

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID TLEMCEN  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie,  
et des Sciences de la Terre et de l'Univers

Département des Sciences de la Terre et de l'Univers

# THESE

Présentée par

BOUDJEMA ABDERREZZAK

en vue de l'obtention du

Doctorat en science

Filière : Sciences de la Terre

Option : RESSOURCES EN EAU DANS LEURS ENVIRONNEMENTS

## **Hydrogéologie, vulnérabilité et modélisation de la nappe du Mio-Pliocène d'El Outaya, (Biskra, Sud-Est algérien)**

Soutenue le : 25/02/2015, devant le jury composé de :

Professeur GHELLAI Nacéra	Univ. Tlemcen	Présidente
Professeur HACINI Messaoud	Univ. Ouargla	Directeur de thèse
Professeur BENSALAH Mustapha	Univ. Tlemcen	Examineur
Professeur DJABRI Larbi	Univ. Annaba	Examineur
Professeur BOUDOUKHA Abderrahmane	Univ. Batna	Examineur
Docteur OULD BABA SY Mohamedou	Observatoire du Sahara et du Sahal. Tunisie	Invité

## DEDICACES

*Je dédie ce modeste travail:*

*A la mémoire de mon très cher père;*

*Sans ta présence, toute joie n'est qu'illusion éphémère;*

*Sans toi, rien ne sera plus comme avant.*

*A ma très chère mère,*

*A ma femme et à mes enfants,*

*A toute ma famille et à ma belle famille.*

## AVANT - PROPOS

Il m'est très agréable d'adresser mes sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin à mener à bien ce travail.

✓ A Monsieur **ABDERREZAK ZAHROUNA** sans qui ce travail n'aurait jamais vu le jour. C'est en réponse à quelques innocentes questions sur la modélisation, pendant une courte discussion, qu'il m'a ouvert la porte vers un projet de recherche qui durera plusieurs années, et qui mènera finalement à ma thèse de Doctorat. Dire qu'il n'a été qu'un ami serait bien peu. Par sa complicité, par son soutien, par sa grande compétence, par son enthousiasme, et par la confiance qu'il m'a témoignée, il m'a donné les moyens d'aboutir.

✓ A Monsieur **M. BABA SY** et Monsieur **N.BRINIS**, pour leurs précieuses contributions scientifiques et leurs soutiens moraux. Leurs orientations et leurs critiques constructives, tout au long de ce travail, ont été pour moi un apport considérable.

✓ A Monsieur le Professeur **M. HACINI**, de l'université d'Ouargla, d'avoir accepté de m'encadrer, avec sa rigueur scientifique, ses conseils et son soutien moral, aux moments difficiles, qui m'ont bien orienté dans l'élaboration de cette thèse.

✓ A mes amis, à mes collègues, et aux autres qui ont eu la gentillesse de me donner un petit coup de main, quand j'en avais besoin

Je tiens également à exprimer ma gratitude à Madame le Professeur **N.GHELLAI**, d'avoir accepté de présider le jury.

Mes remerciements et ma gratitude vont aussi à Monsieur le Professeur **M. BENSALAH**, d'avoir accepté d'examiner ce travail. Son assistance, ses qualités humaines et sa bonne humeur ont constitué pour moi un soutien moral déterminant.

Je tiens à exprimer ma sincère reconnaissance envers Monsieur **L. DJABRI**, Professeur à l'université Badji Mokhtar Annaba, pour l'honneur qu'il me fait d'accepter de juger ce travail.

Je tiens également à remercier Monsieur **A. BOUDOUKHA**, Professeur à l'université Hadj Lakhdar, Batna qui m'a fait l'honneur de venir participer à ce jury.

Je tiens aussi à exprimer ma reconnaissance au Professeur **A.BOUANANI**, pour sa contribution, à l'élaboration de ce travail.

J'exprime ma gratitude à : **Messieurs S. BENHMIDA, MESSAOUDEN et M.BENHAMZA** ingénieurs au sein de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques de Ouargla et Adrar.

J'aurai une pensée particulière à mes collègues, enseignants du département / STU qui m'ont aidé de près ou de loin à la réalisation de ce travail. Je remercie tous les enseignants et chercheurs de l'université de Tlemcen, les ingénieurs, les techniciens supérieurs de l'ANRH d'Ouargla et les Ingénieurs de l'ANRH de Biskra.

*A tous, merci.*

# ملخص

يقع سهل الأوطاية في الجهة الجنوبية للأطلس الصحراوي، يتميز بمناخ جاف، ذو مغياثية أقل من 200 ملليمتر في السنة.

مياه الطبقة الجوفية للعصر الميولبوسيني تعتبر مورد هام للري والشرب

من خلال دراستنا لنوعية المياه الجوفية لمسنا التأثير الواضح للصخور الملحية عليها مما ترتب عنه احتواء كميات

كبيرة من شوارد معادن هذه الصخور التابعة للحقتين الجيولوجيتين الترياس والميولبوسين

ساعدنا استغلال الوسائل الجيولوجية و الجيوكيميائية و الترموديناميكية و الإحصائية في استكشاف

مصدر ملوحة المياه و وماهية التفاعلات الجيوكيميائية التي تجري بين الصخور والمياه الجوفية بالإضافة إلى توزيع

تركيزات هذه الملوحة في طبقة المياه الجوفية

تكوين أول نموذج لتدفقات المياه الجوفية يساعد على معرفة الخصائص الهيدروميكانيكية لهذه المياه، بالإضافة إلى عملية

المطابقة في المرحتين، الثابتة والمتغيرة، التي ساعدت على تحديد خرائط الناقلية والمسامية لهذه الطبقة

**الكلمات المفتاحية** الجزائر - سهل الوطاية - الهيدروميكانيكية - الجيوكيميائية - المياه الجوفية - نموذج - إدارة مخزون المياه.

## Résumé

Située sur le flanc sud des Monts de l'Aurès, s'inscrivant ainsi dans le domaine de l'Atlas Saharien, la plaine d'El Outaya est soumise à un climat aride (moins de 200 mm/an).

L'aquifère du Mio-pliocène, associé à cette plaine, constitue une ressource utile pour l'irrigation et l'alimentation en eau potable.

L'étude de ces eaux fait apparaître l'importance du faciès gypso-salifère sous l'influence de la dissolution des formations évaporitiques (Trias et Néogène). Ces eaux contiennent des teneurs élevées en sulfates, chlorures, et sodium. Les concentrations en sels sont très variables d'une zone à l'autre et se regroupent en trois familles chimiques: sulfatée magnésienne, sulfatée sodique et chlorurée sodique. L'évolution du chimisme est en étroite relation avec les axes des écoulements des eaux souterraines.

Le couplage entre les outils géologiques et géophysiques a permis de déterminer la géométrie de l'aquifère et ses variations lithologiques. L'apport de l'étude hydrochimique nous a permis d'identifier l'origine de la salinité et son mode d'acquisition, ainsi que sa répartition dans l'espace.

La réalisation du premier modèle des écoulements des eaux souterraines de la nappe du Mio-pliocène dans la plaine d'El Outaya, à l'aide du code Visual Mod-flow, contribuera à connaître, au mieux, les caractéristiques hydrodynamiques de cet aquifère.

En outre, nous avons effectué un calage en régime permanent, puis en régime transitoire, ce qui a permis de dresser des cartes de conductivité et de porosité, afin d'identifier les caractéristiques hydrodynamiques de la nappe étudiée.

**Mots clés :** Algérie, El Outaya, Hydrogéologie, Hydrochimie, Modélisation - nappe libre - gestion.

## **Abstract**

El Outaya plain is located on the southern flank of the Aures Mountains, as part of the Saharan Atlas. It has an arid climate (less than 200 mm of rainfall / year). The Mio-Pliocene aquifer associated with this plain is an important resource for irrigation and drinking water.

The study of these waters shows the importance of Gypso-salt facies under the influence dissolution of evaporite formations (Triassic and Neogene). These waters contain high levels of sulfates, chlorides, and sodium. Salt concentrations vary widely from one area to another, and fall into three chemical groups: magnesium sulphate, sulfated sodic and sodic chlorinated. The evolution of chemistry is closely linked with the axes of groundwater flows

The coupling between geological and geophysical tools was used to determine the geometry of the aquifer and its lithological variations. The contribution of hydro chemical study allowed us to identify the origin of salinity and its mode of acquisition as well as its distribution in space.

Achieving the first hydrodynamic model of the Mio-Pliocene ground water in El Outaya plain, with different operating scenarios and using the Visual Mod-flow code, shall contribute to the development of an action plan for a rational management of water resources.

In addition, the model was calibrated to steady state conditions and then transient state conditions in order to prepare conductivity and porosity maps that characterize the spatial variability, in relation with the geological heterogeneity of the aquifer. Different operating scenarios indicated that the northern part of the plain is fairly vulnerable to feeding and exploitation conditions.

**Keywords:** Algeria, El Outaya - Hydrogeology - Hydrochemistry - Modeling – unconfined aquifer-management.

## TABLE DES MATIERES

Avant – propos	i.
	ملخص iii.
Résumé	iv.
Abstract	v.
Sommaire	vi.
Liste des figures	ix.
Liste des tableaux	xi.
Introduction générale	xii.
Première partie: Présentation de la plaine d'El-Outaya (Conditions naturelles)	
Chapitre 1 : Situation géographique et cadre physique	
1-Situation géographique	1
2- Relief	1
3-Couverture végétale	2
4-Aspect socio-économique	2
5- Ouvrages de mobilisation des ressources en eau de surface	2
5-1.Ouvrages traditionnels	4
5-2 .Barrages	4
5-3.Barrage souterrain d'inféro-flux sur l'Oued Biskra.	5
5-4.Eaux souterraines	6
 Chapitre2 : Etude géologique	
1. Analyse litho-stratigraphique	8
2. Historique des études	8
3. Description des affleurements, leur position stratigraphique	12
3-1.Mésozoïque	12
3-2.Cénozoïque	19
3-3 Descriptions des coupes	25
4. Contexte géodynamique et structural de la zone d'étude	40
5 Corrélation séquentielles dans le bassin d'El Outaya	44
□ Conclusion	46
 Chapitre 3 : Etude géophysique	
1. Introduction	50
2- Travaux effectués	50
3. Interprétations des profils électriques	52
4. Synthèse des résultats	53
Conclusion	57



Chapitre 3 : Etude hydroclimatologique	
1- Introduction	67
2-Aperçu géomorphologique de la zone d'étude	67
3. Le réseau hydrographique	70
4. Etude climatologique	71
4-1. Précipitations	71
4-2 Etude des températures	76
4-2.Synthèse climatique	76
5. Les écoulements	86
5-1. Analyse des débits à la station d'El kantara	87
• Conclusion	89

Chapitre 4 : Etude hydrogéologique	
1. Introduction	91
2. Identification de l'aquifère du Mio-pliocène dans la zone d'étude	91
2.1 Inventaire et mesures	92
2.2. Etablissement et interprétation de la carte piézométrique :	92
• Conclusion	99

Chapitre 5 : Etude hydrochimique	
1. Introduction	101
2. Analyse et interprétation de la qualité des eaux	101
2.1. Paramètres physiques	101
□ Le pH	101
□ La conductivité	101
2.2. Eléments chimiques et leur origine	103
□ Le calcium :	103
□ Le magnésium	103
□ Le sodium et le potassium	103
□ Les bicarbonates	103
□ Les chlorures	108
□ Les sulfates	108
3. Analyse statistique des paramètres physico-chimiques	
4. Corrélation entre les paramètres physico-chimiques	108
5. Application de la méthode hydrochimique -thermodynamiques pour l'étude de l'origine	112
6. Classification des eaux	115
7. Aptitude des eaux à l'irrigation	118
• Conclusion	119

Chapitre 06 : Modélisation des écoulements souterrains	
1. Généralités sur les modèles	122
2. Limitation de la méthode du modèle	123
3. Les différentes étapes de la modélisation :	124
4. Définition du comportement de référence en régime permanent	127

5. Définition du comportement de référence en régime transitoire	127
6. Choix de comportement de référence :	128
7. Principe du calage du modèle	128
8. Méthodologie mise en œuvre	131
8.1 Application du modèle à la plaine d'El Outaya	131
8.2. Discrétisation du domaine	132
8.3. Géométrie de l'aquifère	132
8.4. Evaluation et préparation des données	133
9. Calage du modèle :	135
9.1. Identification du système hydrogéologique de la nappe du Mio-pliocène dans la plaine d'El Outaya	135
9.1. 2.Construction du modèle :	136
10. Résultats et discussions	136
10.1. Le régime permanent	137
10.2. Le régime transitoire :	139
• Conclusion	142

## Liste des figures

N° Figures	Titres	Pages
Figure 1	Situation géographique de la zone d'étude	3
Figure 2	Limites naturelles de la plaine	4
Figure 3	Barrages en exploitation ou en projet	6
Figure 4	Localisation des bassins néogènes de la région de Biskra	10
Figure 5	Carte géologique de la zone d'étude	11
Figure 6	Coupe lithostratigraphique type du Néogène	24
Figure 7	Coupe dans la région de Branis	27
Figure 8	Coupe dans la région de Bouguecha	28
Figure 9	Coupe dans la région de Biskra-El Outaya	31
Figure 10	Coupe dans la région de khenig Ezened-El Outaya	33
Figure 11	Coupe dans la région de Chaabet Ezeboucha –Bled El Maader	35
Figure 12	Log du lithostratigraphique dans la région de Bled El Mazouchia	37
Figure 13	Coupe Mta Djefdjouf-Ras Chicha	38
Figure 14	Coupe dans la région de Ras Echicha	40
Figure 15	Corrélation entre les coupes logs, et coupes de forage.	48
Figure 16	Localisation des points de sondages électriques	54
Figure 17	Carte des résistivités apparentes en ligne AB=200m	55
Figure 18	Carte des résistivités apparentes en ligne AB=3000m	56
Figure 19	Coupe du profil électrique –D-	59
Figure 20	Coupe du profil électrique –E-	59
Figure 21	Coupe du profil électrique –F-	60
Figure 22	Coupe du profil électrique –G-	60
Figure 23	Coupe du profil électrique –H-	61
Figure 24	Coupe du profil électrique –I-	61
Figure 25	Coupe du profil électrique –K-	62
Figure 26	Coupe du profil électrique –L-	62
Figure 27	Coupe du profil électrique –M-	63
Figure 28	Coupe du profil électrique –N-	63
Figure 29	Vue d'ensemble du block de diagramme de la plaine d'El Outaya	65
Figure 30	Localisations des bassins versants dans la région Nord de Algérie	68
Figure 31	Cartes des pentes du bassin versant de la plaine d'El Outaya	69
Figure 32	Schéma du sous bassin versant de l'Oued El Hai-Biskra.	70
Figure 33	Répartition des précipitations annuelles .Stations de Biskra et El Outaya. Période 1970/2001	72
Figure 34	Variations des précipitations moyennes annuelles	74
Figure 35	Histogramme des précipitations moyennes mensuelles	74
Figure 36	Variations des précipitations moyennes saisonnières	75
Figure 37	Variations mensuelles des températures à la station	76
Figure 39	Diagramme ombrothermique de Biskra (1974/2013)	75
Figure 40	Climagramme d'Emberger	80
Figure 41	Variations mensuelles de l'évapotranspiration d'après Thornthwaite	84

N° Figures	Titres	Pages
Figure 42	Abaque de Wundt appliqué à la station de Biskra 1974/2013)	86
Figure 43	Débits instantanés mesuré à la station d'El Kantara 1968/1978)	88
Figure 44	Débits instantanés mesuré à la station d'El Kantara (1981/82-1992-1993)	88
Figure 45	Carte isobathe du substratum (formation calcaire) de la nappe du Mio-pliocène dans la plaine d'El Outaya	93
Figure 46	Carte piézométrique de la nappe du Mio-Pliocène dans la plaine d'El Outaya (campagne piézométrique, Mars 2008)	95
Figure 47	Carte piézométrique de la nappe du Mio-Pliocène dans la plaine d'El Outaya (campagne piézométrique, Mars 2010)	96
Figure 48	Carte de battement de la nappe du Mio-Pliocène (2008,2010)	98
Figure 49	Carte des Potentiels d'hydrogène des eaux de la nappe du Mio-pliocène	102
Figure 50	Carte des conductivités des eaux de la nappe du Mio-Pliocène	104
Figure 51	Carte des teneurs en Calcium des eaux de la nappe du Mio-pliocène	105
Figure 52	Carte des iso-teneurs en Magnésium des eaux de la nappe du Mio-pliocène	106
Figure 53	Carte des teneurs en Sodium+Potassium des eaux de la nappe du Mio-Pliocène	107
Figure 54	Carte des isoteneurs en Bicarbonates des eaux de la nappe du Mio-pliocène	108
Figure 55	Carte isoteneurs en Chlorure des eaux de la nappe du Mio-Pliocène	109
Figure 56	Carte isoteneurs en Sulfates des eaux de la nappe du Mio-Pliocène	110
Figure 57	Classification ascendante hiérarchique des variables (C.A.H)	112
Figure 58	Répartition spatiale du rapport Sr/Ca dans les eaux de la plaine d'El Outaya (Brinis, 2011)	114
Figure 59	Etat des minéraux carbonatés dans les eaux souterraines de la plaine d'El-Outaya	116
Figure 60	Etat des minéraux évaporitiques dans les eaux souterraines de la plaine d'El-Outaya	116
Figure 61	Carte des facies chimiques des eaux du Mio-Pliocène	117
Figure 62	Conditions aux limites	137
Figure 63	Répartition spatiale de la conductivité après calage.	137
Figure 64	Carte piézométrique calculée après calage en régime permanent.	138
Figure 65	Carte piézométrique calculée et simulée en régime transitoire (Mars 2010)	140
Figure 66	Répartition spatiale de la porosité après calage	141

## Liste des tableaux

N° de Figure	Titres	Pages
Tableau 01	Débit d'eau transité par les cours d'eau de la zone d'étude et la surface irriguée	5
Tableau 02	Caractéristiques du barrage en exploitation.	5
Tableau 03	Caractéristiques du petit barrage en exploitation.	5
Tableau 04	Caractérisation du projet de barrage en inféro-flux	6
Tableau 05	Résistivités des formations dans la plaine d'El Outaya, après étalonnage	52
Tableau 06	Caractéristiques des deux stations pluviométriques	71
Tableau 07	Précipitations moyennes annuelles aux stations de Biskra et El Outaya (1970-2001)	72
Tableau 08	Précipitations moyennes annuelles (1974-2013).	73
Tableau 09	Pluviométries moyennes mensuelles (1974-2013).	74
Tableau 10	Distribution saisonnière des précipitations	75
Tableau 11	Températures moyennes mensuelles (1974-2013).	76
Tableau 12	Températures et précipitations moyennes mensuelles (1974-2013).	77
Tableau 13	Indice d'aridité.	78
Tableau 14	Les valeurs d'indice d'aridité mensuel(a) de De. Martonne à la station de Biskra (1974/2014)	79
Tableau15	Coefficient correctif " K r "	82
Tableau16	Evolution du coefficient correctif mensuel" K m ".	82
Tableau17	Coefficients d'évaluation des durées théoriques d'insolation	82
Tableau18	Valeurs moyennes de K m (H-187)	83
Tableau19	Evapotranspirations moyennes mensuelles pour la station de Biskra, Penman (1974/2013)	83

Tableau 20	Evapotranspirations moyennes mensuelles pour la station de Biskra, Thornthwaite (1974/2013)	84
Tableau 21	Evapotranspirations réelle et écoulement moyen annuel, pour la station de Biskra (1974/2013)	85
Tableau 22	Stations hydrométriques d'El Kantara, au niveau du sous bassin versant de l'Oued El Hai.	87
Tableau 23	Répartition du gradient hydraulique dans la plaine d'El Outaya	94
Tableau 24	Quelques transmissivités et perméabilités mesurées pour le Mio-pliocène dans la plaine d'El Outaya	97
Tableau 25	Matrice de corrélation des paramètres physico-chimiques mesurés	111
Tableau 26	Résultats de l'analyse du strontium	113
Tableau 27	Indice de saturation (SI) des minéraux présents dans l'eau (Brinis2011)	115
Tableau 28	Bilan en eau, calculé de la nappe du Mio-Pliocène (m <sup>3</sup> /jour)	139
Tableau 29	Estimations des infiltrations des eaux de précipitations semestrielles	139
Tableau 30	Bilan en eau calculé de la nappe du Mio-Pliocène (m <sup>3</sup> /jour)	141

# **INTRODUCTION GENERALE**

## **Préambule:**

Gouvernements et économistes du monde entier s'accordent aujourd'hui à dire que l'exploitation et la qualité des ressources en eau sont deux des plus grands problèmes, auxquels l'humanité devra faire face dans les décennies à venir. L'exploitation des eaux souterraines, en particulier, est un enjeu capital pour de nombreux pays. Ainsi, dans les zones sahariennes, où les précipitations sont rares et devant la quasi inexistence de ressources hydriques superficielles, l'exploitation des eaux souterraines reste le seul moyen pour parvenir à la satisfaction des divers besoins.

Afin d'assurer la pérennité de cette ressource, qui devient de plus en plus rare devant l'augmentation des sollicitations, il est impératif d'asseoir une gestion adéquate. Dans cette optique, la connaissance du taux de recharge des nappes est d'un intérêt particulier dans toute étude de quantification et de gestion.

Le Sahara algérien renferme d'importantes réserves d'eaux souterraines. Certains auteurs pensent que les eaux des nappes du Sahara ( complexe Terminal et le continental intercalaire) sont fossiles (Burdon, 1977 ; Margat et Saad, 1982 et 1984 ; Margat, 1990), c'est-à-dire qu'elles se sont infiltrées et accumulées au cours des temps géologiques, leur alimentation s'est poursuivie au cours des périodes pluvieuses du Quaternaire, par infiltration sur les affleurements des couches perméables (Pizzi et Sartoli, 1988). Pour d'autres, par contre, il existe une recharge actuelle des nappes sahariennes, cette alimentation se manifeste lorsque certaines conditions climatiques, topographiques et géologiques sont réunies (Dubief, 1953) et d'autres sont allés à modéliser ces nappes, afin d'identifier leurs caractéristiques et comportements hydrodynamiques, vis-à-vis de leur exploitation, afin d'assurer une meilleure gestion (Baba Sy, 2011 et Baba Sy. M et Besbes. M, (2006)).

La plaine d'El Outaya par sa position géographique privilégiée, entre le Tell et la plate forme saharienne et l'importante superficie phoenicicole, octroient un environnement socio-économique en pleine mutation, surtout depuis l'avènement de l'Accession à la Propriété Agricole (APFA). Ce qui a mené la population de cette commune de se tourner vers l'agriculture.

La superficie totale de la plaine atteint 1104Km<sup>2</sup>. Les autorités (Monographie de la Wilaya de Biskra 2009) concernées estiment, dans un bilan (2009), basé sur des études pédologiques plus fines, que la surface de la plaine destinée à l'agriculture est de 9 884 hectares dont seulement 5491 sont irrigués (eaux souterraines et de surface) soit 57 %.

Ce qui est au dessous des espérances des agriculteurs de la région qui demandent



davantage d'eau pour exploiter ce qui reste des terres agricoles. La mise en valeur de terres nouvelles demande un effort considérable pour de nouvelles recherches des eaux souterraines. Ces recherches doivent tenir en compte la bonne gestion des ressources hydriques.

Elle a porté jadis plus de 100 fermes romaines dont on voit encore les ruines. L'oasis d'El Outaya est, donc, d'origine romaine (ce serait l'ancienne Mesar Felta); placée sur la route de tous les envahisseurs qui se dirigeaient du Sahara vers le Tell, elle a toujours subi le contrecoup des bouleversements qui agitérent cette région. En 1831 les Ben Ganah détruisirent entièrement l'oasis et le pays fut abandonné. Un seul palmier s'y trouvait lorsque le duc d'Aumale y passa en 1844. Ce n'est qu'en 1858 que les plantations de palmiers aujourd'hui existantes furent créées.

L'oasis d'El Outaya est peu importante au point de vue de la culture des palmiers; la plus grande partie de l'eau est utilisée pour la culture des céréales qui se fait sur une grande échelle dans toute la plaine.

Les besoins en eau proviennent, en partie, d'un barrage réalisé à l'amont (barrage Fontaine des gazelles). Mais l'essentiel de ces besoins provient et continuerait de provenir des eaux souterraines. La plus grande partie des eaux de la plaine servent à l'irrigation et les eaux potables sont Amenées par des conduites à partir du village de fontaine des gazelles au Nord de la plaine (nappe des calcaires maëstrichtiens).

Les eaux de la nappe du Mio-pliocène dans la plaine sont exploitées par :

- 08 forages, pour un débit de 67l/s et qui sont destinés pour répondre aux besoins de la population en eau potable.
- 172 forages, pour un débit de 557l/s.

Notant aussi que les eaux de cette nappe présentent, par endroits, une salinité assez élevée (résidu sec atteint 5g/l et conductivité entre 1110 et 5940  $\mu$ .S/cm). L'utilisation de ces eaux doit donc faire l'objet d'une étude détaillée, à la fois de sa qualité pour déterminer l'origine de cette salinité et de son impact sur le sol.

La plaine d'El Outaya a été étudiée par plusieurs chercheurs (Guiraud, 1990; Chabbah, 2007 ; Haouchine, 2008 ; Brinis 2012) qui ont abordé des études, que ce soit sur le plan géologique, hydrogéologique ou hydrochimique.

Ce présent travail, vise l'amélioration de la connaissance de l'aquifère du Néogène selon la méthode que nous avons adoptée.

- Préciser la lithologie et la géométrie du réservoir, pour estimer la variabilité latérale et verticale des différents niveaux de cet aquifère par l'élaboration d'un bloc de diagramme.
- Identifier les axes des écoulements souterrains.
- Définir l'état qualitatif de la nappe et préciser les variations et les origines de la salinité des eaux dans la plaine.
- Etablir le modèle hydrodynamique.
- Préciser les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère du Mio-Pliocène (Perméabilité et Porosité).
- Définir le volume d'eau échangée avec le milieu extérieur (Volume d'eau entrée et sortie)
- Localiser les zones vulnérables, dues à la surexploitation par des scénarios d'exploitation, dans des conditions extrêmes.

Ce programme nécessiterait donc, l'acquisition des données quantitatives et qualitatives. Les données quantitatives ont été acquises, tout d'abord, en utilisant les documents bibliographiques existants, ensuite à partir d'investigations de terrain et simultanément par la réinterprétation de données de prospection électrique. Ces investigations de terrain regroupent les mesures faites sur des forages déjà en fonctionnement, les échanges d'informations avec les entreprises de forages (suivi de chantier en cours de réalisation) mais aussi les informations recueillies auprès des exploitants. Elles ont abouti à la constitution d'une base de données.

Cependant, devant la complexité de cet aquifère très hétérogène et les qualités de l'information requise à travers les différentes sources, nous avons axé notre travail d'investigation sur une approche principalement qualitative. Cette approche est basée sur l'utilisation des outils du système S.I.G, outil de modélisation hydrodynamique (éléments majeurs). Ces outils ont montré leur efficacité pour appréhender le fonctionnement des systèmes hydrogéologiques complexes. Cette thèse s'articule en plusieurs chapitres, regroupés en deux parties:

### **La première partie: Présentation de la plaine d'El-Outaya:**

Cette partie concerne la présentation du site étudié. Elle traite les aspects suivants :

- Une situation géographique et cadre physique (I): qui montre la situation de la plaine dans le contexte régional et local (wilaya de Biskra);
- Cadre géologique régional et local (II). qui retracera la géologie et la tectonique régionale ainsi qu'à l'échelle locale. Les affleurements du Trias au Néogène. Une attention particulière sera donnée à la lithologie du Néogène. Ainsi que la mise-en perspective des informations reportées dans la base de données de la géophysique.
- Aperçu sur le climat de la région (III): Cette étude présentera les paramètres climatiques de la région étudiée. Nous établirons à la fin, un bilan hydrologique de la région.
- Hydrogéologie du bassin d'El-Outaya (IV). Il présentera la piézométrie du secteur étudié et la géométrie de l'aquifère Néogène-Quaternaire. Nous tenterons de définir la nature du contact de cet aquifère avec le substratum, aux limites de la plaine.

1. Présentation et Interprétation des paramètres physico-chimiques (V). Ce chapitre est consacré à l'interprétation des paramètres physico-chimiques mesurés. On présentera les types des familles chimiques des eaux ainsi que leur évolution, origine et répartition dans la plaine.

### **La Deuxième partie: Modélisation hydrodynamique :**

Cette partie concerne l'élaboration du modèle hydrodynamique. Elle traite les aspects suivants :

-Discretisation de la zone étudiée, en mailles.

-Détermination de la répartition spatiale de la perméabilité dans la zone d'étude, par le calage de la carte simulée à la carte piézométrique, en régime permanent (Année 2008).

-Détermination de la répartition spatiale de la porosité dans la plaine, par le calage de la carte simulée à la carte piézométrique, en régime transitoire (année 2010).

- Réaliser des simulations pour voir le comportement de la nappe, vis-à-vis des conditions extrêmes : (Apport faible du volume d'eau causé par la sécheresse, fort débit d'exploitation).

Ce travail a pu voir le jour, grâce à la collaboration de divers cadres et responsables d'organismes publics (accès aux archives pour la constitution de la base de

données) : Il s'agit surtout de la direction de l'agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH) Ouargla, Direction d'hydraulique (DHW), Biskra, Direction des services agricoles (DSA), Biskra, des agences et organismes nationaux (ANBT), ANRH (Antenne de Biskra), ONHYD (Biskra) et L'unité économique (ENASEL-El Outaya).

## **Première partie:**

### **Conditions naturelles de la plaine d'El-Outaya**

- **CHAPITRE 1 : GENERALITES**
- **CHAPITRE 2 : ETUDE GEOLOGIQUE**
- **CHAPITRE 3 : ETUDE GEOPHYSIQUE**
- **CHAPITRE 4: ETUDE HYDROCLIMATOLOGIQUE**
- **CHAPITRE 5 : ETUDE HYDROGEOLOGIQUE**
- **CHAPITRE 6 : ETUDE HYDROCHIMIQUE**

# **CHAPITRE 1 :**

**Situation géographique et cadre physique**

## **1. Situation géographique :**

Par sa superficie qui dépasse 1104km<sup>2</sup>, la zone étudiée dénommée « Plaine de l'Outaya » est située à 300 km au Sud – Est de la ville d'Alger et à 30 km au Nord de la ville de Biskra. Elle commence par un étranglement sur près de 10km à partir de l'agglomération d'El Outaya, jusqu'à la limite sud, représentée par la commune de Biskra. Elle se développe sur la rive droite de l'Oued El Hai.

Elle est limitée au Nord par les Aurès, formées par une chaîne de montagne grossièrement orientée du Nord –Est vers le Sud- Ouest, ce relief est de type jurassien et se présente sous forme de plis courts et espacés, au Sud et à l'Est et est limité par le bassin néogène de Biskra-Droh (fig.01).

Les hauteurs qui entourent cette plaine (fig.02) sont des crêtes orientées Est-Nord-est vers Ouest-Sud-ouest ou Sud-Sud-Est vers Nord-Nord-Ouest. Elles culminent aux altitudes dépassant 1000 m sur le secteur Ouest (Djebel El-Kessoum). Ces altitudes sont moins importantes sur les autres secteurs (Djebel Bou Rhezal, 415 m et Djebel Maghraoua 483 m.). Le Djebel Melah a une autre configuration ; il se dresse jusqu'à 627 m, sans s'intégrer dans les autres alignements ; au contraire, il constitue un dôme escarpé et raboteux (fig.02).

Le réseau hydrographique de la région est squelettique. Il comporte un tronc principal, l'Oued El-Hai-Biskra qui fait partie du bassin fermé du chott Melrhir et reçoit sur sa rive gauche quelques tributaires, issus de l'Aurès et du Djebel Melah (fig.02).

L'Oued Biskra est à sec, sauf lors des pluies exceptionnelles (à l'exception de l'endroit à l'aval du barrage Fontaine des Gazelles). D'autres oueds ,moins importants ,sont à signaler (Oued Selsou, Oued Bougatou, et Oued Besbes) (fig.02).

## **3. Couverture végétale et activités agricoles:**

Peu de chose à dire sur la nature de la végétation spontanée, elle est plus saharienne que sahélienne, résultant à la fois des conditions climatiques et d'un sol peu évolué d'apport alluvial et alluvial-colluvial et de sols halomorphes salins. Nous notons aussi l'absence de végétation forestière. Sauf sur les surfaces irriguées, on trouve que des touffes espacées d'alfas et autres plantes herbacées ; les reliefs en sont pratiquement dépourvus, quoique l'Aurès a dû être anciennement boisé. Dans le domaine de la recherche scientifique, la plaine compte un centre d'expérimentation dirigé par le Centre de Recherche Scientifique et Technique des Régions Arides (CRSTRA), en plus d'un Institut Technique de développement des Agricultures Sahariennes (ITDAS), appartenant au ministère de l'agriculture.

#### **4. Aspects socio-économiques:**

L'activité industrielle est peu développée. On cite:

- Plusieurs carrières implantées sur le versant sud de la plaine (Djebel. Bou-Mengouche et Djebel. Boughezel).
- Une unité de production de sel (Enasel) implantée près du Djebel El-Melah.
- Une unité de production d'aliments de Bétail.
- Deux stations de pompage de la SONATRACH.

#### **5. Ouvrages de mobilisation des ressources en eau de surface :**

Les ouvrages réalisées ou en cours de réalisations jusqu'à nos jours a fin d'exploité les ressources en eaux disponible dans la région d'étude sont.

- Les ouvrages traditionnels (irrigation par épandage de crue dans les Aurès).
- Un grand barrage du versant Sud de l'Atlas Saharien celui de la Fontaine des Gazelles et un petit barrage sur le versant de l'Oued Selssou.
- Un barrage d'inféro-flux en cours de réalisation.
- Les forages pour exploiter les eaux souterraines

##### **5-1. Les ouvrages traditionnels**

Les utilisateurs de cette ressource, accordent une grande importance à l'annonce d'une crue, à l'entretien des canaux, des séguias, et ouvrages de partage des eaux entre les riverains. Par ailleurs, avant la construction du barrage de Foug El Gherza, les propriétaires de palmeraies de la région de Sidi Okba offraient une récompense à celui qui annonce le premier l'arrivée d'une crue. Ces crues, certes permettaient en année humide d'irriguer plus de 1000 ha, par épandage.

Toutefois, après la construction du barrage « la fontaine des gazelles », les cours d'eaux sont à secs, à l'exception des périodes de crues, à cet effet, les autorités concernés n'ont pas accordé une grande importance pour cette ressource d'eau, afin de répertorier le débit d'eau transité par les cours d'eau de cette zone d'étude, d'une part et la surface irriguée d'une autre part.

Pour cela, nous ne disposons que des données anciennes présentées comme suit



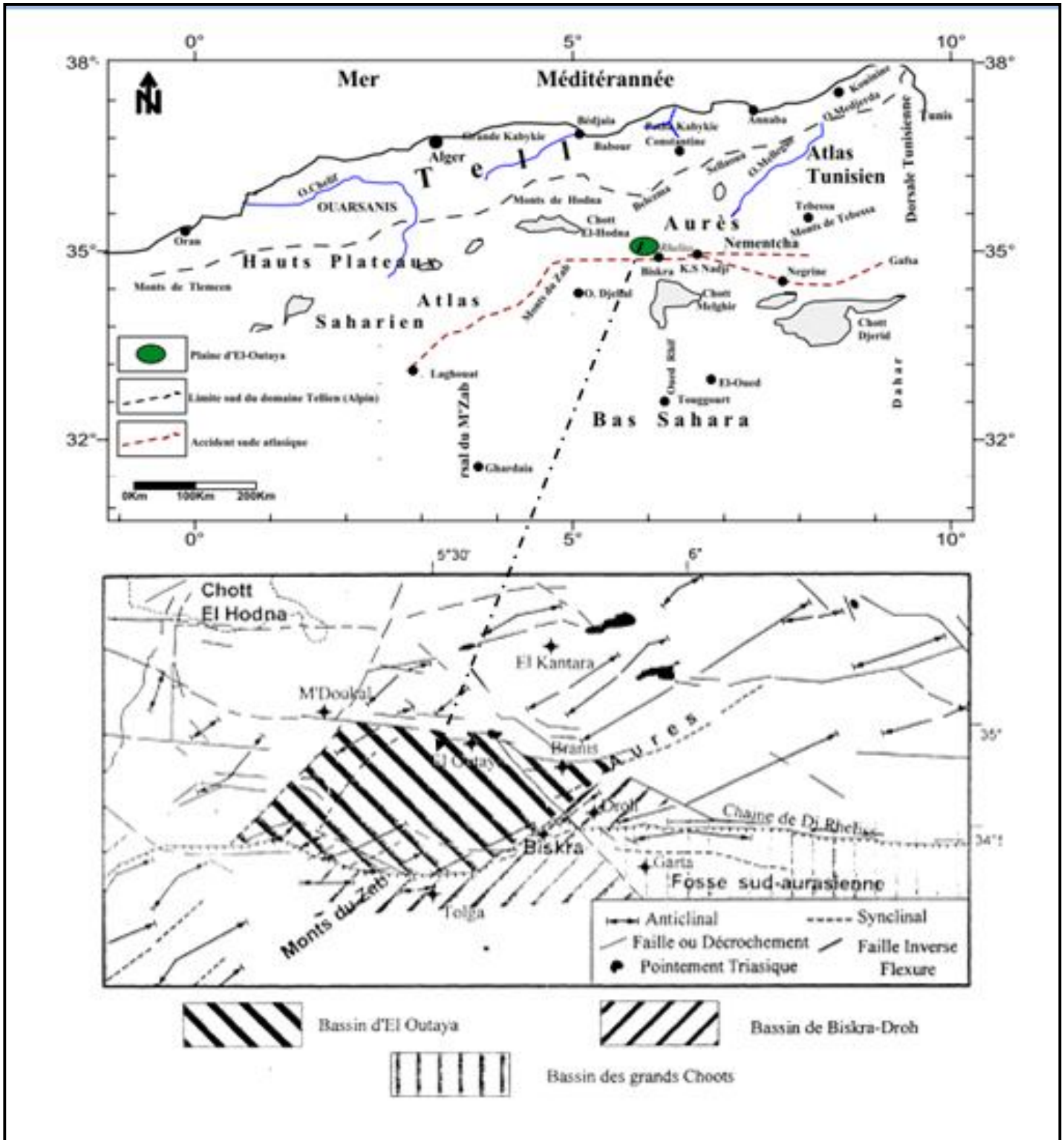


Fig. 01: Situation géographique de la zone d'étude

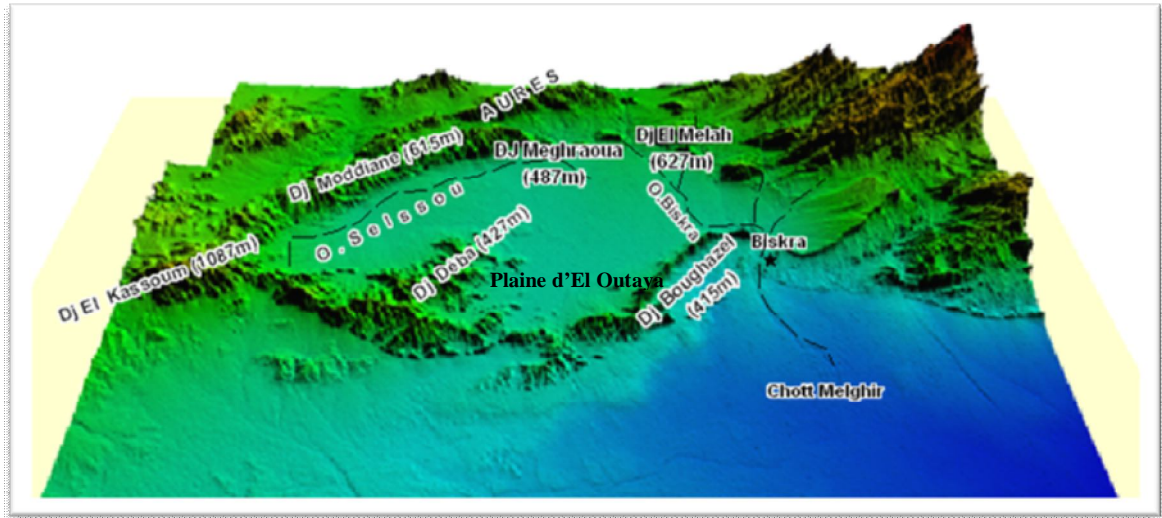


Fig.02: Limites naturelles de la plaine d'El-Outaya

#### 5-2: Les barrages.

Malgré sa position, dans une zone semi-aride et à la porte du Sud, la plaine d'El Outaya est alimentée par un grand barrage, celui de la Fontaine des Gazelles, dont la mise en eau a été faite en l'an 2000.(fig.03)

Ce barrage assure un volume régularisable de  $14 \text{ Hm}^3$ , il sera d'un apport certain pour la mise en valeur du futur périmètre irrigable de la plaine d'El Outaya.

Un autre petit barrage est en cours de réalisation dans la commune de Tolga, sur l'Oued Selssou, où son réseau hydrographique traverse la plaine d'El Outaya.

Tableau01 : Débit d'eau transité par les cours d'eau de la zone d'étude et la surface irriguée (A.N.A.T, 2003)

Ouvrage	Capacité brute	Volume Régularisable	Destination	Type
Fontaine des Gazelles	$55,491 \text{ Hm}^3$	$14 \text{ Hm}^3$	Irrigation	Remblai en alluvions compactés avec noyau d'argile.

Tableau02: Caractéristiques du barrage en exploitation A.N.A.T, 2003

Localisation	Pompage de déviation	Debit total L/S	Superficie irriguée	Observation
Commune d'El Outaya sur l'O.M'gataa.	Pompage sur O. M'gatâa	?	2 à 2,5	- pendant les périodes de crues.
Sur O.Bougattou	-	150	6000	- pendant les périodes de crues.

Tableau03:Caractéristiques du petit barrage, en exploitation A.N.A.T, 2003

Oued	Commune	Volume régularisable (Hm <sup>3</sup> )	Destination	Type
Selsou	Tolga	6.6	Irrigation	Petit barrage

### 5-3 Barrage souterrain d'inféro-flux sur l'Oued Biskra

Pour augmenter les réserves souterraines de la zone d'étude et les zones limitrophes, un barrage d'inféro-flux est en cours de réalisation sur l'Oued Biskra, marqué par les caractéristiques suivantes (fig.03).

Tableau04 : Caractérisation du projet de barrage, en inféro-flux A.N.A.T, 2003

Oued	Commune	Importance	Destination	Type
<b>Biskra</b>	Biskra	Très utile recharge de la nappe alluviale	A.E.P.	Inféro-flux

Certaines wilayas possèdent, depuis longtemps sur leurs territoires, ce type d'ouvrage. Cette nouvelle technique augmente la réserve d'eau souterraine, là où l'évaporation est importante et l'écoulement inféro-flux est conséquent.

#### 5-4. Les Eaux souterraines.

Si les eaux de surface dans la plaine d'El Outaya marquent leur présence par les barrages, les eaux souterraines sont captés dans zone d'étude par de nombreux forages, pour exploiter la nappe du Mio-pliocène et du Maëstrichtien, avec un débit d'exploitation annuel de 13620312 m<sup>3</sup>/an (tableau 01 en annexe)

# CHAPITRE 2 :

## **E t u d e G é o l o g i q u e**

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

### **1-Analyse lithostratigraphique :**

Le bassin d'El Outaya fait partie de la région de M'Doukal –Biskra (fig. 04) qui forme une zone charnière, raccordant les deux grands ensembles atlasiens : L'atlas Saharien et l'Aurès. C'est une zone synorogénique, liée principalement à la tectonique de l'orogène atlasique (alpine).

La partie centrale du bassin est une vaste dépression, constituée de sédiments d'âge mio- plio- quaternaire, limitée par des reliefs montagneux et recoupée par des failles (fig.05)

### **2-Historique des études:**

Les dépôts rouges néogènes du « Continental Terminal » ont été signalés dès 1849 par H. Foumel, dans les environs de Biskra à El Outaya.

Flamand (1908) a décrit des argiles ou marnes gypseuses, à la base de ces formations dont les limites stratigraphiques sont restées sujettes à discussion, pendant de nombreuses années. Ceci était dû, principalement, au caractère azoïque de ces formations et à la nature des études faites par différents auteurs.

C'est Laffitte (1939) qui a réalisé les premières études géologiques détaillées du massif des Aurès et des régions voisines, en particulier, le Nord-Est de Biskra.

En 1962, N.Gousskov établit la carte géologique de la feuille de Biskra au 1/200 000, synthèse de travaux cartographiques et hydrogéologiques.

En 1970, G. Glaçon et R. Guiraud mènent la première étude générale du Mio-pliocène de la région, Chadenson (1951), Chabot. (1971) en donnent les premières descriptions géomorphologiques.

Guiraud (1970, 1973, 1975, 1978,1990) apporta de nouveaux éléments, en étudiant le bassin du Hodna et ses régions limitrophes.

Aissaoui (1984) quantifie les données tectoniques, liées à l'accident sud-atlasique entre Biskra et le djebel Mandra.

Kazi Tani (1986) et Herkat (1999) étudient le cadre géodynamique des bassins atlasiques, à partir d'une approche séquentielle des formations anté-néogènes.

M .Chabbah (2007) a étudié la lithostratigraphie, la sédimentologie et les modèles de bassins des dépôts néogènes de la région de Biskra, de part et d'autre de l'accident sud atlasique (Ziban, Algérie).

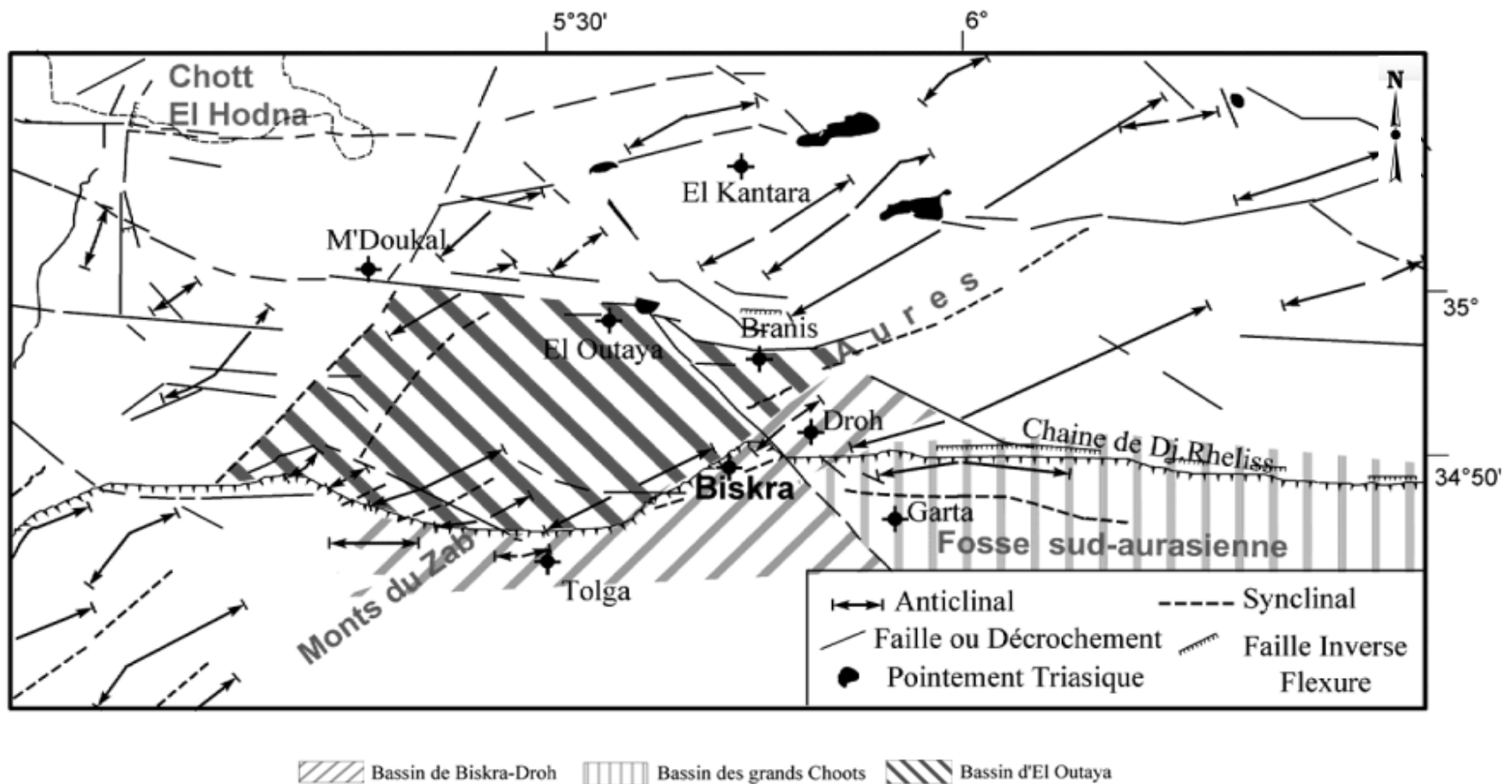
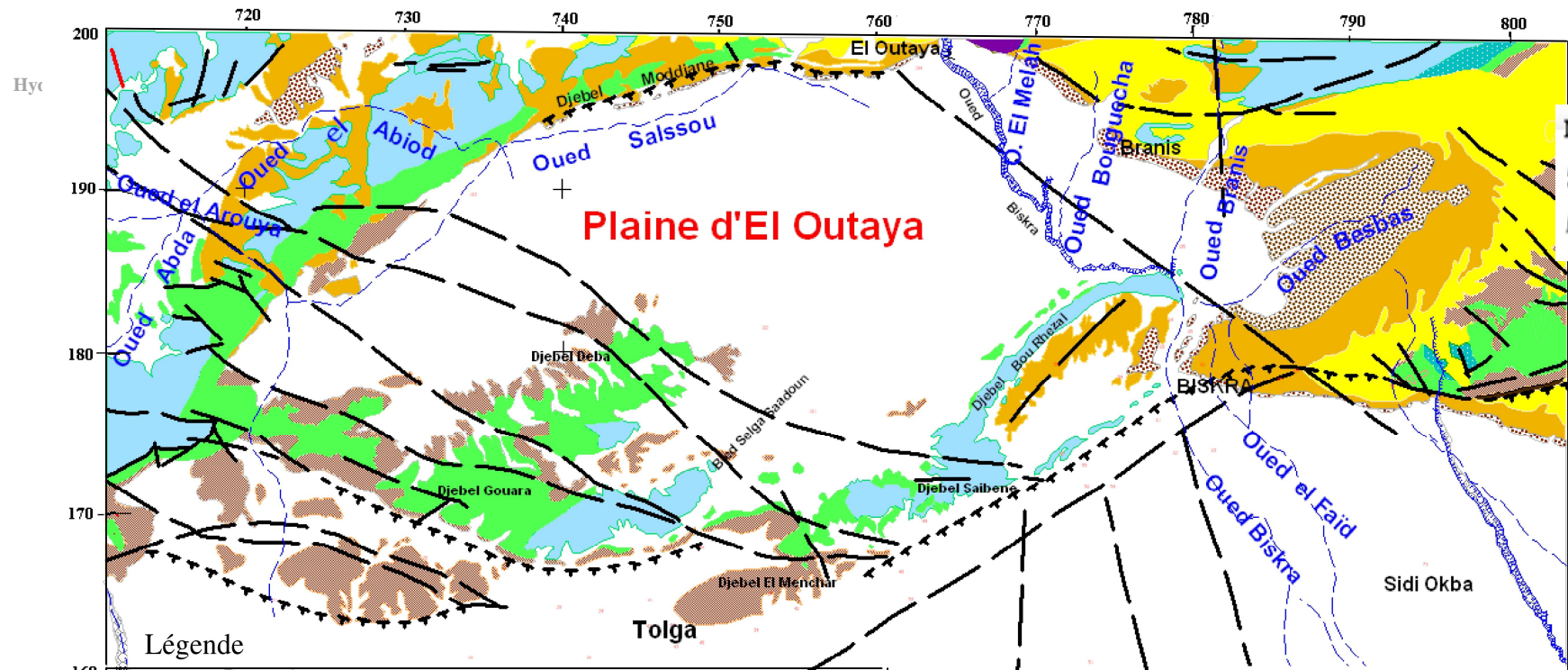


Fig.04 : Localisation des bassins néogènes de la région de Biskra (M.Chabbah, 2007)





Classement des terrains	stratigraphie	Lithologie	Classement des terrains	stratigraphie	Lithologie
	Quaternaire	Dépôts sableux ou Argileux		Sénonien	Marnes et Calcaires-marneux
	Pliocène	Poudingues, conglomérats et Grès		Sénonien inf.-Turonien-Cénomanien-Albien sup	Dolomies et calcaires massifs
	Mio-pliocène	Grès et sables, Argiles et Marnes à gypses		Lias	Marnes et calcaires-marneux
	Miocène marin	Marnes rouges à gypses et à silex		Trias	Diapir de sel gemme
	Eocène moyen	Argiles, Marnes rouges à blanches, à gypses et à Anhydrites		Faillies	
	Eocène inférieur	Calcaires massifs		Oueds	
	Sénonien supérieur	Calcaires massifs		Oued Biskra	

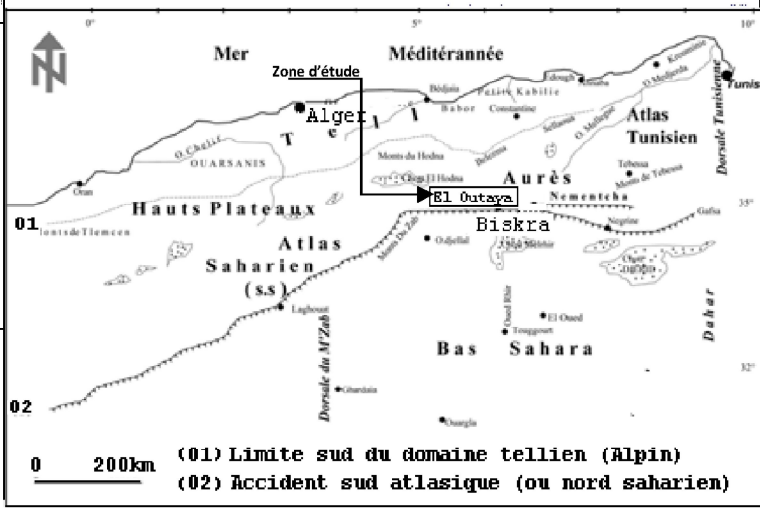


Fig.05 : Carte géologique de la plaine d'El Outaya (D.E.M.R.H, 1978)

### 3- Description des affleurements, leur position stratigraphique:

Le substratum sur lequel s'individualisent les formations néogènes de la région est formé de dépôts mésozoïques et paléogènes.

La série débute par le Trias, représenté par un gisement de sel gemme qui affleure en contact anormal, avec les formations néogènes, près de la plaine d'El Outaya (Diapir) et se termine par des formations du Quaternaire qui couvre presque la totalité du bassin. La nature lithologique des formations qui affleurent dans la zone d'étude est décrite comme suit:(fig. 05).

#### 3-1 Le Mésozoïque:

Le Mésozoïque forme les principaux reliefs imposants dans toute la région d'étude, comme dans l'ensemble de l'Atlas saharien. Il est, en grande partie, constitué de terrains crétacés où domine une sédimentation argilo-carbonatée.

3-1-1 Le Trias: Le Trias constitue les plus anciennes formations reconnues dans la région. Il se rencontre en position stratigraphique anormale ou éjectée au sein des séries encaissantes à la faveur des cassures. Il est formé d'argiles (bariolées ou violettes) gypsifères et salifères à cristaux d'aragonite, d'anhydrite, de quartz bipyramide ou encore d'hématite dues à des transformations secondaires et englobant des amas de roches diverses de l'ensemble de la couverture post-triasique.

Il se manifeste en un grand dôme à EL Outaya (Dj. El Melah) où il est associé à des lambeaux dolomitiques liasiques ou en petits filaments d'argiles bariolées (Fontaines des Gazelles, Branis et Djemora).

#### 3-1-2 Le Jurassique :

*a. Le Lias :* A l'Ouest de l'Aurès (Atlas saharien oriental), il est représenté par des calcaires jaunes et bleus à Bélemnites et Foraminifères du Toarcien inférieur (Flandrin, 1952). Par contre, sur la marge septentrionale de la plate forme saharienne, il est formé de calcaires oolithiques et de dolomies et se charge en anhydrite, en allant vers le Sud.

*b. Le Kimméridgien :* Il s'agit des terrains les plus anciens, reconnus en position normale dans le massif de l'Aurès où il forme une boutonnière, entre les vallées de l'Oued Abdi et de l'Oued Labiod (anticlinal de Djebel El Azereg). Il est formé de deux ensembles :

- Un ensemble carbonaté basal : d'une épaisseur de 250 à 300m, qui se rapporte au

Kimméridgien inférieur, formé de calcaires marneux, de marnes jaunâtres, de calcaires silicifiés multicolores à intercalations de marnes rouges surmontées de calcaires, de marnes et de calcaires bréchoïdes, à débris de crinoïdes, d'échinides et de bryozoaires et à cristaux de quartz. Cet ensemble se termine par une alternance de calcaires et de marnes.

- Un ensemble marneux sommital, d'une épaisseur de 400 m, monotone admettant dans sa partie médiane des intercalations de calcaires marneux à lamellibranches. Cet ensemble forme le cœur de l'anticlinal de Djebel El Ezreg.

*c. Le Portlandien et le Berriasien* : Cet ensemble, d'une épaisseur de 250 à 300 m, se présente sous deux faciès bien distincts, formant entre eux un passage latéral progressif avec un faciès calcaire-marneux, au Nord Ouest et un faciès dolomitique, au Sud Ouest du massif Aurésien :

- L'ensemble Calcaire-marneux, peu fossilifère, est formé de calcaires, en bancs siliceux, blanchâtres, violacés surtout à radiolaires et de marnes à ammonites pyriteuses, admettant quelques intercalations de calcaires argileux et de calcaires pisolithiques à brachiopodes, lamellibranches, polypiers et échinodermes à leur sommet.

- L'ensemble dolomitique est formé de dolomies azoïques, à rares passées de calcaires et de marnes à bélemnites et forme en majeure partie le flanc sud de Djebel El Azereg. Au-delà de l'accident sud atlasique, les dépôts jurassiques ne sont connus que dans le Sud tunisien. Ils sont formés d'une alternance de dolomies, de calcaires et de marnes avec des gypses à brachiopodes, crinoïdes, échinidés, gastéropodes et lamellibranches attribués au Bathonien - Kimméridgien.

3-1-3 Le Crétacé : Deux séries s'individualisent dans les formations crétacées : une série gréseuse basale du Crétacé inférieur (Berriasien - Albien) et une série Marno-calcaire sommitale du Crétacé supérieur (Cénomaniens - Maestrichtien).

*a- Le Crétacé inférieur* :

a-1. *Le Valanginien* : Il ne se rencontre qu'au centre du massif de l'Aurès (Djebel El Ezreg). Il est formé d'argiles blanches ou jaunes verdâtres, à ammonites pyriteuses et à petits cristaux de gypse contenant, par endroits, à leurs sommets des bancs calcaires qui se chargent en grès, auxquels se superpose une alternance de marnes, de grès et des quartzites à bélemnites, permettant quelques intercalations de calcaires à ostracées, de lumachelles et des calcaires pisolithiques. Plus à l'Ouest, il est représenté par des marnes à huîtres et de lumachelles. Son épaisseur est de 150 à 200 mètres.

*a-2. L'Hauterivien* : Deux faciès se distinguent dans l'Hauterivien de l'Aurès : un faciès gréseux à ciment carbonaté, caractérisé par des calcaires pisolitiques à algues, au Sud Ouest et un faciès gréseux dolomitique peu fossilifère au Nord Est. Il est formé de calcaires coquilliers (mollusques, échinidés), de calcaires pisolitiques (ou oolithiques), de calcaires gréseux et de grès friables à stratifications entrecroisées, avec parfois des quartzites et des dolomies au sommet de la série. D'une épaisseur d'environ 4500m, ces différents termes montrent d'importantes variations de faciès (latérale ou verticale) et correspondent à des dépôts peu profonds (côtiers).

*a-3. Le Barrémien* : Il affleure très largement dans les Aurès (Djebel El Azreg) et représente une période régressive. Il est constitué de grès à base bréchique, de calcaires, de marnes gréseuses et de dolomies massives, avec par endroits des calcaires marneux ou gréseux. Les grès sont très diversifiés (moyens, grossiers, à graviers) et souvent à stratifications entrecroisées. Les marnes ou argiles sont multicolores (vertes, rouges, ocres ou brunes). Au Sud Ouest de l'Aurès, il est à dominance de grès à dragées et d'argiles rouges contenant, à leur sommet, des lentilles de gypse. Au Nord Ouest, on trouve des quartzites à la base et des marnes marines fossilifères, au sommet.

Son épaisseur diminue du Sud (400 m) au Nord (250 m) et près de la ville de Biskra (Djebel Bou Rhezal), il n'est représenté que par quelques mètres d'argiles rouges, à bois fossiles.

*a-4. L'Aptien* : d'une épaisseur de 250m environ, se rencontre dans tous les grands anticlinaux de la région (Djebel Metlili, Djebel El Ezreg, Ahmar Kadou, Bou Rhezal,). Il est formé de marnes à ammonites, de calcaires marneux, de marnes à bancs calcaires, de calcaires à intercalations marneuses, de calcaires gréseux ou massifs à orbitolines ou polypiers et se termine par une alternance de calcaires et de Marnes. Il est formé d'un Aptien inférieur marneux à échinidés, ostracés, brachiopodes et rares ammonites et d'un Aptien supérieur à rudistes et Orbitolines et se termine par un niveau marno-calcaire.

*a-5. L'Albien*: est très répandu, comme l'Aptien, dans les grands anticlinaux de l'Aurès, ainsi que sur la marge septentrionale de la plate forme saharienne. Dans le domaine atlasique (Aurès), Il se présente sous deux faciès bien distincts :

- Un faciès Marno-gréseux basal, formé d'une alternance, 150 à 200 m, de grès grossiers et de marnes contenant quelques bancs de calcaires à ammonites ou de quartzites, au Nord Est qui passent à des argiles bariolées et des grès rouges, au Sud Ouest du massif.

- Un faciès carbonaté sommital, représenté surtout par des calcaires à céphalopodes au Nord-Est, passant à un faciès marneux gréseux, au Nord Ouest, comparable au faciès basal et à des calcaires subrécifaux à algues calcaires et orbitolines, au Sud Ouest.

*b- Le Crétacé supérieur:* Le crétacé supérieur forme l'essentiel des affleurements mésozoïques dans la région. Il est bien développé dans le massif de l'Aurès et ses régions limitrophes. Il présente d'importantes variations de faciès et d'épaisseurs.

*b-1. Le Cénomanién :* Il est représenté par une épaisse série marine, avoisinant les 700 m d'épaisseur, Mano-calcaire, à sa base et marneuse à son sommet. Dans la partie occidentale de l'Aurès (Djebel Metlili, El Kantara), il est formé d'alternances de calcaires gris jaunâtres à violacés, de marnes et de calcaires marneux à passées lumachelliques que surmontent des calcaires dolomitiques à orbitolines ou des dolomies blanches saccharoïdes.

A l'Est de Biskra (flanc sud d'Ahmar Khaddou), le Cénomanién est représenté par des marnes à ammonites et des calcaires à ostracées, huîtres et polypiers au sommet. Par contre à l'Ouest (Djebel Bou Rhezal où l'épaisseur est réduite, 200 m), il est formé d'une alternance de marnes et de calcaires à ostracées et radiolites et il se termine par des marnes à huîtres contenant, à leur sommet, des bancs gypseux.

*b-2. Le Turonien :* Le Turonien est l'étage qui occupe les plus larges surfaces à l'affleurement parmi tous ceux du Mésozoïque dans tout le massif de l'Aurès et sa périphérie. Dans les zones périphériques, il est formé de récifs et de calcaires à rudistes, polypiers et algues calcaires (100 à 300 m), alors que dans les zones axiales, il est surtout représenté par des marnes et des calcaires à céphalopodes et échinidés (600 à 800 m).

*b-3. Le Sénonien :* A l'inverse des formations sous-jacentes, le Sénonien n'affleure que dans les anticlinaux, mais bien aussi dans les synclinaux de la région. Il est formé d'une épaisse série marine, 1500 à 2000 m, Marno-calcaire présentant une certaine homogénéité d'ensemble, avec une réduction nord - sud des épaisseurs.

### **3-2. Le Cénozoïque**

#### **3-2-1. Le Paléogène :**

Le Paléogène est aussi bien représenté en affleurement que le Sénonien, surtout au Sud -Est de la région d'étude, car on le trouve dans tous les synclinaux du versant sud du massif de l'Aurès et du

Sillon présaharien. Quoiqu'il présente de nombreuses variations de faciès et une nette réduction d'épaisseur du Nord -Ouest au Sud- Est, il se compose principalement de deux séries bien distinctes :

- Une série marine, à la base (Danien - Lutélien supérieur)
- Une série continentale, au sommet (Eocène supérieur - Oligocène).

*a-1. Le Paléogène marin* : C'est dans le Sud- Est de l'Aurès (synclinal de Ouled Rechaich, flexure Khanguet Sidi Nadji - Séiar et Chaîne de Rhellis) que le paléogène marin, conservé surtout dans les dépressions synclinales est le plus développé.

La série à Nummulites, est formée de dolomies à silex, intercalées de calcaires crayeux à tests d'oursins et d'huîtres et de calcaires dolomitiques grises à nummulites, operculines et des débris phosphatés.

*b. Le paléogène continental* : Le Paléogène continental (Eocène supérieur et Oligocène) est représenté par des dépôts rouges, souvent grossiers et dont leur épaisseur ne dépasse pas 200 m. Il se rencontre, soit dans des synclinaux en concordance sur le Lutétien et supportant, par endroits en concordance apparente le Burdigalien, soit en discordance sur tous les termes des séries plus anciennes.

### 3-2-2. Le Néogène (Complexe Terminal) :

Le complexe terminal est défini pour la première fois dans le Sahara septentrional par Kilian (1931). Il correspond à des formations continentales, souvent rubéfiées et d'âge Mio-pliocène. Ces formations peuvent être identifiées par le seul fait qu'elles soient souvent discordantes ou ravinantes sur un substratum tectonisé, lors de la phase Atlasique éocène. De même, il est surmonté par des dépôts quaternaires, légèrement discordants ou ravinants dans bien des cas (Guiraud, 1978).

Par la suite, le terme a été étendu à l'ensemble des formations rouges tertiaires de l'atlas saharien et de l'Aurès plus au Nord. Cependant, malgré les larges étendues de ces formations en affleurement avec leur puissante épaisseur, plus d'un millier de mètres, leur étude a été négligée. Aucune étude détaillée n'a été faite, jusqu'à nos jours, de ces formations, alors qu'elles étaient signalées dès 1849 par Foumel.

*a. Série type et unités litho-stratigraphiques du Néogène* (fig.06): Dans la région de Biskra et ses régions limitrophes (l'Atlas Saharien, Aurès, chaîne de Rheliss) les terrains néogènes occupent une grande superficie. Les affleurements principaux se localisent en bordures de bassins (piémonts et dépressions où ils sont souvent recouverts par une faible épaisseur de formations

quaternaires et entaillées par des petits ravins). Par contre, dans les centres de ces bassins, ces dépôts néogènes sont enfoncés sous d'épaisses formations récentes du Quaternaire qui viennent les couvrir en discordance. Cependant, de nombreux sondages ainsi que diverses prospections géophysiques permettent, dans de nombreux cas, de suivre leur évolution en profondeur, des marges vers les centres de ces bassins.

La série néogène bien développée en affleurement, notamment, en bordures septentrionales des bassins, repose souvent en discordance, selon les endroits et les niveaux atteints, par l'érosion post-tectonique, sur des formations d'âges différents (Oligocène, Eocène, Crétacé supérieur).

Lorsqu'elle est complète, elle comporte plusieurs ensembles litho-stratigraphiques ou formations découpées en séquences. Il s'agit d'unités lithologiques à valeur régionale, dont les limites sont souvent hétérochrones et les appellations sont variables d'un auteur à l'autre. Toutefois, le découpage de Guiraud (1973, 1990) basé sur l'âge de ces formations, demeure le plus affiné. Cet auteur, suite à une étude détaillée du bassin du Hodna et des régions voisines, subdivise la série néogène en plusieurs ensembles qu'il nomme : Miocène 1, Miocène 2, Miocène 3, Miocène 4 et Pliocène. Par conséquent, nous nous référons dans notre étude, à chaque fois qu'il sera nécessaire, à ce découpage, afin de permettre des corrélations d'ordre régional.

Néanmoins, malgré les différentes subdivisions existantes, la plupart des auteurs s'accordent à donner à cette série néogène, la superposition suivante :

- A la base : Des argiles vertes ou brunes, des calcaires Aquitano-Burdigaliens.
  - Des argiles souvent brunes à intercalations de bancs gypseux Langho-Serravaliens.
  - Des argiles rouges, gypseuses Tortoniens.
  - Des grès ou sables bruns-rouges Messéniens.

- Au sommet : Des poudingues rouges pliocènes.

En réalité, cette superposition correspond au schéma très simplifié des grands ensembles qui présentent sur le terrain d'importantes variations latérales et verticales de faciès. A l'affleurement ou en sondages, les différentes coupes montrent plusieurs alternances, souvent désordonnées, d'argiles, d'argiles sableuses, de grès ou sables, parfois argileux et des conglomérats au sommet, avec la présence de faciès évaporitiques (Gypseux), dans presque tous les niveaux ou quelques bancs carbonatés.

Dans notre étude, la série néogène, ci-dessous a été découpé en cinq ensembles (ou formations) et tient compte à la fois, la nature et le milieu de dépôt des faciès constitutifs. Leurs limites sont précisées par analyse séquentielle des différents faciès présents dans chacun de ces ensembles. Elles prennent une reconnaissance rapide en sondage et sur le terrain de ces différents ensembles et constituants ; donc, des repères cartographiques indispensables, en l'absence de données biostratigraphiques fiables.

*a-1. L'ensemble des argiles brunes et vertes «Aquitano-Burdigalien»:* Sa base est constituée de formations détritiques le plus souvent continentales qui passent, par endroits, à des formations lacustres et évaporitiques, de couleur généralement rouge et repose en discordance, plus ou moins accentuée sur l'Oligocène, l'Eocène inférieur ou moyen ou sur le Crétacé.

Il se localise principalement sur les bordures orientales des bassins néogènes (El Outaya, El Kantara et le Hodna, plus au Nord-Ouest). Dans la région d'étude, il se rencontre en larges affleurements, à Branis et à El Outaya.

Près du village de Branis, la série comprend des argiles brunes gypsifères à la base et des argiles vertes fossilifères à huîtres, au sommet et qui s'observent d'une manière régulière dans ce bassin. Par contre, à l'Est de Djebel El Melah, la série comprend des marnes que surmonte une puissante formation conglomératique, à gros blocs calcaires du substratum. Aux alentours d'El Outaya, les argiles vertes sont directement recouvertes par des calcaires argileux à lamellibranches et Globigerinoides au Nord- Est et sont à barres conglomératiques à leur sommet, au Sud- Ouest. La persistance des apports détritiques dans les dépôts marins a gêné le développement et la fossilisation de la microfaune, qui est rare et mal conservée. Toutefois, la présence de Globigerinoides confirme l'attribution de la formation au Miocène, ce genre apparaissant dans l'Aquitaniens, selon Berggren (1971). La présence de pectinidés - *Ostrea crassissima* au sommet de l'ensemble, permet d'attribuer un âge Burdigalien aux argiles vertes (Laffitte, 1939).

*a-2. L'ensemble des argiles à intercalations gypseuses «Langhien-Serravalien » :* Cet ensemble est constitué d'argiles brunes à gypse, avec des intercalations métriques de bancs gypseux (Branis), d'argiles brunes gypsifères avec à leur sommet, un banc de calcaires marneux (Droh) ou d'une alternance de grès, de grès argileux et d'argiles gypseuses, avec apparition de petits bancs de calcaires marneux, dans sa partie sommitale (El Outaya).

Cet ensemble est attribué à l'Helvétien par Laffitte, car il surmonte directement le Burdigalien.



*a-3. L'ensemble des argiles rouges à gypse «Tortonien» :* Cet ensemble, bien identifié dans le bassin de Biskra et celui des Chotts, est formé d'argiles brunes ou rouges gypseuses à faibles passages gréseux ou sableux. Dans le bassin d'El Outaya, il est fortement sableux et formé d'une alternance d'argiles bruns rougeâtres gypseuses, de grès ou grès argileux bruns rouges à petits cristaux de gypse. Quelques petits bancs carbonatés ou gypseux apparaissent, par endroits.

Des nodules d'argiles vertes ou brunes reconnues dans les ensembles de base sont fréquents et témoignent d'un début de soulèvement (surrection) de l'ensemble de la région, au cours de ces dépôts.

*a-4. L'ensemble gréseux «Messénien» :* Il est formé de grès moyens à grossiers bruns- rouges à quelques passages de lits graveleux ou de conglomérats ou encore des intercalations d'argiles rouges à gypse. Vers le sud, les lits de graviers sont plus abondants et la proportion des argiles augmente. Dans le secteur Droh - M'Chounech, il est discordant sur les argiles rouges à gypse Tritoniennes.

Ces grès renferment à leur sommet, des hélix «Tissoti Baryan » et sont semblables et en continuité avec grès de Djérid en Tunisie, datés par une faune de mammifères du Messénien (Laffitte, 1939).

*b. L'ensemble conglomératique «Pliocène»:* Il est formé de conglomérats grossiers peu consolidés et très hétérogènes, à lentilles gréseuses à leur base. Il est bien développé à Ras Chicha et à Djebel Rheliss, dont il forme les hauteurs de ces deux chaînons.

Les faciès sont, généralement constants. Ils sont très grossiers sur les bordures des bassins et montrent une diminution de la proportion et de la taille des galets qui tendent à disparaître au toit de l'ensemble, en direction des parties centrales des cuvettes de sédimentation.

Il repose en concordance ou en légère discordance sur le Messénien et surmonté, à son tour en nette discordance, par des conglomérats, très consolidés du Quaternaire ancien. Par conséquent, son âge se déduit aisément de sa position entre le Messénien supérieur et le Quaternaire ancien, comme le signalaient Laffitte et Guiraud.

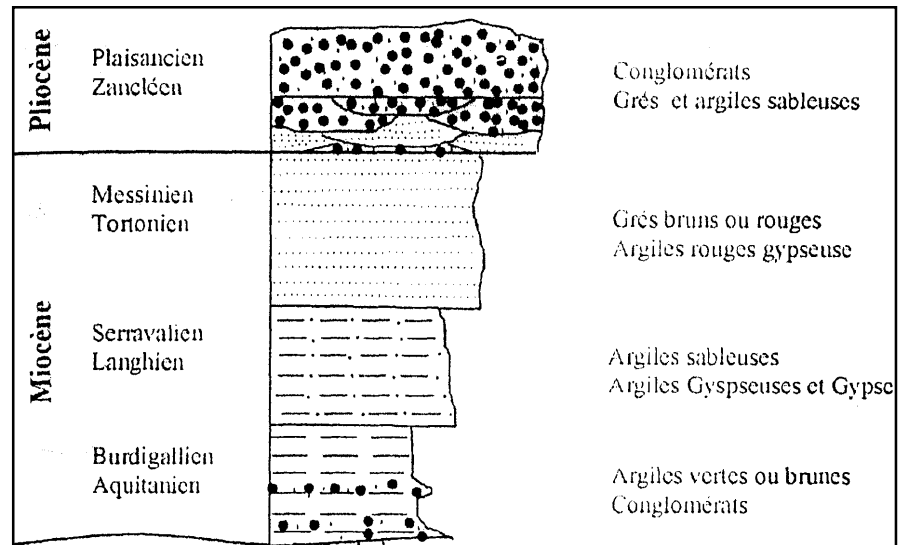


Fig.06:Coupe lithostratigraphique type du Néogène (M. Chabbah, 2007)

### 3-3.Description des coupes :

a. Coupe Branis: La coupe a été levée par Chabbah, 2007 à environ 2Km (fig.07) au Sud Est du village Branis, entre Djebel Teniet Er Riah et Oued Lefteh, où les formations néogènes reposent en discordance sur le substratum d'âge Crétacé supérieur; C'est dans cette région que la série est la plus développée et montre tous les termes du Miocène de l'Aquitano-Burdigalien au Messénien, formé par :

1<sup>er</sup> ensemble argileux : Ce premier ensemble argileux, d'âge Aquitano-Burdigalien qui correspond à un Miocène évaporitique, à la base et qui passe progressivement à un Miocène franchement marin fossilifère, au sommet, d'une épaisseur dépassant les 200 m, il est constitué d'argile brune à cristaux millimétriques de gypse et dont la proportion décroît progressivement vers leur sommet, devenant des brunes verdâtres, à huîtres parfois à échinides.

Vers la base, c'est une séquence formée d'argiles brunes verdâtres à cristaux millimétriques de gypse dont leur proportion décroît vers leur sommet, ce qui suggère une diminution du degré de confinement. Il s'agit d'une séquence évaporitique qui s'est probablement formée dans un milieu partiellement fermé, avec une augmentation du niveau marin, vers le sommet de la séquence (Aquitanien - début Burdigalien).

Vers le sommet, cet ensemble est formée de deux séquences ; la première est composée d'argiles brunes verdâtres à huîtres et la seconde, d'argiles brunes à échinides. Ce sont des séquences qui se sont déposées dans un milieu marin franc, malgré son contenu fossilifère qui indique un milieu marin peu

profond, on enregistre une augmentation du niveau marin, relatif au cours du dépôt, avec probablement un maximum d'inondation au sommet de la séquence.

2<sup>ème</sup> ensemble argilo-sulfaté : formé d'un complexe argilo-gypseux ,d'une épaisseur dépassant une centaine de mètres (plus de 100m), constitué d'une alternance d'argiles gypseuses et de gypses en bancs.

Il s'agit d'un ensemble où une sédimentation plus confinée, représentée par des évaporites sulfatées, est la plus développée de toute la région. Elle se manifeste soit par de petits bancs gypseux, centimétriques finement laminés à la base de l'ensemble, soit en cristaux millimétriques à centimétriques de gypse, bien cristallisé dans une matrice argileuse où s'alternent de gros bancs métriques (1.5m à 3.5m) en lamelles stratifiées. Ces bancs gypseux, qui s'étalent latéralement sur plusieurs centaines de mètres, s'individualisent remarquablement et par conséquent, dessinent une stratification nettement parallèle dans cet ensemble (Djebel Debdab).

Cet ensemble est attribué au Langhien-Serravalien, correspond à des séquences évaporitiques (chimiques) où le taux de confinement s'accroît vers le sommet, avec une remise en eau permanente. Elles se sont formées dans un milieu lagunaire où des eaux sur-salées entraînent des précipitations de sel, suite à une chute du niveau marin. Elles peuvent être interprétées comme des dépôts, sebkhas, dans lesquels les sulfates et les carbonates se forment à la suite d'une évaporation dans un milieu marin partiellement isolé, sous un climat chaud.

3<sup>ème</sup> ensemble gréseux : C'est un ensemble à dominance gréseuse, qui débute par l'installation d'une sédimentation silico-clastique (gréso-argileuse), toujours à influence lacustre. Il surmonte en légère discordance angulaire l'ensemble précédent. D'une épaisseur d'environ 250m qui débute par une couche d'argile sableuse et gypseuse rouge et de calcaire cristallins, rougeâtre, devenant des grès argileux rouges et à cristaux de gypse, avec des passées de sable.

Ensemble attribué au Tortonien- Messénien, il correspond à des dépôts de milieu intermédiaire ou mixte avec le passage d'un environnement lagunaire à un environnement littoral. Après un isolement du milieu conduisant à son confinement en bordure de mer (formation d'une sebkha côtière), le matériau détritique arrive progressivement suite à une reprise d'érosion sur la marge continentale. Il s'agit de dépôts peu profonds qui se sont probablement déposés entre le supratidal et l'infratidal.

4<sup>ème</sup> ensemble grés-conglomératique: C'est un ensemble d'une cinquantaine de mètres d'épaisseur (50 m), il est essentiellement silico-clastique ,formé de grès et de conglomérats, dans

lesquels les différents termes s'organisent en bancs granulo-décroissants soit en chenaux à accréation latérale. Il est représenté par une alternance de grès à grains grossiers, parfois moyens à ciment argileux et des conglomérats à galets peu allongés vers la base, devenant peu arrondis vers le sommet, témoignant une sédimentation dans un milieu continental. D'après Chabbah, 2007, cette formation est attribuée au Pliocène inférieur.

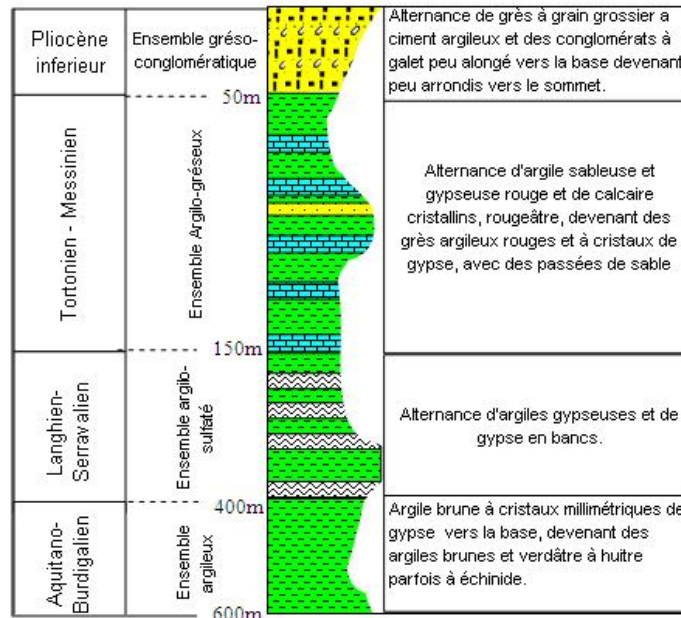


Fig.07: Coupe dans la région de Branis (M.Chabbah, 2007)

b. Coupe de l'Oued Bou Guecha La coupe a été levée par Guiraud, le long de l'Oued Bou Guecha au Sud Est de Djebel El Melah (fig.08): la série néogène est recoupée en cluses par l'Oued Bou Guecha et suivie sans interruption. De bas en haut on différencie :

- 1<sup>er</sup> ensemble conglomératique.
- 2<sup>ème</sup> ensemble argilo-carbonaté.

Ces ensembles appartiennent au Miocène. La série dont son substratum n'est pas visible a été levée en détail, de la base au sommet, on trouve successivement :

1<sup>er</sup> ensemble conglomératique : Cet ensemble, d'une épaisseur de 300m, est constitué de conglomérats rouges à galets grossiers, hétérogènes et mal cimentés (galets de quelques centimètres à quelques décimètres, avec un diamètre moyen de 24 cm). De gros blocs calcaires pouvant atteindre le mètre, se manifestent à la base de l'ensemble.

Il s'agit d'une séquence détritique grossière, présentant des caractères de coulées de débris à support matriciel d'où Guiraud l'attribue à l'Aquitainien. Ils correspondent à des dépôts proximaux de type écoulements gravitaires, mettant en évidence la présence d'une bordure continentale, située au Nord du bassin, comme sur la coupe de Branis.

2<sup>ème</sup> ensemble argilo-carbonaté : Il repose, en légère discordance, sur l'ensemble précédant et s'organise en deux sous-ensembles, qui sont de bas en haut :

*\*Sous-ensemble «a »(Burdigalien) :*

Avec une épaisseur qui dépasse 60m. Il est constitué d'alternance d'argiles jaunes ou verdâtres, peu gypseuses et de calcaires argileux à lamellibranches, avec des stratifications parallèles à peu ondulées. Elle correspond à un faciès marin peu profond.

*\*Sous-ensemble «b » (Langhien - Serravaliens) :*

Il repose en nette discordance sur le précédent, ensemble plus de 60m d'épaisseur et qui débute par 07m de calcaire conglomératique et se termine par une épaisse couche d'argiles brunes ou rouges gypseuses (60m) à larges stratifications parallèles. C'est une séquence évaporitique qui s'est déposée, comme celle de Branis plus à l'Est, dans un environnement lagunaire, elle correspond aussi à des dépôts de sebkha, dans lesquels les surfaces se forment par évaporation dans un milieu épisodiquement isolé de type plate forme externe, séparée de la plate forme interne par des hauts fonds, sous un climat chaud.

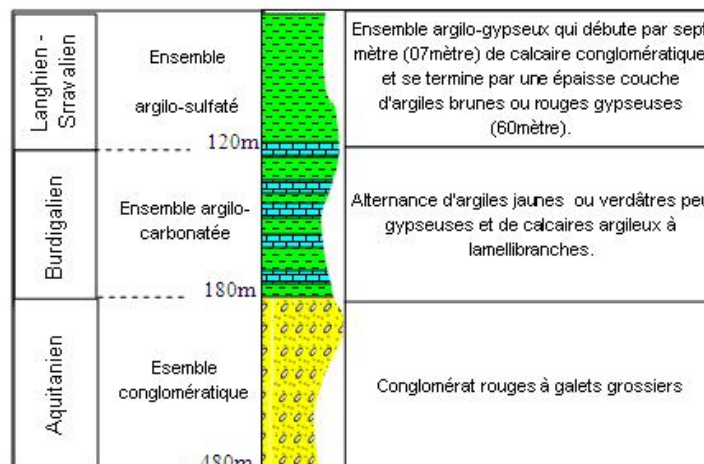


Fig.08: Coupe dans la région de Bouguecha (R.Guiraud, 1990)

### c. Coupe de l'Oued Biskra -El Outaya

La coupe a été levée le long de la rive gauche de l'Oued Biskra, à environ 2 Km au Nord-nord-ouest du village d'El Outaya par M.Chabbah, 2007 (fig.09).

Les formations néogènes reposent en discordance sur les calcaires sénoniens ou éocènes, formant l'extrémité orientale de Djebel Bou Rada.

Les formations anté-néogènes (substratum) sont représentées par des calcaires organo-détritiques, schisteux très fossilifères (surtout à lamellibranches). Au contact avec les argiles miocènes, elles sont conglomératiques, renfermant de gros blocs, de 30 à 40 cm de diamètre, sur une épaisseur de 3m et sont orientés à N230-240 et fortement inclinés de pendage : 40° NW).

Quatre ensembles pétrographiques se différencient dans la série néogène :

- 1<sup>er</sup> Ensemble marno-calcaire.
- 2<sup>ème</sup> Ensemble grésos-conglomératique.
- 3<sup>ème</sup> Ensemble : marno - grésos - calcaires.
- 4<sup>ème</sup> Ensemble gréseux.

Dans cette coupe, la série est découpée, comme à Branis, en quatre (4) séquences : du Miocène inférieur au Pliocène inférieur (fig.09).

1<sup>er</sup> ensemble marno-calcaire : D'une épaisseur de 150 m (fig.09), c'est une séquence progradante, formée de deux séquences de dépôts ; la première de l'Aquitainien (100m) est argileuse (argiles vertes gypseuses à leur sommet) ; la seconde du Burdigalien (50m) est argilo-carbonatée (argiles à grains de quartz et petits galets calcaires, calcaires argileux à lamellibranches, calcaires fins à gobigerinoïdes).

#### Aquitainien :

D'une centaine de mètres d'épaisseur, il est formé d'argiles vertes renfermant des petits cristaux de gypse, de grains de quartz et de petits galets calcaires au sommet. C'est une séquence qui s'est, probablement, formée dans un milieu partiellement fermé permettant, épisodiquement, l'arrivée de quelques éléments détritiques dans le milieu de dépôt. Elle correspond à une séquence de milieu peu profond qui s'isole progressivement, permettant le confinement du milieu.

Burdigalien :

D'une épaisseur de 50 m environ, c'est une séquence, complètement carbonatée, formée de calcaires argileux gris rougeâtres à lamellibranches et de calcaires fins à gobigerinoïdes, présentant des structures de détachement onduleuses plus ou moins ordonnées (stratifications faiblement onduleuses). C'est une séquence chimique correspondant à un dépôt de plate forme externe ouverte sur le large, d'après Chabbah, ce type de séquences carbonatées se développe à des profondeurs importantes (-40m).

2<sup>ème</sup> ensemble gréso-conglomératique: Cet ensemble est à dominance détritique, constitué de plusieurs formations. Il est surmonté en concordance à l'ensemble précédant qui débute par des grès ,en bancs conglomératiques (2m), succédé par une couche de conglomérat (1,5m), quatre vingt mètres de grès multicolores (rouge, jaune, vert, clair), intercalée par fines passées de calcaire blanchâtre et une couche (18m) d'argile rouge à gypse, en petits cristaux.

Aussi, il est à noter que dans cet ensemble, la manifestation de structures sédimentaires particulières (stratification oblique ou entrecroisée, des surfaces durcies) et la présence d'organismes algaires et des polypiers au sommet de cet ensemble témoignent d'une instabilité des rivages pendant le dépôt qui se fait, probablement, sous une faible tranche d'eau et qui traduit un retrait progressif de la mer et conduisant ainsi à un confinement du milieu et par conséquent à la formation de dépôts chimiques (gypses).

D'après Guiraud R., cet ensemble se rattache par son contenu fossilifère au langhien - serravallien, car les termes marneux ou les marnes de Bled saglat saadoune lui ont fourni des espèces serravalliennes (Gobigerinoïdes trilobus, globigerinoïdes quadrilobatus).

3<sup>ème</sup> ensemble argilo-gréso-carbonaté:C'est un ensemble constitué de dépôts silicoclastiques et chimiques qui se manifestent par des argiles - grès - calcaires et qui sont toujours en concordance apparente sur les termes précédents, on trouve :

Plus de 210m d'épaisseur, formée par un ensemble gréseux brun- rouge à grain fin à moyen, à ciment argileux parfois à ciment carbonaté, intercalé par des calcaires marneux bruns-beiges avec des tâches d'oxyde de fer vers la base , des argiles sableuses brunâtres, devenant des argiles gypseuses vers la sommet, cet ensemble se rattache au Tortonien - Messénien ,d'après Chabbah,2007.

D'après la coupe établie par Chabbah ,2007, la sédimentation débute par une formation silicoclastique, présentant un comblement en milieu littoral, suivie par la présence de passées de

calcaires et de gypses, intercalées dans un milieu sableux et qui correspondent à des séquences de confinement plus ou moins lagunaires, suivies par de périodes de crues, amenant du matériel sableux, traduisant vraisemblablement un milieu côtier .

4<sup>ème</sup> ensemble gréseux: Ensemble d'une épaisseur plus de 113m, principalement gréseux et qui débute par des grès à lentilles de calcaires, des grès durs très gypseux, devenant un ensemble gréseux, durs à structure lenticulaire ou sans structure visible vers le sommet, avec des petites intrusions du matériel violacé triasique.

La manifestation de structures lenticulaires complexes, la persistance des proportions importantes du matériel remobilisé, surtout triasique dans cet ensemble détritiques; et comme nous ne sommes pas loin du diapir de sels, daté du Quaternaire, Laffitte, 1939 implique une accentuation de l'activité tectonique, lors du dépôt de cette formation où M.Chabbah l'a attribué au Pliocène inférieur.

Notons que le tout est surmonté par des conglomérats très consolidés, quaternaires qui viennent en discordance nette sur les grès que nous venant de décrire. Ces conglomérats qui sont horizontaux, au départ plongent avec un angle d'environ 10°SE vers la fin du profil et se cachent sous des alluvions plus récentes, au niveau de la vallée de l'oued Biskra, près de l'oasis.

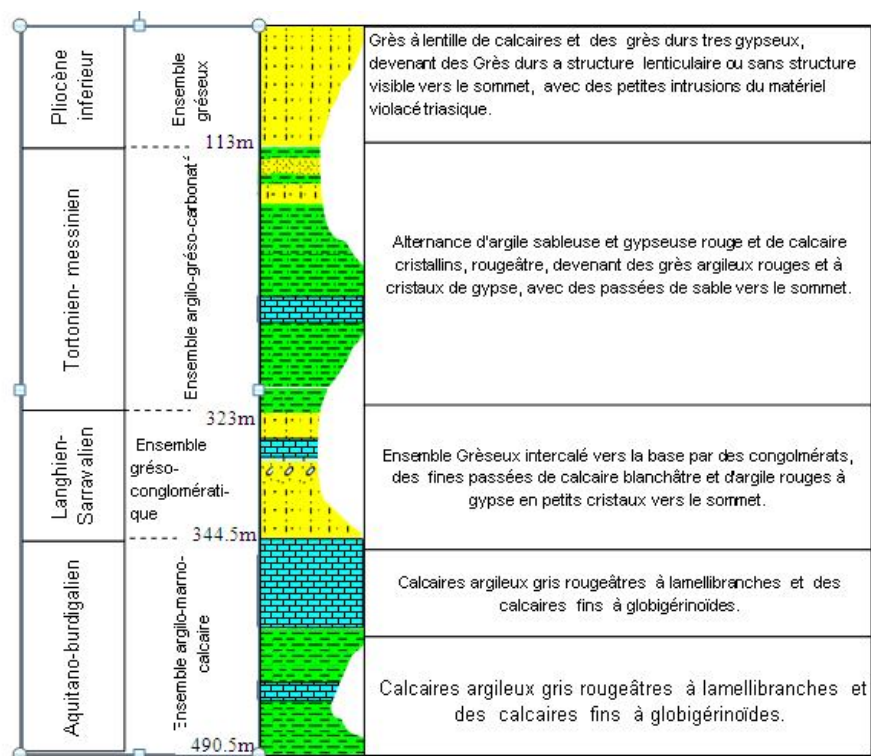


Fig .09: Coupe dans la région de Biskra-El Outaya (M. Chabbah, 2007)



d.Coupe de Khenig Ez Zenad - El Outaya: La coupe a été levée à environ 2 Km au Nord Ouest du village d'El Outaya (Chabbah, 2007), au niveau de Khenig Ez Zened du Nord –Nord- Ouest, vers le Sud –Sud- Est. La série néogène repose en discordance sur les calcaires sénoniens, formant les sommets de Djebel Bou Rada. Les calcaires du substratum s'orientent à N260 -270 et plongent fortement au Sud-ouest (à 50-60° SW) alors que les formations du Néogène s'orientent à leur tour à N280 et plongent avec un angle d'environ 30° au Sud- Sud- Ouest (fig.10).

Deux ensembles pétrographiques bien distincts se succèdent :

1<sup>er</sup> ensemble argilo-conglomératique.

2<sup>ème</sup> ensemble argilo-gréseux.

La série bien visible au niveau du ravin, entaillant Khenig Ez Zenad, appartient entièrement au Miocène. Elle comprend du bas en haut :

1<sup>er</sup> ensemble argilo-conglomératique: C'est un ensemble formé d'argiles (90m), vertes et repose en nette discordance sur son substratum (calcaires sénoniens), devenant une alternance d'argiles rouges et des conglomérats (30m), à élément grossier, parfois moyen, avec des petits cristaux de gypse, vers le sommet.

La nature terrigène des faciès avec l'installation des barres conglomératiques dans la série indiquent un changement d'énergie du milieu lors du comblement (alternance de périodes de faible et de forte énergie), dont le matériel de cet ensemble provient du démantèlement des massifs bordiers. L'apparition d'une sédimentation confinée sulfatée (Gypse), au sommet de l'ensemble, témoigne d'un milieu lagunaire.

2<sup>ème</sup> ensemble argilo-gréseux: Cet ensemble est formé d'une alternance de grès, de grès argileux et d'argiles sur une épaisseur d'au moins 250 m. Il est subdivisé en deux sous ensembles :

*\*Sous-ensemble 1 :*

Il est d'une épaisseur de plus de 30m et se compose d'une alternance de grès blanc-jaunâtre, à grain fin à moyen et des argiles rouges avec des gypses en cristaux centimétriques ou en lamelles millimétriques, vers le sommet, la présence de calcaire-gréseux. D'après M.Chabbah, 2007, cet ensemble ne peut être que du langhien-Serravalien.

Sur la base de l'analyse lithostratigraphique, ces formations se sont formées dans un milieu partiellement confiné, permettant l'arrivée du matériel détritique dans le bassin ; par comparaison à leurs équivalentes dans le secteur oriental (voir coupes litho stratigraphiques), elles sont plus proximales et se sont fort probablement déposées dans un environnement littoral de type plate forme interne, séparée de la plate forme externe, par un haut fond.

*\*Sous-ensemble 2 :*

Il s'organise, à son tour par une alternance, d'une épaisseur de plus de 220m, formée d'argile rouge, peu gypsifère vers la base et des grès en banc brun-jaune à rouge, avec des inclusions de calcaire, vers le sommet et est marqué par la présence de grès à cristaux de gypse. Cet ensemble est attribué par Chabbah, 2007, au Tortonien- Messénien, où il est recouvert par une alternance d'argile rouge parfois sableuse et grès rouge fin, devenant grossier vers le sommet, d'une épaisseur de 60m et d'âge quaternaire.

Cet ensemble correspond à des séquences de comblement de type épandage fluvatile où la base de la séquence est argileuse et s'enrichit progressivement en sables, qui sont typiques des milieux littoraux. Elles matérialisent le passage entre un milieu marin et continental, à travers un passage d'un milieu lagunaire, par la présence de bancs de gypse.

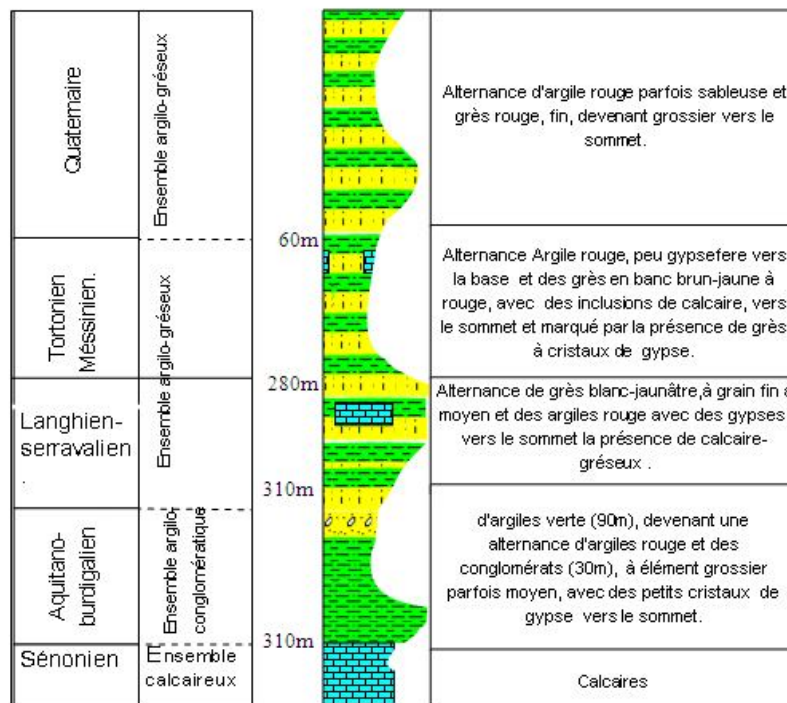


Fig .10: Coupe dans la région khenig Ezened-El Outaya (M. Chabbah, 2007)

e. Coupe de Chaâbet Zeboudja - Bled El Marhder:

La coupe a été levée entre Djebel Moddiane et Bled El Marhder, le long de Chaâbet Zeboudja par M.Chabbah, 2007. On trouve le même dispositif qu'à Khenig Ez Zenad, ce qui nous permet de mieux visualiser l'extension latérale et verticale de la série, dans cette partie occidentale du bassin (fig.11).

Sur les calcaires sénoniens ou éocènes, viennent en discordance deux ensembles :

1<sup>er</sup> Ensemble argilo-conglomératique: C'est un ensemble formé d'une alternance d'argiles jaunes vertes vers la base (60m), devenant rouges vers le sommet et des conglomérats à galets grossiers parfois moyens, hétérogènes, mal triés dont l'épaisseur est plus de 30m.

Cet ensemble est réparti en deux séquences, le premier est d'une épaisseur de 60 mètres, il est formé d'argiles Jaunes-verdâtres gypseuses. La proportion des gypses diminue nettement de la base vers le sommet de la séquence, qui s'est formée dans un milieu plus ou moins isolé au départ, marqué par la présence des cristaux de gypse, puis on assiste à une élévation du niveau marin relatif (remise d'eau) et par conséquent à un approfondissement progressif du milieu, lié à l'ouverture sur le large du bassin et qui a favorisé le dépôt des argiles.

La deuxième séquence d'une épaisseur d'environ 30 m, elle est formée de conglomérats mal cimentés à matrice argileuse abondante. La nature terrigène de cette séquence avec l'installation des barres conglomératiques, indiquent un changement d'énergie du milieu, lors du dépôt (alternance de périodes de faible et de forte énergie) qui a conduit à une alternance entre les argiles (Provient des fonds marin) et les conglomérats. (Matériel qui provient du démantèlement des massifs bordiers).

Cet ensemble est attribué par M.Chabbah, 2007 à l'Aquitano-Burdigalien.

2<sup>ème</sup> ensemble argilo-gréseux: Cet ensemble est formé d'une alternance de grès et d'argiles. Elle s'achève par des grès bruns jaunes, devenant brun-rouges vers le sommet, des grains grossiers à moyens, parfois fins vers le sommet, intercalés par des argiles rouges, parfois gypseuses à sableuses.

D'après l'analyse lithostratigraphique de cet ensemble, on constate que cette formation est formée de deux séquences. La première est grano-décroissante, alors que la deuxième est grano-croissante.

1<sup>er</sup> sous ensemble :

Formation attribuée au Langhien- Serravalien à dominance gréseuse. Elle est formée d'une alternance de grès à grain grossier vers la base, devenant plus fin vers le sommet, et d'argiles rouges gypseuses dont l'épaisseur est plus de 25m.

Ce type de séquences est caractéristique d'un milieu littoral ; il correspond à une séquence d'épandage fluviatile qui s'est déposées dans une plate forme interne, séparée de la plate forme externe, par un haut fond.

2<sup>ème</sup> sous ensemble :

Formation d'une épaisseur de plus de 96m, attribuée au Tortonien-messinien. Elle est formée d'alternance de grès brun-rouges et d'argiles brun-rouges, compacte vers la base, devenant sableuse à gypseuse, vers le sommet.

Cette formation est recouverte par une alternance d'argiles brunes, sableuses vers le sommet et des grès bruns à bruns peu friables, où l'épaisseur est de 20m, d'âge quaternaire.

Il s'agit d'une séquence de comblement dans un milieu partiellement isolé, permettant un confinement épisodique.

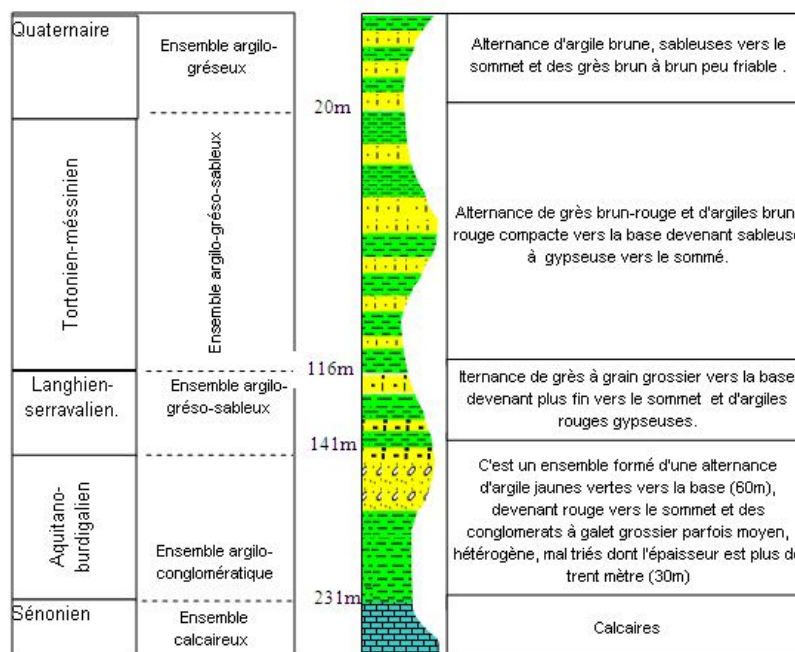


Fig .11: Coupe Chaâbet Zeboudja - Bled El Marhder (M. Chabbah, 2007)

f. Forage Bled el Mazouchia:

Suite à la nature des données de ce forage, réalisé dans la partie occidentale qui ne permet pas de déterminer avec précision l'âge des formations déposées dans cette partie du bassin, on s'est limité sur sa nature lithostratigraphique, pour faire connaître le phénomène de dépôt, dans cette partie (fig.12).

Vers l'extrémité nord occidentale du bassin, le forage Bled El Mazouchia, réalisé par la DHW de Biskra (1952-1954) a atteint les formations de l'Eocène moyen, avec une profondeur de 484 m, où il a révélé l'existence de la même disposition des ensembles précédents, mais complètement cachée, sous les dépôts quaternaires.

1<sup>er</sup> ensemble argilo-conglomératique :

C'est un ensemble formé d'argile gypseuse, d'une épaisseur de 51m et de conglomérats, d'une épaisseur de 32m.

Il est formé par deux séquences, la première s'est produite dans un milieu plus ou moins isolé au départ, marqué par la présence des cristaux de gypse, puis on assiste à une élévation du niveau marin et par conséquent, à un approfondissement progressif du milieu, ce qui a favorisé le dépôt des argiles. Cette formation est attribuée à l'Aquitano-burdigalien, d'après M.Chabbah, 2007.

La deuxième séquence est formée, de conglomérat à matrice argileuse abondante, indiquant un changement d'énergie du milieu, lors du dépôt (alternance de périodes de faible et de forte énergie) ce qui a conduit à une alternance entre les argiles et les conglomérats (Matériel provenant du démantèlement des massifs bordiers), formation attribuée au Langhien-Serravalien.

2<sup>ème</sup> ensemble argilo-gréseux :

Ensemble attribué, d'après M.Chabbah, 2007 au Tortonien, est d'une épaisseur de 141m. Il est formé d'une alternance de graviers, d'argiles et de sables.

Dans cet ensemble, on assiste à une succession d'une faible énergie, témoignant d'un dépôt dans une zone profonde et une forte énergie qui témoigne d'un dépôt dans une zone côtière.

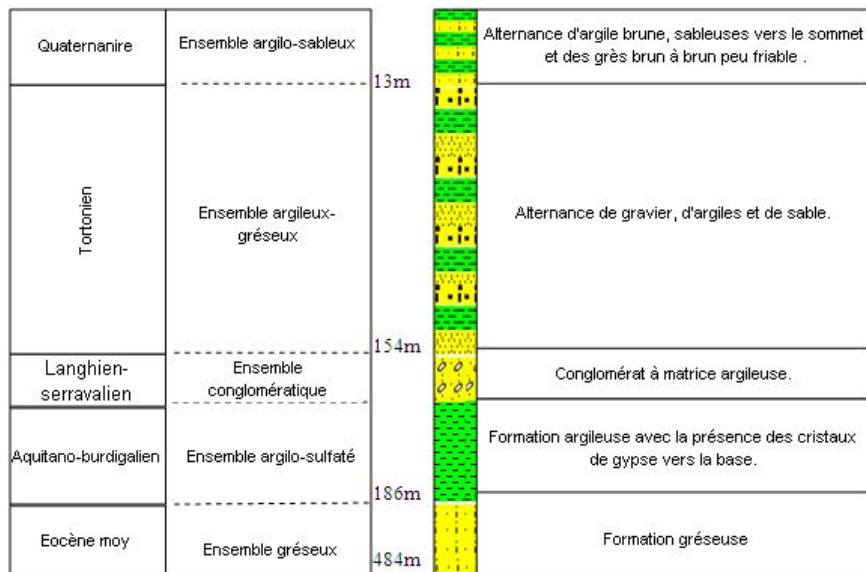


Fig.12: Log-lithostratigraphique dans la région de Bled El Mazouchia (DWH, 1954)

g. Coupe Mta Djefdjouf – Ras Chicha :

La coupe a été levée entre Mta Djefdjouf et Ras Chicha du Nord- Ouest au Sud- Est. C'est une coupe qui complète celle de Branis et montre tous les termes moyens et supérieurs du Néogène (fig.13). Quatre ensembles pétrographiques se succèdent, du bas en haut, comme suit :

- 1<sup>er</sup> ensemble argilo- sulfaté (gypseux).
- 2<sup>ème</sup> ensemble grés-argileux.
- 3<sup>ème</sup> ensemble grés-conglomératique.
- 4<sup>ème</sup> ensemble conglomératique.

Les trois premiers ensembles sont miocènes et s'organisent de la même manière que sur la coupe de Branis, par contre le quatrième est pliocène et forme les reliefs de Ras Chicha. Ces ensembles ont été levés par Chabbah, 2007, de la base au sommet, on rencontre successivement :

1<sup>er</sup> ensemble argilo-sulfaté :

Il est formé d'un complexe argilo-gypseux d'une épaisseur, de plus de 90m, constitué d'une alternance d'argiles à petits cristaux de gypse et de gypse, en bancs métriques.

Les bancs gypseux s'individualisent nettement et se suivent latéralement sur plusieurs centaines de mètres vers le Nord-Ouest. Ils dessinent une stratification parallèle, cet ensemble qui forme en grande partie la rive sud de la vallée de l'Oued Lafteh est attribué au Langhien-Serravalien, d'après M.Chabbah ,2007

2<sup>ème</sup> ensemble grés-argileux :

D'une épaisseur de 160 m environ, il se forme d'un ensemble à dominance gréseuse qui débute par l'installation d'une sédimentation détritique grés-argileuse (épaisseur 70m), toujours à influence lacustre (à gypse), intercalé par une vingtaine de mètres de formation, d'âge quaternaire, constituée d'alternance de sable et de grès. Il surmonte l'ensemble précédent, en légère discordance angulaire.

Cet ensemble se termine par une épaisseur de plus de 90m, formée par des alternances de grès, de grès argileux et d'argiles, avec toujours persistance de niveaux confinés sulfatés. Cette formation est attribuée au Tortonien-Messinien, d'après M.Chabbah ,2007.

3<sup>ème</sup> ensemble grés-conglomératique :

C'est un ensemble formé de grès et de conglomérats. Il commence par un grès micro-conglomératique de base, d'une épaisseur de 2 m, surmonté par une épaisseur de 40 m de Grès et de Conglomérats. Cet ensemble est attribué au Pliocène inférieur, d'après Chabbah ,2007.

4<sup>ème</sup> ensemble conglomératique :

C'est un ensemble grossier silicoclastique, formé par des conglomérats à lentilles gréseuses, à sa base (épaisseur plus de 20m) et se termine par une cinquantaine de mètres de conglomérats rougeâtres à galets hétérogènes plus ou moins arrondis, centimétriques à pluri-décimétriques, mal triés et à matrice argileuse, sableuse peu abondante. Cette formation est attribuée au Pliocène supérieur, d'après chabbah, 2007.

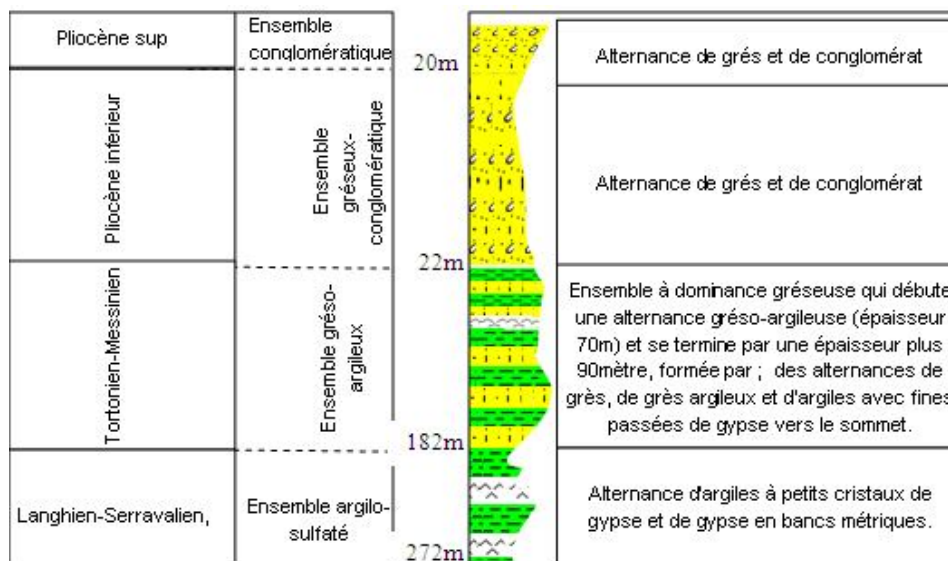


Fig.13 : Coupe dans la région de Mta Djefdjouf-Ras Echicha (M.Chabbah, 2007)

#### h. Coupe de Ras Chicha :

La coupe a été levée à environ 6.5 Km au Nord Est du village de Chetma (du Sud vers le Nord) entre Douar Lahmadj et Ras Chicha par Chabbah en 2007. La base du profil est constituée d'argiles gypsifères miocènes, elles affleurent de Chetma jusqu'à la base de Ras Chicha, sur une largeur qui avoisine les six (6) kilomètres (fig.14).

L'épaisseur de ces argiles est difficile à estimer, car elles forment le cœur à l'affleurement de l'anticlinal de Droh. Cependant, les résultats d'une étude géophysique par sondages électriques, menée par la DHW de Biskra dans le but d'une caractérisation hydrogéologique du secteur Chetma - Droh, montre que l'épaisseur de ces argiles varie entre 50 et 140 m et qu'elles surmontent en nette discordance des terrains calcaires, rapportés au Sénonien.

Quatre ensembles pétrographiques se succèdent, décrits par Chabbah, 2007 :

1<sup>er</sup> ensemble argileux.

2<sup>ème</sup> ensemble gréseux.

3<sup>ème</sup> ensemble grés-conglomératique.

4<sup>ème</sup> ensemble conglomératique.

##### 1<sup>er</sup> ensemble argileux :

C'est un ensemble argileux, d'une épaisseur d'au moins 140 m. Il est constitué argiles gypseuses brunâtres à la base, rougeâtres au sommet. Le gypse se présente soit en bancs, de 5 à 30cm d'épaisseur, intercalés dans les argiles brunes à la base de la formation, il est formé en cristaux centimétriques, bien développés dans sa partie sommitale.

Cet ensemble est attribué au Serravalien, d'après Chabbah, 2007.

##### 2<sup>ème</sup> ensemble gréseux :

C'est un ensemble d'une épaisseur totale de 125m, qui s'organise en barres gréseuses transversales, avec l'installation d'une barre conglomératique, vers le sommet. Il est attribué au Tortonien, d'après Chabbah, 2007.

##### 3<sup>ème</sup> ensemble grés-conglomératique :

C'est un ensemble grés-conglomératique, d'une épaisseur de plus de 20 m et qui repose en nette discordance sur l'ensemble précédent, par l'intermédiaire d'un banc gréseux, à base conglomératique. Il est formé par une alternance de grès et de conglomérats, devenant vers le sommet des grès brun-rouges, peu consolidés. Cet ensemble est attribué au Messinien, d'après Chabbah, 2007.



4<sup>ème</sup> ensemble Conglomératique :

Ensemble d'une épaisseur de plus de 20m, formé par une Alternance de grès et de conglomérats. Cet ensemble est attribué au Pliocène, d'après Chabbah ,2007.

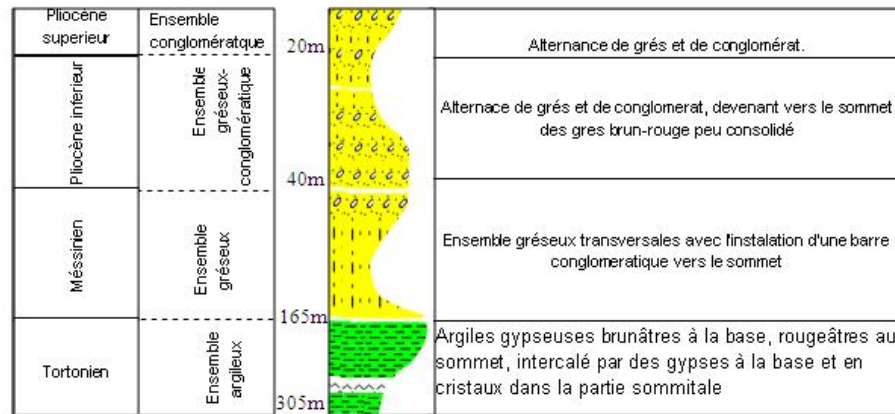


Fig.14: Coupe dans la région de Ras Echicha (M.Chabbah.2007)

**4. Contexte Géodynamique et structural de la zone d'étude :**

Le bassin de l'Outaya est une zone intraplaque, située sur la marge septentrionale de la plaque africaine. Ceci lui confère une position géo-structurale particulière, car elle se trouve dans une avant-zone de convergence continentale, entre les deux plaques, africaine et européenne. Elle représente aussi, une zone de transition entre deux domaines, très contrastés de l'Algérie : un domaine actif au Nord (l'Algérie alpine) et un domaine de plate forme stable au Sud (l'Algérie saharienne) qui se séparent par l'accident sud atlasique.

Sa structuration actuelle n'est que le résultat d'un ensemble d'événements tectorogéniques qui se sont succédés au cours des temps et ceci depuis le milieu du Carbonifère, à nos jours (M.Chabbah 2007).

Elle s'inscrit dans le cadre global de l'évolution géodynamique de la marge téthysienne arabo-africaine que R.Guiraud (1997) résume en Stades (ou sub-stades) de rifting et / ou systèmes de torsion, liés à la rupture de la Pangée du Paléozoïque, au début du Crétacé.

Les traces de ces événements qui se sont manifestés par certain nombre de structures (plis, cassures) bien caractéristiques dans le domaine atlasique et qui sont facilement décelables à différentes échelles d'observation dans notre région, ont tiré, dès la fin du XIX siècle, l'attention de nombreux géologues qui se sont orientés dès le début de leurs travaux, vers l'étude structurale de la région. Cependant, les travaux de R. Laffitte, 1939, de R. Guiraud, 1973 et en partie ceux de Aissaoui D ,1984 et celle de M.Chabbah, 2007 sont les plus importants. Ils donnent des descriptions détaillées de

l'ensemble des structures présentes dans la région.

Le bassin de l'Outaya, qui correspond à la région de M'Doukal -Biskra, qui représente une zone de charnière, qui décale le domaine Atlas-saharien et le domaine de l'Aurès, selon un mouvement dextre. Ce qui lui confère la particularité de contenir l'ensemble des traces des principales déformations ayant affectées le domaine atlasique. De ce fait, avant de décrire les principales structures dans cette région, nous donnerons ses limites :

L'ensemble structural de M'Doukal - Biskra est limité par :

-L'accident sud - atlasien au Sud: Le faisceau de failles sur lesquelles s'interposent les plis de l'Aurès, entre Kef Nsara et Foug el Kherza.

-L'accident de Roumana- Chaïba à l'Ouest

-L'accident nord - atlasien : qui longe tout d'abord le flanc sud du Djebel Meharga et ensuite, légèrement décalé de façon senestre, à partir de l'Oued El Melah et se poursuit au Nord des djebels Saoura et Fozna, en direction de la pointe nord-occidentale du Djebel Metlili.

4-1. Les plis :

Dans notre région d'étude et comme dans l'ensemble du domaine atlasique, on distingue deux types de plis, présentant des dimensions et des géométries différentes qui se sont succédé, en se superposant ou en s'interférant.

#### *1. Les plis atlasiques :*

Les terrains anti-néogènes dessinent diverses structures, plus au moins masquées par le Miocène et découpées par de nombreuses cassures.

On peut reconnaître, en se déplaçant du Nord- Ouest vers le Sud- Est :

-Le vaste synclinal de Bled El Mazouchia, dessiné par le Crétacé supérieur et l'Eocène, dont les pendages sont dans l'ensemble assez faibles et qui doivent se prolonger sous la plaine d'El Outaya.

-La dépression synclinale de Bled Selga.

-L'anticlinal des djebels Ténia et Bou Rhezal.

Ces structures, dont l'ensemble est décrit en détail, par Laffitte, sont toutes assez souples. Elles correspondent à des plis vastes (quelques dizaines de kilomètres) assez réguliers et souples, dont l'orientation moyenne est voisine de N 60 E et dont les anticlinaux sont légèrement déjetés, vers le sud.

## 2. Les plis post-pliocènes :

La phase de déformation majeure se situe à la base du Quaternaire. Mais l'instabilité des rivages qui se manifeste dès la base du Miocène moyen (Tortonien-Messinien) implique la présence de mouvements verticaux dans une aire très vaste ; Enfin, la subsidence locale de la plaine d'El Outaya jusqu'à la fin du Quaternaire moyen a provoqué une accentuation de la cuvette synclinale, post-pliocène, d'après Chabbah, 2007.

### 4-2. Les cassures :

C'est dans cette région, qu'on rencontre de nombreux accidents qui ont joué de façon variable au cours des phases anté, intra ou post Miocènes. Cet ensemble de fractures se répartit en quatre familles principales, selon leur orientation : N-S à N 30° E, N 45° E, N80 à 100° E et N 120 à 160° E. les deux dernières directions, les plus fréquentes montrent, dans plusieurs secteurs, un passage progressif de l'une à l'autre.

**a-** Cassures faiblement inclinées à L'Est (N - S à N 30° E) : quoi qu'elles soient rares, revêtent une grande importance ; Ce sont des failles bordières qui délimitent, en partie la région ; elles sont anté-miocènes.

**b-** Les cassures voisines de N 45° E, se localisent surtout à l'Ouest de la région. Quelques cassures d'orientation, voisine de N60° E se rencontrent surtout dans la région de Branis. Elles montrent souvent un jeu post-miocène, provoqué par une phase cassante ultérieure, à laquelle sont aussi liés les quelques accidents qui affectent les zones de raccordement, entre structures anticlinales et synclinales.

**c-** Les cassures orientées entre N 80 et N 100° E : plusieurs accidents importants montrent des directions voisines de E - W, le plus évident correspond à l'accident nord atlasien qui avait joué en décrochement dextre à l'ouest de Djebel El Melah pendant les plissements atlasiques et après le Miocène. Aussi, de petits grabens et bassins à matériaux néogènes, sont limités le plus souvent, par des cassures E-W dont les rejets apparents sont importants et qui se sont superposés à des accidents anciens du Lutétien ou localement intra Miocène inférieur ; Les mouvements les plus récents, post-pliocènes, se traduisent par des failles inverses.

**d-** Cassures orientées N 120 et N 160° E : la majorité des accidents affectant la région de M'Doukal-Biskra se rangent dans cet éventail de directions. En dehors des deux zones bordières, il s'agit d'accidents mineurs dont celui affectant le Crétacé supérieur des premiers chaînons atlasiques, au Nord de Tolga.

Enfin, la limite occidentale de l'Aurès est liée à la présence d'une série d'accidents obliques sur l'Ouest, ayant joué principalement avant le Miocène avec cependant des jeux intra ou post-miocènes et post-pliocène ; les mouvements relatifs des différentes structures en présence, correspondent tantôt à des jeux de failles normales, tantôt à des jeux en décrochements dextres. Le plus spectaculaire, est celui situé à l'extrémité occidentale du massif de l'Aurès, entre la pointe du Djebel Metlili et Sidi Khélil, qui résulte du jeu de plusieurs accidents nord-ouest et sud-est, décalés par des accidents Est -Ouest qui servent en quelque sorte de relais (Guiraud, 1990).

#### 4-3. Les failles

L'ensemble des dépôts néogènes est affecté par de nombreuses failles, de petites dimensions, centimétriques à métriques ainsi que de grandes dimensions décamétriques et kilométriques, normales ou inverses. Elles se rencontrent au sud de Djebel El M'hor, Branis, El Outaya ; elles sont plus nombreuses dans les dépôts du Tortonien, du Messinien et du Pliocène.

#### 4-4. Les horsts et les grabens

Sur l'ensemble du bassin d'El Outaya, seules quelques séquences indiquent la présence de certains horsts ou grabens principalement, dans sa partie centrale (Sud Est du Djebel El Melah, Djebel M'hor) ; ces structures montrent bien l'interaction entre tectonique et sédimentation, tout le long du Miocène, au moins, certains ont joué le rôle de hauts fonds, leur surrection puis leur basculement, ont commandé le devenir de la sédimentation.

Au Burdigalien, le développement des carbonates à El Outaya, alors qu'ailleurs Branis, Bled El Marhder régnaient une sédimentation à tendance beaucoup plus détritique, qui peut s'expliquer par l'existence d'une barrière, empêchant tout matériel grossier d'arriver.

#### 4-5. Les pointements triasiques

Des affleurements triasiques, de taille et de constitution variables, perçant leur couverture mésozoïque et cénozoïque de façon anormale, s'observent en une dizaine de points dans l'Aurès ou sur ses bordures. En dehors de quelques intrusions mineures, dans la région d'étude, celle de Djebel El Melah, d'El Outaya est la plus importante. Il s'agit d'un dôme salifère triasique, long de 4 km, dont les sommets dominant la plaine d'El Outaya, de plus de 300 m. Dans ce secteur, le Trias est délimité par des accidents que jalonnent les lambeaux arrachés aux séries encaissantes, et entourées par des formations miocènes (marno-gréso-conglomératiques). Cependant, dans la région d'El Outaya, le Néogène est affecté par de nombreux accidents d'orientation voisine de Nord Ouest-Sud Est ou Est-Ouest, dont plusieurs convergent vers Djebel El Melah, ce qui permet de lui attribuer un âge post-Pliocène et dont l'accession continue, probablement. Chabbah, 2007.

## 5. Corrélations séquentielles dans le bassin d'El Outaya:

Malgré l'absence des affleurements dans la partie centrale du bassin ainsi des sondages profonds dans ce secteur, à l'exception du forage bled El Mazouchia, nous avons essayé, avec quelques coupes et forages disponibles de corrélérer, soit dans la partie orientale, centrale ou occidentale du bassin, où nous avons conclu que:

Dans le sous-bassin oriental, les quatre premiers ensembles sont bien développés et montrent d'importantes variations de faciès et d'épaisseurs (coupe log Branis) ; alors que dans le sous-bassin occidental, seuls les deux premiers ensembles affleurant montrent une certaine homogénéité de faciès avec une augmentation des épaisseurs du Sud- Ouest au Nord- Est (fig.15).

L'ensemble 1 (80m – 360 m) Aquitano-burdigalien : est lanugo-marin et présente plusieurs variations latérales de faciès et d'épaisseurs. Il est formé :

A l'Est, d'argiles brunes à cristaux de gypse vers la base, devenant des argiles brunes et verdâtres à huîtres et échinides (Coupe Branis).

Au centre, des argiles vertes avec des petits cristaux de gypses et de petits galets de calcaires, devenant vers le sommet des galets et des calcaires argileux à Lamellibranches et globigérinoïdes (Coupe Oued Biskra- El Outaya et Coupe khenig Ezened –El Outaya).

A l'Ouest, d'argiles brunes à cristaux de gypses et des conglomérats (Coupe El Outaya -Bled el Mazouchia).

L'ensemble 2 (30 - 100 m) Langhien-Serravalien :est constitué d'argiles brunes gypseuses, présentant à leur sommet des cristaux de gypse à l'Est (Coupes Branis et Mta Djefdjouf –Ras echicha) et de grès, conglomérats et des argiles contenant des cristaux de gypse au centre, des grès, des argiles rouges gypseuses et des conglomérats, vers l'Ouest.

L'ensemble 3 (100 - 270 m) Tortonien-Messinien : débute par des grès argileux et se poursuit par des argiles rouges gypseuses et des grès (ou sables) bruns à grain fin et des calcaires cristallins, au centre (Coupe Oued Biskra –El Outaya).

L'ensemble 4 (environ 100 m) Pliocène inférieur : existe uniquement dans la partie Est et Nord du bassin, débute par une épaisse couche conglomératique, surmontée à l'Est par des sables et des grès rouges, à lentilles de conglomérats.

L'ensemble\_5 (environ 20m) Pliocène supérieur : est formé d'une épaisse série conglomératique grossière et ne se rencontre qu'au Nord- Est de Branis (Coupes Ras Echicha et Mta Djefdjouf- Ras echicha).

D'après cette analyse lithostratigraphique, nous allons essayer de donner une analyse paléogéographique sur les conditions qui ont conduit à cette sédimentation, qui débute de l'Aquitano-Burdigalien au Pliocène supérieur.

La présence des proportions sulfatées (gypses) au début de l'Aquitano-Burdigalien à l'Est (Coupe Branis) et à l'ouest (Forage Bled El Mazouchia) ou même auprès de la région centre (Coupe Oued Biskra- El Outaya) témoignent qu'au Miocène inférieur (Aquitano-Burdigalien) ,la région se comporte comme une plate forme compartimentée par des horsts et des grabens, créant des lagons confinés et saturés en saumures, ce qui a favorisé le dépôt des gypses.

La présence des formations argileuses, qui surmontent les calcaires ou les conglomérats de l'Eocène sur tout le bassin témoigne, qu'au cours de l'Aquitano-Burdigalien (Miocène inférieur), ce bassin a subit une transgression, qui a conduit au noyage de cette région.

Au Miocène moyen (Langhien-Serravalien), une régression marine c'est produite, induisant à la formation des ensembles ; argilo-gréseux, argileux-conglomératiques ou même argilo-sulfatés.

Au début du Miocène supérieur (Tortonien-messinien), une transgression tend à recouvrir tout le bassin, marquée par la présence d'un ensemble argilo-gréseux, alors que vers la fin du Miocène supérieur, une formation plus grossière vient se déposer, marquant une régression marine.

La régression marine se poursuit au cours du Pliocène, marquée par le dépôt d'une formation plus grossière à celle du Miocène Supérieur. Notant que le dépôt de la formation pliocène s'est produit qu'au centre et dans la partie orientale du bassin, ce qui nous laisse à déduire que le sens de la régression marine définitif est de l'Ouest vers l'Est.

## Conclusion

La plaine d'El Outaya est située dans une région fortement tectonisée, représentant la zone de transition structurale et sédimentaire entre deux domaines distincts : l'Atlas saharien surélevé au Nord et le Sahara, pays effondré au Sud, la plaine d'El Outaya occupe un vaste synclinal, affecté par un ensemble de plis et de failles, marqué aussi par des pointements triasiques, ainsi qu'une succession de petits synclinaux et anticlinaux.

Elle a engendré de vastes plis (concentrique orientés entre N 40 et N 60° E) et de nombreux accidents à la faveur desquels des pointements triasiques ont vu le jour et qui a été suivit d'une autre phase de rajeunissement des reliefs à l'Oligocène. La phase du Quaternaire basal n'a sérieusement affecté que les régions méridionales particulièrement la chaîne de Rhéllis. Les accidents montrent des directions très variées et leur répartition n'est pas homogène dans l'ensemble du domaine atlasique ; seule la région M'Doukal- Biskra est affectée par toute la gamme des accidents qu'on peut rencontrer dans ce domaine et se distingue donc en cela, des deux portions de la chaîne atlasique qu'elle sépare nettement, l'Atlas saharien à l'Ouest et les Aurès à l'Est.

Elle a fonctionné comme un bassin de sédimentation pendant tout le Néogène. Le découpage du Néogène en cinq unités basées sur la nature et le milieu de dépôt des faciès constitutifs montre la synthèse suivante:

- à la base: Miocène laguno-marin (Bled Zemla, Branis, El Outaya);
- Recouvert par le Messinien (Pontien) gréseux fluvial;
- Puis par des poudingues pliocènes (Ras Chicha).

Les termes supérieurs, plus particulièrement pliocènes, sont fortement inclinés vers le centre du bassin où ils disparaissent sous une épaisseur considérable du Quaternaire ; Leur relèvement à la périphérie du bassin indique que celui ci a été affecté par les mouvements les plus récents (Quaternaire basal).

Le Néogène repose souvent en discordance, selon les endroits et les niveaux atteints par l'érosion post-tectonique, sur des formations d'âges différents (Oligocène, Eocène, Crétacé supérieur). Ce contact avec le substratum peut se faire suivant les cas, par deux ensembles lithologiques possibles

- soit par des conglomérats d'une épaisseur dépassant les 100 m
- soit par des argiles.

Les affleurements néogènes sont importants dans le secteur Est de la plaine (Région, Chicha et Branis) ainsi qu'au N et NW alors qu'au Sud, les affleurements sont surtout

Crétacés. Le Trias affleure au Nord, représenté par Dj. El-Melah.

En conclusion, il ressort que la structure de la région de Biskra, comme celle du domaine atlasique, résulte de l'action conjuguée de plusieurs tectoniques de style et d'extensions variables, dont la tectogénèse majeure se situe durant l'Eocène moyen (phase atlasique).

La structure à valeur synclinale de la plaine d'El Outaya et l'analyse lithostratigraphique, nous ont permis de relever les formations suivantes comme étant les plus intéressantes pour le développement d'aquifères :

➤ Formations favorables au développement d'aquifères poreux: Elles sont représentées par les sables, grès, poudingues et graviers du Mio-Pliocène ainsi que les couches quaternaires correspondant à des éboulis, sables et alluvions au niveau des oueds.

➤ Formations favorables au développement d'aquifères fissurés et karstiques :Celles-ci sont représentées par les calcaires cristallins et les calcaires marneux du Turonien, les calcaires et les calcaires dolomitiques du Sénonien et enfin, par les calcaires de l'Eocène inférieur. Le développement d'aquifères et leur importance dans ces formations, dépendent du degré de leur fissuration et karstification.



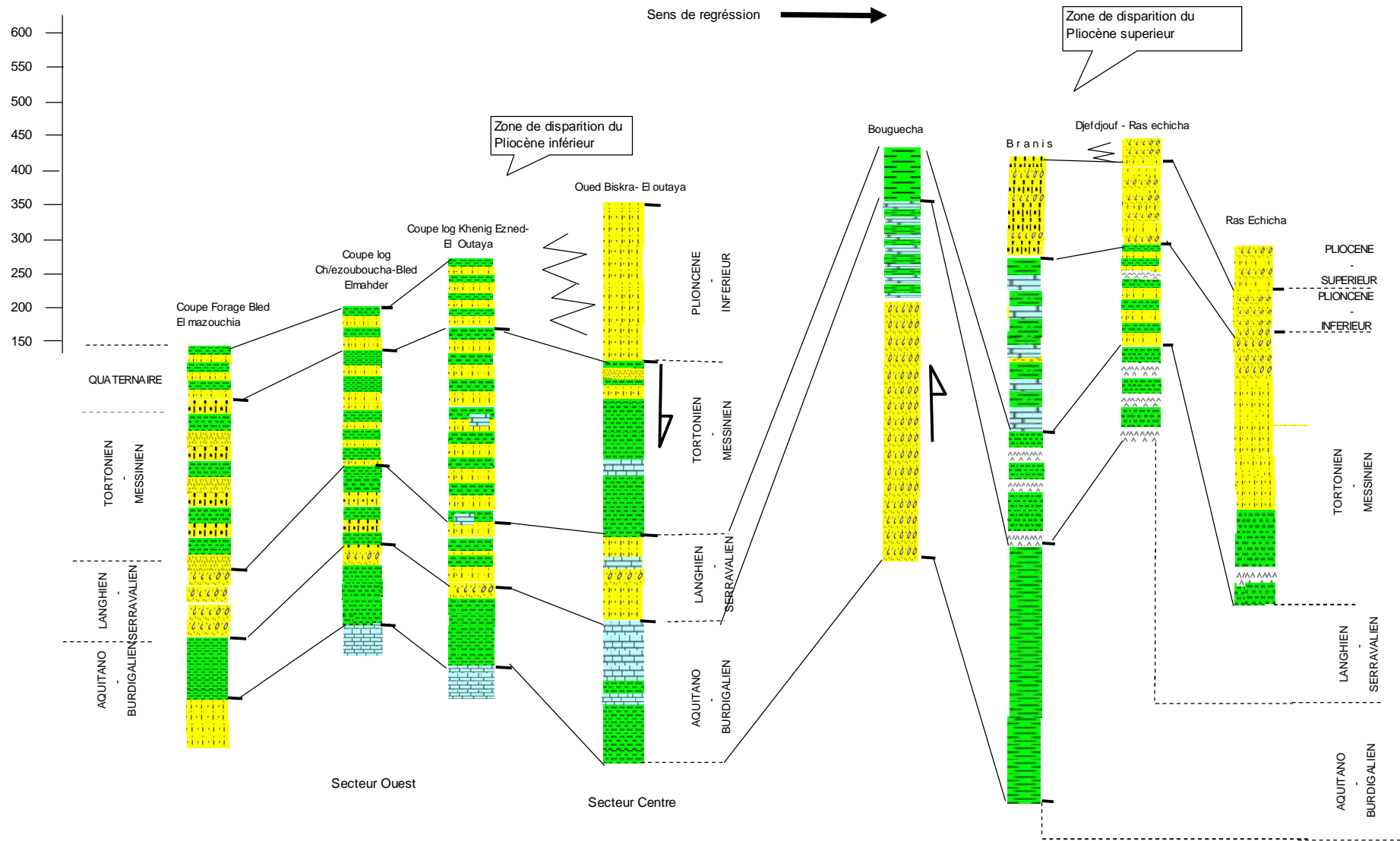


Fig.15:Corrélation entre les coupes log et coupe de forage dans la plaine d'El Outaya

# **CHAPITRE 3**

## **Etude Géophysique**

## 1. Introduction :

L'analyse de la géométrie à l'aide de la géophysique est un moyen classiquement utilisé pour obtenir les grandes unités, à fort contraste de résistivité et compléter utilement les informations apportées par l'étude géologique.

L'étude géophysique dans la plaine d'El Outaya a été réalisée par la compagnie générale de Géophysique CGG, en 1971.

L'objectif de la prospection électrique consistait à :

\* Préciser l'allure du toit des formations imperméables, au-dessous des formations du Mio-pliocène et fournir des indications sur la perméabilité de ces dernières ;

\* Déterminer la profondeur et la puissance des formations perméables du Mio-pliocène, dans la plaine de l'Outaya.

L'étude a pour but:

- Suivre le substratum calcaire, principal horizon résistant sous le remplissage Mio-pliocène.
- Préciser le noyage vers le Nord-est de l'axe de l'anticlinal de Djebel Deba.
- Mettre en évidence des horizons résistants dans le remplissage Mio-pliocène.
- Permettre une reconnaissance du remplissage alluvionnaire du lit de l'Oued Biskra.

## 2- Travaux effectués:

Réaliser, sur terrain, du 23 Août au 27 Octobre 1971, une prospection électrique verticale. En total, Quatre vingt douze sondages électriques (SE) ont été réalisés et sont répartis sur neuf profils (D, E, F, G, H, I, K, M, N), espacés de 200m et 3000m, selon l'objectif de l'étude (fig.16).

Tous ces sondages électriques ont permis, par leurs résultats obtenus, d'établir des cartes indiquées comme suit:

1. Carte de résistivité apparente, en ligne AB==200m (fig.17), destinée à l'étude des niveaux grossiers du recouvrement quaternaire, ou du Pliocène.

2. Carte de résistivités apparentes, en ligne AB==3000m, destinée à mettre en évidence l'allure tectonique générale de la zone étudiée (fig.18).

### 3. Des coupes transversales : (fig.19 à 28).

2.1. Interprétation de la carte de résistivité apparente, en ligne AB=200m (fig.17): Cette carte est essentiellement destinée à montrer les variations de la lithologie et de la salure des différents niveaux du remplissage, dans l'espace. La longueur de la ligne choisie est 200m, elle permet d'obtenir une profondeur d'investigation, de l'ordre de 30 à 40m. Elle apporte les principales indications suivantes:

-Existence d'une large plage de faible résistivité, inférieure à 10 Ohm.m dans la région de Saglat Saadoune, elle est due à la présence de nombreux niveaux salés, liés généralement à la présence de gypse et cela est confirmé par la lithologie du forage Bir Labreche (fig. 01, en annexe).

-Existence de plusieurs plages de résistivités élevées, supérieures à 50 Ohm.m .Ces dernières peuvent être d'origines diverses et qui sont interprétées par la carte géologique, qui nous a permis de conclure que ces valeurs seraient liées à la présence des éléments résistants (graviers, poudingues et calcaires) dans les cônes de déjection des Oueds, où des niveaux de calcaires sub-affleurant.

2.2. Interprétation de la carte de résistivités apparentes, en ligne AB=3000m (fig.18):Vue les profondeurs d'investigation qui peuvent atteindre 400m à 500m, les valeurs de résistivités apparentes sont essentiellement influencées par les variations de la nature du substratum, leur tracé permet, cependant de préciser nettement:

- Un axe de plus faible résistivité, correspondant à l'axe du remplissage mio-pliocène et passant par les SE; E3, F5, G5, H7, M4 et N6 (fig.16).

- Une faible résistivité, au niveau de la Seglat Saadoune qui s'étend de Bir Labrache jusqu'aux environs d'El Outaya, traduisant un comblement très argileux ou marneux, parfois salée (fig.03 et tableau02, en annexe).

- Une inflexion des courbes de fortes résistivités qui s'étend du sondage électrique F2 jusqu'au niveau du sondage électrique (SE) ; H6 passant par (SE) ; F3, G4 et H6, cette inflexion doit être liée sans doute à la prolongation du mouvement anticlinal du Djebel Deba (fig.16).

- Notons qu'une deuxième inflexion, axée sur les SE; D1, et E2 semblerait avoir une origine identique (fig.16).

- Les fortes valeurs de la résistivité dans la zone du forage d'El Mazouchia confirment l'existence d'un substratum calcaire, peu profond et la présence des niveaux grossiers importants dans le remplissage,

ceci est confirmé par le forage Bled el Mazouchia (fig.19).

### 3- Interprétations des profils électriques :

Afin d'identifier la nature lithologique de l'aquifère du Mio-pliocène, dans la plaine d'El Outaya, les sondages électriques ont été étalonné, suivant les forages réalisés dans la plaine afin d'attribuer à chaque formation sa propre résistivité (tableau 05).

L'analyse des résultats, après étalonnage (fig.19,20 et 21) nous ont permis de constater que la partie Ouest, contient des formations plus résistantes, marquant la présence des poudingues, calcaires graveleux et des galets et qui peuvent atteindre plus 150m (fig.19), et d'autres moins résistantes, formées par des sables, argiles sableuses, le substratum de ces formations perméables du Mio-pliocène, dans cette région de la plaine sont les calcaires du Crétacé (fig.19 et 20) et les marnes du Miocène (fig.21).

Tableau5: Résistivités des formations dans la plaine d'El Outaya, après étalonnage (C.G.G ,1971)

Age	Caractéristiques géologiques	Résistivités
Mio-Pliocène (recouvrement)	Eboulis de piémonts	Plusieurs centaines d' $\Omega$ .m
	Poudingues, galets, Calcaires	100 à 300 $\Omega$ .m
	Sables, marnes, argiles sableuses	5 à 30 $\Omega$ .m
	Argiles et Sables salés	0,5 à 5 $\Omega$ .m
Eocène moyen	Intercalations de calcaires, d'anhydrite et de gypse	10à 50 $\Omega$ .m
Eocène inférieur	Calcaires marneux et marnes	2 à 10 $\Omega$ .m
	Calcaires crayeux et marneux	40 à 60 $\Omega$ .m
	Calcaires et dolomies	100 à 400 $\Omega$ .m

Le centre de la plaine, prospecté par les profils des sondages électriques (fig.22, 23 et 24), ont marqué la présence des formations moins résistantes et qui témoignent la présence des Sables, Argiles sableuses, surmontant une formation marneuse du Miocène.

A l'approche d'Oued Biskra, les profils K, L, M, N (fig.25,26,27 et 28) ont décelés la présence des formations résistantes, intercalées par d'autres moins résistantes, marquant ainsi la présence d'une alternance de poudingues, galets, calcaires graveleux et qui peuvent atteindre les 250m d'épaisseur (fig.28) et d'autres formations, moins résistantes, formées par des sables et des argiles sableuses et qui surmontent les marnes du Miocène.

#### 4- Synthèse des résultats :

Le report des résultats des sondages électriques, les logs litho-stratigraphiques, les coupes logs réalisées, soit par Guiraud ou Chabbah, la carte MNT de la zone d'étude (fig.02 et 03, en annexe), sur le logiciel « **Rockworks, version 15** » qui permet l'analyse et la visualisation des données géologiques, a montré que les formations perméables, dans la plaine d'El Outaya sont réparties comme suit (fig.29):

✓ Les parties ouest et ouest-sud-ouest sont formées par un ensemble grésio-argileux, devenant Grésio-conglomératique, à graveleux dans la partie ouest-nord-ouest, tandis que la partie Est est formée par un ensemble gréseux, surmonté par une formation conglomératique et un ensemble gréseux-argileux, parfois grésio-conglomératique, vers le sommet, dans la partie Est-nord –Est et un ensemble grésio-conglomératique dans la partie Est-sud-est. Le Nord est formé par un ensemble grésio-conglomératique et grésio-argileux, devenant gréseux, surmonté par une formation grésio-argileuse, dans la partie nord-nord-est et graveleuse à grésio-conglomératique dans la partie nord-nord-ouest. Le Sud est formé par un ensemble Argileux à grésio-argileux, intercalé parfois par des formations argileuses à gypseuses, devenant grésio-argileuses dans la partie sud-sud-ouest et un ensemble gréseux, surmonté par un ensemble grésio-conglomératique, dans la partie sud-sud-est. La coupe Est-Ouest au niveau de la plaine d'El Outaya , a permis de constater que le centre de la plaine est formé par un ensemble argileux et argilo-sableux, parfois gypseux (fig. 4,en annexe).

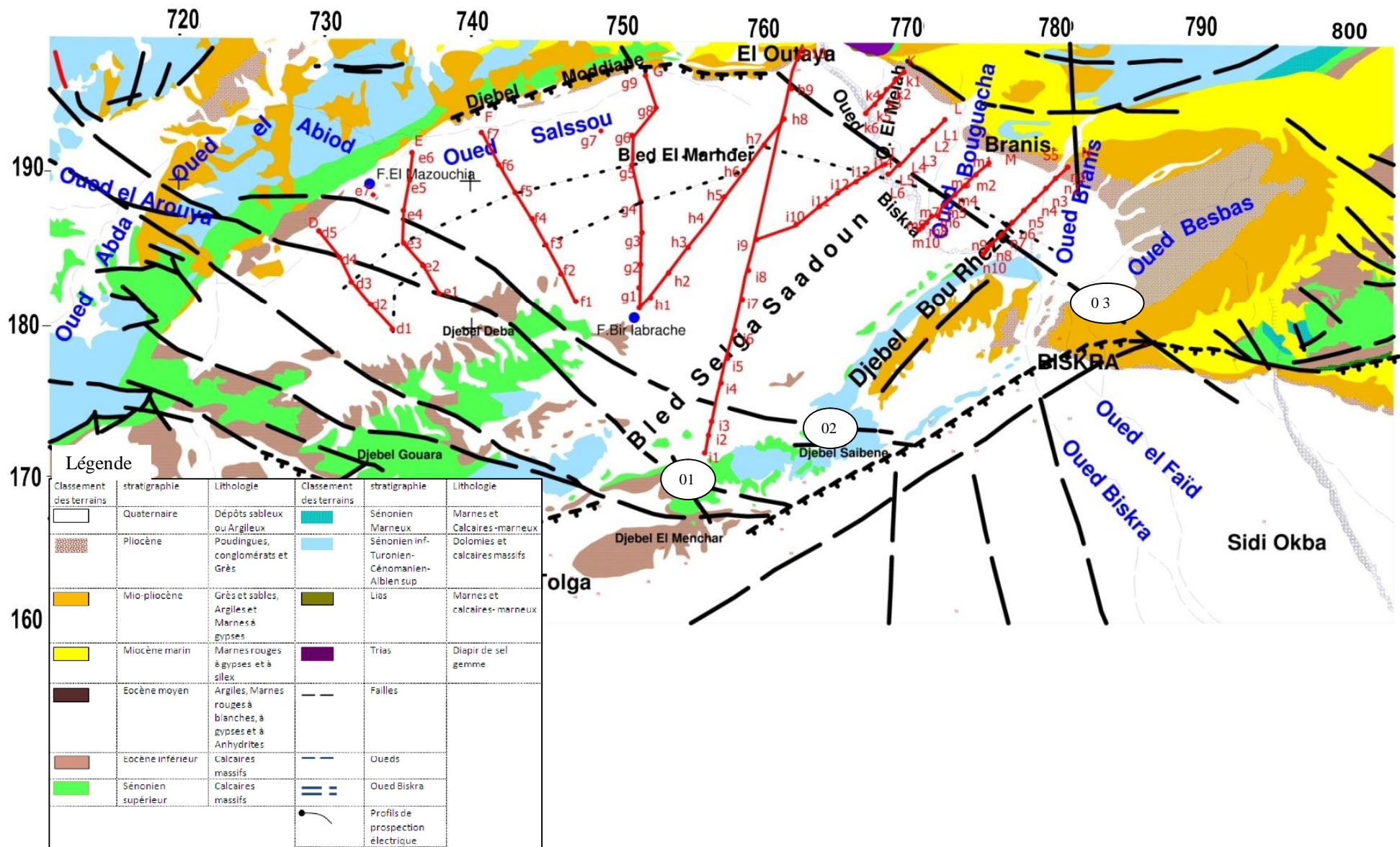


Fig.16: Carte des points des sondages éclectiques dans la plaine d'El Outaya

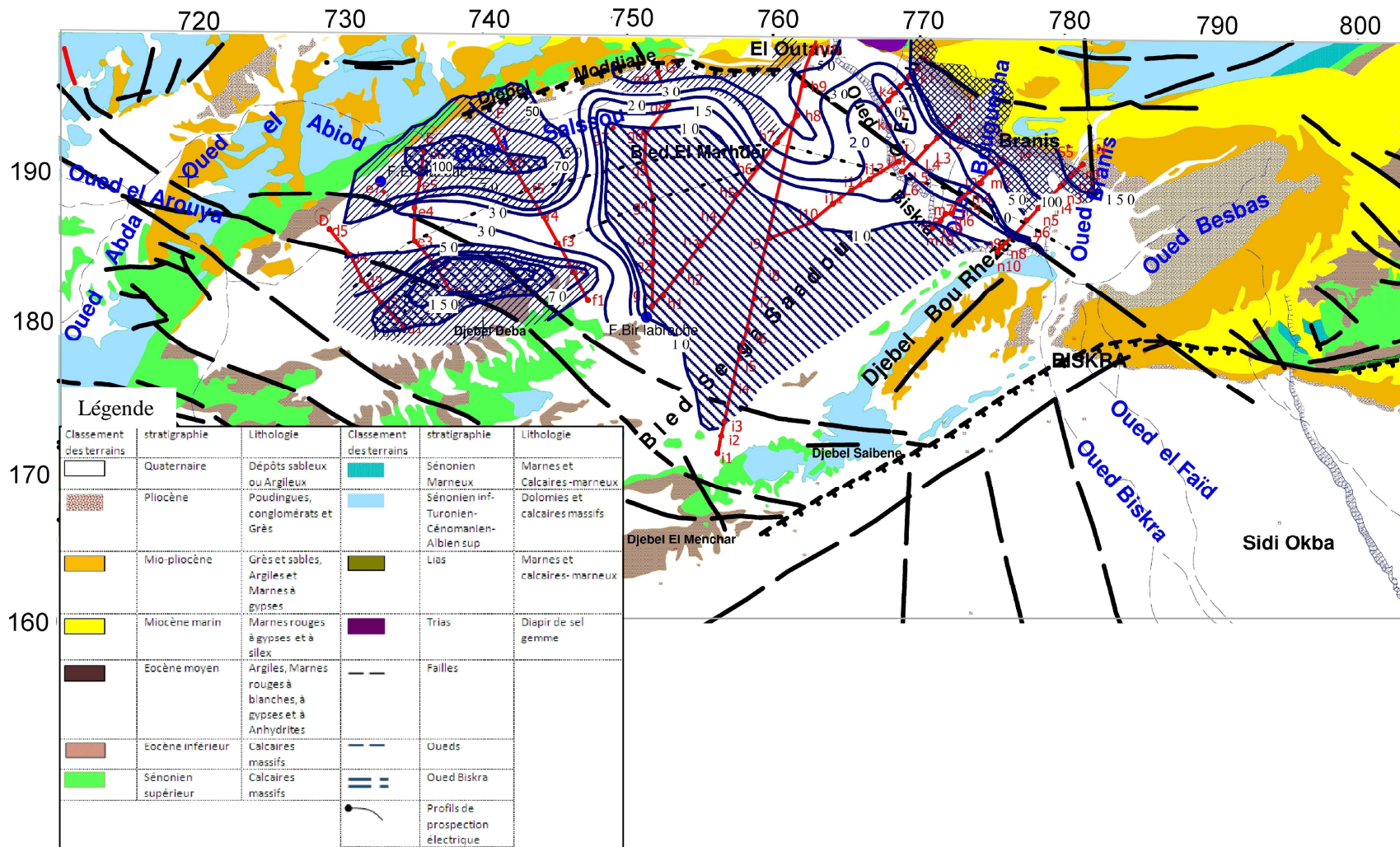


Fig.17: Carte des résistivités apparentes en ligne AB= 200m (C.G.G, 1971)



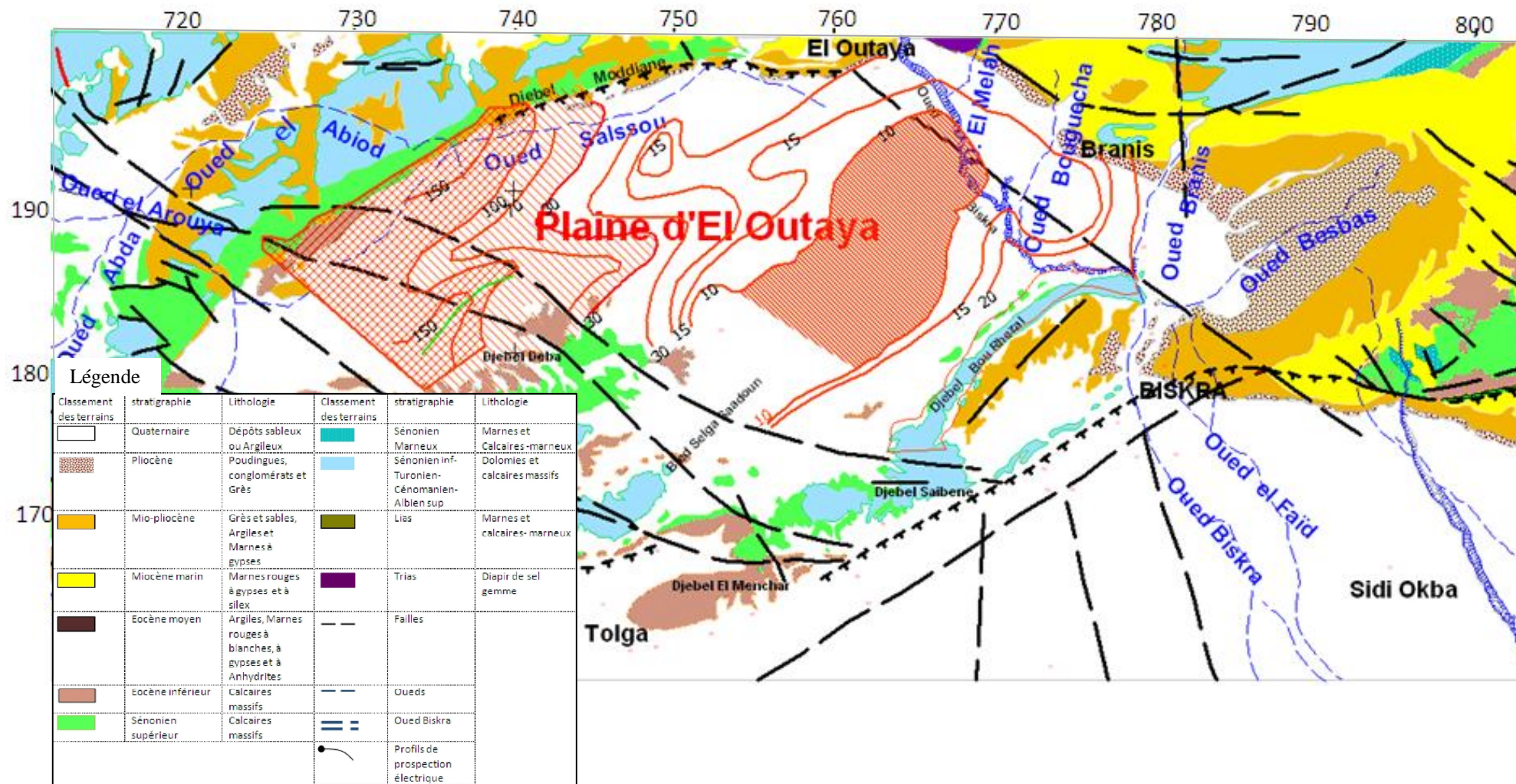


Fig.18: Carte des résistivités apparentes en ligne AB= 3000m (C.G.G, 1971)

## **Conclusion:**

L'étude géophysique, par prospection électrique, réalisée dans la plaine d'El Outaya a permis d'apporter les indications suivantes:

Du point de vue, remplissage :

\*Extension considérable des poudingues dans la partie orientale de la plaine, en particulier. Ces derniers, peuvent atteindre des épaisseurs avoisinant 200m (fig. 28, profil N), avec des caractéristiques qui varient, en général, de l'Est vers l'Ouest: diminution concomitante de résistivité et d'épaisseur.

\*Existence, toujours dans cette zone, d'un deuxième niveau résistant, formé de graviers, d'une épaisseur d'une centaine de mètres (100m), parfois intercalé par des niveaux de faibles résistivités, formés par des argiles ou des marnes (fig.25, 26 et 27). Notons que cette formation conductrice est discontinue dans l'espace, ce qui met en contact, parfois les deux horizons perméables, cela peut qualifier cet aquifère de type : monocouche.

\*Une épaisse formation salée, dans la partie Sud (région Saglat Saadoune) (fig.24) et qui peut atteindre les 140m, d'épaisseur.

En fin, l'aquifère du Mio-Pliocène, dans la région étudiée est constituée de deux niveaux, pouvant contenir de l'eau, séparés parfois par un niveau imperméable, supposé marneux ou argileux. Cette nappe est constituée de sables, graviers, galets et poudingues intercalés par endroits, par des argiles à des marnes et des passages latéraux vers des argiles-sableuses à gypseuses. La présence d'argiles dans des proportions différentes et les passages latéraux de faciès ont rendu cette nappe hétérogène et qu'on peut la qualifier comme une nappe monocouche. La présence des formations argileuses dans l'Eocène supérieur, a rendu la corrélation entre la géophysique et les sondages mécaniques difficile, pour déduire l'épaisseur de la nappe du Mio-pliocène.

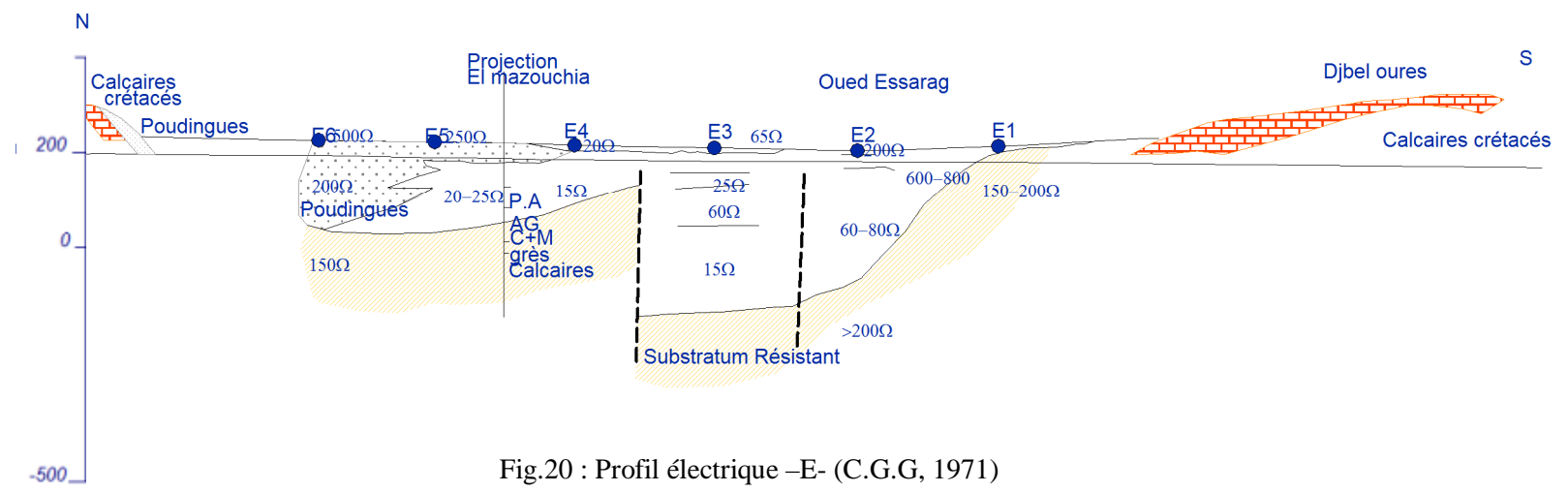
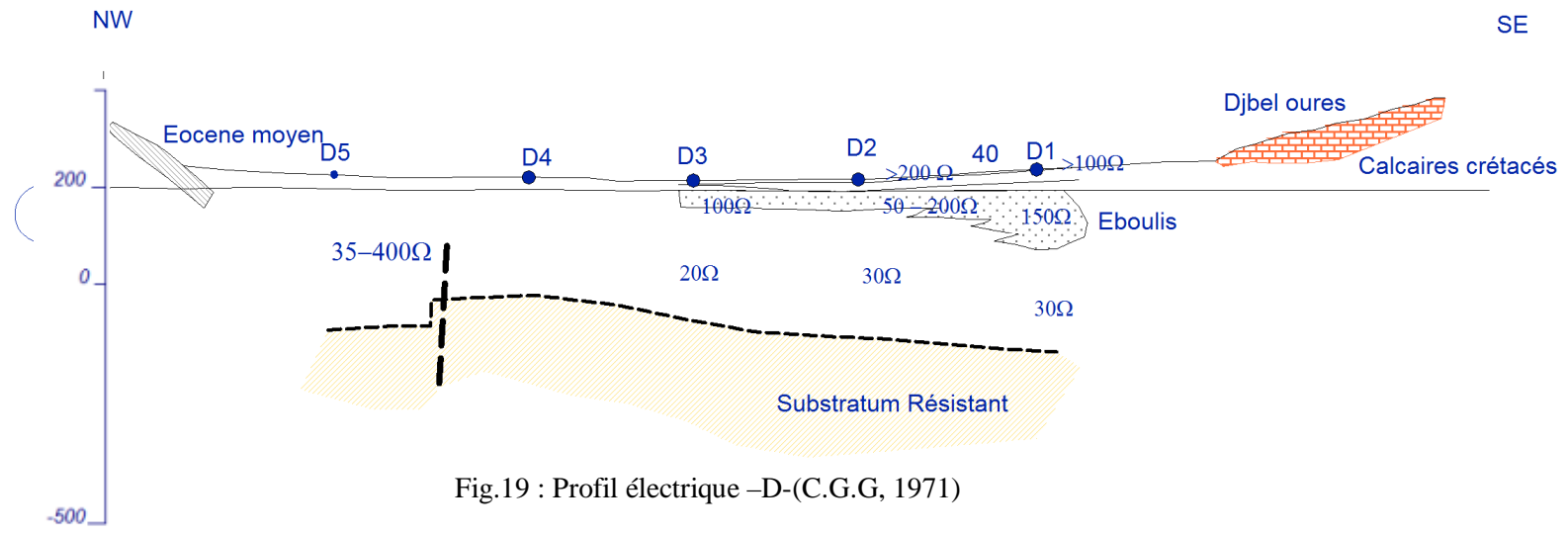
Du point de vue, Substratum :

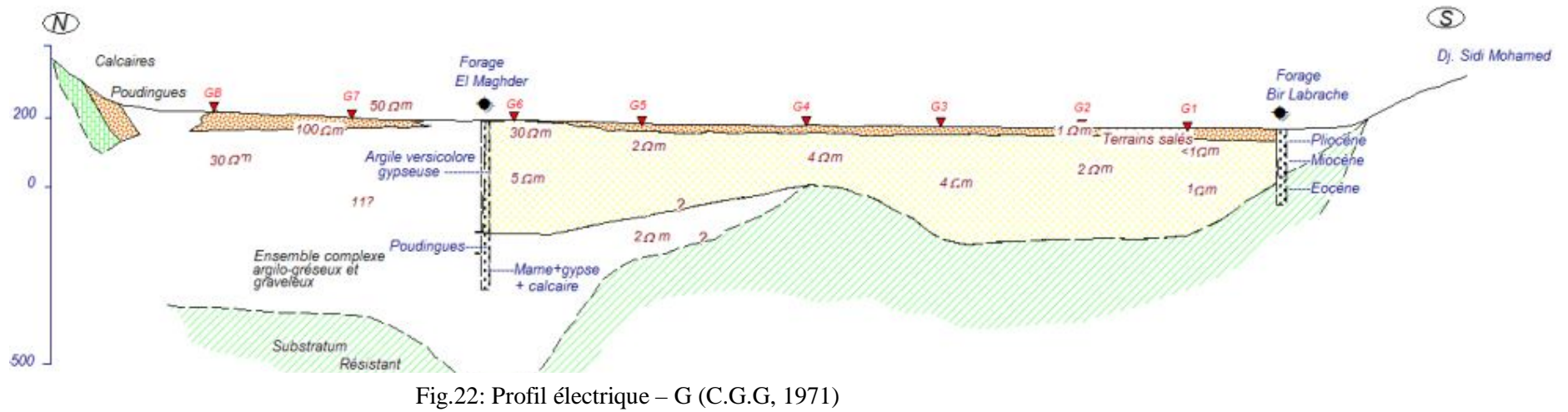
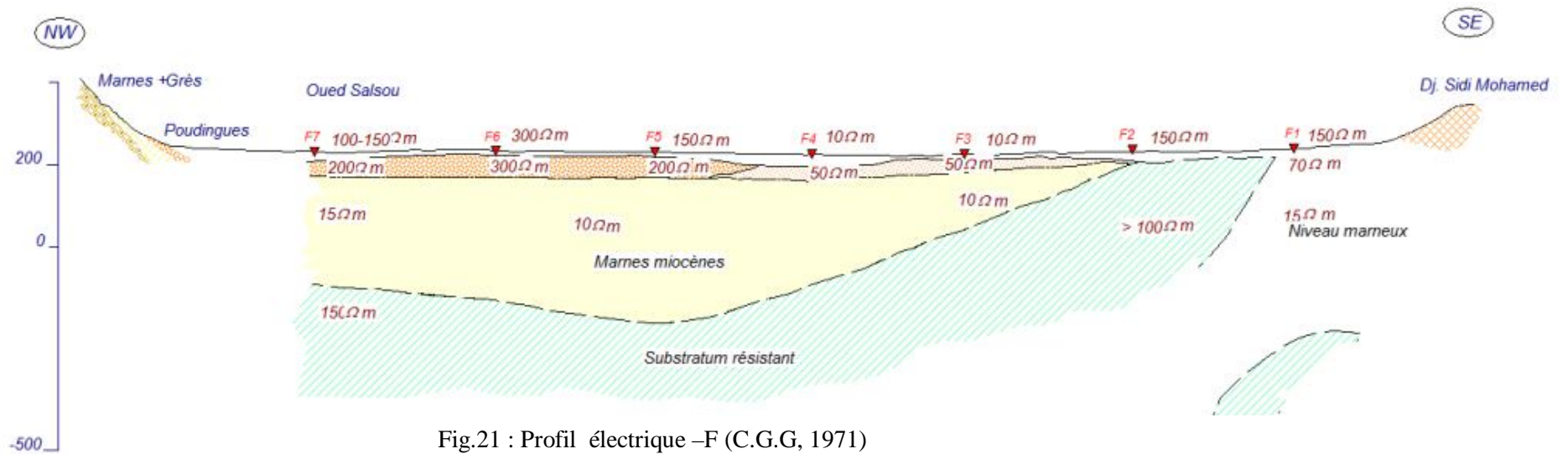
\*Le substratum de l'aquifère du Mio-pliocène est des marnes dans toute la partie orientale, tandis que la partie ouest, le substratum de l'Eocène est sub-affleurant, ce qui témoigne d'une faible épaisseur de la couche du Mio-Pliocène.

Le potentiel hydraulique dans la région de Saglat Saadoune est nul, du fait de la présence de terrain salé, de forte épaisseur (fig. 24) ainsi que dans la partie ouest, où le Mio-pliocène est formé par

des formations grés-argileuses, l'épaisseur du Mio-pliocène est faible. Par contre, à proximité de l'Oued Biskra, et la partie Est sont les endroits où des poudingues et alluvions grossiers (fig.27 et 28) présentent une forte épaisseur, ce qui montre que c'est la zone la plus favorable pour la recherche hydraulique.

La recherche du potentiel hydraulique dans les formations du Mio-pliocène, au niveau de la plaine d'El Outaya doit porter, en priorité sur la partie est, ouest-nord-ouest, nord-ouest-nord, le Nord-est-nord puis le Sud-est (fig.29).





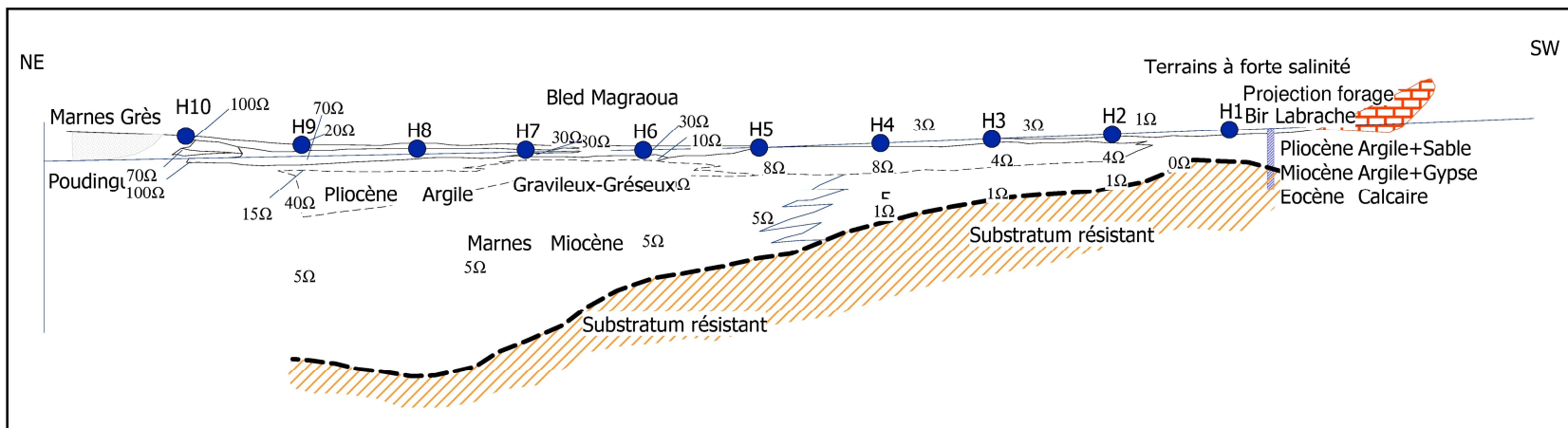


Fig.23: Profil électrique -H (C.G.G, 1971)

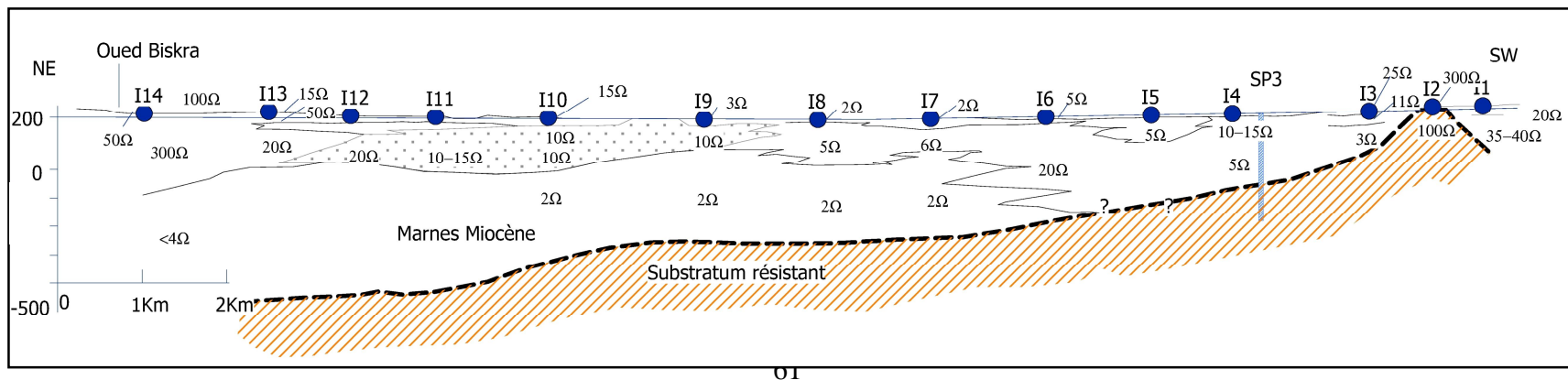


Fig.24: Profil électrique -I (C.G.G, 1971)

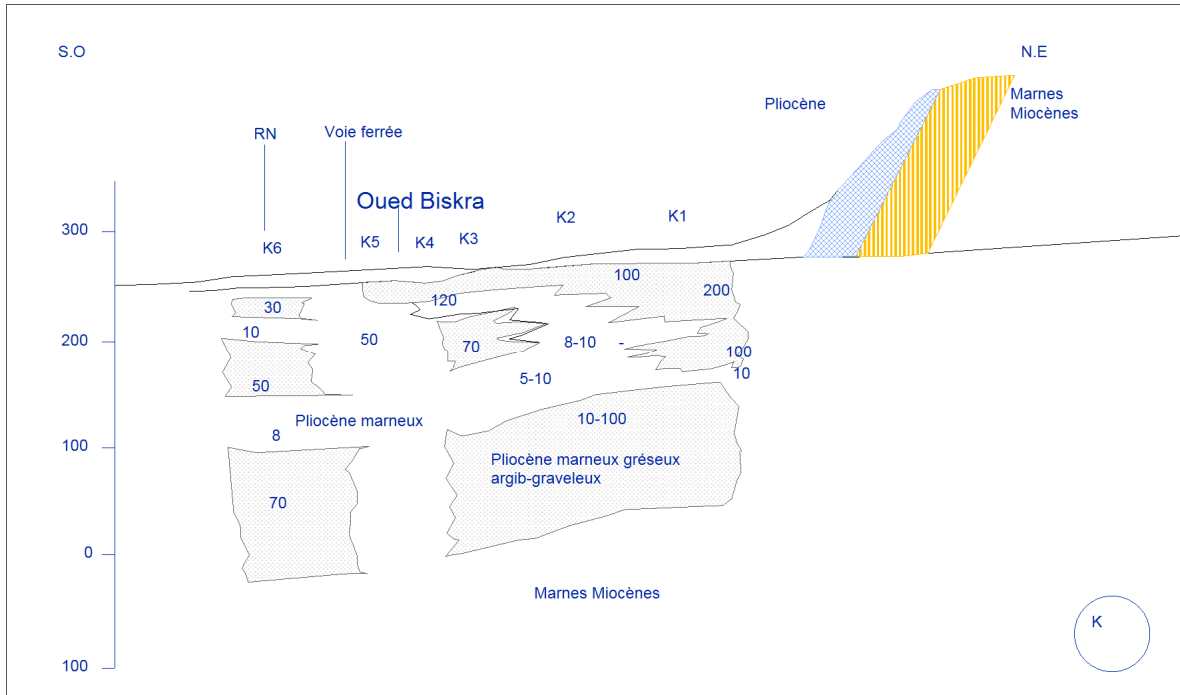


Fig.25: Profil électrique – K (C.G.G, 1971)

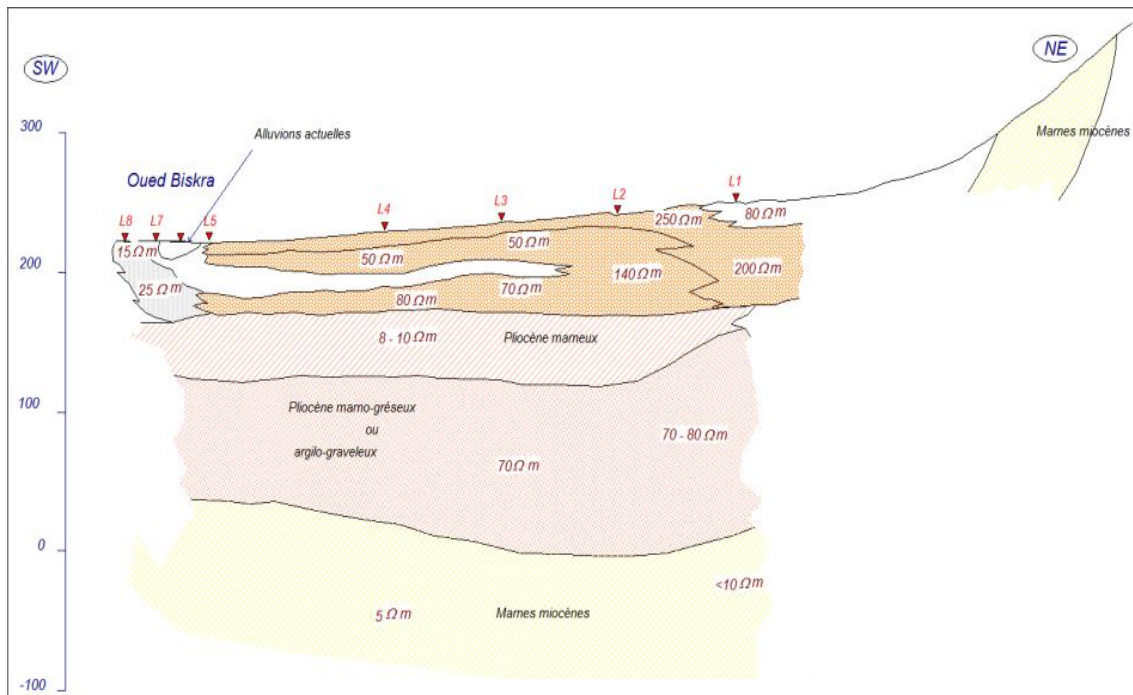


Fig.26 : Profil électrique – L (C.G.G, 1971)

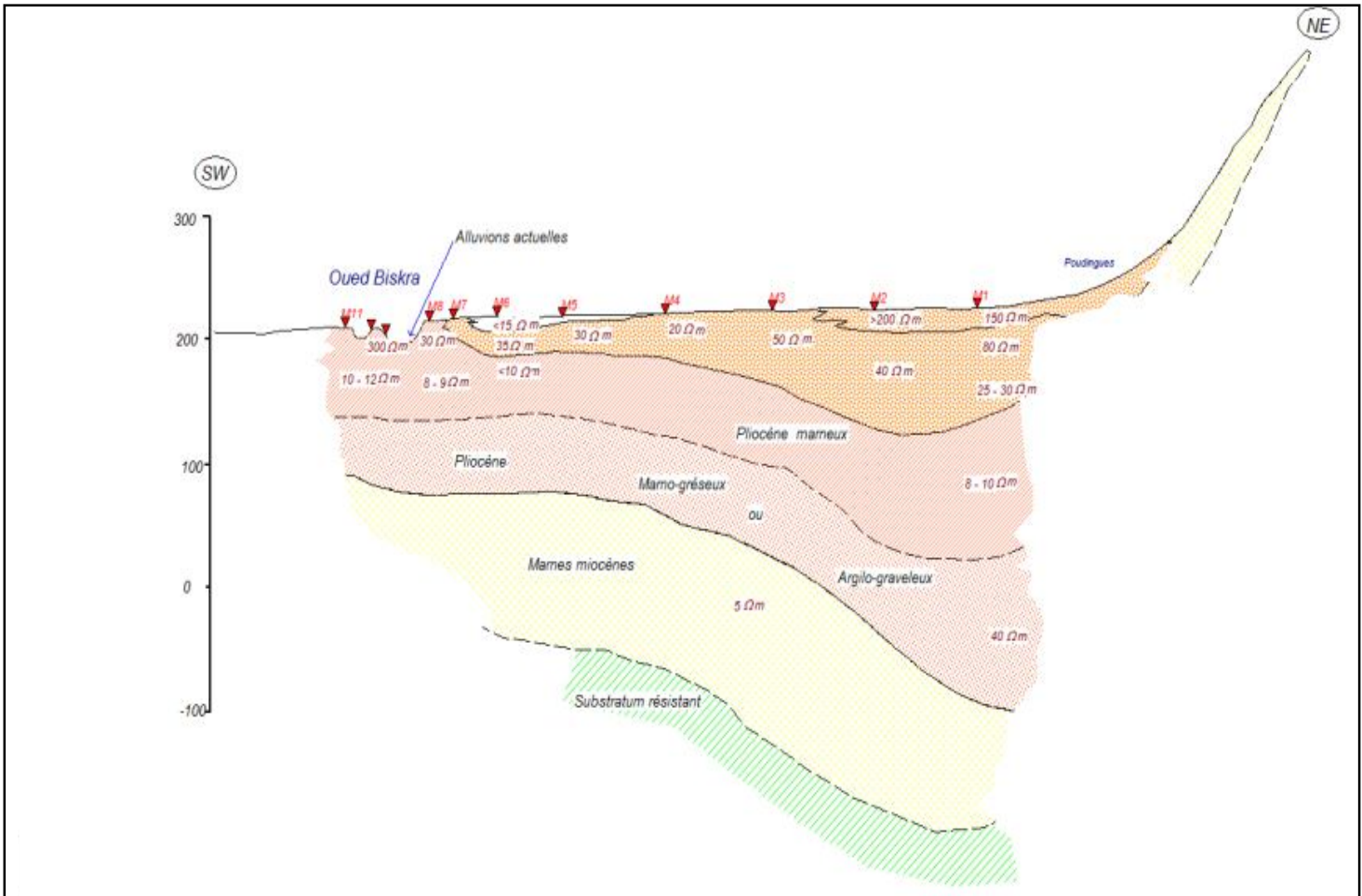


Fig.27: Profil électrique – M (C.G.G, 197)



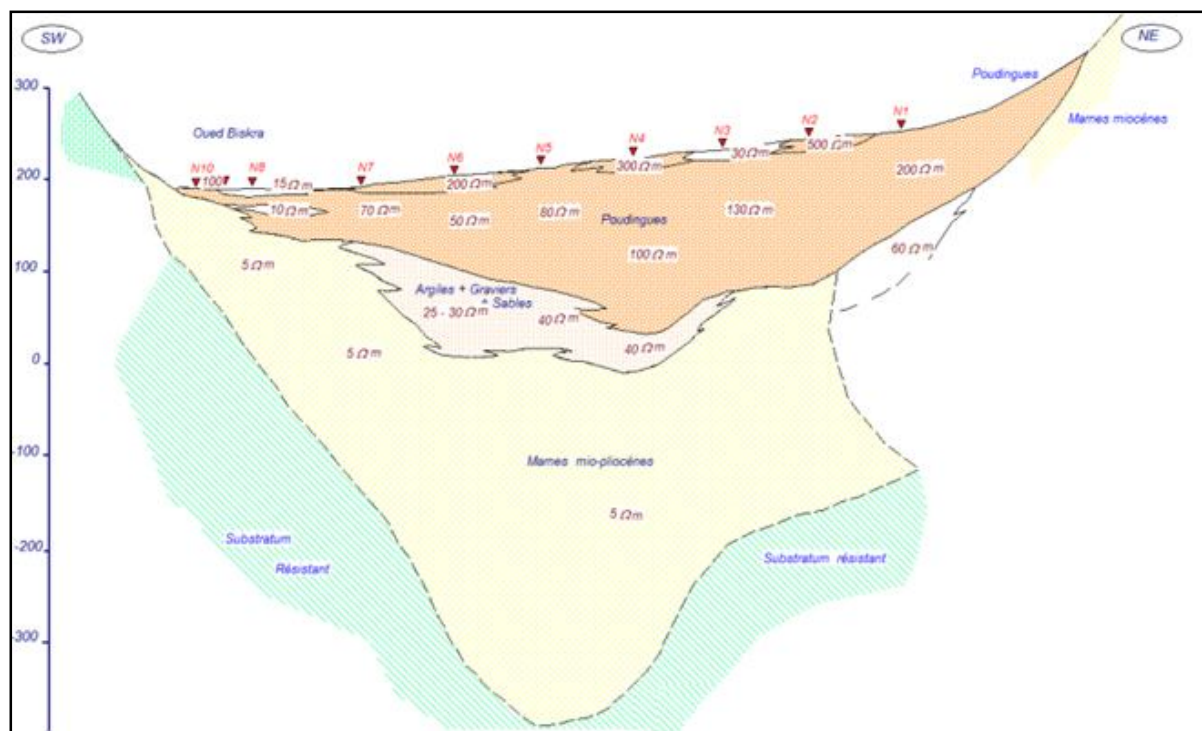
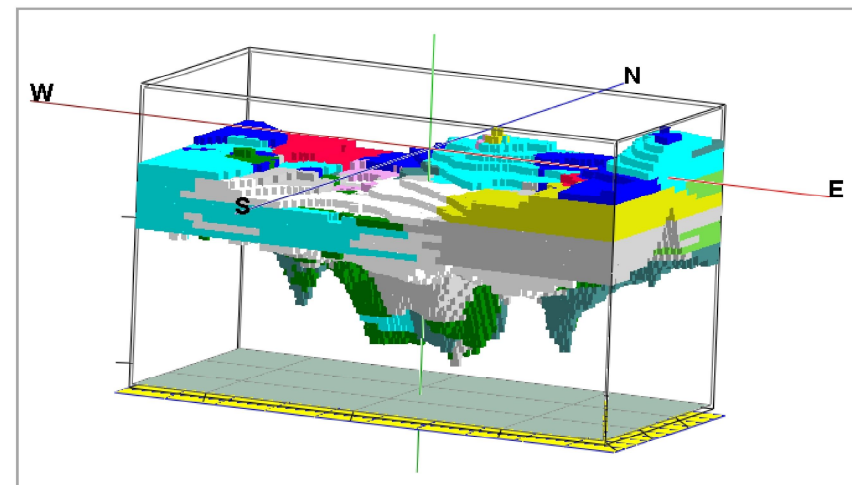
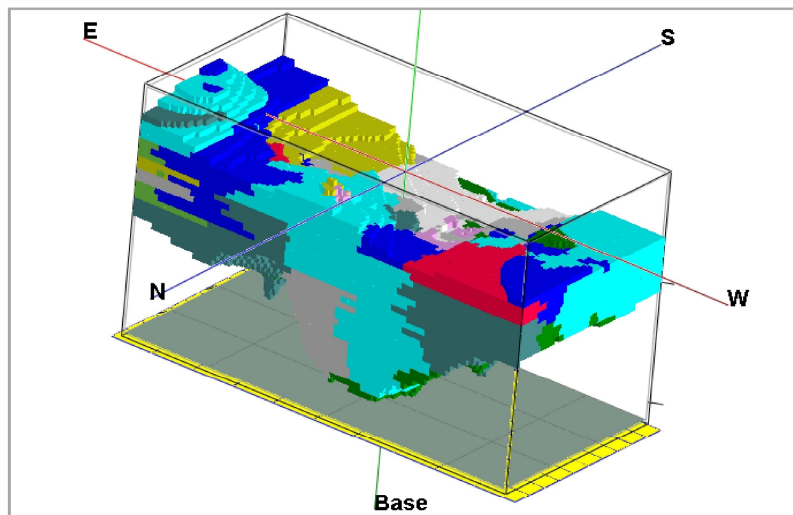


Fig.28 : Profil électrique – N (C.G.G, 1971)



### Légende

- Ensemble argileux
- Ensemble argilo-carbonaté
- Ensemble Argilo-gréseux
- Ensemble argilo-sableux parfois gypseux
- Ensemble conglomératique
- Ensemble gravéleux
- Ensemble gréseux
- Ensemble grés-argileux
- Ensemble grés-conglomératique
- Calcaire

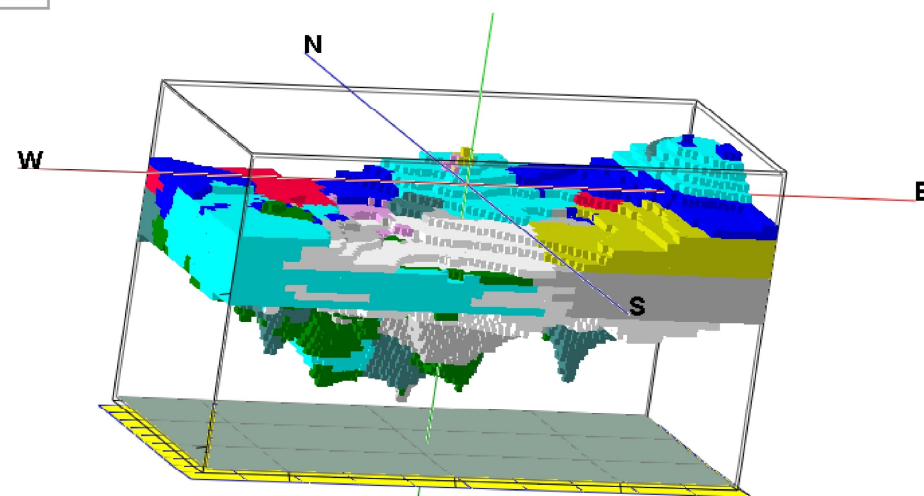


Fig.29: Vue d'ensemble du Bloc du diagramme de la plaine d'El Outaya

## CHAPITRE 4 :

### **Etude Hydroclimatique**

## 1. Introduction:

Les ressources en eau représentent l'une des principales richesses qui alimente toute action de développement économique et social. Elles sont omniprésentes dans la région d'étude et alimentées essentiellement par les principaux oueds, à savoir : Oued Biskra, Oued Selsou qui se caractérisent par un écoulement intermittent. Lors des crues, ces oueds se jettent dans le Chott Melghir.

Le bassin versant de Chott Melghir est l'un des plus grands bassins hydrologiques, classé par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (fig.30). Il occupe une surface estimée à 68750 km<sup>2</sup>, la principale chaîne montagneuse de ce bassin est celle des Aurès ; elle est caractérisée par un relief très accidenté, ainsi que des pentes fortes dans le haut du versant (fig. 31). Le point culminant est situé sur le Djebel Chélia (les Aures) qui a une altitude de 2328 m. La majorité des terres de ce bassin présente une grande étendue plate, suivie d'une zone dépressionnaire, celle du Chott Melrhir. L'auteur S. Aïdaoui (1994) écrit : « Lorsqu'on aborde le Sahara par le Nord, on est frappé par la brutalité avec laquelle on quitte le domaine montagneux de l'Atlas Saharien pour déboucher sur la plate forme saharienne ».

## 2. Aperçu géomorphologique de la zone d'étude.

La plaine d'El Outaya qui fait partie du sous bassin versant de l'Oued El Hai (fig.31), est un glacis en pente douce, se situant au pied de l'Aurès, à des altitudes qui varient entre 250 et 180 mètres. Des thalwegs sillonnent la plaine, en creusant des ravins, atteignant jusqu'à 3 mètres de profondeur, mettant à nu la nappe du gravier (fig.05).

Le réseau hydrographique est constitué essentiellement de l'oued Biskra , à l'Est où il est alimenté par des pluies exceptionnelles et les affluents, issus des massifs des Aurès, tandis qu'à la partie ouest ,il est caractérisé par la présence de l'oued Selsou qui présente un écoulement du type endoréique.

La digitalisation du modèle numérique de terrain de la plaine d'El Outaya, par Haouchine (fig.31), nous a permis de déterminer quatre (04) classes pour la pente:

✓ *Classe I :  $\alpha > 15\%$  (très forte)*

Les valeurs de cette classe représentent les zones montagneuses qui entourent toute la plaine d'El Outaya (Dj. Maghraoua, Dj. Boughezal), où le ruissellement serait très important, impliquant une infiltration minimale.

Code Bassins

- 01 Cheliff
- 02 Cotiers Algérois
- 03 Cotiers Constantinois
- 04 Cotiers Oranais
- 05 Chott Hodna
- 06 **Chott Melghir**
- 07 Hts Plts Constantinois
- 08 Hts Plts Oranais
- 09 Isser
- 10 Kébir Rhumel
- 11 Macta
- 12 Medjerda
- 13 Sahara
- 14 Seybouse
- 15 Soummam
- 16 Tafna
- 17 Zahrez

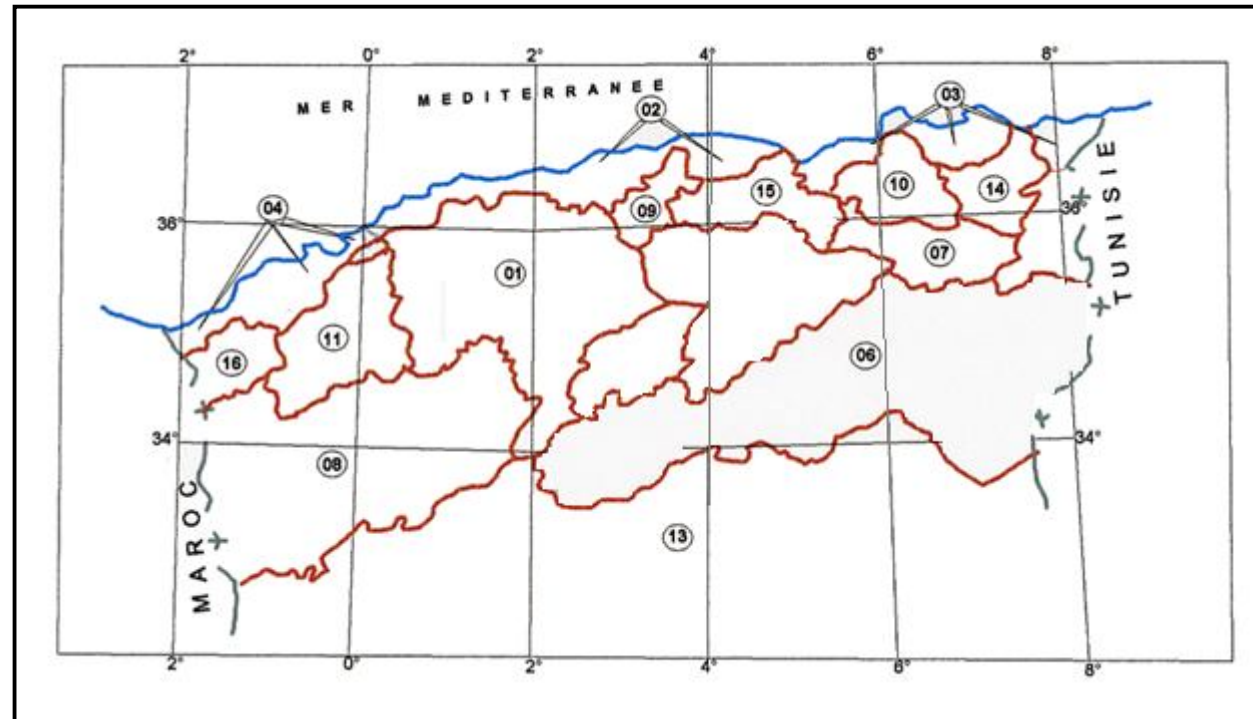


Fig. 30 : Bassin versant de Chott Melghir (A.N.A.T, 2003)

✓ *Classe II :  $10 < \alpha < 15$  % (forte)*

Cette classe correspond aux zones de piedmonts. Le ruissellement perdrait de son ampleur et c'est l'infiltration qui commencerait à avoir lieu, bien que le facteur longueur de pente soit réduit. Cette bande comprend la région de Branis et le flanc nord de Dj Boughezal.

✓ *Classe III :  $3 < \alpha < 10$  % (faible à moyenne)*

C'est la classe des hautes plaines ; elle comprend les deux périmètres Koudiat Djedid et M'Keinet récemment aménagés et qui ont des pentes, allant de 1.5 à 3.5%. Cette zone montre des pentes relativement faibles, où l'infiltration prend de l'importance, contrairement au ruissellement qui perd son énergie.

✓ *Classe IV :  $\alpha < 3$  % (très faible)*

C'est la classe des basses plaines. Elle occupe le centre de la carte et la plus grande partie de la zone d'étude. Les pentes y sont très faibles, d'où le nom de « El Outaya », signifiant le plat.

Au vu de ces descriptions, nous constatons que la zone d'étude est couverte en majeure partie par la classe IV où les pentes sont très faibles, favorisant ainsi l'infiltration (fig.03). Nous observons, en outre que cette plaine sert de réceptacle aux eaux de ruissellement, provenant des montagnes qui l'entourent.



**Légende**

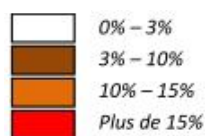


Fig .31: Carte des pentes du bassin versant de la plaine d'El Outaya (Haouchine, 2011)

### 3. Le réseau hydrographique

La plaine d'El Outaya est marquée par la présence d'un réseau hydrographique, moins dense caractérisant une région désertique, elle présente, à la fois une zone de transition d'un réseau qui continue son parcours vers chott Melghir (Oued El Hai-Biskra) et une région d'épandage des eaux d'Oued Selssou, notons que ce dernier ne présente aucun intérêt hydrique dans cette région d'étude, l'Oued El Hai-Biskra qui prend naissance, en partie dans les monts de Belezma et a pour affluents principaux : Oued Tilatou et oued Fadala qui convergent pour former Oued El Hai jusqu'à la ville d'El Outaya. Au delà de cette région, l'Oued prend la dénomination de Oued Biskra, ce dernier est le plus important dans la région d'étude, il traverse la plaine d'El Outaya et se déverse dans le Chott Melghir, son réseau hydrographique est constitué par un grand nombre d'affluents qui collectent les eaux de ruissellement du Sud-ouest des Aurès. Au Nord de la ville de Biskra. Après un parcours permanent, l'Oued El-Hai-Biskra débouche dans une plaine à l'altitude de 200 mètres, où il s'infiltré dans son cône de déjection. Seules, les crues atteignant Biskra, au cours desquelles l'eau est utilisée pour l'irrigation dans la plaine d'El-Outaya (fig.32).

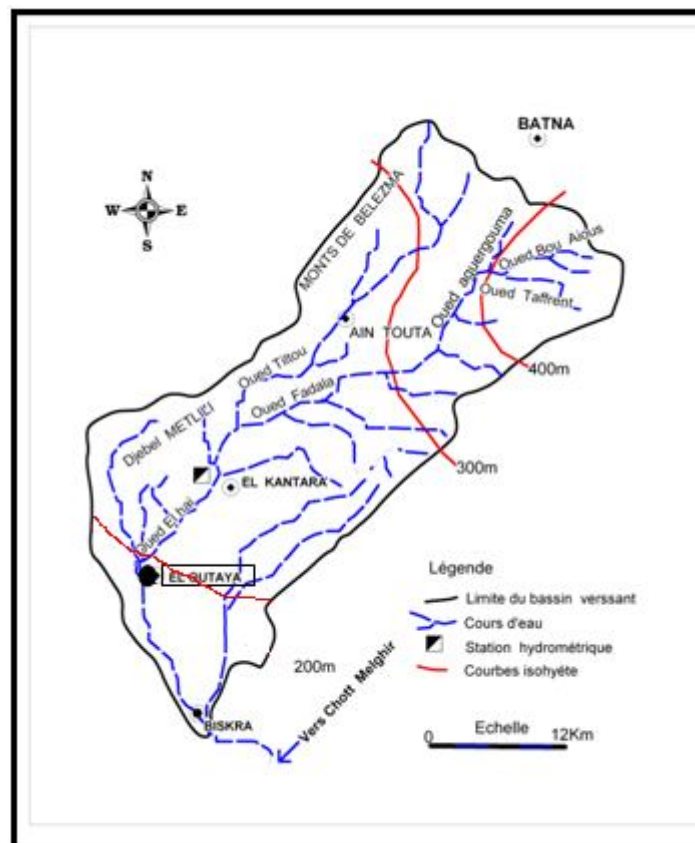


Fig.32 : Schéma du sous bassin versant de l'Oued El Haï-Biskra (A.N.R.H, 2013)

#### 4. Etude climatologique:

Les facteurs climatiques (Précipitations, Transpiration, Evaporation, Température, Insolation, ect...) sont variables dans le temps et dans l'espace, et permettent d'expliquer quantitativement les variations du régime hydrologique dans la région.

L'étude climatologique a pour but de donner une idée sur le régime pluviométrique du secteur d'étude et l'importance de sa variabilité dans l'alimentation des eaux souterraines.

Concernant le bassin versant de l'oued El Haï-Biskra, la station d'El Outaya présente la seule source de données pluviométriques, mais malheureusement elle présente des périodes d'arrêt et de dysfonctionnement sur une longue durée, ce qui rend les données de cette station inexploitable.

Par contre, la station de Biskra est marquée par son fonctionnement régulier, continu pendant de longues années et vu sa proximité de la zone d'étude ce qui favorise l'exploitation des données de cette station. Les caractéristiques de ces deux stations sont consignées dans le Tableau 06.

Tableau 06: Caractéristiques des deux stations pluviométriques (A.N.R.H, 2013)

Station	Code ANRH	Coordonnées		Altitude	Observations
		Longitude	Latitude		
Biskra	06-14-16	05°44'34"	34°51'17"	85	Fonctionnelle
El Outaya	06-12-05	5° 36' 0"	35° 1' 60"	275	A l'arrêt depuis l'année 1999

##### 4. 1. Précipitations:

L'étude comparative entre les précipitations moyennes annuelles enregistrées dans la station d'El Outaya et celle de Biskra, réalisée par Haouchine 2008, pour la période 1970 et 1980 (tableau 07), montre que les précipitations enregistrées aux deux stations avant 1990 varient sensiblement de la même façon. Néanmoins, à partir de 1990, les valeurs de la station d'El Outaya paraissent trop faibles à l'égard de celles enregistrées à Biskra (fig. 33). Cela est dû probablement à un dysfonctionnement du poste d'El Outaya ou à des mesures aléatoires.



Tableau 07 : Précipitations moyennes annuelles aux stations de Biskra et El Outaya.  
Période 1970-2001

Année	Biskra	El Outaya	Année	Biskra	El Outaya	Année	Biskra	El Outaya
1970	81,1	73,8	1981	114,7	70	1992	202,8	44
1971	223,3	183,5	1982	89,6	107	1993	78	33,2
1972	196,2	168,6	1983	87,2	82,8	1994	121,2	61,3
1973	95,9	66,3	1984	159,4	149,8	1995	212,9	82,8
1974	83,5	75,2	1985	96,9	98,4	1996	116,2	47,1
1975	181,2	119,6	1986	149,5	130,3	1997	169,3	64,7
1976	109,9	212,1	1987	50,2	80,6	1998	96,4	46,6
1977	65,6	66,6	1988	97,5	89,2	1999	124,5	37,2
1978	97,5	100,5	1989	77,7	76	2000	88,9	34,2
1979	99,7	102	1990	127,2	48,1	2001	55,5	81,9
1980	116,2	90,5	1991	133	38			

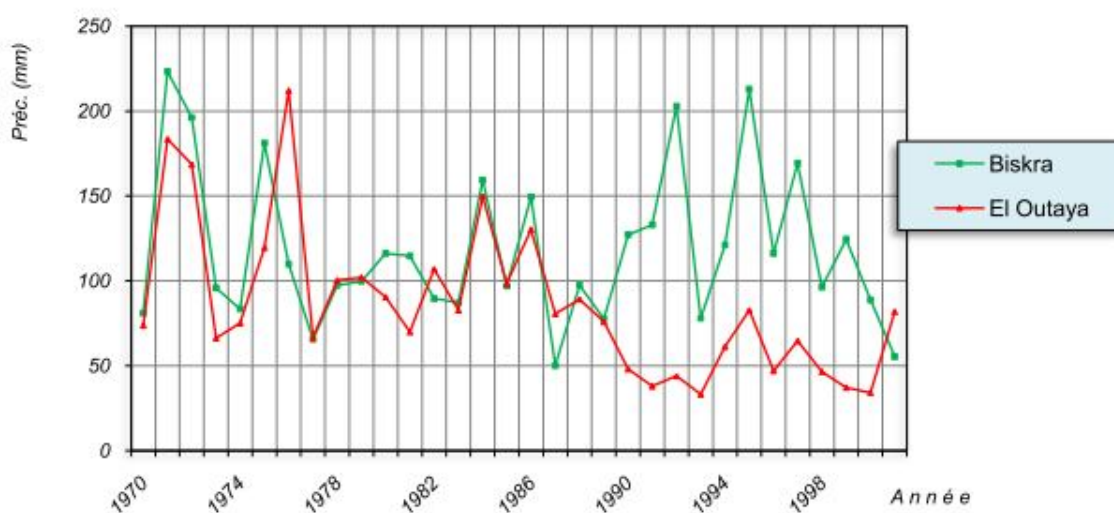


Fig. 33 : Répartition des précipitations annuelles .Stations de Biskra et El Outaya.  
Période (1970-2001)

Par contre le coefficient de corrélation entre les précipitations enregistrées dans les deux stations pour la même période est de 0.435% ; ceci atteste d'une corrélation médiocre. Ce résultat ne permet par conséquent ni de combler les lacunes relevées à la station d'El Outaya ni de procéder à une extension de cette série.

Nous nous limiterons donc, pour caractériser la pluviométrie dans la plaine d'El Outaya, aux données de la station de l'Office National de la Météorologie de Biskra, car c'est la station qui se prête le mieux, à caractériser le climat de la zone vu son fonctionnement régulier pendant un nombre d'années assez représentatif (1974/2013).

#### 4.1.1. Etude des précipitations moyennes annuelles:

Le terme « précipitations » englobe toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, que se soit sous forme liquide (pluie) ou sous forme solide (neige, grêle).

Avec une série d'observation relativement longue, relevée sur la station de Biskra (1974-2013) le tableau ci-dessous montre une irrégularité assez marquée, avec une précipitation moyenne annuelle de 122.8mm (tableau 08). Toutefois, l'histogramme de ces données pluviométriques (fig.34) a montré que l'année 2011 est la plus pluvieuse, qui dépasse la valeur moyenne, avec une valeur de 252.3mm, tandis que l'année de 1993 est la plus sèche, avec une précipitation nettement inférieure à la moyenne (31.9mm). Ceci témoigne du caractère aride de la région.

Tableau 08: Précipitations moyennes annuelles (1974-2013, A.N.R.H, 2013).

1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
62.47	167.7	117.7	157.3	43.5	90.7	128	78	107.5	49.9	50.1	113.9	161.2
1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
71	69.8	89.3	142.1	185.4	154	31.9	129	108.4	186.4	178.8	81.8	221.8
2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
40.6	84.5	45.4	154	237.6	45.2	215	92.2	116.9	169.8	185.5	252.3	54.5
2013	MOYENNE											
204.5	122.8mm											

Aussi, l'histogramme des précipitations moyennes annuelles enregistrées sur cette période nous montre que les années déficitaires, par rapport à la moyenne sont nettement supérieures par rapport à celles excédentaires.

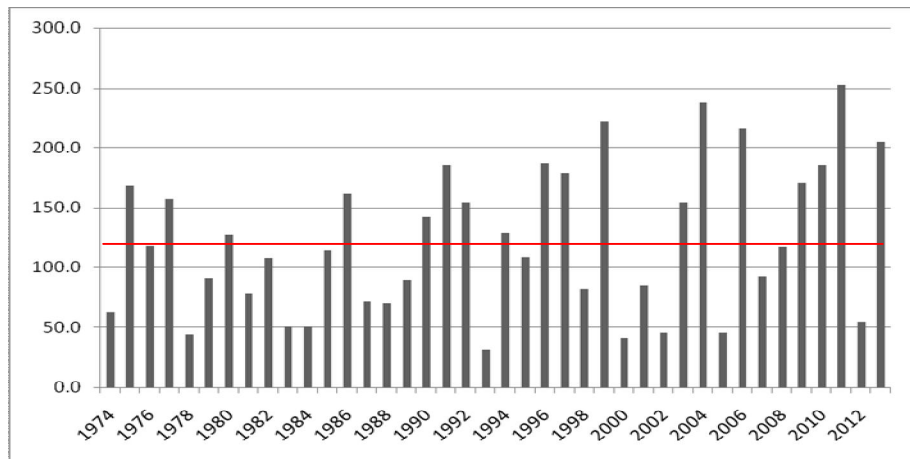


Fig.34 : Variations des précipitations moyennes annuelles à la station de Biskra (1974-2013)

4.1. 2. Etude des précipitations moyennes mensuelles:

Le tableau 09 donne les valeurs moyennes mensuelles des pluviométries, mesurées à la station de BISKRA, sur la période (1974-2013).

Tableau 09: Pluviométries moyennes mensuelles (1974-2013), A.N.R.H, 2013.

Mois	Jan	Fév	Aar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Années
P (mm)	17.2	7.4	13.7	13.6	10.5	5.5	0.7	3.5	13.6	12.1	15.5	9.4	121.9

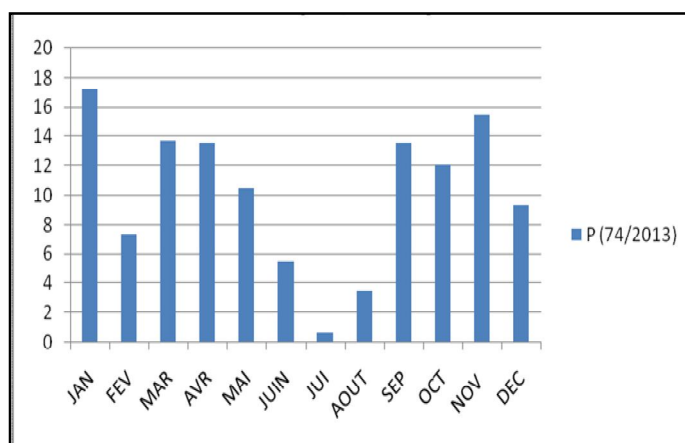


Fig.35:Histogramme des précipitations moyennes mensuelles, pour la Station de BISKRA (1974 -2013).

L'évolution des précipitations moyennes mensuelles de la station de BISKRA, pour différentes périodes (fig.35) montre que les valeurs des précipitations maximales sont marquées principalement en mois de Septembre, avec un maximum de 30.94 mm, alors que le mois le plus sec est Août, avec (2,08 mm).

#### 4.1.3. Précipitations saisonnières.

Les quatre saisons de l'année correspondent à :

- Hiver (Décembre, Janvier, Février)
- Printemps (Mars, Avril, Mai)
- Eté (Juin, Juillet, Août)
- Automne (Septembre, Octobre, Novembre)

Et leurs précipitations équivalentes sont données par le tableau suivant :

Tableau10: Distribution saisonnière des précipitations

Saisons	Hiver	Printemps	Eté	Automne
Station de BISKRA P(mm)	34.0	37.9	9.7	41.2

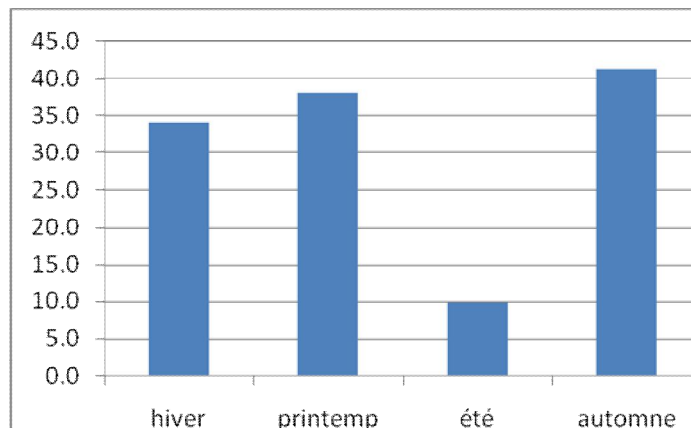


Fig.36: Histogramme des précipitations saisonnières, à la station de Biskra (1974-2013)

La distribution saisonnière des précipitations, montre que l'été correspond à la saison la plus sèche. L'Automne étant la saison la plus humide (fig.36).

#### 4. 2. Etude des Températures.

La température est le second facteur, après la précipitation qui conditionne le climat d'une région. Elle permet aussi d'estimer le déficit d'écoulement. La température moyenne annuelle est de 22.57 °C. Le tableau 11, donne les températures moyennes mensuelles pour une période de 21 ans (1974-2013).

Tableau 11: Températures moyennes mensuelles (1974-2013).

Mois	Jan	Fév	Aar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Moyenne
T (°C)	11.8	13.6	17.1	20.7	25.6	31.1	34.1	33.8	28.7	23.1	16.4	12.6	22.4

A.N.R.H, 2013

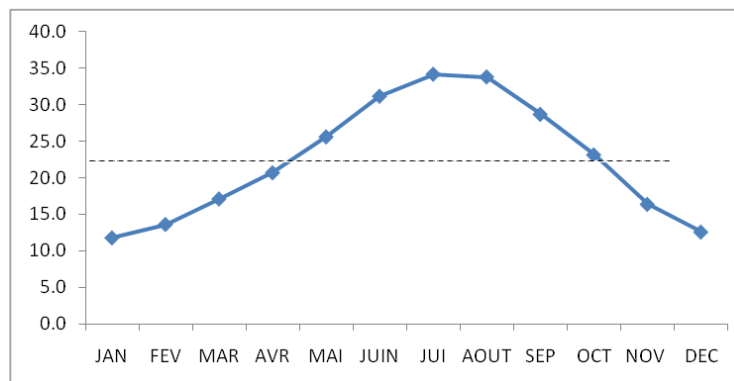


Fig.37 : Variation mensuelle des températures, à la station de Biskra (1974/2013)

On note que la température moyenne mensuelle la plus élevée est celle du mois de Juillet (34.10°C), alors que la température la plus basse est celle du mois de janvier (11.8°C) (fig.37).

#### 4. 3. Synthèse climatique :

##### 4.3.1. Courbe Ombrothermique:

L'observation de la figure39, relative à la courbe ombrothermique montre que le climat de la région étudiée est caractérisé par une seule saison sèche s'étalant sur toute l'année. C'est d'ailleurs un des paramètres marquant le climat des zones arides, en plus de la forte évaporation et l'irrégularité dans le régime pluviométrique.

Tableau12: Températures et précipitations moyennes mensuelles (1974-2013).

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Octo	Nov	Déc
P (mm)	17.23	7.38	13.73	13.61	10.528	5.51	0.69	3.50	13.60	12.08	15.49	9.35
T (C°)	11.81	13.63	17.12	20.69	25.6	31.14	34.14	33.78	28.67	23.13	16.38	12.59

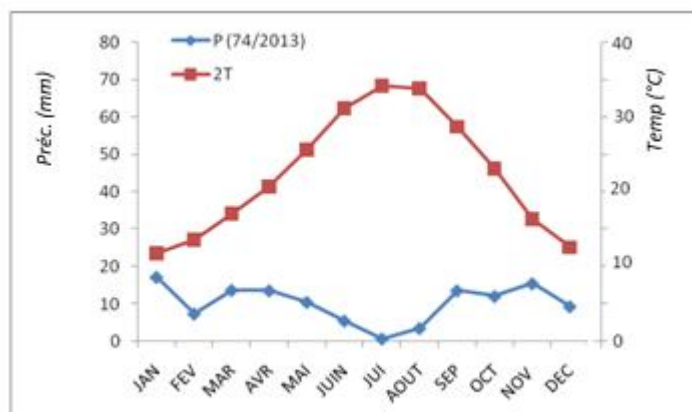


Fig.39: Diagramme Ombrothermique.

#### 4.3.2. Indices climatiques :

##### a. Indice d'aridité:

L'aridité peut s'exprimer quantitativement par différents *indices d'aridité* conventionnels et empiriques, la plupart est un simple rapport hydro-thermique, fondé principalement sur des grandeurs moyennes de précipitations et de températures, qui sont utilisées pour définir les degrés d'aridité et les conditions de l'écoulement fluvial. Ces grandeurs ont été proposées par des climatologues, des morphologues, des géographes et des botanistes. Les plus connus sont ceux de E. De Martonne (1926), L. Emberger (1932), C.W. Thornthwaite (1948), J. Dubief (1959) ; H. Gaussen, F. Bagnouls (1954). Suivant l'ampleur du déficit hydrique déterminant, plusieurs degrés d'aridité peuvent être différenciés, se définir par des classes d'indices d'aridité convenues et recevoir des qualifications particulières, applicables à des zonalités climatiques. Il est devenu classique de distinguer *trois degrés dans l'aridité*.

- Hyper-aride
- Aride
- Semi-aride

✓ Indice d'aridité annuel de De. MARTONNE :

De Martone (1923) a défini un indice appelé indice d'aridité annuel « I » donné par :

$$I = \frac{P}{T + 10}$$

Avec :

P : Précipitations annuelles moyennes (mm)

T : Températures annuelles moyennes (C°)

Classification des climats, en fonction de la valeur de l'indice de De Martonne :

I<5 : Climat hyper-aride

5<I<10: Climat aride

10<I<20: Climat semi-aride

20<I<30: Climat semi-aride

I>30:Climat humide.

Le tableau13 montre la température moyenne annuelle, la précipitation moyenne annuelle, et l'indice d'aridité, calculé pour la station de Biskra, sur la période (1974-2014).

Tableau13: Indice de l'aridité.

P (mm)	T (C°)	I
122.8	22.4	3.76

Le résultat du calcul de l'indice de DE MARTONNE, est conforme aux valeurs attendues pour la zone de *climat hyperaride*

✓ Indice d'aridité mensuel de De Martonne

Un indice d'aridité peut être calculé, par mois :

Il est définit par :

$$a = 12p / (t + 10)$$

p: précipitations mensuelles moyennes (mm)

t : températures mensuelles moyennes(C°)

Les valeurs de l'indice d'aridité mensuel sont reportées au tableau14

Tableau14: Les valeurs d'indice d'aridité mensuel(a) de De Martonne à la station de Biskra  
(1974/2013)

Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUL	AOUT	SEP	OCT	NOV	DEC
<b>P (mm)</b>	17.23	7.39	13.74	13.61	10.53	5.52	0.70	3.50	13.60	12.09	15.50	9.36
<b>T (°C)</b>	11.81	13.64	17.12	20.70	25.60	31.14	34.15	33.78	28.67	23.13	16.38	12.60
<b>a</b>	9.48	3.75	6.08	5.32	3.55	1.61	0.19	0.96	4.22	4.38	7.05	4.97

Le calcul de cet indice d'aridité nous a permis de constater que les mois de Janvier, Mars, Avril et Novembre ont un climat aride, tandis que les mois de Février, Mai, Juin, juillet, Aout , Septembre, Octobre et Décembre ont un climat Hyper-aride.

b. Climagrammes :

✓ La classification bioclimatique d'Emberger (fig.40):

L'indice climatique d'Emberger, est défini par la formule:

$$Q=2000 P / (M^2 - m^2)$$

Avec :

- Q: quotient pluviométrique d'Emberger
- P: précipitation moyenne annuelle en mm.
- M : moyenne des températures max du mois le plus chaud, en degré absolu °C+ 273(°K).
- m : moyenne des températures min du mois le plus froid, en degré absolu °C+ 273 (°K).

P (mm)	M (°K)	m (°K)	Q
122.8	301.02	279.9	17.12

La valeur du Q de la station de Biskra est de 17.12, en reportant cette valeur sur le climagramme d'EMBERGER qui comporte en ordonnées les valeurs du Q et en abscisses la moyenne des minima du mois le plus froid (janvier) en degré Celsius, on peut constater que la région est soumise à un climat saharien.



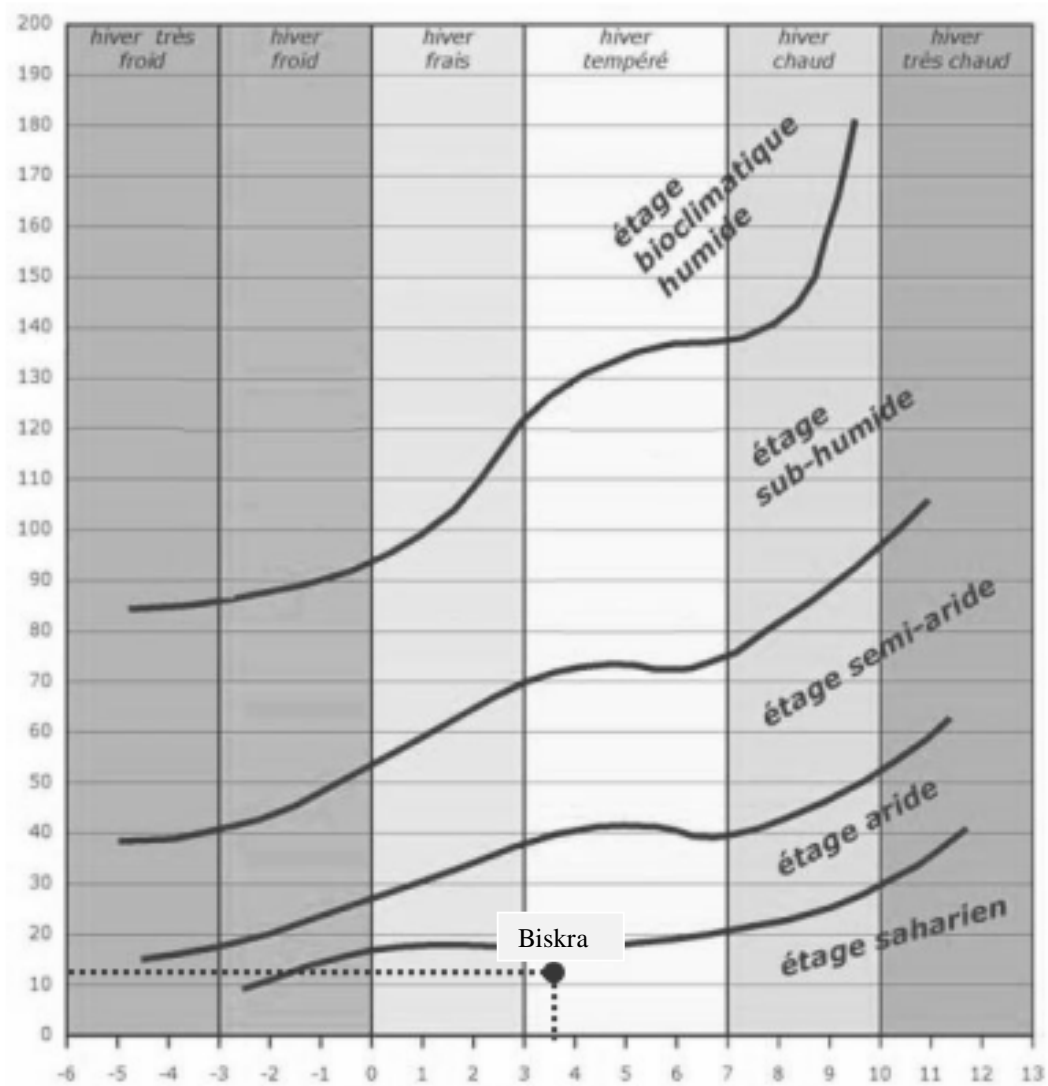


Fig.40: Climagramme d'Emberger pour la station de Biskra (1976 /2013)

#### 4. 3.3. L'évapotranspiration :

L'évapotranspiration: est la restitution de l'eau sous forme de vapeur de la surface terrestre quelque soit sa nature (sols, végétaux et eaux libres) à l'atmosphère.

Il est utile de distinguer entre la notion d'évapotranspiration potentielle ETP, qui est la quantité d'eau nécessaire à la transpiration non ralentie, d'un tapis végétal couvrant entièrement le sol et alimenté régulièrement en eau. Elle commande les excès et les déficits des régions humides ou arides, l'évapotranspiration réelle ETR ; c'est le retour de l'eau à l'atmosphère sous forme de vapeur, elle résulte de deux phénomènes ; l'un physique (évaporation) et l'autre biologique (transpiration).

Bien souvent, L'évapotranspiration est calculée plus que mesurée, en jouant sur les paramètres thermiques et les vents. De nombreuses formules ont été établies pour calculer l'ETP, les noms de Penman, Thornthwaite et Turc sont associés à des formules de l'évapotranspiration potentielle. Pour notre région, on a utilisé la formule dite ETP ANRH-Penman.

**a. L'évapotranspiration potentielle (ETP):**

Définition :

L'ETP est un facteur déterminant dans l'évaluation du bilan hydrologique d'une région. C'est un phénomène important du cycle hydrologique. Elle résulte de deux phénomènes, l'un physique : l'évaporation et l'autre biologique; la transpiration. Pour l'estimation de ce paramètre, on utilise les formules de Thornthwaite.

**a-1. Formule de Penman :**

Permet d'évaluer l'évapotranspiration potentielle de Penman à partir de la seule mesure de la température moyenne mensuelle correspondante, de la connaissance du mois et de la position géographique. C'est donc à partir de cette formule que nous nous proposons de généraliser la connaissance des ETP à partir de l'information thermométrique.

La formule est la suivante :

$$ETP = K_r * K_m (H - 187) * (0.032t + 0.07)$$

Avec : ETP ANRH: est exprimé en mm par mois.

$K_r$  : c'est un coefficient régional, que l'on peut lire sur le tableau 15.

$K_m$  : c'est un coefficient mensuel dont les valeurs sont données dans le tableau 16.

$H$  : la durée théorique mensuelle d'insolation (en heure par mois) elle est exprimée en fonction de l'altitude (y) et selon les formules données dans le tableau 17.

$T$  : la température moyenne mensuelle pour le mois considéré et exprimée en  $^{\circ}C$ .

Tableau15: Coefficient correctif " K r ".

Nom	Kr cor	Kr	Cor,	Nom	Kr cor	Kr	Cor	Nom	Kr cor	Kr	Cor
Aïn sefra	1,21	1,11	9%	Dellysafir	0,87	0,87	0%	Mostaganem	0,87	0,87	0%
Annaba	0,91	0,91	0%	Djelfa	1,10	1,04	5%	Msila	1,12	1,12	0%
Arzew	0,97	0,97	0%	El kheiter	1,15	1,24	-7%	Naama	1,11	1,11	0%
Barika	1,24	1,24	0%	Elbayadh	1,23	1,23	0%	Oran	0,99	0,99	0%
Batna	1,12	1,12	0%	Elmilia	0,79	0,79	0%	Oumelbouaghi	0,92	0,92	0%
Bbarreridj	1,07	1,07	0%	Ghazaouet	0,81	0,81	0%	Saida	1,01	1,01	0%
Bechar	1,32	1,32	0%	Guelma	0,83	0,83	0%	Setif	1,04	1,04	0%
Bejaia	0,92	0,92	0%	Jijelaer	0,79	0,79	0%	Sidibelabbes	0,94	0,94	0%
Benisaf	0,88	0,88	0%	Jijelport	0,79	0,79	0%	Skikda	0,86	0,86	0%
Biskra	1,26	1,26	0%	Ksarchellala	1,09	1,09	0%	Soukahras	0,99	0,99	0%
Bou saada	1,10	0,93	18%	Maghnia	0,93	0,93	0%	Tebessa	1,00	1,00	0%
Bouira	1,04	1,04	0%	Mascara	0,95	0,95	0%	Tenes	0,95	0,95	0%
Chlef	0,93	0,93	0%	Mecheria	1,14	1,14	0%	Tiaret	1,08	1,14	-6%
Constantine	0,91	0,91	0%	Medea	1,05	1,05	0%	Tiziouzou	0,83	0,83	0%
Darelbeida	0,89	0,89	0%	Miliana	0,97	0,97	0%	Tlemcensen	0,93	0,93	0%

Tableau16: Evolution du coefficient correctif mensuel" K m ".

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
$K_m$	0,96	1,22	1,11	1,17	1,02	1,00	0,97	0,97	0,98	0,90	0,90	0,86

En fait, on se trouve avec deux paramètres saisonniers H et  $K_m$ . Si ce dernier est stable spatialement, la durée H varie avec l'altitude. La formule est complexe car de portée universelle si on se restreint à notre zone d'étude ( $33^\circ < \text{latitude} < 35^\circ$ ) Nord Algérien ( $50\text{Km} < Y < 450\text{Km}$ ), il est possible d'obtenir H d'une façon beaucoup plus simple, avec un écart insignifiant, H est lié linéairement aux Y Lambert (cette formule est applicable pour toute l'Algérie) :

Y : étant la coordonnée Lambert (en kilomètres) ; latitude.

H : étant la durée théorique d'insolation du mois i (en heures par mois)

$$H_i = a_i Y + b_i.$$

Les paramètres mensuels  $a_i$  et  $b_i$  sont donnés dans le tableau17.

Tableau17: Coefficients d'évaluation des durées théoriques d'insolation

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
$a_i$	-0,0218	-0,0110	-0,0012	0,0098	0,0201	0,0248	0,0230	0,0144	0,0031	-0,0081	-0,0185	-0,0246
$b_i$	315	307	371	389	429	429	436	414	370	351	311	308

On remarque à partir du tableau 17, que les gradients de H par rapport à Y sont très faibles et quasiment nuls en été, dans cette zone on peut considérer H comme indépendant de Y et retenir les valeurs suivantes du produit K m (H-187) :

Tableau 18 : Valeurs moyennes de K m (H-187).

Km(h-187)	119.15	144.01	204.00	238.38	250.49	246.41	245.5	222.68	179.88	146.3	108.64	100.29	2205.74
-----------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	-------	--------	--------	-------	--------	--------	---------

En procédant ainsi, on commet une erreur inférieure 5% pour tous les mois et inférieure à 3% de février à octobre (inclus). L'application à la station de Biskra (Kr=1.26) est présentée dans le tableau 19.

Tableau 19: Evapotranspirations moyennes mensuelles pour la station de Biskra (1974/2013)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aou	Année
a <sub>i</sub>	-0.018	0.0110	-0.0012	0.0098	0.0201	0.0248	0.0230	0.0144	0.0031	-0.008	0.0185	-0.0246	
b <sub>i</sub>	315	307	371	389	429	429	436	414	370	351	311	308	
H(h/mois)	311.12	305.04	370.79	390.74	432.58	433.41	440.09	416.56	370.55	349.56	307.71	303.32	4431.87
Km	0.96	1.22	1.11	1.17	1.02	1	0.97	0.97	0.98	0.9	0.9	0.86	
Km(h-187)	119.15	144.01	204.00	238.38	250.49	246.41	245.5	222.68	179.88	146.3	108.64	100.29	2205.74
t°c	28.07	23.13	16.38	12.59	11.81	13.63	17.12	20.69	25.6	31.14	34.14	33.78	22.6
ETP (mm/mois)	145.36	147.00	152.72	142.03	141.37	157.15	111.1	205.40	201.53	96.59	59.12	145.44	1984.86

a.2. Formule de Thornthwaite.

$$E.T.P (mm) = 16 (10 T / I)^a$$

T : température moyenne mensuelle

$$I = \sum i \text{ avec } i = (T/5)^{1.514}$$

$$a = 0.492 + 1.79 \cdot 10^{-2} I - 7.71 \cdot 10^{-5} I^2 + 6.75 \cdot 10^{-7} I^3$$

Tableau 20: Evapotranspirations moyennes mensuelles pour la station de Biskra  
(1974/2013)

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Années
<b>T</b>	11.8	13.6	17.1	20.7	25.6	31.1	34.2	33.8	28.7	23.1	16.4	12.6	22.6
<b>I</b>	3.7	4.6	6.4	8.6	11.8	15.9	18.3	18.0	14.1	10.2	6.0	4.0	121.8
ETP (mm)	14.7	21.8	40.8	68.7	123.2	211.1	271.8	263.9	168.1	93.2	36.1	17.6	1331.11
<b>K</b>	1,0	1,0	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	
ETP corr (mm)	15.2	21.2	32.6	58.4	107.2	179.4	280.0	287.7	203.5	112.8	44.5	20.4	1362.68

L'observation de la figure 41 correspondante à l'évolution de l'ETP, calculée par la méthode de Thornthwaite, dans la station montre un passage graduel des valeurs minimales, observées entre Novembre et Mars, vers les valeurs maximales, enregistrées en Juillet et Août. Le tableau des évaporations moyennes mensuelles nous a montré aussi que l'évaporation moyenne annuelle est de 1362.68mm

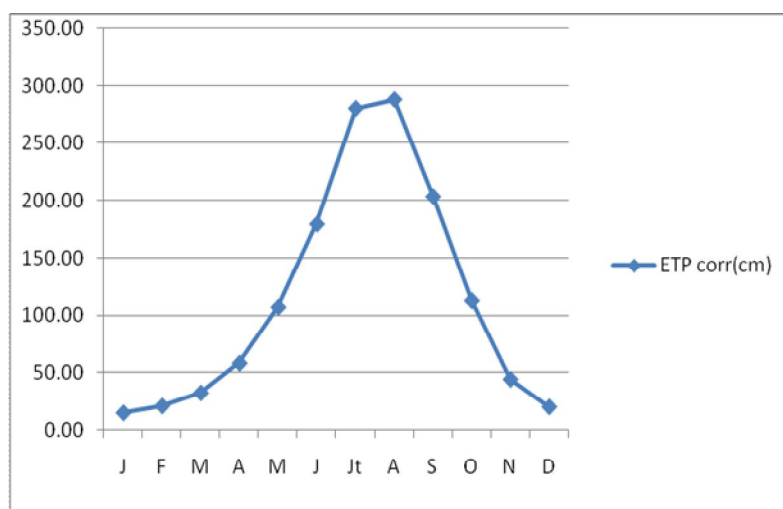


Fig.41: Variation mensuelle de l'évapotranspiration au niveau de la zone d'étude  
(Période 1974/2013)

#### b. Evapotranspiration et déficit d'écoulement :

Le terme évapotranspiration correspond à un phénomène complexe, regroupant à la fois :

- Des processus d'évaporation physique de l'eau, contenue dans le sol.
- Des processus de transpiration correspondant à l'utilisation de l'eau atmosphérique et de l'eau du sol, par les végétations et au rejet de vapeur d'eau dans l'atmosphère.

\*Le déficit d'écoulement est la différence entre la pluviométrie tombée sur un bassin versant et le total de la quantité d'eau écoulée. Plusieurs méthodes ont été proposées pour le calcul du déficit.

b.1. Méthode de Turc :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}; \quad L = 300 + 25 * T + 0.05 * T^2$$

P : pluviométrie moyenne annuelle en (mm).

$L=300+25T+0.05 T^3$ .

T : température moyenne annuelle en C°.

ETR : évapotranspiration réelle annuelle en mm.

Le résultat est reporté au tableau 20.

Tableau 21: Evapotranspiration réelle et écoulement moyen annuel, pour la station de Biskra (1974/2013)

Station	P (mm)	T (°C)	L	ETR (mm/an)	Écoulement (P-ETR) (mm)
Biskra	121.89	22,57	889.72	127.16	-

Le résultat d'application de cette Méthode, sur la station de Biskra a permis de conclure que cette méthode est inapplicable sur cette zone d'étude pour déterminer l'évapotranspiration réelle, car la valeur obtenue est supérieure à celle des précipitations.

b.2. La méthode de Wundt:

Wundt a établie un abaque permettant d'obtenir une valeur du déficit d'écoulement, en fonction de la température moyenne 22,57°C et des précipitations 121.89 mm, son application (fig.42) nous a donnée les résultats suivants :

- Deficit =195mm
- Ecoulement =0mm, car le déficit est supérieur à P=122.8 mm

Cette méthode est aussi inapplicable, car l'évapotranspiration réelle est supérieure aux précipitations.

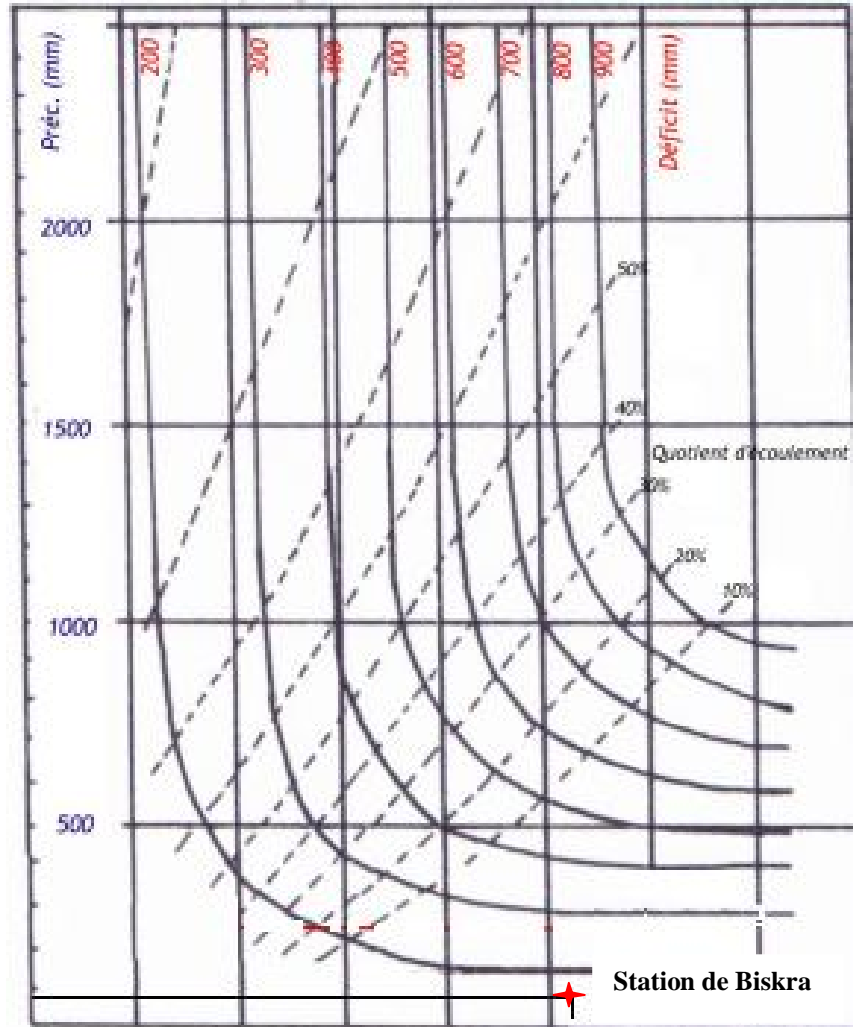


Fig.42: Abaque de Wundt, appliqué à la station de Biskra.

Période 1974-2013

### 5. Les écoulements :

A l'image d'un climat capricieux, les cours d'eau qui alimentent la plaine d'El Outaya ont un écoulement périodique très irrégulier. Les Oueds les plus importants prennent naissance dans les Aurès, où les précipitations sont de l'ordre de 400 à 500 mm/an. Les apports considérables, amenés en amont, par Oued El Hai, en période de crue, qui traversent la couverture limoneuse peu épaisse et s'infiltrent pour atteindre le Mio-Pliocène, cette réalimentation est actuellement négligeable, après la construction du barrage « la fontaine des gazelles », au Nord de la plaine.

L'irrégularité des écoulements des Oueds, accentuée par la faiblesse d'un équipement hydrométrique ou par l'absence par endroit, rend extrêmement difficile la quantification des écoulements ,à différents niveaux des Oueds.

Seule la station limnimétrique, située en amont sur l'Oued-El Haï à El Kantara fournissent des données sur le débit, mais malheureusement ils sont marquées par des lacunes, suite à des *arrêts* répétés, pour cela nous sommes obligés d'étudier la variation des écoulements au niveau de cette station sur deux périodes.

Tableau22: Caractéristiques de la station hydrométrique d'El Kantara, au niveau du sous bassin versant de l'Oued El Hai (A.N.A, T, 2003)

NOM DE LA STATION	SURFACE (KM <sup>2</sup> )	PERIMETRE (KM)	LONGUEUR (KM)	Années observation	X	Y
EL KANTARA	1170	150	66	68/69-74/75 77/78-79/80 81/82-92/93	81635	239

#### 5.1. Analyse des débits, à la station d'El Kantara.

Nous pouvons remarquer que la notion de débit moyen annuel n'a qu'une signification théorique, puisque les eaux superficielles sont soumises à de très fortes variations saisonnières, Les valeurs extrêmes sont le plus souvent observées en automne, au mois d'octobre-novembre et au printemps, au mois de mars-avril (fig.43).

Concernant la première période d'observation (68/69-74/75), l'oued El Haï, ainsi que ses affluents, a enregistré, à la station d'El Kantara, un débit moyen égal à  $0,67 \text{ m}^3/\text{s}$  ; soit  $0.694 \text{ hm}^3/\text{an}$  sur une aire de réception de  $1170 \text{ km}^2$ .

Pendant cette période, le débit maximum était de  $6.9 \text{ m}^3/\text{s}$ , au mois de Septembre (période d'Automne) pour l'année 1972-72, en, tandis que le débit minimum été de  $0,06 \text{ m}^3/\text{s}$  en mois de juillet (période d'été) de l'année 1973-74.



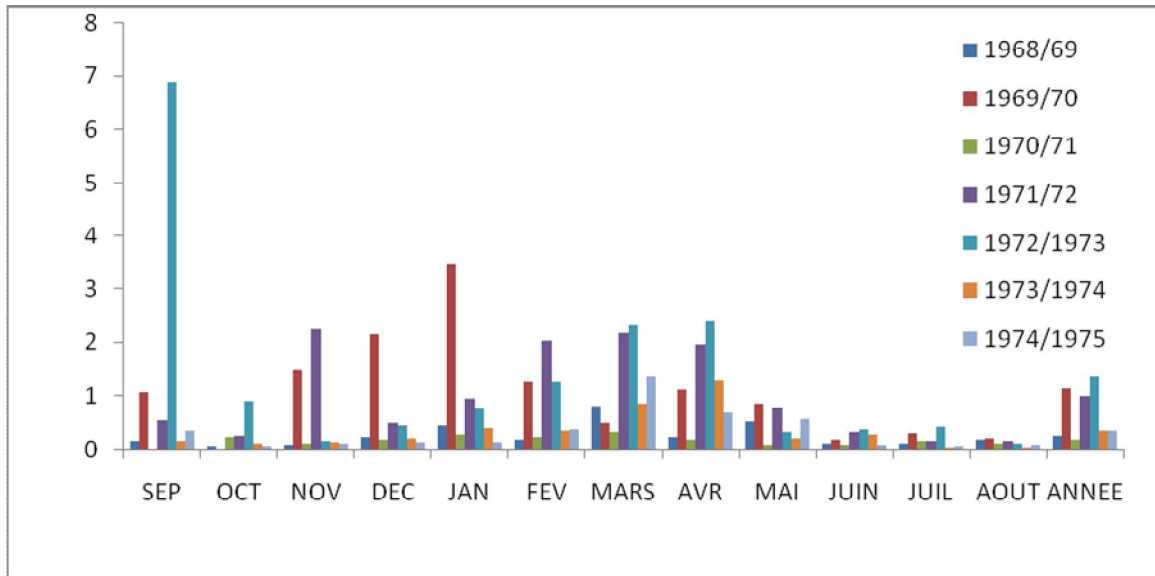


Fig.43 : Débits instantanés, mesurés à la station d'El Kantara (Période 68/69-74/75)

La deuxième période d'observation qui est de 1981/82 à 1992/93 (fig.44), montre clairement que nous sommes, en présence d'une période sèche, puisque les débits mesurés ne dépassent que très rarement  $1\text{m}^3/\text{s}$ . La valeur la plus élevée est enregistrée au mois d'Avril (période de printemps) 1991/92 avec une valeur de  $2,35\text{m}^3/\text{s}$  tandis que le minimum du débit moyen était enregistré en mois de Septembre (période Automne) de l'année du 1988/1989 avec une valeur de  $0.005\text{m}^3/\text{s}$ .

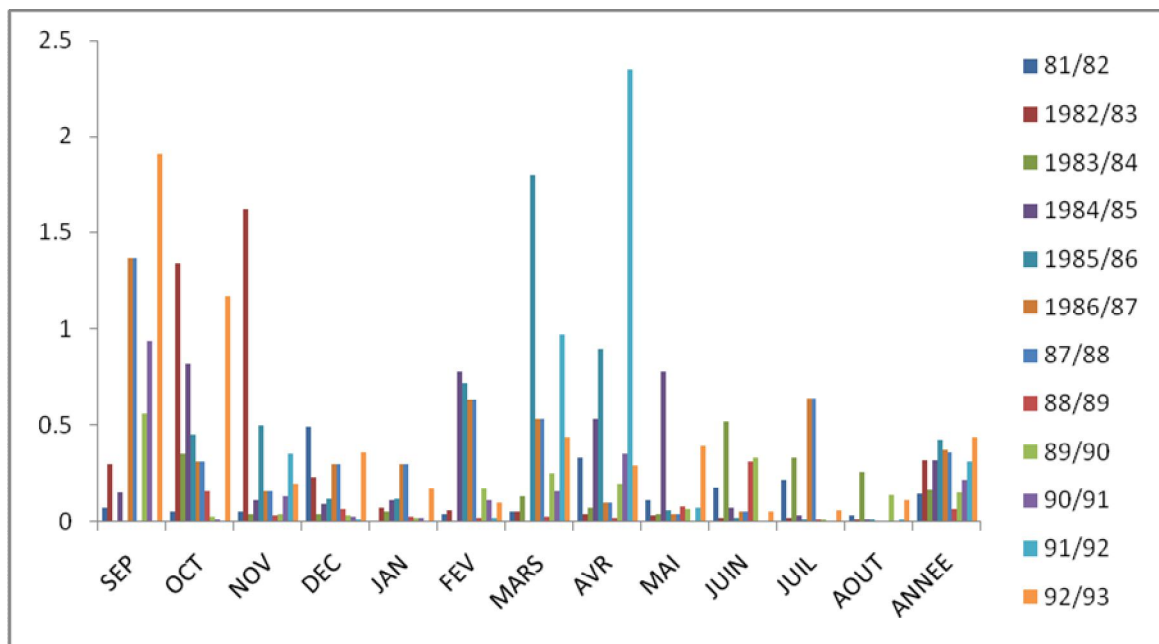


Fig.44 : Débits instantanés, mesurés à la station d'El Kantara (1981/82-1992/93)

### **Conclusion :**

L'étude hydroclimatologique, sur la période (1974 à 2013), nous a montré que la plaine d'El Outaya appartient à un climat Hyper-aride, caractérisé par des mois pluvieux en hiver et un été chaud et sec. Les précipitations d'une moyenne annuelle de 122.8 mm et la température moyenne annuelle est de 21.7 °C.

Si l'étude climatologique nous a montré que le taux d'évapotranspiration est largement supérieur à celui des précipitations, induisant ainsi que toute cette dernière sera reprise par l'évapotranspiration, or, des observations et des mesures sur terrain sur la station de jaugeage d'El Kantara ont montré des débits instantanés, enregistrés lors des averses, ainsi que L. Mimeche, 2000 a constaté des augmentations des niveaux statiques de la nappe du Mio-Pliocène suite à des averses importantes survenues le 22 et 23 avril 1998 (47mm), . Ces variations sont très probablement dues à l'infiltration de ces pluies concentrées sur deux journées.

Par manque des données, concernant le régime des cours d'eau, nous nous sommes référés aux mesures de la station d'El Kantara, située en amont de l'Oued El Hai, malheureusement, marquée par des lacunes. La série été répartie en deux périodes ; 1968/1969-1974-1975 et 1981/1982-1992-1993. Le débit moyen est de 0.67m<sup>3</sup>/s pour la 01<sup>ère</sup> période et à 0.270m<sup>3</sup>/s pour la deuxième. Nous pouvons donc noter que seule les pluies orageuses de forte intensité et qui restent exceptionnelles et très rares dans la région de Biskra contribuent à l'alimentation des nappes, tandis que les pluies de faible intensité ne jouent aucun un rôle important dans l'alimentation des nappes, et une forte proportion des eaux précipitées est reprise par l'évaporation.

## CHAPITRE 5 :

### **E t u d e H y d r o g é o l o g i q u e**

## 1. Introduction :

La plaine d'El Outaya présente, à ce jour un déficit de connaissances sur le plan hydrogéologique, malgré le nombre important de forages réalisés, durant les programmes de soutien à l'agriculture (PNDR, FNRDA).

Le but de cette étude hydrogéologique est d'identifier l'aquifère du Mio-Pliocène et de décrire :

- ✓ Ses unités géologiques, ayant un intérêt hydraulique.
- ✓ Ses paramètres hydrodynamiques.
- ✓ Les zones d'alimentation et de drainage de cette nappe.
- ✓ Le sens d'écoulement des eaux.

### Identification de l'aquifère du Mio-pliocène dans la zone d'étude :

A la lumière des informations fournies par l'étude géophysique et géologique, on a pu déterminer que cet aquifère est constitué par une alternance de niveaux grossiers sableux et des niveaux fins argileux ou marneux, présentant ainsi une variation latérale très importante, dont elle est captée par de nombreux forages.

Le sondage mécanique (S6), réalisé dans la partie Est de la plaine, sur la rive gauche de l'Oued Biskra a traversé la totalité de l'aquifère néogène et en partie l'Eocène moyen (à partir de la cote 416m) à révéler l'existence d'une alternance d'argiles et de graviers avec de passage de sables, d'une épaisseur de 416m (tableau 02, en annexe)

Les coupes logs réalisées et décrites soit par Guiraud ou par M. Chabbah ont montré la présence des Poudingues, d'âge néogène, bien développés (145m) à l'Est (fig.13), ainsi que la prospection géophysique dans cette partie de la plaine a révélé l'existence d'une couche résistante de 200  $\Omega$ m qui correspond à 150 m de poudingues (fig..28), d'âge pliocène, tandis que le centre de la plaine sur l'axe El-Outaya – Bir labrache est constitué d'argiles, de sables, avec présence de gypse et peuvent atteindre une épaisseur d'une centaine de mètres, d'âge miocène (fig. 29).

Enfin nous notons la présence de deux niveaux alluvionnaires grossiers, séparés par un niveau Argileux, au droit de l'Oued Biskra, leurs épaisseurs varient entre 15 et 20 m.

- Dans la partie ouest de la plaine (fig.19 et 20), la nappe du Mio-pliocène est moins importante par rapports à la partie Est, atteignant sa puissance maximale à la proche du sondage électrique D1 (fig. 19), constituée par un ensemble de galets, éboulis, sables à argiles sableuses.

- Dans la partie centrale de la plaine, elle est formée par des Sables, Argiles sableuses, parfois

marneuses et des poudingues à galets. La puissance de cette nappe est aussi moins importante que celle de la partie Est.

- La partie sud de la plaine est formée par des sables salifères, avec des intercalions argileuses, ce qui rend l'existence d'une bonne qualité d'eau dans la région Saglat Saadoune impossible (fig.18)

- La limite inférieure (substratum) est constituée par des calcaires de l'Eocène inférieur dans la partie Ouest, par contre, dans les parties du centre et de l'Est, le substratum de cette nappe est formé par du miocène marneux, à l'exception du voisinage des points F1 et F2 (fig.21), où cette nappe est en contact avec les calcaires de l'Eocène, ce dernier s'enfonce sous une épaisse formation du Mio-Pliocène dans la partie nord et dans le centre vers le Sud de la plaine (fig.45).

## 2.1 Inventaire et mesures :

Malgré le nombre très importants de forage d'eau dans la plaine d'El Outaya, soit 257 forages, ils se concentrent principalement dans la partie nord et à l'Est de la plaine, le Sud est présenté par quelques forages, tandis qu'à l'Ouest, les forages sont absents, ce qui rend très difficile de déduire, avec précision la morphologie de la nappe du Mio-pliocène, dans cette zone d'étude.

Les ouvrages réalisés dans cette plaine sont destinés, dans leur majorité, à l'irrigation des périmètres agricoles privés, ainsi que le périmètre de Koudiat Djedid, créé dans le cadre de la concession.

## 2.2. Etablissement et interprétation de la carte piézométrique :

Seul vingt et neuf (29) puits d'observation étaient utilisés pour la piézométrie 2008 et trente (30) puits, pour la piézométrie 2010 et cela malgré le nombre très importants de forage d'eau dans la plaine d'El Outaya (tableaux 06 et 07, en annexe).

Les mesures des campagnes piézométriques établies en mars 2008 et mars 2010 ont permis d'élaborer deux cartes piézométriques (fig.46 et 47).

Les mesures des campagnes piézométriques faites en mars 2008 et mars 2010 ont porté sur l'aquifère du Mio-Pliocène, caractérisant un réservoir complexe qui correspond à un ensemble d'unités aquifères, interconnectées entre elles. La valeur obtenue en un point de mesure est considérée comme représentative d'un niveau moyen, car la carte piézométrique construite ne fait pas la distinction entre les différents horizons.

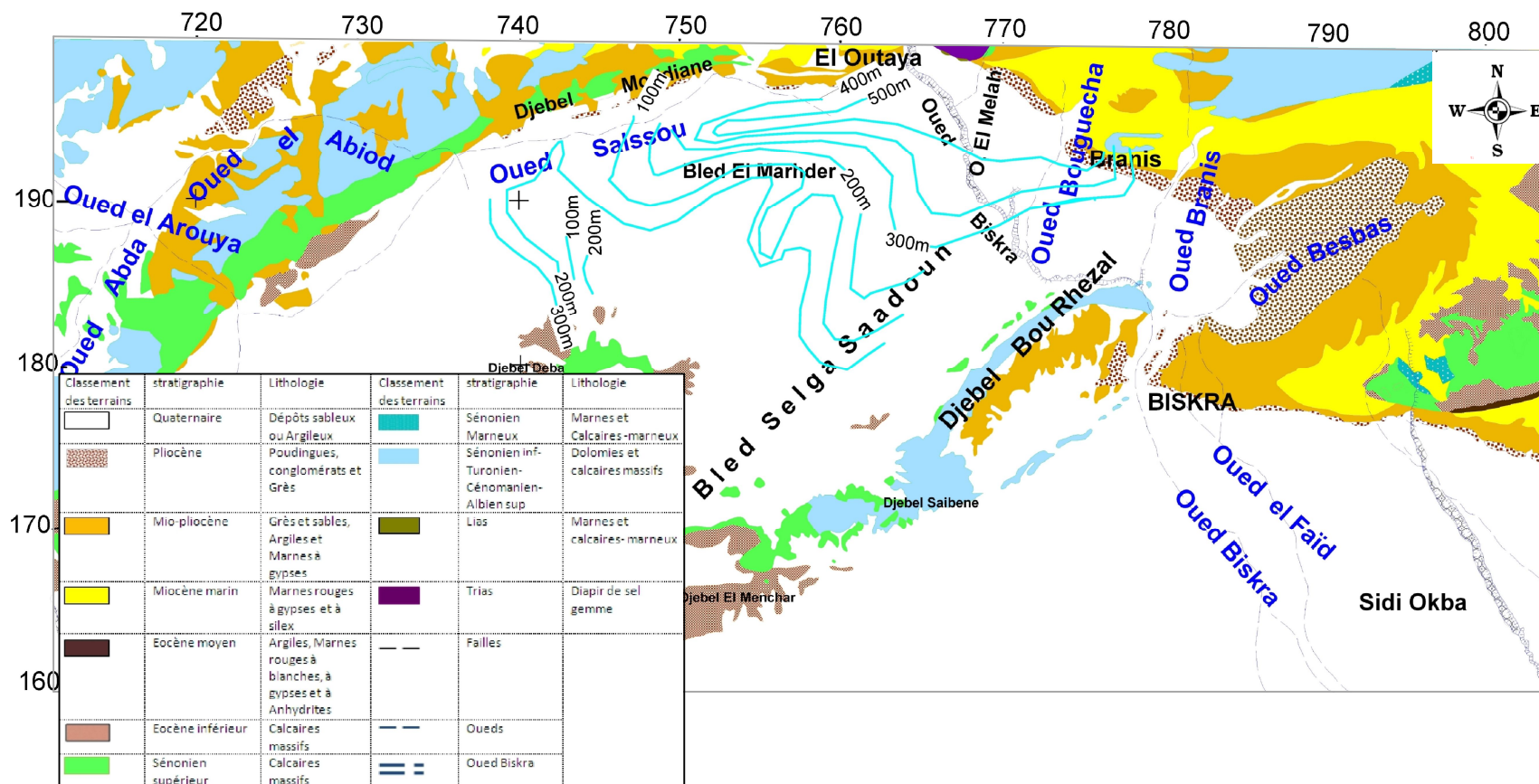


Fig.45 : Carte isobathe du substratum (formation calcaire) de la nappe du Mio-pliocène dans la plaine d'El Outaya

Les cartes piézométriques établies en Mars 2008 et Mars 2010 (fig. 46 et 47) ont montré que le niveau piézométrique de Mars 2010 est supérieur par rapport à celui de Mars 2008, et cela est due à l'apport de la précipitation de l'année 2010 qui était très important par rapport à celui de l'année 2008 (tableau 08). Aussi, ces cartes permettent de dégager les caractéristiques principales des écoulements.

- La divergence des filets liquides dans la partie nord traduit la présence d'une importante zone de mise en charge dans ce secteur, par l'infiltration des eaux de l'Oued Biskra (fig.45 et 46) et une alimentation par les formations perméables des Aurès (bordure nord de la plaine). La distribution des isopièzes indique que l'oued Biskra est drainé par la nappe. La divergence des filets liquides au centre de la plaine est due à la présence du soulèvement du substratum résistant de l'Eocène inférieur (fig. 45). Le sens d'écoulement est orienté en général du Nord vers le Sud, sur l'ensemble de la plaine, ce sens d'écoulement vers le Sud, nous mène à supposer l'existence d'un seuil hydraulique (faille drainante, probable) sur la limite Sud de la plaine. Le gradient hydraulique se décroît tout en s'éloignant du centre de la plaine ; il varie de 1.2‰ à 6.4‰ (tableau22)

Tableau 23: Répartition du gradient hydraulique dans la nappe du Mio-Pliocène d'El Outaya

Parties	Gradients en ‰
Centre	6.4
Ouest	1.2
Est	1.4
Nord	5
Sud	1.4

- La Carte de Battement (fig. 48) réalisée entre les deux périodes : Mars 2008 et Mars 2010 montre que le niveau piézométrique est très important au niveau des extrémités de la plaine, par rapport au centre et cela est dû aux faibles épaisseurs de l'aquifère par rapport aux extrémités.

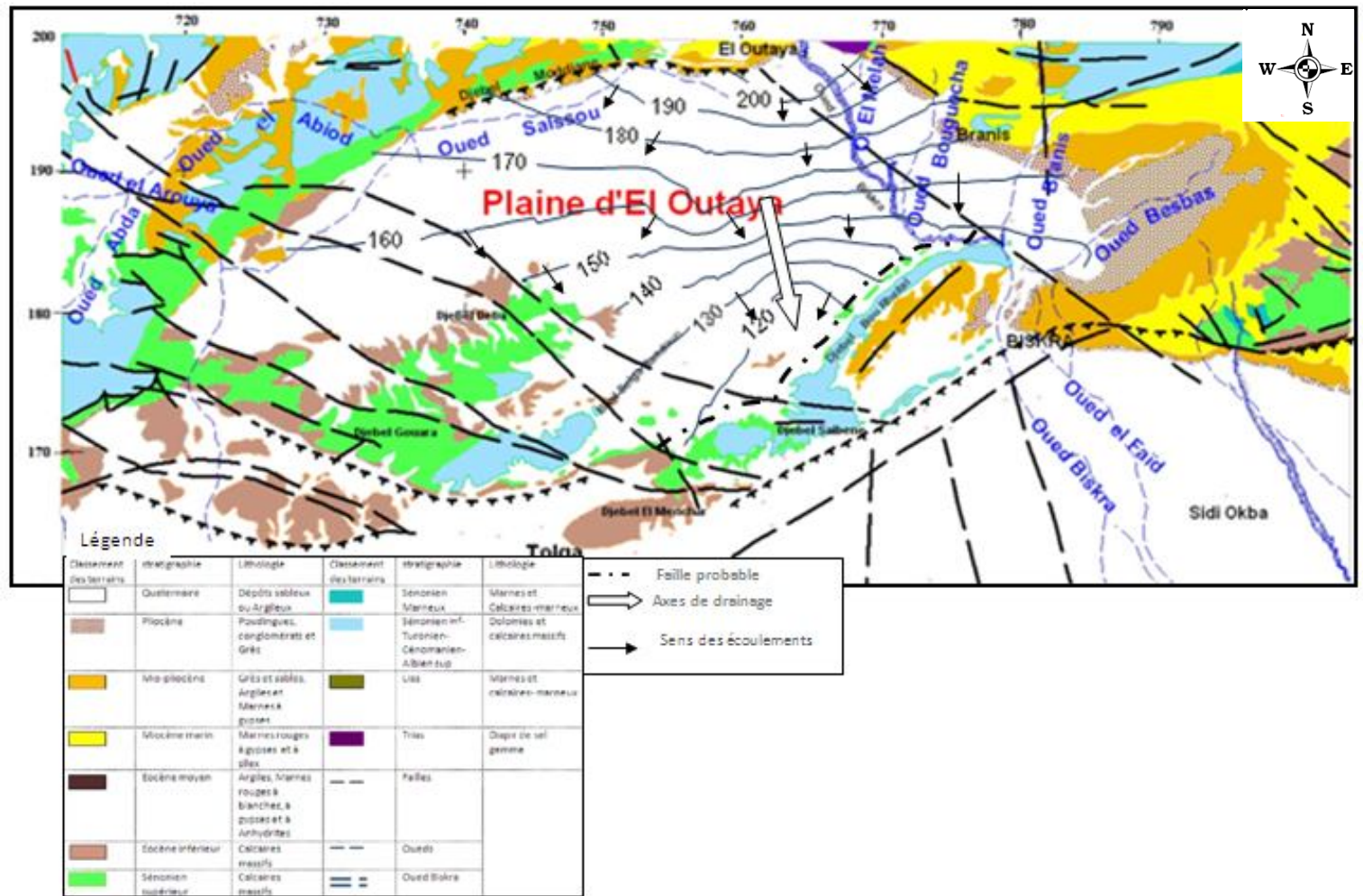


Fig.46 : Carte piézométrique de la nappe du Mio-pliocène dans la plaine d'El Outaya (campagne piézométrique, Mars 2008)



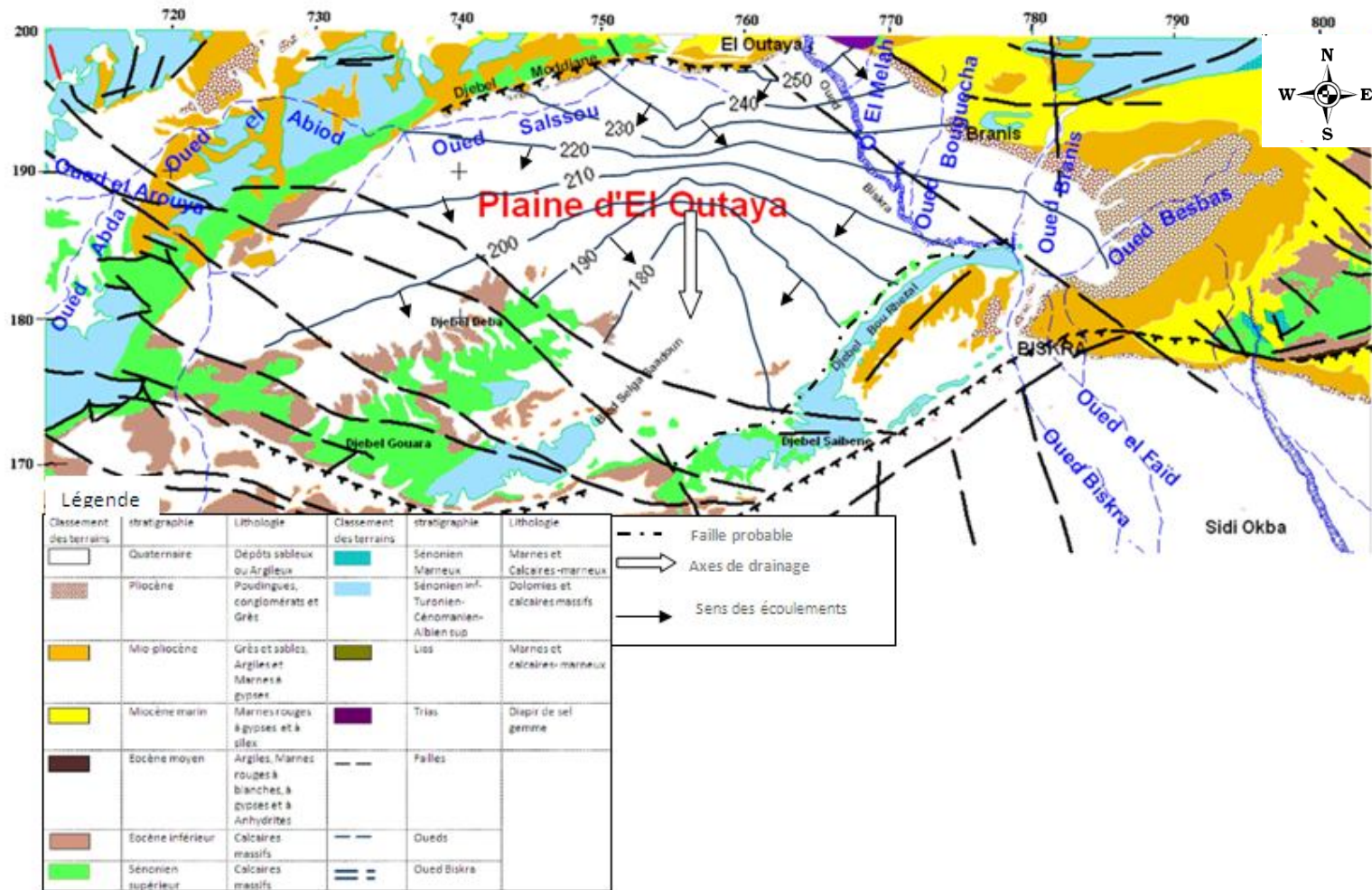


Fig.47 : Carte piézométrique de la nappe du Mio-pliocène dans la plaine d'El Outaya (campagne piézométrique, Mars 2010)

*\*Caractéristiques hydrodynamiques.*

Les essais de pompage réalisés par les services de l'A.N.R.H dans la nappe du Mio-Pliocène de la plaine d'El Outaya sont limités uniquement dans la partie nord de la plaine. Tableau 22.

Ces essais ont montré que les perméabilités dans cette zone d'étude se situent dans l'intervalle  $10^{-4}$ m/s et  $10^{-5}$ m/s. Elles caractérisent grossièrement des aquifères à perméabilité moyenne à bonne (Castany, 1982) ; ces valeurs reflètent la nature lithologique des formations constituant la plaine d'El Outaya, avec une granulométrie variée et une relative importance de la fraction argileuse.

Tableau 24:Quelques transmissivités et perméabilités, mesurées dans l'aquifère du Mio-Pliocène de la plaine d'El Outaya

Forage	Epaisseur de la formation (m)	Transmissivité (m <sup>2</sup> /s)	Conductivité hydraulique (m/s)
Driss Amor DA1	50	$7.32 \cdot 10^{-3}$	$1.46 \cdot 10^{-4}$
Driss Amor DA6	70	$1.58 \cdot 10^{-2}$	$2.25 \cdot 10^{-4}$
El Outaya AEP	65	$1.37 \cdot 10^{-3}$	$2.15 \cdot 10^{-5}$
S'mala DAS	80	$1.99 \cdot 10^{-2}$	$2.48 \cdot 10^{-4}$

A partir de ces valeurs, nous pourrions distinguer deux groupes de perméabilité dans la partie nord :

- Un premier, à perméabilité relativement bonne ( $10^{-4}$ m/s), mesurée dans les forages DA1, DA6 et DA5 et captant les formations du Mio-Pliocène. Un deuxième groupe, à perméabilité moyenne ( $10^{-5}$ m/s), mesurée par le forage d'El Outaya.

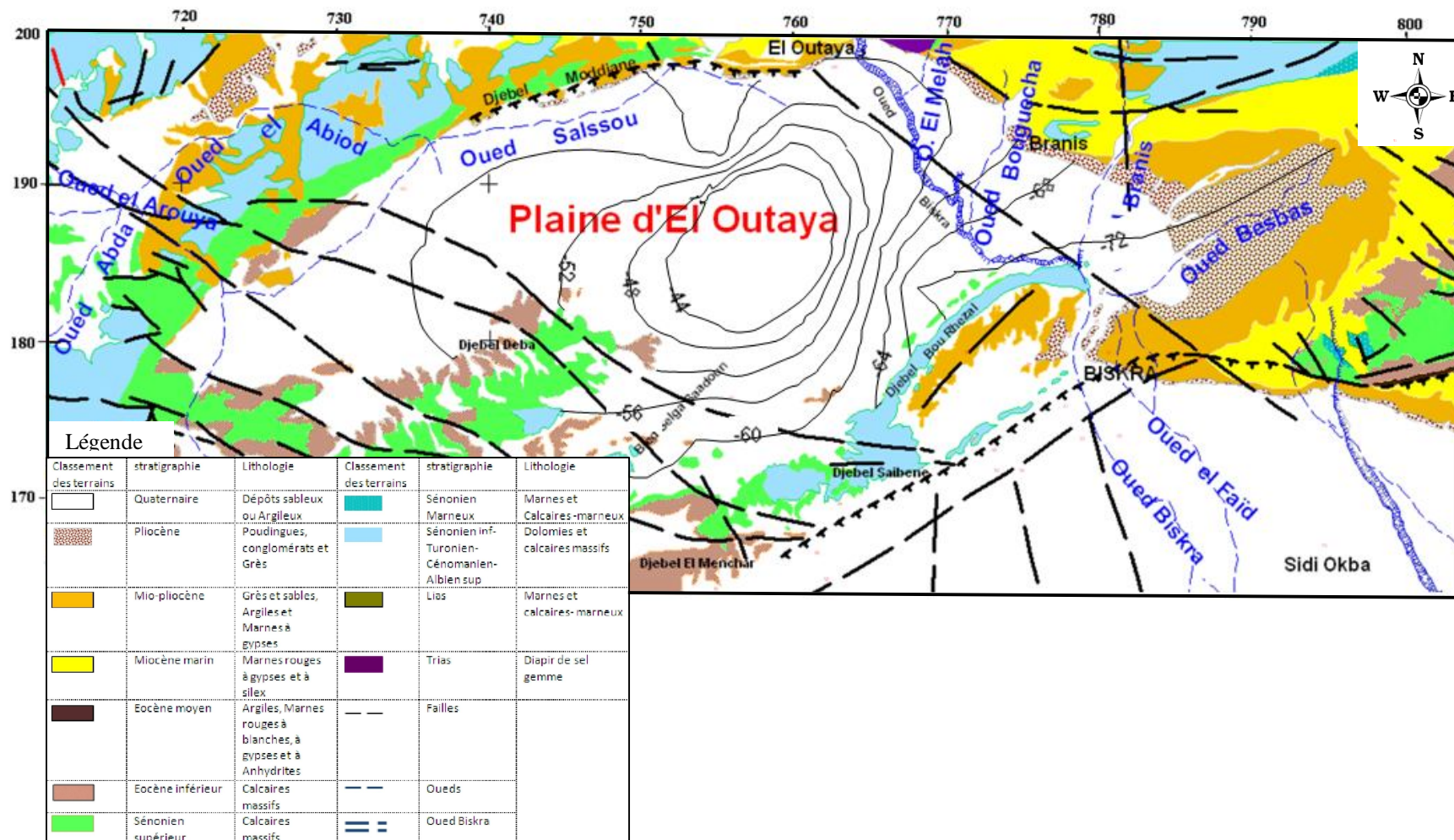


Fig.48 : Carte de battement de la nappe du Mio-Pliocène (2008,2010)

## **Conclusion :**

La plaine d'El Outaya est le siège d'un vaste système aquifère, où s'individualisent trois unités hydrogéologiques qui sont : les calcaires fissurés de l'Eocène inférieur, les formations détritiques du Mio-Pliocène et les dépôts alluvionnaires du Quaternaire.

La nappe du Mio-pliocène est alimentée par l'apport d'eau, issue des crues par l'Oued El Hai qui débouche à El Outaya, dans une grande plaine. En outre, lors de la traversée de la plaine, une partie de l'eau s'infiltré dans les formations quaternaires, pour alimenter la nappe (nappe alluvionnaire et Mio-pliocène) qui sont en contact.

L'analyse piézométrique montre que l'écoulement présente un sens général nord – sud. Les zones de mise en charge sont localisées dans la partie nord, représentée par les formations grésos-sableuses du Mio-Plio-Quaternaire des Aurès. Tandis que dans l'Est, la recharge est assurée par les poudingues grossiers du Pliocène. L'alimentation de cet aquifère dans la partie nord-ouest est assurée par les calcaires de l'Eocène inférieur. (Djebel Moddiane et Djebel Maghraoua).

Le Mio-Pliocène est un ensemble hétérogène, incluant des formations carbonatées de la sédimentation marine et des épisodes détritiques très variées. C'est un aquifère constitué d'une intercalation de niveaux perméables et imperméables discontinus, ce qui favorise la communication entre les formations perméables.

Au niveau de la partie Est, le niveau exploité est conglomératique (Pliocène), au centre c'est essentiellement le Miocène et la nappe alluviale de l'Oued Biskra. Sur la limite Ouest de la plaine où le remplissage néogène est assez faible, les exploitants tendent à capter les calcaires d'âge éocène qui sont proches de la surface et qui constituent le substratum de l'aquifère étudié.

Dans la partie Est, cette plaine est marquée par une puissance assez importante que celle de la partie centrale, formée par une alternance des éléments grossiers, fins et des argiles.

## CHAPITRE 6:

### **E t u d e H y d r o c h i m i q u e**

## 1. Introduction :

Si la recherche des ressources hydriques souterraines est basée sur l'étude hydrogéologique des nappes, l'analyse hydrochimique constitue un complément indispensable, car elle permet d'apporter de nombreuses informations sur le milieu aquifère, notamment, la nature de l'encaissant, les zones d'alimentation et de circulation, la potabilité des eaux, etc.

Afin de contribuer à la caractérisation hydrochimique de la plaine et de tenter d'expliquer le mode d'acquisition du chimisme ainsi que son origine, plusieurs travaux ont été présentés concernant l'analyse hydrogéochimique de la plaine d'El Outaya. Certains auteurs se sont attachés à étudier la qualité chimique des eaux (Aoucha et Lounes, 1998) et d'autres se sont intéressés à l'origine de la salinité des eaux de la plaine (Brinis, 2003 ; Brinis et al, 2009).

## 2. Analyse et interprétation de la qualité des eaux.

Les données des analyses chimiques ont été prises des études antérieures réalisées par Brinis en 2011 (tableau 03, en annexe). Il s'agit des analyses qui ont été réalisées au mois d'Octobre 2011 dans l'aquifère du Mio-Pliocène. Nous allons reprendre l'essentielle des résultats du travail réalisé antérieurement par Brinis, 2011.

La recherche de contrastes de ces paramètres, entre différents points de mesures facilite d'une part, la détection des anomalies hydrochimiques (salinité élevée) et d'autre part, la mise en évidence de zones d'alimentation, de pollution ou de contamination.

### 2.1. Paramètres physiques :

✓ **Le pH :** Constitue une mesure de la concentration des ions  $H^+$  dans l'eau, qui varient légèrement avec la température, les saisons et les périodes d'activités biologiques. Il détermine l'acidité ou l'alcalinité de l'eau et règle l'équilibre carbonique dans les formations carbonatées.

Le pH des eaux de la nappe étudiée de la plaine d'El Outaya varie entre 7.4 et 8.82, les fortes valeurs sont observées sur le long de l'Oued Biskra et sur la partie Est (fig. 49). Les eaux de la plaine sont donc de nature neutre, avec une légère basicité.

✓ **La conductivité :** les variations de la conductivité électrique permettent de différencier des eaux, possédant des compositions ioniques différentes. Elles permettent aussi de mettre en évidence des phénomènes de recharge par des eaux, dont la conductivité est assez éloignée de celle généralement rencontrée dans la nappe.

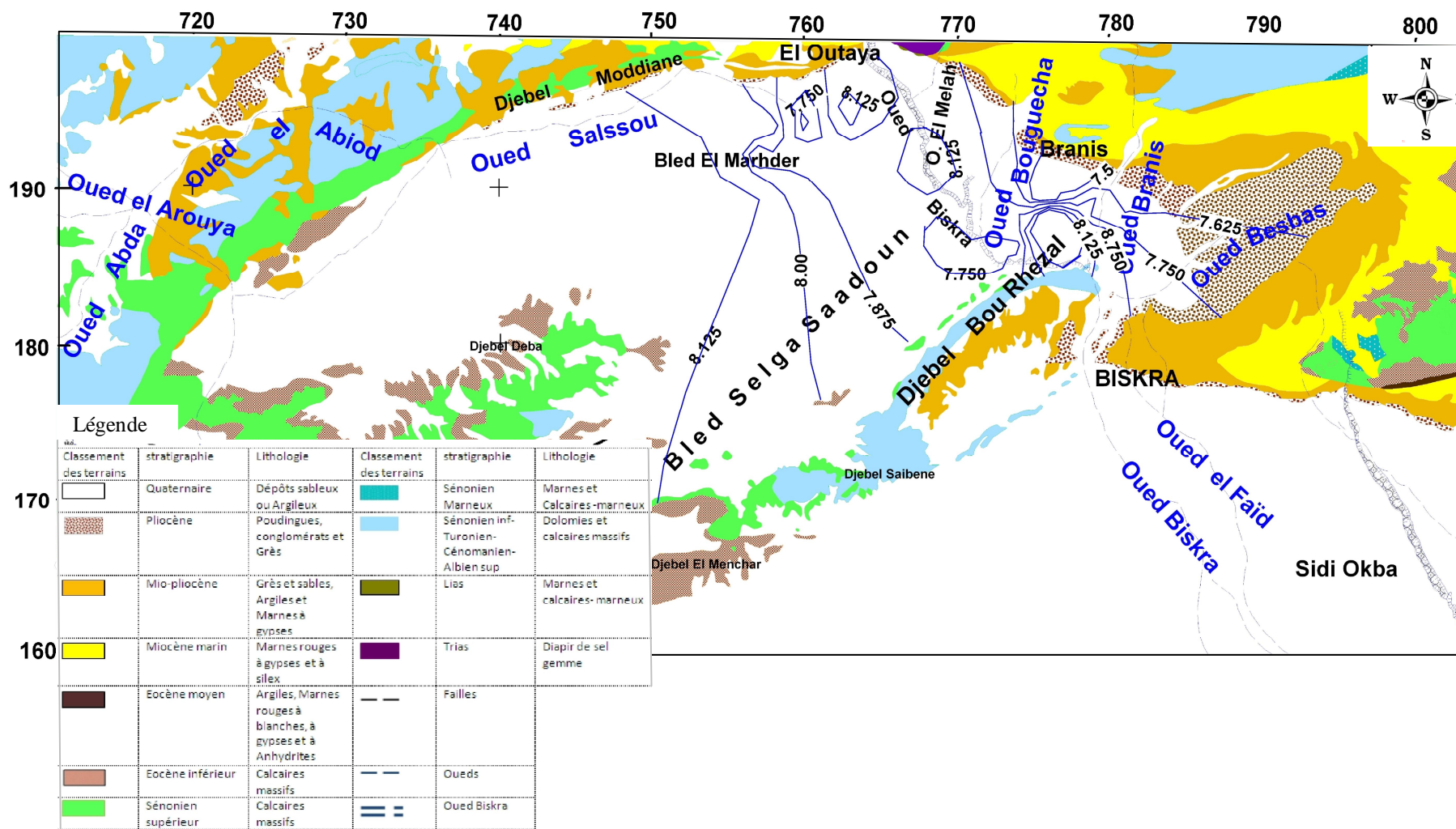


Fig.49: Carte des Potentiels d'hydrogène des eaux de la nappe du Mio-pliocène dans la plaine d'El Outaya (Octobre, 2008)

Les valeurs de la conductivité, pour les eaux de la nappe du Mio-pliocène s'échelonnent entre 1.11 et 5.94 S/cm. Le tracé de la carte d'iso-conductivités (fig.50) permet de relever les points suivants :

Une augmentation progressive des valeurs de la conductivité du Nord-Ouest vers le Sud-est, globalement. Les eaux se chargent en sels dissous, au cours de leur trajet dans les formations encaissantes et ceci, dans le même sens que l'écoulement des eaux souterraines. Les fortes valeurs observées au Sud de la plaine sont liées à la présence de nombreux niveaux salés et à la présence du gypse dans les marnes du substratum ,dans toute la zone de Selgat Saadoune.

## 2.2. Eléments chimiques et leur origine :

✓ **Le calcium** : les concentrations en  $Ca^{++}$  pour l'ensemble des points d'eau sont comprises entre 96 et 348 mg/l. Les fortes teneurs sont rencontrées au niveau de la zone centrale (fig.51); elles peuvent être liées à la dissolution du gypse, contenu dans les formations marneuses.

✓ **Le magnésium** : Les concentrations en ions  $Mg^{++}$  sont moins élevées, comparativement au calcium ; elles se situent entre 77 et 250 mg/l. les fortes teneurs se rencontrent au niveau de Bled Selga Saadoune (fig. 52). Elles peuvent être liées à la présence de niveaux argileux, dans les différentes formations.

✓ **Le sodium et le potassium** : les concentrations en  $(Na^{+} + K^{+})$  dans les eaux de l'aquifère du Mio-pliocène varient entre 112 et 1002mg/l. Le report des concentrations du Sodium et Potassium sur la carte d'iso-teneur nous a montré qu'une forte concentration est localisée à la région de Bled Selgat Saadoune, en quantités importantes et qui provient du lessivage des formations salées de cette région (fig. 53).

✓ **Les bicarbonates**: les concentrations des bicarbonates oscillent entre 98 et 210 mg/l. Les valeurs enregistrées sont très faibles, comparativement aux autres éléments. C'est dans la zone nord de la partie centrale (fig. 54) que les teneurs sont relativement élevées et ceci grâce au substratum calcaire qui n'est pas profond.



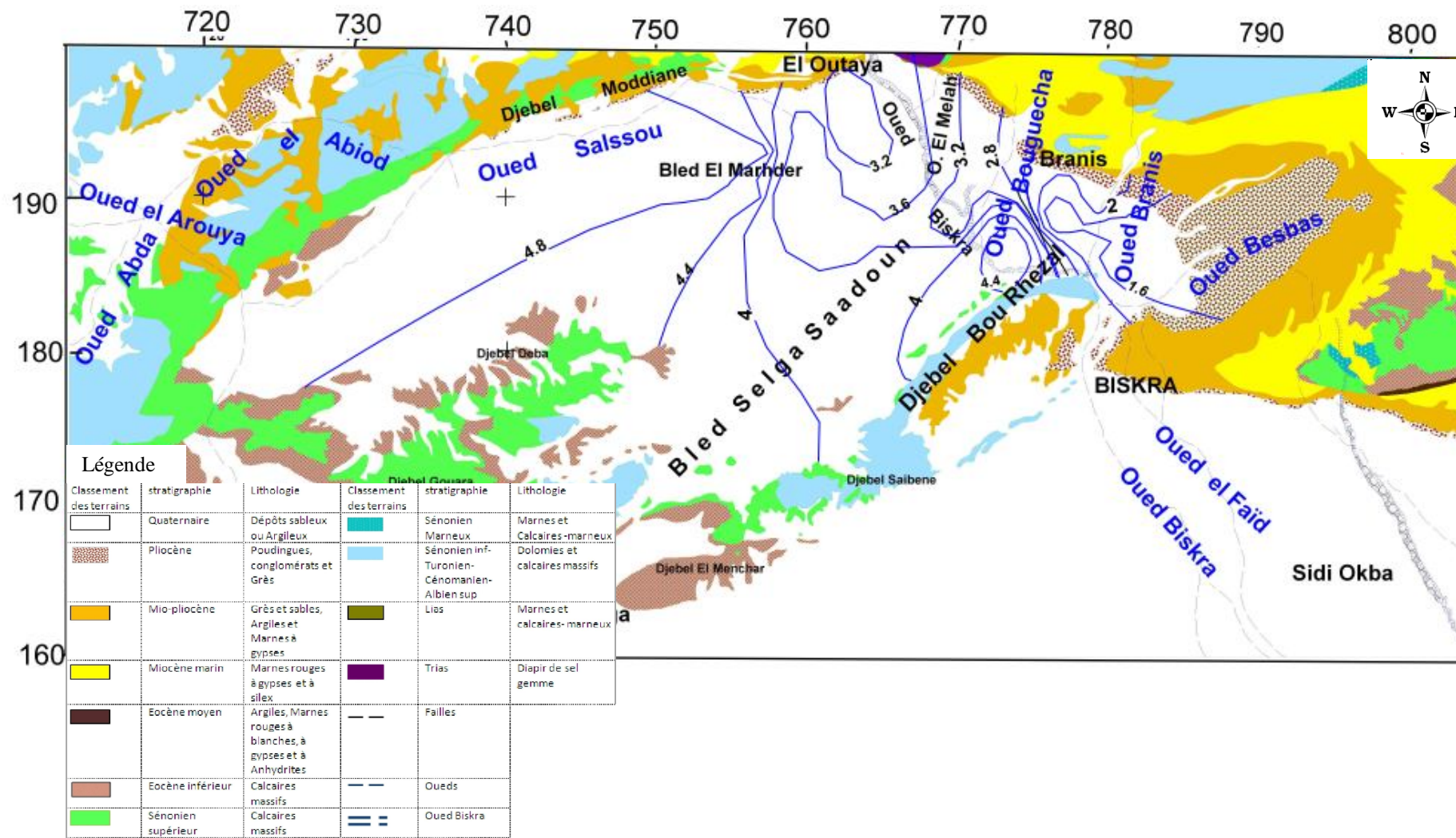


Fig.50: Carte des iso-conductivités des eaux de la nappe du Mio-pliocène dans la plaine d'El Outaya (Octobre, 2008)

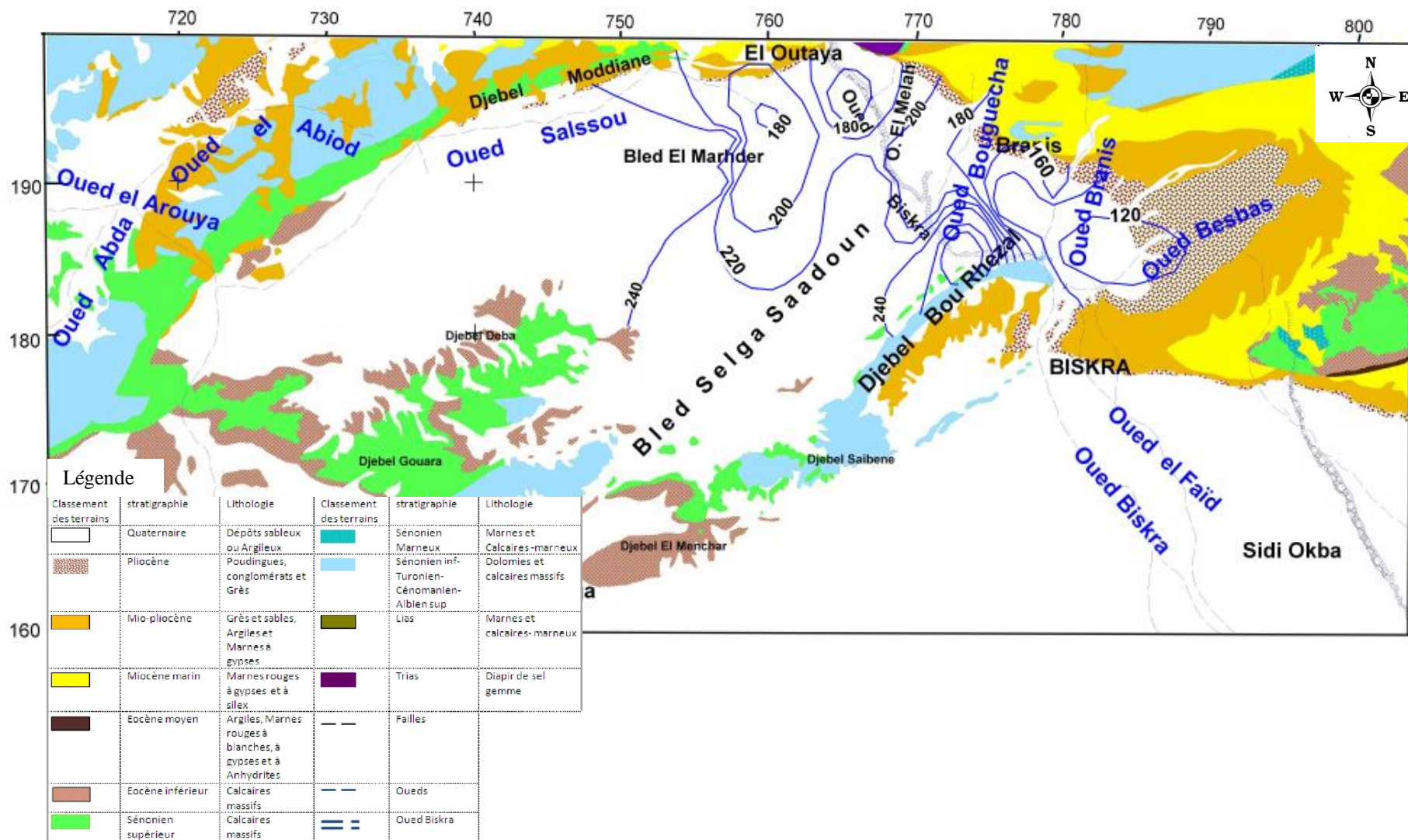


Fig.51: Carte des iso-teneurs en Calcium des eaux de la nappe du Mio-pliocène dans la plaine d'El Outaya (Octobre, 2008)

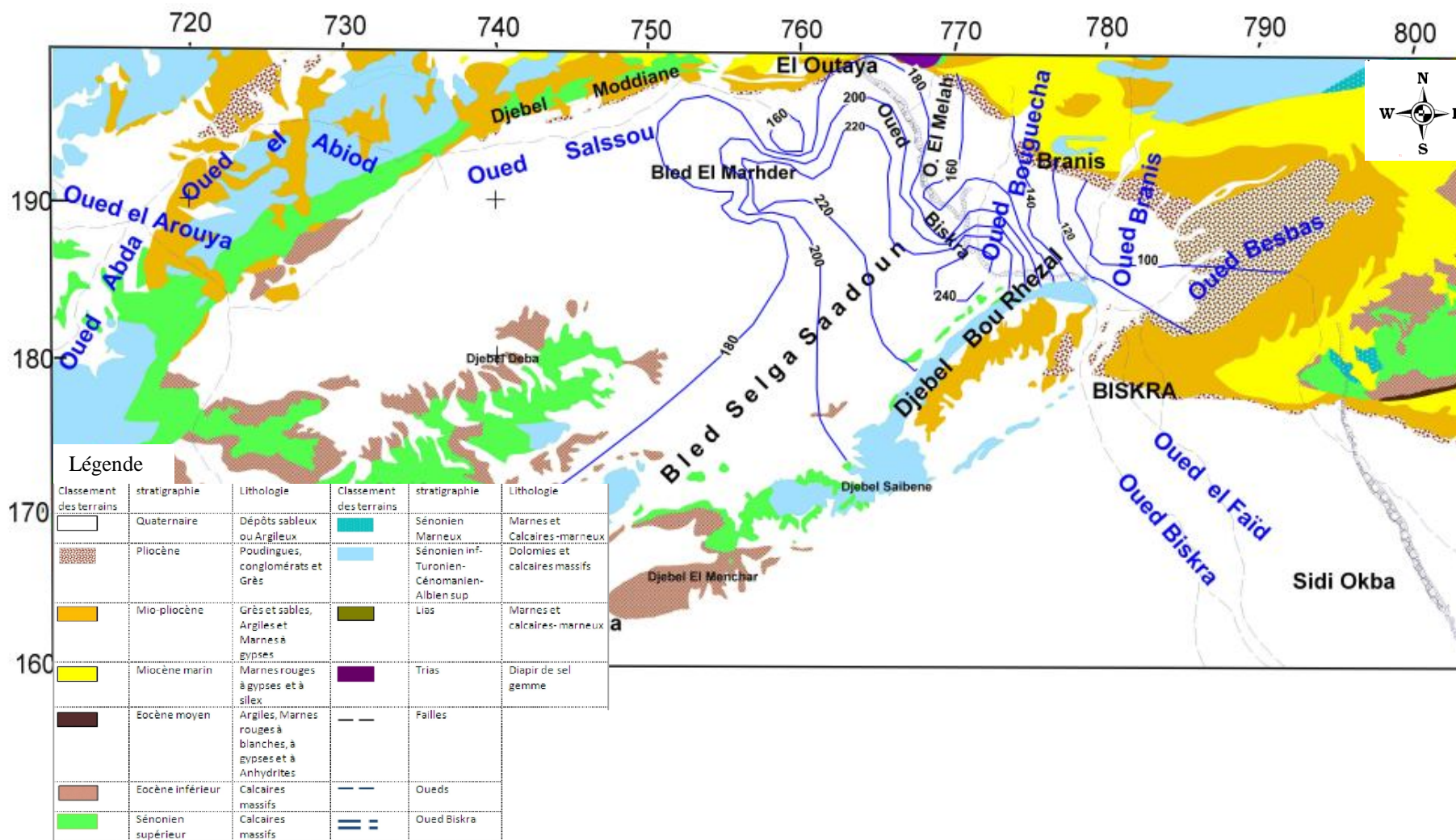


Fig.52: Carte des iso-teneurs en Magnésium des eaux de la nappe du Mio-pliocène dans la plaine d'El Outaya (Octobre ,2008)

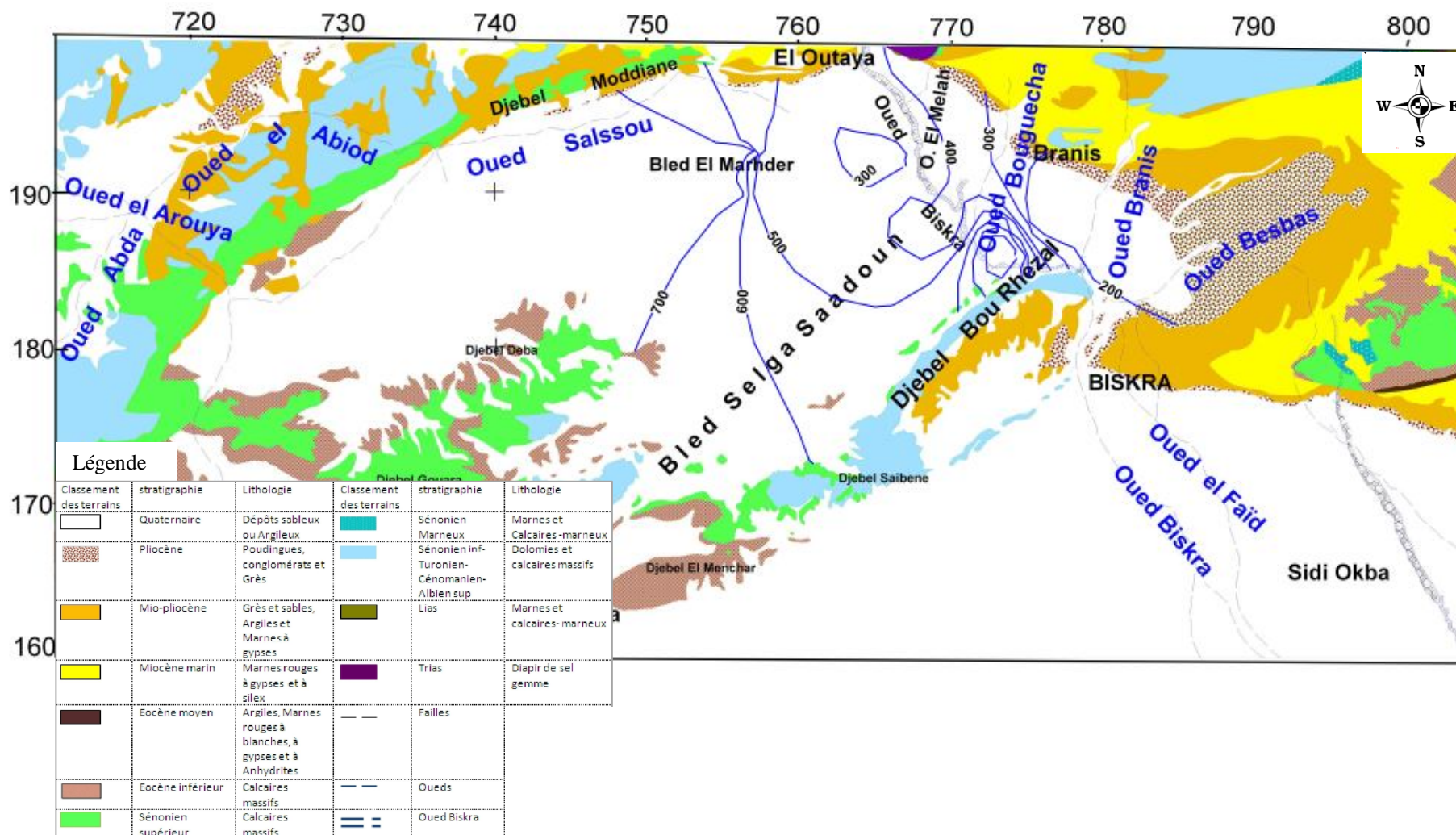


Fig.53: Carte des iso-teneurs en sodium, potassium des eaux de la nappe du Mio-pliocène dans la plaine d'El Outaya (Octobre 2008)

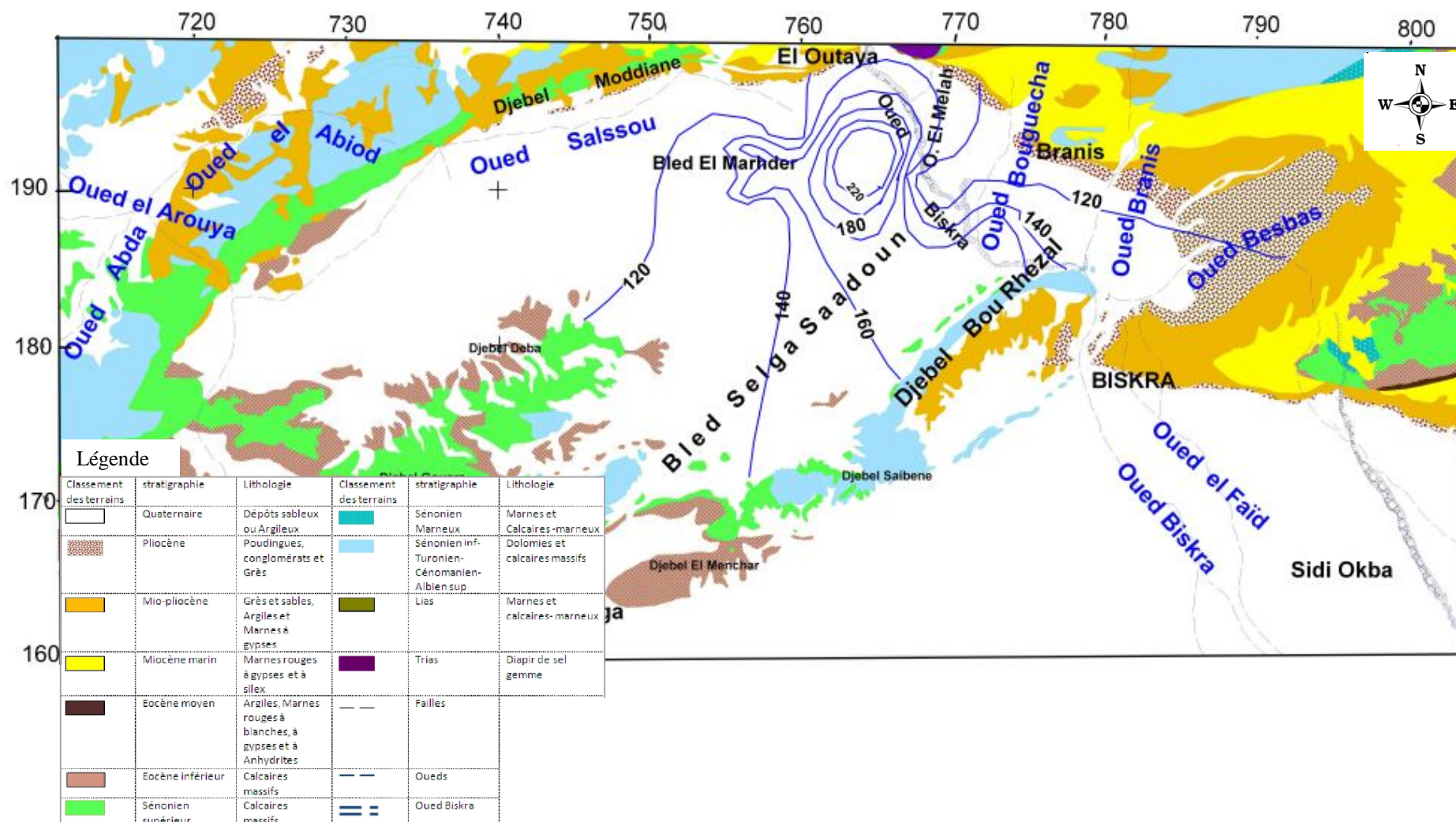


Fig.54: Carte des iso-teneurs en bicarbonates des eaux de la nappe du Mio-pliocène dans la plaine d'El Outaya (Octobre, 2008)

✓ **Les chlorures :** Les teneurs en chlorures s'échelonnent entre 219 et 1320 mg/l,

La carte d'iso-teneurs (fig. 55) montre que les eaux à forte concentration en chlorures sont localisées dans la partie Est et au Sud de la plaine.

Certains endroits présentent aussi des zones à fortes teneurs, localisées au niveau des agglomérations (El Outaya, Driss Amor) ou encore des exploitations agricoles.

**Les sulfates:** Les teneurs en sulfates se situent entre 118 et 1660 mg/l. La carte d'isoteneurs (fig. 56) montre une augmentation progressive des concentrations du Nord vers le Sud, dans le même sens que l'écoulement des eaux souterraines. Les fortes valeurs sont localisées au Sud et au centre de la plaine. Ces quantités importantes peuvent provenir de la dissolution du gypse, contenu dans les différentes formations, de l'oxydation des sulfures et du lessivage des engrais, dans les périmètres agricoles.

### **3. Analyse statistique des paramètres physico-chimiques:**

Cette partie concerne les résultats des analyses chimiques des eaux souterraines de la plaine. Elle nous permettra de visualiser les relations qui peuvent exister entre différents paramètres, mesurés. Nous commençons en premier lieu par une simple matrice de corrélation entre les variables. Puis nous passerons à une classification selon la méthode C.A.H (Classification ascendante hiérarchique).

### **4. Corrélation entre les paramètres physico-chimiques:**

On remarque une dépendance étroite entre quelques paramètres (Ca, Mg, Na, SO<sub>4</sub>, Cl). Cette relation se traduit par les coefficients de corrélation se rapprochant de "1" (Tableau 25). Les liens significatifs peuvent être probablement attribués à des origines communes de ces éléments.

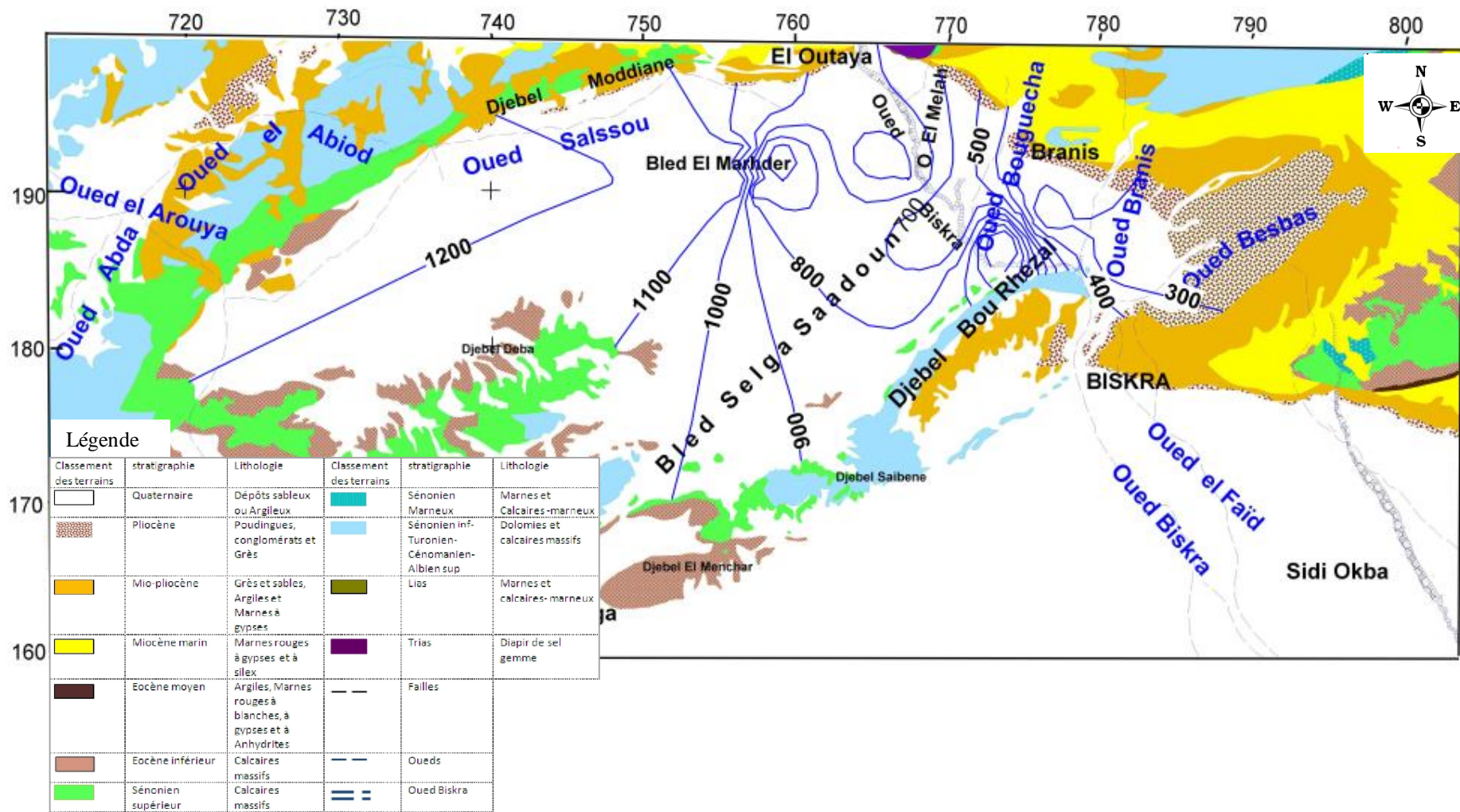


Fig.55: Carte des iso-teneurs en chlorures des eaux de la nappe du Mio-pliocène dans la plaine d'El Outaya (Octobre, 2008)

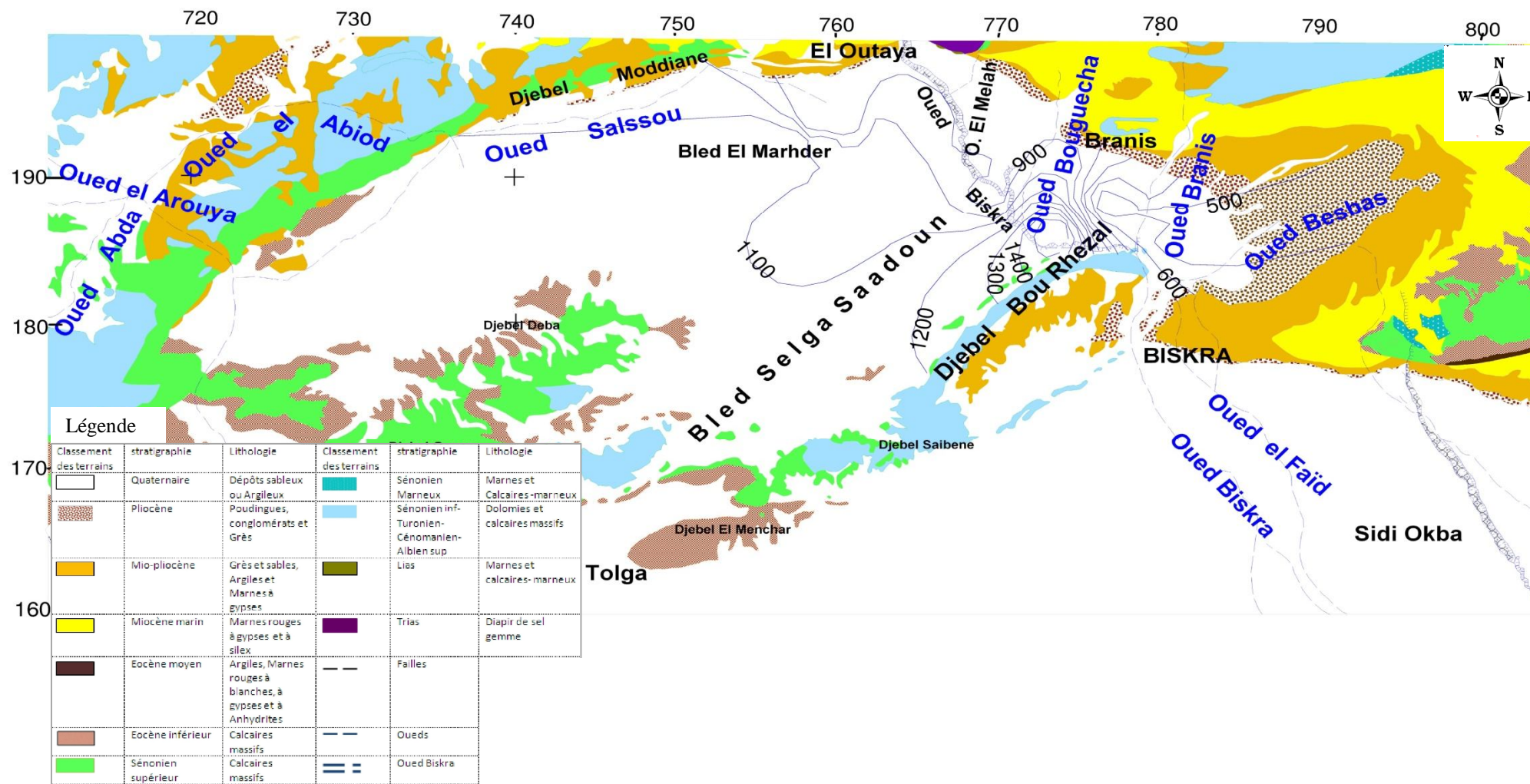


Fig.56: Carte des iso-teneurs en sulfates des eaux de la nappe du Mio-pliocène dans la plaine d'El Outaya (Octobre ,2008)



Tableau 25: Matrice de corrélation des paramètres physico-chimiques mesurés

Variabes	Ca	Mg	Na	K	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	Con	pH	NO <sub>3</sub>
Ca	1									
Mg	0.699	1								
Na	0.902	0.635	1							
K	0.600	0.546	0.480	1						
HCO <sub>3</sub>	0.574	0.687	0.559	0.343	1					
SO <sub>4</sub>	0.901	0.844	0.858	0.606	0.635	1				
Cl	0.868	0.638	0.970	0.444	0.533	0.783	1			
Con	0.921	0.787	0.949	0.507	0.582	0.916	0.938	1		
pH	0.188	0.260	0.204	0.222	0.102	0.183	0.246	0.257	1	
NO <sub>3</sub>	0.346	0.453	0.514	0.315	0.246	0.452	0.477	0.528	0.183	1

#### 4.1. Classification ascendante hiérarchique (C.A.H):

L'objectif est de faire ressortir les tendances chimiques dans ces eaux. Ces tendances sont en réalité une approche sur les origines dans le cas des variables. Alors que pour les observations, ces tendances traduisent notamment des classes de la minéralisation.

##### 4.1.1.Principe de la méthode.

La méthode dans la classification ascendante hiérarchique (CAH) choisie pour notre cas est celle de Ward ; une méthode reposant sur un critère d'optimisation assez naturel. Selon Gilbert Saporta, (1990), elle constitue la meilleure méthode de classification hiérarchique sur données euclidiennes. Elle consiste à classer ("n" variables, "p" observations); telle que chaque observation comporte n variables mesurables. Les éléments à classer sont des vecteurs, et l'ensemble qu'ils constituent est muni d'une distance euclidienne : on peut alors construire une matrice des distances entre les variables et les observations. On définit ensuite un critère d'affectation ou d'"inertie" de regroupement de ces vecteurs, c'est à dire une règle de calcul des distances entre les groupements disjoints de variables ou observations. Les deux groupements dont la distance est la plus faible (selon ce critère) se réunissent alors, et on itère le processus jusqu'à regroupement complet des classes. On peut représenter la classification ascendante hiérarchique par un arbre, appelé dendrogramme ou arbre de classification. Nous avons utilisé cette classification à la fois pour les variables et pour les observations:

- Classification des variables:

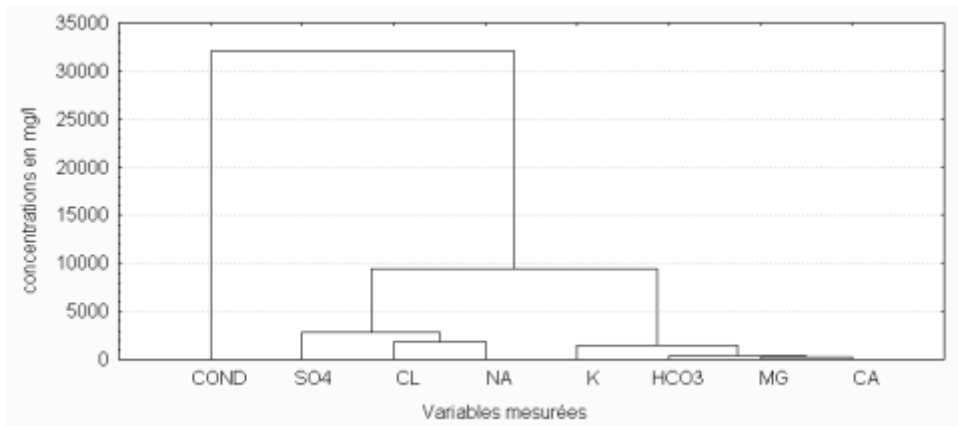


Figure 57: Classification ascendante hiérarchique des variables (C.A.H)

Le graphique de la classification des variables (fig. 57) montre tout d'abord la participation de tous les paramètres mesurés dans la conductivité mais à des degrés variables. On a évité l'utilisation du pH et des nitrates dans cette classification pour ne pas perturber le caractère naturel des autres variables mesurées (le logiciel suppose que les unités de toutes les variables sont identiques). On remarque, par ailleurs, le regroupement des paramètres mesurés, N, en deux tendances:

- ✓ Un premier groupe représentant une étroite liaison entre le sodium et les chlorures qui sont liés à leur tour, par les sulfates.
- ✓ Un deuxième groupe est constitué des paramètres restants, la liaison se fait comme suit:
  - Une dépendance entre calcium et magnésium qui sont tous deux en relation étroite avec les bicarbonates.
  - Le tout en relation avec le potassium.

#### 4. Application de la méthode hydrochimique -thermodynamiques pour l'étude de l'origine évaporitiques de la salinité:

Pour déterminer l'origine de la salinité des eaux du Mio-Pliocène dans la plaine d'El Outaya, on a repris les résultats des analyses réalisés par Brinis, 2011. Il s'agit de :

- l'étude du strontium et du rapport Sr/Ca.

Tableau 26 : Résultats de l'analyse du strontium  
(Brinis, 2011)

Le strontium (Sr +2) est un élément lié aux évaporites. Il est très faiblement intégré dans le réseau des carbonates et est peu adsorbé par les argiles. Les fortes teneurs en Sr<sup>2+</sup> dans les eaux ne s'expliquent que par la dissolution de la Célestite (SrSO<sub>4</sub>), minéral associé au gypse. Il forme ainsi un bon marqueur de la présence des évaporites (Carre, 1975). Le strontium permet ainsi de distinguer les sulfates provenant de l'oxydation de sulfures (teneurs faibles) de ceux issus de la dissolution des évaporites (teneurs élevées). (Aigoun 2000 et Abdesselem et al. 2000).

1	4.50	253.00	8.14
2	7.70	348.00	10.12
3	5.40	323.00	7.65
4	4.80	238.00	9.23
5	17.00	414.00	18.78
6	8.20	327.00	11.47
7	6.00	338.00	8.12
8	7.20	215.50	15.28
9	5.50	313.00	8.04
10	12.00	512.00	10.72
11	10.30	457.00	10.31
12	5.40	309.00	7.99
13	5.70	310.00	8.41
14	1.94	147.00	6.04
15	1.96	144.50	6.20
16	4.00	299.00	6.12
17	3.60	224.50	7.34
18	13.20	445.00	13.57
19	6.40	341.00	8.59
20	3.80	254.50	6.83
21	1.79	138.50	5.91

Le tableau 24 montre des rapports très élevés (> 5 ‰). Toutes les eaux souterraines de la plaine ont un chimisme d'origine évaporitique. Ce rapport atteint un maximum de 18 ‰ au centre et en allant vers l'ouest de la plaine (zone de convergence des eaux). Puis il diminue progressivement vers le Nord avec un maximum de 10 ‰ et vers l'Est où se concentrent les valeurs minimales (entre 6 et 8‰). La majorité des valeurs élevées se trouvent dans les eaux chlorurées sodiques. Donc, ces rapports élevés accompagnent les grandes concentrations en sulfates et surtout en chlorures et en sodium (fig. 58).



Tableau 27 : Indice de saturation (SI) des minéraux présents dans l'eau (Brinis, 2011)

N°	Anhydrite	Gypsum	Halite	Aragonite	Calcite	Dolomite
1	-0.82	-0.60	-5.13	0.73	0.87	2.00
2	-1.07	-0.85	-5.85	0.42	0.57	1.17
3	-0.92	-0.70	-5.73	0.03	0.18	0.66
4	-0.89	-0.67	-5.06	0.82	0.97	2.31
5	-1.35	-1.13	-6.30	-0.16	-0.02	0.40
6	-1.33	-1.11	-6.23	-0.22	-0.08	0.19
7	-1.34	-1.12	-6.18	-0.24	-0.10	0.20
8	-1.34	-1.12	-6.18	1.02	1.17	2.81
9	-1.02	-0.80	-5.76	-0.10	0.04	0.20
10	-0.87	-0.66	-5.14	0.16	0.30	1.02
11	-1.00	-0.78	-5.01	0.38	0.53	1.31
12	-0.66	-0.44	-4.67	0.73	0.87	1.97
13	-0.97	-0.75	-5.38	0.25	0.40	1.09
14	-0.93	-0.71	-5.48	0.59	0.74	1.91
15	-0.90	-0.68	-4.92	0.67	0.81	2.02
16	-0.94	-0.72	-5.08	0.52	0.66	1.60
17	-0.84	-0.62	-5.40	0.37	0.51	1.44
18	-1.07	-0.85	-5.11	-0.08	0.06	0.38
19	-0.86	-0.64	-5.43	0.31	0.45	1.32
20	-2.97	-2.76	-5.76	-0.15	-0.01	0.50
21	-0.76	-0.54	-4.86	0.56	0.70	1.70
22	-1.03	-0.81	-5.03	0.14	0.28	0.84
23	-0.83	-0.61	-4.93	0.63	0.77	1.90
24	-0.80	-0.58	-5.17	0.65	0.80	1.81
25	-0.67	-0.45	-4.66	0.74	0.88	2.02
26	-0.59	-0.37	-4.60	0.92	1.06	2.26
27	-1.03	-0.81	-5.02	0.46	0.60	1.47
28	-0.59	-0.37	-4.59	0.43	0.58	1.30
29	-0.68	-0.46	-4.69	0.92	1.07	2.39
30	-1.00	-0.78	-5.74	0.38	0.52	1.13
31	-0.82	-0.60	-5.36	0.75	0.90	2.19
32	-0.88	-0.66	-4.87	0.55	0.69	1.81
33	-1.07	-0.85	-5.10	0.48	0.62	1.50
34	-0.88	-0.66	-5.43	0.36	0.50	1.43

## 6. Classification des eaux:

A partir de la formule caractéristique de Stabler, trois faciès principaux se dégagent :

Un faciès chloruré-sodique est présenté sur l'axe nord-sud et Est-Ouest de la plaine, tandis que le faciès Sulfaté magnésien, circonscrit au niveau de la zone Est de la plaine. Un troisième faciès se dessine dans la partie centrale, déterminant des eaux à caractère Sulfaté sodique (fig. 61).

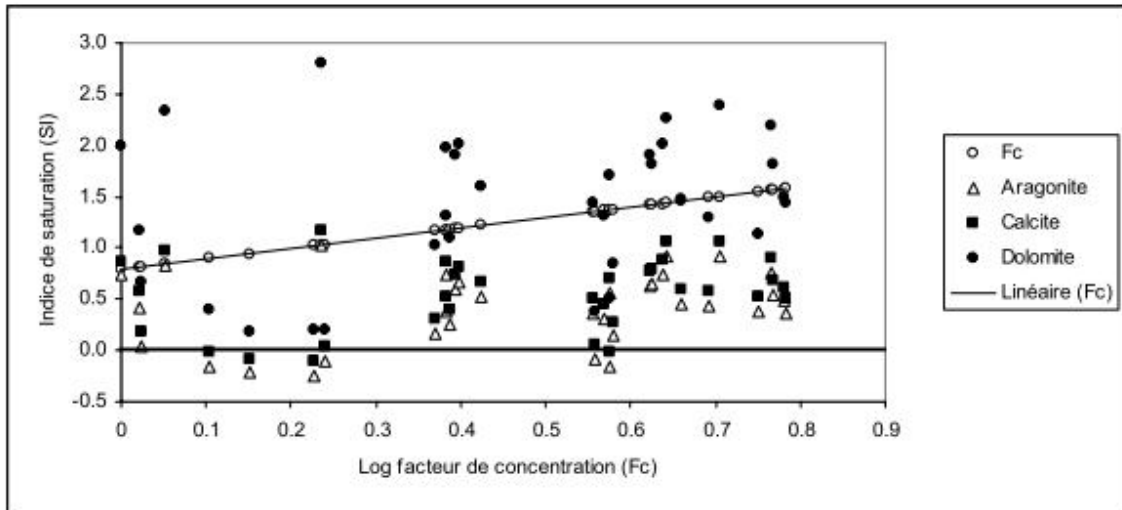


Fig. 59: Etat des minéraux carbonatés dans les eaux souterraines de la plaine d'El-Outaya (Brinis, 2011)

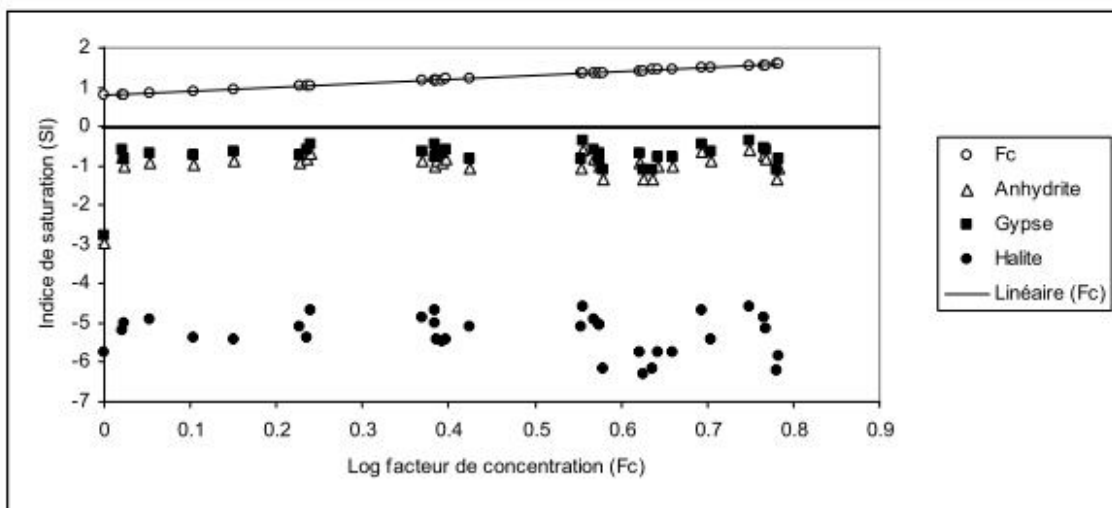


Fig. 60: Etat des minéraux évaporitiques dans les eaux souterraines de la plaine d'El-Outaya (Brinis, 2011)

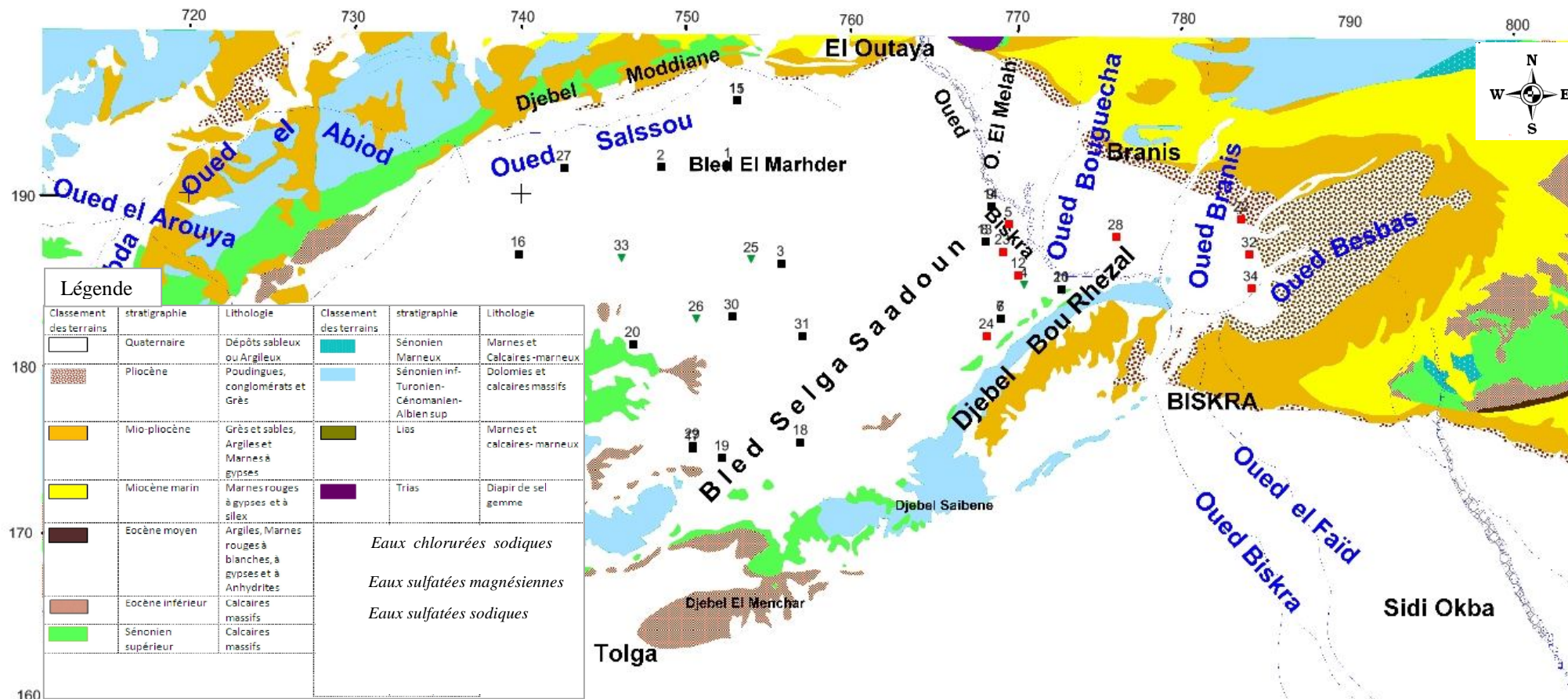


Fig.61: Carte des faciès chimiques des eaux du Mio-Pliocène dans la plaine d'El Outaya (Octobre, 2008)

## 7. Aptitude des eaux à l'irrigation:

Le développement de l'activité agricole, accompagné par l'augmentation des surfaces irriguées, dans les pays des zones arides ont permis la mise en valeur des terres arables.. Cependant, ces pratiques d'irrigation à grande échelle ont modifié la structure des sols, conduisant parfois à la baisse de leur fertilité par le processus de salinisation, en même temps que la dégradation des eaux souterraines par contamination. Plus de 20 % des terres cultivées sur le globe seraient aujourd'hui affectées à des degrés de dégradation variables, par la salinisation (Tyagi, 1996). Pour pouvoir apprécier ce processus, nous allons utiliser la Méthode de Richard, afin de mettre en évidence ce phénomène.

*Risque de sodicité et de salinité: Méthode de Richard.* La salinité peut entraîner des effets nocifs conséquents sur les sols, en raison de la fixation du sodium, issu des sels de chlorures de sodium par les colloïdes du sol. Le sodium exerce une action néfaste sur la végétation, de façon indirecte, en dégradant les propriétés physiques du sol. Sous cette action, les sols deviennent compacts et asphyxiants pour les plantes (TODD D.K. 1980).

Lorsque la concentration en ion Na, à l'état soluble dans le sol est importante, ces ions remplacent, dans le complexe adsorbant, les cations (Ca le plus fréquemment). Une eau chargée en sels, peut provoquer cette action. Ce risque est déterminé à partir de la valeur du rapport du sodium adsorbable "Sodium Adsorption Ratio" (S.A.R). Pour une même conductivité, ce risque est d'autant plus grand, que ce coefficient est plus élevé. Le S.A.R est donné par la formule suivante :

$$\text{S.A.R} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{(\text{Ca} + \text{Mg})/2}}$$

Où Na, Ca, Mg sont exprimés en meq/l.

Le report du taux d'absorption du sodium, en fonction de la conductivité pour les eaux du Mio-pliocène ,dans la plaine d'El Outaya, sur le diagramme de Richard, nous montre que les eaux souterraines de la plaine d'El-Outaya appartiennent à trois classes (fig. 05 et tableaux 04 et 05en annexe).



1. Le premier groupe représente les eaux classées dans la catégorie "Admissible", avec des valeurs du S.A.R, allant du 1.5 au 3.8. Les eaux se concentrent à l'Est. Ces eaux peuvent être utilisées, sans risque pour le sol.

2. Le deuxième groupe, avec des valeurs du S.A.R qui oscillent entre 3.8 et 6.4. Il s'agit des eaux de qualité médiocre et qui se localisent, surtout dans la partie nord ainsi qu'entre la partie Est et Centrale. Il est recommandé de bien sélectionner les types de cultures à développer.

3. Le troisième groupe, concerne les eaux de mauvaise qualité, avec un S.A.R qui varie entre 6.4 et 10. Ces eaux se trouvent surtout dans la partie centrale et à l'Ouest de la plaine. L'utilisation de ces eaux à l'état brut est très dangereuse pour le sol. Nous pensons qu'une dilution de ces eaux par celles du barrage est plus que nécessaire, avant qu'elles soient utilisées pour l'irrigation. Ceci permettra d'avoir un mélange de qualité meilleure qui peut être utilisée sans risque.

### **Conclusion :**

L'étude hydrochimique portée sur les eaux du Mio-Pliocène nous a permis de constater que :

La nature géologique des terrains est responsable, en grande partie de la diversification de la composition chimique des eaux et cela est traduit par :

✓ l'augmentation progressive de la conductivité; du Nord-Ouest vers le Sud-Est, globalement.

✓ La manière, selon laquelle évolue la dissolution des minéraux dans l'eau et leur répartition spatiale nous permet de dégager 3 familles d'eau :

1. *La famille des eaux chlorurées sodiques* : qui se localise sur l'axe Nord-Sud, dans la partie centrale. Elle est le résultat de la dissolution des formations triasiques du diapir de sel. Ces eaux sont très chargées en sels et ont des valeurs extrêmes de la conductivité.

2. *La famille des eaux sulfatées magnésiennes* : qui occupe la partie Est de la zone étudiée. Elle est le résultat de la dissolution des roches évaporitiques de l'aquifère néogène. Ces eaux sont

moins chargées que les précédentes et sont caractérisées par les valeurs minimales de la conductivité (tableau 03, en annexe).

3. *La famille des eaux sulfatées sodiques* :se trouvent en transition, entre les deux premières familles, ce phénomène peut être expliqué par un échange de base entre le magnésium et le sodium. Cette catégorie d'eau se localise à la limite de la zone Est, en allant vers l'Ouest.

L'étude de l'origine de la salinité des eaux de la région étudiées est influencée par :

✓ Les formations du Trias salifère affleurant au Nord de la région. Cette influence touche à des degrés variables les eaux de la plaine et se remarque, surtout dans les eaux sur l'axe Nord-Sud ainsi que dans le centre, en allant vers l'Ouest. La dissolution de la Halite se manifeste par des valeurs élevées en chlorures et en sodium avec dominance du faciès chloruré sodique. Ces eaux sont caractérisées par des valeurs extrêmes de la conductivité et du rapport Sr/Ca.

L'aptitude des eaux du Mio-pliocène à l'irrigation nous a montré que leur qualité dans la partie Est peuvent être utilisée sans risque à l'agriculture, tandis que la partie nord et centrale leur qualité est médiocre. Les parties centrales et ouests sont caractérisées par une eau de qualité mauvaise à l'irrigation.

***\*Recommandations pour l'utilisation des eaux pour l'irrigation:***

Les eaux souterraines de l'aquifère néogène sont en partie de mauvaise qualité pour l'irrigation. Leur utilisation à l'état brut risque de causer des dégâts irréversibles aux sols de la plaine. Par ailleurs, la rareté de la ressource hydrique oblige les exploitants à l'utiliser, malgré les risques encourus. Pour cela, il est souhaitable de voire nécessaire de procéder à une dilution des eaux très chargées, par celles du barrage, afin de corriger la minéralisation et cela avant de les utiliser pour l'irrigation. Les eaux concernées par cette correction sont celles classées par le S.A.R ,dans la catégorie mauvaise.

# CHAPITRE 7 :

Modélisation des écoulements souterrains

## 1- Généralités sur les modèles:

Au cours des trente dernières années, les techniques de modélisation mathématique ont été intensément utilisées en hydrogéologie dans les études de gestion, d'exploitation des nappes aquifères, d'intrusion d'eaux salées, de détermination des zones de protection autour de puits de captage et autres problèmes liés aux eaux souterraines. Résoudre un problème d'écoulement en milieu poreux saturé par une modélisation mathématique consiste à trouver la répartition dans le temps et dans l'espace des valeurs des variables concernées. Celles-ci doivent satisfaire les équations différentielles, décrivant l'écoulement en tout point du domaine, ainsi que les spécifications imposées en termes de valeurs initiales et de valeurs aux frontières.

Un modèle est une « simplification de la réalité », devant être « la plus conforme possible du point de vue des mécanismes et processus simulés » (Dassargues, 1990). Un modèle mathématique décrit le modèle conceptuel (décrivant explicitement les éléments et leurs dépendances et la manière dont on traduit la réalité) en termes d'équations mathématiques (Vancloster, 2011). Un modèle mathématique peut être résolu analytiquement (solution exacte) ou numériquement (différences finies, éléments finis). Les modèles analytiques requièrent cependant une importante simplification des paramètres et des frontières. Le modèle mathématique est de deux types : soit déterministe, associant par une relation unique avec des paramètres à valeur unique, la cause d'un phénomène et les résultats, soit stochastique, pour lequel les paramètres et les variables indépendantes sont des variables aléatoires possédant des fonctions de probabilité connues.

En hydrogéologie, un modèle est une représentation plus ou moins conceptuelle d'un système aquifère. A une impulsion d'entrée correspond une réponse impulsionnelle du système résultant de la fonction de transfert. Ces modèles permettent d'améliorer la connaissance fondamentale des circulations d'eau souterraines dans une formation aquifère, de dégager les règles pratiques utiles dans la perspective d'un projet d'exploitation rationnelle des ressources en eau et simuler la propagation des polluants (Patrick A. Domenico, Franklin W. Schwartz, 1978).

Nous distinguons différents modèles, selon le degré de conceptualisation. Ce niveau varie avec le problème posé. Ils sont décrits de manière détaillée, dans de nombreux ouvrages (Kinzelbach, W, Kunstmann, H, 1998, De Marsily, 1981 et De Marsily et al, 2005)

Une étude fine des écoulements, en milieu poreux nécessite un modèle très détaillé, faisant intervenir des relations entre les grandeurs physiques, définissant le milieu. Par contre, la méconnaissance de la structure d'un système étudié, peut rendre obligatoire une approche entièrement paramétrique, au moyen d'un modèle de type « boîte noire ». D'un point de vue approche, nous distinguons deux familles de modèles :

- Les modèles déterministes : qui mettent en œuvre des relations déterminées entre l'impulsion d'entrée et la réponse de sortie.

- Les modèles stochastiques ou statistiques : où l'impulsion est considérée comme aléatoire.

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

Nous intéresserons dans notre cas aux modèles numériques déterministes. Les plus utilisés en hydrogéologie sont les modèles hydrodynamiques (simulation des écoulements) afin d'identifier les paramètres qui régissent les écoulements des eaux souterraines, soit en milieux poreux ou en milieux fissurés.

## **2. Limitation de la méthode du modèle :**

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

\*Différence fondamentale entre la réalité et la représentation mathématique :

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

\*Relativité des lois de la physique :

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

### 3. Les différentes étapes de la modélisation :

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

a) Caractérisation :

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

La géologie et l'hydrogéologie de la zone faisant l'objet du modèle, définissent la complexité de la géométrie du système aquifère du modèle ainsi que le nombre d'aquifères qui seront simulés.

*a-1) Données de base pour la construction du modèle*

L'étude géologique, la diagraphie ainsi que les études hydrogéologiques réalisées sur la région à modéliser, définissent la géométrie du système aquifère du modèle ainsi que le nombre d'aquifères qui seront simulés.

Cette étude est basée sur :

- Cadre physique :
  - ✓ Topographie
  - ✓ Géologie
    - Géométrie de l'aquifère
    - Limites
    - Variation lithologique
- paramètres hydrauliques :
  - Transmissivités ou perméabilités
  - Piézométrie
  - Coefficients d'emménagement, porosités

➤ Contraintes hydrauliques :

La recharge:

- Les zones de recharges
- Les données hydrométriques et pluviométriques
- Les débits d'infiltration

#### Les exutoires naturels :

- Les zones
- Débits

#### Les prélèvements :

- Localisation
- Débits
- Variations avec le temps.

- La perméabilité de Darcy est un paramètre de conductivité hydraulique qui exprime la perte d'énergie de l'écoulement à la traversée du matériau. Quand à la transmissivité, elle n'est que la perméabilité (K) par la puissance de l'aquifère (e).

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

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

$$T = K.e \text{ (Aquifère homogène)}$$

$$T = \sum K_i e_i \text{ (Aquifère stratifié)}$$

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

$$T = K e_m$$

- Le coefficient d'emmagasinement est un terme sans dimension qui exprime la capacité du milieu à stocker et à restituer l'eau, ce paramètre est introduit dans le modèle, lorsque la nappe est captive. Si la nappe est libre on introduit la porosité (Banton, Bangoy, 1999)

#### *a-2) Forme de la caractérisation:*

Pour mieux aboutir à un modèle qui représente, au mieux le comportement hydrodynamique d'un aquifère et réaliser des prévisions de comportement nouveau, lié à des conditions particulières de fonctionnement du système. On doit donc définir la forme et la taille de la maille.

\*Maillage et précision :

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

\*Conditions imposées : « Conditions aux limites».

L'identification du comportement hydrodynamique de l'aquifère repose sur une définition rigoureuse des conditions aux limites. Leur étude porte sur leur situation et sur leurs conditions. Elles sont déterminées par des points (sources), des lignes (berges des rivières) ou des surfaces (aire d'alimentation). (Castany ,1982)

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

- **Limites étanches** : Ce sont les contacts entre les formations perméables et imperméables, elles sont définies par l'analyse géologique et dérivent directement de l'étude de la structure du système. Pour imposer une telle condition sur le côté d'une maille, il suffit d'afficher un débit nul en provenance de la maille adjacente, ce qui avec le mode d'imposition des conductivités que nous préconisons revient à afficher une perméabilité faible dans la maille adjacente.

- **Niveaux imposés** : ils correspondent à des plans d'eaux libres: Rivières, lacs ou étangs, qui sont indépendant du fonctionnement du système qu'ils limitent. Les sources peuvent être considérées comme des points limitent à niveau imposé, mais il faut s'assurer de leur pérennité, au moins durant la période à représenter. Il ne peut être imposé, que par maille et sur son ensemble.

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

- **Les conditions de débit imposables par zones** :

Elles correspondent à des aires d'échange de la nappe avec l'hydrosphère, comme il peut s'agir de prélèvement ou d'apports. A ce type de condition appartiennent :

- Les aires d'alimentation des nappes à surface libre : pluies, épandage de crue en piémonts, pertes des eaux d'irrigation.



- Les aires d'émergence de ces mêmes nappes (par action de l'évaporation)
- Les aires drainant des nappes captives, c'est à dire, les zones où se produisent des transferts à travers une éponte.

- **Les conditions d'émergence, liées à la piézométrie :**

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

- **Les conditions de niveau, liées à la piézométrie :**

Il s'agit de fenêtres dans la nappe qui peuvent être d'origine naturelle ou artificielle, mais ne sont pas reliées à un écoulement superficiel. Il faut bien connaître le comportement du système à représenter, avant la mise en œuvre du modèle.

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

**4. Définition du comportement de référence ,en régime permanent :**

Si la piézométrie est stable dans l'espace, le régime d'écoulement est dit permanent. Si elle est variable dans le temps, le régime est dit transitoire.

**5. Définition du comportement de référence, en régime transitoire :**

On observe une variation sensible de l'état piézométrique .Le comportement de référence peut être résumé par une série de relevés « Historique ».

**6. Choix du comportement de référence :**

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

**7. Principe du calage du modèle :**

Les écoulements souterrains sont décrits par des équations, selon le régime d'écoulement, En générale la formule de la diffusivité est décrite par l'équation aux dérivées partielles :

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (01)$$

7.1. Si on considère le système homogène et isotrope, l'équation (1) devienne :

$$K \left( \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} \right) = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (02)$$

✓ Ecoulement permanent :

On considère que tous les paramètres d'écoulement (charges, débits, vitesses, etc....) sont indépendants du temps (conditions fixes dans le temps), l'équation (02) devienne :

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad (03)$$

✓ Ecoulement en régime transitoire:

Il a été supposé que la charge hydraulique est faible par rapport la puissance de la nappe, l'équation (02) devienne :

$$K \left( \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \right) = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (04)$$

7.2. Application de modélisation pour la résolution des écoulements souterrains.

Si on considère que les écoulements des eaux souterraines sont régis par la formule suivante :

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( T_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( T_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) = S \frac{\partial h}{\partial t} + Q \quad (05)$$

C'est une équation qui doit se résoudre, pour chaque maille :

✓ En régime permanent:

On considère que la charge hydraulique est constante dans le temps, ce qui implique:  $(dh/dt)=0$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( T_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( T_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) = Q \quad (06)$$

7.2.1. Discrétisation du domaine d'écoulement : Par le canal de discrétisation, c'est-à-dire le découpage de l'espace en éléments géométriques discrets rectangulaires, carrés ou triangulaires. En différences finies, la discrétisation présente une grande facilité d'emploi, aussi bien en ce qui concerne la mise en œuvre des modèles que la programmation des Algorithmes.

- a) La résolution de l'équation se fera soit au centre de la maille, soit au nœud.
- b) La résolution ne respecte pas les frontières du domaine étudié.

N/B. Les symboles utilisés dans l'exposé ci-dessus sont comme suit :

$K_x, k_y, k_z$ : Perméabilités dans les directions  $x, y, z$ . (m/s)

$T_x, T_y$ : Transmissivités dans les directions  $x, y$  ( $m^2/s$ )

$h$ : Hauteur piézométrique en une maille déterminée (m)

$S$ : Coefficient d'emmagasinement

$S_s$ : Coefficient d'emmagasinement spécifique

$Q$ : Réalimentation nette ( $m^3/s/m$ )

$t$ : Temps (s)

$x, y, z$ : Coordonnées cartésiennes (m)

7.2.2. Considérations théoriques :

Identifier, c'est valider la forme du modèle choisi et d'autre part, rechercher les meilleurs paramètres. Le principal problème à résoudre, une fois la caractérisation achevée est l'identification des paramètres du système qui ne sont connus, par mesure qu'en quelques points.

*a. Règles pratiques d'identification :*

a.1. Tests de cohérence : Ce test a pour objectif de vérifier s'il y a cohérence entre l'ensemble des données et l'hypothèse formulée. A la suite des tests de cohérence, la forme du modèle doit pouvoir être considérée comme définitivement fixée, ainsi que la position et la nature des conditions aux limites. Ce n'est qu'à cette condition que peut être valablement entreprise l'étape d'identification des paramètres.

b.2. Identification des paramètres: C'est l'étape fondamentale du calage. Elle consiste à rechercher les meilleures répartitions des paramètres. Cette opération suppose une bonne détermination de la forme du modèle et des conditions aux limites.

Trois paramètres sont à identifier :

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

c.3.Vérification : Pour les nappes qui ont subi de fortes perturbations, soumises à des états piézométriques très différents, il faut vérifier la répartition des paramètres.

c.3.1. Erreurs liées à l'utilisation des modèles : Le dimensionnement des mailles est important, il est conditionné par les connaissances initiales du milieu physique. A titre d'exemple, il est inutile d'utiliser un maillage trop petit si l'on ne se dispose pas de données suffisantes. Il en découle une dépense de calculs superflus.

En général, on distingue quatre types d'erreurs :

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

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

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

✓ Erreurs d'arrondis : Ces dernières sont généralement négligeables, par rapport aux autres types d'erreurs.

#### 7.4 Exploitation des modèles calés :

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

## **8. Méthodologie de mise en œuvre du modèle :**

Le Visual Modflow est un modèle à base physique, déterministe, capable de représenter des écoulements monophasiques tridimensionnels dans des systèmes multicouches. Il résout l'équation de diffusivité aux dérivées partielles de l'écoulement des eaux souterraines, en milieu poreux (combinaison de la loi de Darcy et de l'équation de continuité) par la méthode des différences finies (RALPH HEATH,1987 ,Thangarajan,2007). Pour ce faire, l'aquifère doit être discrétisé en mailles quadrangulaires et des conditions aux limites doivent être imposées (Elango, (2005)). Le nombre et la taille des mailles dépend de la précision attendue et de la nature des données sources (Nombre, distribution, qualité).

C'est un modèle à bases physiques, déterministe, capable de représenter des écoulements laminaires monophasiques tridimensionnels ,dans des systèmes multicouches. Il résout l'équation de diffusivité aux dérivées partielles de l'écoulement des eaux souterraines, en milieu poreux (combinaison de la loi de Darcy et de l'équation de continuité) par la méthode des différences finies. Pour ce faire, l'aquifère doit être discrétisé en mailles quadrangulaires et des conditions aux limites doivent être imposées. Le nombre et la taille des mailles dépend de la précision attendue et de la nature des données sources (Nombre, distribution, qualité...).

### **8.1 Application du modèle à la plaine d'El Outaya:**

La connaissance du potentiel hydraulique de la nappe du Mio-pliocène dans la plaine d'El Outaya a toujours occupé une place primordiale dans la planification et la programmation des besoins futurs. L'exploitant pense que la nappe est surexploitée, les mesures de contrôle de niveau de l'eau dans les forages et puits indiquent des rabattements croissants, entre la piézométrie 2008 et 2010.

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

### **8.2. Discrétisation du domaine :**

Le domaine étudié a été discrétisé en mailles carrées de 1km de côté, disposées selon 20lignes et 40colonnes.

### 8.3. Géométrie de l'aquifère :

Déterminer la géométrie de l'aquifère, revient à bien définir la nature des conditions aux limites de l'aquifère. Au fait, ces conditions aux limites contrôlent les règles d'échanges des flux, entre le domaine discrétisé et le milieu extérieur. La description des conditions aux limites fait partie de la définition de la structure du modèle et en conditionne, par conséquent la validité, car c'est effectivement à travers les limites que s'établit le bilan de l'aquifère, les relations entre les différentes zones de circulation sont d'un intérêt essentiel, pour cerner le fonctionnement du système, en entier. La nappe du Mio-pliocène dans la plaine d'El Outaya est limitée par :

- Les Monts de Djebel Hachana, Djebel Oum El Houbel, Djebel Ed Deba, Djebel Rebaa, Djebel Labraga, au Sud et au Sud Ouest.
- Djebel Boumédiène, le diapir du Trias, au Nord
- Djebel Foum Zgaz et les marnes miocènes, à l'Est
- Djebel Boughzel, au Sud-ouest.

Les limites du domaine étudié sont constituées par :

#### \*Limites étanches :

Représentées par la présence des marnes miocènes, dans la partie nord-est et est.

#### \*Limites à débit entrant :

D'après la carte piézométrique, la partie nord de la plaine possède une divergence des filets liquides, avec un gradient hydraulique croissant vers le Nord, indiquant une alimentation de cette nappe, à cet endroit.

#### \*Limites à débit sortant :

-Le sens d'écoulement montre une orientation du Nord vers le Sud, témoignant ainsi d'un drainage de la nappe, par les formations dolomitiques et calcaires massifs du Sénonien.

- Soutirage par les puits et forages.

8.4. Evaluation et préparation des données :Les données nécessaires, introduites dans le modèle (Modflow) sont les suivantes :

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

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

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

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

\*Hauteurs piézométriques : Elles sont déduites de la carte piézométrique initiale, celle de Mars 2008 et 2010 (campagnes piézométriques faites par l'A.N.R.H.Ouargla).On introduit, pour chaque maille une charge hydraulique correspondante.

\*Caractéristiques hydrogéologiques K : Sont obtenues à partir des essais de pompages.

\*Le coefficient d'emmagasinement est le rapport entre le volume libéré, emmagasiné par unité de surface d'un aquifère et la variation de la charge hydraulique correspondante est indépendamment du temps. Ce coefficient est sans dimensions et dans le cas d'une nappe libre il

est équivalent à la porosité.

\*Les seules valeurs estimées, par essais de pompages, dont nous disposons sont localisées dans la partie nord de la plaine, ce qui ne nous permettent pas d'estimer l'emménagement global de la nappe, vu la variation lithologique du terrain.

\* Côtes du substratum imperméable :

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

\*La recharge : L'étude élaborée par A.Haouchine 2010, montre que la valeur de l'infiltration calculée est de l'ordre de 25.9% (33.4mm) des précipitations et la répartition se fait comme suit :

- 12% de l'infiltration se fait au niveau de la plaine, soit 15.47mm.
- 5.2% de l'infiltration se fait à travers les lits des oueds, soit 6.7mm.
- 5.2% de l'infiltration se fait au niveau des bordures de montagnes, soit 6.7mm.
- 3.04% de l'infiltration se fait à travers les calcaires et dolomies moins fissurées et les autres affleurements rocheux, soit 4mm.
- 0.46% de l'infiltration se fait à travers djebel El Mellah et ses environs, soit 0.5mm.
- La décharge : Représentée par les volumes drainés dans la partie avale de la plaine

## **9. CALAGE DU MODELE:**

\* *Concept de calage :*

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



précédentes.

Dans toute étude de modélisation, certains paramètres sont moins bien connus que d'autres, à cause de l'absence de mesures et d'observation. Ce sont ces paramètres presque inconnus qui sont ajustés au cours du calage du modèle numérique et pour lesquelles on doit définir un intervalle des valeurs vraisemblables.

Généralement, la première tentative de calage est réalisée au moyen d'estimation, aussi réaliste que possible de l'ensemble des données introduites. La piézométrie calculée est ensuite comparée aux mesures disponibles (piézométrie mesurée).

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

9.1. Identification du système hydrogéologique de la nappe du Mio-Pliocène, dans la plaine d'El Outaya :

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

9.1.2. Construction du modèle :

Le modèle est obtenu par une division de l'aquifère en deux couches et trois horizons, dont le premier horizon (couche supérieure) représente la topographie du domaine et le dernier représente l'allure du substratum. Les épaisseurs de la couche aquifère sont proportionnelles à la distance ( $Z$ ) qui sépare le toit (topographie) du substratum. Le domaine d'écoulement est discrétisé en mailles rectangulaires, de longueur 2Km et de largeur 01Km (fig. 62).

Le domaine aquifère du Néogène est représenté par des ensembles grés-argileux à gréseux parfois grés-conglomératiques à graveleux, par endroits. Il est découpé en 552 mailles actives, représentant ainsi une superficie de 1104 Km<sup>2</sup>, il peut être étudié comme monocouche. Les limites du domaine sont présentées dans la figure 62 et sont constituées par:

- ✓ Débits entrants: limite à potentiel imposé, permet de présenter les entrées des débits,

soit dans la partie nord, par les formations grés-sableuses du Mio-Plio-Quaternaire des Aurès, dans la partie ouest, par les calcaires de l'Eocène inférieur et dans l'Est, par les poudingues et les grès du Pliocène.

✓ Débits sortants: limite à potentiel imposé, représente l'eau restante qui continue sa course vers le Sud, dans les formations du calcaire de l'Eocène inférieur et du Sénonien inférieur.

Nous avons réalisé un calage en régime permanent, puis en régime transitoire. L'état de référence qui a servi au calage du modèle, en régime permanent est l'état piézométrique mesuré en Mars 2008, les points d'observations piézométriques sont concentrés dans la partie centrale et au Nord de la plaine, ce qui rend le calage très difficile.

Vu Le manque de l'historique des débits de pompage des puits qui se trouvent dans la plaine, on a considéré que le débit d'exploitation de chaque puits est constant, depuis sa mise en service, jusqu'à Mars 2010 (date de la dernière campagne piézométrique).

Nous avons imposé au système une recharge de la nappe du Mio-Pliocène, par les précipitations de 15.47 mm/an, ce qui représente 12% des précipitations enregistrées dans la station de Biskra. Cette valeur donnée par Haouchine, 2010 est déterminée par la méthode qui consiste à croiser les informations spatiales, relatives aux différents facteurs, régissant la recharge des aquifères (La végétation, la Lithologie, l'Hydrographie, la Pente, le sol). La recharge de la nappe par les eaux de l'oued Biskra qui traverse cette plaine est négligeable, après la réalisation du barrage de la fontaine des gazelles, en amont de la plaine.

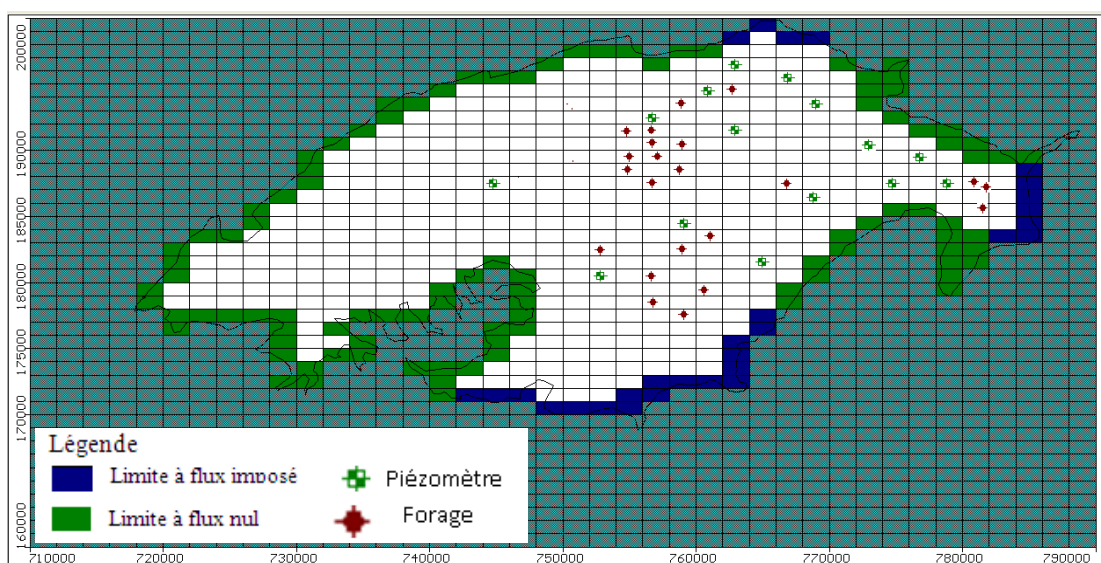


Fig.62: Conditions aux limites

## 10. Résultats et discussions :

### 10.1. Le régime permanent:

Les perméabilités ajustées, en régime permanent reflètent l'hétérogénéité de l'aquifère et varient de  $10^{-6}$  m/s à 0.1 m/s (fig. 63).

La perméabilité dans la partie Est est bonne à très bonne ( $10^{-4}$  m/s et  $10^{-1}$  m/s), tandis que les autres parties de la plaine sont mauvaises à bonnes ( $10^{-6}$  m/s et  $2 \cdot 10^{-2}$  m/s), parfois très bonnes, dans la partie centrale ( $10^{-1}$  m/s).

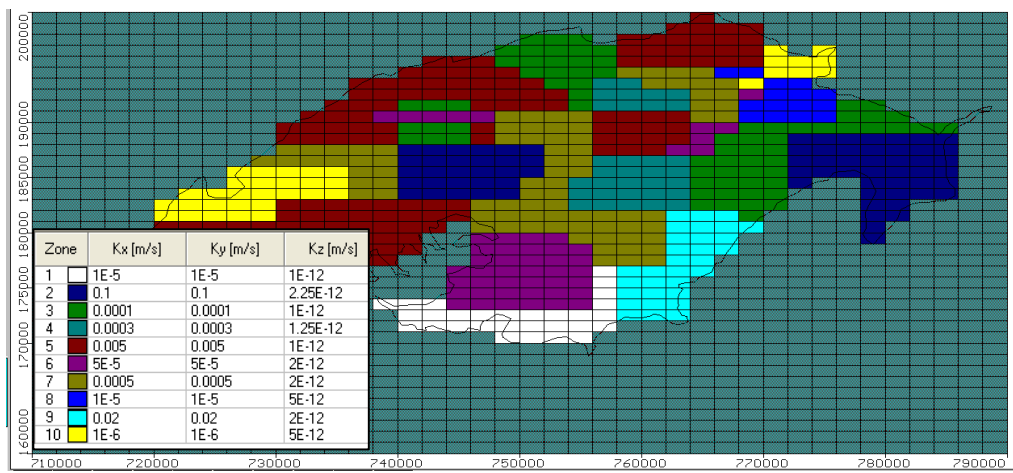


Fig.63 : Répartition spatiale de la conductivité, après calage.

#### • Potentiels mesurés et potentiels calculés :

Les potentiels mesurés et calculés (fig.64), pour l'état de référence (Mars 2008), montrent que les écarts entre eux sont acceptables, en amont et au centre de la plaine, là où les informations sont localisées. En revanche, ils sont importants en aval. L'absence d'information sur cette partie de la plaine ne permet pas un meilleur calage.

On constate l'existence de deux zones, à mailles sèches, ce qui représente des régions où le niveau piézométrique est inférieur à celui de la côte du substratum.

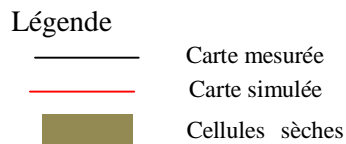
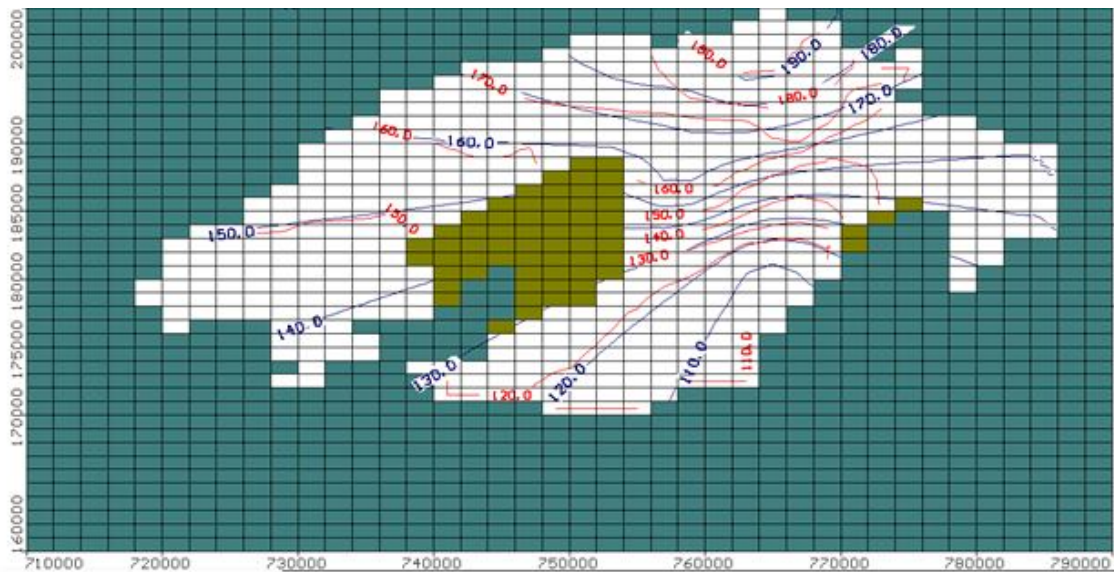


Fig.64: Carte piézométrique calculée, après calage en régime permanent (Mars, 2008)

• **Le bilan en eau, en régime permanent:**

Le tableau 28, nous a permis de déduire que la nappe du Mio-Pliocène est alimentée principalement par les bordures. Au Nord, à partir des formations grés-sableuses du Mio-Plio-Quaternaire (partie des Aurès), à L'Est par les poudingues et les grès du Pliocène et à l'Ouest par les calcaires de l'Eocène inférieur.

Tableau 28: Bilan en eau, calculé de la nappe du Mio-Pliocène (m<sup>3</sup>/jour)

<b>Entrées</b>	<b>Débits (m<sup>3</sup>/J)</b>	<b>Sorties</b>	<b>Débits (m<sup>3</sup>/J)</b>
Alimentation par la bordure	765075.4	Partie Sud	809409.3
La recharge par les pluies	44757.5	Pompages	423.525
<b>TOTAL</b>	<b>809832.9</b>	<b>TOTAL</b>	<b>809832.8</b>

## 10.2. Le régime transitoire :

Le calage des écoulements souterrains, en régime transitoire de la nappe, consiste à reproduire, par les calculs, un état piézométrique qui concorde avec une piézométrie initiale mesurée (fig. 65)

Concernant la période adoptée pour ce calage, nous avons simulé le comportement du système, pour la période allant de la situation initiale ' Mars 2008' à 'Mars 2010', répartie en utilisant un pas de temps semestriel (06mois).

Par manque de débits d'exploitations semestrielles et un suivie de la piézométrie de la nappe d'El Outaya, on s'est référé uniquement à la campagne piézométrique de Mars 2010, ainsi on suppose que les débits d'exploitations sont constants depuis Mars 2008 à Mars 2010.

Sur cette phase de simulation, on a adopté les valeurs de la moyenne semestrielle du volume infiltré. L'estimation de l'infiltration dans la plaine est de 12% des précipitations, enregistrées dans la station de Biskra (Haouchine, 2011).

Tableau29 : Estimations des infiltrations des eaux des précipitations semestriels

Semestre	Avril-Septembre 2008	Octobre-Mars 2008/2009	Avril-Septembre 2008	Octobre-Mars 2009/2010
Précipitation	28.45	103.65	59.69	72.89
Infiltration	3.41	12.36	7.16	8.75

La restitution de la carte piézométrique simulée de Mars 2010 consiste à initialiser le calcul avec l'état piézométrique simulé, en régime permanent, influencé par les pompages et la variation de la recharge. Seulement, un jeu de la variation de la porosité efficace nous a permis de retrouver une bonne superposition entre les potentiels mesurés et calculés (fig. 65).

La répartition spatiale de la porosité efficace obtenue (fig. 66) montre que :

✓ Les parties du Nord et de l'Ouest sont caractérisées par une porosité efficace qui varie de 10% à 40%, tandis que la partie Est est caractérisée par une porosité qui varie entre 34% et 40%, la partie Sud est caractérisée par une porosité qui varie entre 24% et 40%.

✓ Le centre de la plaine a une porosité extrêmement variable, elle varie entre 24%, 34% et 40%.

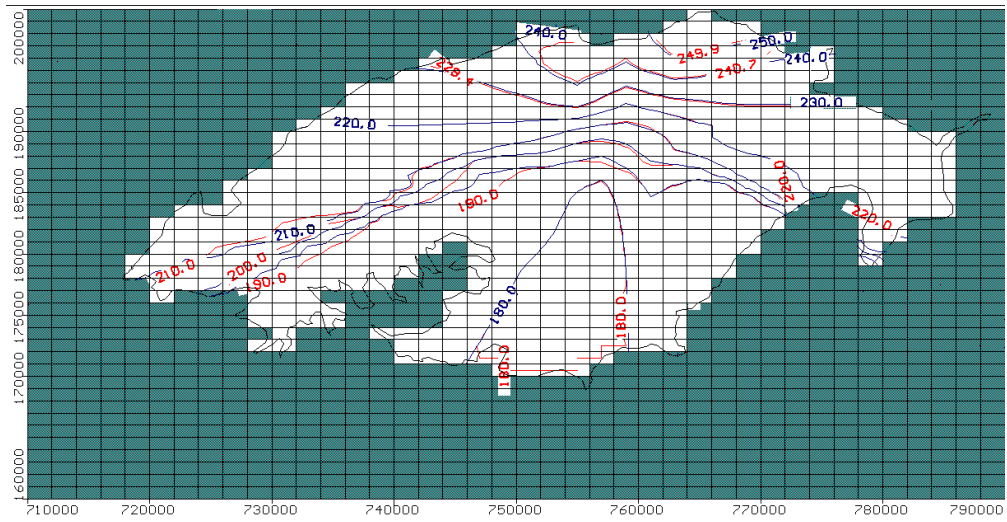


Fig.65: Carte piézométrique calculée et simulée, en régime transitoire (Mars 2010)

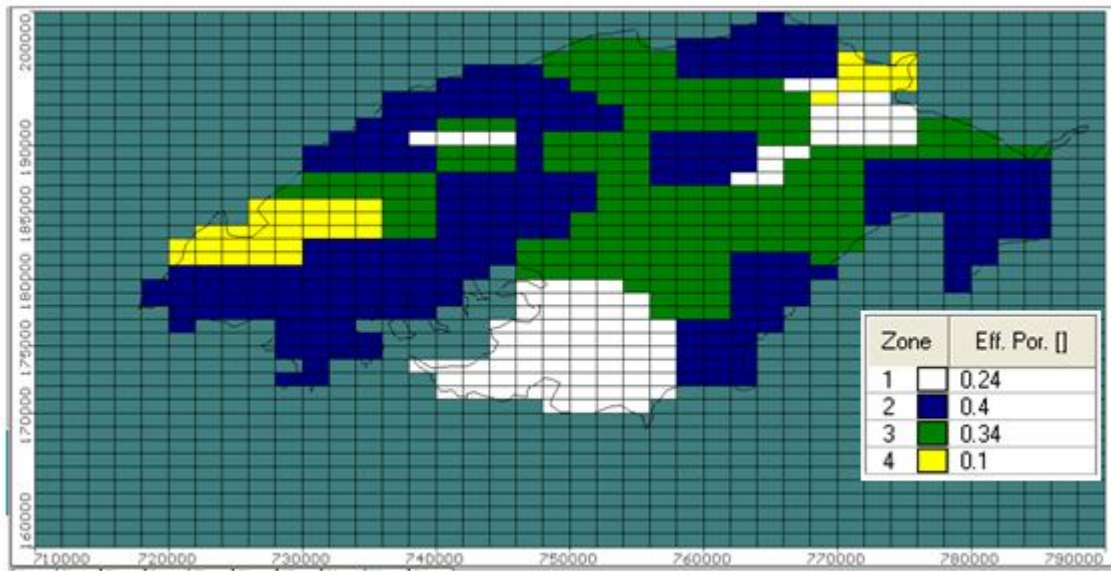


Fig.66: Répartition spatiale de la porosité, après calage

- **Le bilan en eau, en régime transitoire:**

L'étude du bilan de la nappe (tableau 28), donne des résultats plus ou moins satisfaisants, quant à l'équilibre «entrées-sorties».

Tableau 30: Bilan en eau calculé du Mio-Pliocène (m<sup>3</sup>/jour)

Entrées	Débits (m <sup>3</sup> /J)	Sorties	Débits (m <sup>3</sup> /J)
Alimentation dans la partie nord	360215	La partie Sud de la plaine	1250296
Stockage	7.02267E+08	Déstockage	6.921446E+08
La recharge par les pluies	9824.02	Pompages	411.525
TOTAL	7.03E+08	TOTAL	6.93E+08

### Conclusion :

Malgré les insuffisances de données, ce modèle hydrodynamique a pu répondre à certaines questions, vis-à-vis du comportement de la nappe.

Les résultats obtenus, par les différentes simulations sur cet aquifère, font ressortir les remarques suivantes:

\*L'ajustement des paramètres hydrodynamiques, à travers le régime permanent a montré que la partie nord est caractérisée par une bonne conductivité ( $10^{-6}$  à  $10^{-1}$  m/s).

\* Le calage en régime transitoire nous a permis de constater que la porosité efficace dans la partie Est varie entre 34% et 40%, par contre dans la partie nord, ouest et centre elle est extrêmement variable et varie entre 10% et 40%, tandis que le Sud a une porosité qui varie entre 24% et 40%.

\*l'analyse des cartes piézométriques (2008 et 2010) et les résultats du bilan en régime transitoire montrent que l'alimentation de la nappe du Mio-Pliocène est assurée principalement dans la partie nord, par l'infiltration des eaux de l'Oued Biskra en période de crue, ou par les formations du Mio-Pliocène (Région des Aurès). La partie Est contribue aussi à l'alimentation de la nappe par les poudingues du Pliocène, par contre, dans la partie ouest, l'alimentation de la nappe est assurée par les calcaires de l'Eocène inférieur. Cette analyse nous a permis aussi de constater que les calcaires de l'Eocène inférieur et du Sénonien inférieur drainent les eaux de cette nappe.

\* Le calage, soit en régime permanent ou transitoire nous a permis de déduire, respectivement, la répartition de la conductivité et de la porosité, dans les zones où il y a les points d'observations.

\*A fin de perfectionner ce modèle, on doit implanter d'autres points d'observation dans la partie ouest et au sud pour définir les caractéristiques de l'aquifère (paramètres hydrodynamiques, natures lithologiques, niveaux piézométriques.....).

\*Ce modèle constitue un outil de gestion et de prévision pour l'exploitation future des ressources en eaux souterraines de la nappe du Néogène de la plaine d'El Outaya. Nous pouvons dire, à ce propos, que les potentialités de cette nappe seront influencées dans la partie nord de la plaine, par des conditions extrêmes (Scénario 01). Dans ces conditions, il paraît judicieux d'élaborer un programme d'exploitation des eaux de la nappe, pour permettre aux usagers une utilisation rationnelle et durable, car toute surexploitation, peut engendrer des modifications négatives des caractéristiques de l'aquifère.



# **Conclusion Générale**

## CONCLUSION GENERALE

### 1. SUR LE PLAN THEMATIQUE :

L'approche conjuguée des données hydro-climatologiques, géologiques, géophysiques, hydrogéologiques et d'hydrochimie nous a permis de mettre en évidence la géométrie de l'aquifère du Mio-Pliocène ainsi de son comportement hydrogéologique, dans la plaine d'El Outaya. Il s'agit notamment de la configuration de son système aquifère et de sa modalité de recharge ainsi que de ses caractéristiques hydrodynamiques et hydrochimique. Il en ressort les conclusions suivantes :

La plaine d'El Outaya fait partie d'une zone de transition topographique, structurale et sédimentaire, entre l'Atlas Saharien surélevé au Nord et le Sahara, pays effondré au Sud. Il s'agit d'un bassin d'effondrement, à remplissage Mio-plio-Quaternaire, qui peut atteindre plusieurs centaines de mètres dans la partie centrale de la plaine, constitué de formations gréseuses et argileuses, de marnes et de calcaires. Les formations néogènes affleurent surtout au Nord de la plaine et sont représentées par des calcaires et des calcaires marneux à la base, de conglomérats, grès, sables et marnes au sommet. Il est à noter que le Trias, représenté par un diapir de sel, affleure au Nord-est de la plaine.

Les données de la prospection électrique, ont permis de mettre en évidence des formations très résistantes de 100 à 400  $\Omega\text{m}$ , correspondant, d'une part aux éboulis, galets, poudingues du recouvrement Mio-pliocène, intercalés parfois par des niveaux de faibles résistivités, formés par des argiles et des marnes, parfois gypseuses. Le substratum de l'aquifère du Mio-Pliocène est constitué des marnes dans toute la partie orientale, tandis que la partie ouest est formée par des argiles ou parfois des calcaires de l'Eocène.

L'étude hydro climatologique a permis d'attribuer à la plaine d'El Outaya un climat aride, caractérisé par des mois pluvieux, en automne et des mois secs et chauds en été. La température moyenne annuelle est de 22.4°C et les précipitations moyennes annuelles sont de 122.8mm, pour la période allant de 1974 à 2013. La totalité de ces précipitations est reprise par l'évaporation, ce qui attribue à la plaine une période sèche, couvrant toute l'année hydrologique. En effet, les résultats obtenus à partir des méthodes utilisées (méthodes de Thornthwaite, Turc, Serra, ...etc.) font apparaître un déséquilibre important entre la pluviométrie et l'évaporation, en défaveur de l'infiltration et de l'écoulement. Il est donc nécessaire d'estimer ces derniers paramètres, à partir du dépouillement des pluviogrammes, lors des précipitations de forte intensité qui peuvent contribuer à l'alimentation des nappes

souterraines, dans ces régions arides. Ce déséquilibre constaté montre la nécessité d'une irrigation importante de l'agriculture dans la plaine.

Concernant le régime des cours d'eau, les seules mesures que nous disposons, c'est celles relevées à la station d'El kanatara, en amont de l'Oued El Hai, mais les séries sont marquées par des lacunes et réparties en deux périodes :(1968/1969-1974/1975), où le débit moyen annuel est de  $0.67\text{m}^3/\text{s}$  et (1981/1982-1992/1993) , avec un débit moyen annuel de  $0.270\text{m}^3/\text{s}$ .

Les deux cartes piézométriques établies ont permis de mettre en évidence un écoulement général des eaux souterraines, du Nord vers le Sud. Les zones d'alimentation se localisent dans la partie nord-ouest (Djebel Moddiane et djebel Maghraoua) et dans la partie est, représentées par les poudingues grossiers du Pliocène. La réalimentation de la nappe du Mio-Pliocène dans la plaine d'El Outaya semble provenir de deux origines : d'une part, d'une alimentation par les Aurès, partie nord, d'autre part, des apports considérables, amenés en amont par l'oued El Hai-Biskra, en période de crue qui traverse la couverture limoneuse, peu épaisse et s'infiltré, pour atteindre la nappe phréatique, jusqu'a la nappe du Mio-Pliocène..

Avec une superficie de  $5\text{km}^2$  et une épaisseur moyenne de 20m. La nappe alluviale du Quaternaire se développe sur le long de l'Oued Biskra. Sa forme a été façonnée par l'écoulement de l'oued Biskra ,creusée dans les marnes imperméables du Miocène et remblayée par des dépôts alluvionnaires du Quaternaire moyen et récent ,formée essentiellement de galets, graviers, cailloutis et sables. Elle est en contact direct avec la nappe du Mio-Pliocène.

L'étude hydrochimique a montré que la nature lithologique des terrains de l'aquifère du Mio-Pliocène est responsable, en grande partie de la diversification de la composition chimique des eaux. L'origine des fortes teneurs des éléments chimiques, observées dans les eaux souterraines de la région d'El Outaya est due notamment à la dissolution des évaporites des formations aquifères.

Cependant, L'aptitude des eaux du Mio-pliocène à l'irrigation, dans la partie Est est bonne et peuvent être utilisées, sans risque. Tandis que dans la partie nord et centrale, la qualité des eaux est médiocre. La partie ouest et sud est caractérisée par une eau de qualité mauvaise à l'irrigation.

Afin d'éviter la dégradation de la qualité du sol par l'augmentation de la salinité, en même temps que la dégradation des eaux souterraines, par contamination, il serait souhaitable d'instaurer un système d'irrigation qui permet, à la fois une irrigation rationnelle et qui fournisse une eau moins saline, assurée par une dilution, par les eaux du barrage.

## **2. SUR LE PLAN METHODOLOGIQUE :**

La seconde partie de ce travail a été consacrée pour synthétiser les résultats acquis par les études précédentes, dans un modèle mathématique, qui nous a permis d'identifier les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère du Mio-Pliocène.

Les calages, en régime permanent et en régime transitoire ont montré que la partie est détient les meilleures caractéristiques hydrodynamiques ; Conductivité entre  $10^{-4}$  m/s et  $10^{-1}$  m/s et la Porosité entre 34% et 40% et cela par la présence, dans cette région, des formations pliocènes, formées par des poudingues, des grès et des conglomérats.

Afin de perfectionner ce modèle, on doit :

✓ Implanter d'autres points d'observation, dans la partie ouest et au Sud, pour définir les caractéristiques de l'aquifère (paramètres hydrodynamiques, natures lithologiques, niveaux piézométriques..).

✓ Restaurer la station d'El Outaya, afin de mieux cerner le climat de la région.

✓ Installer une station de jaugeage, au niveau de l'oued El Hai-biskra, pour voir son comportement, vis-à-vis des précipitations.

✓ réaliser d'autres essais de pompages, sur toute la nappe, afin d'enrichir les données de base, pour perfectionner ce modèle hydrodynamique.

✓ Réaliser d'autres prospections géophysiques pour l'étude des failles qui affectent la région d'étude, afin d'identifier leur comportement, vis-à-vis de la circulation des eaux souterraines.

✓ En fin, ce modèle ouvre la porte vers un autre modèle hydro dispersif, pour voir la propagation des polluants et l'évolution du degré de salinité.

## **BIBLIOGRAPHIE**

Aissaoui. D, (1984) : Les structures liées à l'accident sud-atlasique entre Biskra et le Djebel Mandra, Algérie. Evolution géométrique et cinématique. Thèse 3ème cycle, Strasbourg. 105p.

A.N.A.T (Agence nationale d'aménagement du territoire), (2003): Etude Schéma Directeur des Ressources en Eau. Wilaya de Biskra. Rapport inédit .60p.

Baba Sy .M, (2005) : Recharge et paléorecharge du système aquifère du Sahara septentrional, région Algérie, Tunisie et la lybie. Thèse de doctorat d'état. Université El Manar, Tunisie.261p.

Baba Sy. M et Besbes. M, (2006): Holocene recharge and present recharge of the Saharan Aquifers. A study by numerical modeling. Colloque international - Gestion des grands aquifères - 30 mai-1er juin 2006, Dijon, France.

Bagnouls. F et Gaussen. H, (1954): Les climats biologiques et leurs classifications. Ann.de géogr.pp.193-220.

Ballais J.L. (1984) : Recherches géomorphologiques dans les Aurès (Algérie). Édit. ANRT, Lille, 2 vol, 626p.

Brinis. N, (2003) : Essai d'explication de la salinité des eaux de la nappe du Mio-Pliocène : cas de la zone Est de la plaine d'El Outaya. Thèse Magister hydrochimie ; Univ. Badji Mokhtar Annaba, 150p.

Brinis. N et al, (2009): La salinité des eaux souterraines de la zone Est de la plaine d'El-Outaya (Région de Biskra, Algérie). Bulletin du Service Géologique National. /Vol.20, N°1, pp.49-61.

Brinis. N et al, (2010): Evolution des Faciès Chimiques des Eaux Souterraines dans la Plaine D'El-Outaya, Biskra, Algérie. Publication au Journal International Environmental Conflict Management, Santa Catarina – Brazil, 1(1), pp. 98-105.

Brinis. N, (2011) : Caractérisation de la salinité d'un complexe aquifère en zone aride-Cas de l'aquifère d'El Outaya, région nord-ouest de Biskra, Algérie. Thèse de doctorat d'état .Université Mentouri.252p.

- BRL Ingénierie (Compagnie d'aménagement du Bas Rhône et du Languedoc), (2004): Aménagement Hydro-agricole d'El-Outaya, contrôle technique et suivi des travaux, Monographie. Rapport .67p.
- Banton.O, Bangoy M.L, 1999 : Hydrogéologie multi sciences environnementales des eaux souterraines.407p.
- Castany. G, Margat. J, (1977): Dictionnaire français hydrogéologie. Edit. BRGM, 249p.
- Castany. G, (1982): Principes et méthodes en hydrogéologie .Dunod édit. Paris. pp.173 - 187.
- Castany, G. (1998): Hydrogéologie: principes et méthodes. Dunod. Paris. 238 p.
- Chabour. N, (2008): Hydrogéologie du domaine de transition entre l'Atlas saharien et la plate forme saharienne à l'Est de l'Algérie. Thèse de doctorat d'état de l'Université Mentouri. 176p.
- C.G.G (Campagne générale de Géophysique) , (1971): Etude géophysique de la plaine d'El-Outaya. Rapport. 35p.
- Chabbah. M, (2007): Caractérisation sédimentologique et géochimique du Néogène, de part et d'autre de l'accident sud-atlasique, région de Biskra. Thèse de doctorat d'état. Université Mentouri. Algérie. 417p.
- Dassargues. A, (1990) : Modèles mathématiques en hydrogéologie et paramétrisation, Anales de la Société Géologique de Belgique, 113(2), pp. 217-229.
- Delartigue (1904): Monographie de l'Aurès. 285p.
- De Marsily. G, (1981) : Hydrogéologie quantitative. Ed. Masson Paris, pp.37-123.
- De Marsily. G, et al (2005): Dealing with Spatial Heterogeneity. Invied Paper, Special Issue "The Future of Hydrogeology". Hydrogeology J. pp.13, 161-183.
- De Martonne, E. (1926). Aréisme et indice d'aridité. Comptes Rendus de L'Acad Sci, Paris, 182p.

- D.E.M.R.H (Direction des études de milieu et de la recherche hydraulique), (1978): Notice explicative de la carte hydrogéologique de Biskra.
- D.H.W, (1981) : Direction d'hydraulique de la wilaya de Biskra, Rapport de fin de sondage, plaine d'El-Outaya.42p.
- D.P.A.T, (2009): Direction de planification et d'aménagement du territoire. Monographie de la wilaya de Biskra.67p.
- Dubief. J, (1953). Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. Ed. Service des études scientifiques, Alger, Tome VIII, pp.123-163.
- Dubief. J, 1959 : Le climat du Sahara, Public. de l'I.R.S., Alger, p.p. 17-36. Duquesnoy. M, (1949): Barrage de Foug el Gherza. Terres et Eau. pp.7- 40.
- ENAGEO, (2002): Etude géophysique par sondages électriques verticaux. Site Chetma Droh (W Biskra). 11p.
- Elango. L, (2005): Numerical Simulation of Groundwater Flow and Solute transport. Department of Geology Anna University.India. 244p.
- Emberger. L, 1932 : Sur une formule climatique et ses applications en botanique. La Météorologie, 92-93, pp.423-432.
- Flandrin. J, (1952): Les chaînes atlasiques de la bordure Nord du Sahara, Monographies régionales, 1 ème série, n°14 ; XIX ème Cong. Géol. Internat. Alger.
- Gousskov. N, (1962):Notice explicative de la carte géologique au 1/200 000 Biskra. Publ. Serv. Géol. Algérie 1964.
- Guiraud. R , (1970):Sur la présence de décrochements dextres dans l'Atlas Saharien. Interprétation méga métrique. C. Som. S.G.F, 8, pp. 316-318.
- Guiraud. R, (1973): Evolution post-Triasique de l'avant pays de la chaîne alpine en Algérie d'après l'étude du bassin du Hodna et des régions voisines. Thèse Sci. Univ. Nice, 270 p, 114 fig., 12 pl. h.t.



Guiraud. R , (1974): A la recherche du rhéglmatisme de l'Algérie du Nord et des régions voisines. Annales Scientifiques de l'Université de Besançon. 3 ème série, Fasc. 22.

Guiraud. R, (1978) : Le « continental terminal » en Algérie. Ann.Fac.SC.Dakar, t31, pp.85-87.

Guiraud. R, (1986): Corrélations entre les principaux évènements géodynamiques enregistrés du Trias à nos jours sur les marges alpines et atlantiques de la plaque africaine. Mém. de la Fac. des Sci de Marrakech.

Guiraud. R, (1990) : Evolution post-triasique de l'avant pays de la chaîne alpine en Algérie d'après l'étude du bassin du Hodna et des régions voisines. Pub.ONG, Alger .259p.

Haouchine .A, (2010): Hydrogéologie en zone semi-aride et aride: Région de Biskra. Thèse de doctorat d'état en Hydrogéologie de l'USTHB. 155p.

Herkat. M, (1999 ) : La sédimentation de haut niveau marin du Crétacé supérieur de L'Atlas saharien oriental et des Aurès : stratigraphie séquentielle, analyse quantitative des biocénoses, évolution paléogéographique et contexte géodynamique. Thèse ès Sciences. USTHB, Alger, 802p.

Kazi Tani. N, (1986) : Evolution géodynamique de la bordure nord-africaine, le domaine intraplaque nord-algérien. Approche méga séquentielle. Thèse ès Sci. Univ de Pau. Tome 02, 871p.

Kinzelbach.W,H.Kunstmann,1998:Sustainable management of groundwater resources , Proceedings of the 8th Stockholm Water Symposium: Water - the key to socio-economic development and quality of life, Stockholm International Water Institute, Report 3, pp.189-198

Lafitte. R, (1939): Etude géologique de l'Aurès. Bull. Serv. Carte géol. Algérie, 2 ème sér. Stratigr. Descript. Région. N°15, 451p.

Margat. G & Saad K. F, (1982) : L'utilisation des ressources en eau souterraines non renouvelables pour le développement. 4ème conférence internationale sur la planification et la gestion des eaux , Marseille..

Margat. G& Saad K. F, (1984) : Les nappes souterraines profondes : des mines d'eau sous les déserts, Unesco ; Nature et Ressources Vol. XX, n°2, avril-juin.

Margat. G, (1990) : Les gisements d'eau souterraine. La recherche n°221. mai, 1990.

Patrick A. Domenico, Franklin W. Schwartz, (1978): Physical and Chemical Hydrogeology ,deuxième Edition.528p.

Pizzi. G, Sartori. L, (1984): Interconnected groundwater systems simulation (IGROSS) – Description of the system and a case history application. J. Hydrol., pp.75; 255-285.

Ralph. C, Heath, (1987): Basic Ground-Water Hydrology. Department of Natural Resources and Community Development. North Carolina.88p.

SCET-COOP (Société centrale pour l'équipement du territoire et coopération, (1967): Oued Biskra, eau souterraine, Etude des ressources eexploitables, Mars 1967.Algérie.68p.

Serra. L (1954) : Représentation des facteurs climatologiques par les courbes d'égle probabilité. La météorologie 1.pp.177-183.

Thangarajan. M, (2007): Groundwater Resource Evaluation, Augmentation, Contamination, Restoration, Modeling and Management. National geophysical Research Institute. Hyderabad, India.372p.

Thorntwaite. CW, (1948): An approach toward a rational classification of climate Geographical Review, pp 55-94.

Todd D.K, (1980): Groundwater Hydrology, third edition, university of California, Berkley and Todd engineers, pp.234-267.

Turc. L, (1961):Evaluation des besoins en eau d'irrigation- évapotranspiration potentielle. Ann. Agronomique, vol, 12 n°01, I.N.R.A.

Tyagi N.K, Joshi P.K, (1996): Techno-economic analysis of salinity control measures. In: International Commission on Irrigation and Drainage. Sixteenth ICID Congress, 16–22 September, Cairo, Egypt, Vol. 1C New Delhi, Q.47.1, pp. 41–53.

Vanclooster .M, (2011). Modélisation intégrée du cycle de l'eau. Notes de cours, Université de Louvain-la-Neuve.

# **A N N E X E S**

- **Listes des figures**

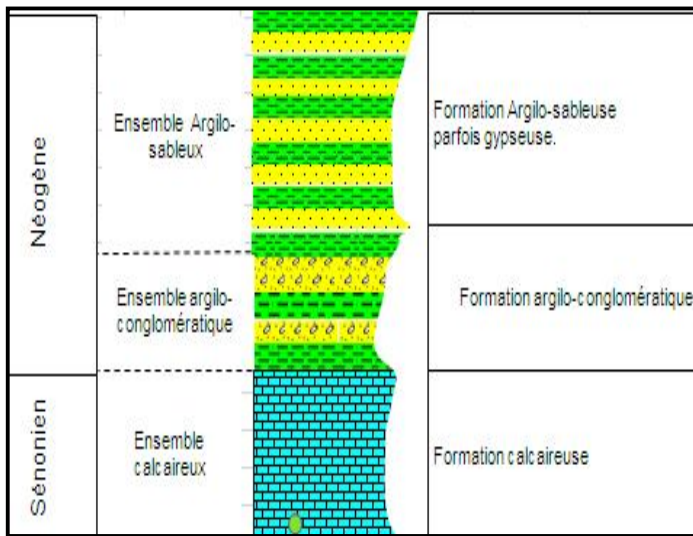


Fig.01 : Log lithostratigraphique du forage Bir Labrache

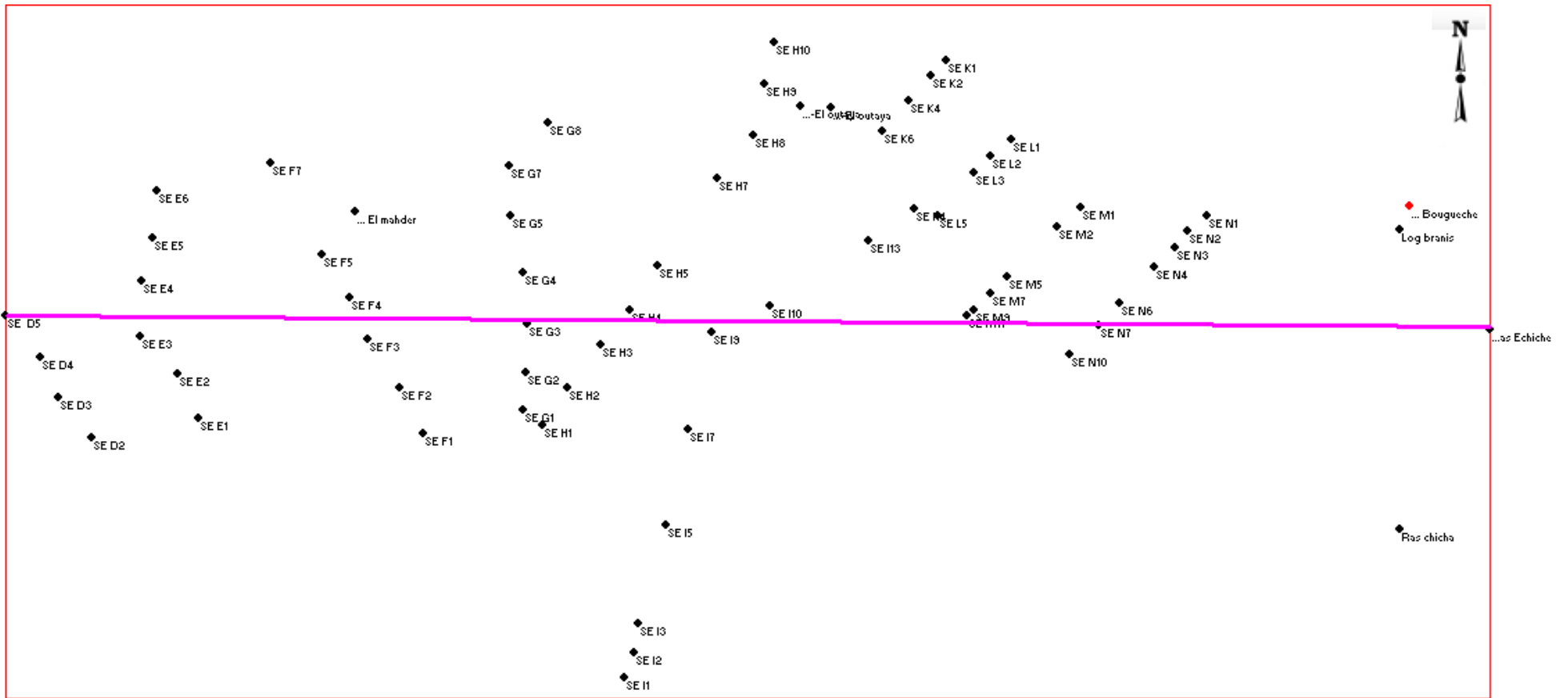


Fig.02: Localisation des coupes logs-litho stratigraphiques, les sondages électriques, les logs-litho stratigraphiques dans la plaine d'El Outaya et ses régions avoisinantes

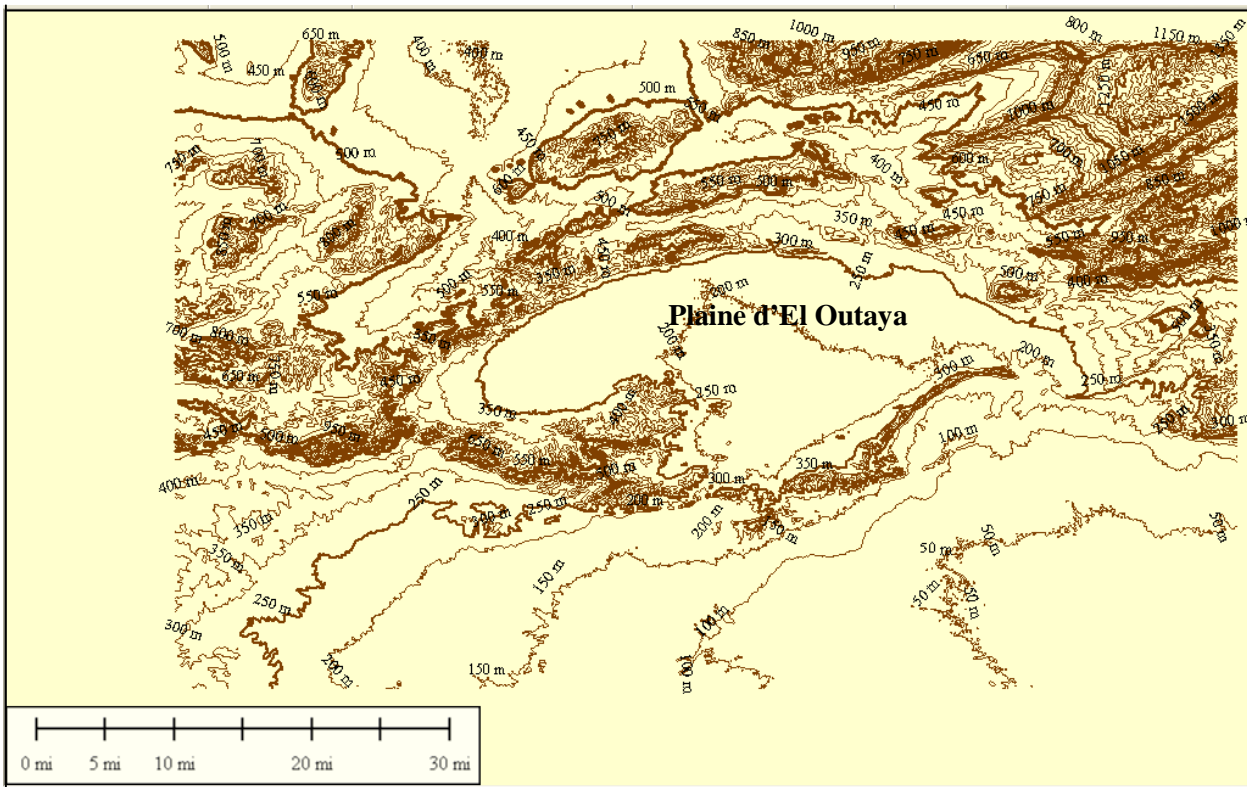
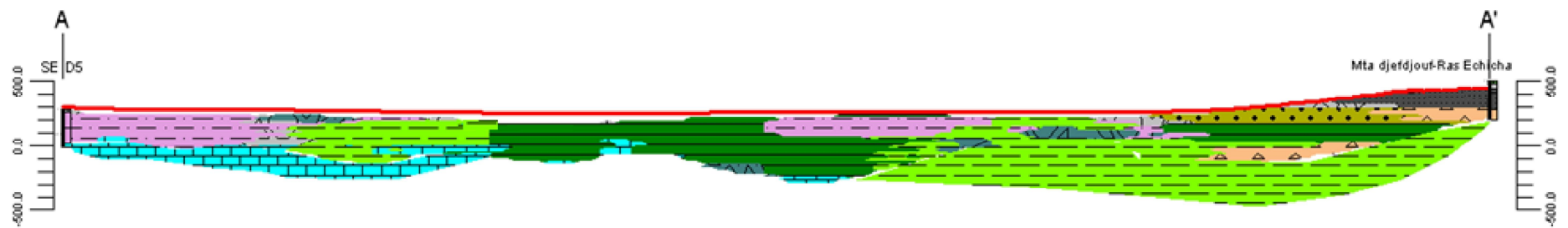


Fig.03 : Modèle numérique de terrain (MNT) de la zone d'étude



Légende

	Ensemble grés-argileux	Mio-pliocène
	Ensemble gréseux	
	Ensemble grés-conglomératique	
	Ensemble gravéleux	
	Ensemble Argilo-gréseux	
	Ensemble argileux	
	Ensemble argilo-sulfaté	
	Ensemble marneux	Eocène
	Calcaire	

Fig.04 : Coupe géologique Est-Ouest au niveau de la plaine



- **Liste des Tableaux :**

Tableau 01 : Forages exploités, pour l'aquifère du Mio-Pliocène (ANRH.2013)

Num	Altitude	Prélèvements m <sup>3</sup> /an	Usage	Nappe Captée	OBS
1	256	51840	IRR	Mio pliocène	Exploité
2	248	7776	IRR	Mio pliocène	Exploité
3	241	155520	AEP	Mio pliocène	Exploité
4	243	15552	IRR	Mio pliocène	Exploité
5	228	217728	IRR	Mio pliocène	Exploité
6	237	77760	AEP	Mio pliocène	Exploité
7	237	93312	AEP	Mio pliocène	Exploité
8	241	93312	IRR	Mio pliocène	Exploité
9	241	38880	IRR	Mio pliocène	Exploité
10	217	32400	IRR	Mio pliocène	Exploité
11	204	90720	IRR	Mio pliocène	Exploité
12	205	25920	IRR	Mio pliocène	Exploité
13	205	72576	IRR	Mio pliocène	Exploité
14	205	82944	IRR	Mio pliocène	Exploité
15	199	38880	IRR	Mio pliocène	Exploité
16	207	24883.2	IRR	Mio pliocène	Exploité
17		145152	AEP	Mio pliocène	Exploité
18	206	93312	IRR	Mio pliocène	Exploité
19		311040	IRR	Mio pliocène	Exploité
20	203	5184	IRR	Mio pliocène	Exploité
21		124416	IRR	Mio pliocène	Exploité
22		110160	IRR	Mio pliocène	Exploité
23	199	77112	IRR	Mio pliocène	Exploité
24	200	139968	IRR	Mio pliocène	Exploité
25	194	51840	IRR	Mio pliocène	Exploité
26	200	24883.2	IRR	Mio pliocène	Exploité
27	206	103680	IRR	Mio pliocène	Exploité
28	203	129600	IRR	Mio pliocène	Exploité
29	203	58320	IRR	Mio pliocène	Exploité
30		31104	IRR	Mio pliocène	Exploité
31	216	38880	IRR	Mio pliocène	Exploité
32	216	23328	IRR	Mio pliocène	Exploité
33	228	41472	IRR	Mio pliocène	Exploité
34	225	101088	IRR	Mio pliocène	Exploité
35	196	103680	IRR	Mio pliocène	Exploité
36		124416	IRR	Mio pliocène	Exploité
37	196	124416	IRR	Mio pliocène	Exploité
38	195	77760	AEP	Mio pliocène	Exploité
39	196	77760	IRR	Mio pliocène	Exploité
40		139968	AEP	Mio pliocène	Exploité

Num	Altitude	Prélèvements m <sup>3</sup> /an	Usage	Nappe Captée	OBS
41	201	93312	AEP	Mio pliocène	Exploité
42	202	7776	IRR	Mio pliocène	Exploité
43	191	93312	IRR	Mio pliocène	Exploité
44	183	124416	IRR	Mio pliocène	Exploité
45	185	103680	IRR	Mio pliocène	Exploité
46		221616	IRR	Mio pliocène	Exploité
47	189	116640	IRR	Mio pliocène	Exploité
48	184	259200	IRR	Mio pliocène	Exploité
49	179	259200	IRR	Mio pliocène	Exploité
50	181	62208	IRR	Mio pliocène	Exploité
51	182	155520	IRR	Mio pliocène	Exploité
52	180	207360	IRR	Mio pliocène	Exploité
53	182	497664	IRR	Mio pliocène	Exploité
54	186	124416	IRR	Mio pliocène	Exploité
55	193	129600	IRR	Mio pliocène	Exploité
56	192	116640	IRR	Mio pliocène	Exploité
57	204	6480	IRR	Mio pliocène	Exploité
58	194	7776	IRR	Mio pliocène	Exploité
59	190	19440	IRR	Mio pliocène	Exploité
60	195	38880	IRR	Mio pliocène	Exploité
61	200	25920	IRR	Mio pliocène	Exploité
62	231	25920	IRR	Mio pliocène	Exploité
63	229	32400	IRR	Mio pliocène	Exploité
64	214	155520	IRR	Mio pliocène	Exploité
65	211	27993.6	IRR	Mio pliocène	Exploité
66	207	155520	IRR	Mio pliocène	Exploité
67	205	103680	IRR	Mio pliocène	Exploité
68	201	103680	IRR	Mio pliocène	Exploité
69	199	41472	IRR	Mio pliocène	Exploité
70	200	20736	IRR	Mio pliocène	Exploité
71		103680	IRR	Mio pliocène	Exploité
72	197	196992	IRR	Mio pliocène	Exploité
73	186	311040	IRR	Mio pliocène	Exploité
74	197	69120	IRR	Mio pliocène	Exploité
75	206	155520	IRR	Mio pliocène	Exploité
76	202	259200	IRR	Mio pliocène	Exploité
77	236	129600	IRR	Mio pliocène	Exploité
78	222	53913.6	IRR	Mio pliocène	Exploité
79		6220.8	IRR	Mio pliocène	Exploité
80	204	373248	IRR	Mio pliocène	Exploité

Num	Altitude	Prélèvements m <sup>3</sup> /an	Usage	Nappe Captée	OBS
81		248832	IRR	Mio pliocène	Exploité
82	200	32400	IRR	Mio pliocène	Exploité
83	214	46656	IRR	Mio pliocène	Exploité
84	223	93312	IRR	Mio pliocène	Exploité
85	209	64800	IRR	Mio pliocène	Exploité
86	200	82944	IRR	Mio pliocène	Exploité
87	194	10368	IRR	Mio pliocène	Exploité
88	189	129600	IRR	Mio pliocène	Exploité
89	211	62208	IRR	Mio pliocène	Exploité
90	233	194400	IRR	Mio pliocène	Exploité
91	253	62208	IRR	Mio pliocène	Exploité
92	283	20736	IRR	Mio pliocène	Exploité
93	253	2073.6	IRR	Mio pliocène	Exploité
94	256	15552	IRR	Mio pliocène	Exploité
95	222	248832	IRR	Mio pliocène	Exploité
96	184	41472	IRR	Mio pliocène	Exploité
97	197	13824	IRR	Mio pliocène	Exploité
98	197	4147.2	IND	Mio pliocène	Exploité
99	240	4147.2	IND	Mio pliocène	Exploité
100	347	15552	IRR	Mio pliocène	Exploité
101		129600	AEP	Mio pliocène	Exploité
102	262	33177.6	IRR	Mio pliocène	Exploité
103	262	311040	IRR	Mio pliocène	Exploité
104	436	25920	IRR	Mio pliocène	Exploité
105	544	373248	MXT	Mio pliocène	Exploité
106		103680	IRR	Mio pliocène	Exploité
107	634	279936	AEP	Mio pliocène	Exploité
108	636	279936	AEP	Mio pliocène	Exploité
117	442	20736	IRR	Mio pliocène	Exploité
118	437	31104	IRR	Mio pliocène	Exploité
119	278	103680	IRR	Mio Pliocène	Exploité
120	223	62208	IRR	Mio Pliocène	Exploité
121	230	311040	AEP	Mio Pliocène	Exploité
122	219	311040	IND	Mio Pliocène	Exploité
123	201	116640	IND	Mio Pliocène	Exploité

:

Tableau 02: Description lithostratigraphique des formations du sondage S6

X : 774.60

D.H.W, 1981

Y : 190.75

0-23	Graviers de calcaire à sables et argiles	M i o - p l i o c è n e
23-44	Graviers et galets calcaires	
44-100	Graviers avec passées d'argiles	
100-115	Argiles brunes (marnes)	
115-222	Graviers des calcaires et sables	
222-230	Argiles brunes (marnes)	
230-280	Graviers et sables à argiles	
280-287	Argiles et marnes brunes à passages de sables	
287-416	Galets, graviers et sables à passages d'argiles	
416-532	Argiles brunes plastiques avec marnes	E o c è n e
532-703	Argiles brunes plastiques à quelques passages de sables	
703-777	Intercalations des calcaires beiges et marnes grises et jaunes	
777-797	Calcaires durs et jaunes	
797-943	Marnes à intercalations de calcaires	
943-1000	Calcaires jaunes et marnes grises	

Tableau 03 : Paramètres physico-chimiques des eaux du Mio-pliocène (Brinis, 2011).

N°	Z	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	Miné	Con	pH	Faciès chimiques
1	220	280	207	398	6	823	939	154	7	2789	3.67	7.9	Chloruré-sodique
2	222	185	155	488	3	925	720	98	11	2794	3.68	8.05	Chloruré-sodique
3	235	211	242	600	3	1000	1077	314	11	3084	4.06	7.75	Chloruré-sodique
4	210	175	156	356	5	547	839	122	12	1914	2.52	7.76	Sulfaté-sodique
5	220	198	233	329	3	534	1114	154	7	2600	3.43	7.7	Sulfaté-magnésienne
6	205	180	153	485	3	810	933	107	5	2500	3.29	8.11	Chloruré-sodique
7	208	211	239	360	6	581	1213	174	11	2700	3.56	8.1	Sulfaté-magnésienne
8	208	300	244	824	6	1280	1490	210	18	4080	5.38	8.1	Chloruré-sodique
9	209	208	248	599	3	1112	1148	197	8	3187	4.2	7.85	Chloruré-sodique
10	207	302	250	875	6	1283	1511	205	12	4197	5.53	7.91	Chloruré-sodique
11	210	192	156	490	3	950	750	100	7	2801	3.69	7.95	Chloruré-sodique
12	213	194	230	327	5	530	1098	138	12	2614	3.44	7.6	Sulfaté-magnésienne
13	222	182	230	304	4	513	1008	161	11	2487	3.28	8	Sulfaté-magnésienne
14	225	200	239	348	2	541	1189	140	8	2674	3.52	7.81	Sulfaté-magnésienne
15	235	174	140	465	3	786	651	98	12	2442	3.22	7.5	Chloruré-sodique
16	228	175	142	465	3	790	650	105	21	2467	3.25	8.05	Chloruré-sodique
17	215	348	219	988	4	1320	1660	198	12	4490	5.92	8.07	Chloruré-sodique
18	216	220	231	598	3	961	1223	144	30	3688	4.86	8.05	Chloruré-sodique
19	240	180	153	475	3	918	718	104	6	2704	3.56	7.7	Chloruré-sodique
20	225	200	231	508	3	832	1097	194	14	3700	4.87	8.15	Chloruré-sodique
21	210	98	111	115	3	247	430	122	10	1003	1.32	7.4	Sulfaté-magnésienne
22	245	165	153	233	5	370	980	113	6	1807	2.38	7.6	Sulfaté-magnésienne
23	226	100	124	92	2	231	427	137	7	941	1.24	7.42	Sulfaté-magnésienne

24	217	104	141	102	4	278	448	110	5	1087	1.43	8.82	Sulfaté-magnésienne
<b>N°</b>	<b>Z</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Na</b>	<b>K</b>	<b>Cl</b>	<b>SO4</b>	<b>HCO3</b>	<b>NO3</b>	<b>Miné</b>	<b>Con</b>	<b>pH</b>	Facièces chimiques
25	250	162	96	204	2	377	650	111	1	1620	2.13	7.42	Sulfaté-sodique
26	245	170	94	211	2	380	645	122	0	1700	2.24	7.85	Sulfaté-sodique
27	206	298	233	895	6	1232	1584	192	17	4409	5.81	7.94	Chloruré-sodique
28	210	191	237	333	4	530	1104	142	11	2626	3.46	7.8	Sulfaté-magnésienne
29	206	344	222	997	5	1328	1672	184	15	4507	5.94	7.6	Chloruré-sodique
30	217	255	227	644	5	1081	1298	170	12	4003	5.27	7.85	Chloruré-sodique
31	251	269	223	431	4	824	963	184	3	2973	3.92	7.92	Chloruré-sodique
32	232	100	102	114	3	219	420	122	7	842	1.11	7.4	Sulfaté-magnésienne
33	228	154	77	198	2	310	550	131	4	1348	1.78	7.88	Sulfaté-sodique
34	229	96	114	109	3	230	421	128	10	898	1.18	7.84	Sulfaté-magnésienne

Tableau 04 : Résultats du SAR (Brinis, 2011)

N°	SAR	Con	%Na	N°	SAR	Con	%Na
1	4.395	3670	35.70%	18	6.714	4860	46.37%
2	6.399	3680	49.02%	19	6.288	3560	48.82%
3	6.686	4060	46.08%	20	5.801	4870	43.18%
4	4.713	2520	41.63%	21	1.888	1320	26.17%
5	3.753	3430	32.93%	22	3.139	2380	32.59%
6	6.420	3290	49.34%	23	1.451	1240	20.78%
7	4.028	3560	34.02%	24	1.530	1430	20.79%
8	8.558	5380	50.44%	25	3.137	2130	35.61%
9	6.637	4200	45.76%	26	3.221	2240	36.05%
10	9.011	5530	51.52%	27	9.431	5810	53.22%
11	6.363	3690	48.64%	28	3.800	3460	33.19%
12	3.759	3440	33.10%	29	10.298	5940	54.93%
13	3.532	3280	31.98%	30	7.066	5270	47.03%
14	3.930	3520	33.75%	31	4.701	3920	37.02%
15	6.361	3220	49.92%	32	1.916	1110	26.91%
16	6.327	3250	49.66%	33	3.251	1780	37.95%
17	10.212	5920	54.76%	34	1.780	1180	24.96%

Tableau 05 : Classification des eaux par degrés d'aptitude à l'irrigation par la méthode du S.A.R (In M. Louvrier 1976 -B.R.G.M-)

Degré	Qualité	Classes	L'état d'utilisation
1	"Excellente"	C1-S1	Eau utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures, sur la plupart des sols.
2	"Bonne"	C2-S1 C2-S2	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes au sel, sur sols ayant une bonne perméabilité.
3	"Admissible"	C3-S1 C3-S2 C2-S3	En général, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel, sur des sols bien drainés. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.
4	"Médiocre"	C4-S1 C4-S2 C3-S3	En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.
5	"Mauvaise"	C3-S4 C4-S3 C4-S4	Eau ne convenant généralement pas à l'irrigation mais pouvant être utilisée sous certaines conditions: sols très perméable, bon lessivage, plantes tolérant très bien le sel.

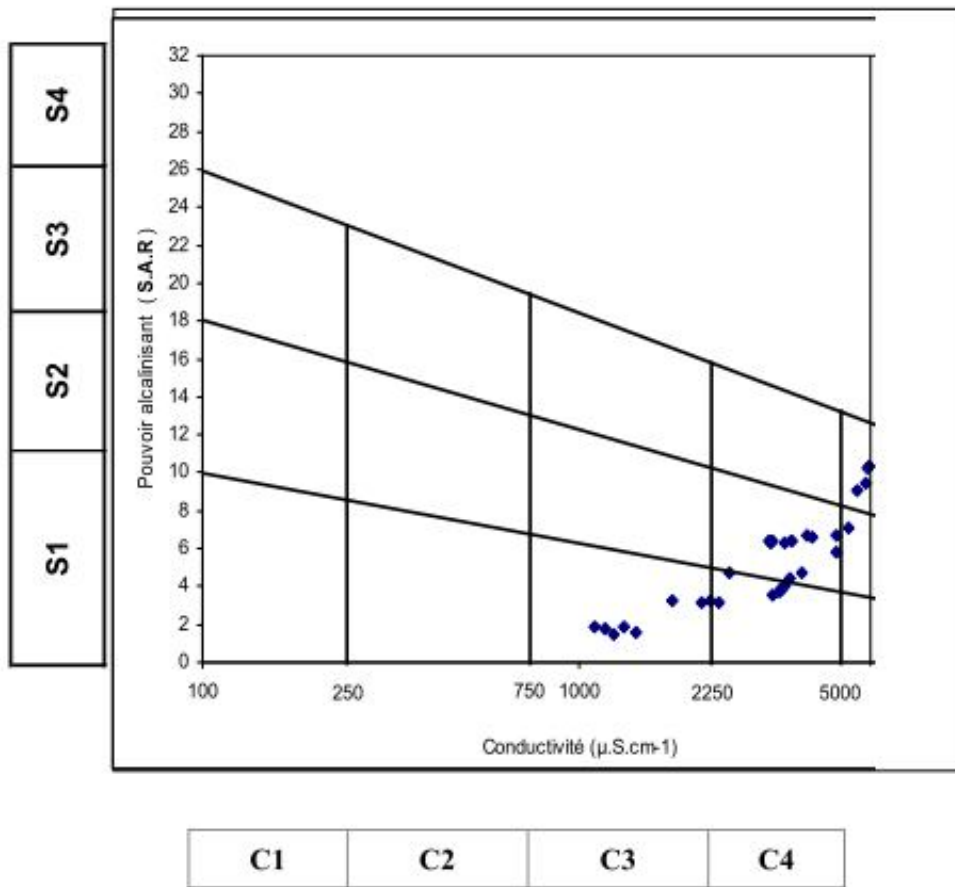


Fig.06: Classification des eaux pour l'irrigation selon la méthode de SAR (Brinis, 2011)



Tableau 07: Points de mesure du niveau piézométrique pour l'aquifère du Mio-Pliocène, dans la plaine d'El Outaya ,2008 (A.N.R.H, 2008)

Points	X	Y	Np
1	754000.53	195000.00	181.40
2	756000.00	186000.00	154.98
3	758000.00	186000.00	156.60
4	768000.00	187000.00	144.32
5	768000.00	184000.00	127.60
6	776000.00	187000.00	144.43
7	776000.00	190000.00	154.49
8	778000.00	193000.00	162.17
9	752000.00	173000.00	118.27
10	754000.00	175000.00	118.42
11	754000.00	174000.00	117.02
12	748000.00	181000.00	136.62
13	746000.00	184000.00	144.74
14	746000.00	194000.00	170.33
15	752000.00	194000.00	176.64
16	778000.00	191000.00	156.55
17	774000.00	192000.00	162.78
18	772000.00	194000.00	172.27
19	762585.49	196695.64	195.00
20	752492.13	195016.27	180.65
21	755154.16	192379.98	174.70
22	758930.34	192489.12	173.50
23	755526.39	190017.41	161.40
24	756127.89	187630.62	155.30
25	754871.27	188078.68	150.80
26	756471.60	185390.53	147.90
27	757461.61	187145.14	165.80
28	756490.38	186500.65	165.50
29	755571.21	189340.62	168.00

Tableau 08 : Points de mesure du niveau piézométrique pour l'aquifère du Mio-Pliocène, dans la plaine d'El Outaya, 2010 (A.N.R.H, 2010)

Points	X	Y	Np
1	752400.00	173200.00	177.56
2	754000.00	175200.00	176.95
3	754800.00	174800.00	176.72
4	748400.00	181200.00	186.53
5	746000.00	184000.00	195.64
6	746000.00	194000.00	227.32
7	752400.00	194000.00	236.94
8	754000.00	195200.00	243.35
9	756400.00	186000.00	178.25
10	758000.00	186000.00	180.77
11	768400.00	187200.00	209.57
12	768400.00	184000.00	200.58
13	776400.00	187200.00	216.30
14	776400.00	190000.00	222.57
15	778000.00	193200.00	229.58
16	750000.00	176000.00	179.88
17	778000.00	191200.00	225.40
18	774000.00	192000.00	227.22
19	772400.00	194000.00	232.88
20	762585.49	196695.64	254.00
21	752492.13	195016.27	240.34
22	755154.16	192379.98	238.74
23	758930.34	192489.12	220.75
24	755526.39	190017.41	204.97
25	756127.89	187630.62	187.67
26	754871.27	188078.68	192.29
27	756471.60	185390.53	175.39
28	757461.61	187145.14	184.24
29	756490.38	186500.65	180.60
30	755571.21	189340.62	200.13