remplis jusqu'au bord.
- Pour les analyses bactériologiques, on a utilisé des flacons en verre blanc de 250 ml, stérilisés dans l'autoclave à 120 C° pendant 30 min .Au moment du prélèvement de l'échantillon, il est nécessaire de flamber le robinet lié à la pompe du forage avec un pistolet à flamme avant de l'ouvrir avec un maximum de débit pour éliminer l'eau stagnante. Ensuite les flacons sont remplis rapidement mais pas jusqu'au bord, et cela pour permettre une meilleure homogénéisation de l'échantillon.
- Après le prélèvement, les échantillons sont transportés dans une glacière à une température de 4C°, en évitant le maximum de contact avec la lumière.
- Les analyses doivent être réalisées le plus vite possible, chaque flacon doit porter un code qui lui sera attribué par rapport au forage dont il a été prélevé, ainsi que la date de prélèvement, pour éviter toute confusion avec les autres échantillons.
- Les analyses électrochimiques sont réalisées sur place à l'aide d'un multi paramètres.
- Les analyses physico-chimiques et bactériologiques ont été effectuées au niveau du laboratoire de l'Algérienne des Eaux (A.D.E.) de la willaya de Biskra.

III-3. Points de prélèvement

Les prélèvements d'eau sont effectués au niveau de 14 forages, captant les deux nappes concernées par l'étude, celle d'inféro-flux de Oued Biskra et celle des calcaires de Droh, comme indiqué dans le tableau suivant :

Forages de Oued Biskra	Forages de DROH
B5 BIS	F1 DROH
SIF 5	F2 DROH
F1	F4 DROH
F3	F6 DROH
F4	F7 DROH
SI F4	F8 DROH
SIF 6 BIS	F9 DROH

Tableau 10 : Les points de prélèvement

III-4. Méthodes d'analyse :

Les méthodes d'analyses utilisées pour le dosage des paramètres physico-chimiques et bactériologiques sont variées et diverses. La majorité est effectuée par spectrophotométrie pour les paramètres physico-chimiques énumérés dans les tableaux (8) et (9).

III.4.1. Détermination des paramètres physico-chimiques :

Paramètres à analyser	méthodes	Références
Azote ammoniacal NH ₄	Spectrophotométrie $\lambda = 655\text{nm}$	ISO 7150/1-1984 (F)
Nitrites NO ₂	Spectrométrie d'absorption moléculaire à la sulfanilamide $\lambda = 543\text{ nm}$	ISO 5667
Nitrates NO ₃	Spectrométrie au salicylate de sodium $\lambda = 420\text{nm}$	NF-T90-012
phosphate	spectrophotométrie au molybdate d'ammonium	ISO 6878
Fer	spectrophotométrie à la phénanthroline	(ISO 6332 1988 F)
Sulfate	spectrophotomètre UV visible. $\lambda = 420\text{nm}$	(une méthode Allemande)
Dureté totale	Méthode titrimétrique à EDTA	ISO 6058
Alcalinité	Méthode titrimétrique à l'acide chlorhydrique	NFT 0-036
Matières organiques	l'oxydabilité au permanganate de potassium (KMnO ₄) en milieu acide	NF-T90-050
Chlorures	Méthode de MOHR	ISO -9297
Résidus secs	Evaporation à 105 °C	NA 6356

Tableau 11 : Méthodes utilisées pour la détermination des paramètres physico-chimiques

III.4.1. 1. Analyses électrochimiques :

Pour toutes les analyses électrochimiques (pH, TDS, Salinité, conductivité, température), nous avons utilisé un multiparamètre de type « Meters SENION 156 (HACH) ». Cet appareil doit être étalonné avant chaque prise d'essai à l'aide de deux solutions étalons (pH 4 et pH 9), l'ensemble est constitué par l'électrode de verre et l'électrode au calomel. Les valeurs peuvent être lues directement sur l'appareil après l'avoir ajusté pour chaque paramètre.

Le multiparamètre comporte un affichage numérique personnalisable, permettant l'affichage simultané de l'application de laboratoire ; la salinité, les acides, les bases et d'autres échantillons aqueux peuvent être facilement analysés avec des sondes spécifiques de conductivité, de plus il possède toutes les caractéristiques d'un simple pH mètre : une fonction millivolt, conception étanche, un support d'électrode, un design ergonomique et une reconnaissance automatique de solution tampon en mode pH où il permet l'affichage simultané de la température et du pH.

III.4.1. 2. Analyses volumétriques :

a) L'alcalinité

L'analyse de l'alcalinité est basée sur le principe de la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué en présence d'un indicateur coloré.

Puisque tous nos échantillons ont un $\text{pH} < 8,3$, ce qui correspond à un $\text{TA}=0$ (cas des eaux naturelles), nous avons mesuré que le TAC, en titrant l'eau à analyser (100 ml) additionnée de deux gouttes de méthyle orange avec l'acide chlorhydrique jusqu'à coloration jaune orange.

Donc la concentration de bicarbonate $[\text{HCO}_3] = \frac{\text{VH}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CH}_2\text{SO}_4}{\text{MHCO}_3} \cdot \text{PE}$

$$[\text{HCO}_3] = \frac{\text{VH}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CH}_2\text{SO}_4}{\text{MHCO}_3} \cdot \text{PE}$$

VH_2SO_4 : volume nécessaire de H_2SO_4 pour une concentration donnée.

CH_2SO_4 : concentration molaire de H_2SO_4 (0.1M)

MHCO_3 : masse molaire de bicarbonates (g).

PE : prise d'essai.

b) La dureté totale

Procéder au titrage molaire des ions calcium et magnésium avec l'EDTA à pH = 10 (à cette valeur le complexe EDTA-Mg est plus stable). L'utilisation aussi du noir eriochrome T(NET) qui donne une couleur rouge foncée ou violette en présence des ions Ca^{++} et Mg^{++} .

La somme des concentrations en Ca^+ et Mg^+ a été dosée par complexométrie dans un échantillon d'eau de (50ml) en présence de (2ml) de NH_4OH et de deux gouttes de NET, puis titrage avec l'EDTA jusqu'au virage de la couleur vers le bleu.

$$\text{Ca}^+ = \text{VEDTA1} \cdot 40,08$$

$$\text{TH} = \text{VEDTA2} \cdot 100$$

$$\text{Mg}^+ = (\text{VEDTA2} - \text{VEDTA1}) \cdot 24,32$$

c) Détermination de la matière organique :

Mesure en milieu acide de la quantité d'oxygène utilisée pour la réduction de permanganate de potassium par les matières oxydables contenues dans une eau (RODIER, 1998).

La détermination des matières organiques a été réalisée par l'oxydabilité au permanganate de potassium (KMnO_4) en milieu acide, l'analyse est faite de la manière suivante :

Prendre 25 ml d'eau à analyser, ajout de 5ml d'acide sulfurique d'une concentration de 2,2 mol/l, puis homogénéiser et porter à l'ébullition douce, ajouter 5 ml de KMnO_4 à 2 m mol/l + 5ml $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_2$ à 5 m mol/l, en fin titrage après décoloration avec KMnO_4 à 2 m mol/l jusqu'à apparition d'une coloration rose.

$$[\text{MO}] = (\text{Ve} - \text{Vb}) / \text{Vt} \cdot 16$$

Ve : Volume de KMnO_4 nécessaire pour la coloration.

Vb : Volume du blanc 0,1ml.

Vt : Volume du titre.

16 : Constante (mg/l) d' O_2

d) Mesure du chlorure :

La méthode utilisée est celle de MOHR. Les ions chlorures réagissent quantitativement avec le nitrate d'argent avec formation de chlorure d'argent, qui est très peu soluble. On utilise le chromate de potassium K_2CrO_4 comme indicateur coloré (TRADAT-HENRY et BEAUDRY, 1984).

On titre l'échantillon (5ml) additionné de chromate de potassium (K_2CrO_4) (2 gouttes) avec le nitrate d'argent à 0,01N jusqu'à obtenir une coloration brune rougeâtre.

La concentration de chlorure sera calculée selon l'équation suivante :

$$[Cl] = V_{AgNO_3} * C_{AgNO_3} * F * M_{Cl} / PE$$
$$= V_{AgNO_3} * F * 71 \text{ (mg / l)}$$

V_{AgNO_3} : volume de $AgNO_3$ nécessaire pour une concentration donnée.

C_{AgNO_3} : concentration molaire de $AgNO_3$ (0, 01M)

PE : prise d'essai

F : facteur de concentration de titre d' $AgNO_3 = 1/ V_{AgNO_3}$

MCl: masse molaire du chlorure (g)

III.4.1. 3. Analyses spectrophotométriques :

Il est essentiel d'étalonner le spectrophotomètre pour chaque paramètre étudié.

a) Dosage de l'ammonium

La réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitrosopentacyanoferrate (III) de sodium, donne une coloration verte qui indique la présence de l'ammonium.

On ajoute à 40 ml de l'échantillon un réactif de dichloroisocyanurate de sodium (4ml) et un réactif coloré (4 ml), l'apparition de la coloration verdâtre nous indique la présence de NH_4^+ . Puis on passe à la lecture dans le spectrophotomètre à 655 nm.

b) Détermination des sulfates :

Les ions sulfates sont précipités et passés à l'état de sulfate de Baryum en présence de BaCl₂.

Prendre 20 ml d'eau à analyser puis compléter à 100ml avec de l'eau distillée, ensuite ajouter 5 ml de solution stabilisante et 02 ml de chlorure de Baryum, agiter énergiquement pendant 1 min, puis passer l'échantillon au spectrophotomètre à $\lambda = 420 \text{ nm}$.

c) Détermination des nitrates :

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosalicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage calorimétrique.

Prendre 10 ml d'eau à analyser, l'alcaliniser faiblement avec NaOH 30%, lui ajouter 1 ml de salicylate de sodium, puis évaporer à sec au bain marie à $75 \text{ C}^\circ - 80 \text{ C}^\circ$, ensuite laisser refroidir puis reprendre le résidu avec 2 ml de H₂SO₄ Ensuite il faut attendre 10 min pour ajouter 15 ml d'eau distillée et 15ml de tartrate double de sodium et de potassium. Puis faire passer au spectrophotomètre.

d) Détermination des nitrites :

Les nitrites réagissent avec de la sulfanilamide pour former un composé diazoïque, qui après copulation avec le N-1-Naphtylethylènediamine dichloride donne naissance à une coloration rose.

Prendre dans une fiole 50 ml d'eau à analyser, ajouter 1 ml du réactif coloré (mixte) et attendre 10 min avant d'effectuer une lecture au spectrophotomètre à 543 nm. L'apparition de la couleur rose indique la présence de NO₂.

e) Détermination des phosphates :

La réaction des ions orthophosphate avec une solution acide contenant des ions molybdate antimoine, forme un complexe d'antimonyl-phosphomolybdate, puis réduction de ce complexe par l'acide ascorbique pour former un complexe de bleu de molybdène de couleur vive (ANONYME, 2005).

Prendre dans une fiole 40 ml d'eau à analyser, puis ajouter 1 ml d'acide ascorbique et 2 ml du réactif mixte. Attendre 10 min avant de passer l'échantillon au spectrophotomètre. L'apparition de la coloration bleue indique la présence de PO₄-3

f) Détermination du fer :

Le complexe fer - phénanthroline 1,10 est stable dans l'intervalle de pH 2.5 à 9. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité du fer présent.

Introduire 50 ml d'échantillon dans une fiole de 100 ml, ajouter 1 ml de solution de chlorhydrate d'hydroxylamine, puis ajouter 2 ml de tampon acétate et 2ml de solution phénanthroline 1,10. Conserver l'échantillon à l'obscurité pendant 15 min avant de le passer au spectrophotomètre. L'apparition de la coloration orange indique la présence de fer.

III.4.2. Détermination des paramètres microbiologiques

Paramètres à analyser	Méthodes	Références
Germes totaux	Comptage des colonies par incubation dans un milieu de culture gélosé	NF-T 90-413
Coliformes totaux et fécaux	Filtration sur membrane	ISO 9308-1
clostridiiums sulfitoréducteurs	Incorporation en gélose en tubes profonds	ISO 6222
streptocoques fécaux	ensemencement en milieu liquide « détermination du	ISO 7899/1

Tableau 12 : Méthodes utilisées pour les mesures des paramètres bactériologiques

a) Dénombrement des germes totaux :

Les germes totaux dit revivifiants sont la totalité des bactéries, levures et moisissures aérobies, capables de former des colonies dans ou sur un milieu de culture.

Effectuer un ensemencement par étalement en surface dans une boîte de pétrie d'un milieu de culture nutritif gélosé (TGEA), puis ajouter un volume de 01 ml d'échantillon et des dilutions de (10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4}), puis les incuber à 37 C° dans une étuve pendant 24 h et 48 h pour la lecture finale.

Après incubation, compter les colonies présentes dans ou sur chaque boîte avec grossissement et à l'aide d'un dispositif de comptage. Pour avoir le nombre des germes totaux par ml, on multiplie le nombre de colonies par 10.

b) Dénombrement des coliformes totaux et fécaux:

Le dénombrement est fait par filtration d'une prise d'essai homogénéisée sur membrane stérile qui retient les microorganismes, et transfert de cette membrane sur un milieu de culture sélectif de gélose endo, puis incubation durant 24 h à 37 C° (pour les coliformes totaux) et à 44 C° (pour les coliformes fécaux). Pour finir, un comptage direct des colonies caractéristiques formées sur la membrane (ANONYME, 2005).

Pour les coliformes :

Repiquage des colonies dans des tubes à essai contenant VBL (bouillon lactose au vert brillant), ensuite incubation à 37 C° pendant 48h. Le test est positif si le milieu devient trouble avec production de gaz.

Pour les thermo tolérants :

Repiquage des colonies dans des tubes contenant du Schober (eau peptonée lactosée + eau tryptonée), ensuite incubation à 44C° pendant 24h. La production de gaz dans l'eau peptonée lactosée confirme la présence d'organismes coliformes thermotolérants, l'apparition d'une coloration rouge sur la surface de la culture « eau tryptonée » après addition de 0,2 ml à 0,3 ml du réactif de KOVACS confirme la présence d'E.coli. Les résultats sont donnés en nombre de germes par 100ml (RODIER, 1998).

c) Recherche et dénombrement des clostridium sulfitoréducteurs :

La méthode utilisée est une méthode générale par incorporation en gélose en tubes profonds.

La détection et le dénombrement des spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices consiste à l'incorporation d'un échantillon d'eau (20ml) après destruction des formes végétatives des bactéries par chauffage au bain marie dans un milieu de culture de gélose viande foie, contenant du sulfite de sodium et des sels de fer. Incubation à 37 C° pendant 24h et 48h après l'ajout de 2 gouttes de vaseline. Dénombrement des bactéries entourées d'un halo noir.

d) Dénombrement des streptocoques fécaux :

Le test présomptif est effectué sur le milieu Roth qui contient une certaine quantité de l'acide de sodium, la lecture se fait après incubation à 37 C° pendant 48 h.

Le test confirmatif sur les tubes troubles est effectué sur le bouillon de E.V.A. (LISTKY) nettement plus inhibiteur avec une concentration plus forte en acide de sodium et la présence d'éthyle violet, qui ne laisse passer que les streptocoques fécaux, ensuite incubation à 37 C° pendant 24 h. Les tubes présentant un trouble avec l'apparition d'une pastille blanche au fond, confirment la présence des streptocoques fécaux. On note le nombre des tubes positifs dans chaque série et on se reporte au tableau NPP pour obtenir le nombre de streptocoques fécaux présent dans 100ml d'eau (AONYME, 2005 méthodes analytiques réalisées au laboratoire, ainsi que la méthode suivie pour le prélèvement des échantillons.

Les résultats de toutes les analyses effectuées sont résumés dans les tableaux (11a, 11b) et 12 du chapitre IV.

CHAPITRE IV

Etude comparative de la qualité des eaux

CHAPITRE IV- ETUDE COMPARATIVE DE LA QUALITE DES EAUX

IV- 1. Résultats des analyses :

Les résultats de toutes les analyses effectuées sont résumés dans les tableaux 11 et 12.

Nous avons six échantillons retenus pour l'interprétation :

Echantillon I : Eau pure des forages de Droh

Echantillon II : Eau pure des forages de O. Biskra

Echantillon III : Mélange 50% de Droh + 50% de O. Biskra

Echantillon IV : 1/3 de Droh + 2/3 de O. Biskra

Echantillon V : 2/3 de Droh + 1/3 de O. Biskra

Echantillon VI : Mélange réel, i.e. l'eau réellement distribuée (contenue dans le réservoir)

	% DES MELANGES	ELECTROCHIMIE				
		T °c	pH	C.E.	SA	TDS
Ech. I	100% DROH	15,9	7,32	917	0,5	442
Ech. II	100% O. BIS.	16	7,64	2780	1,5	1418
Ech. III	1/2 DROH + 1/2 O. BIS.	15	7,39	1449	0,7	729
Ech. IV	1/3 DROH + 2/3 O. BIS.	16	7,51	1695	0,9	848
Ech. V	2/3 DROH + 1/3 O. BIS.	16	7,26	1258	0,6	618
Ech. VI	MELANGE REEL	17	7,41	1660	0,8	756

Tableau 11 a : Résultats des analyses physico-chimiques des eaux des forages

(Electrochimie)

	MINERALISATION							Cl ⁻	R. Sec
	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	TAC	M.O.	TH	Ca ²⁺	Mg ²⁺		
Ech. I	48	1,64	172	0	650	140	73	110	948
Ech. II	132	2,31	234	0	743	173	83	698	1450
Ech. III	90,3	3,4	176	0	750	168	80	302	1289
Ech. IV	67	3,2	129	0	780	172	85	378	1469
Ech. V	50	2,6	176	0	700	160	73	227	1106
Ech. VI	86	3,1	220	0	750	168	80	252	1310

Tableau 11 b : Résultats des analyses physico-chimiques des eaux des forages

(Minéralisation)

Lieu de prélèvement	Date de prélèvement	Cl ₂ mg/l	Date de lecture	Paramètres bactériologique					Observation
				C.T	E.C	S.F	A.S.R	G.T	
F1 DROH	20/01/2013	0	20/01/2013	00	00	00	00	04	B.Q.BACTERIOLOGIE
F2 DROH	20/01/2013	0	20/01/2013	00	00	00	00	05	B.Q.BACTERIOLOGIE
F4 DROH	20/01/2013	0	20/01/2013	00	00	00	00	02	B.Q.BACTERIOLOGIE
F4 DROH	20/01/2013	0	20/01/2013	00	00	00	00	10	B.Q.BACTERIOLOGIE
F3 DROH	20/01/2013	0	20/01/2013	00	00	00	00	07	B.Q.BACTERIOLOGIE
F5 DROH	20/01/2013	0	20/01/2013	00	00	00	00	01	B.Q.BACTERIOLOGIE
F6 DROH	20/01/2013	0	20/01/2013	00	00	00	00	04	B.Q.BACTERIOLOGIE
F8 DROH	20/01/2013	0	20/01/2013	00	00	00	00	04	B.Q.BACTERIOLOGIE
F9 DROH	20/01/2013	0	20/01/2013	00	00	00	00	01	B.Q.BACTERIOLOGIE
R RODARI	20/01/2013	1	20/01/2013	00	00	00	00	02	B.Q.BACTERIOLOGIE

Tableau 12 : Résultats des analyses bactériologiques des eaux des forages

IV- 2. Interprétation des résultats :

On représentera les résultats des analyses sous forme d'histogrammes pour bien visualiser les différences entre les différents échantillons. Les paramètres retenus pour les graphes sont : la conductivité électrique, les sulfates, le calcium, le magnésium, le chlore et le résidu sec. Les résultats transcrits sous forme d'histogrammes, montrent bien les écarts entre les valeurs des paramètres choisis pour la comparaison entre les échantillons des deux nappes et les mélanges effectués.

IV-2.1. Variation de la conductivité

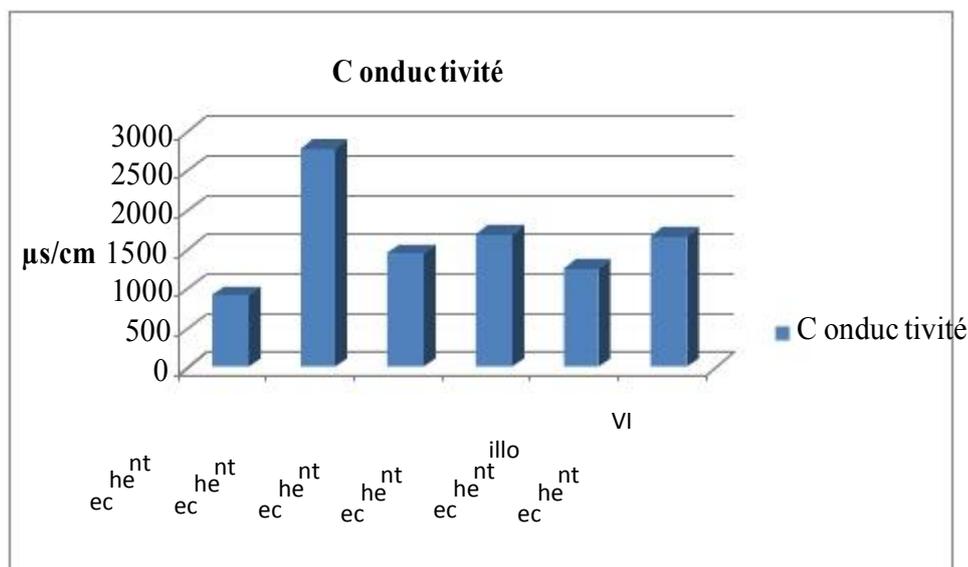


Figure 17 : Variation de la conductivité dans les échantillons

La valeur de la conductivité électrique la plus élevée est observée au niveau de l'eau de Oued Biskra. Ce qui indique qu'elle est très chargée. Ceci est du à la nature de la nappe dont l'écoulement se fait dans les alluvions, avec présence de Gypse. La vitesse d'écoulement est plus faible que dans le milieu fissuré de la nappe de Droh. Les échanges entre l'eau et les roches

IV-2.3. Variation du calcium :

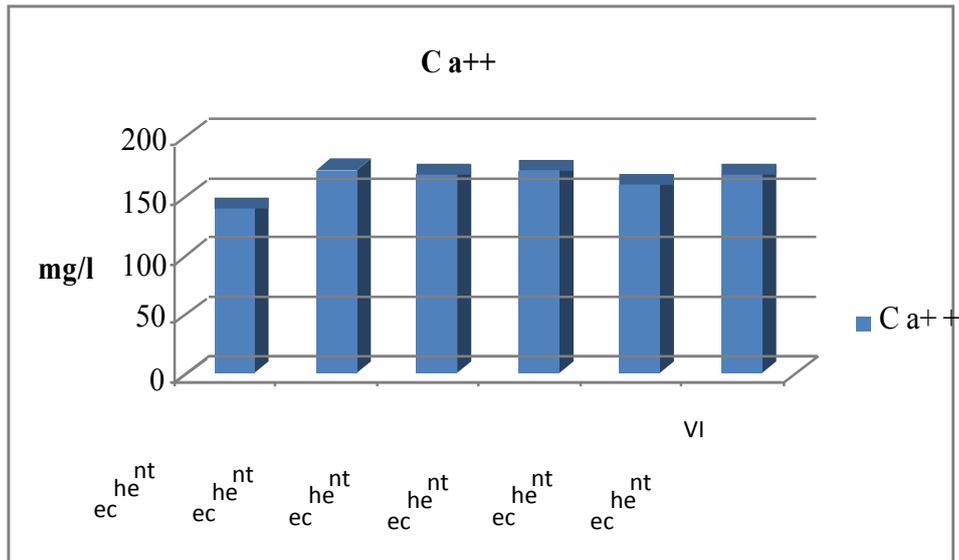


Figure 19 : Variation de la concentration en calcium dans les échantillons

Les valeurs de concentrations du calcium sont presque proches. Le calcium est présent dans les deux nappes.

IV-2.5. Variation du magnésium :

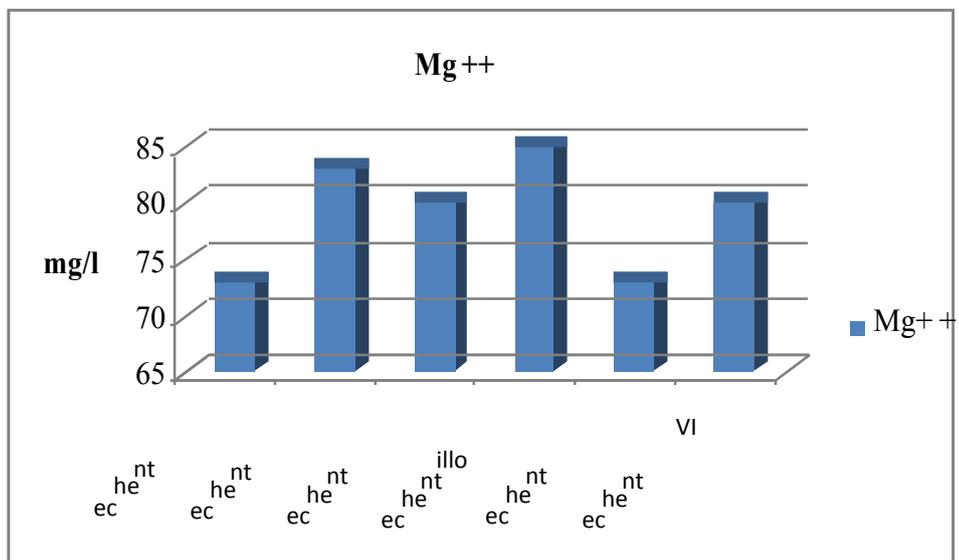


Figure 20 : Variation de la concentration en magnésium dans les échantillons

Pour le magnésium, les concentrations de l'échantillon IV sont les plus élevées. Le magnésium est généralement dû à la présence de roches dolomitiques souvent associées aux calcaires.

IV-2.6. Variation des chlorures :

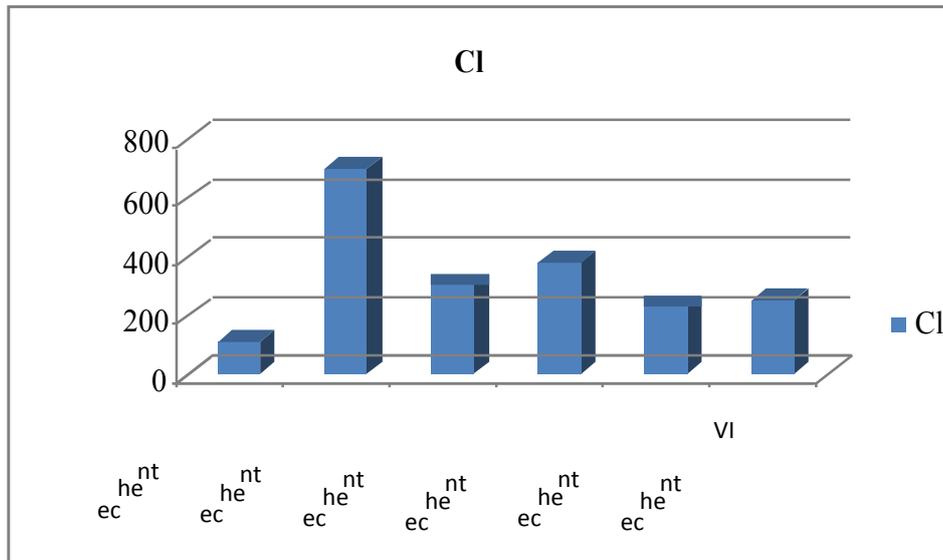


Figure 2 1 : Variation de la concentration en chlorure dans les échantillons

On remarque d'emblée un pic au niveau de l'eau de Oued Biskra. Ceci est dû au lessivage des terrains salifères de la région de l'Outaya.

IV-2.7. Variation du résidu sec :

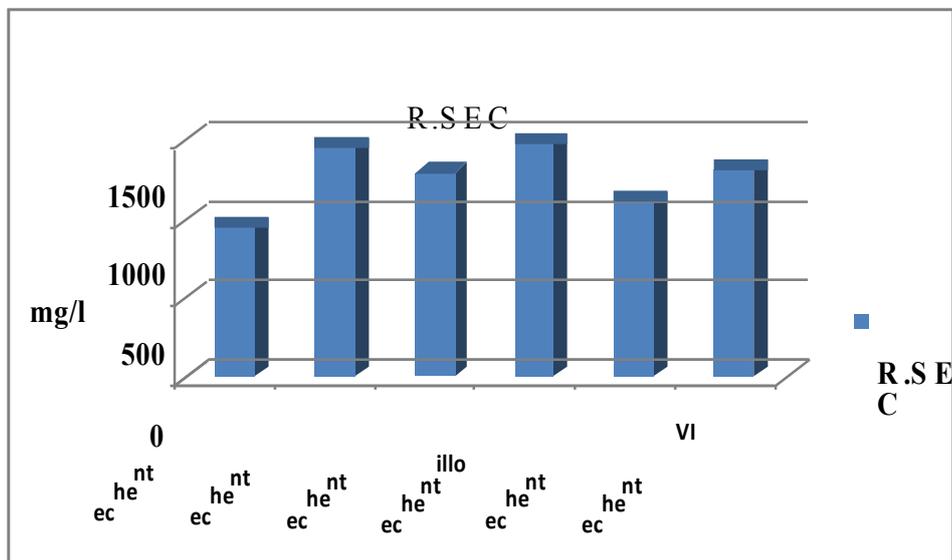


Figure 22 : Variation de la concentration en résidu sec dans les échantillons

Les concentrations en résidu sec concordent avec les résultats précédents. On remarque les plus fortes valeurs pour les eaux de l'oued Biskra et pour l'échantillon IV (2/3 Oued Biskra + 1/3 de Droh). La norme est de 2000 mg/l.

La comparaison entre les mélanges utilisés permet de déduire ce qui suit :

- Les eaux de la nappe d'Oued Biskra présentent des excès en chlorures et en sulfates, expliqués par les conditions de gisement de la nappe et la nature de l'écoulement.
- Le résidu sec est plus élevé pour la nappe d'inféro flux.
- La conductivité électrique est très forte, proche des valeurs maximales admises.
- Le calcium et le magnésium sont aussi élevés au niveau de l'échantillon de oued Biskra, mais en dessous des normes.
- Le mélange réel, ie l'eau distribuée est proche de l'échantillon III (1/2 Oued Biskra + 1/2 Droh)

Conclusion à la deuxième partie

Nous avons effectué dans la deuxième partie les analyses physico chimiques et bactériologiques des eaux étudiées ; celles de l'inféro flux de Oued Biskra et celles de la nappe de Droh, en détaillant les méthodes, équipements et réactifs utilisés.

Les résultats montrent de grandes différences entre les paramètres physicochimiques des deux types d'eau.

Les eaux d'Oued Biskra sont beaucoup plus chargées et leur potabilité est médiocre. Leur faciès, sulfaté chloruré sodique, est déterminé par la lithologie des dépôts alluvionnaires contenant du gypse (sulfate de calcium) assez soluble.

Pour les chlorures, généralement de sodium, leur origine sont les crues de l'oued chargées en sels. En effet dans le bassin versant qui alimente l'oued affleure le diapir triasique, connu sous le nom de Djebel El Melh. Les eaux de ruissellement, souvent torrentielles, lessivent de vastes surfaces de roches salifères et se chargent en chlorure de sodium.

Le résidu sec et la conductivité électrique de la nappe s'en trouvent affectés. D'autre part les eaux de la nappe de Droh présentent un faciès calcique et magnésien en relation avec la nature pétrographique et structurale de l'aquifère, calcaires et calcaires dolomitiques. Mais la vitesse de l'écoulement dans les fissures étant plus grande que dans les alluvions, les échanges de base entre l'eau et les roches sont relativement limités. On note tout de même une présence relative de sulfates, liée à la présence de couches supérieures contenant du gypse et de l'anhydrite. La potabilité de cette eau est en outre bonne.

Les mélanges d'eau effectués à différents pourcentages avaient pour but d'obtenir une eau de qualité acceptable. Les eaux de la nappe de Droh toute seule ne pouvant pas assurer la couverture des besoins sans cesse croissants de la ville de Biskra.

D'après les essais effectués, plus le pourcentage de l'eau de oued Biskra augmente plus la qualité se détériore. Le mélange réel, i.e. l'eau actuellement distribuée par l'ADE au niveau de quelques quartiers de la ville est proche de celle l'échantillon III (1/2 Oued Biskra + 1/2 Droh).

Le mélange idéal serait celui de l'échantillon V ((1/3 Oued Biskra + 2/3 Droh). Mais les conditions d'exploitation, beaucoup plus économiques et aisées avec les forages de la nappe d'inféroflux nous amènent à opter pour l'échantillon III. Cette solution viable à long terme, allie une qualité d'eau acceptable, une disponibilité en quantité suffisante et une préservation des ressources hydriques de la collectivité.

CONCLUSION

CONCLUSION GENERALE

La région de Biskra se trouve dans une zone de transition, au nord les formations plissées du crétacé, au sud l'ouverture sur les plaines sahariennes. Le contraste entre ces deux domaines est limité par l'accident sud atlasique, ensemble de failles, d'orientation générale NE-SW.

Nous retenons pour notre cas, d'une part les formations calcaires fissurées du Sénonien dans la région de Droh et d'autre part les dépôts alluvionnaires du Quaternaire de Oued Biskra.

Nous avons donc deux milieux totalement différents ; un milieu fissuré et un milieu poreux. Ces aspects vont influencer sur l'écoulement souterrain et sur la chimie des eaux. En effet dans le milieu poreux, la vitesse d'écoulement étant plus faible, le temps de contact des eaux avec les roches sera beaucoup plus grand, ce qui favorisera les échanges de base et le lessivage.

D'autre part, du point de vue lithologique, les différences sont aussi importantes. Dans les dépôts de l'oued, on a relevé la présence de gypse, minéral dont la solubilité est beaucoup plus grande que celle du calcaire. Les propriétés chimiques des eaux en seront donc affectées.

A partir des paramètres de caractérisation des eaux, présentés dans le deuxième chapitre, nous avons choisi ceux utilisés pour l'étude comparative.

Quant à la qualité bactériologique, les réservoirs souterrains sont naturellement protégés. Les risques de contamination ne concernent que les aquifères libres, tel l'inféoflux de oued biskra. En outre, une contamination est possible au cours du transfert ou du stockage de l'eau.

Nous avons effectué dans la deuxième partie les analyses physico chimiques et bactériologiques des eaux étudiées ; celles de l'inféoflux de Oued Biskra et celles de la nappe de Droh, en détaillant les méthodes, équipements et réactifs utilisés.

Les résultats montrent de grandes différences entre les paramètres physicochimiques des deux types d'eau.

Les eaux de Oued Biskra sont beaucoup plus chargées et leur potabilité est médiocre. Leur faciès, sulfaté chloruré sodique, est déterminé par la lithologie des dépôts alluvionnaires contenant du gypse (sulfate de calcium) assez soluble.

Pour les chlorures, généralement de sodium, leur origine sont les crues de l'oued chargées en sels . En effet dans le bassin versant qui alimente l'oued affleure le diapir triassique, connu sous le nom de Djebel El Melh. Les eaux de ruissellement, souvent torrentielles, lessivent de vastes surfaces de roches salifères et se chargent en chlorure de sodium.

Le résidu sec et la conductivité électrique de la nappe s'en trouvent affectés.

D'autre part les eaux de la nappe de Droh présentent un faciès calcique et magnésien en relation avec la nature pétrographique et structurale de l'aquifère, calcaires et calcaires dolomitiques. Mais la vitesse de l'écoulement dans les fissures étant plus grande que dans les

alluvions, les échanges de base entre l'eau et les roches est relativement limité. On note tout de même une présence relative de sulfates, liée à la présence de couches supérieures contenant du gypse et de l'anhydrite. La potabilité de cette eau est en outre bonne.

Les mélanges d'eau effectués à différents pourcentages avaient pour but d'obtenir une eau de qualité acceptable. Les eaux de la nappe de Droh toute seule ne pouvant pas assurer la couverture des besoins sans cesse croissants de la ville de Biskra.

D'après les essais effectués, plus le pourcentage de l'eau de oued Biskra augmente plus la qualité se détériore. Le mélange réel, ie l'eau actuellement distribuée par l'ADE au niveau de quelques quartiers de la ville est proche de celle l'échantillon III (1/2 Oued Biskra + 1/2 Droh).

Le mélange idéal serait celui de l'échantillon V ((1/3 Oued Biskra + 2/3 Droh). Mais les conditions d'exploitation, beaucoup plus économiques et aisées avec les forages de la nappe d'inféroflux nous amènent à opter pour l'échantillon III. Cette solution viable à long terme, allie une qualité d'eau acceptable, une disponibilité en quantité suffisante et une préservation des ressources hydriques de la collectivité.

BIBLIOGRAPHIE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **ANONYME(2005)**, Etude du schéma directeur de l'alimentation en eau potable de la ville de Biskra notice explicative phase : mission A.
« Entreprise nationale de projets hydrauliques de l'Est »
- **Degrémont**, 1990. Mémento Technique de l'eau, Tome I, Edition du Cinquantenaire : Lavoisier Technique et documentation. Paris. p : 8.
- **Freeze, R. Allen, et John A. Cherry ;(1979)**. *Groundwater*. ed; Prentice-Hall: Englewood Cliffs N.J., 604 pp.
- **Gérin M., Gosselin P., Cordier S., Viau C., Quénel P., Dewailly E.** Environnement et santé publique – Fondements et pratiques. Tech&Doc, 2003, Canada, 1023 pages.
- **Guemaz. F; 2006** Analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux usées des trois sites de la ville de Biskra (Chaabat Rooba, Oued Biskra, et Oued Zmour).
- **McNeeley, R.N., Neimanis, V.P., et L. Dwyer. (1980)** *Références sur la qualité des eaux : Guide des paramètres de la qualité des eaux*, Direction générale des eaux intérieures, Direction de la qualité des eaux, ed; Ottawa, , 100 p.
- **Rahal I., 2008**, Etude comparative du chimisme des eaux de Biskra, mémoire de fin d'études. Département d'hydraulique de Biskra.
- **Rodier J., 1998**. L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Édition : bordas, Paris. p1365.

Liste des figures

Figure 01	Situation et limites de la ville de Biskra(Extrait de la carte d'Algérie 1/200 000)	04
Figure 02	températures mensuelles moyennes, période (1991-2000)	05
Figure 03	Précipitations mensuelles moyennes, Période (1991-2000)	07
Figure 04	Distribution de l'évapotranspiration annuelle en Algérie(D'après J.P.Labord)	08
Figure 05	Evaporation mensuelle moyenne, Période (1991-2000)	08
Figure 06	Sondage Droh 1	13
Figure 07	Disposition des forages de Droh	14
Figure 08	Coupe lithologique du forage B1 implanté dans la nappe phréatique	15
Figure 09	Carte piézométrique de la nappe d'Oued Biskra (1966)	16
Figure10	Carte des transmissivités en $T = 10^{-4} \text{ m}^2/\text{sec}$ (Echelle 1/10000)	17
Figure 11	Carte des épaisseurs du terrain saturé en m (Echelle 1/1000)	18
Figure 12	Diagramme de Berkaloff-Shoeller pour les eaux de la nappe	21
Figure 13	COUPE DU FORAGE SIF 5 (DHW)	23
Figure 14	Variation de la conductivité dans les échantillons	49
Figure 15	Variation de la concentration en sulfate dans les échantillons	50
Figure 16	Variation de la concentration en calcium dans les échantillons	51
Figure 17	Variation de la concentration en magnésium dans les échantillons	51
Figure 18	Variation de la concentration en chlorure dans les échantillons	52
Figure 19	Variation de la concentration en résidu sec dans les échantillons	52

Liste des tableaux

Tableau 1	températures mensuelles moyennes, période (1991-2000)	05
Tableau 2	Distribution mensuelle de la pluviométrie Période (1991-2000)	06
Tableau 3	Répartition mensuelle de l'évaporation (1990-2000)	07
Tableau 4	Forages exploitant la nappe de Oued Biskra	19
Tableau 5 a	Résultats des analyses chimiques des forages de Oued Biskra	20
Tableau 5 b	Calcul d'erreur	20
Tableau 6	Les rapports caractéristiques	22
Tableau 7	Température d'ébullition de quelques composés (OUALI, 2001)	25
Tableau 8	Normes algériennes de potabilité des eaux de consommation (6360 -1992)	32
Tableau 9	Qualité bactériologique des eaux destinées à la consommation humaine selon les normes ISO.	33
Tableau 10	Les points de prélèvement	39
Tableau 11	Méthodes utilisées pour la détermination des paramètres physico-chimiques	40
Tableau 12	Méthodes utilisées pour les mesures des paramètres bactériologiques	45
Tableau 11 a	Résultats des analyses physico-chimiques des eaux des forages (Electrochimie)	48
Tableau 11 b	Résultats des analyses physico-chimiques des eaux des forages (Minéralisation)	48

