

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA

FACULTÉ DES HYDROCARBURES, DES ÉNERGIES RENOUVELABLES ET DES
SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS



Mémoire de Master Académique

Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière : Géologie

Spécialité : Hydrogéologie

THEME

Etude des ressources hydriques de la région de Béni Ounif

Présenté par

Mr. ARFA ABDELLAH

Soutenu publiquement le : 23-06-2019

Devant le jury :

Président :	Mr.BELKSIER Mohamed Salah	MCA. Univ. Ouargla
Promoteur :	Mr.BOUSELSAL Boualem	MCA. Univ. Ouargla
Examineur :	Mr.HOUARRI Idir Menad	MAA. Univ. Ouargla

Année Universitaire : 2018/2019

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail À la mémoire de
ma mère*

A mon cher père que dieu le garde

*A mon frère et mes sœurs (Khaled, Marwa,
Safa et Warda).*

Pour leurs soutien et leurs encouragement.

A Toutes ma grande famille, Arfa et Bouali

Et Je mentionne surtout

*Mes Tantes et mes oncles ainsi que mes cousins,
mes cousines et toute mes amies.*

ARFA ABDELLAH

Remerciements

Dieu merci m'avoir donné la santé, tout puissant et la volonté qui m'a aidé et donné le courage pour mener à bien ce modeste travail.

Je tiens particulièrement à remercier l'encadreur Mr- BOUSELSAL Boualem, maitre de conférences au département de sciences de la terre et de l'univers à université de Kasdi Merbah Ouargla, pour avoir dirigé ce travail, pour sa patience et sa gentillesse, qu'il trouve ici mes respects. J'exprime ma reconnaissance et mes remerciement aux Dr BELKSIER M.S et Dr HOUARRI I.M Pour avoir accepté de juger ce travail.

Je remercier également mes enseignants de département de sciences de la terre et de l'univers de l'université de Kasdi Merbah Ouargla qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

J'exprime ma reconnaissance au DRE d'Ouargla, Mr. Noureddine Hamidatou, le directeur Régionale de ANRH (Adrar : Mr Ansari Taha, et M^{me} Issolah chef de projet département du surface chez division exploration Sonatrach pour son amitié, ces aides et son soutien pour la réalisation de ce travail, qu'il trouve ici ma considération.

Un remerciement particulier à Mr MEHALLI Mustapha Chef de Département Mise en Valeur (CDARS, MADRP – Ouargla), à Mr BEN HAMIDA Slimane Chef de service Gestion des Réseaux (ANRH Ouargla) et à Mr Zouhir Cheflabo (ANRH Béchar).

Je remercier également à toute la promotion master 2019 pour leur respect et soutien moral ; et à Tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin pour arriver à réaliser ce travaille. *ou de loin pour arriver à réaliser ce travaille.*

ACRONYMES

ADE : Algérienne Des Eaux.

ABH : Agence de Bassin Hydrographique du Sahara.

AEP : Alimentation en Eau Potable.

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

BURGEAP : Bureau d'Études de Géologie Appliquée

CEP : Compagnie d'Exploration Pétrolière.

CI : Continental Intercalaire.

CT : Complexe Terminal.

DEM : Digital Élévation Model.

DRE : Direction des Ressources en Eau (ex. DHW)

DSA : Direction des Services Agricole.

ERESS : Étude des Ressources en Eau du Sahara Septentrional.

ETP : Évapotranspiration Potentielle.

ETR : Évapotranspiration Réelle.

GPS : Global Positioning System.

MNT : Modèle Numérique de Terrain.

OSS : Observatoire du Sahara et du Sahel

PDGDRS : Plan Directeur Général de Développement des Régions Sahariennes.

SASS : Système aquifère du Sahara septentrional.

SI : Système d'information.

SIG : Système d'information géographique.

.

Liste des Figures

N°	Titre de figure	Page
Partie 01		
Figure n° 1 :	Situation géographique de la région d'étude	03
Figure n° 2 :	Répartition des bassins du Sahara Algérien (Wec2007).	06
Figure n° 3 :	Carte géologique de Sahara Algérien (Deleau 1952)	07
Figure n° 4 :	Bloc diagramme de la géologie de la région d'étude	07
Figure n° 5 :	Carte géologique de Beni ounif (Deleau, 1952)	08
Figure n° 6 :	Histogramme de variations des températures moyennes annuelles	11
Figure n° 7 :	Histogramme de variations des températures moyennes mensuelles	12
Figure n° 8 :	Histogramme de variations des précipitations moyennes annuelles	12
Figure n° 9 :	Histogramme de variations des précipitations moyennes mensuelles	13
Figure n° 10 :	Diagramme Ombrothermique pour la période .	13
Figure n° 11 :	Histogramme de la vitesse des vents à la station de Béchar	14
Figure n° 12 :	Histogramme de l'humidité relative à la station de Béchar	14
Figure n° 13 :	Histogramme de l'Insolation à la station de Béchar	15
Figure n° 14 :	Climagramme d'Emberger station de Béchar	16
Figure.n° 15 :	Présentation des termes du bilan hydrique de la station de Béchar	17
Figure.n°16 :	carte de bassin versant d'Oued Namous dans le Grand Erg Occidental	18
Figure.n°17 :	Les ouvrages de chemin de fer avec des ouvertures étroites ³	19
Figure.n°18 :	Réseau hydrographique des sous-bassins des oueds Sidi Aïssa	20
Figure.n°19 :	Rectangles équivalents (A) et courbes hypsométriques (B)	21
Figure.n°20 :	Profil en long du cours d'eau principale.	22
Partie 02		
Figure.n°21:	Carte hydrogéologique du système aquifère CI et CT	24
Figure.n°22 :	Age des eaux du CI d'après la teneur en carbone 14 (OSS, 2003)	25
Figure n° 23:	Carte des ressources en eau de la wilaya de Béchar	26
Figure n°24 :	Logging montrant différent Aquifères de la zone d'étude.	27
Figure n°25 :	litho stratigraphie montrant différent Aquifères de la zone d'étude.	28
Figure. n°26:	Carte en isopaque du CI dans la région de Beni Ounif.	29
Figure n° 27 :	Carte géologique drapée sur diagramme hydrogéologique du bassin	30

N°	Titre de figure	Page
Figure.n° 28	Carte piézométrique de la nappe de continentale intercalaire de Beni	31
Figure n°29	Coupe litho stratigraphique d'un forage d'eau capte la nappe de CI de Béni Ounif.	32
Figure n°30:	Quadripôle de Schlumberger	33
Figure n°31:	Les matériels de sondages électriques.	34
Figure. n°32:	Carte de situation des sondages électriques verticaux (SEV)	36
Figure. n°33 :	Log de forages d'étalonnage	37
Figure n° 34 :	Etalonnage a l'aide du forage J3-44	38
Figure n° 35 :	Etalonnage a l'aide du forage J4-45	39
Figure n° 36 :	coupes géoélectriques du profil A, B, C, E, F.	41
Figure n° 37:	Coupes géoélectriques du profil G. H. I. J. K. L. M.	42
Figure n° 38:	Carte des resistivites apparentes (AB = 400 M)	43
Figure n° 39	Carte des resistivites apparentes (AB = 1000 M)	44
Figure n° 40	Carte des resistivites apparentes (AB = 2000 M)	45
Figure n° 41	La carte d'isobathes du toit du substratum Jurassique	46
Figure n° 42	Carte d'implantation des forages proposés	47
Figure n° 43	Perspectives d'évolution de la population de la commune de Beni ounif.	48
Figure n° 44	Situation de L'AEP de région de Beni Ounif dans la wilaya de Béchar	51
Figure n° 45 :	Perspectives d'évolution de la demande en eau d'irrigation entre 2013- 2030.	54
Figure n° 46 :	le projet hydraulique de transfert des eaux de CI du champ de captage	55
Partie 03		
Figure n° 47 :	Carte d'inventaire des forages de continental intercalaire analysé	58
Figure n° 48 :	Diagramme de Piper des eaux de la nappe superficielle de Beni ounif	59
Figure n° 49 :	Diagramme de Stiff des eaux de la nappe superficielle de Beni ounif	60
Figure n° 50 :	Diagramme de classification des eaux d'irrigation en fonction du S.A.R	62
Figure n° 51 :	Relations entre Ca^{+2} vs $SO4^{-2}$	63
Figure n° 52	Relations entre Na^{+} vs $SO4^{-2}$	63
Figure n°53 :	Relations entre Na^{+} vs Cl^{-}	64
Figure n°54	Relations entre Mg^{+2} vs Cl^{-}	64
Figure n° 55 :	Diagramme de Piper des eaux de surface de la région de Beni ounif.	65
Figure n° 56 :	Diagramme de Stiff des eaux de la nappe continental intercalaire de	66
Figure n° 57 :	Histogramme de variation de la température des eaux de CI.	68
Figure n° 58	Histogramme de variation de la conductivité des eaux de CI.	68

N°	Titre de figure	Page
Figure n° 59	Histogramme de variation de Potentiel Hydrogène (pH) des eaux de	69
Figure n° 60	Histogramme de variation de résidu Sec des eaux de CI.	69
Figure n° 61	Histogramme de variation de la teneur en calcium des eaux de CI	70
Figure n° 62	Histogramme de variation de la teneur en Magnésium des eaux de CI	70
Figure n° 63	Histogramme de variation de la teneur en Sodium des eaux de CI	71
Figure n° 64	Histogramme de variation de la teneur en Potassium des eaux de CI	71
Figure n° 65	Histogramme de variation de la teneur en Chlorures des eaux de CI	72
Figure n° 66	Histogramme de variation de la teneur en Sulfates des eaux de CI	73
Figure n° 67	Histogramme de variation de la teneur en bicarbonates des eaux de CI	73
Figure n° 68:	. Histogramme de variation des nitrates dans la nappe de CI	74
Figure n° 69	Histogramme des variation des autre paramètres physique chimique	74
Figure n° 70:	Evolution du SAR en fonction de la conductivité des eaux de	75
Figure n° 71:	Indices de la qualité des eaux de la nappe de continentale intercalaire	76
Figure n° 72:	Carte des sites d'essai francais à l'occuper le première années après l'indépendance (Carola Monjan).	82
Figure n° 73:	montrant la position du site B2namous dans la zone de Beni ounif.	83
Figure n° 74:	Les cartes d'approche à vue et d'atterrissage de Colomb-Béchar dans la région de Béni Ounif en mai 1961.	83

Liste des Tableaux

N° de Tab	Titre de tableau	Page
Partie 01		
Tableau n° 1.1 :	Caractéristiques de la station pluviométrique de Bechar	12
Tableau n° 1.2 :	Données sur la vitesse des vents dans la station de Béchar (1999-2018)	15
Tableau n° 1.3 :	Données de l'humidité relative à la station de Béchar(1999-2018).	15
Tableau n° 1.4 :	Données sur l'Insolation dans la station de Béchar (1999-2018)	16
Tableau n° 1.5 :	Bilan d'eau selon C.W.Thornthwaite à la station de Béchar (1999-201)	18
Tableau n° 1.6 :	Les altitudes en fonction de la distance cumulée	23
Tableau n° 1.7 :	Classification ORSTOM du relief à partir de l'indice de pente global	23
Tableau n° 1.8 :	Caractéristiques géomorphologiques des sous bassins versants	24
Partie 02		
Tableau n° 2.1 :	plage de variation de résistivité des roches	40
Tableau n° 2.2 :	plage de variation de résistivité des eaux.	41
Tableau n° 2.3 :	Calcul du Modèle au forage J3-44	43
Tableau n° 2.4 :	Calcul du Modèle au forage J3-45.	44
Tableau n° 2.5 :	Echelle des résistivités adoptées pour la zone d'étude	45
Tableau n° 2.6 :	Ouvrages proposés pour l'exploration hydraulique.	51
Tableau n° 2.7 :	Population totale des wilayas de Béchar et par horizon.	54
Tableau n°2.8 :	Demande en eau à l'AEP de la commune Beni ounif et Bechar	56
Tableau n°2.10 :	Superficiel irriguée par wilaya et par horizon.	57
Tableau n°2.11 :	Demande en eau d'irrigation par wilaya et par horizon.	57
Tableau n°2.12 :	Montrant modes d'irrigation pratiqués de la commune Béni ounif	58
Tableau n°2.13 :	Demande en eau d d'irrigation dans wilaya de Bechar en (hm3/an).	58
Tableau n° 2.14 :	Superficiel irriguée et la demande en eau d'irrigation à Béni ounif	59
Tableau n°2.15 :	Demande en eau industriel de la wilaya de Bechar (enhm3/an).	59
Partie 03		
Tableau n° 3.1 :	Statistiques élémentaires des paramètres physico-chimiques mesurées	61
Tableau n° 3.2 :	Classification des eaux d'irrigation (méthode Richards	67
Tableau n°3.3 :	Matrice de corrélation	6
Tableau n° 3.4 :	représente Statistiques descriptives (Données quantitatives).	73
Tableau n° 3.5 :	classes de Turbidité usuelles (NTU ; néphélobimétrie turbidité unit).	80
Tableau n° 3.6 :	les poids relatifs des paramètres physico-chimiques	88
Tableau n° 3.7 :	Classification des eaux souterraines selon la méthode IQE	88

Table des Matières

N°		Page
	<i>Introduction Générale</i>	I
	<i>PARTIE I : PRESENTATION GENERALE DU CADRE D'EETUDE</i>	
1	Situation géographique de la zone d'étude	4
2	Aspect socioéconomique	5
2.1	Agriculture	5
2.2	Industrie	5
2.3	Tourisme	5
3	Aspect géomorphologique et topographique	5
3.1	Les roches nues	5
3.2	Les Regs	5
3.3	Les dalles calcaires lacustres	6
3.4	Les sols alluviaux	6
3.5	Les dunes	6
3.6	Les solontchar	6
3.7	Réseau Hydrographique	6
4	GEOLOGIE DE LAREGION	6
4.1	Situation du bassin d'Oued Namous (Beni ounif)	6
4.2	Lithostratigraphie de la région de Beni Ounif	9
4.2.1	Le Socle primaire	9
4.2.2	Le Permo–Trias	10
4.2.3	Jurassique	10
a	Le Lias	10
	Dogger	11
4.2.4	Crétacé (Albien, Cénomaniens et Turonien):	11
4.2.5	Quaternaire	11
5	Contexte climatologique	12
5.1	La Température	12
5.2	La Précipitation	13
5.3	Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN	14
5.4	Le Vent	14
5.5	Humidité relative de l'air	15
5.6	L'insolation	15
5.7	Détermination des Indices climatiques de la région	16
5.8	Évapotranspiration	17
5.8.1	Utilisation la formule de Thornthwaite	17
5.8.2	Utilisation la formule de Turc	17
5.9	Bilan hydrique	18
6	Hydrologie de la zone d'étude	18
6.1	Bassin versant Oued Namous	19
6.2	La situation la ville de Beni Ounif dans ces contextes	20
6.3	Caractéristiques hydrographiques des sous bassins versants	20
6.4	Les caractéristiques morphométriques	21
7	conclusions	25

PARTIE II : HYDROGEOLOGIE

N°		Page
1	Définition du système aquifère et extension régional du CI	27
1.2	Recharge de la nappe de continentale intercalaire	28
1.3	Contexte hydrogéologique de la région de Béchar	28
1.4	La variation piézométrique de l'Aquifère superficielle	32
1.5	L'Aquifère du Continental Intercalaire (CI) de Béni Ounif	34
1.5.1	Géométrie de la nappe de CI de Beni Ounif	34
1.5.2	Piezométrie de la nappe de CI de Beni Ounif	36
2	Exploration géophysique de la région béni ouunif	33
2.1	Aspects théoriques de la méthode de sondage par prospection électrique	33
2.1.1	Méthodes de prospection électrique	33
2.1.2	Le traîné électrique	34
2.1.3	Le sondage électrique vertical	35
2.2	Exécution des sondages électriques verticaux dans la région de Béni Ounif	36
2.2.1	Etalonnage a l'aide du forage J ₃₋₄₄	37
2.2.2	Etalonnage a l'aide du forage J ₄₋₄₅	38
2.2.3	Echelle de résistivité	39
2.2.4	Interprétation des coupes géoélectriques	40
2.2.5	Interprétation des cartes résistivités apparentes	43
2.2.6	Carte du toit du substratum jurassique	45
2.2.7	Carte d'implantation des forages proposés	46
3	Gestion des ressources en eau dans la région de Beni Ounif	48
3.1	Evolution de la population totale des wilayas de Béchar et par horizon	48
3.2	Evaluation de la demande en eau potable dans la commune de Beni Ounif	50
3.3	Evaluation de la demande en eau d'irrigation dans la commune de Beni ouunif	52
3.4.	Evaluation de la demande en eau pour industrie dans la commune de Beni ouunif	54
3.5	Le projet de transfert hydraulique	54
4	Conclusion	56

PARTIE III : HYDROCHIMIE

N°		Page
1.	Introduction	57
2.	Les Compagnes d'échantillonnages	57
3.	Matériels et Méthode d'analyse de l'eau	58
4.	Caractérisation hydrochimiques de la nappe superficielle	59
4.1	Facies chimique	59
4.2	Évaluation de la potabilité des eaux	59
4.3	Aptitude des eaux à l'irrigation	61
4.4	Origine de minéralisation de la nappe superficielle de la région du Béni Ounif	62
4.4.1	Analyse statistique	62
4.4.2	Etude des rapports caractéristiques	63
5.	Caractérisation hydrochimiques de la nappe de continentale intercalaire (CI)	65
5.2	Les faciès chimiques	67
5.2.1	La température (T°)	67
5.2.2	Conductivité (EC)	68
5.2.3	Potentiel Hydrogène (pH)	68
5.2.4	Résidu Sec	69
5.3	Les éléments majeurs	69
5.3.1	Le Calcium (Ca ⁺²)	70
5.3.2	Le Magnésium (Mg ⁺²)	70
5.3.3	Le Sodium (Na ⁺)	70
5.3.4	Le Potassium (K ⁺)	71
5.3.5	Les Chlorures (Cl)	72
5.3.6	Les Sulfates (SO ₄ ⁻²)	72
5.3.7	Les Bicarbonates (HCO ₃ ⁻)	73
5.4	Les substances indésirables	73
5.4.1	Les Nitrates (NO ₃ ⁻)	73
5.4.2	Les Nitrites (NO ₂ ⁻)	74
5.4.3	L'Ammonium (NH ₄ ⁺)	74
5.4.4	Les Phosphates (PO ₄ ⁻)	75

5.5	Aptitude de l'eau à l'utilisation agricole	75
5.6	Aptitude de l'eau à la consommation humaine	76
5.6.1	Définition de la méthode de l'indice de qualité des eaux souterraines	77
5.6.2	Histoire de l'évolution de la méthode (IQE)	77
5.6.3	Utilisation de l'indice de qualité de l'eau dans le contexte international	79
5.6.4	Le premier indice moderne celui de HORTON	80
5.6.5	Calcul de l'indice de la Qualité des eaux de continental intercalaire	81
6.	Impact des essais nucléaire sur les aquifères de la région	82
	Conclusion Générale et Recommandations	87
	Références Bibliographie	90
	Annexes	

Résumé

La région de Béni Ounif (SO Algérie) s'étend sur une superficie de 42730 km², sa population est estimée à 13000 habitants. Le climat de la région est de type saharien, la hauteur précipitation annuelle ne dépassent pas 32 mm. Le système aquifère de la région est constitué de trois nappes, de bas en haut on distingue : la nappe de continentale intercalaire d'âge Crétacé inférieur, constitué d'une alternance de couche grés-sableuse-argileuse, elle est surmontée par la nappe de complexe terminal d'âge Turonien, constitué calcaro-dolomitique d'épaisseur de 50 m, et la surface on trouve la nappe libre superficielle constituée des alluvions d'âge quaternaires. L'étude hydrochimique des nappes de la région de Béni Ounif montre que les eaux de la nappe superficielle sont très minéralisée par apport la nappe du continental Intercalaire (CI). Évaluation de la potabilité des eaux de la nappe superficielle est acceptable pour l'alimentation en eaux potable à l'exception de quelques forages où les concentrations de nitrates et de sulfates dépassant les normes algériennes. Pour le champ de captage des eaux de l'albien, l'évaluation de la potabilité des eaux est faite par la méthode de l'indice de la qualité des eaux (WQI), montre qu'elles sont de qualité excellente. La représentation des eaux sur le diagramme de Riverside montre que les eaux de la nappe superficielle sont de qualité excellente, bonne et admissible pour l'irrigation, et les eaux de CI s'arrangent de qualité bonne et admissible pour l'irrigation.

Mots clés : Béni Ounif, continentale intercalaire, WQI, potabilité, irrigation.

summary

The region of Beni Ounif (SO Algeria) extends over an area of 42,730 km², its population is estimated at 13,000 inhabitants. The climate of the region is of Saharan type, annual precipitation height do not exceed 32 mm. The aquifer system of the region consists of three layers, from bottom to top we can distinguish: the intercropping continental sheet of lower Cretaceous age, consisting of an alternation of sandstone-clay layer, it is surmounted by the sheet of Turonian-age terminal complex, calcaro-dolomitic in thickness of 50 m, and the surface is the surface free layer consisting of quaternary alluvium. The hydrochemical study of the aquifers of the Béni Ounif region shows that the waters of the superficial aquifer are very mineralized by adding the continental Intercalaire (CI) aquifer. Assessment of the potability of surface water is acceptable for drinking water supply with the exception of a few boreholes where nitrate and sulphate concentrations exceed Algerian standards. For the water catchment area of the albian, the assessment of the drinking water quality is done by the method of the water quality index (WQI), shows that they are of excellent quality.

The water representation on the Riverside diagram shows that the waters of the surface water are of excellent, good and acceptable quality for irrigation, and CI waters are of good and acceptable quality for irrigation.

Key words: Beni ounif, Ounif, Inland Continental, WQI, Potability, Irrigation.

ملخص

تمتد منطقة بني عونف (الجزائر) على مساحة 42730 كيلومتر مربع، ويقدر عدد سكانها بـ 13000 نسمة. مناخ المنطقة من النوع الصحراوي، لا يتجاوز ارتفاع هطول الأمطار السنوي 32 مم. يتكون نظام طبقة المياه الجوفية في المنطقة من ثلاث طبقات، من أسفل إلى أعلى يمكننا تمييزها: الطبقة القارية المتداخلة من العصر الطباشيري السفلي، والتي تتكون من تناوب لطبقة من الحجر الرملي، ويعلوها طبقة من مجمع طوروني من العصر التوروني، كالكارو دولوميت بسماكة 50 متر، والسطح هو الطبقة السطحية الخالية من الرواسب الرباعية. تبين الدراسة الهيدروكيميائية لمستودعات المياه الجوفية في منطقة بني عونف أن مياه الطبقة الجوفية السطحية تمعدن للغاية من خلال إضافة طبقة المياه الجوفية المتداخل القاري. يُعتبر تقييم إمكانات المياه السطحية مقبولاً لإمدادات مياه الشرب باستثناء عدد قليل من الآبار التي تتجاوز فيها تركيزات النترات والكبريتات المعايير الجزائرية. بالنسبة لمنطقة مستجمعات المياه للعصر البيني، يتم تقييم جودة مياه صالحة للشرب عن طريق طريقة مؤشر جودة المياه (WQI)، مما يدل على أنها ذات جودة ممتازة. يوضح تمثيل المياه في مخطط ريفرسايد أن مياه المياه السطحية ذات جودة ممتازة وجيدة ومقبولة للري، وأن مياه المتداخل القاري ذات نوعية جيدة ومقبولة للري.

الكلمات المفتاحية: بني أونيف، الداخلية القارية، WQI، صالحة للشرب، الري.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction Générale

La Wilaya Béchar et surtout la région de Beni ounif connu ces dernières années une croissance démographique rapide ordre de 11778 hab (en 2015), suivi d'une activité humaine importante qui couvre presque tous les domaines Agricoles, Industriels et Touristiques, en parallèle, les besoins en eau ont augmenté, le recours à l'utilisation des nouvelles techniques de captage et d'exploitation des eaux profondes pour subvenir à la demande croissante sur l'eau, l'exode des agriculteurs vers les grands périmètres de mise en valeur, la limite géologique, le rabattement de la nappe du Continentale Intercalaire

Cette étude a pour donner les grandes lignes de fonctionnement du système traditionnel de captage des eaux, de faire un diagnostic des différents paramètres qui influent sur le bon fonctionnement de ce système et de suivre l'évolution quantitative et qualitative des eaux de ce système durant les 10 ans passées .

Ce travail s'appuie ,d'autre part sur les résultats des analyses des études antérieurs telles que le projet hydraulique d'envergure de transfert des eaux albiennes du champ de captage permettre le transfert quotidiennement de 30.000 m³ d'eau à partir de dix (10) forages d'une profondeur variante en 400 a 500 mètres , et qui sont tous localisés dans la région de Béni-Ounif orientés vers l'exploitation de l'aquifère de continental intercalaire (CI) a la fin d'avril 2019 de 190 km de conduites, de trois (3) stations de pompage et de deux grands réservoirs de 15.000 et 20.000 m³, qui seront alimentés à partir des forages précités, soit pour l'AEP vers cinq communes de la wilaya à savoir Bechar,Kenadza, Abadla, Mechraa Houari-Boumediene et Erg Farradj, sera réceptionné et mis en service dès la fin du mois d' prochain sont pour le but de la sécurisation de l'alimentation en eau potable des habitants des mêmes collectivités . les résultats de cette étude seront utilisés dans le cadre d'une modélisation hydrodynamique pour la gestion et la protection de la nappe de beni ounif.

Objectif de ce travail c'est en 1^{ère} Améliorer l'état de connaissances sur la zone d'étude, et d'évaluer la qualité physico-chimique des eaux des nappes Quaternaire et CI, pour les différents usages et la compréhension des comportements géochimiques des eaux, en réponse à certains fonçages naturels et anthropiques, par l'étude combinée des rapports ioniques et analyses statistiques des analyses physicochimique effectuées dans le cadre de cette étude.

Ce travail est divisé en trois parties:

La partie 01. Présentation générale du cadre d'étude : nous présentons des généralités

sur la zone d'étude, relatives à la situation géographique, à l'occupation de sol, aux caractéristiques socio-économiques de la région, à la géologie et à la climatologie.

La partie 02. Etude hydrogéologique : nous présentons une étude hydrogéologique de la zone d'étude, en commençant par la présentation et la localisation de la zone d'étude dans le SASS, puis par l'identification des l'aquifères de Béni Ounif. L'étude de la nappe superficielle à été effectuée par les sondages électriques verticaux et l'analyse des logs stratigraphiques des forages hydrauliques existants dans la région. La gestion des eaux dans la région à été traité surtout que la région renferme un champ de captage destiné à l'alimentation de la ville de Béchar et cinq autres communes.

La **Partie 03. Etude hydrochimique :** elle est consacrée à l'évaluation des qualités physico-chimiques des eaux de différents aquifères de Béni Ounif, par apport à la norme algérienne, ainsi que ses aptitudes à l'irrigation. L'origine de la minéralisation des eaux de la nappe superficielle à été étudié par l'application de la méthode des rapports caractéristiques.

Partie 1

Présentation générale du cadre d'étude

1. Situation géographique de la zone d'étude

La zone d'étude fait partie de la wilaya de Bechar, elle se localise au sud-ouest de l'Algérie. Le chef lieu de Béni Ounif se trouve à 110 km de la ville de Bechar (Fig.1), elle s'étend sur une superficie de 42730 km², elle se trouve entre la longitude 4° Ouest et 3° Est et la latitude 30° et 33° Nord, sa population est estimée à 13000 habitants (en 2017), soit une densité de 1.01 hab/km². D'autre part la commune de Béni Ounif représente le point frontalier avec le royaume du Maroc. Administrativement elle est limitée par :

- Au nord, la commune de Djenein Bourezg, daïra de Moghrar (wilaya de Naama) et la frontière algéro-marocaine.
- Au sud, les communes d'El-ouata et Kerzaz (wilaya de Béchar).
- Au l'ouest, les communes de Béchar, Taghit et Moughel.
- Au l'est, la commune d'El-biodh sisi cheikh (wilaya d'El-bayadh).

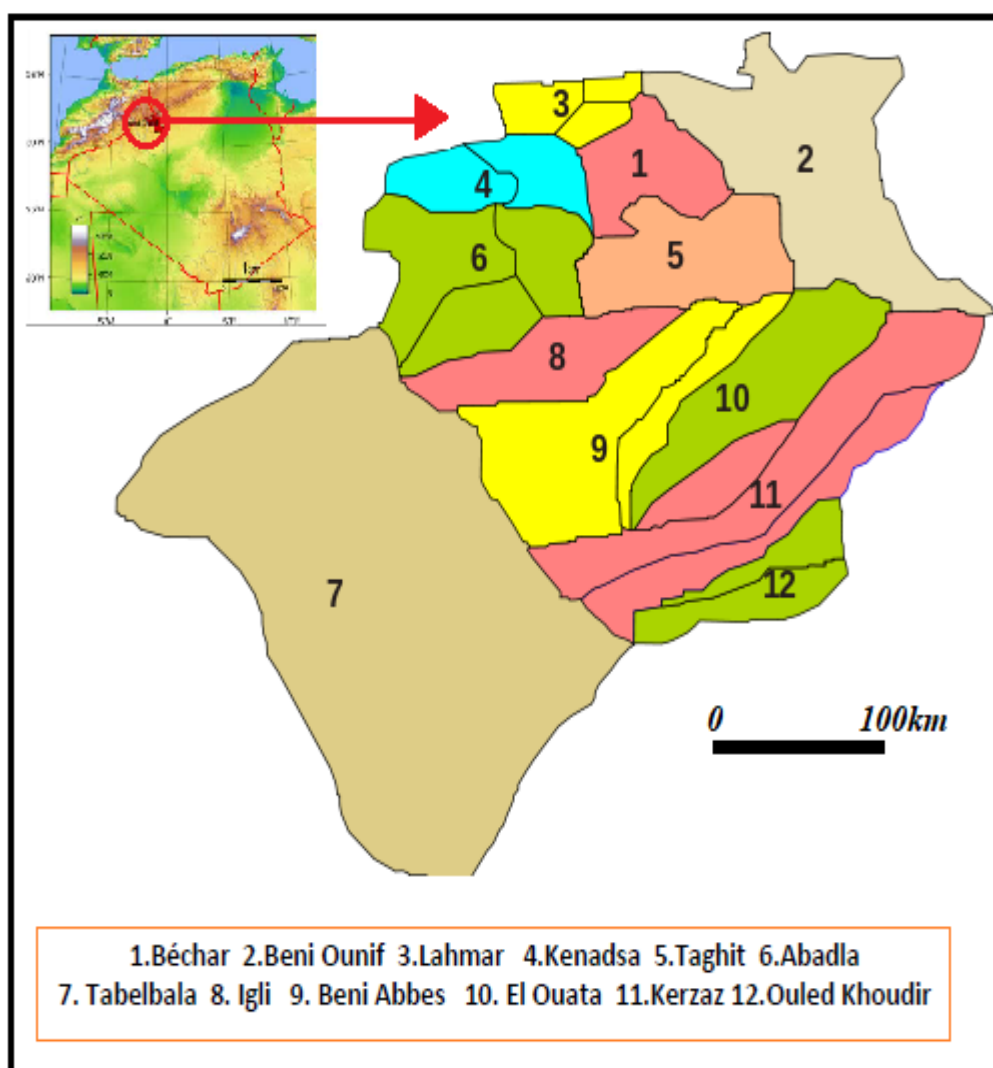


Figure 1. Situation géographique de la région d'étude

2. Aspect socioéconomique

2.1. Agriculture : Le secteur agricole a connu une grande expansion dans les années 90, avec la subvention de l'état, des centaines des forages sont réalisés, des milliers d'hectares sont cultivés, dans le cadre de la mise en valeur des grands périmètres pour la production des céréales et autres cultures pour une autosuffisance de la région, les périmètres de mise en valeur sont situées à la partie nord de la zone d'étude en amont des bassins de oued Namous beni ounif.

A l'intérieur de la palmeraie, on trouve plusieurs variétés de cultures sont produites dont le rendement est très faible à cause, des faibles superficies et les méthodes d'irrigation traditionnelles utilisées, généralement ces cultures sont utilisées pour une autoconsommation Journalière.

Pour l'élevage Vu la rareté des précipitations et l'aridité de la région, les pâturages sont inexistantes ce qui constitue l'entrave principale qui gêne le développement de l'élevage dans cette région, quelques espèces animales typiques aux régions sahariennes, camelins, Caprins, ovins et des centaines de bovins constitue la ressource animale dans la région.

2.2. Industrie : La région d a connu ces dernières années une dynamique industrielle accélérée avec la découverte des gisements de gaz et pétrole, elle est devenue un pôle industriel avec la réalisation du champ de captage, en ajoutant plusieurs petites usines (briqueterie, minoterie...etc.).

2.3. Tourisme : La région de beni ounif se caractérise comme toutes les wilayates du grand Sud par une grande activité touristique surtout durant les périodes festivières.

3. Aspect géomorphologique et topographique

Le secteur d'étude fait partie d'une grande zone allongée sensiblement orientée Est- Ouest, elle renferme quelques traits morphologiques suivants :

3.1. Les roches nues : Elles correspondent aux roches mères inaltérées ne supportant pas de sols au sens propre du terme. Elles sont limite des cas polies par la corrosion et généralement enduites d'une sorte de verni noir « hâle du désert ».

3.2. Les Regs : Produit d'ablation et d'accumulation de cailloutis ne dépassant guère un mètres d'épaisseur .Ces regs sont deux types .L'un autochtone, dont les éléments n'ont pas été transportés, ils ont été simplement polis et bruinés par le vent et proviennent généralement des grés crétacés. L'autre dit allochtone dont les éléments sont des dépôts de pente formés par des cailloux de calcaire jurassique vermiculés par l'activation des parties tendres ,par les grains de sable transportés par le vent .la granulométrie des regs est décroissante de haut en bas .

3.3. Les dalles calcaires lacustres : Elles ne portent aucune végétation .leur épaisseur atteint quelques centimètres à quatre mètres. Les principaux gisements se trouvent au col de Zenaga, dans l'oued **Mélias** et Djenane Tarf au sud de Béni-Ounif .Ces gisements contiennent une faune d'eau douce. Leur analyse a montré qu'ils formés par un amalgame de grains sableux, de limons, d'argiles et de calcaires vacuolaires.

3.4. Les sols alluviaux : Ils sont soit caillouteux formés au dessus d'une roche calcaire consolidée. Soit des sols de dayas qui sont des dépressions à fond perméable dans lesquelles s'accumulent les eaux au moment des pluies, soit ceux des terrasses su lesquelles sont implantées les différentes palmeraies de la région .Les analyses ont montré que les premiers sont formés par des débris calcaires plus au moins caillouteux de quatre vingt centimètre d'épaisseur ou l'on remarque l'absence des sels solubles en surfaces .les seconds ont une granulométrie assez variée, allant des sables grossiers à une profondeur de 50 cm jusqu'aux argiles en surfaces ou on a pu constater une concentration de sels solubles .Au contraire, les derniers sont généralement argileux, épaisseur de 2 mètres et plus riches en sels solubles qui tendent à migrer en profondeur. L'analyse du sol de palmerais de Béni Ounif montre que ces sels s'accumulent généralement en surface à la suite des irrigations.

3.5. Les dunes : Elles se forment le long des grands Oueds (Zousfana), certaines peuvent grimper le long des montagnes (abords de chebket temednaia).

3.6. Les solontchar : Ces sols se forment dans les bas fonds ou l'eau stagne, jamais dans les autres régions. Ils présentent des accumulations considérables de sels en surface; provenant de l'évaporation sur place des eaux excédentaires lors des crues ou des irrigations.

3.7. Réseau Hydrographique : La région de Beni ounif appartient à l'unité du bassin occidental du Sahara Septentrional, en raison des faibles précipitations, le réseau hydrographique est peu développé seul l'Oued Oued Namous existe, il est temporaire et sec depuis quelques années.

4. GEOLOGIE DE LAREGION

4.1. Situation du bassin d'Oued Namous (Beni ounif)

La zone d'étude fait partie de la grande plateforme saharienne, située au Sud de l'Algérie, elle appartient au Craton Nord-Africain, appartienne au socle précambrien sur lequel repose en discordance sur une puissante couverture sédimentaire, structurée au paléozoïque en plusieurs bassins (Fig. 2) **Fabre J. (1976) ;**, on distingue de l'Ouest à Est:

- Le Bassin de Tindouf
- Les bassins de Boubernous et Ougarta

- Le bassin de Béchar (Oued Namous / Beni ounif)
- Le bassin d'Ahnet-Timimoun
- Les bassins Azzene et Azzel Matti
- Le bassin de Sbaâ
- Le bassin de Reggane
- Les bassins du Mouydir et de l'Aguemour-OuedMya
- Le Bassins d'Illizi-Ghadamès

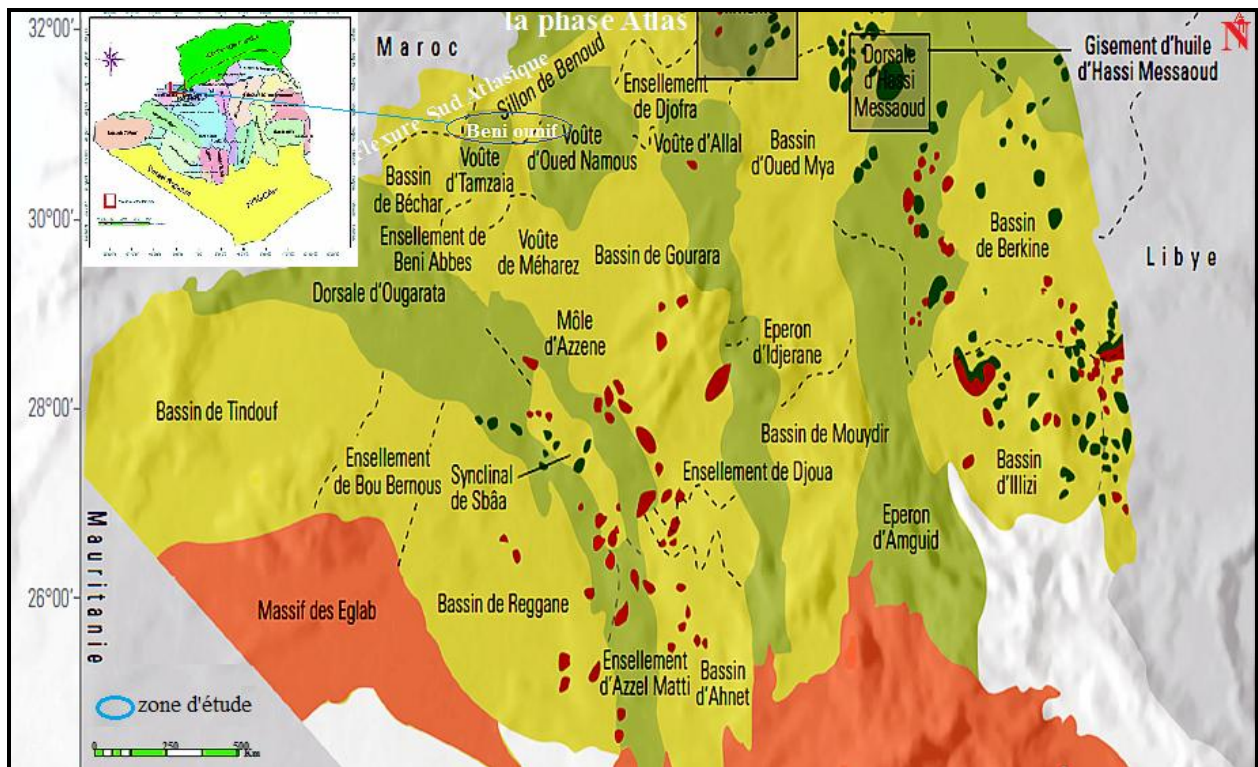


Figure 2. Répartition des bassins du Sahara Algérien (Wec2007).

La structure géologique du bassin de Oued Namous région du Beni ounif (Fig.3 et Fig.4), est caractérisée par :

- Un socle accidenté, attribué au Précambrien, formant les compartiments du bouclier Targui (Hoggar), délimitées par des accidents majeurs. Ces compartiments font partie de la «zone panafricaine», cratonisés depuis 550 Ma, **Fabre J. (2005)**.
- Il est ceinturé par des assises paléozoïques, elles mêmes recouvertes par les formations mésozoïques ou récentes (hamadas et ergs).
- La couverture sédimentaire repose en discordance angulaire sur le socle d'âge Paléozoïque, qui s'étend du Cambrien supérieur jusqu'au Carbonifère, et se caractérise essentiellement par des dépôts détritiques à caractères de plate-forme ou d'aire cratonique.
- Les formations sédimentaires sont d'épaisseur peut atteindre 10km.

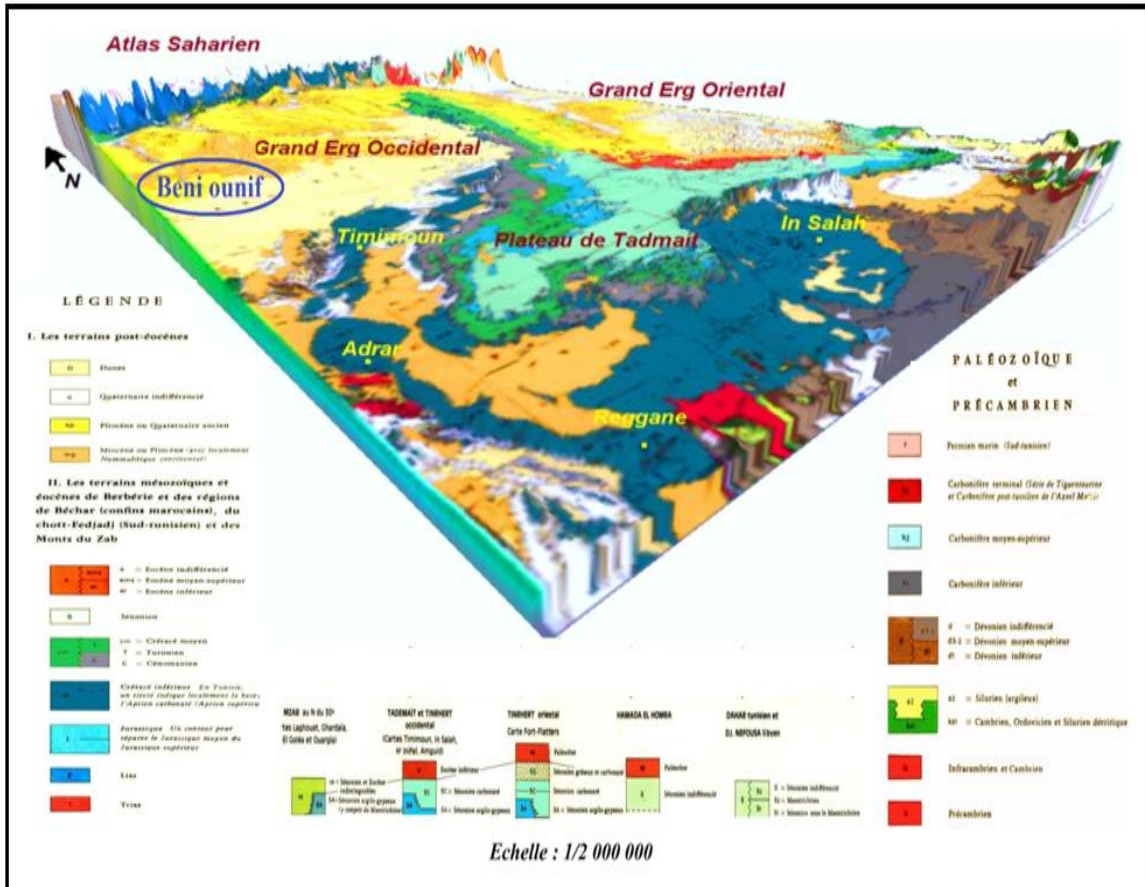


Figure 3. Carte géologique de Sahara Algérien (Deleau 1952)

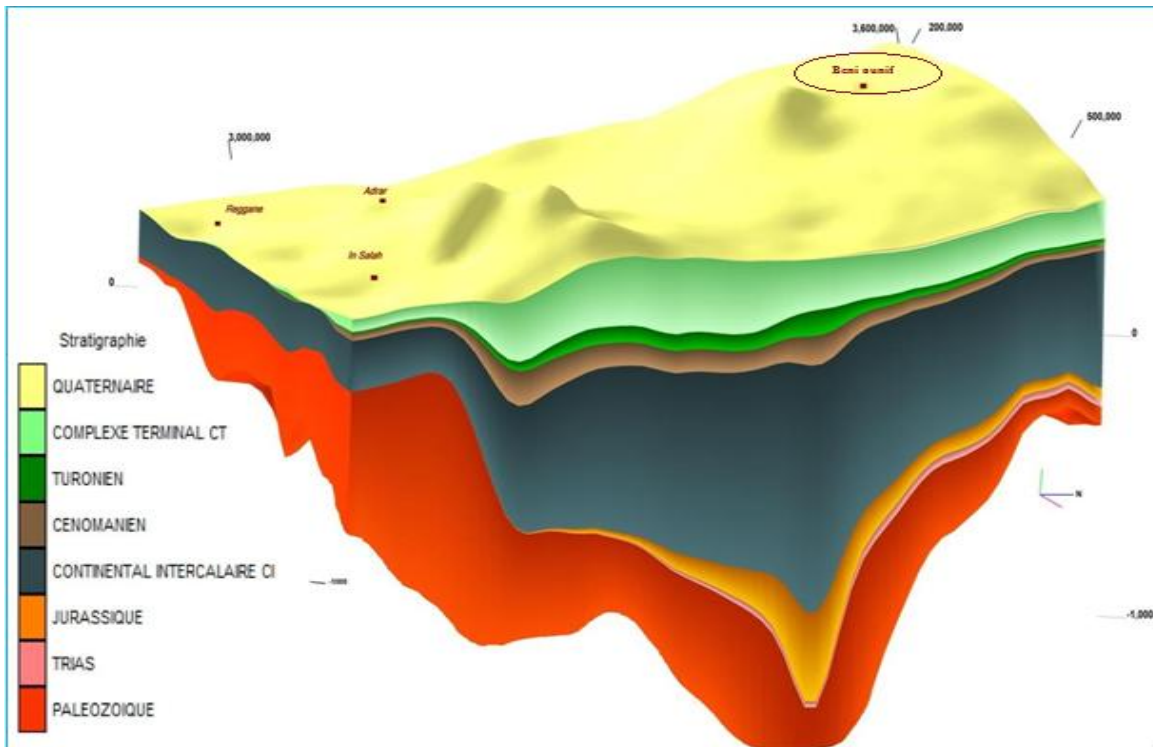
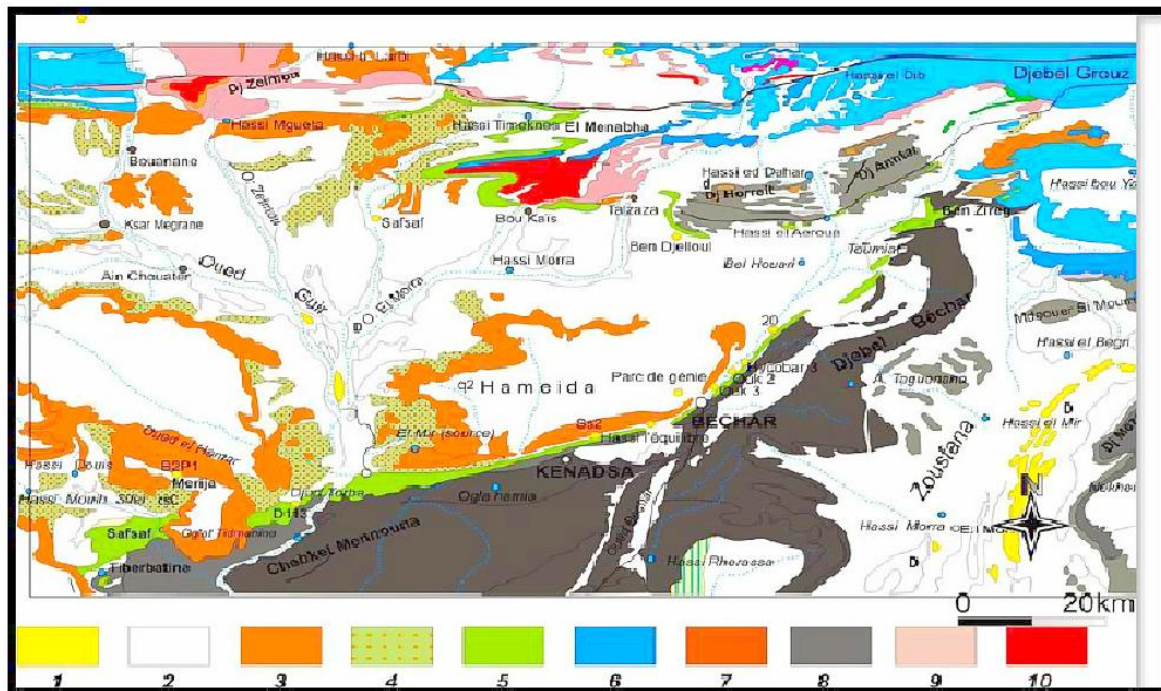


Figure 4. Bloc diagramme de la géologie de la région d'étude

4.2. Lithostratigraphie de la région de Beni Ounif

L'analyse des données (carte géologique, log de forage), nous a permis de répertorier une vingtaine d'étages stratigraphiques traversés. Certains ont été regroupés pour permettre une corrélation plus aisée des formations géologiques. Les étages datés du Primaire et les formations du socle, sont regroupés sous le nom du Paléozoïque, les séries datées du Lias au Malm ont été regroupées sous le Jurassique, les formations du Crétacé inférieur datées du Berriasien à l'Albien ont été regroupées sous le terme « Continental Intercalaire C.I ». Le terme « Complexe Terminal C.T » désigne les formations datées du Sénonien au Mio-pliocène. Ces regroupements ont permis de retenir une échelle stratigraphique allant du Quaternaire au Paléozoïque, Conrad G. (1969).

Les formations géologiques rencontrées dans la zone d'étude (Fig.5) sont décrites de bas en haut :



1 : Dunes de Sable 2 : Reg et alluvions (hamada) 3 : Tertiaire 4 : Sénonien (Crétacé Supérieur)
5 : Turonien-Cénomaniens et Albien (Crétacé inférieur) 6 : Jurassique 7 : Dévonien 8 : Carbonifère
9 : Paléozoïque en différencié 10 : Roches volcaniques du Pré Cambrien.

Figure 5. Carte géologique de Beni Ounif (Deleau, 1952).

4.2.1 Le Socle primaire : Les terrains primaires affleurent à la limite ouest du secteur d'étude près Zireg est la faveur d'un anticlinal à cœur formé de schistes, de grés et de microconglomérats du Cambro-ordovicien. Plus au nord ou elle est surmontée en discordance par des grés à glauconite et des marnes verdâtres du Permo-Trias. A Ben Zireg, la succession est plus complète ou l'on note un silurien représenté par une intercalation de schistes à graptolithes et des calcaires attribués au gotlandien, surmontée par une immense formation

dévonienne. A l'ouest la série se rajeunit et les terrains carbonifères dominant au pied et le long du djebel Béchar, formé un horizon infranchissable.

4.2.2 Le Permo-Trias: Les terrains permo-triasique reposent en discordance sur le Cambro-ordovicien de Rocknet El Bettoum. A Meksem El Arich, plus au sud, il ya un chevauchement des terrains permo-triasiques sur les calcaires du crétaé moyen. La série est essentiellement constituée par une formation marneuse verdâtre à la base, contenant une minéralisation de malachite, passant ensuite à des grés à glauconite et des conglomérats arkosiques. Au sommet viennent des grés rouges argileux, ferrugineux. Il est possible également que des argiles et marnes triasiques constituent la base Nord ouest du relief de Djebel Haimeur au Nord de Figuig. Cet affleurement pourrait être mis en relief à la faveur d'un accident OSO-ENE.

4.2.3. Jurassique

a. Le Lias : Dans la région de Béni-Ounif, les formations liasiques affleurent en grande majorité le long du djebel Grouz. C'est là qu'elles trouvent une importante extension latérale et verticale, formant une véritable muraille dont le point culminant est à 1800 m. Les observations sur les terrains, ont permis de vérifier les descriptions des photos géologiques illustrées dans la thèse de Galmier (1970), tout en essayant d'établir une corrélation.

Infralias: Au-dessus des conglomérats qui marquent la base du lias et qui peuvent être suivis le long du flanc sud de djebel Grouz, apparaissent des calcaires et des dolomies en petits blancs, puis massif ensuite.

Lias inférieur: Au djebel Haimeur (nord de Figuig), le Lias inférieur est représenté par une puissante masse calcaire et dolomie qui couronne la chaîne. La falaise présente une série de ravinements alternativement sombres et calcaires très réservés, attribuée au Sinémurien par Roch (1950). La coupe effectuée sur le terrain montre de bas en haut :

- Une formation dolomitique faisant 70 m de dolomie beige.
- Des marnes gypseuses et des argiles rouges avec des bancs décimétrique à centimétrique de calcaire verdâtres (40 à 50 m).
- Alternance de bancs métriques à décimétrique de calcaire verdâtres et de dolomies en plaquettes, blanchâtres à la cassure et brunâtre à la patine.
- 20 à 25 cm d'argiles à intercalations calcaires.

Lias moyen: Sur le flanc sud de djebel Grouz, le passage des calcaires dolomitiques clairs du lias inférieur aux calcaires sombres disposés en double barre du lias moyen est assez net au djebel Rkina. Les deux barres se suivent avec régularité séparées par une dépression argilo-marneuse. Plus à djebel Haimeur la double barre existe avec une morphologie plus complexe.

Lias supérieur: La série stratigraphique du lias supérieur correspond à 70 m de calcaires massifs noirs ferrugineux, montrant d'importants microplis et une texture granulaires. Avec une faune abondante de brachiopodes et de bivalves. Les couches sont très inclinées butant au sud du djebel Ouazzani, contre des couches dolomitiques du dogger, ce contact se fait à la faveur de l'accident Sud atlasique. Les formations liasiques font surface aussi au sud de Béni Ounif, à chebket charef et chebket Fendi ou elles sont masquées parfois par des dépôts récents.

b. Dogger: Le long du djebel Grouz, le dogger se dispose en couches sensiblement horizontales, formant un ensemble calcaire remarquable au cœur d'une structure en synclinal perché, d'une hauteur de 150 m environs. Cette formation est présente sur le flanc nord des petites collines de Figuig ou l'on assiste à un renversement de cette série sur le crétacé inférieur gréseux. Au Sud ouest du bassin, le dogger forme les replis anticlinaux de chebk et charef et chebk et Fendi.

4.2.4. Crétacé (Albien, Cénomaniens et Turonien): A l'est du secteur d'étude, la chebk et Temednaia forme une table turonienne très étalée à faible pendage Sud est ou Nord est, surplombant les dépôts du crétacé inférieur gréseux (albien). Elle forme un large plateau avec des falaises abruptes vers la vallée de la Zouzfana. A 30 km à l'est de Beni Ounif, la corniche Cénomano-turonienne change de direction face à l'est et le Sud est et se dispose en série renversée sous le Jurassique moyen de djebel Kerdacha.

Un forage réalisé à El Aouedj Daklani, au Sud-est de Béni Ounif, a montré l'existence de concentrations importantes en manganèse dans les dolomies turoniennes. La coupe lithologique du forage a fourni de bas en haut :

- Cénomaniens : marnes à gypses, intercalés de calcaires à bivalves et oursins. Les calcaires sont centimétrique à la base et deviennent métrique au sommet. L'épaisseur de l'ensemble est de 50 m, reposant sur des grès et argiles du crétacé inférieur.
- Turonien constitué de 25 m de calcaires à silex, oxyde de fer et manganèse ; ces calcaires sont dolomitiques au sommet de la série.

4.2.5. Quaternaire : Plusieurs études ont été réservées au Quaternaire (Alimen, 1957; Chavaillon 1964; Conrad 1969 et Beucher 1971). Il s'agit des dépôts des terrasses, des dépôts de Sebkh et les dunes de sable. Le petit relief de la Garet El Hamir, au sud de Béni Ounif, ne correspond pas à des dépôts des quaternaires anciens. Il se prolonge au nord sur la plaine et sous les alluvions de Zouzfana, puis sous les marnes et calcaires de la Chebket Temednaia (à l'est et au sud-Est).

5. Contexte climatologique

Pour traiter le volet climatique, nous avons utilisé seulement les données de la station de Bechar, vue l'inexistence des données climatiques pour la région de Beni ounif . Les données utilisées se rapportent à la période allant de l'année 1999 à l'année 2018, soit 20 ans d'observations. Cette station météorologique est localisée à 13.3 km à l'Est de la ville de Béchar et 111 km à la commune de Beni ounif (Tab.1).

Tableau1. Caractéristiques de la station pluviométrique de Bechar.

Station	Code	X (Lon)	Y (Lat)	Z	Année d'observation
Bechar	60571, DAOR	2°22'W	31°62'N	785 m	1999-2018

5.1. La Température.

La température est un élément fondamental du climat, sa variation influe sur la transformation de l'eau en vapeur, que ce soit à la surface ou dans le sous- sol, elle influe sur le degré d'évapotranspiration et par conséquent elle agit sur le taux de salinité des eaux. Toutefois, la température a un rôle important dans la variation des composantes du bilan hydrologique, c'est un facteur principal qui conditionne le climat de la région. L'analyse des températures sera faite à partir des données de la station de bechar pour la période allant de 1999 à 2018.

L'analyse de l'histogramme de *températures moyennes annuelle* (Fig.6) montre que l'année la plus chaude est l'année 2018 avec une température moyenne annuelle de 27.37°C et que l'année la plus froide est l'année 2000 avec une température moyenne annuelle de 24.07°C, la température moyenne interannuelle est de 25,89°C.

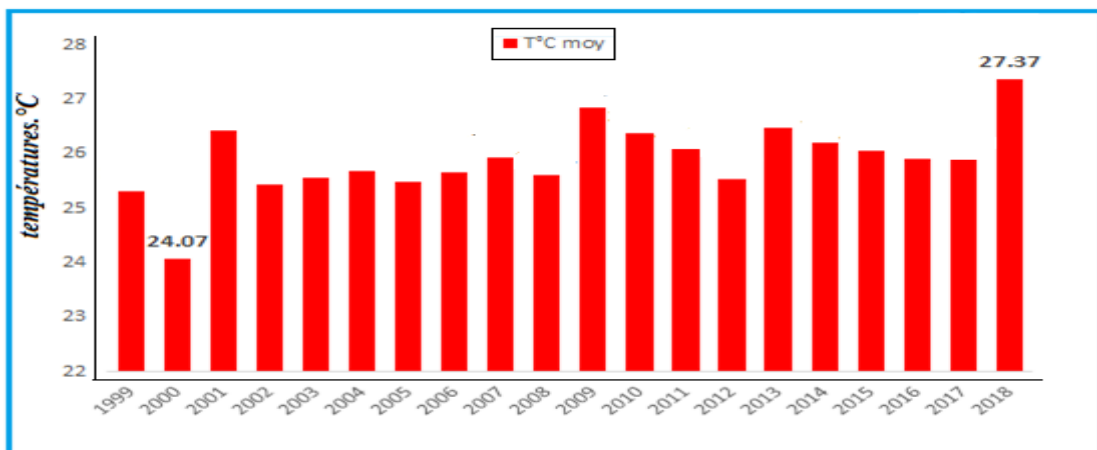


Figure 6. Histogramme de variations des températures moyennes annuelles (1999-2018)

L'analyse de l'histogramme des températures moyennes mensuelles (Fig.7) montre que le mois le plus chaud est le mois de Juillet avec une température moyenne de l'ordre de 38.33°C, alors que le mois le plus froid c'est le mois de Janvier avec une température moyenne de l'ordre de 12.94°C, la température moyenne mensuelle est de l'ordre de 27.37°C.

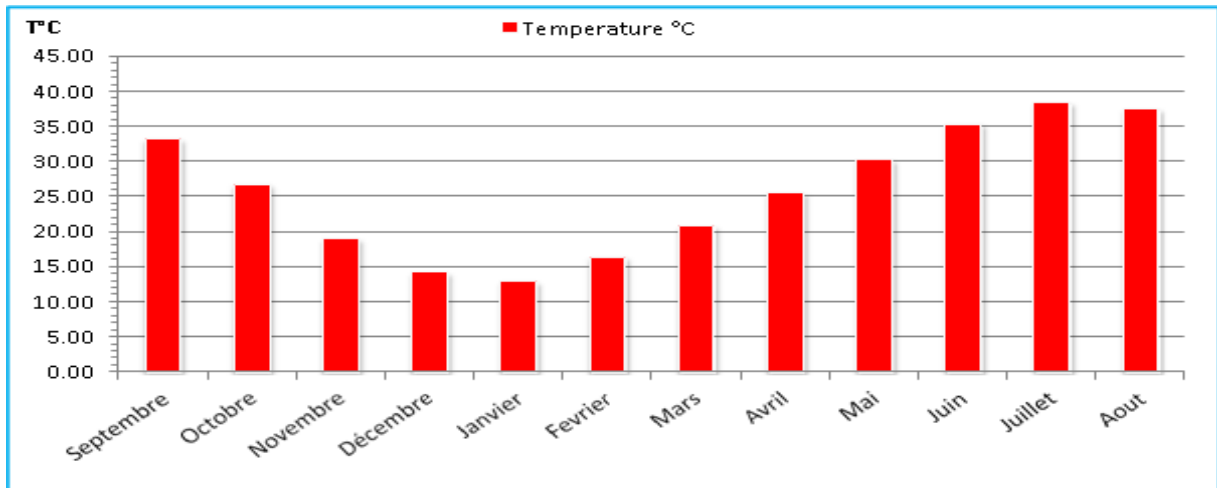


Figure 7. Histogramme de variations des températures moyennes mensuelles (1999-2018)

5.2. La Précipitation

La faiblesse de la pluviosité est le caractère fondamental des régions sahariennes, les précipitations annuelles sont très faibles et ne dépassent pas 32 mm/an.

D'après l'histogramme de (fig.8) la précipitation dans la région de Beni ounif varie entre 1.2 et 31.5 mm/an pendant la période d'étude (1999-2018). L'année de 2005 est la plus pluvieuse (31.5 mm) et l'année de 2006 est la plus sèche (1.2 mm).

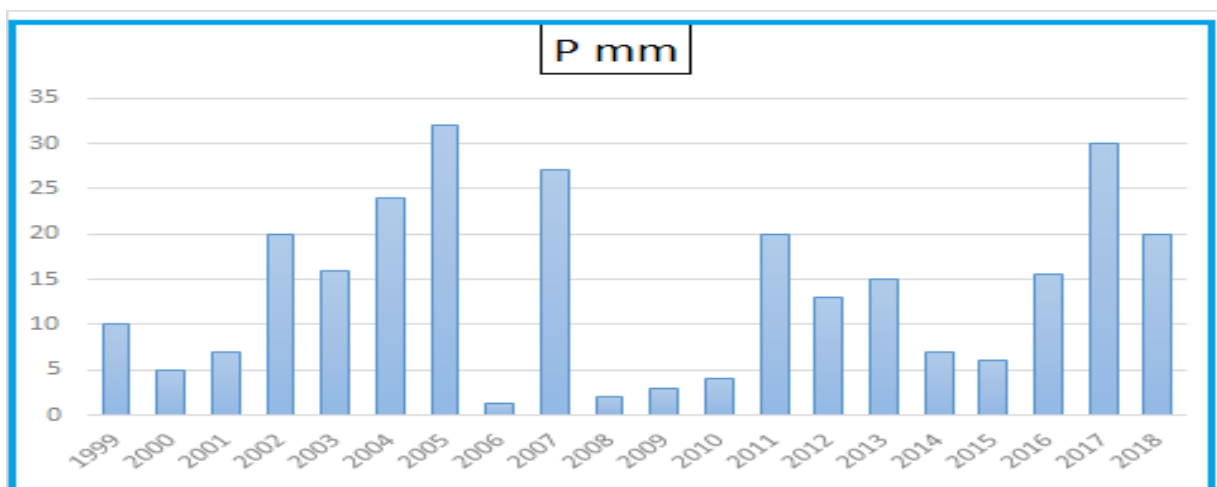


Figure 8. Histogramme de variations des précipitations moyennes annuelles (1999-2018)

L'analyse de l'histogramme des variations des précipitations moyennes mensuelles (Fig.9) sur une période de 20 ans montre que le mois de novembre est le mois le plus arrosé avec 1.94 mm de précipitation et le mois d'août est le mois le plus sec avec 0.48 mm. La moyenne mensuelle est de l'ordre de 1.10 mm/mois.

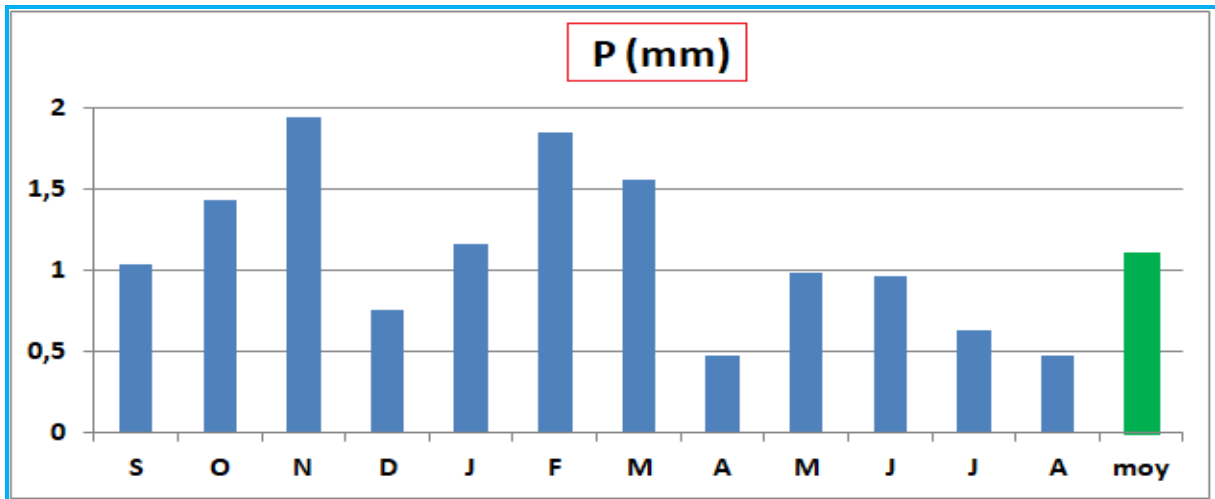


Figure 9. Histogramme de variations des précipitations moyennes mensuelles (1999-2018)

5.3. Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN

Le diagramme Ombro-thermique (Fig.10) de Gausсен permet de calculer la durée de la saison sèche. Dans notre cas la courbe des précipitations passe largement au-dessous de la courbe des températures, cette allure permet de constater que la période sèche s'étale sur toute l'année.

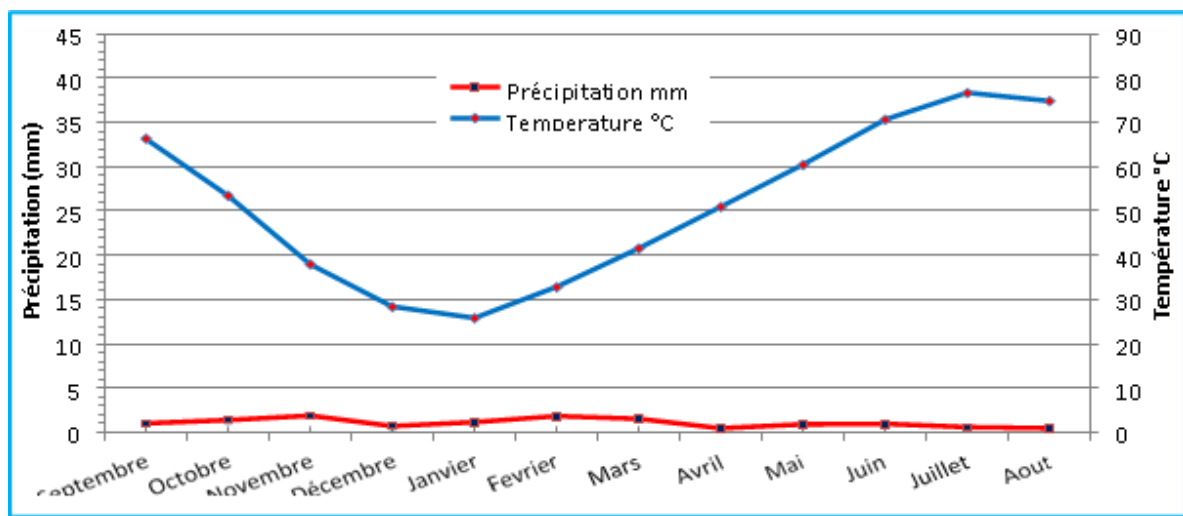


Figure 10. Diagramme Ombrothermique pour la période (1999-2018)

5.4. Le Vent

Le vent est un des éléments les plus caractéristiques de la région de Béchar, on note que les vents sont très fréquents durant toute l'année, c'est durant la saison du printemps (Mars et Avril) que se manifestent violemment les tempêtes de sable, des vitesses supérieures à 20 m/s (72km/h) sont observées dans la région, en été, les vents sont chauds et secs (sirocco) avec une direction dominantes des vents NE en hiver et SW en été (Tab.2 et Fig.11).

Tableau 2. Données sur la vitesse des vents dans la station de Béchar (1999-2018)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
Vitesse m/s	5,7	5,6	6,6	6,3	6,0	5,5	5,8	5,6	5,6	5,5	5,3	4,8	5,7

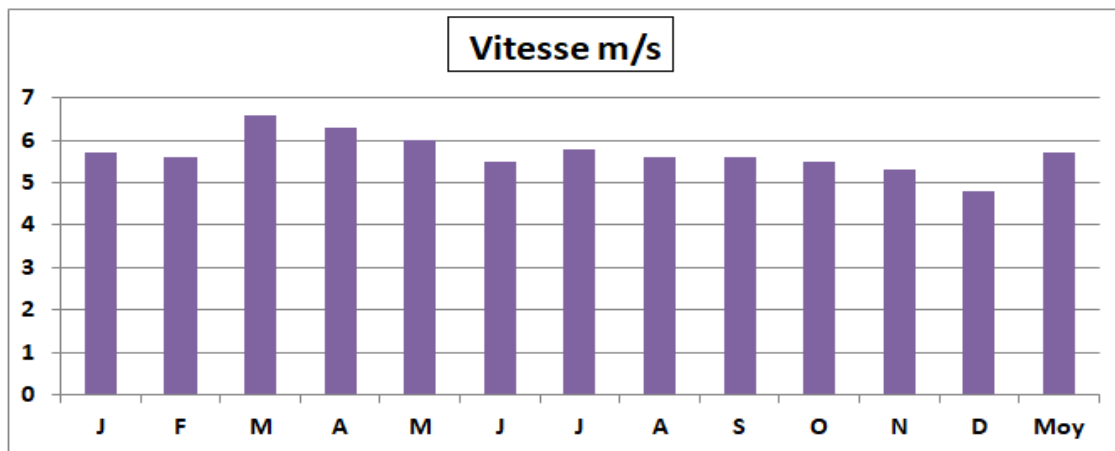


Figure 11. Histogramme de la vitesse des vents à la station de Béchar (1999-2018)

5.5. Humidité relative de l'air

La répartition des résultats de mesures de l'humidité est l'inverse de la répartition des résultats de la température. La valeur maximale de l'humidité de l'air est obtenue en hiver (Décembre- Janvier) et la valeur minimale en été (Juin-Juillet) tel que présenter dans le tableau3 et la Figure 12. L'humidité relative est faible, elle est inférieure à 40%.

Tableau 3. Données de l'humidité relative à la station de Béchar(1999-2018)

Mois	J	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D	Moy
Humidité %	22	27	33.8	38	35.5	29	23	19.7	17.2	13.5	12	15	23.8

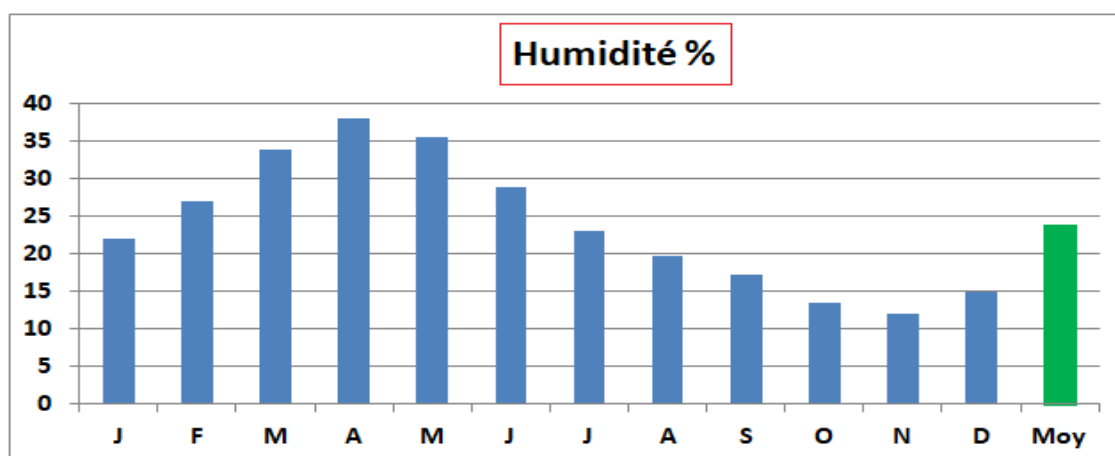


Figure 12. Histogramme de l'humidité relative à la station de Béchar (1999-2018)

5.6. L'insolation

C'est la période d'ensoleillement du sol avec un ciel clair, c'est le contraire de la nébulosité, le tableau 4 et la figure 13 ci-dessous montre les valeurs de l'insolation. Elle est en moyenne

de 10,85 heures/jour, le maximum d'insolation est enregistré au mois de juin (13,2 heures/j) et le minimum est enregistré au mois de décembre (8,2 heures/jour).

Tableau 4. Données sur l'Insolation dans la station de Béchar (1999-2018)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
Insolation (h)	9.6	10	11.2	11.6	12	13.2	13	12.4	10.8	9.6	8.7	8.2	10.8

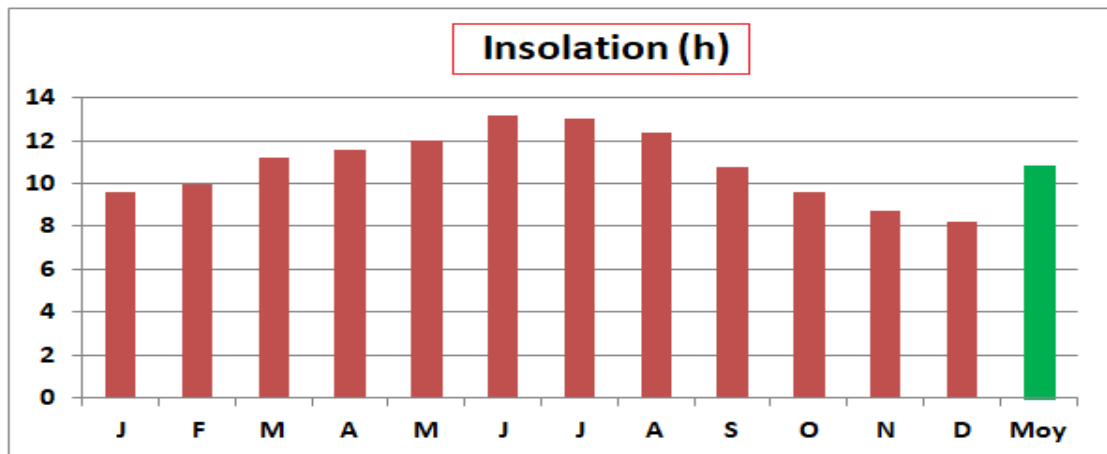


Figure 13. Histogramme de l'Insolation à la station de Béchar (1999-2018)

5.7. Détermination des Indices climatiques de la région

Pour déterminer le climat, Emberger a proposé la détermination d'un quotient pluviométrique Q_2 , qui dépend des précipitations moyennes annuelles et des moyennes de températures minimale et maximale, respectivement du mois le plus froid et le plus chaud qui permet de positionner une station sur un diagramme, il propose donc la formule suivante :

$$Q_2 = P \cdot 1000 / [(M+m)(M-m)] / 2$$

Avec : **P** : Précipitation moyenne annuelle (mm)

M : Moyenne des maxima du mois le plus chaud (en degré Kelvin)

m : moyenne des minima du mois le plus froid (en degré Kelvin)

P = 13.25 mm **M** = 311.48°K **m** = 286.09 °K Ce qui donne : $Q_2 = 1.74$

La valeur de Q_2 calculée permet de positionner notre région d'étude sur le climagramme d'Emberger (Fig.14), elle est caractérisée par un climat de type saharien à hiver très chaud.

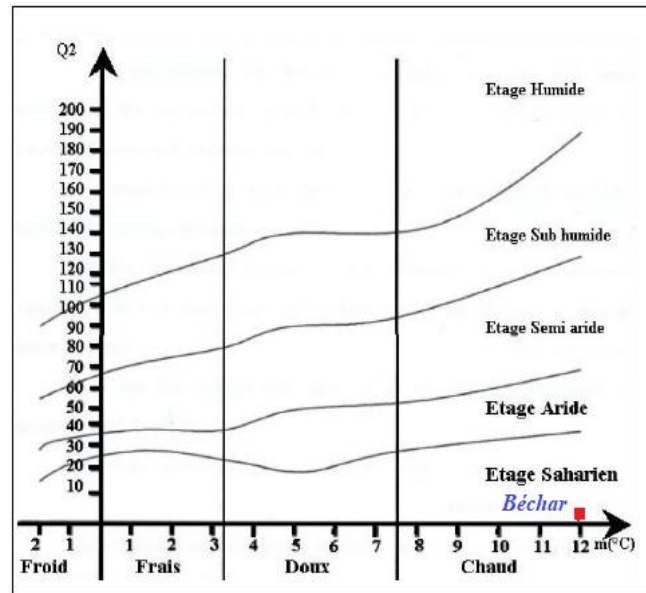


Figure 14. Climagramme d'Emberger station de Béchar

5.8. Évapotranspiration

5.8.1. Utilisation la formule de Thornthwaite : C.W. Thornthwaite a proposé en 1948 une formule basée essentiellement sur les températures de l'air :

$$E_{tp} = 16 \cdot \left(10 \frac{I}{I}\right)^a \cdot K$$

avec : $i = (t/5)^{1.5} I = \sum ia = (1.6 \cdot I/100) + 0.5$

ETP: Évapotranspiration Potentielle moyenne mensuelle (mm).

i: Indice thermique mensuel et I: Somme des indices thermiques mensuels.

a: paramètre arbitraire lié à la température.

t: Température moyenne mensuelle (c°).

k: coefficient d'ajustement mensuel.

L'Évapotranspiration Potentielle calculée est 1336.6 mm/an (voir tableau bilan).

L'Évapotranspiration réelle calculée est 13.25 mm.

5.8.2. Utilisation la formule de Turc : on peut également calculer l'évapotranspiration réelle

$$E_{tr} = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

par la formule de Turc :

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

E_{tr} : Évapotranspiration Réelle (mm).

P : précipitation moyenne annuelle (mm).

L : paramètre arbitraire lié à la température.

T : température moyenne annuelle (°C).

La comparaison entre les deux valeurs calculées de l'évapotranspiration réelle, montre que les deux méthodes donnent des résultats très proches.

Station	ETR Turc (mm/an)	ETR Thornthwaite (mm/an)
Béchar	13.96	13.25

5.9. Bilan hydrique

Le bilan hydrique (Tab. 5) suivant la méthode Thornthwaite où l'évapotranspiration potentielle (ETP) et réelle (ETR) sont définies en fonction de la pluie, de la température et en tenant compte de la latitude et de la variation de la réserve facilement utilisable (RFU) confirme l'aridité de la région déjà conclu. D'après Tableau.1.5 on remarque que le bilan hydrique de la zone d'étude est déficitaire, l'ETP est supérieure aux précipitations pendant les deuze mois de l'année, pour cette raison l'évapotranspiration réelle égale a la précipitation (13.25 mm). La réserve facilement utilisable est nulle et le déficit agricole est présent dans tous les mois (Fig.15).

Tableau 5. Bilan d'eau selon C.W.Thornthwaite à la station de Béchar (1999-2018)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Total
P (mm)	1.04	1.43	1.94	0.76	1.16	1.85	1.56	0.48	0.95	0.97	0.63	0.48	13.25
T (°C)	33.18	26.75	19.00	14.21	12.94	16.43	20.80	25.47	30.22	35.33	38.33	37.43	25.84
ETP (mm)	162.35	84.11	28.25	12.11	9.43	18.08	42.05	78.85	140.58	219.67	285.78	255.37	1336.63
RFU (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETR (mm)	1.04	1.43	1.94	0.76	1.16	1.85	1.56	0.48	0.95	0.97	0.63	0.48	13.25
DA (mm)	161.31	82.68	26.31	11.35	8.27	16.22	40.49	78.37	139.64	218.70	285.15	254.89	1323.38
EX (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

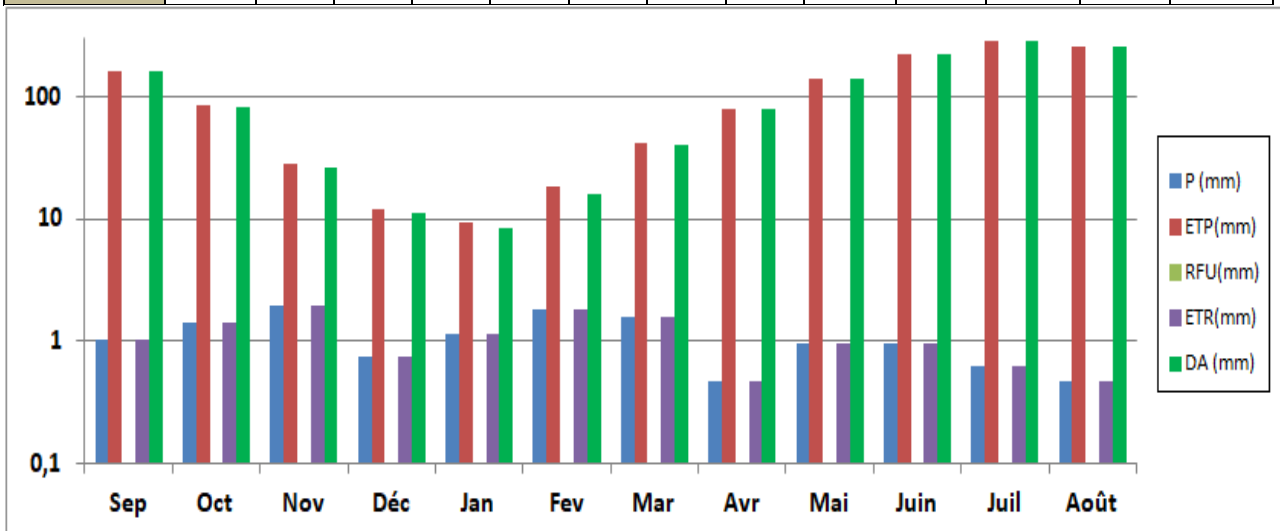


Figure 15. Présentation des termes du bilan hydrique de la station de Béchar (1999-2018)

6. Hydrologie de la zone d'étude

La commune de Béni-Ounif est située sur le piémont sud-atlasique. Elle représente une transition entre l'Atlas Saharien au nord et la grande dépression qui descend vers le Sahara. Le bassin versant de Oued Namous (Beni Ounif) est constitué de deux affluents il s'agit d'oued Lakhdar et d'oued Zoubir. Le bassin versant d'oued Lakhdar est constitué de sous-bassins versants, ceux d'oued Sidi Aïssa et d'oued Mélias. L'exutoire de ces deux sous-bassins versants se trouve à la limite Nord-est de la ville de Beni Ounif, au niveau de la traversée de la voie ferrée à quelques dizaines de mètres (110 m) du pont RN6, à quelques 3.5 km au Sud de la frontière Algéro-marocaine et à 7 km de la ville marocaine la plus proche (Fig. 16).

Le réseau hydrographique du bassin versant de Oued Namous (Fig. 16) est assez dense et caractérisé par un écoulement de direction NO-SE, pour rejoindre oued Saoura. Ce dernier constitue l'artère maîtresse de tous les oueds, qui se perdent actuellement dans le Grand Erg Occidental.

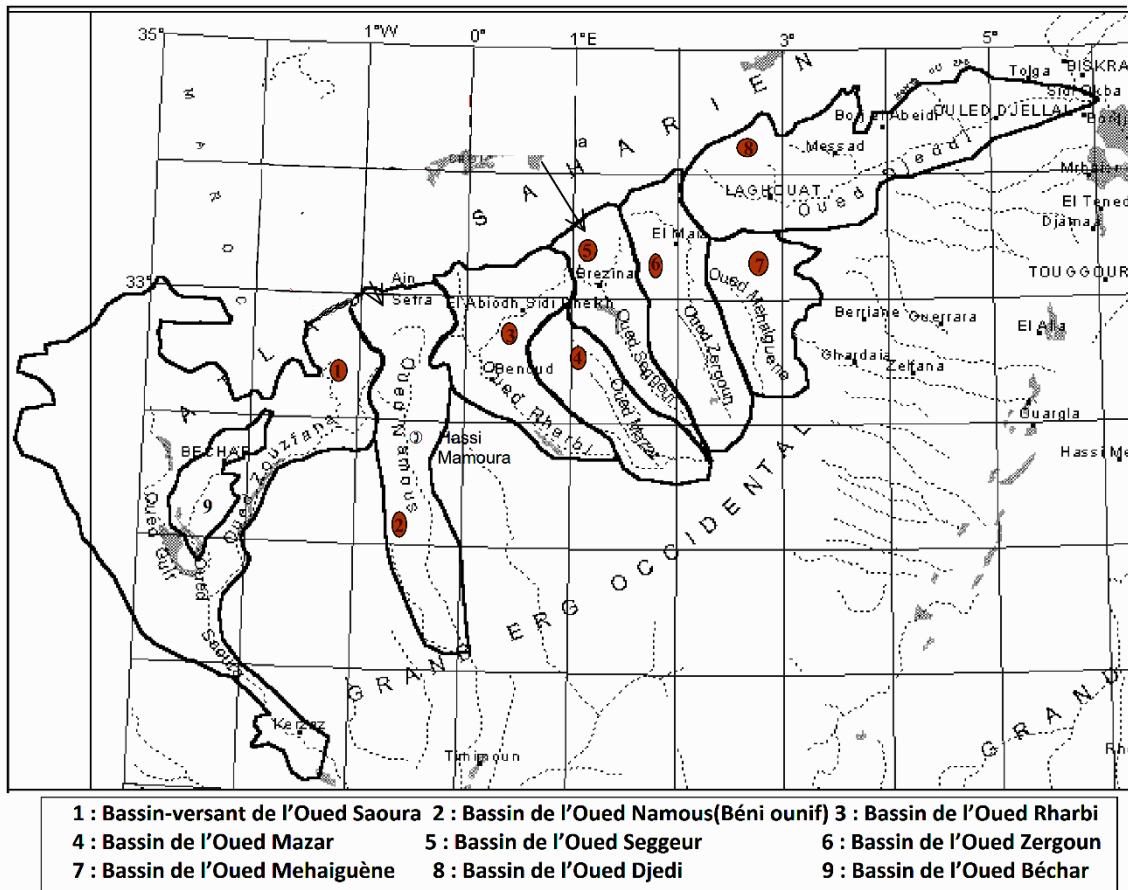


Figure 16. Carte de bassin versant d'Oued Namous dans le Grand Erg Occidental.

6.1. Bassin versant Oued Namous

Le bassin versant d'Oued Namous est limité à la hauteur de Hassi Mamoura, cette artère ne

recevant plus d'affluents actifs en aval de ce point. Dans ces conditions, sa superficie atteint 8900 km². Oued Namous, si l'on adopte pour son origine le début de l'O. El Breidj, prend sa source vers 1900 m d'altitude dans les Monts des Ksours.

Légèrement en amont de Hassi Mamoura, la pente augmente et l'oued coule dans une large vallée, creusée dans la hamada, où son lit s'ensable progressivement. Le Namous atteint le Grand Erg Occidental et se perd dans les sables à 370 km de son origine. Les mois de crue ont atteint en moyenne 2,6 mois par an. Dans le bas Namous, les crues ne s'observent plus 7 années sur 13 années. Ces crues peuvent être d'une grande violence.

6.2. La situation la ville de Beni Ounif dans ces contextes

La ville de Béni-Ounif se trouve en aval d'Oued Melias et d'Oued Sidi Aissa près de la confluence qui unie ces deux derniers. Les Oued traversent la ville sur les deux cotés gauche et droit dans le sens d'écoulement avec une orientation Nord-Ouest. En périodes de crue, les eaux sortent du lit mineur pour occuper le lit majeur par débordement direct du cours d'eau.

Compte tenu que les deux oueds traversent la ville, il existe plusieurs ponts et passerelles (ouvrages d'art) pour faciliter le déplacement des piétons et des véhicules ainsi que les chemins de fer. Ces ouvrages on les considère comme facteurs aggravants ou obstacles aux écoulements qui dégradent le laminage des crues (Fig.17).



Figure 17. Les ouvrages de chemin de fer avec des ouvertures étroites.

6.3. Caractéristiques hydrographiques des sous bassins versants

La figure 18 illustre les sous-bassins versants des deux oueds considérés avec le chevelu hydrographique de leurs nombreux affluents. Les caractéristiques physiques, géographiques et hydrographiques du site ont été calculées sur cartes à échelle 1/50 000 (Feuille Revoil-Beni Ounif n°725).

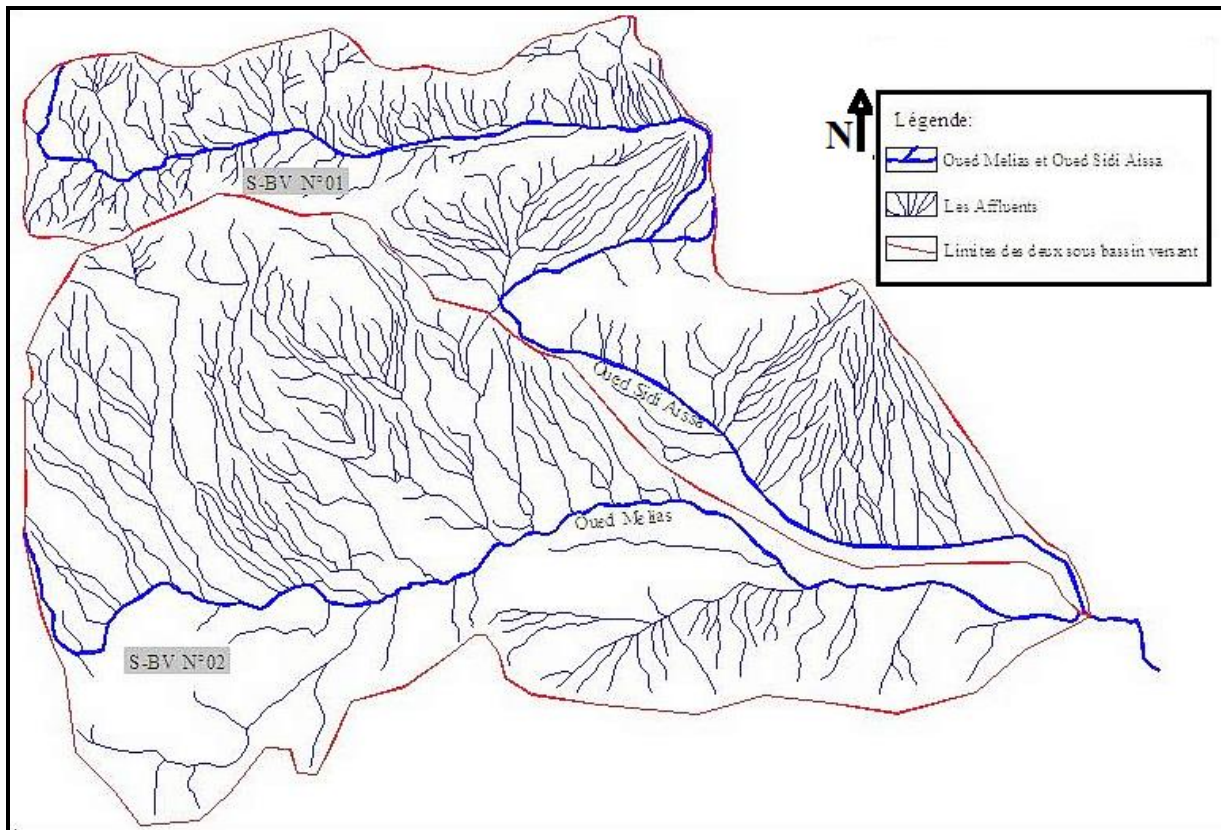


Figure 18. Réseau hydrographique des sous-bassins des oueds Sidi Aïssa et Mélias

6.4. Les caractéristiques morphométriques

Indice de compacité de Gravelius des deux sous bassins versants de Mélias et de Sidi Aïssa sont respectivement $K_c= 1,41$ et $K_c=1,71$. Ces valeurs indiquant que les deux sous bassins versant sont de forme allongée.

Le rectangle équivalent, qui représente un rectangle qui a la même surface que les sous bassins, le même indice de compacité et de distribution hypsométrique identique est égale à $L= 16,36\text{km}$ et $l=3,99\text{km}$ pour le sous bassin versant de Mélias, il égale à $L=17,51\text{km}$ et $l= 2,45\text{km}$ pour le sous bassin versant de Sidi Aïssa .

Le relief joue un rôle essentiel sur le régime de l'écoulement. Une pente plus forte provoque un écoulement rapide, donc un temps de concentration plus court et une montée plus rapide des crues. Il est indiqué par les courbes de niveau et caractérisé par la courbe hypsométrique

Pour estimer ces paramètres on doit présenter la répartition hypsométrique après planimétrie des aires partielles comprises entre les courbes de niveau maitresses et les différentes cotes. D'après la figure.18 les deux sous bassins se trouvent à une altitude qui dépasse 810 m, la classe d'altitude comprise entre 880 m et 960 m est le plus dominante avec une surface de l'ordre de 50,04% pour le sous bassin de Sidi Aïssa et 70.61% pour le sous bassin de Mélias.

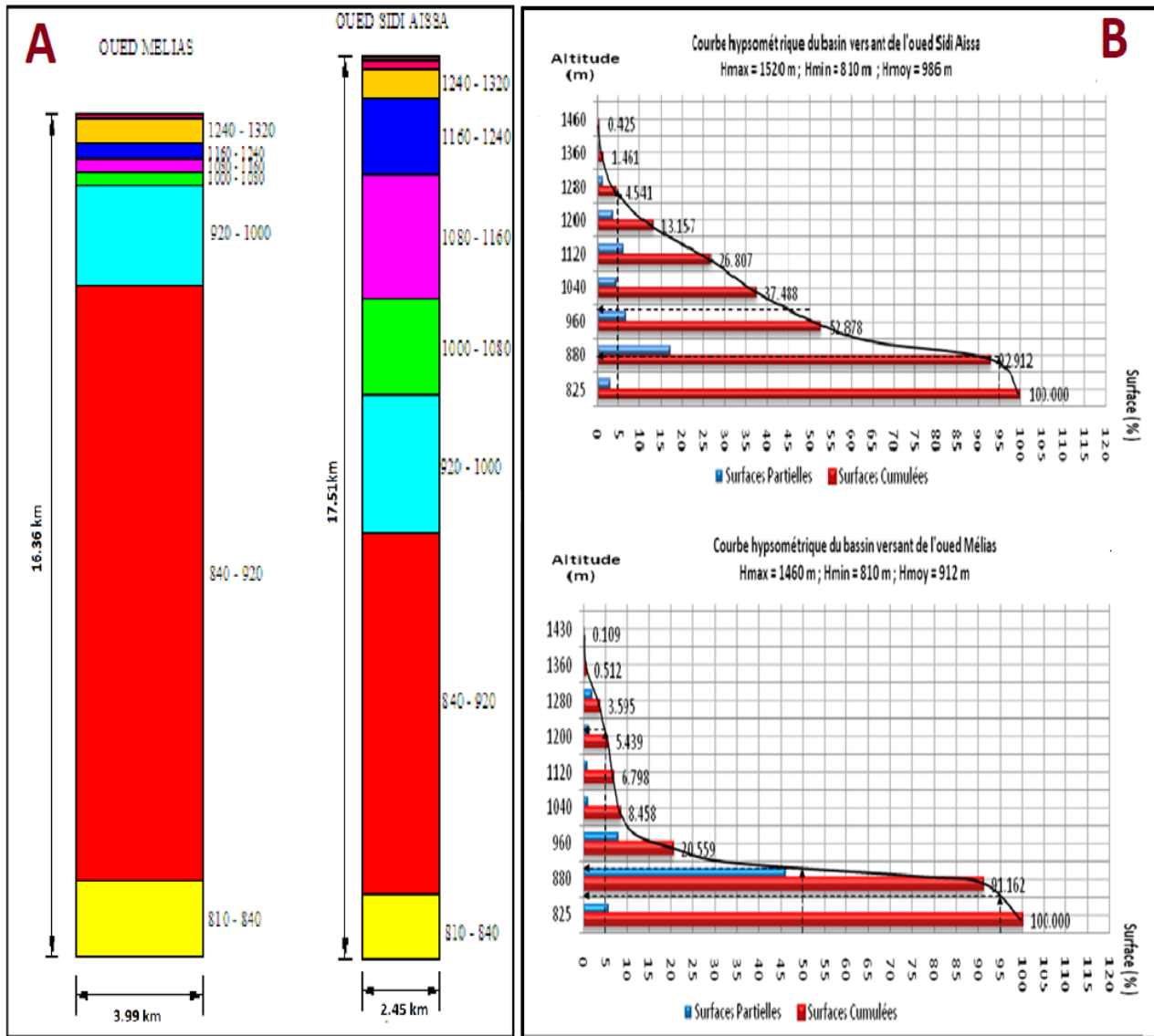


Figure 19. Rectangles équivalents (A) et courbes hypsométriques (B) des sous bassins de Melias et de Sidi Aissa

Les altitudes maximales et minimales sont obtenues directement à partir de cartes topographiques. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale considère le point le plus bas, généralement à l'exutoire. Ces deux données deviennent surtout importantes lors du développement de certaines relations faisant intervenir des variables climatologiques telles que la température et la précipitation. Donc d'après la carte d'état major on a pour *Oued Sidi Aissa* ($H_{max} = 1520$ m ; $H_{min} = 810$ m) et pour *Oued Melias*: ($H_{max} = 1460$ m ; $H_{min} = 810$ m).

Ce profil est tracé à partir de la carte topographique { l'échelle 1/50 000 (Revoil- Beni Ounif) en tenant compte de l'altitude et de la longueur de cours d'eau (l'exutoire).

Tableau 6. Les altitudes en fonction de la distance cumulée

Hi - Hi+1	Hi (m)	Dist (km)	Dist Cumulée (km)
1320	1320	0.000	0.000
1320 - 1240	1280	0.183	0.183
1240 - 1160	1200	0.692	0.875
1160 - 1080	1120	3.167	4.042
1080 - 1000	1040	4.440	8.482
1000 - 920	960	4.139	12.621
920 - 840	880	8.075	20.696
840 - 810	825	4.471	25.167

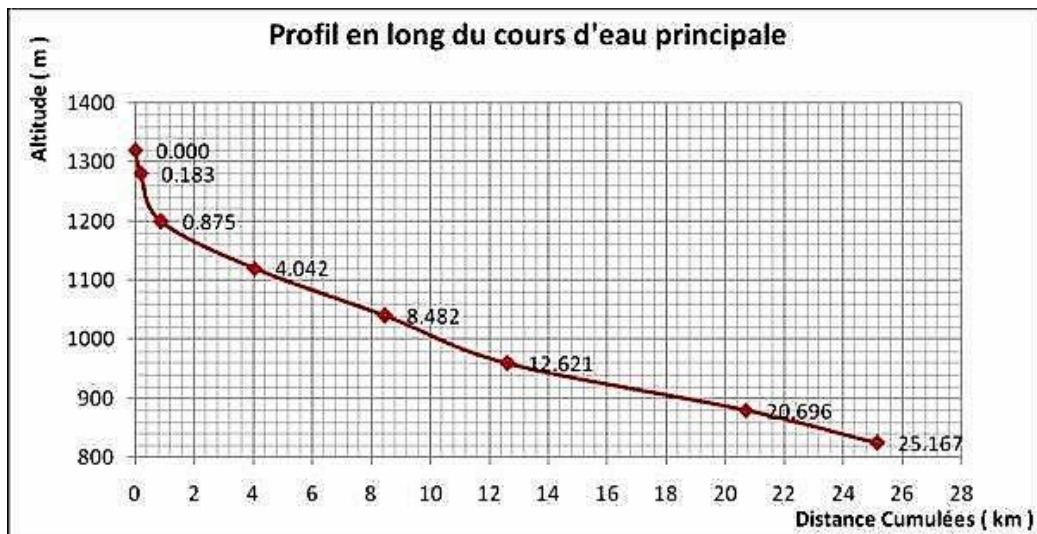


Figure 20. Profil en long du cours d'eau principale.

L'indice de pente globale (I_g), A partir de la courbe hypsométrique, nous déduisons les altitudes H_5 % et H_{95} %.

$$I_g = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L_R}$$

$H_{5\%}$: Altitude de fréquence correspondante au 5% de la surface total.

$H_{95\%}$: Altitude de fréquence correspondante au 95% de la surface total.

L_R : longueur de rectangle équivalent en km

Donc on a estimé que : $I_g = 21.38 \text{ m/km} = 2.138 \%$

Tableau 7. Classification ORSTOM du relief à partir de l'indice de pente global

Relief		Valeur de I_g
1	Très faible	$I_g < 0.002$
2	Faible	$0.002 > I_g > 0.005$
3	Assez faible	$0.005 > I_g > 0.01$
4	Modéré	$0.01 > I_g > 0.02$
5	Assez modéré	$0.02 > I_g > 0.05$
6	Fort	$0.05 > I_g > 0.1$
7	Très fort	$0.1 < I_g$

L'indice de pente globale $I_g = 0,0214$, donc le relief du bassin versant total est Assez modéré.

D'autres caractéristiques géomorphologiques des sous bassins versants sont résumé dans le tableau 8.

Tableau 8. Caractéristiques géomorphologiques des sous bassins versants

Désignation		Symbole	Unités	B. Oued Sidi	B. Oued Mélias	Bassin Versant Total
Superficie du bassin versant		SBV	Km ²	42.94	65.23	108.17
Périmètre du bassin versant		PBV	Km	39.92	40.70	48.03
Longueur du thalweg		LCP	Km	25.17	18.00	25.17
Coefficient de compacité		Kc	-	1.71	1.41	1.29
Rectangle équivalent	longueur	Lr	Km	17.51	16.36	18.01
	largeur	Ir	Km	2.45	3.99	6.01
Surface du rectangle		Seq	Km ²	42.94	65.23	108.17
Périmètre du rectangle		Peq	Km	39.92	40.70	6.01
Coefficient d'allongement		δ	-	14.45	4.97	5.86
Altitudes	maximale	H_{max}	m	1520.00	1460.00	1520.00
	moyenne	H_{moy}	m	986.00	912.00	941.00
	minimale	H_{min}	m	810.00	810.00	810.00
	altitudes de	$H_{5\%}$	m	1250.00	1200.00	1240.00
	altitudes de	$H_{95\%}$	m	860.00	852.50	855.00
	altitudes de	$H_{50\%}$	m	960.00	900.00	920.00
Indice de pente globale		I_g	m/Km	22.28	21.24	21.38
Pente du bassin versant		I_{bv}	m/Km	28.21	36.11	28.21
Indice de pente de M Roche		I_p	%	1.71	1.41	1.54
Pente moyenne de B. V		l_m	%	8.78	9.14	9.00
Indice de pente moyenne du		l_{pm}	%	4.06	3.97	3.94
Dénivèle spécifique		D_s	m	145.98	171.54	222.33
Longueurs des cours d'eau		ΣLi	km	220.57	222.73	443.31
Nombre des talwegs d'ordre 1		$\Sigma N1$	-	233.00	149.00	382.00
Densité de drainage		D_d	Km/Km	5.14	3.41	4.10
Densité de talwegs		$F1$		5.43	2.28	3.53
Coefficient de torrentialité		C_t	-	27.87	7.80	14.47

7. conclusion

La zone d'étude (Béni Ounif) fait partie de la wilaya de Bechar, elle se localise au sud-ouest de l'Algérie, c'est une point frontalier avec le royaume du Maroc, elle s'étende sur une superficie de 42730 km², sa population est estimée à 13000 habitants (2017). Du point de vu géologique la région fait partie de la grande plateforme saharienne et appartient au Craton Nord-Africain où le socle précambrien repose en discordance sur une puissante couverture sédimentaire. Le bassin d'Oued Namous est caractérisé par un socle accidenté, attribué au Précambrien, ceinturé par des assises paléozoïques recouvertes par les formations mésozoïques ou récentes (hamadas et ergs), leur épaisseur peut atteindre 10 km.

L'étude climatologique montre que le climat de la zone d'étude est de type saharien avec un hiver chaud. La précipitation moyenne interannuelle ne dépassent pas 32 mm, la précipitation mensuelle ne dépasse pas 2 mm. La température moyenne annuelle est 27.37°C, elle est maximale au mois de juillet avec une valeur de 38.83°C et minimale au mois de janvier avec une valeur de 12.94°C. Le bilan hydrique de la zone d'étude est déficitaire, conséquence d'une faible précipitation et d'une forte évapotranspiration, la réserve facilement utilisable est nulle durant les douze mois de l'année et la recharge par la pluie efficace est négligeable.

Partie 2

Hydrogéologie

1. Définition du système aquifère et extasions régional du Continental Intercalaire.

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional « SASS » couvre une vaste superficie de plus d'un million de km², il est reparti entre trois pays à savoir l'Algérie (700 000 km²), la Tunisie (80 000 km²) et la Libye (220 000 km²). Il s'étend du Nord depuis l'Atlas Saharien jusqu'aux affleurements du Tidikelt et le rebord méridional du Tinrhert au Sud et de l'Ouest depuis la vallée du Guir-Saoura jusqu'au Graben de Hun en Libye à l'Est. Ce bassin renferme une série des couches aquifères qui ont été regroupées en deux réservoirs appelés le Complexe Terminal (CT) et le Continental Intercalaire (CI). Le bassin SASS se subdivise en trois sous bassins: le bassin du Grand Erg Occidental à l'Ouest, le bassin du Grand Erg Oriental au centre et le plateau de la Hamada El Hamra à l'Est UNESCO. (1972).

Notre région d'étude fait partie du bassin du Grand l'Erg Occidental qui englobe dans sa majeure partie la nappe du Continental Intercalaire (CI), cette dernière désigne dans l'histoire stratigraphique, un épisode continental intercalé entre deux cycles sédimentaires marins (C.Kilian) (Besbes.M et al, (2005):

- A la base, le cycle essentiellement marin du Paléozoïque qui achève l'orogénèse hercynienne.
- Au sommet, le cycle marin du Crétacé supérieur, résultat de la transgression cénomaniennne.

L'examen de la carte géologique permet donc de définir le Continental Intercalaire comme l'ensemble continental compris entre un toit «base du cénomaniennne» et un substratum représenté par la discordance hercynienne et le barrémien Robert M.W. et al, (1973):.

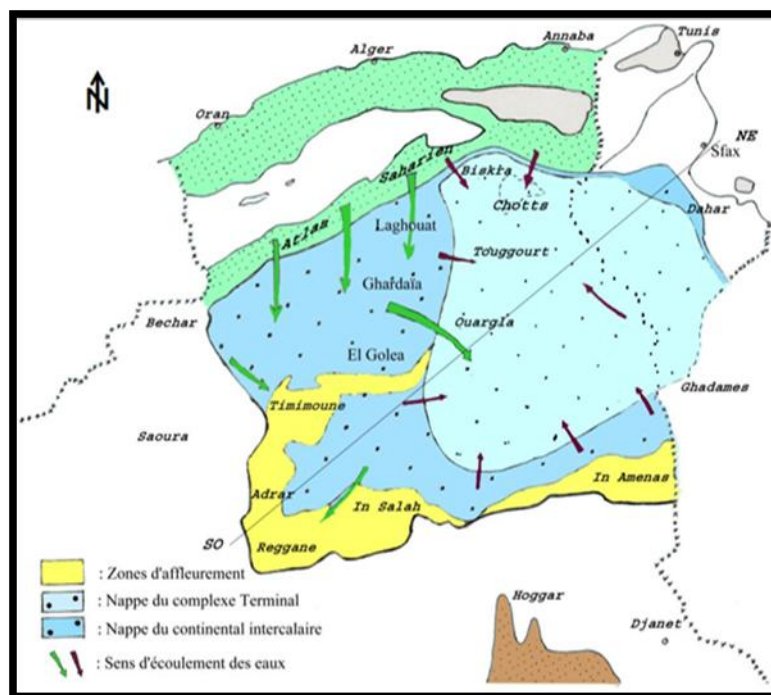


Figure 21. Carte hydrogéologique du système aquifère CI et CT.

1.2. Recharge de la nappe de continentale intercalaire

Les réserves dites «fossiles» sont situées Castany G. (1982), en général, à des grandes profondeurs et connues pour être pratiquement non renouvelables. Dans les régions arides du monde, comme le Nord de l'Afrique, la péninsule arabique, l'Australie et le sud-ouest des États-Unis d'Amérique, ces nappes sont d'autant plus importantes qu'elles peuvent être un facteur déterminant du développement socioéconomique (Ould Baba Sy, 2005). L'utilisation du terme « eau fossile » est peu utilisée dans le lexique des hydrogéologues, l'eau qui s'infiltre dans la nappe est en mouvement, jusqu'à sa sortie soit par pompage ou perdue aux exutoires naturels, la durée de ce mouvement nous donne une fausse idée que les eaux sont en générales fossiles.

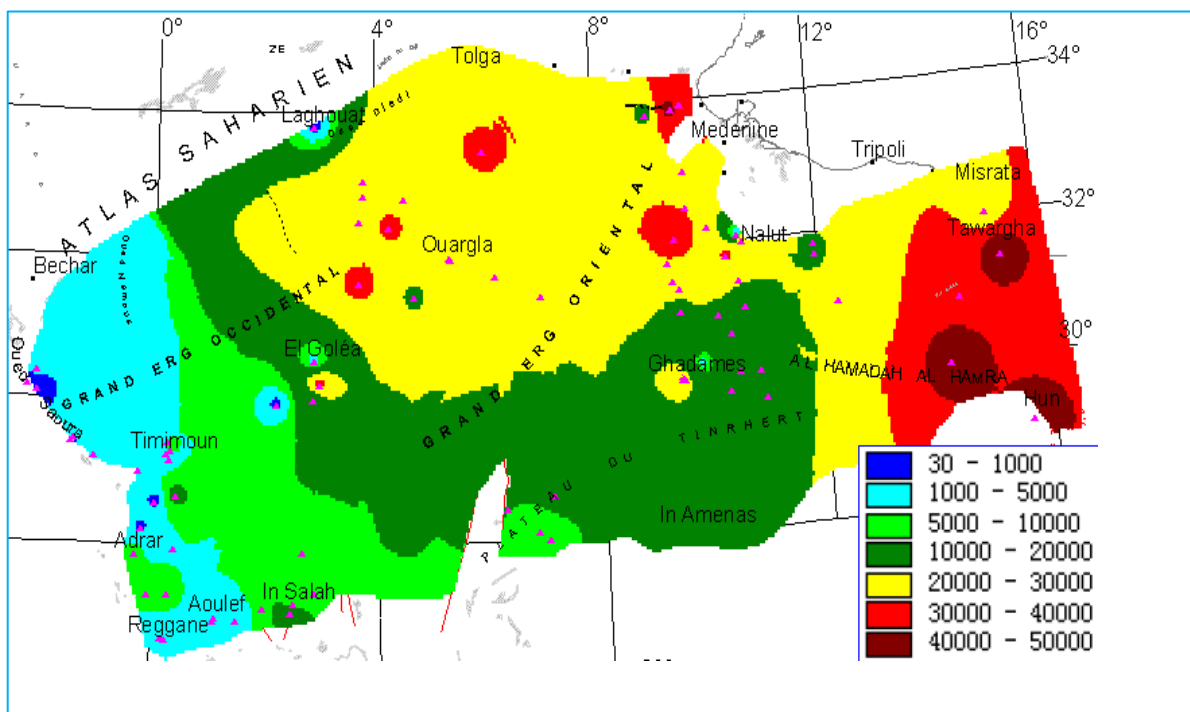


Figure 22. Age des eaux du CI d'après la teneur en carbone 14 (OSS, 2004)

D'après plusieurs auteurs, c'est pendant la période humide de l'Holocène que la recharge de la nappe du Continentale Intercalaire s'effectuée, les simulations de paléorecharge du modèle OSS montrent que la recharge est nulle sur l'atlas saharien, le Dahar, Jebel Nefusa et le Mزاب. La figure 22 montre que les teneurs en carbone14 « C14 » dans les eaux de la nappe du Continentale Intercalaire de la région de Becher ont un âge entre 1000 et 5000 ans (Conrad .G)

1.3. Contexte hydrogéologique de la région de Béchar

Les nappes individualisées dans la région de Béchar peuvent être classées, selon leur intérêt, en trois groupes :

- **Les nappes des calcaires du Turonien et Carbonifère (Viséen)**, qui par leur étendue et leur épaisseur, renferment des quantités d'eau appréciables. Mais les eaux de ces nappes ne sont exploitables que dans les environs de la ville de Béchar. Vers l'ouest, en direction de Kenadsa, l'eau est salée, à cause de la présence du Sénonien salifère. Selon Hydrotechneco, les forages d'eau captant cette nappe donnent un débit total de 80 l/s ($2.5\text{Hm}^3/\text{an}$).
- **L'ensemble de la nappe d'Ouakda**, constituée par deux niveaux aquifères (Turonien et Quaternaire). Le volume d'eau exploité de cette nappe est estimé par l'ANRH à $3.5\text{Hm}^3/\text{an}$.
- **La Nappe du Continentale Intercalaire (CI) et celle des grès du Carbonifères**, n'ont qu'un intérêt local. A. Roche, a estimé le volume d'eau extrait du Continental Terminal dans la région de Béchar à 36 l/s ($1.1\text{Hm}^3/\text{an}$).

Signalons la mise en exploitation récente, dans la région de beni ouunif, au Nord-Est de Béchar, près de la frontière algéro-marocaine de 10 forages captant les CI et calcaires du Jurassique, et destinés à l'AEP de Béchar, le débit total de ces forages est de l'ordre de 120 l/s ($3.8\text{Hm}^3/\text{an}$).

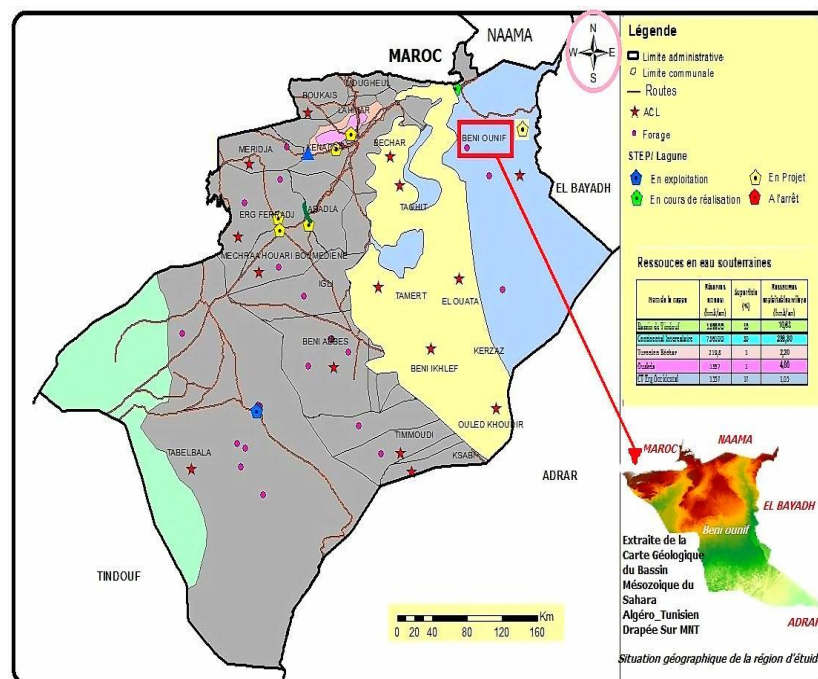


Figure 23. Carte des ressources en eau de la wilaya de Béchar.

Le secteur de Beni Ounif occupe une position particulière au point de vue structural dans le bassin occidental, il fait partie au bassin d'Oued Namous. Il marque en effet la limite orientale des formations sur lesquelles la phase Atlas a été superposée. Les formations géologiques affleurantes de Beni-Ounif appartiennent au Mésozoïque. Leur succession lithostratigraphique est représentée de la base par l'affleurement jurassique au nord de la zone d'étude. Le Crétacé inférieur constitué des dépôts formés de sable et d'argile surmontant le

Jurassique et au sommet en trouve le Quaternaire constitué des alluvions, des dunes de sable et d'Erg qui couvrent habituellement les zones basses. (Benhamza.M, et Merzougui.B, (2007)

Le système aquifère de la région de Béni Ounif la résultat de l'étude diagraphie (logging) (Fig.24) montrée Trois unités aquifères superposées, on distingue de haut en bas :

- Les unités alluviales quaternaires montrent celles de la vallée de Zousfana qui constituent une importante nappe phréatique, alimentée annuellement chaque année par les crues hivernales et surtout printanières.
- L'unité calcaro-dolomitique de Turonian reposant sur un mûr argileux-gypseux imperméable, et sur un substrat perméable d'argile et de marne de gypse d'âge Cénomaniens, cette eau souterraine de faible importance locale n'est alimentée que par des infiltrations d'une partie de l'eau atmosphérique tombant sur le calcaire et les dolomies fissures.
- L'unité du continental intercalaire constitué d'une alternance de couche grés-sableuse et argileuse, elle est alimentée essentiellement par les eaux qui alimentent l'unité du Crétacé inférieur contenue dans l'aquifère captif sous-jacent du Jurassique carbonaté par les apports verticaux et latéraux à travers la flexure sud-atlasique. L'alimentation se fait aussi lors des fortes crues des grands oueds comme oued Lakhdar, oued Zouzfana, oued Namous, et oued Laouedj, dans la partie Nord alors que dans la partie sud il est captif.

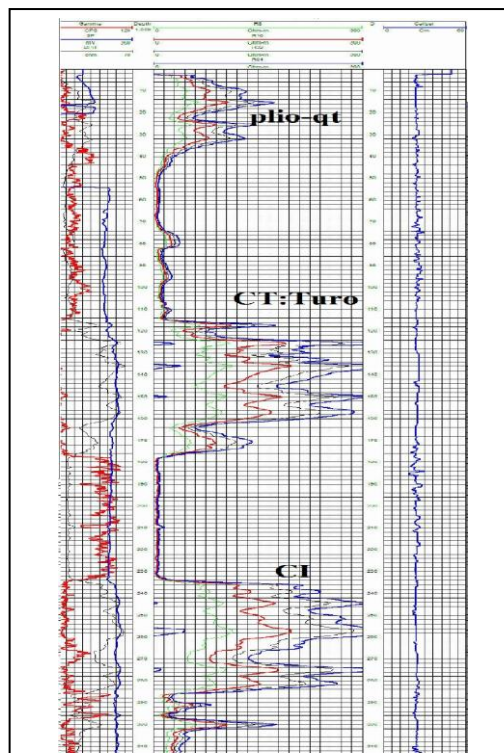


Figure 24. Logging montrant différent Aquifères de la zone d'étude.

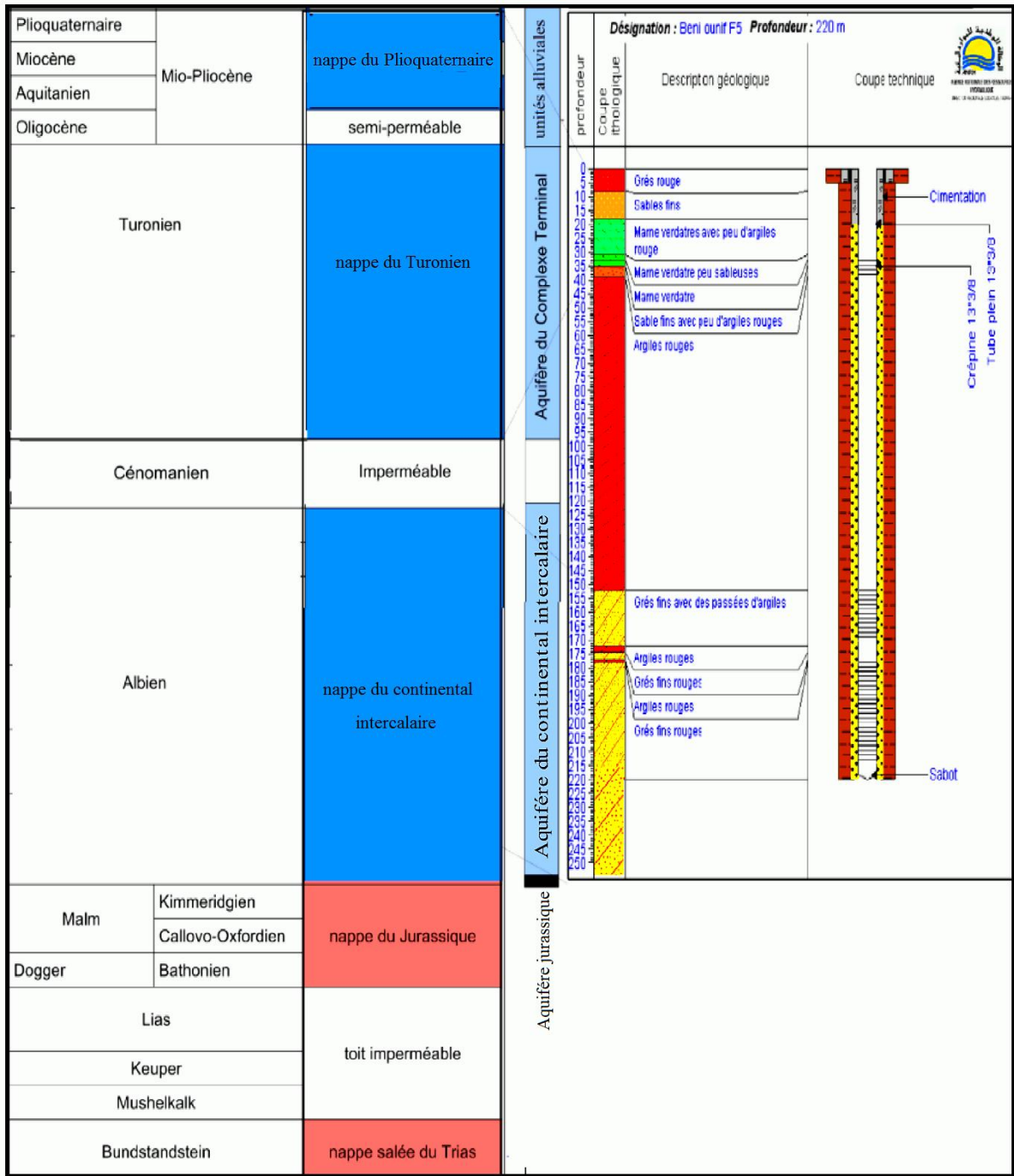


Figure 25. Lithostratigraphie montrant différent Aquifères de la zone d'étude.

1.5. L'Aquifère du Continental Intercalaire (CI) de Béni Ounif

1.5.1. Géométrie de la nappe de CI de Beni Ounif : Le Continental Intercalaire de Beni Ounif est la nappe le plus utilisée pour l'alimentation en eau dans la région. Elle est semi libre dans tout le long de l'axe nord du Béni Ounif et jusqu'à ce qu'elle doive être captive dans la partie Sud et Sud-Est.

La nappe du Continental Intercalaire dans la partie Nord-Est en amont de la région de Beni ouunif a été rencontrée entre 103 m de profondeur et exploitée par des forages donnent un débit total de 15 m³/h. dans le champ de captage la profondeur de CI est maximum (270 m), les forages dans cette zone donnent un débit de 35 à 47 l/s.

La nappe du Continental Intercalaire de Béni Ounif, constitue l'unique nappe d'eau douce exploitée dans le bassin de Béchar. Son réservoir d'eau est exploité à des profondeurs moyennes pour satisfaire les besoins en eau domestique, agricole et industrielle de la région.

La carte en isopaque dressée à l'échelle de la région de Beni ouunif montre un épaissement des sédiments du Continental Intercalaire du Sud-ouest vers le Sud-est et le Nord.

- Au Nord-Ouest : ADJ-101 (538 m) et BIR-101bis-101(991m).
- Au Sud-Ouest : TLA-101(70m), RJC-101 (70m) et TRZ-101 (120m)
- Au Sud-Est : ECF-101 (240m) et MSO-101 (334m).

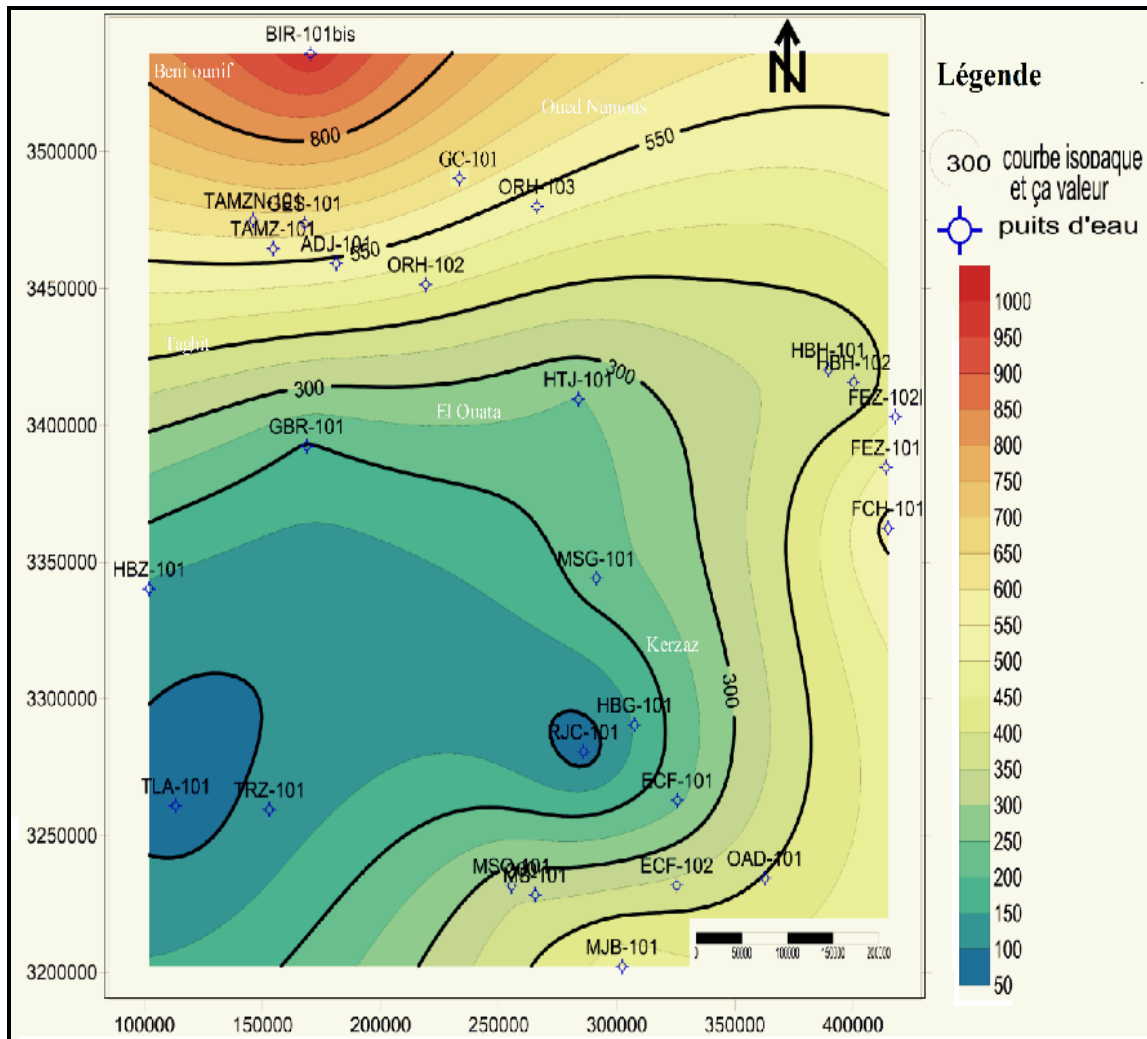


Figure 26. Carte en isopaque du CI dans la région de Beni Ounif.

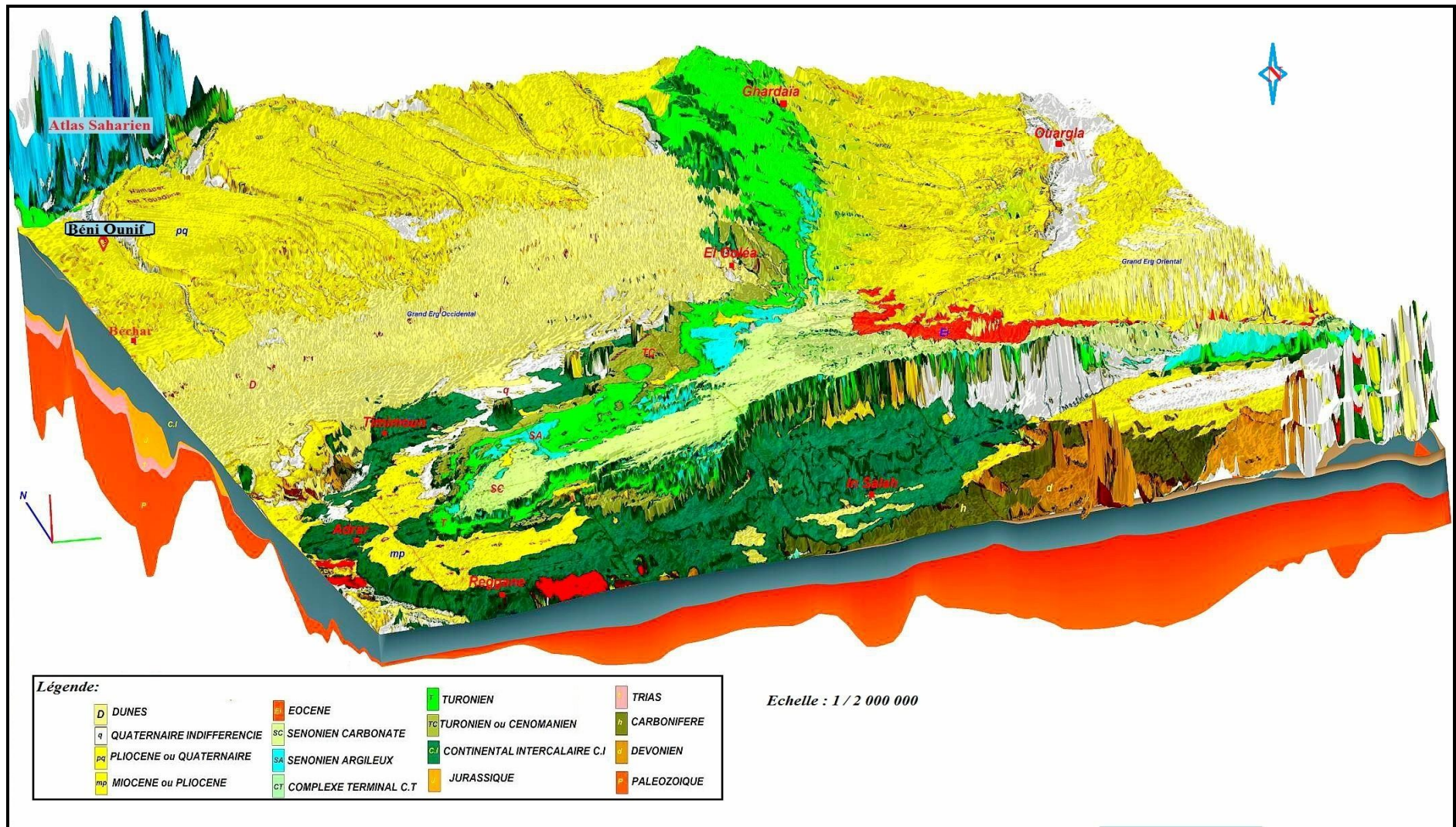


Figure 27. Carte géologique drapée sur diagramme hydrogéologique du bassin Occidental.

1.5.2. Piézométrie de la nappe de CI de Beni Ounif

L'examen de la carte piézométrique (Fig. 27) de la nappe du Continental Intercalaire établie à l'échelle du bassin, fait ressortir les éléments suivants :

L'écoulement régional des eaux souterraines se fait selon une direction majeure : Nord-Ouest vers Sud -Est.

A l'extrême Nord-ouest : Les lignes isopièzes sont plus serrées par rapport à celle de la partie Nord-est et Sud et présentent un espacement plus ou moins constant et régulier montrant ainsi un écoulement souterrain uniforme avec un gradient hydraulique de l'ordre de 2.3×10^{-3} .

Au Sud-ouest et à l'Est : Les lignes isopièzes présentent un espacement plus ou moins constant et régulier montrant ainsi un écoulement souterrain uniforme avec un gradient hydraulique de l'ordre de $1,03 \times 10^{-3}$ et $5,8 \times 10^{-4}$ respectivement.

Au Sud : Un axe de drainage des eaux de direction Nord -Sud au niveau des puits MSO-101 et MS-101.

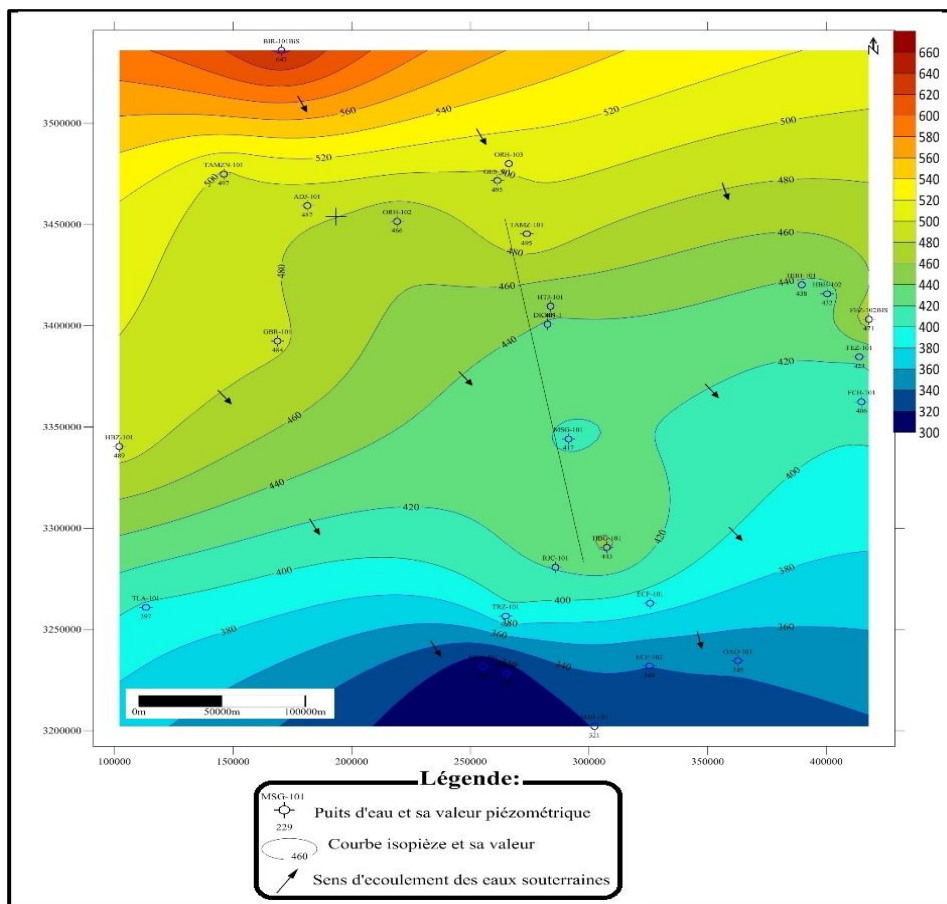


Figure 28. Carte piézométrique de la nappe de continentale intercalaire de Beni ouunif.

L'analyse des logs de forage montre une drainante entre la nappe de continentale intercalaire et la nappe superficielle, Cette derrière aquifère repose en discordance sur le CI avec une continuité hydraulique. Cela est confirmé récemment par le puits d'eau GC (Fig.28). Askri H. et al, (2017)

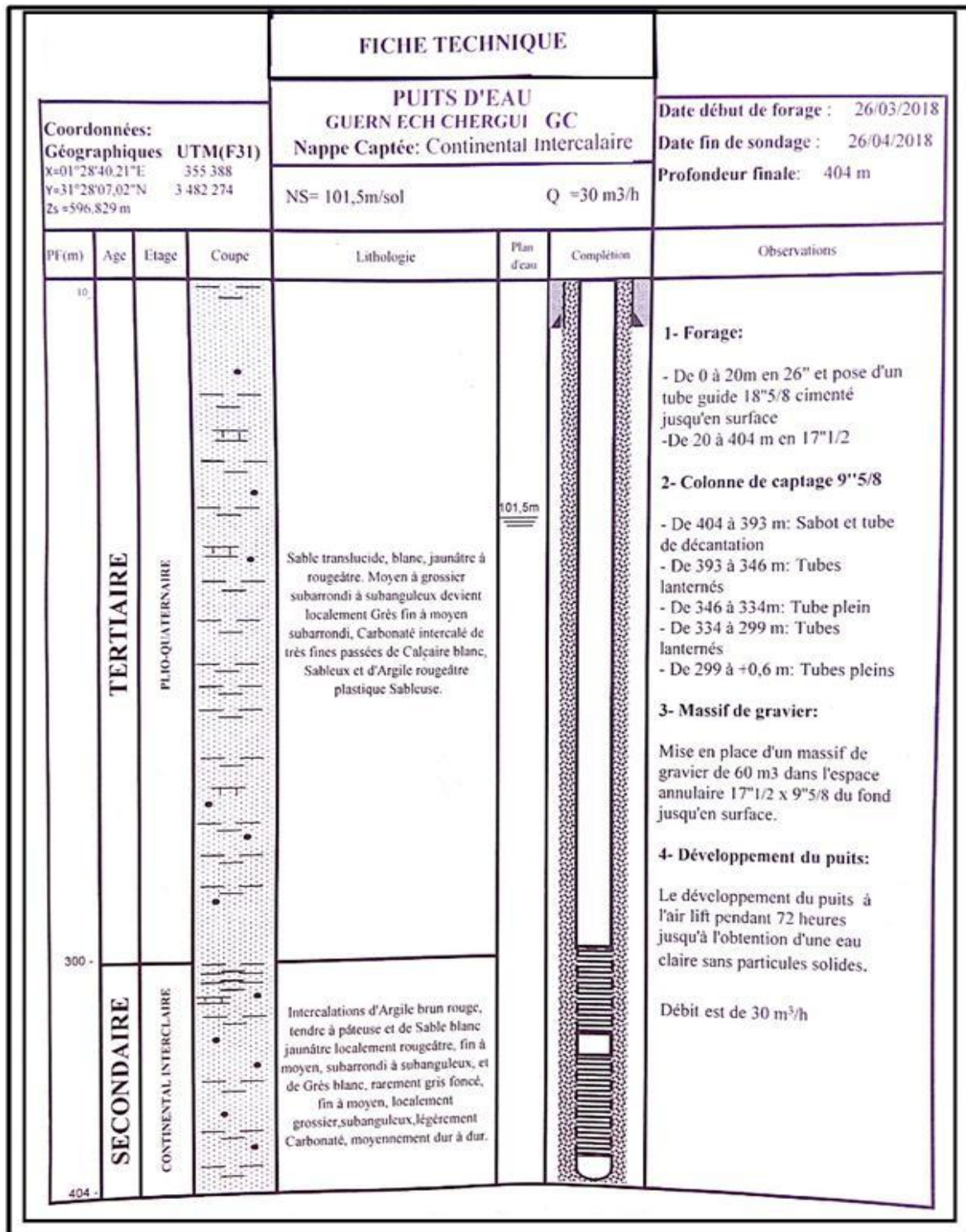


Figure 29. Coupe lithostratigraphique d'un forage d'eau capte le CI à Béni Ounif.

2. Exploration géophysique de la région beni ounif

La géophysique est un outil complémentaire indispensable à une étude hydrogéologique, elle complète les données d'un forage quand la zone d'étude est vaste et complexe. Les irrégularités sont généralement détectées de même que pour la puissance, l'allure et la structure de la formation étudiée. Une campagne de mesure géophysique a été exécutée dans la région de Béni ounif à la demande de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) par le bureau d'étude BETA-Consults. La méthode utilisée est le sondage électrique vertical (SEV), l'acquisition des mesures ont été menées du 02/06/2011 au 15/06/2011. Les principaux objectifs assignés à cette étude sont la détermination de la géométrie et la structure géologique des terrains Mésozoïques, et la détermination des zones favorables à l'implantation d'ouvrages de captage ;(Bouselsal. B, (2016).

2.1. Aspects théoriques de la méthode de sondage par prospection électrique

2.1.1. Méthodes de prospection électrique

La mesure de la résistivité électrique s'effectue généralement à l'aide du quadripôle de Schlumberger (Fig.30), on envoie dans le sol un courant électrique d'intensité I , créé par un générateur (piles accumulateur) à l'aide de deux électrodes A et B. Les électrodes de réception M et N permettent de mesurer la différence de potentiel ΔV provoquée par le passage du courant. On obtient la résistivité apparente grâce à la formule suivante :

$$\rho = K \Delta V / I ; \text{ Dédit de la loi d'Ohm}$$

Où : K = est coefficient qui ne dépend que de la géométrie du dispositif, pour le dispositif de Schlumberger ($K = \pi AM \cdot AN / MN$ pour un quadripôle symétrique).

ΔV et I sont mesurés respectivement à l'aide d'un voltmètre et d'un ampèremètre. La profondeur d'investigation d'un tel dispositif est fonction de l'écartement des électrodes d'émission A et B, ainsi que des épaisseurs et des résistivités des formations sont approximativement et empiriquement de l'ordre de $(1/4 \text{ à } 1/10) \cdot AB$.

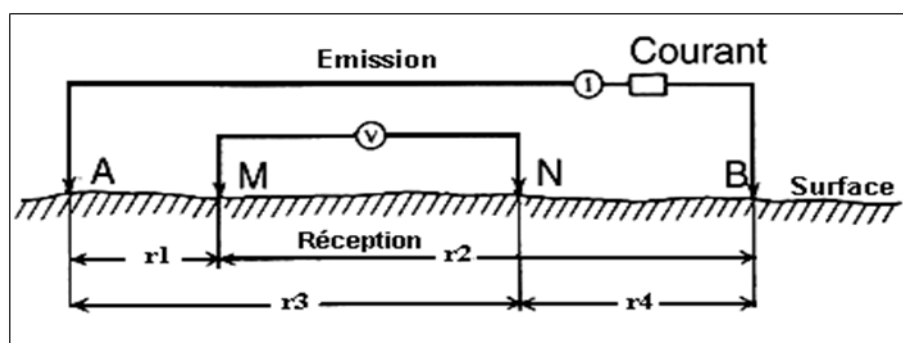


Figure 30. Quadripôle de Schlumberger

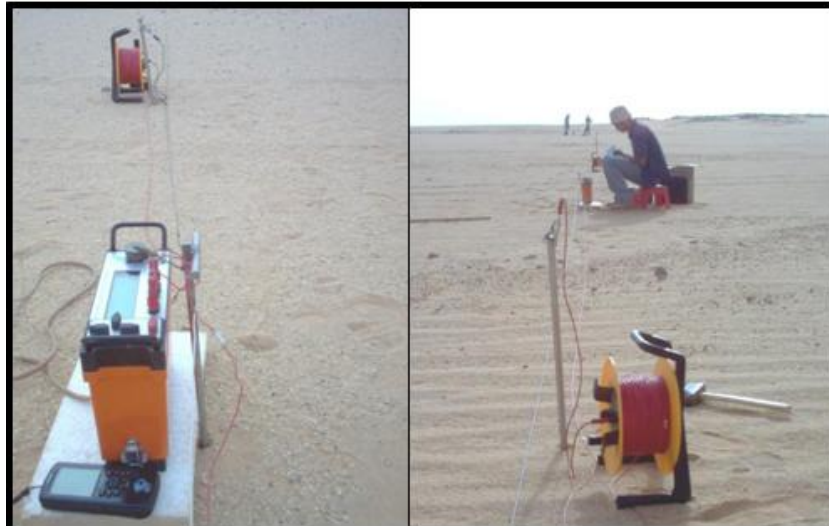


Figure 31. Les matériels de sondages électriques.

Lorsque les filets de courant circulent entièrement dans un même niveau homogène, la résistivité mesurée correspond à la résistivité vraie de terrain, c'est le cas notamment des mesures test ou paramétriques effectuées sur des formations sub-affleurantes, d'épaisseurs et d'extensions suffisamment importantes par rapport à l'écartement de la ligne d'émission (AB). Généralement les filets de courant traversent plusieurs horizons différents, dans ce cas, la résistivité est fonction des résistivités de différentes couches et de leurs épaisseurs. Les résistivités mesurées sont dites résistivités apparentes, grâce à ces valeurs que nous essayons de déterminer les résistivités vraies ρ_i et les épaisseurs h_i caractérisant chaque niveau.

La présence d'une structure dans le sol se manifeste par une anomalie de la résistivité apparente ρ_a dépendant de nombreux paramètres (dimension et profondeur de la structure, dimensions du dispositif, contraste électrique entre la structure et le milieu environnement). Afin de déduire des informations concernant les causes des anomalies observées sur le terrain, il est nécessaire de connaître la relation qui existe entre une structure et son anomalie. Pour cela deux techniques sont employées, le traîné et le sondage électrique vertical, en effet ces deux méthodes sont complémentaires.

Si le sous-sol est homogène et isotrope, avec un dispositif de ce type on obtiendra la résistivité vraie, Si par contre, le sous-sol est hétérogène, on mesurera la résistivité apparente, qui est fonction de la nature du sous-sol et de la dimension du dispositif utilisé (le Schlumberger: La distance MN est petite par rapport à AB. En général $MN < AB/5$).

2.1.2. Le traîné électrique : Dans la technique du traîné le dispositif AMNB est déplacé à travers champs. Selon des profiles plus au moins parallèles, tout en gardant constant l'espacement AB. La mesure ainsi obtenue correspond au centre. Les horizons géologiques explorés par cette méthode correspondent à une profondeur à peu près constante. Les résultats

de résistivité apparente sont reportés sur des cartes et permettent de déduire les niveaux de même résistivité électrique et de délimiter leurs extensions. Ces cartes constituent un document qui complète l'interprétation géologique et permettent de faire un choix sur les emplacements éventuels de sondages électriques.

2.1.3. Le sondage électrique vertical : Dans la méthode du sondage électrique on recueille des informations géologiques à la verticale d'un point donné, en poussant l'investigation toujours plus profondément. Pour cela, on effectue une série de mesures en agrandissement à chaque fois la longueur de la ligne d'émission AB, tout en gardant fixe le centre du dispositif. En reportant, sur un graphe bi-logarithmique, les valeurs des résistivités apparentes mesurées en fonction de la longueur de ligne AB ; on obtient une courbe du sondage électrique dont l'interprétation va servir à déterminer graphiquement les résistivités ρ_i et les épaisseurs h_i des différents niveaux lithologiques.

La variation de résistivités des roches et des eaux (Tab.9), est d'ordre de 1 à quelques dizaines d' $\Omega.m$ pour les argiles et les marnes, d'une dizaine à quelques centaines d' $\Omega.m$ pour les sables et les grès marneux et d'une centaine à plusieurs milliers d' $\Omega.m$ pour les calcaires, grès, granite et les roches éruptive.

Tableau 9. Plage de variation de résistivité des roches

Résistivités ($\Omega.m$)	Caractéristiques lithologiques	Age de formation
10 à 70	Alluvions limoneuses de surface	Quaternaire
100 à 200	Alluvions sableuses sèches	
50 à 100	Alluvions sableuses humides	
Jusqu'à 1000	Alluvions grossières (galets et sables)	
80 à 90	Alluvions grossières humides	Miopliocène
3 à 5	Marnes	
Jusqu'à 40	Marno-gréseuses	Miocène
7 à 10	Marnes	
Jusqu'à 500	Grès et Poudingues	Oligocène
< à 3	Marnes	
Jusqu'à 500	Flysch grés- argileux	Crétacé
50 à 80 parfois > à	Marno-calcaires	
40 à 50	Tufs volcaniques	/

La conductibilité d'un électrolyte dépend en fait de la teneur en ions et de la mobilité des différents ions en solution et du degré de dissociation (Chapellier.D, 2000). La résistivité des eaux est en relation inverse avec le degré de minéralisation (Tab.10).

Tableau 10. Plage de variation de résistivité des eaux.

Types d'eau	Concentration	Résistivité	Conductibilité MS/cm
Eau potable	500	12	833
Eau médiocre	1000	6	1666
Eau mauvaise	2000	2.8	3571
Eau non potable	8000	0.75	13333
Eau de mer	35000	0.2	50000
Eau de Vichy	5167	1.2	8000
Eau de robinet	311	18	550

2.2. Exécution des sondages électriques verticaux dans la région de Béni Ounif

Le bureau d'étude **BETA-Consults** à réalisé 68 sondages électriques verticaux (AB= 2000m) au niveau de la zone nord de Béni Ounif. Les sondages sont regroupés dans 13 profils, la distance entre les sondages est d'environ 1km, la surface exploré est 51km² (Fig.32).

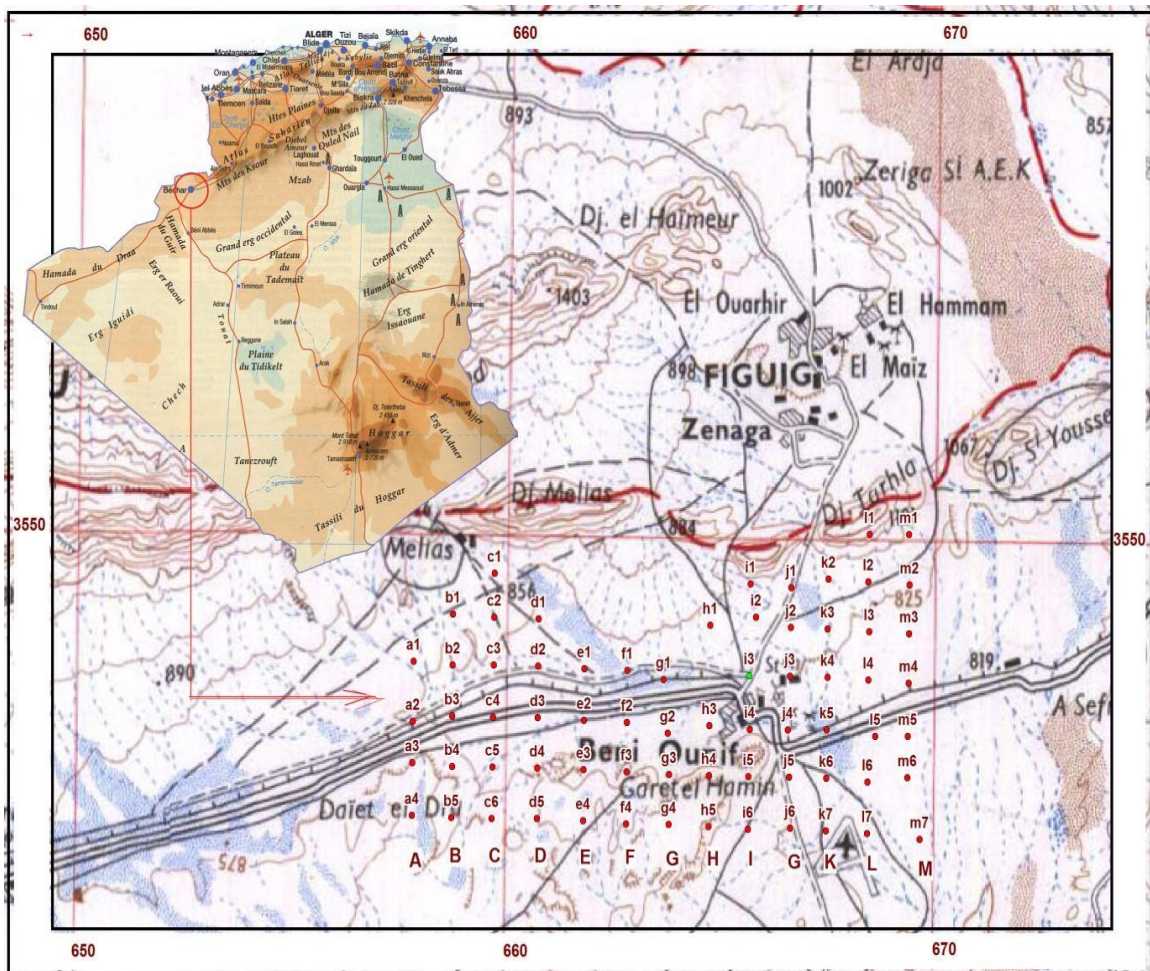


Figure 32. Carte de situation des sondages électriques verticaux (SEV)

Pour l'établissement d'une échelle de résistivité fiable qui servira de base pour l'interprétation des sondages électriques, un étalonnage des résultats de la prospection

électrique a été effectué à l'aide des coupes lithologiques de deux forages (Fig.33) réalisés dans la zone d'étude (J3-44, J3-45).

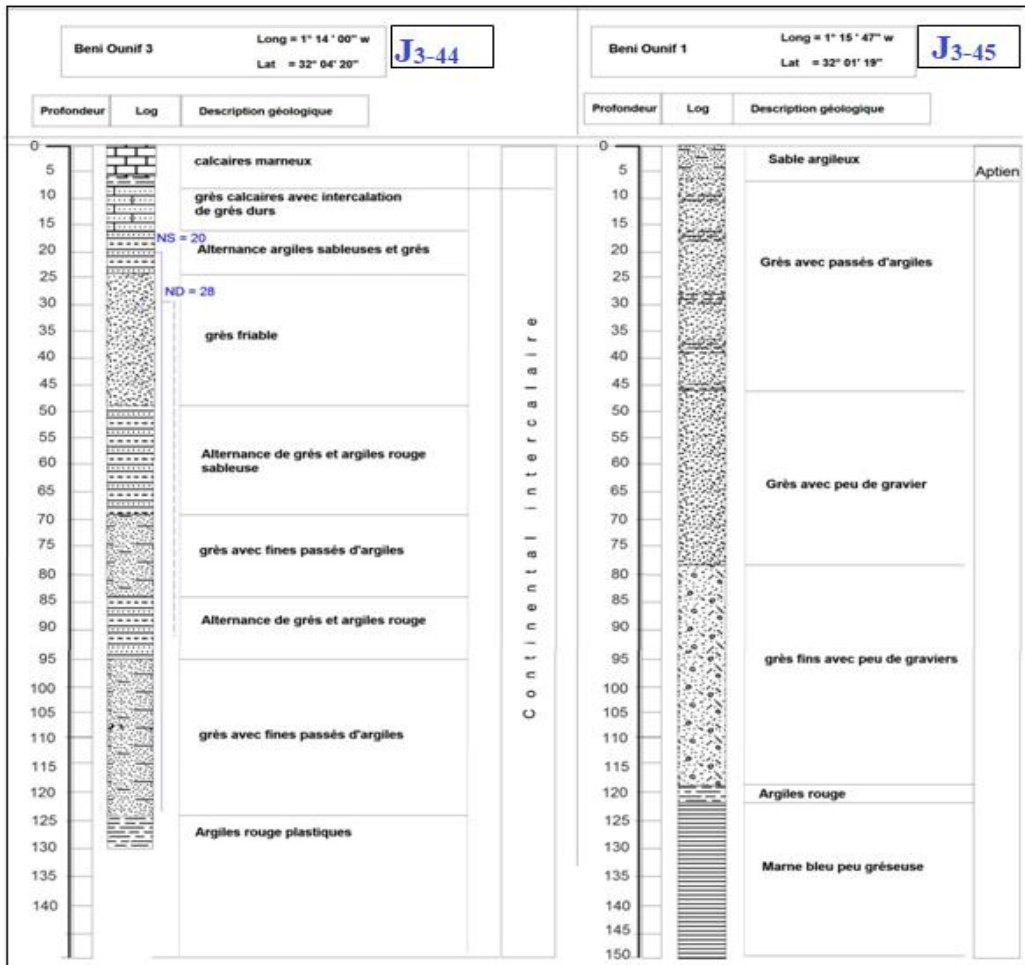


Figure 33. Log de forages d'étalonnage.

2.2.1 Etalonnage a l'aide du forage J3-44 : Le sondage étalon S1 (Fig.34 et Tab 11) réalisé à proximité du forage J3-44 localisé aux coordonnées UTM: X= 666 611/Y= 3 549 534 a recoupé sur une profondeur de 130 m :

- un niveau conducteur d'une résistivité de 8 à 19 Ohm.m pour une épaisseur de 9 m correspondant aux marnes et marno-calcaires.
- des alternances de grès argileux et argiles d'une résistivité de 11 à 32 Ohm.m de 60m d'épaisseur des grès à passés d'argiles épais de 55m, d'une résistivité de l'ordre de 88 Ohm.m.
- Un horizon de 21 Ohm.m de résistivité pour une épaisseur de 233m correspondant aux argiles rouges plastiques.
- Un substratum résistant d'une résistivité de 215 Ohm.m qui correspond probablement aux calcaires dolomitiques du Jurassique supérieur.

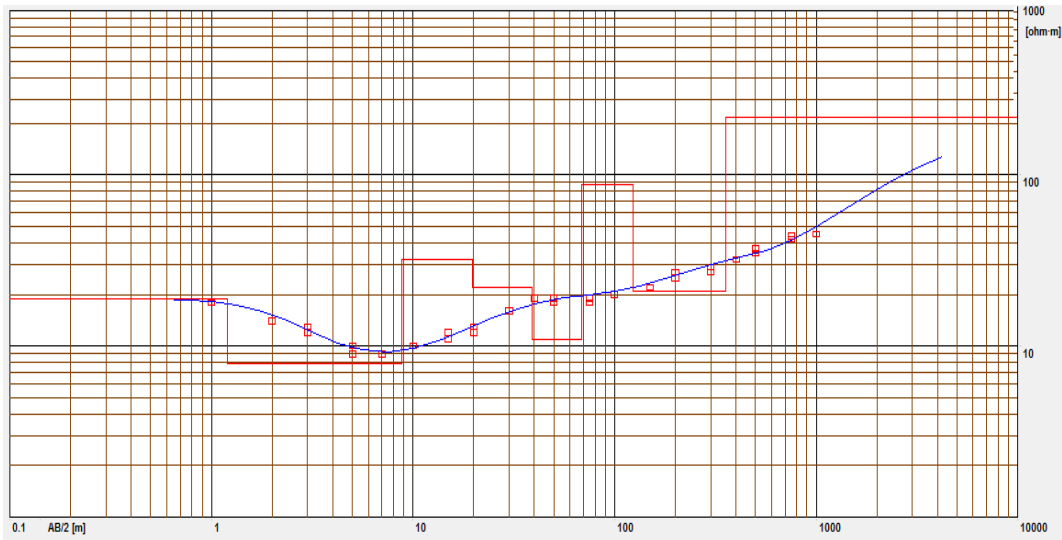


Figure 34. Etalonnage a l'aide du forage J₃₋₄₄

Tableau 11. Calcul du Modèle au forage J₃₋₄₄

Résistivité (Ohm.m)	Epaisseur (m)	Profondeur (m)
19	1,2	
8	7,6	1,2
32	11	8,8
22	19	20
11	30	39
88	55	69
21	233	124
215		357

2.2.2. Etalonnage a l'aide du forage J₄₋₄₅ : Le sondage étalon S2 (Fig.35 Tab 12) réalisé à 130 m du forage J3-45 situé aux coordonnées UTM 30 : X = 663,917 km, Y = 3 544,209 km a recoupé sur une profondeur de 158 m :

- un niveau résistant, d'une résistivité de 124 à 268 Ohm.m, d'une épaisseur de 7m correspondant aux sables secs.
- Un terrain conducteur, d'une résistivité de 28 Ohm.m pour une épaisseur de 8m correspondant aux argiles.
- Un troisième niveau épais de 111m, d'une résistivité de 179 à 560 Ohm.m appartenant aux grés admettant des passages de graviers probablement non saturés.
- Un quatrième horizon de 25 Ohm.m et une épaisseur de 297m correspondant aux marnes.
- Un substratum très résistant d'une résistivité de 454 Ohm.m, correspondant probablement aux calcaires dolomitiques compacts et durs du Jurassique supérieur.

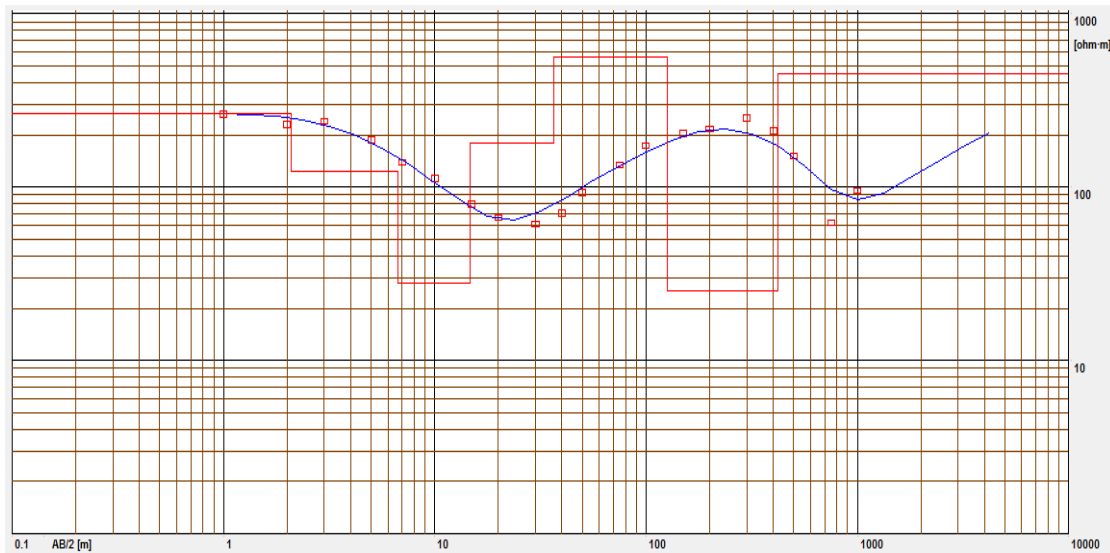


Figure 35. Etalonnage a l'aide du forage J4-45

Tableau 12. Calcul du Modèle au forage J3-45.

Résistivité (Ohm.m)	Epaisseur (m)	Profondeur(m)
268	2,1	
124	4,6	2,1
28	8	6,7
179	22	15
560	89	37
25	297	126
454		423

2.2.3. Echelle de resistivite

D'après l'analyse des résultats des sondages électriques, il ressort que dans la zone d'étude les résistivités électriques varient dans de grandes proportions :

- Les formations superficielles des alluvions, dunes de sable et Reg présentent une résistivité varie entre 4 Ohm.m à 3177 Ohm.m (suivant leurs saturation en eau).
- Les faibles valeurs de résistivité rencontrées correspondent aux argiles et aux argiles gréseuses (6 Ohm.m à 77 Ohm.m).
- Les valeurs intermédiaires, entre 82 Ohm.m et 120 Ohm.m correspondent aux grès argileux, argiles gréseuses ou sableuses et grès tendres à ciments argileux.
- Les valeurs de résistivités supérieures à 250 Ohm.m, sont attribuables aux grès durs à passages de graviers et calcaires dolomitiques.

A partir les données des sondages électriques et des forages existants ayant servi à l'étalonnage des mesures, nous avons établi l'échelle des résistivités suivante (**Tab.13**) :

Tableau 13. Echelle des résistivités adoptées pour la zone d'étude

Formations	Age	Résistivités (Ohm.m)
Alluvions, dunes et Regs	Quaternaire	4 à 3177
Argiles et marnes	Continental Intercalaire	6 à 28
Argiles gréseuses		33 à 77
Grès durs		250 à 1782
Grès, sables		82 à 120
Calcaires et calcaires	Jurassique	106 à 2480

Les résultats de l'interprétation géophysique sont exprimés sous forme de 13 coupes géo-électriques interprétatives, trois carte de résistivité apparente et une carte du toit de substratum.

2.2.4. Interprétation des coupes géoélectriques : Pour l'élaboration et l'interprétation des coupes géoélectriques (Fig.35 et Fig.36), nous avons convenu de rassembler l'ensemble des variations lithologiques en trois groupes selon la gamme des résistivités illustrée par le tableau 5.

A. Coupes géoélectriques A, B et C : Les coupes géo-électriques de A à C (Fig.36)

d'orientation Nord-Sud réalisées dans la partie Ouest de la zone d'étude montrent deux ensembles géo-électriques distincts :

- A la base, le Jurassique supérieur représenté par des calcaires et calcaires dolomitiques caractérisés par de fortes résistivités allant de 247 à 2480 Ohm.m (sondages B₂, C₄), il est relativement plat mais admettant des plis continus à grand rayon de courbure (sondage C₂).
- Au sommet, le Jurassique supérieur est surmonté en concordance par un important dépôt détritique du Crétacé inférieur, représenté par des grès et argiles ; les couches sableuses sont localisées aux niveaux des sondages A₃ et B₂.

B. Coupes géoélectriques D, E et F : Les coupes (Fig.36) montrent les mêmes formations rencontrées précédemment, le Jurassique calcaro-dolomitique est résistant avec des valeurs de résistivités comprises entre 142 et 1172 Ohm.m, surmonté par le continental intercalaire caractérisé par des passages latéraux et des changements de faciès fréquents marqué par les grès, sables argileux, argiles et argiles sableuses. La prédominance gréseuse est bien marquée au niveau des sondages E₄, F₄ et G₃ avec des résistivités oscillant entre 97 à 1425 Ohm.m.

C. Coupes géoélectriques G, H, I et J (Fig.37) : Globalement, nous observons sur les coupes géoélectriques G, H, I et J (Fig.38), les mêmes ensembles lithologiques sur-cités. Néanmoins, nous notons une nette prédominance de la fraction argileuse sur l'ensemble des coupes

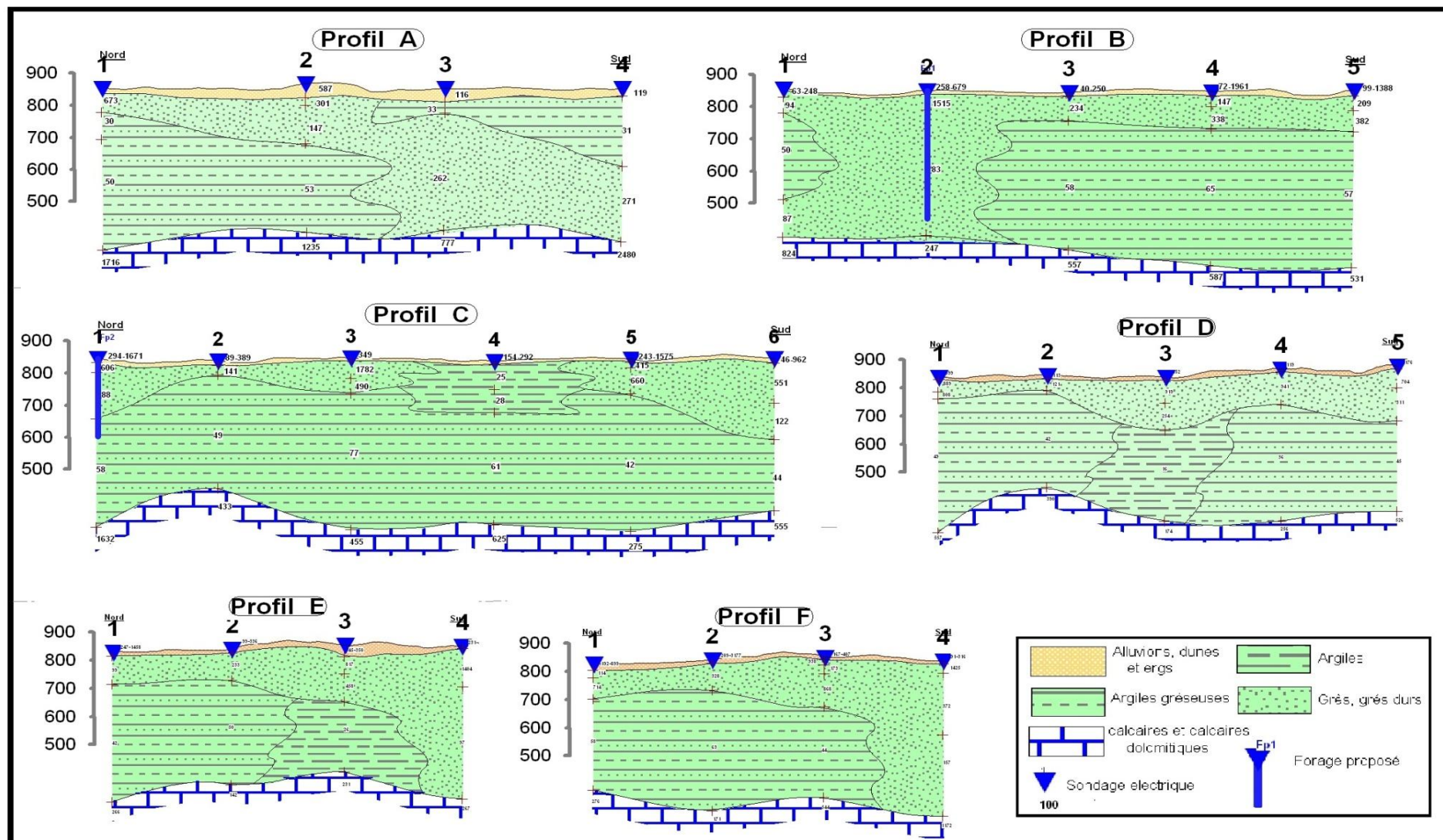


Figure 36 : coupes géoélectriques du profil A, B, C, E, F.

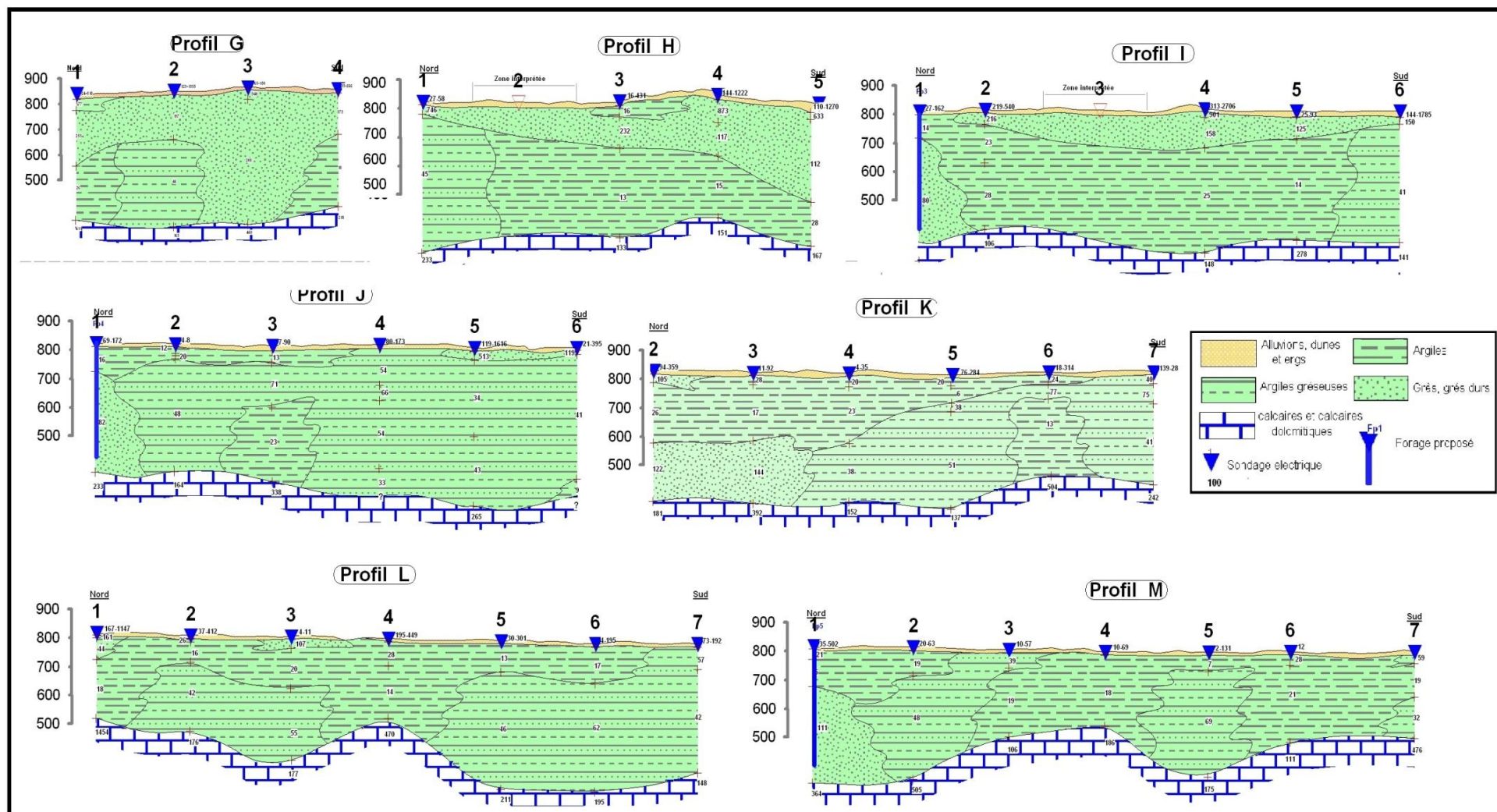


Figure 37. Coupes géoélectriques du profil G, H, I, J, K, L, M.

D. Coupes géoélectriques K, L et M : Les coupes géoélectriques K, L et M (Fig.37) réalisées dans la partie Est de la zone d'étude confirment la structure géologique telle qu'elle a été décrite précédemment. Une nette réduction des épaisseurs du continental intercalaire est observée, due à la remontée du Jurassique supérieur, ceci est nettement visible aux sondages L₄, M₄ et M₇. A travers ces coupes, les fractions grès-sableuses sont réduites aux sondages K₂, K₃ et M₁ avec des résistivités comprises entre 111 et 144 Ohm.m.

2.2.5. Interprétation des cartes resistivites apparentes

A. Carte des resistivites apparentes (AB = 400 M) : Cette carte (Fig.38) avec une profondeur d'investigation comprise entre 80 et 100 mètres, caractérise nettement deux zones distinctes :

- Une partie Est totalement conductrice au-delà du profil J où les résistivités sont inférieures à 60 Ohm.m, correspondant aux argiles et argiles gréseuses du CI.
- Les plages de résistivités apparentes mises en évidence dans le reste de la zone d'étude (80 à 695 Ohm.m) sont à attribuer aux grès et grès durs avec une faible fraction argileuse ; en grande partie ces derniers sont non saturés.

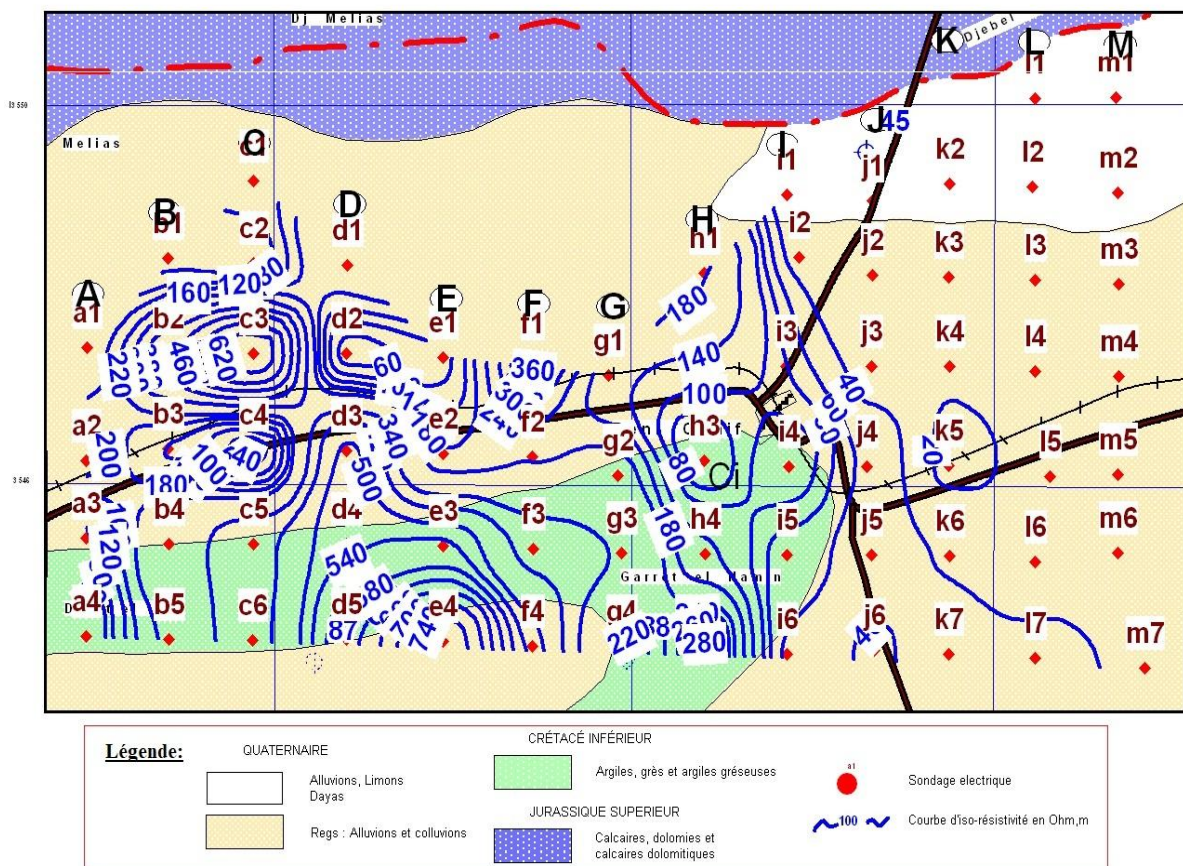


Figure 38: Carte des resistivites apparentes (AB = 400 M)

B. Carte des résistivités apparentes (AB = 1000 M) : Cette carte (Fig.39) avec une profondeur d'investigation comprise entre 150 et 250 mètres, et qui correspondent théoriquement par endroits aux résistivités apparentes de la base du CI.

- Dans la partie centrale et à l'ouest de la zone d'étude, les résistivités apparentes sont dans l'ensemble supérieures à 100 Ohm.m, ce qui traduit la continuité des séries résistantes qui correspondent aux grès durs insaturés avec une faible fraction argileuse.
- Par contre, les faibles valeurs (inf à 60 Ohm.m) sont localisées dans la partie Est.

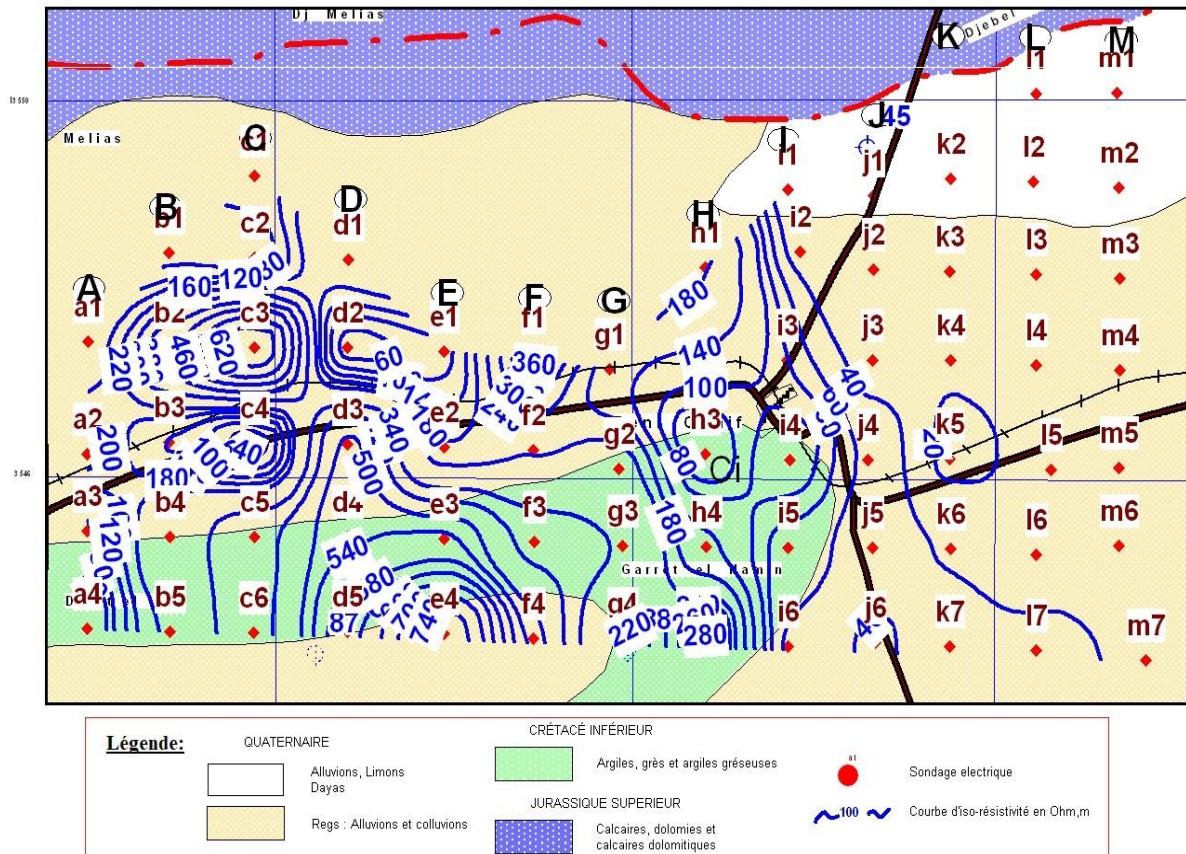


Figure 39. Carte des résistivités apparentes (AB = 1000 M)

C. Carte des résistivités apparentes (AB = 2000 M) : Cette carte (Fig.40) avec une profondeur d'investigation comprise entre 300 et 500 mètres. Les valeurs des courbes d'iso-résistivités apparentes figurant sur cette carte montrent deux plages de résistivité :

- Une plage dont les résistivités sont supérieures à 100 Ohm.m, correspondent théoriquement au substratum résistant du Jurassique supérieur. Il est représenté par un faciès carbonaté formé de calcaires et calcaires dolomitiques.

- Une zone à l'Est qui va au-delà du profil J où les valeurs des résistivités apparentes sont inférieures à 60 Ohm.m et qui correspondent à des argiles plus ou moins gréseuses du Continental Intercalaire.

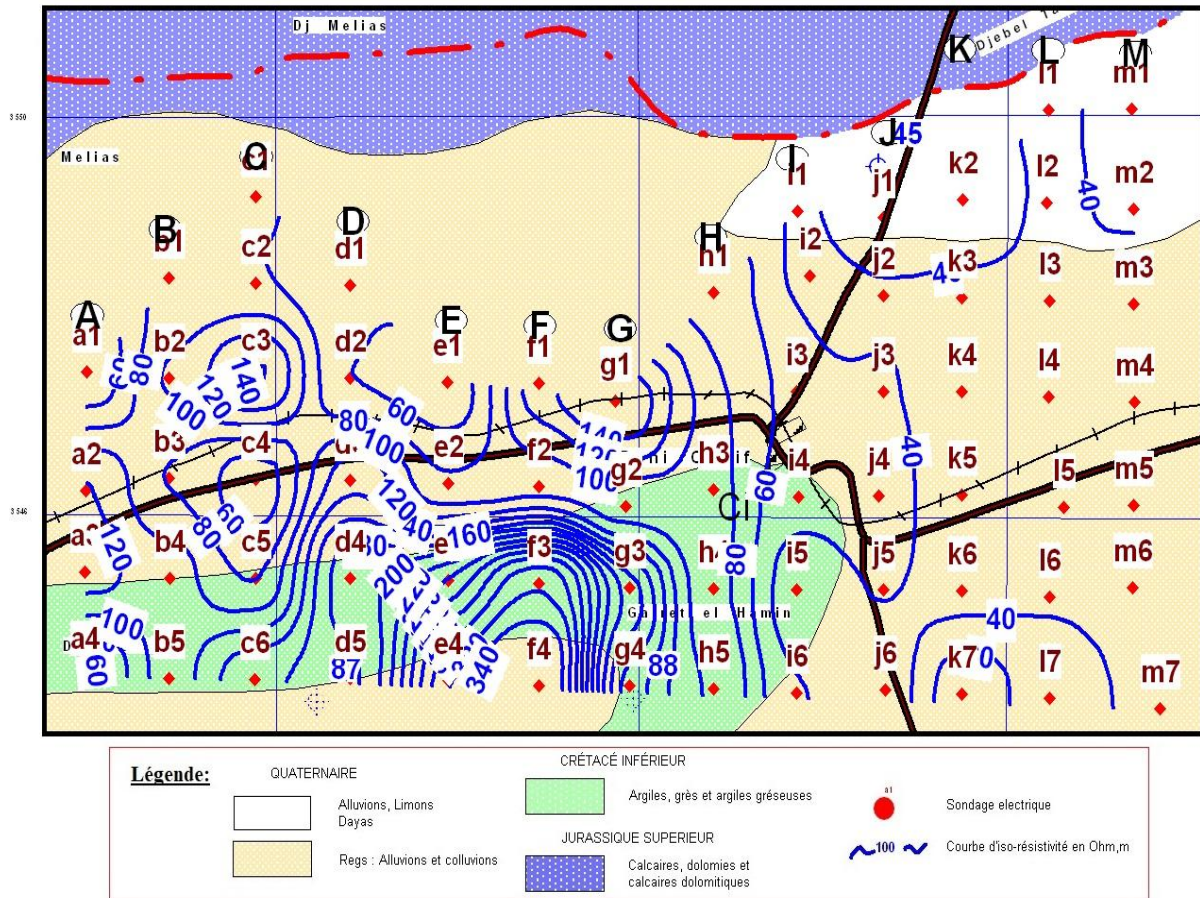


Figure 40. Carte des résistivités apparentes (AB = 2000 M)

2.2.6. Carte du toit du substratum jurassique : La carte d'isobathes du toit du substratum Jurassique (Fig.41) réalisée dans la zone d'étude montre que le substratum est représenté par les calcaires et les calcaires dolomitiques, leur surface est ondulue avec des profondeurs varies entre 300m et 380m, on note aussi l'existence quelques dépressions où la profondeur peut atteindre 480m vers la partie Est.

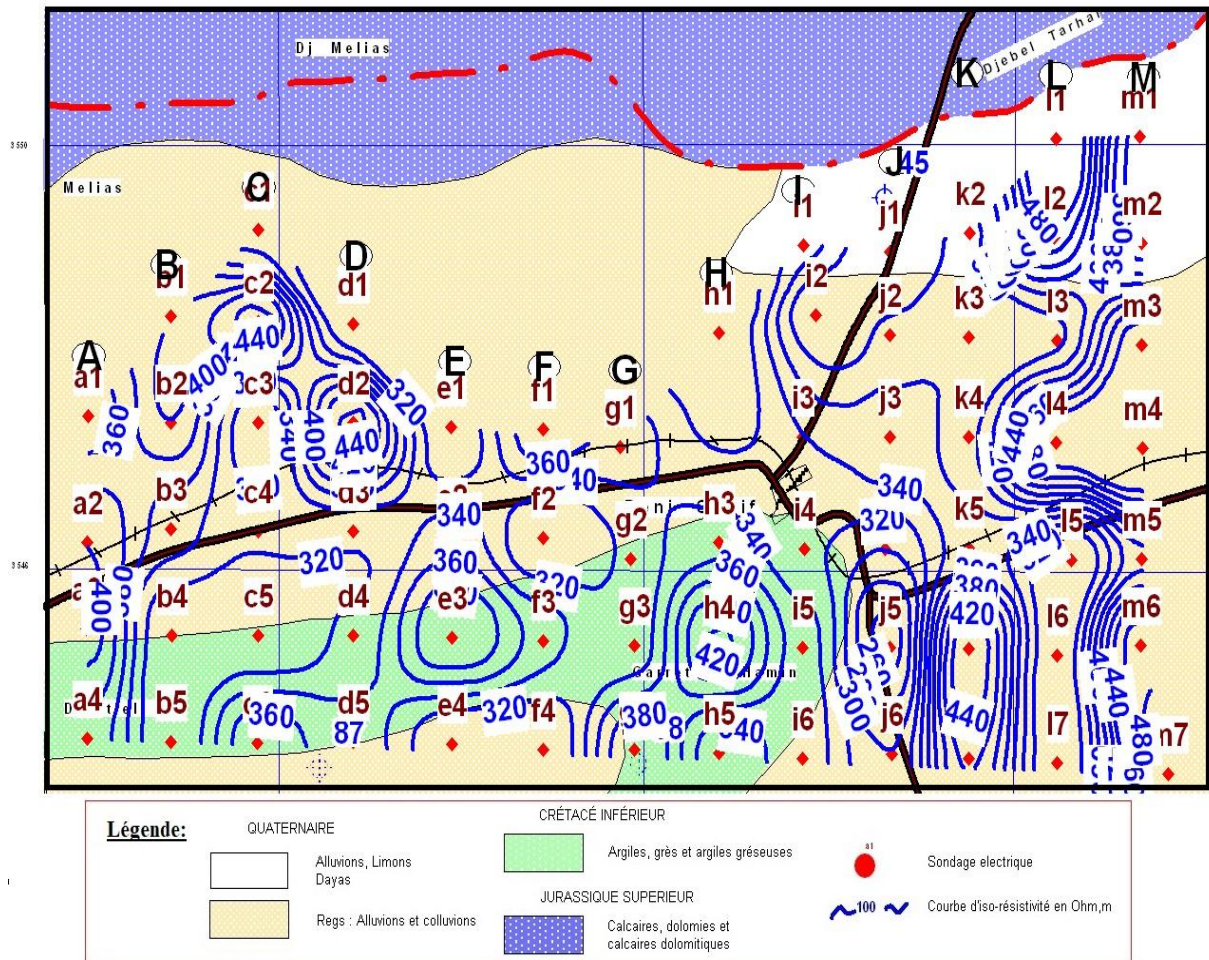


Figure 41. La carte d'isobathes du toit du substratum Jurassique

2.2.7. Carte d'implantation des forages proposés : La confrontation de l'ensemble des données géologiques et des résultats géophysiques, nous a permis d'individualiser plusieurs zones favorables à l'implantation de forages d'exploitation d'eau. Ces points favorables à la réalisation d'ouvrages hydrauliques sont les sondages B₂, C₁, I₁, J₁, M₄ (Tab14 et Fig.42).

Tableau 14. Ouvrages proposés pour l'exploration hydraulique

	Forage proposé	Coordonnée		N° SEV	Prof forages (m)
		X	Y		
1	Fp1	658,787	3 547,410	B2	400
2	Fp2	659,747	3 549,229	C1	270
3	Fp3	665,734	3 549,085	I1	400
4	Fp4	666,692	3 549,020	J1	400
5	Fp5	669,432	3 550,104	M4	400

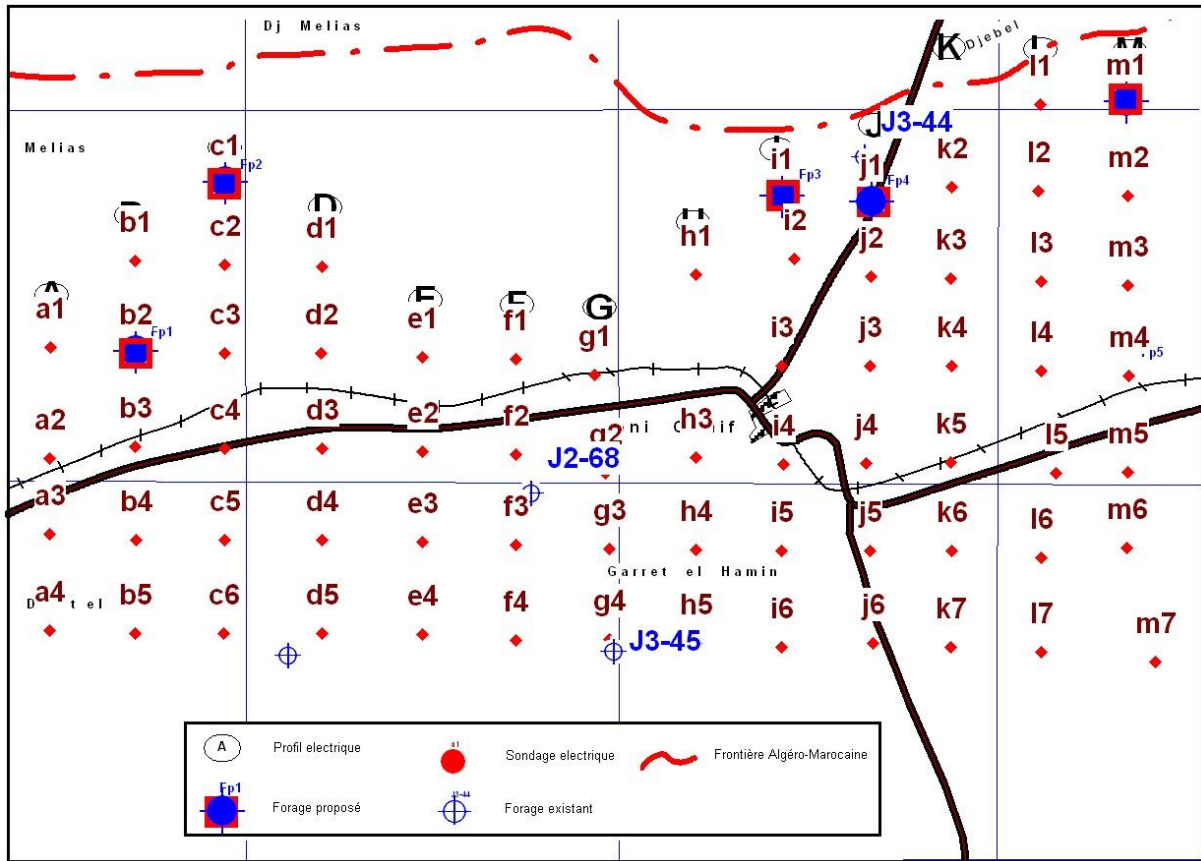


Figure 42: Carte d'implantation des forages proposés

3. Gestion des ressources en eau dans la région de Beni Ounif

Les ressources en eau sont essentiellement orientés à l'alimentation en eau potable (AEP), en eau d'irrigation (AEI) et pour la satisfaction des besoins en eau destinés à l'industrie (AEI) dans les régions de Beni Ounif et Béchar pour aujourd'hui et les années futures.

Ces besoins sont évalués de façon globale suivant la demande moyenne journalière en eau par habitant, sans tenir compte des besoins propres à chaque usager. Pour cela deux paramètres sont pris en considération :

- L'évolution de la population au cours du temps.
- La dotation moyenne en eau.

Concernant les dotations unitaires, on a choisi des dotations par ordre décroissant selon l'importance de l'agglomération, ces dotations sont prises en fonction des ressources hydriques actuelles en les assimilant avec les dotations de J. Bonin, 1962.

3.1. Evolution de la population totale des wilayas de Béchar et par horizon.

L'évaluation démographique des agglomérations pour la Commune de Beni Ounif est basée sur le recensement de la population réalisé par l'ONS en 2008, et le taux d'accroissement de l'étude PNE (2010) comme indiqué dans la formule suivante : $P_{\text{projetée}} = P_{2008} (1+\tau)^n$

- $P_{\text{projetée}}$: Population estimée pour l'horizon
- P_{2008} : Population recensée en 2008.
- τ : Taux d'accroissement.
- n : nombre des années entre l'horizon considéré et l'année de 2008.

Selon le RGPH de 2008, la population des 10 wilayas du Sud est de 3 741 621 habitants (Fig.43) et (Tab.15), elle serait passée à 4 093 894 habitants en 2012 et atteindrait les 5 694 606 à l'horizon 2030.

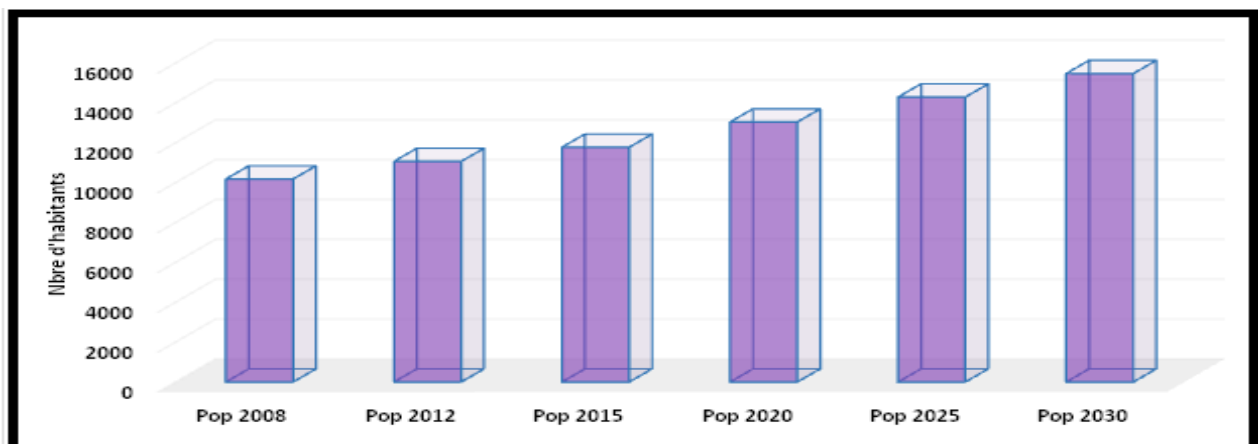


Figure 43 : Perspectives d'évolution de la population de la commune de Beni Ounif.

Tableau 15. Population totale des wilayas de Béchar et par horizon.

Commune	Agglomération	2008	2012	2015	2020	2025	2030
Bechar	Bechar	165241	179565	191116	211629	231943	251102
Beni Ounif	Beni Ounif	10183	11066	11778	13042	14294	15474
Erg Ferradj	Erg Ferradj	1922	2089	2223	2462	2698	2921
	Guir Lotfi	1530	1663	1770	1960	2148	2325
	Hassi Menounet	768	835	888	984	1078	1167
En'Mer	En'Mer	453	492	524	580	636	688
	Ouled Rafea	1717	1866	1986	2199	2410	2609
	Ouled khoudir	1359	1477	1572	1741	1908	2065
	Khebeb El K	722	785	835	925	1013	1097
Meridja	Meridja	592	643	685	758	831	900
	Boutarfaya	656	713	759	840	921	997
	Timoudi Ksar	1597	1735	1847	2045	2242	2427
Lahmar	Lahmar	1691	1838	1956	2166	2374	2570
Beni-Abbes	Beni-Abbes	9965	10829	11525	12762	13988	15143
	Ougarta	371	403	429	475	521	564
	Zeghamra	549	597	635	703	771	834
Beni Ikhlef	Beni Ikhlef	1651	1794	1910	2114	2317	2509
	Guerzim	802	872	928	1027	1126	1219
Mechraa H.Boumediene	Mechraa H.B	1747	1898	2021	2237	2452	2655
	Djorf el Barda	1337	1453	1546	1712	1877	2032
Kenadsa	Kenadsa	13205	14350	15273	16912	18535	20066
Igli	Igli	5405	5874	6251	6922	7587	8213
	Mazer	1263	1372	1461	1618	1773	1919
Tabelbala	Tabelbala	2181	2370	2523	2793	3061	3314
	Cheraya	1389	1509	1607	1779	1950	2111
	Zaouia Sidi Zekri	931	1012	1077	1192	1307	1415
Taghit	Taghit	2295	2494	2654	2939	3221	3488
	Barrebi Ksar	1515	1646	1752	1940	2127	2302
	Zaouia Fougania	837	910	968	1072	1175	1272
	Zaouia Tahtania	738	802	854	945	1036	1121
	Bakht	636	691	736	815	893	966
	Brelka	293	318	339	375	411	445
El Ouata	El Ouata	1567	1703	1812	2007	2200	2381
	Ammes	1644	1787	1901	2106	2308	2498
	Aguedal	1291	1403	1493	1653	1812	1962
	Amefid	1005	1092	1162	1287	1411	1527
	Bayadha	680	739	786	871	954	1033
	El Ouata centre	504	548	583	645	707	766
Boukais	Boukais	970	1054	1122	1242	1362	1474
Mogheul	Mogheul	628	682	726	804	882	954
Abadla	Abadla	13544	14718	15665	17346	19011	20582
Kerzaz	Kerzaz	845	918	977	1082	1186	1284
	Ksar Kerzaz	2699	2933	3122	3457	3788	4101
	Zaouia el Kebira	1294	1406	1497	1657	1816	1966
	zone éparsé	187	203	216	239	262	284
Ksabi	Ksabi	1631	1772	1886	2089	2289	2478
Tamtert	Tamtert	497	540	575	637	698	755

(Source ABH Régional Ouargla).

3.2. Evaluation de la demande en eau potable dans la commune de Beni ounif

Les données retenues pour le calcul des besoins en eau sont celles utilisées à partir de l'étude PDARE en 2018. Les résultats des calculs sont résumés dans le tableau 16.

Tableau 16. Situation de l'utilisation des ressources en eau dans la wilaya de Béchar(CDARS).

Données générales	
Superficie :	162 200 Km ²
Nombre de communes :	21
Nombre de daïras :	12
Nombre d'agglomérations :	68
Population (2014) :	313 207 hab
Population agglomérée :	313 207 hab
Pluviométrie (mm/an) :	30-70
SAU (ha) :	52 912 ha (en 2013)
Alimentation en eau potable	
Besoins en eau (m ³ /j) :	46 981
Dotation (l/j/hab) :	150
Production (m ³ /j) :	42 956
Taux moyen de couverture (%) :	91
Capacité de stockage (m ³) :	53 070
Gestion ADE :	07/21 communes
Indicateurs de distribution	
Distribution continue :	5% de la population
Distribution quotidienne :	30% de la population
Distribution 1j/2 :	65% de la population
Distribution 1jour/3 et plus :	0% de la population
Hydro-agricole	
Superficie équipée GPI (ha) :	5 400 ha
Superficie irriguées en PMH (ha) :	22 466 ha (en 2013)
Besoins en eau PMH (Hm ³ /an) :	157 (en 2013)

Les informations en relation avec la distribution et l'épuration des eaux domestiques dans la wilaya de Béchar sont résumées dans la figure 42. D'après la figure la commune de Beni Ounif profite d'un réseau de distribution de l'AEP qui alimente la population chaque jour mais la commune ne dispose pas d'un STEP c'est à dire les eaux usées domestiques sont rejetées directement dans les cours d'eau.

Les données retenues pour le calcul des besoins en eau domestiques sont celles utilisées à partir de l'étude PDARE en 2012 et rapport de l'ABH. La formule appliquée pour le calcul les besoins en eau potable est la suivante :

$$Q_{AEP} = \text{Pop} * T_{\text{racc}} * [(\text{Dot} * (1 + ((M_{\text{aci}} + M_{\text{tour}})/100)) / ((100 - P_{AEP})/100)]$$

Q_{AEP} : Demande en eau d'AEP.

Dot : Dotation en eau domestique (l/j/hab).

Pop : Nombre des populations.

P_{AEP} : Perte d'eau du réseau d'AEP (estimée à 40%).

M_{tour} : Coefficient de majoration pour les activités touristiques (15%).

Maci : Coefficient de majoration des usagers assimilés.

T_{racc} : Taux de raccordement au réseau d'AEP (tiré à partir de la notice explicative de la géodatabase de l'AGIRE).

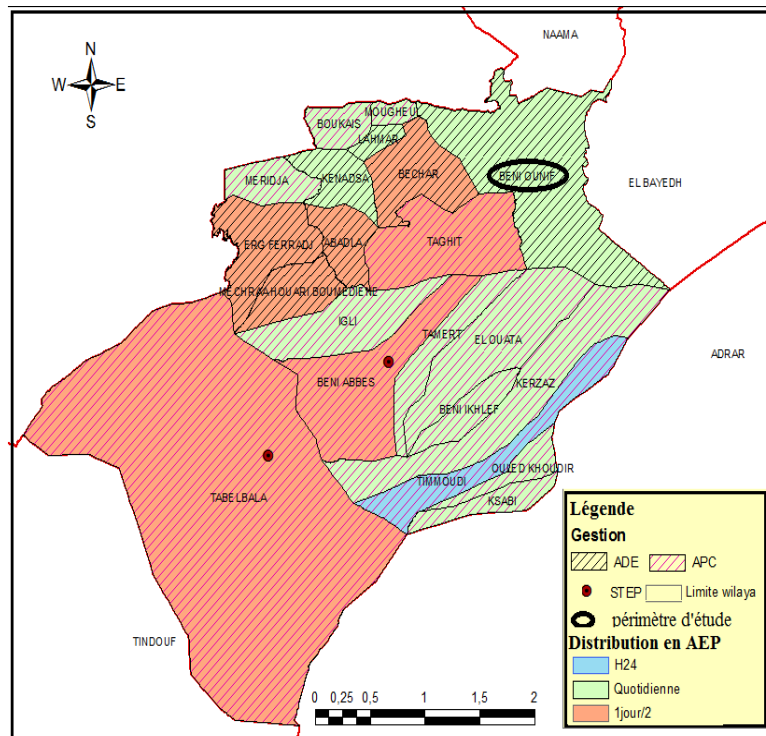


Figure 44. Situation de L'AEP de région de Beni Ounif dans la wilaya de Béchar

Les besoins en eau dans la commune de Beni Ounif sont évalués à $0.98 \text{ hm}^3/\text{an}$ en 2015, ils passent à $1.08 \text{ hm}^3/\text{an}$ en 2020 et ils seront de l'ordre de $1.18 \text{ hm}^3/\text{an}$ (Tab 17.). Pour la commune de Bechar alimenté par le champ de captage de Beni Ounif, la demande passe de $28.95 \text{ hm}^3/\text{an}$ en 2015 à $31.96 \text{ hm}^3/\text{an}$ en 2020 pour atteindre $37.92 \text{ hm}^3/\text{an}$ en 2030.

Tableau 17. Demande en eau à l'AEP de la commune Beni ounif et Bechar(en hm^3/an)

commune	Pop 2015	AEP 2015	Pop 2020	AEP 2020	Pop 2025	AEP 2025	Pop 2030	AEP 2030
Beni Ounif	11778	0,98	13042	1,08	14294	1,18	15474	1,28
Bechar	165241	28,85	191116	31,96	211629	35,03	251102	37,92

(Source ABH Régional Ouargla).

3.3. Evaluation de la demande en eau d'irrigation dans la commune de Beni ounif

Pour des 10 wilayas de Sud, la superficie irriguée est de 326 929 hectares en 2013, elle augmente de 17% à l'horizon 2030 soit 382 506hectares. La wilaya de Biskra présente plus de 32% soit 104 990 hectares des superficies irriguées par rapport à la superficie totale des dix wilayas du Sud.

Tableau 18. Superficiel irriguée par wilaya et par horizon.

Wilaya	Superficiel irriguée (ha) 2013	Superficiel irriguée projetée (ha)			
		2015	2020	2025	2030
Adrar	32 783	33 439	35 078	36 717	38 356
Laghouat	32 710	33 364	35 000	36 635	38 271
Biskra	104 990	107 089	112 339	117 588	122 838
Béchar	22 466	22915	24039	25162	26285
Tamanrasset	11 338	11 565	12 132	12 699	13 265
Ouargla	31 182	31 806	33 365	34 924	36 483
Illizi	2 119	2 161	2 267	2 373	2 479
Tindouf	721	735	771	808	844
El Oued	68 179	69 542	72 951	76 360	79 769
Ghardaïa	20441	20 850	21 872	22 894	23 916
Total	326 929	333 466	349 814	366 160	382 506

Les besoins en eau des 10 wilayas pour le secteur agricole est d'environ 3 121 hm³ pour l'année 2013, ils passent de 3 624 hm³ à l'horizon de 2030. Le tableau suivant indique la répartition de la demande par wilaya et par horizon.

Tableau 19. Demande en eau d'irrigation par wilaya et par horizon.

Wilaya	Demande (hm ³ /an) 2013	Demande projetée (hm ³ /an)			
		2015	2020	2025	2030
Adrar	358,59	365,76	383,69	401,62	419,55
Laghouat	195,23	199,13	208,89	218,66	228,42
Biskra	930,45	949,06	995,58	1 042,11	1 088,63
Béchar	157,28	160,43	168,29	176,16	184,02
Tamanrasset	135,32	138,03	144,79	151,56	158,32
Ouargla	392,60	400,46	420,09	439,72	459,35
Illizi	15,54	15,85	16,63	17,41	18,18
Tindouf	4,68	4,77	5,00	5,24	5,47
El Oued	732,83	747,49	784,13	820,77	857,42
Ghardaïa	175,49	178,99	187,77	196,54	205,32
Total	3 121,77	3 193,75	3 349,83	3469,79	2624,68

La wilaya de Bechar possède 22 466 hectares des superficies irriguées par rapport à la superficie totale des 16 wilayas du Sud sa dotation en eau est moyenne, elle est de l'ordre de

8000 (m³/ha/an). La demande en eau d'irrigation pour la wilaya de Bechar sera de l'ordre de 168.29 hm³ en 2020.

La zone de Beni ounif utilise l'irrigation gravitaire comme un système dominant, de plus la superficie irriguée par ce mode est environ 994 hectares en 2018, soit 63% de la superficie totale. Le système goutte à goutte représente 26% et l'irrigation par aspersion représente 11%.

Tableau 20. Montrant modes d'irrigation pratiqués de la commune Béni ounif

Mode	S.Gravit	S.Aspers	S.Goutte	Surface totale	%S. Gravit	%S. Asper	%S. goutte
B.O	487	10	497	994	0.49	0.01	0.50
SOL	Sable	sable	sable	Superficie	sable	Sable	sable

Cœf_{IRR} : Coefficient technique d'irrigation, il est estimés sur la formule suit (Model de ABH):

$$\text{Cœf}_{IRR} = (S_{\text{grav}}/Sup_Irrigee) + 0,25*(S_{\text{asper}}/Sup_Irrigee) + 0,75*(S_{\text{gout}}/Sup_Irrigee)$$

S_{gravitaire} : Superficie irrigué par mode gravitaire.

S_{aspersions}: Superficie irrigué par mode aspersion.

S_{goutte à goutte}: Superficie irrigué par mode goutte à goutte.

Sup_Irrigee : Superficie irrigué totale, elle change en fonction de l'horizon (nous avons considéré la donnée de 2013 comme année de référence).

Tableau 21. Demande en eau d'irrigation dans wilaya de Bechar en (hm³/an).

Commune	Demande 2013	2015	2020	2025	2030
Igli	7.60	7.75	8.13	8.51	8.89
Lahmar	9.41	9.60	10.07	10.54	11.01
Mogheul	7.01	7.15	7.50	7.85	8.20
Boukais	4.59	4.68	4.91	5.14	5.37
Taghit	17.21	17.55	18.41	19.27	20.13
Machraa	2.06	2.10	2.20	2.30	2.41
Abadla	3.80	3.88	4.07	4.26	4.45
Erg Faradj	7.54	7.69	8.07	8.45	8.83
Beni ounif	6.90	7.04	7.38	7.73	8.07
Tabalbala	12.05	12.29	12.89	13.49	14.10
Meridja	4.72	4.81	5.05	5.28	5.52
Kenadsa	6.94	7.07	7.42	7.77	8.12
Timoudi	5.30	5.40	5.67	5.93	6.20
Ksabi	10.47	10.68	11.20	11.72	12.25
Ouled Khoudir	7.33	7.47	7.84	8.21	8.57
Beni ikhlef	5.56	5.67	5.95	6.23	6.51
Kerzaz	5.55	5.66	5.94	6.21	6.49
Beni Abbes	3.69	3.76	3.95	4.13	4.31
Tamtert	4.26	4.34	4.56	4.77	4.98
El Ouata	8.97	9.15	9.60	10.05	10.49
Bechar	16.34	16.67	17.49	18.31	19.12
Total	157.28	160.43	168.29	176.16	184.02

(Source ABH Régional Ouargla).

Pour la Commune de Beni ounif, la superficie irriguée est de 994 hectares en 2013, elle augmente de 17% à l'horizon 2030 soit plus de 10000 hectares surtout avec le nouveau projet de champs de captage.

Tableau 22. Superficie irriguée et la demande en eau d'irrigation à Béni ounif

Commune	Année et Surface Irriguée (ha)					Année et Demande en eau (hm ³ /an)				
	2013	2015	2020	2025	2030	2013	2015	2020	2025	2030
Beni ounif	994	1014	1064	1113	1163	6.90	7.04	7.38	7.73	8.07

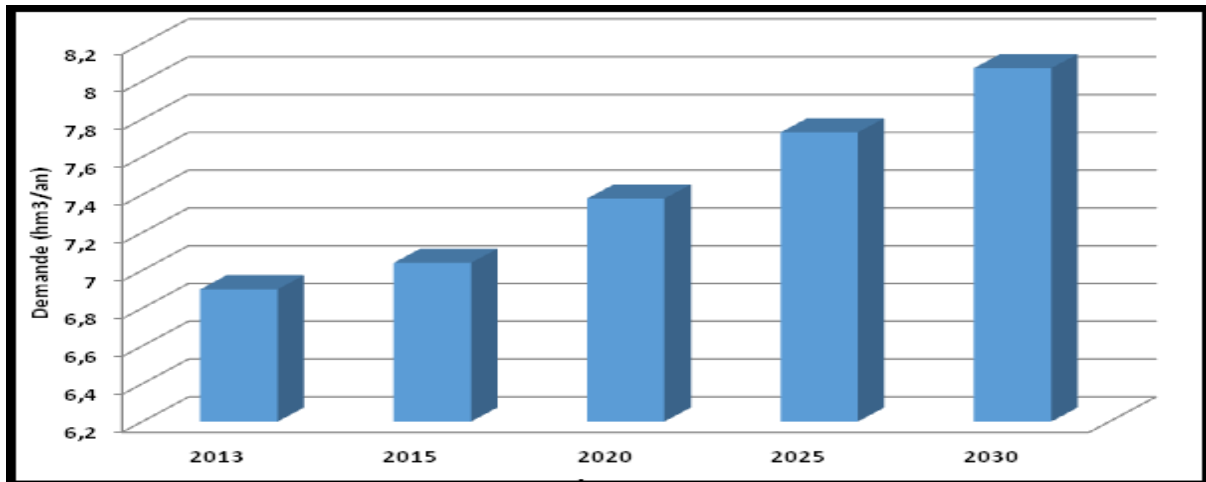


Figure 45. Perspectives d'évolution de la demande en eau d'irrigation entre 2013-2030.

3.4. Evaluation de la demande en eau pour industrie dans la commune de Beni ounif

La demande en eau pour l'industrie dans le sud algérien reste toujours faible à cause de l'absence des grands unités industriels. Le volume total consommé dans la wilaya de Bechar est de l'ordre de 34000 m³ à horizon de 2020.

Tableau 23. Demande en eau industriel de la wilaya de Bechar (en hm³/an).

Année	2011	2012	2015	2020	2025	2030
Béchar	0.03	0.03	0.032	0.034	0.037	0.04

(Source ABH Régional Ouargla).

La région de Beni ounif avec faible d'importance de son tissu industriel, mobilise entre 10 à 30m³ par jour. L'évaluation de la demande en eau industriel de la commune de Béni ounif et différent usage tell que Hammam, Douche, Sauna.etc.

3.5. Le projet de transfert hydraulique

La pénurie d'eau dans certaines commune de Béchar pousse l'État et le gouvernement à réalisée un grand projet hydraulique dans ces régions pour satisfaire les besoins en eau. Le projet hydraulique d'envergure de transfert des eaux albiennes du champ de captage de la région de Béni-Ounif vers cinq commune de la wilaya à savoir Bechar, Kenadza, Abadla,

Mechraa Houari-Boumediene et Erg Farradj, sera réceptionné et mis en service dès la fin du mois d'avril 2019. les mêmes communes a été précédé par la concrétisation d'une étude hydrogéologique réalisée par l'Agence nationale des ressources hydriques (ANRH), au titre d'un programme de mobilisation des ressources hydriques souterraines de la wilaya pour répondre aux besoins des populations de la région en eau potable, a souligne le membre du gouvernement.

A ce titre, une enveloppe financière d'urgence de 9,5 milliards DA a été allouée a réalisation afin de permettre le transfert quotidiennement de 30.000 m³ d'eau à partir de dix (10) forages d'une profondeur variante en 400 a 500 mètres, et qui sont tous localisés dans la région de Béni-Ounif, a expliqué le directeur général de l'agence nationale des barrages et des transferts hydrauliques (ANBT).les travaux en cours de cette importante réalisation, confiée à des entreprises nationales, permettra la réalisation a la fin d'avril 2019 de 190 km de conduites, de trois (3) stations de pompage et de deux grands réservoirs de 15.000 et 20.000 m³, qui seront alimentés à partir des forages précités; les travaux en cours de cette importante réalisation, confiée à des entreprises nationales, permettra la réalisation a la fin de moins de Julie 2019 prochain de 190 km de conduites.



Figure 46. Le projet hydraulique de transfert des eaux de CI du champ de captage de la région de Béni-Ounif vers les communes de Béchar 2018.

4. Conclusion

L'évaluation de la besoin en eau dans la commune de Béni Ounif et Bechar actuelle en 2019 et à horizon de 2020 la demande en eau total atteindre 8.46 hm³ à Beni ounif et atteindre 238 hm³ dans la région de Saoura-Bechar. Elle repartie comme suite:

- Béni ounif : 8.46 hm³ dont (AEP = 1.08 hm³, IRR = 7.38 hm³, IND = 0.001 hm³)
- Saoura-Bechar: 238 hm³ dont (AEP = 38 hm³, IRR = 199 hm³, IND = 0.03 hm³).

Pour Satisfaire la demande croissante de l'eau dans la wilaya de Béchar et l'autre commune. le l'organisme responsable de l'état s'engagent le projet hydraulique d'envergure de transfert des eaux albiennes du champ de captage de la région de Béni-Ounif vers cinq communes de la wilaya à savoir Bechar, Kenadsa, Abadla, Mechraa Houari-Boumediene et Erg Farradj, sera réceptionné et mis en service dès la fin du mois d'avril 2019 la 1ère partie de projet, qui vise à assurer une alimentation régulière en eau potable.

Partie 3

Hydrochimie

1. Introduction

La nature chimique de l'eau évolue continuellement au cours de sa circulation dans le cycle hydrologique. Pour la bonne gestion quantitative des nappes, il convient, suite aux très nombreuses pressions anthropiques, qu'elles soient diffuses (agriculture) ou ponctuelles (rejets d'égouts, fuites de citerne), de vérifier leur qualité présente et d'en prévoir l'évolution à long terme **Hadj-said .s(2007)** .

La région de Beni Ounif située au trajet d'oued Lakhdar, qui influe sur la composition chimique des eaux des eaux souterraines. En plus l'activité anthropique caractérisée par les rejets urbains important et une agriculture intense caractérisée par l'utilisation massive des engrais peut entraîner également une dégradation de la qualité des eaux de la nappe libre.

L'étude des caractéristiques hydrochimiques des eaux de la nappe superficielle et de la nappe de continentale intercalaire de la région de Beni ouunif permet de mieux comprendre l'évolution du chimisme des eaux durant ces dernières décennies ainsi que leurs influences. La connaissance de la qualité des eaux est importante surtout lors de la prise de décision lorsqu'on doit implanter des forages destinés à alimenté la population.

Les buts de l'étude hydrochimique est la détermination des faciès chimiques des eaux, la détermination la qualité des eaux pour l'alimentation en eau potable et pour l'usage agricole, et en fin la détermination de l'origine des éléments majeurs présents dans l'eau de la région.

2. Les Campagnes d'échantillonnages

Pour cette étude nous avons utilisé les données de deux campagnes, la première effectuée durant la période de juin 2014 et la deuxième réalisée dans le cadre de l'étude de la région en décembre 2018. Le travail consiste a étudié le chimisme actuel (2018) des eaux de la zone d'étude et de faire une comparaison avec les résultats réalisées en juin 2014, pour les mêmes forages à fin de voir l'évolution de la composition chimique des eaux de la nappe continentale intercalaire et les eaux de la nappe superficielle.

Le réseau choisi pour la campagne de décembre 2018 est composé de 16 forages captant la nappe de CI ; dix (10) pour le nouveau champ de captage, un piézomètre et cinq (5) forages de reconnaissance à travers la zone de Beni Ounif. Les échantillons sont analysés au laboratoire de l'ANRH d'Adrar. Pour la nappe superficielle nous disposons des données de 24 forages (F₁, F₂,..., F₂₄) effectués en juin 2014 et nous avons analysé 6 (F₂₅ à F₃₀) échantillons en décembre 2018.

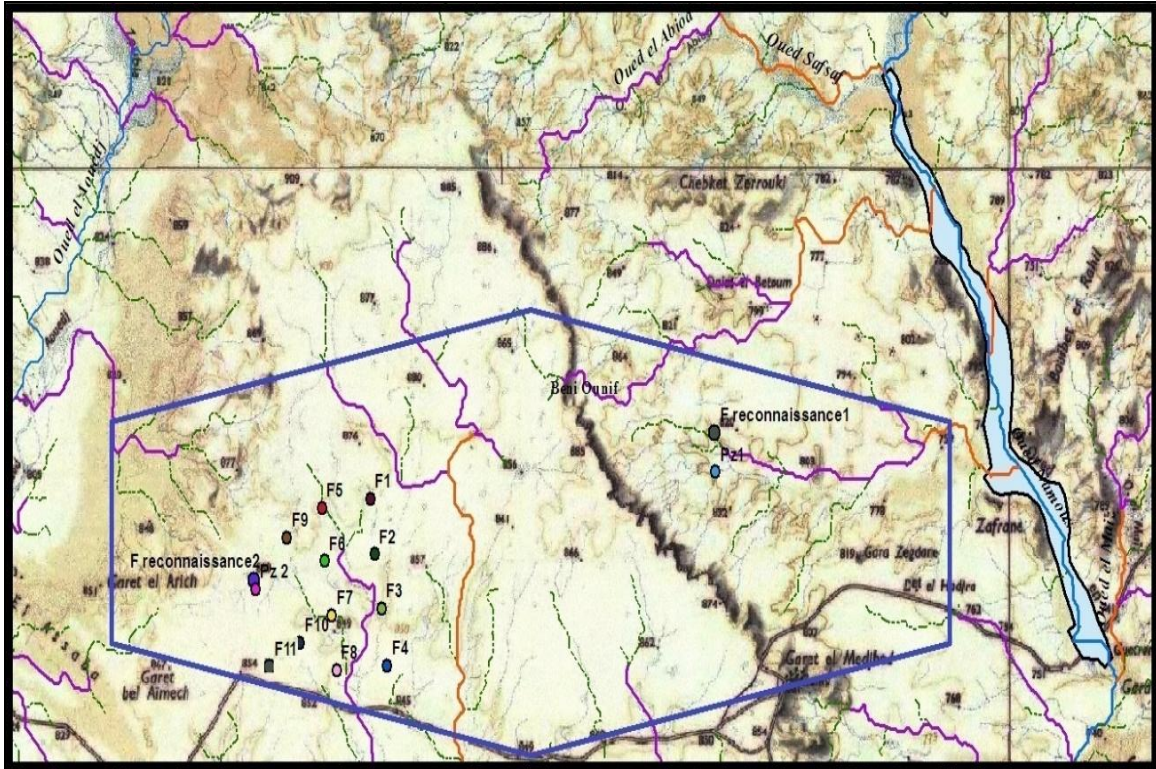


Figure 47. Carte d'inventaire des forages de continental intercalaire analysé en 2018.

3. Matériels et Méthode d'analyse de l'eau

Les analyses effectuées in situ concernent les paramètres physiques: Température (T), potentiel d'Hydrogène (pH) et Conductivité Électrique (CE). Au laboratoire nous analysons les éléments majeurs (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{-2} et HCO_3^-) et les paramètres de pollution (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ et PO_4^-) **Jacques.Boudin (2008)**.

Le matériel d'échantillonnage a été choisi en fonction des buts du travail de recherche. Des outils spéciaux ont été utilisés pendant l'échantillonnage sur le terrain. Pour avoir des résultats fiables les eaux échantillonnées pour les analyses des anions au laboratoire ont été filtrés par papier filters à $0.45 \mu\text{m}$ et prélevées dans des flacons en verre de 500 ml. Les échantillons prélevés pour les analyses des cations (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ et K^+) sont filtrés et acidifié **Rodier.J et coll (2005)**.

Les analyses des échantillons ont été effectués dans le laboratoire de l'agence national des ressources hydraulique (ANRH) de Adrar et de Béchar, le calcium, magnésium et chlore ont été dosés par titrimétrie. Le sulfate par photo-colorimétrie, le sodium et potassium au moyen d'une spectrométrie d'absorption atomique à flamme, le nombre d'échantillons analysés est 16 forages captant la nappe de continentale intercalaire et 6 forages captant la nappe superficielle.

4. Caractérisation hydrochimiques de la nappe superficielle

4.1. Facies chimique

La représentation graphique des résultats d'analyses des eaux de la nappe superficielle de la région sur le diagramme de Piper (Fig 46) montre trois faciès chimiques dominants :

- Bicarbonate calcique et magnésienne 76.66%
- Chlorurée sodique 13.33%
- Chlorurée magnésienne 6.66%
- Sulfaté sodique 3.33%

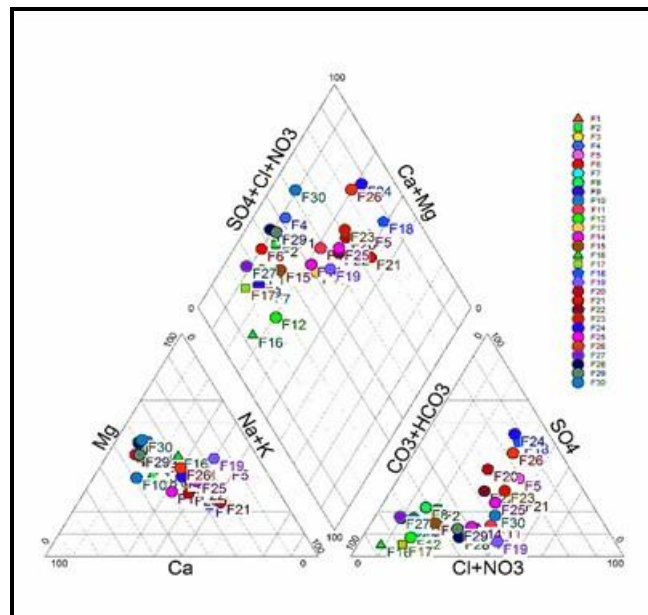


Figure 48. Diagramme de Piper des eaux de la nappe superficielle de Beni ounif

La répartition des échantillons analysés par faciès on peut la déterminer à partir de diagramme Stiff (Fig.47). La campagne de décembre 2018 montre trois faciès :

- Bicarbonate calcique et magnésienne (F27, F28, F29 et F30)
- Chlorurée sodique (F25)
- Sulfaté sodique (F26)

4.2.Évaluation de la potabilité des eaux.

Le Tableau (24) montre la variabilité et l'ordre de grandeur des différents variables physico-chimiques caractéristiques des eaux souterraines à l'échelle de tout le secteur étudié, ainsi que les normes de potabilité des eaux de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS 2004) et les normes algériennes. Le tableau montre que la qualité chimique des eaux de la nappe superficielle est acceptable pour l'alimentation en eaux potable à l'exception des forages F₆, F₈, F₁₁ et F₃₀ qui présentant des teneurs en nitrate dépassent la norme algérienne (50 mg/l).

Deux forages (F18 et F24) présentant des concentrations en sulfate dépassant la norme.

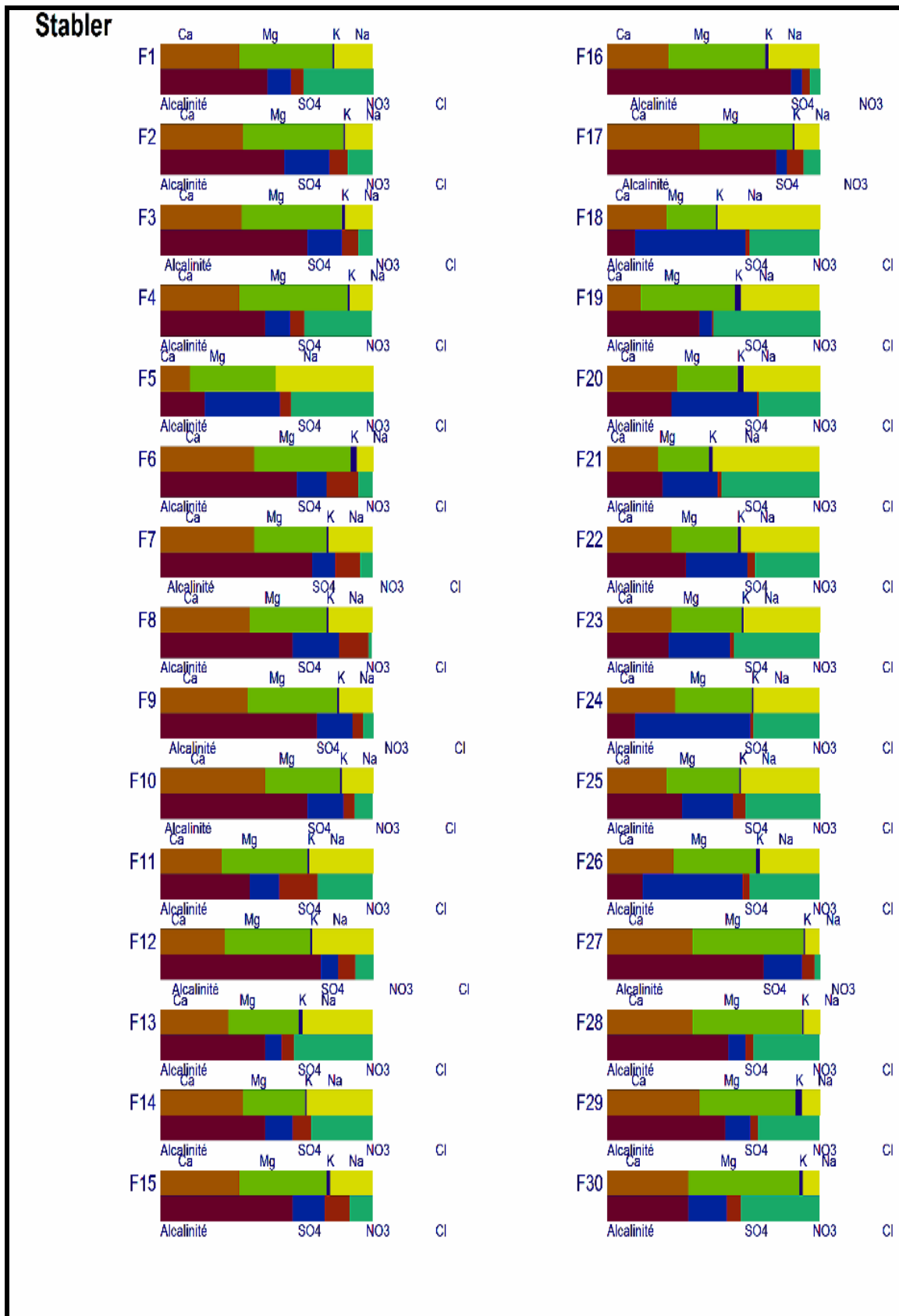


Figure 49. Diagramme de Stiff des eaux de la nappe superficielle de Beni oun

Tableau 24. Statistiques élémentaires des paramètres physico-chimiques mesurées pour les eaux de l'aquifère superficiel

Variable	N.ALG	N.OMS	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Ca ⁺²	200	200	33.000	143.000	63.500	28.511
Mg ⁺²	150	150	22.000	97.000	46.675	20.628
Na ⁺	200	200	10.000	220.000	60.127	59.867
K ⁺	20	12	1.200	15.000	5.878	3.989
Cl ⁻	500	205	5.000	295.000	100.438	85.704
SO ₄ ⁻²	400	250	13.000	580.000	117.825	138.459
HCO ₃ ⁻	-	300	144.000	518.000	242.531	77.474
NO ₃ ⁻	50	50	4.000	75.310	33.088	15.746
Cond	2800	1000	117.000	2080.000	679.625	477.150
pH	6,5-8,5	6,5-8,5	7.150	7.770	7.445	0.159

4.3. Aptitude des eaux à l'irrigation

L'utilisation des eaux pour l'irrigation requiert des qualités spécifiques. Pour aborder ce problème, on a utilisé les méthodes de Richard (1954). Cette méthode combine la Conductivité et le SAR. Les eaux des Puits et de foggaras sont utilisées pour l'irrigation de la palmeraie, l'évolution des caractéristiques chimiques des eaux influent sur les différentes cultures sous palmiers dattiers cultivées dans les oasis, l'étude chimique des eaux pour l'irrigation est nécessaire pour mettre en évidence le danger que présente certains éléments chimiques, pour les plantes qui supportent mal les sols saturés en sodium, une classification des eaux en fonction du pourcentage du sodium absorbé par l'eau (méthode de Richards) permet de bien classer les eaux (Tab. 25) en fonction de la conductivité électrique et le SAR (Sodium Adsorption Ratio) dans l'eau, défini par la formule ci-dessous :

$$SAR = \frac{Na^+}{(Mg^{++} + Ca^{++})^{1/2}}$$

Tableau 25. Classification des eaux d'irrigation (méthode Richards).

N°	Qualité	Classe	Utilisation
1	Excellente	C1-S1 C1-S2	Utilisation sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures sur la plupart des sols.
2	Bonne	C2-S1 C2-S2	Convenable aux plantes qui ont une tolérance aux sels, cependant son utilisation peut générer des problèmes pour les argiles.
3	Admissible	C2-S3 C3-S1 C3-S2	La salinité doit être contrôlée, irrigation des cultures tolérables aux sels sur des sols bien drainés.
4	Médiocre	C3-S3 C4-S1 C4-S2	En général, Eau fortement minéralisée, utilisée uniquement pour des plantes très résistantes aux sels dont le sol présente une bonne perméabilité.
5	Mauvaise	C3-S4 C4-S3 C4-S4	Eau ne convenant pas à l'irrigation, mais pouvant être utilisé sous certaines conditions, soit plantes très résistantes aux sels dont le sol et une bonne perméabilité.

Les valeurs obtenues à partir des échantillons analysés ont été reportés sur le diagramme de Richards (Fig. 48) où on remarque que l'ensemble des points d'eau se situe dans les trois dernières classes dont le risque de salinisation est faible. Le diagramme de Richards, montre qu'es eaux de la nappe superficielle s'arrangent selon trois classes: eaux de qualité excellente (C_1S_1), eaux de qualité bonne (C_2S_1) et eaux de qualité admissible (C_3S_1)

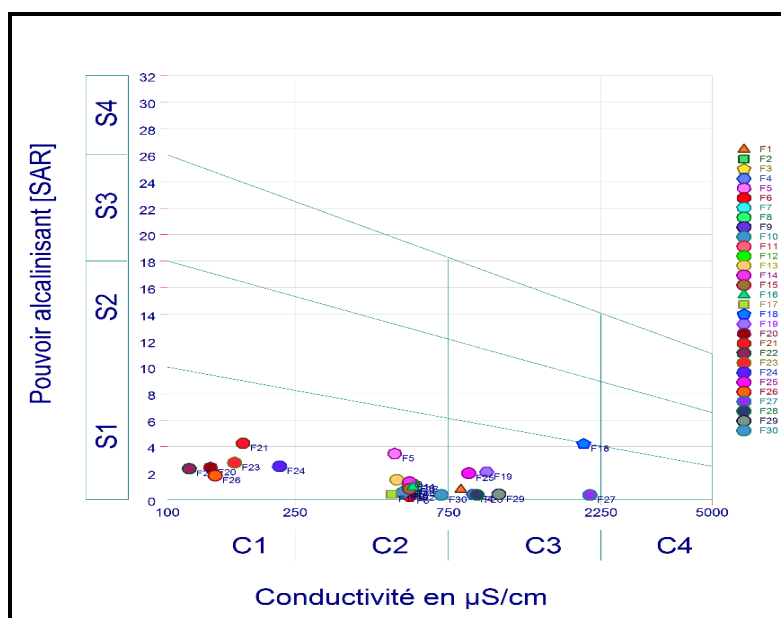


Figure 50. Diagramme de classification des eaux d'irrigation en fonction du S.A.R (Juin 2018).

4.4 Origine de minéralisation de la nappe superficielle de la région du Béni ounif

4.4.1. Analyse statistique : Une étude statistique a été effectuée avec 10 variables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , pH et CE) pour les 30 échantillons prélevés de la nappe superficielle de la région de Beni ounif. La matrice de corrélation des éléments chimiques (Tab.26) montre plusieurs corrélations positives significatives entre les différents ions : Ca^{2+} vs SO_4^{2-} ; Na^+ vs Cl^- ; Mg^{2+} vs Cl^- et Na^+ vs SO_4^{2-} . Ces liaisons témoignent de l'influence de l'évaporation sur le chimisme des eaux

Tableau 26. Matrice de corrélation

Variabes	pH	Cond	HCO_3^-	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	Na^+	K^+	Mg^{++}	Ca^{++}
pH	1									
c25°C	-0.069	1								
HCO_3^-	0.075	0.370	1							
Cl^-	0.437	-0.070	-0.094	1						
NO_3^-	-0.228	0.314	-0.058	-0.165	1					
SO_4^{2-}	0.309	-0.029	-0.200	0.731	-0.123	1				
Na^+	0.383	-0.124	-0.190	0.817	-0.261	0.828	1			
K^+	0.406	-0.082	0.038	0.577	-0.320	0.372	0.360	1		
Mg^{++}	0.312	0.128	0.192	0.742	0.027	0.639	0.442	0.511	1	
Ca^{++}	0.296	0.149	0.285	0.646	-0.019	0.798	0.550	0.363	0.692	1

4.4.2. Etude des rapports caractéristiques

La corrélation Ca^{+2} vs SO_4^{-2} (Fig.49) montre une évolution proportionnelle des sulfates et du calcium. Cette relation traduit la dissolution de gypse et de l'anhydrite. Cependant la majorité des points se positionnent au-dessous de la droite de la mise en solution du gypse. Cet excès en calcium, indique l'existence d'autre origine de Ca^{+2} autre que le gypse et l'anhydrite.

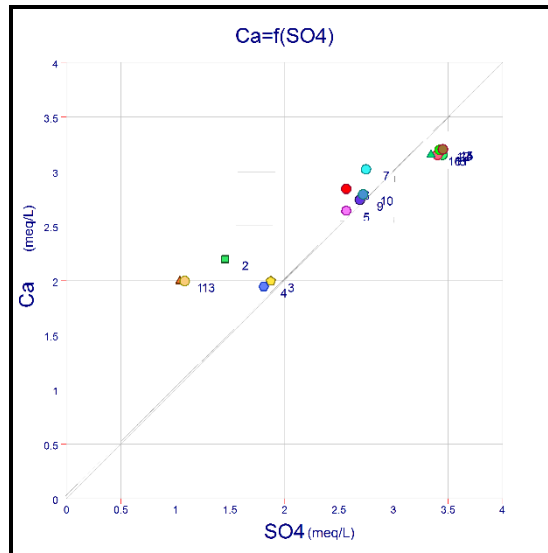


Figure 51. Relations entre Ca^{+2} vs SO_4^{-2}

La corrélation Na^+ vs SO_4^{-2} (Fig.50) montre une évolution proportionnelle des sulfates et du sodium, indiquant une même origine probablement la dissolution de la thénardite (Na_2SO_4) ou l'échange de base, dont le dépôt est favorisé en particulier au niveau des régions arides. Cependant le sulfate est en excès par rapport au sodium indiquant une autre origine de sulfate (gypse et l'anhydrite), d'autres points présentant un excès de sodium par rapport le sulfate indiquant une autre origine (halite).

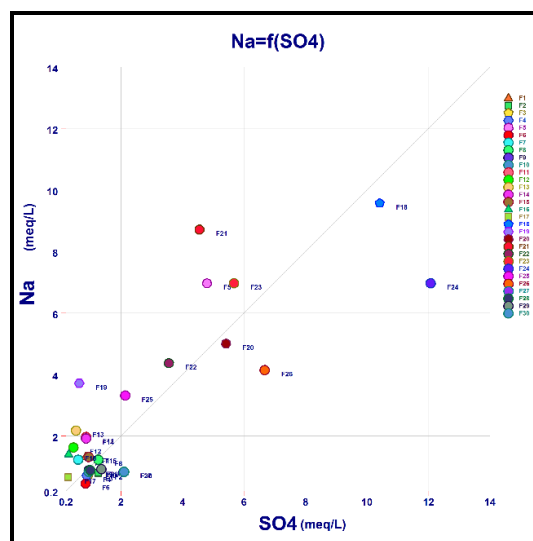


Figure 52. Relations entre Na^+ vs SO_4^{-2}

La corrélation Na^+ vs Cl^- (Fig.51) montre une bonne corrélation entre les ions de Na^+ et Cl^- , où on remarque que la majorité des points alignant sur la droite de la dissolution de l'halite, ce qu'il confirme que les eaux de la nappe résultent de la dissolution de l'halite. Cependant, quelques points présentent un excès de sodium, d'autres un excès des chlorures. Cela s'explique par l'existence d'une autre origine de ces ions.

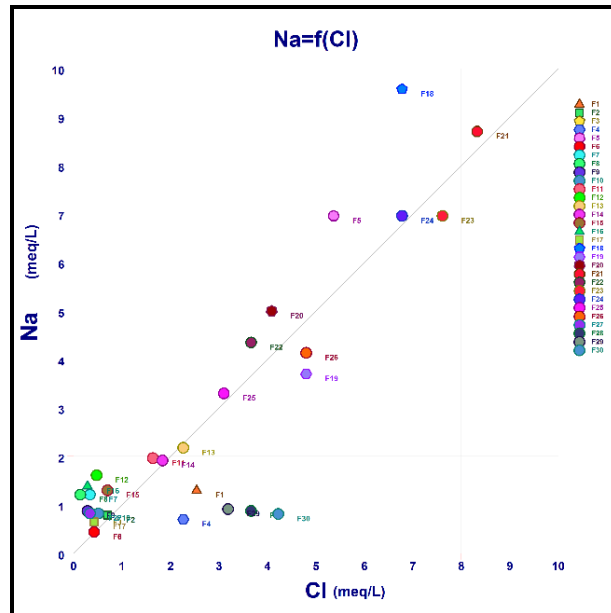


Figure 53. Relations entre Na^+ vs Cl^-

La corrélation Mg^{+2} vs Cl^- (Fig.52) montre une bonne corrélation entre les ions de Mg^{+2} et Cl^- . Cette relation est lié à la dissolution des évaporites (sel de magnésium) telles que la carnallite ($\text{KMgCl}_3, 6\text{H}_2\text{O}$), la kiesérite ($\text{MgSO}_4, \text{H}_2\text{O}$), et carbonatés, la dolomie [$(\text{Ca},\text{Mg})\text{CO}_3$]. Les excès de magnésium sont expliqués par les apports des oueds (mélange des eaux de surface et les eaux souterraines).

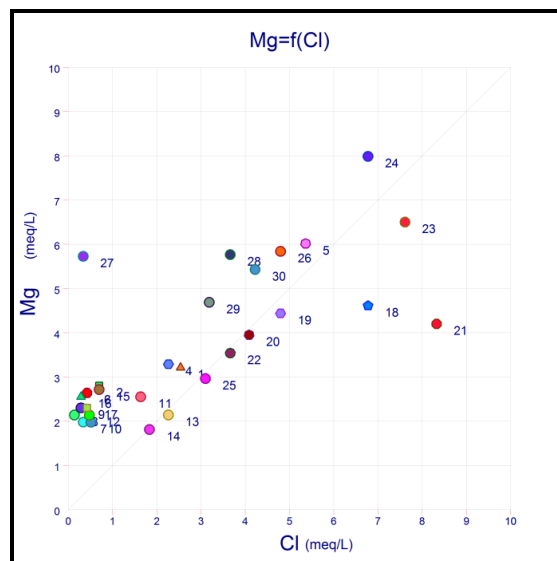


Figure 54. Relations entre Mg^{+2} vs Cl^-

5. Caractérisation hydrochimiques de la nappe de continentale intercalaire (CI)

5.1. Les faciès chimiques

La représentation graphique des résultats d'analyses des eaux de la nappe continentale intercalaire de la région de Beni ounif sur le diagramme de Piper (Fig.53) montre cinq faciès chimiques dominants :

- Sulfaté magnésienne 37.5%
- Chlorurée sodique 12.5%
- Chlorurée sodique 12.5%
- Bicarbonate calcique 18.75%
- Bicarbonate magnésienne 18.75%

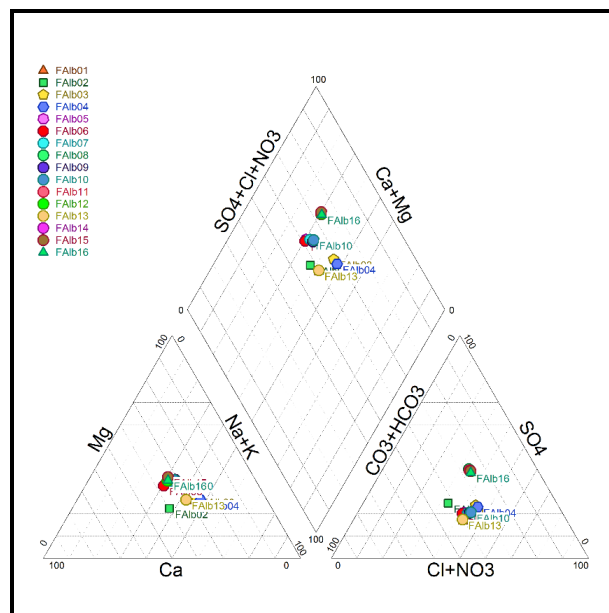


Figure 55. Diagramme de Piper des eaux de surface de la région de Beni ounif.

La répartition des échantillons analysés par faciès on peut la déterminer à partir de diagramme Stiff (Fig.54). La campagne de décembre 2018 montre cinq faciès :

- Sulfaté magnésienne (F₈, F₁₁, F₁₂, F₁₄, F₁₅, et F₁₆)
- Chlorurée sodique (F₁ et F₁₃)
- Chlorurée sodique (F₃ et F₄)
- Bicarbonate calcique (F₂, F₆ et F₇)
- Bicarbonate magnésienne (F₅, F₉, et F₁₀)

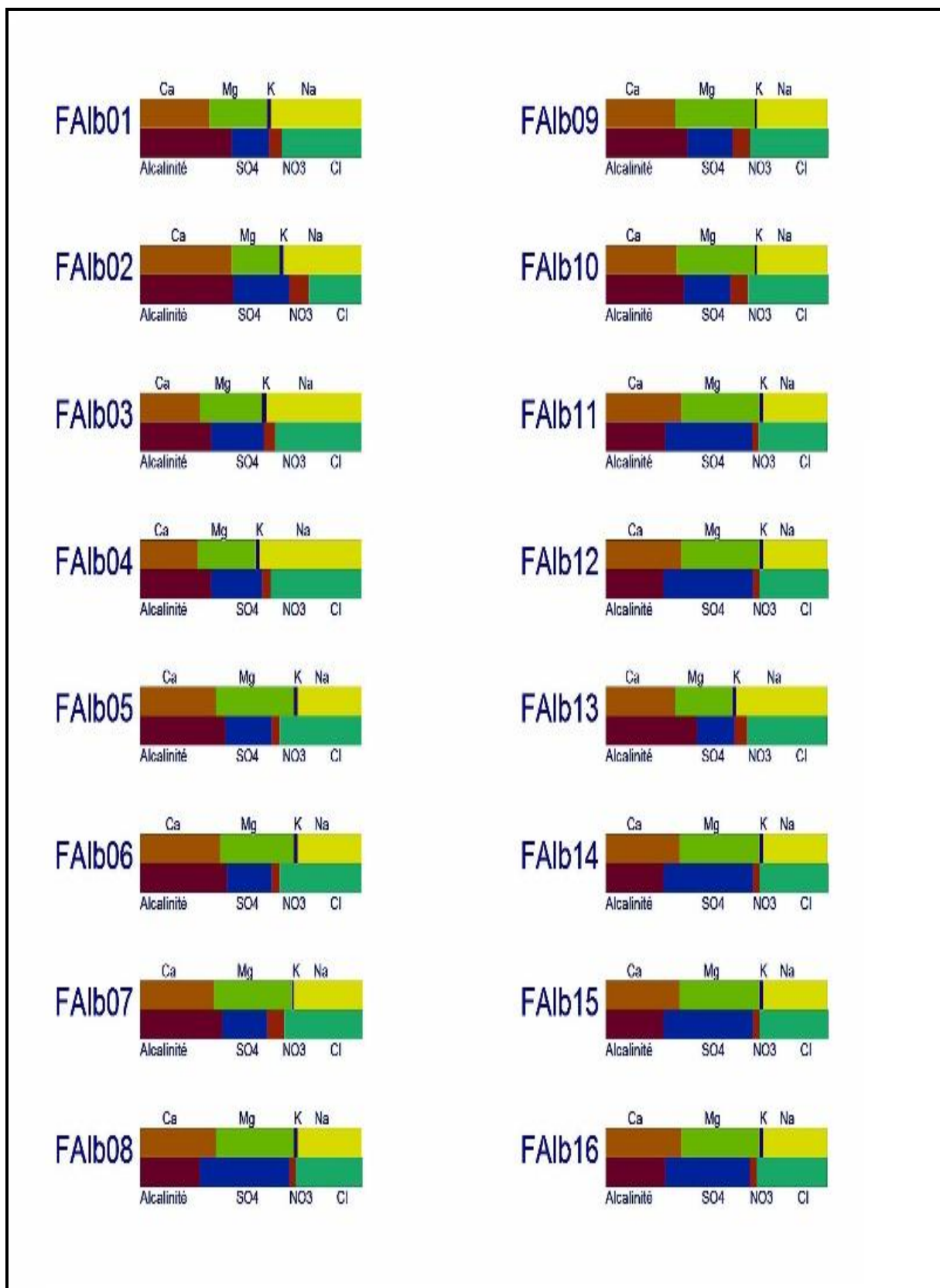


Figure56. Diagramme de Stiff des eaux de la nappe continental intercalaire de Beni ounif.

5.2. Les paramètres physico-chimiques

La composition chimique des eaux souterraines dépend essentiellement de la géologie ainsi que des processus géochimiques qui ont eu lieu au sein du réservoir des eaux souterraines. Le Tableau 27 montre la variabilité et l'ordre de grandeur des différents variables physico-chimiques caractéristiques des eaux souterraines à l'échelle de tout le secteur étudié, ainsi que les normes de potabilité des eaux de l'Organisation Mondiale de la Santé et les normes algériennes.

Tableau 27. Représente Statistiques descriptives (Données quantitatives).

Variable	N.ALG	N.OMS	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Ca ⁺⁺	200	200	39.00	65.00	54.18	10.39
Mg ⁺⁺	150	150	15.00	43.00	32.83	9.21
Na ⁺	200	200	45.00	80.00	61.91	8.57
K ⁺	20	12	4.06	6.10	5.24	0.73
Cl ⁻	500	205	50.00	115.00	98.06	15.80
SO ₄ ⁻⁻	400	250	50.00	180.40	113.44	53.34
HCO ₃ ⁻		300	152.50	183.00	161.65	13.53
NO ₃ ⁻	50	50	19.60	43.05	25.85	9.07
Cond	2800	1000	550.00	910.00	767.81	136.69
pH	6,5-8,5	6,5-8,5	7.18	7.46	7.34	0.10

5.2.1. La température (T°): La température joue un rôle primordial dans la solubilité des sels et des gaz, donc sur la conductibilité. Elle est le facteur cinétique le plus important de toutes les réactions chimiques et biologiques dans les milieux aquatiques, c'est en premier lieu le cas pour l'oxygène dissous indispensable à la vie aquatique puisque sa teneur est fonction de la température. Une température supérieure à 15°C favorise le développement des microorganismes, intensifie la biodégradation et les mauvaises odeurs.

Les températures de l'eau de la nappe CI (Fig.57) sont fortement influencées par la profondeur de l'eau sous le sol. La valeur maximale est de l'ordre de 27°C dans le point de mesure F₉, alors que la valeur minimale est d'ordre de 18°C, mesurée dans le forage F₀₁. Seulement un seul forage dépasse la norme algérienne de l'eau potable (25°C).

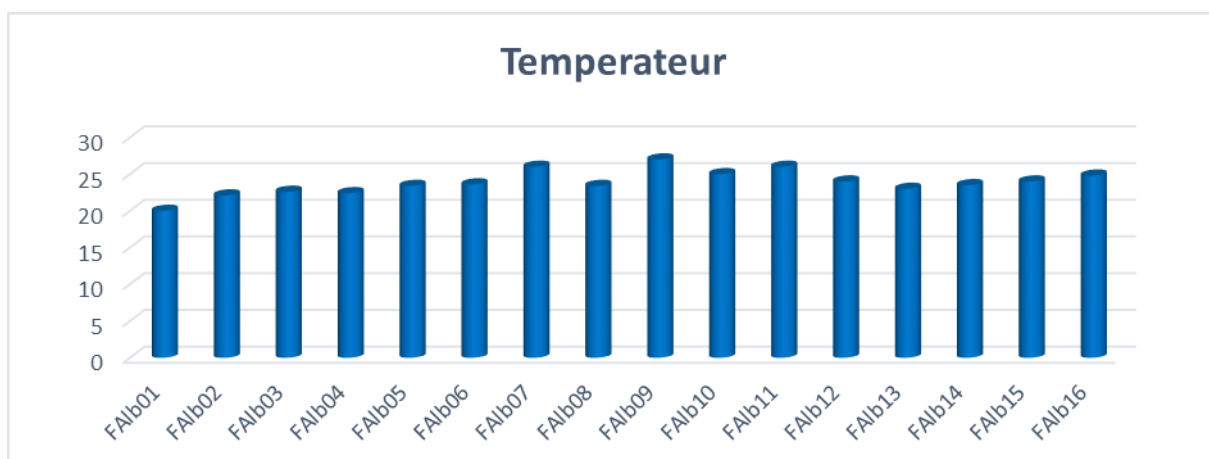


Figure 57. Histogramme de variation de la température des eaux de CI.

5.2.2. La Conductivité (EC): La conductivité qui est l'inverse de la résistivité traduit une aptitude de l'eau à laisser passer le courant électrique, la mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement, mais approximativement la minéralisation totale de l'eau in-situ par une approximation égale au produit de la conductivité électrique à 25°C par un coefficient compris entre 0.55 et 0.95. L'analyse des données de la conductivité montre que les eaux de CI de la région de Beni ounif ont une conductivité conforme à la norme algérienne de l'eau potable (2800 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$). La plage des conductivités rencontrées s'étale entre 550 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ et 910 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

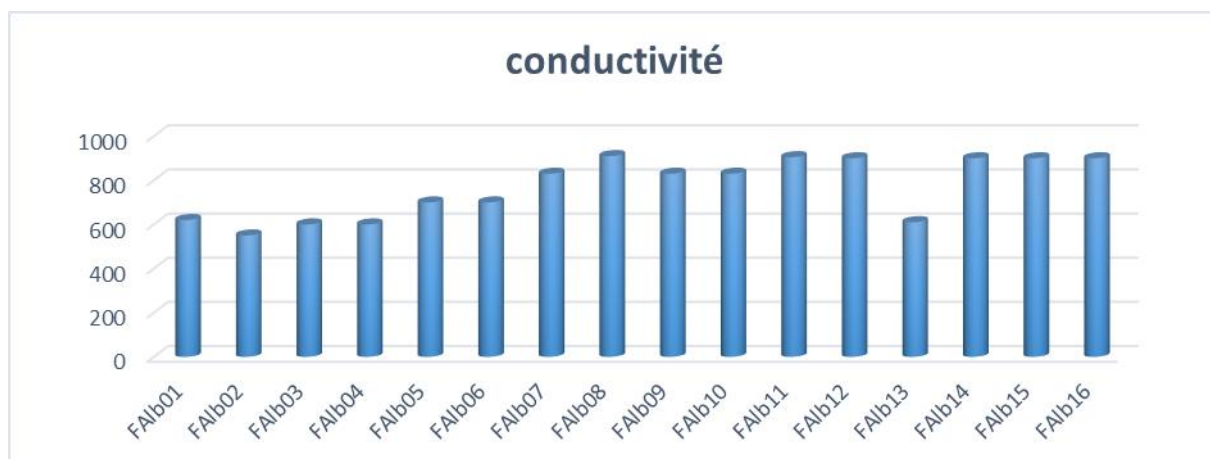


Figure 58. Histogramme de variation de la conductivité des eaux de CI.

5.2.3. Potentiel Hydrogène (pH): Le pH ou le potentiel d'hydrogène est le logarithme décimal de l'inverse de sa concentration en ion d'hydrogène [H_3O^+], Il détermine ainsi l'acidité ou l'alcalinité d'une eau. La balance entre acide et base sur une échelle est de 0 à 14, alors que le pH de neutralité est 7. Il est inférieur ou supérieur à sept (07) suivant que l'eau est acide ou basique. Pour les eaux de la nappe continentale intercalaire (Fig 59), le pH varie entre 7.18 et 7.46. Les points de mesure ne dépassent pas la norme algérienne de l'eau potable (6.5 à 8.5).

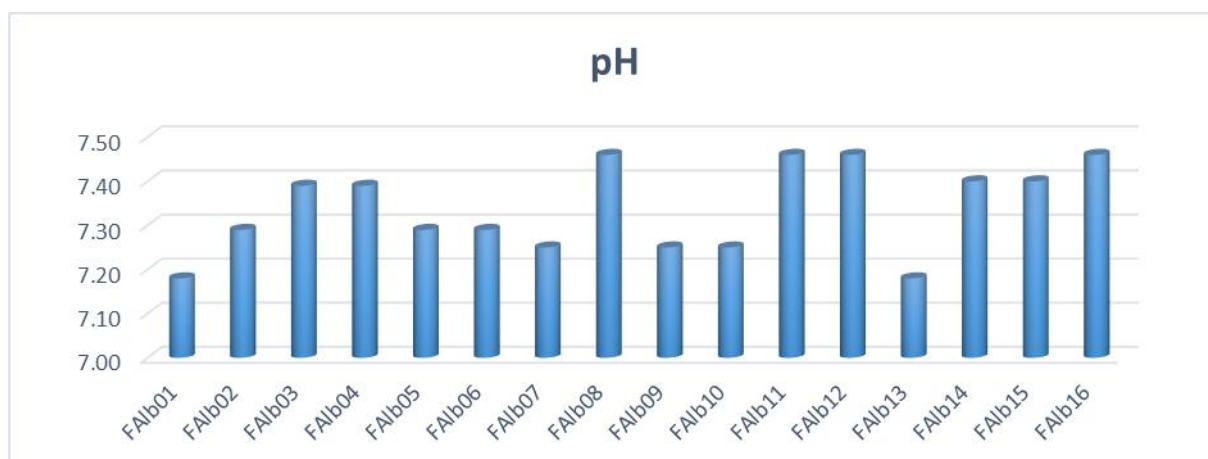


Figure 59. Histogramme de variation de Potentiel Hydrogène (pH) des eaux de CI.

5.2.4. Résidu Sec : Le résidu sec correspond à la totalité des sels dissous contenus dans l'eau après évaporation à 110 °C. Elle donne une idée sur la minéralisation globale de l'eau. Les eaux de la nappe continentale intercalaire (Fig.60) affichent des valeurs de résidu sec faible ne dépassant pas la norme algérienne de l'eau potable (2000mg/l). La teneur de résidu sec rencontrée s'étale entre 350 mg/l et 550 mg/l.

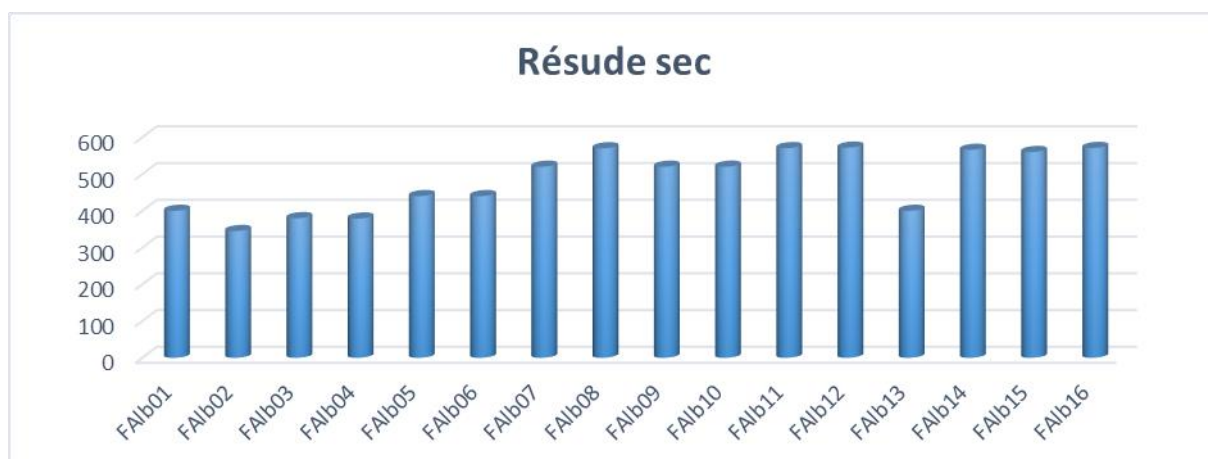


Figure 60. Histogramme de variation de résidu Sec des eaux de CI.

5.3. Les éléments majeurs

5.3.1. Le Calcium (Ca^{+2}) : La présence des ions Ca^{+2} dans l'eau indique, soit une dissolution des formations carbonatées, calcite (CaCO_3), dolomie $[(\text{Ca},\text{Mg})\text{CO}_3]$ ou bien la dissolution des formations évaporitiques, gypse $[\text{CaSO}_4, 2(\text{H}_2\text{O})]$ et anhydrite (CaSO_4).

La teneur en calcium dans les eaux de la nappe souterraine (Fig. 61) ne dépasse pas la norme algérienne de l'eau potable (200 mg/l), la plage des concentrations rencontrées s'étale entre 39 mg/l et 65 mg/l.

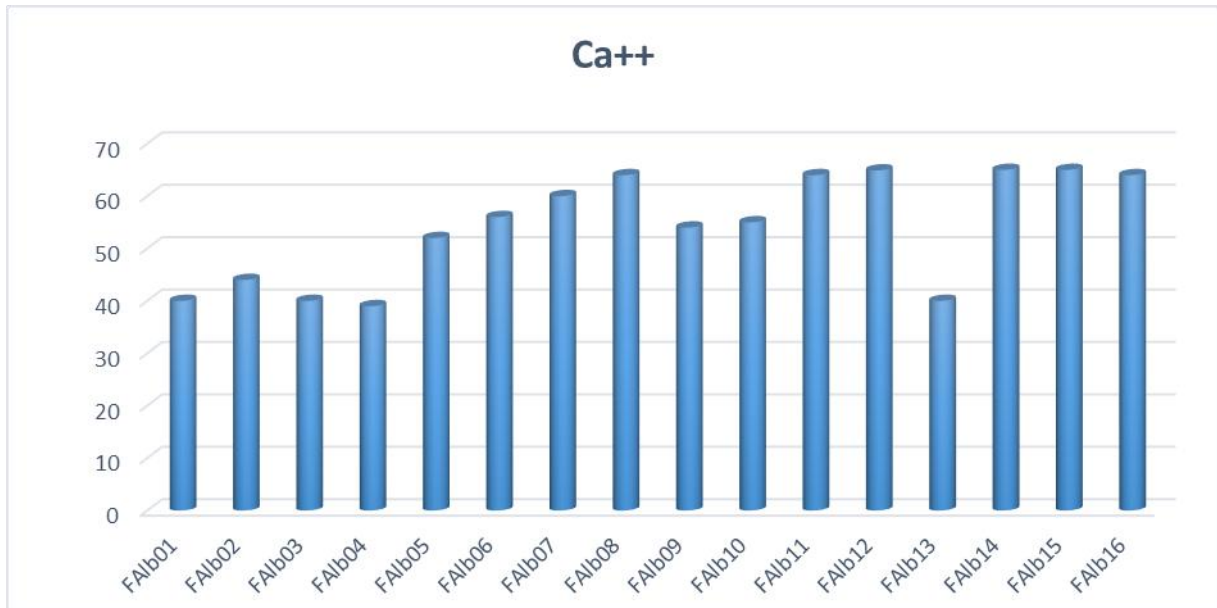


Figure 61. Histogramme de variation de la teneur en calcium des eaux de CI

5.3.2. Le Magnésium (Mg^{+2}): Le magnésium est un élément très abondant et souvent présent dans les roches évaporitiques (sel de magnésium), la carnallite ($KMgCl_3 \cdot 6H_2O$), la kiesérite ($MgSO_4 \cdot H_2O$), et carbonatés, la dolomie $[(Ca,Mg)CO_3]$, les valeurs de magnésium mesurés dans les eaux de CI de la région varient de 15 mg/l à 43 mg/l. Ces valeurs ne dépassant pas la norme algérienne de l'eau potable (150 mg/l).

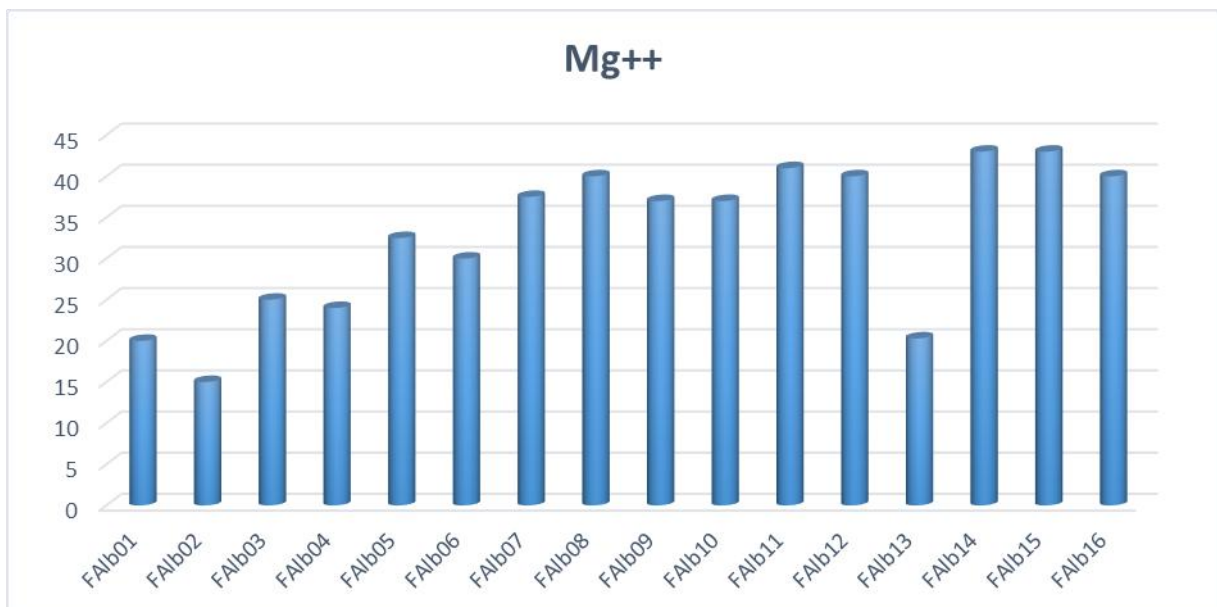


Figure 62. Histogramme de variation de la teneur en Magnésium des eaux de CI

5.3.3. Le Sodium (Na^+): L'origine de cet élément est liée principalement à la dissolution des formations salifères très solubles telles que l'halite ($NaCl$) et le sylvite (KCl). Les teneurs de sodium mesurées dans les eaux de CI de la région sont conformes à la norme algérienne de

l'eau potable (200 mg/l). Les teneurs en sodium (Fig.63) présentent en général des valeurs qui varient entre 45 mg/l et 80 mg/l avec une moyenne de 61.9 mg/l.



Figure 63. Histogramme de variation de la teneur en Sodium des eaux de CI

5.3.4. Le Potassium (K^+) : Le potassium est un élément chimique, sa réaction avec l'eau est d'ailleurs bien plus forte que celle du sodium. Dans la zone d'étude on le retrouve dans les évaporites comme le Sylvite et les produits chimiques utilisés en agriculture (le sulfate de potassium). Les valeurs observées (Fig.64) montrent des concentrations variant entre 4 et 6.1 mg/l, avec une moyenne de 5.24 mg/l. Les concentrations sont inférieures à la norme algérienne de potabilité (20 mg/l).

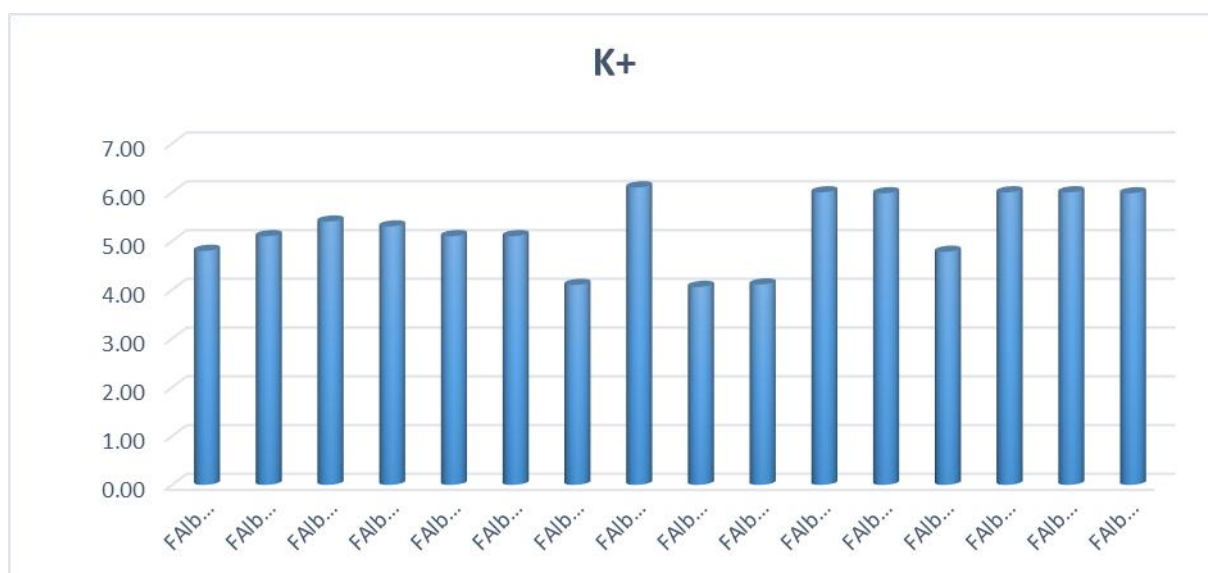


Figure 64. Histogramme de variation de la teneur en Potassium des eaux de CI.

5.3.5. Les Chlorures (Cl⁻) : L'ion chlorure existe toujours dans les eaux naturelles à des concentrations très variable. C'est un traceur conservatif dans les environnements naturels, car il ne participe pas aux réactions d'oxydo-réduction et il ne forme pas de précipités insolubles. Son origine probable dans la zone d'étude est liée principalement à la dissolution des formations salifères (NaCl) et au lessivage des amendements agricoles riches en chlorures tels que les chlorures de potassium. Les chlorures donnent un goût désagréable et posent le problème de la corrosion dans les canalisations et les réservoirs à partir de 50 mg/l.

La concentration de cet élément chimique (Fig.65) présente des teneurs variables mais faibles, elles varient entre 50 mg/l dans le forage F₂ et 115 mg/l dans F₄. Ces valeurs ne dépassent pas la norme algérienne de l'eau potable qu'est 500 mg/l.

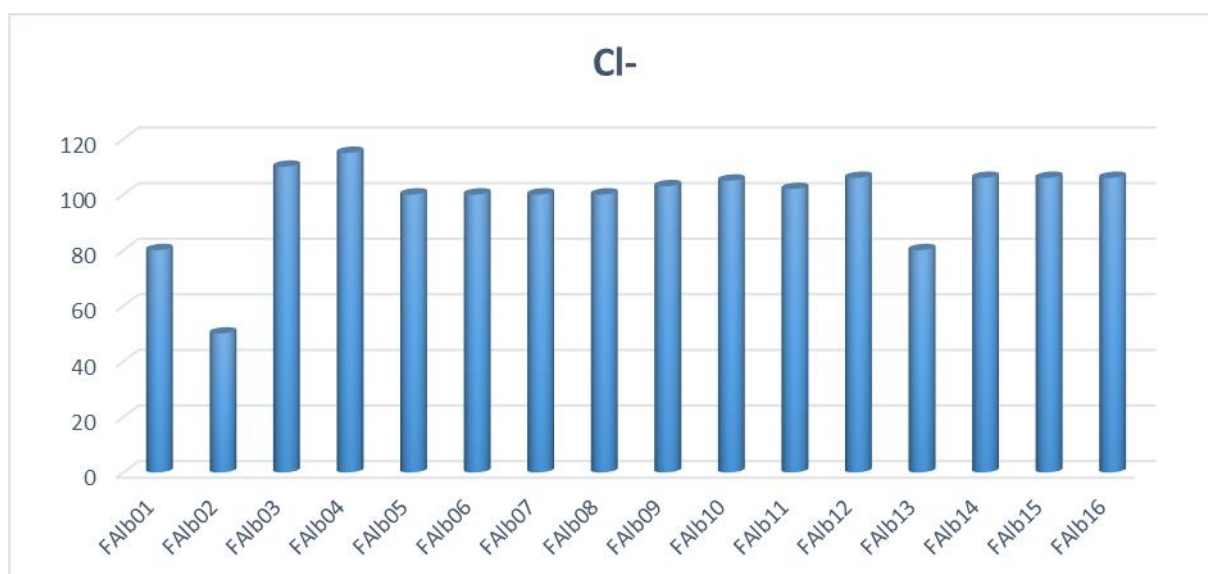


Figure 65. Histogramme de variation de la teneur en Chlorures des eaux de CI

5.3.6. Les Sulfates (SO₄⁻²) : La concentration en sulfates des eaux naturelles des terrains à faibles teneurs en minéraux sulfatés est généralement inférieure à 50 mg/l (Rodier1980). L'augmentation des sulfates peut provenir en grande partie de la dissolution des minéraux évaporitiques, de l'oxydation du soufre des roches sédimentaires et/ou de pollution urbaine, industrielle et agricole. L'histogramme de teneurs des sulfates (Fig.66), montre des valeurs variant de 50 mg/l à 180 mg/l, ils peuvent être liés à la dissolution des évaporites (gypse). Les valeurs de sulfate mesurées dans les eaux de la nappe de CI ne dépassent pas la norme algérienne de l'eau potable qu'est 400 mg/l.

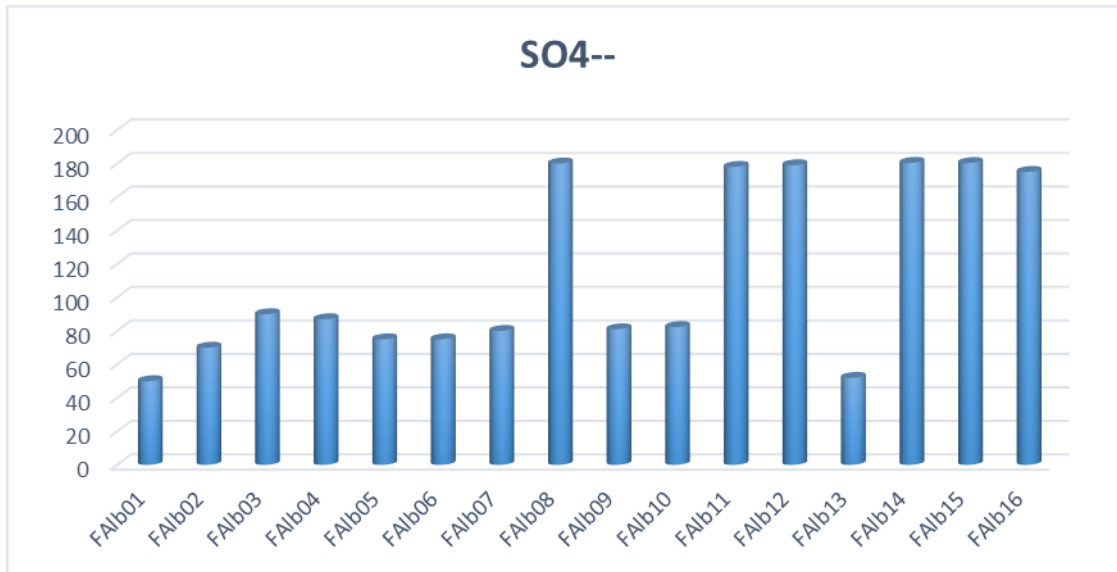


Figure 66. Histogramme de variation de la teneur en Sulfates des eaux de CI

5.3.7. Les Bicarbonates (HCO_3^-) : La présence de bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées telles que les calcaires et les dolomies. Les eaux de la nappe de CI renferment les concentrations de bicarbonates qui varient peu (Fig.67) dans la zone d'étude. La teneur maximale est de l'ordre de 180 mg/l au forage F₆, alors que la valeur minimale est d'ordre de 150 mg/l au forage F₈. Nous rappelons que la valeur guide de l'OMS pour l'eau de boisson est 300 mg/l.

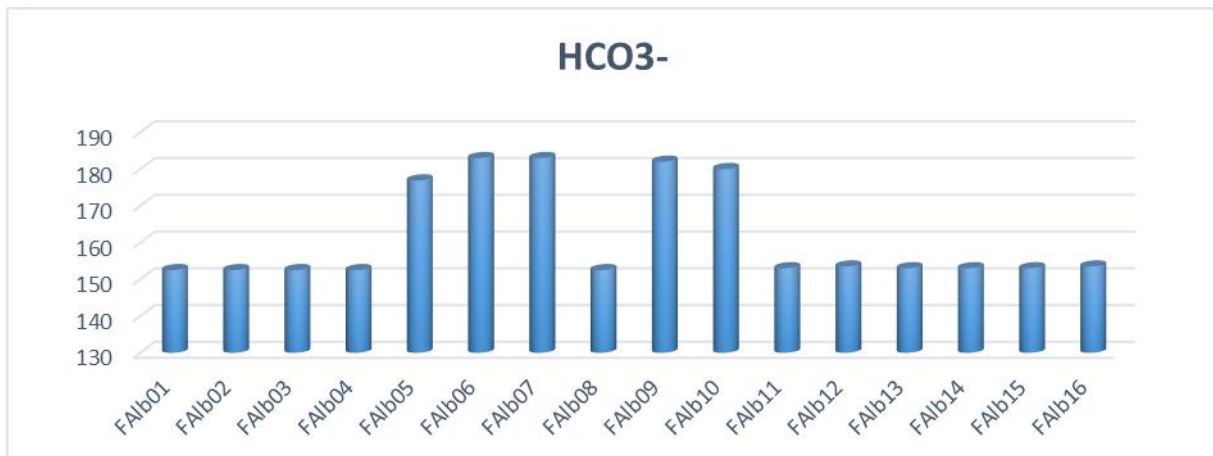


Figure 67 Histogramme de variation de la teneur en bicarbonates des eaux de CI

5.4. Les substances indésirables

5.4.1. Les Nitrates (NO_3^-) : L'ion de nitrate est la forme oxydée de l'azote, les sources naturelles de nitrate sont principalement la pluie et les interactions avec le sol et la végétation (Jacques .B, 2008), l'origine anthropiques des nitrates sont les engrais et les rejets domestiques. Les eaux de la nappe de continentale intercalaire présentent une plage de

concentration s'étale entre 19 mg/l (F₈) et 42 mg/l (F₉) (Fig.68). Ces valeurs ne dépassant pas la norme algérienne de l'eau potable (50 mg/l).

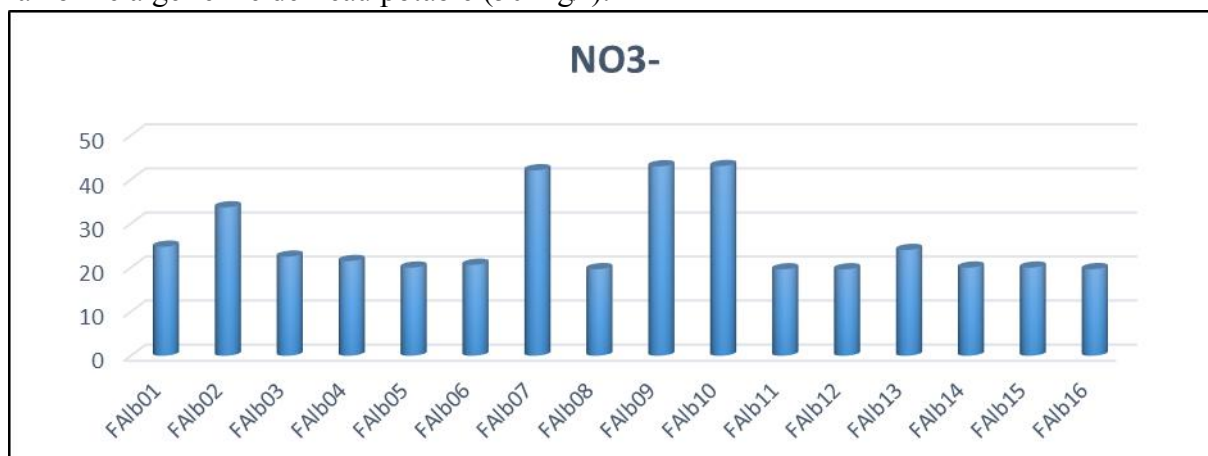


Figure 68. Histogramme de variation des nitrates dans la nappe de CI.

5.4.2. Les Nitrites (NO₂⁻) : Les nitrites représentent la forme du passage entre les nitrates et l'ammonium. Il s'agit d'une forme toxique, dans l'ensemble, les teneurs en nitrites sont inférieure à 0.1 mg/l.

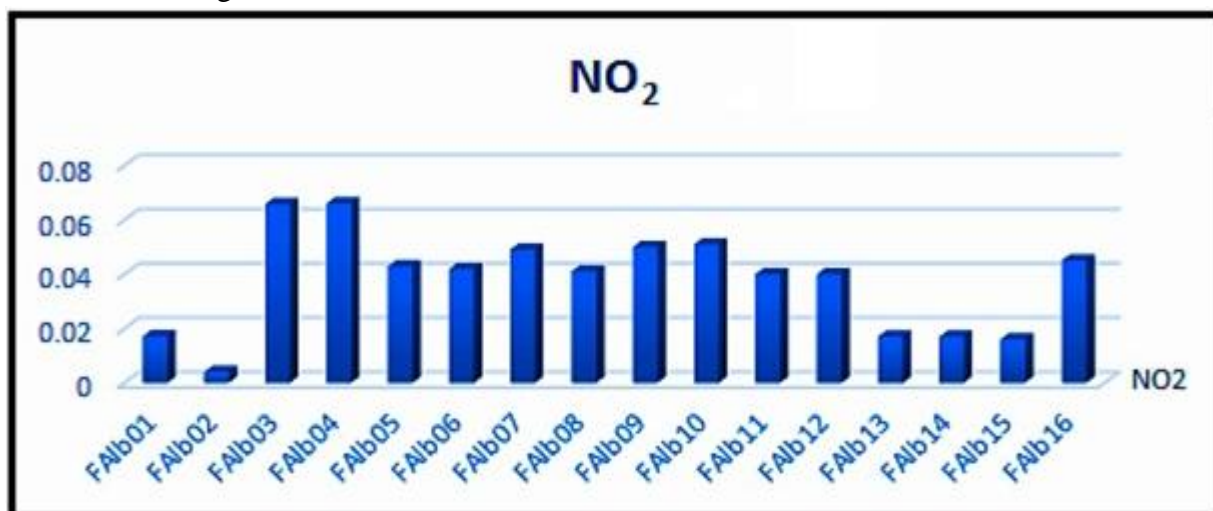


Figure 69. Histogramme de variation des nitrites dans la nappe de CI.

5.4.3. L'Ammonium (NH₄⁺) : L'Ammonium est la forme d'azote la plus toxique, sa présence avec des concentrations élevée dans l'eau est liée à une contamination urbaine ou industrielle, les teneurs en ammonium dans les eaux de la nappe de continentale intercalaire (CI) de la zone d'étude sont dans la totalité inférieures à 0.06 mg/l.

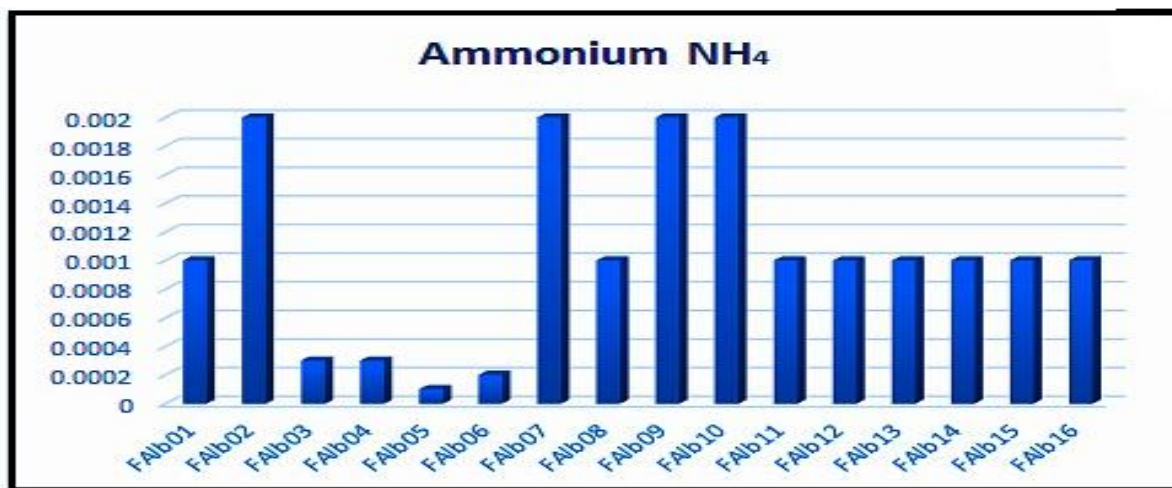


Figure 70 Histogramme de variation de l'ammonium dans la nappe de CI.

5.4.4. Les Phosphates (PO_4) : L'origine des phosphates dans les eaux superficielles est liée aux rejets urbains ou à la dissolution des engrais chimiques. Dans les nappes captives ils sont liés à la dissolution des roches qui contiennent les phosphates, les teneurs en phosphates des eaux de CI sont inférieures à 0.5 mg/l.

5.5. Aptitude de l'eau à l'utilisation agricole

Les eaux souterraines sont utilisées pour l'irrigation de la palmeraie, l'évolution des caractéristiques chimiques des eaux influence sur les différentes cultures sous palmiers dattiers cultivées par les oasisiens, l'étude chimique des eaux pour l'irrigation est nécessaire pour mettre en évidence le danger que présente certains éléments chimiques, pour les plantes qui supportent mal les sols saturés en sodium, une classification des eaux en fonction du pourcentage du sodium absorbé par l'eau (méthode de Richards) permet de bien classer les eaux (Tab.25) en fonction de la conductivité électrique et le SAR (Sodium Adsorption Ratio) dans l'eau,

L'agriculture durable passe par le maintien de la qualité du sol et de l'eau. Certaines pratiques agricoles constituent un risque pour l'environnement dont les conséquences pourraient affecter les régions urbaines comme rurales. Les bonnes pratiques de gestion permettent de réduire les risques environnementaux de l'agriculture. Ces pratiques agricoles tiennent compte des connaissances actuelles en matière de conservation du sol et de l'eau, sans pour autant sacrifier la productivité.

Notre région d'étude est à vocation agricole, une activité qui demande beaucoup d'eau afin de subvenir aux besoins des diverses cultures. L'eau destinée à l'irrigation doit présenter des caractéristiques physico-chimiques tolérables par les plantes. Les eaux trop minéralisées créent divers problèmes pédologiques et agronomiques, ces sels peuvent nuire aux cultures et

perturber leur croissance, entraînant une baisse du rendement.

Parmi les éléments responsables de ces problèmes on cite le sodium ; les fortes teneurs en cet élément provoquent un changement de la structure physique du sol à cause du gonflement des particules d'argiles. Celles-ci seront par la suite dispersées rendant ainsi la circulation de l'eau plus lente au sein du sol. Cette dégradation des caractéristiques physiques du sol se traduit par une baisse de sa perméabilité et de son aération.

Dans le but d'étudier la qualité des eaux de l'aquifère à l'irrigation, on a fait recours à la méthode de RICHARDS. Il met en évidence différentes classes d'eau qui a été définies sur la base du taux d'absorption de sodium (S.A.R) et sur la concentration de l'eau sous la forme de la conductivité électrique (en $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 25°C).

Les valeurs obtenues à partir des échantillons analysés ont été reportés sur le diagramme de Richards (fig.69) où on remarque que l'ensemble des points d'eau se situe dans les deux dernières classes dont le risque de salinisation est faible. Le diagramme de Richards, montre qu'es eaux de la nappe CI s'arrangent selon deux classes : eaux de qualité bonne (C_2S_1) et eaux de qualité admissible (C_3S_1).

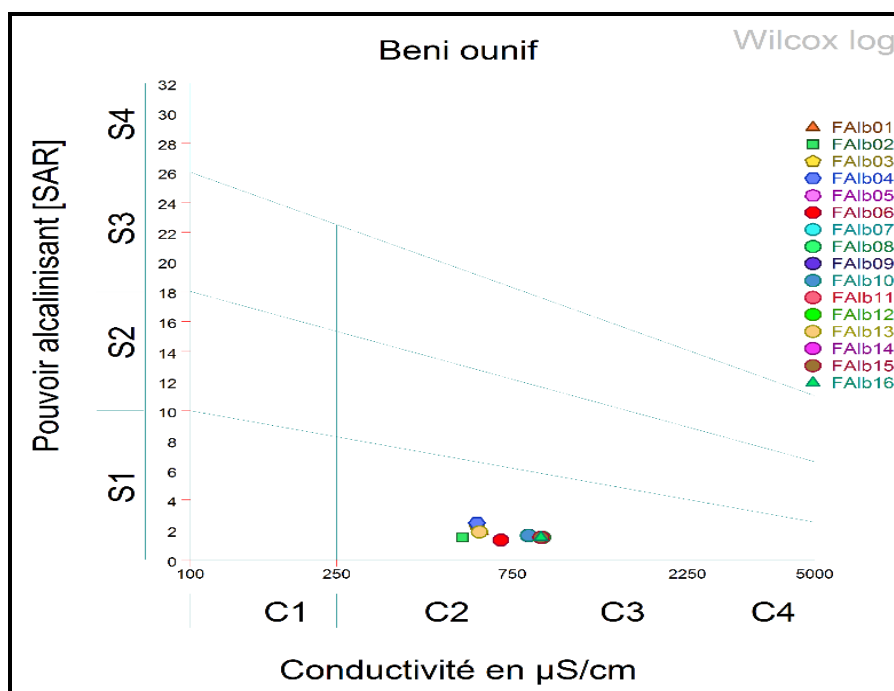


Figure 71 Evolution du SAR en fonction de la conductivité des eaux de l'aquifère de CI.

5.6. Aptitude de l'eau à la consommation humaine

Les eaux de la nappe de continentale intercalaire de la région de Beni Ounif sont destinées à l'alimentation en eau potable de la ville de Béchar et de cinq autres communes de la wilaya de Béchar. Pour cette raison nous avons utilisé la méthode de l'indice de la qualité des eaux (IQE) pour évaluer l'aptitude des eaux de CI à la consommation humaine.

L'Évaluation de l'état de la qualité de l'eau pour une utilisation particulière est l'objectif principal de toutes les études de surveillance de la qualité de l'eau. L'indice de qualité de l'eau (IQE) est un instrument mathématique utilisé pour transformer de grandes quantités de données sur la qualité de l'eau en un nombre unique qui représente un niveau de qualité de l'eau. En fait, le développement de l'IQE dans une zone est un processus fondamental dans la planification de l'utilisation des terres et la gestion des ressources en eau. Dans cette étude, une méthode simple paramétrique est développée pour créer un indice de qualité des eaux souterraines.

Cette méthode est vise à donner une valeur unique à la qualité d'une source ou d'un forage sur la base de l'un ou l'autre système qui se traduit par la liste des électeurs et de leurs concentrations présentes dans un échantillon dans une seule valeur de l'eau. On peut alors comparer les différents échantillons de la qualité sur la base de la valeur d'indice de chaque échantillon. Le concept de l'utilisation d'un indice pour représenter une valeur unique de l'état de plusieurs variables n'est pas une idée nouvelle; il a été bien ancrée dans l'économie et le commerce (Fisher, 1922; Diewert and Nakamura, 1993).

5.6.1. Définition de la méthode de l'indice de qualité des eaux souterraines : c'est une technique importante pour délimiter la qualité des eaux souterraines et de son aptitude à des fins de consommation. IQE est défini comme une technique d'évaluation qui fournit l'influence composite de différents paramètres de qualité de l'eau sur la qualité globale de l'eau pour la consommation humaine. L'indice de qualité de l'eau (IQE) a été calculé pour évaluer l'influence des activités naturelles et anthropiques sur la base de plusieurs paramètres chimique des eaux souterraines. Pour calculer l'IQE, un poids est attribué pour les paramètres physico-chimiques en fonction de leur importance relatif dans la qualité globale de l'eau, pour les besoins en eau potable ou l'irrigation (Vasanthavigar et al, 2010). Les formules de l'indice de qualité des eaux souterraines sont très nombreuses, chacun élaborant sa méthode selon les paramètres utilisant et ses besoins.

5.6.2. Histoire de l'évolution de la méthode (IQE) : L'un des premiers indices de qualité de l'eau était l'indice saprophytes (SI) en Royaume- Uni (Snow, 1854) qui est définie comme un degré de préciser le chargement de la matière organique facilement dégradable dans des eaux). Le SI comme une mesure du niveau de la pollution organique a donc été utilisé pour classer la qualité de l'eau par divers pays européens. En 1945 Horton fait un développement numérique pour évaluer la qualité de l'eau par un indice de qualité de l'eau IQE basé sur huit paramètres Hounslow.A.W (1995), IQE à été exprimé en :

$$IQE = \left[\frac{w_1 s_1 + w_2 s_2 + w_3 s_3 + \dots + w_n s_n}{w_1 + w_2 + w_3 + \dots + w_n} \right] m_1 m_2$$

S : le nombre de notes affectées à un paramètre caractéristique allant de 0 à 100.

w : sont des facteurs de pondération de 1 à 4.

n : représente un nombre de paramètres utilisés pour évaluer l'IQE.

m1 : est un facteur de correction de température (0,5 lorsque la température est inférieure à 34 ° C, sinon 1).

m2 : est le facteur de correction de la pollution (0,5 ou 1).

Indice de qualité de l'eau modèle d'Amérique du Nord (1970) : Une version améliorée de l'indice a été proposée par (Brown et al, 1970) avec le soutien de la National Sanitation Foundation (NSF) des Etats-Unis. Cet indice appelée IQENFS basé sur 11 paramètres, il est exprime mathématiquement par la formule suivante :

$$IQE = \sum_{i=1}^n w_i s_i$$

S : le nombre de notes affectées à un paramètre caractéristique ou allant de 0 à 100.

w : sont des facteurs de pondération de 1 à 4.

n : représente un nombre de paramètres utilisés pour évaluer l'IQE.

Indice de la qualité de l'eau Modèles d'Europe dans les années 1970 : L'indice a été encore amélioré sous la forme d'un modèle additif pondéré qui a été préconisé pour une utilisation en Angleterre (Tyson JM, House MA, 1989) Le modèle additif pondérée prend la forme:

$$IQE = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^n (w_i s_i)^2$$

S : le nombre de notes affectées à un paramètre caractéristique ou allant de 0 à 100. w : sont des facteurs de pondération de 1 à 4.

n : représente un nombre de paramètres utilisés pour évaluer l'IQE.

L'autre contribution européenne importante pour le calcul d'une IQE est venue de l'Espagne (Bascaron,1979) l'équation suivante a été utilisée:

$$IQE = \left(\sum_{i=1}^n C_i \times P_i \right) / \sum_{i=1}^n P_i$$

Ci : est la valeur d'indice de paramètres assigné après normalisation.

Pi : est le poids affecté à des paramètres (son importance pour utilisation de l'eau).

n : représente un nombre de paramètres utilisés pour évaluer l'IQE.

Modèle de l'indice de qualité de l'eau au cours des années 1980: (Bhargava, 1985) dérivait des idées de la notion d'évaluation de l'IQE avancé par (Brown et al, 1970) et ce pour classer la qualité de l'eau à des fins exclusivement en alimentation en eau potable, cependant il a utilisé la forme d'un modèle multiplicatif qui suit:

$$IQE = \left[\prod_{i=1}^n f_i \right]^{1/n}$$

F_i : c'est la valeur de la fonction de sensibilité de la variable (paramètre) qui comprend l'effet de la concentration et du poids de la variable i dans l'utilisation, varie entre 0 et 1.

n : c'est le nombre de variables prises en compte.

Modèle de l'indice de qualité de l'eau au cours des années 1990-2000: La structure mathématique de l'indice de qualité de l'eau proposée par Brown et al. Durant les années 1970 a été développée en continuant l'apport supplémentaire de (Dojlido et al, 1994). Sous la forme d'une formule harmonique de la racine quadratique moyenne, ou simplement appelée la formule du modèle harmonique, qui a été exprimé en tant que:

$$IQE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i^{-2} \right]^{-0.5}$$

5.6.3. Utilisation de l'indice de qualité de l'eau dans le contexte international : L'indice de qualité de l'eau (WQI) représente une expression numérique qui est utilisé dans l'évaluation de qualité de l'eau aux États-Unis d'Amérique, le Canada, Espagne, la France, l'Allemagne, l'Autriche, l'Italie, la Pologne et la Turquie. Les principaux formules utilisées dans le monde sont :

Canada : Le Conseil Canadien des Ministère de l'environnement (CCME) a mis au point un indice de qualité de l'eau (IQE) pour simplifier la communication des données complexes et techniques qualité de l'eau (CCME 2001).

$$IQE_{du_CCME} = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1,732} \right)$$

Le calcul de l'indice repose sur trois termes :

F_1 : nombre de variables non conformes aux recommandations de la qualité de l'eau.

F_2 : nombre de fois où ces recommandations ne sont pas respectées.

F_3 : écart des mesures non conformes par rapport aux recommandations correspondantes.

La division de ces termes par 1,732 provient du fait que chacun des trois facteurs qui composent l'indice peut atteindre la valeur de 100.

$$\sqrt{100^2 + 100^2 + 100^2} = \sqrt{30\,000} = 173.2$$

Inde : Le poids unitaire de chaque paramètre calculé par la formule, L'échelle de notation de la qualité (q_i) pour six paramètres physico-chimiques, calculé pour chaque paramètre en appliquant la multiplication de la valeur de poids et l'échelle d'évaluation de qualité individuelle et donc la formule d'IQE est : $WQI = \sum (q_i w_i)$

Chine : Indice de la qualité des eaux (IQE) est une méthode plus efficace pour évaluer la qualité de l'eau, il donne des informations sur la qualité globale de l'eau et les taux de la qualité de chaque lieu d'échantillonnage. Il a d'abord été proposé par (Horton, 1965) pour déterminer la pertinence de l'eau souterraine à des fins de consommation.

La formule adoptée pour analyser les données d'échantillonnage des eaux souterraines :

$$WQI = \frac{\sum_{i=1}^n W_i q_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

W : est le facteur unitaire de la pondération de dureté.

$W = K / S$ et K est la proportionnalité de la valeur plus haute de dureté. Les autres échantillons ont été constants.

5.6.4. Le premier indice moderne celui de HORTON : Horton (1965) fixé pour lui-même les critères suivants lors de l'élaboration du premier indice moderne de la qualité des eaux (IQE):

- Le nombre de variables qui doivent être gérées par l'indice devrait être limité pour éviter de faire l'indice étendu.
- Les variables doivent avoir une importance dans la plupart des domaines.
- Seulement ces variables, dont leur disponibilité est fiable, doivent être inclus.

Horton a sélectionné 10 plus couramment variables mesurées qualité de l'eau pour son index, y compris l'oxygène dissous (DO), pH, coliformes, la conductivité spécifique, l'alcalinité et les chlorures. Conductance spécifique était destinée à servir comme une mesure approximative de résidu sec (TDS). Le poids de l'indice varie de 1 à 4, l'indice de Horton ne comprend pas de produits chimiques toxiques.

Le score de l'indice est obtenu avec une fonction linéaire de l'agrégation de somme. La fonction se compose de la somme pondérée des sous-indices I_i divisée par la somme des poids w_i et multiplié par deux coefficients M_1 et M_2 , qui reflètent la température et de la pollution évidente, respectivement:

$$QI = \frac{\sum_{i=1}^n W_i I_i}{\sum_{i=1}^n W_i} M_1 M_2$$

5.6.5. Calcul de l'indice de la Qualité des eaux de continental intercalaire:

La méthode de l'indice de qualité des eaux souterraines (GWQI) reflète l'influence composite des différents paramètres de qualité de l'eau sur sa potabilité. L'indice est calculé en utilisant l'équation suivante en concordance avec les standards de l'OMS :

$$GWQI = \sum SI_i = \sum w_i q_i = \sum \left[\left(\frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \right) * \left(\frac{C_i}{S_i} * 100 \right) \right]$$

Avec :

C_i : concentration de chaque paramètre,

S_i: valeur limite de chaque paramètre fixé par les normes algériennes

w_i : le poids de chaque paramètres selon son importance relative dans la qualité des eaux de boisson (Tableau 27)

q_i : notation de qualité pour chaque paramètres,

W_i : le poids relatif,

SI_i : le sous-indice du paramètre i.

Tableau 27 : les poids relatifs des paramètres physico-chimiques

Paramètre	Norme Algérienne	Poids (w _i)	Poids relatif
Ca ⁺⁺	200	2	0.0571
Mg ⁺⁺	150	1	0.0285
Na ⁺	200	2	0.0571
K ⁺	20	2	0.0571
Cl ⁻	500	3	0.0857
SO ₄ ⁻⁻	400	4	0.1142
HCO ₃ ⁻	200	3	0.0857
NO ₃ ⁻	50	5	0.1428
Cond	2800	4	0.1142
pH	6,5-8,5	4	0.1142
TDS	1500	5	0.1428
		Somme =35	

Les calculs de l'indice de qualité des eaux de chaque échantillons d'eau sont comparés avec le tableau de classification des eaux souterraines.

Tableau 28. Classification des eaux souterraines selon la méthode IQE

Indice de classe	Type de l'eau
<50	Excellent
50 - 100	Bonne
100 - 150	Médiocre
150 - 200	Mauvaise
200 - 300	Très mauvaise
>300	Non potable

Les valeurs de cet indice pour la région d'étude sont comprises entre 36.5 à 47.5. Les résultats montrent que tous les échantillons prélevés à partir des forages captant l'aquifère étudié appartiennent à la catégorie qualité excellente (Fig.70).

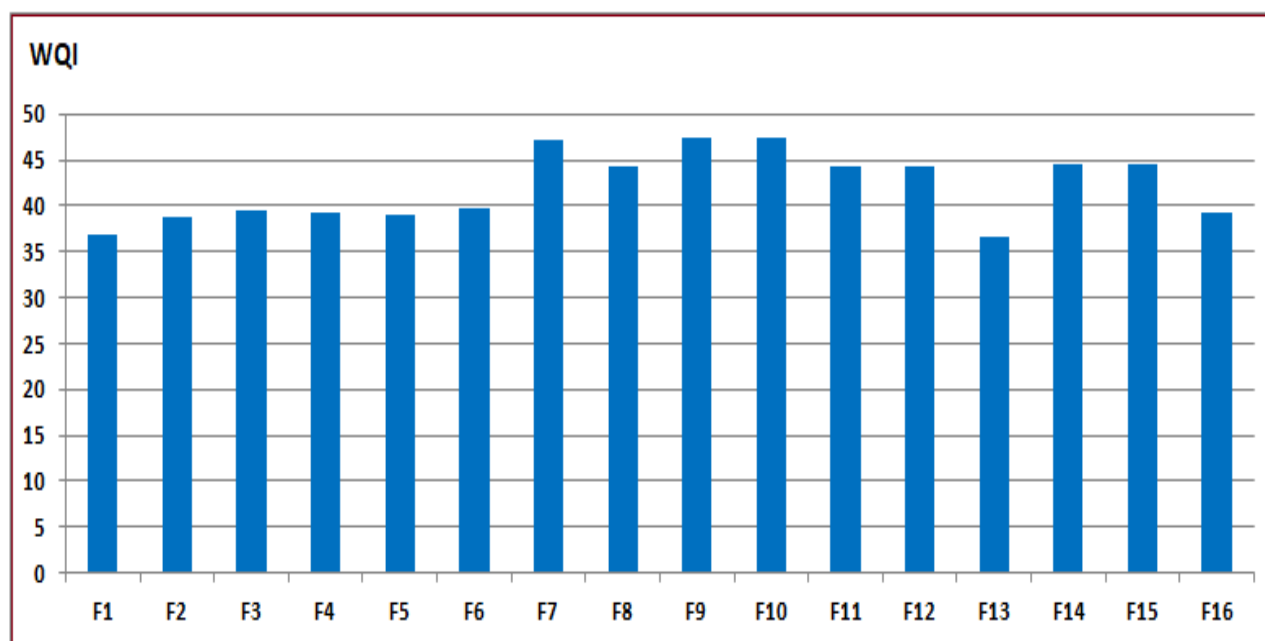


Figure 72. Indices de la qualité des eaux de la nappe de continentale intercalaire (CI).

6. Impact des essais nucléaires sur les aquifères de la région

Avant la proposition du champ captage de l'albien dans la région de Béni-Ounif. Une question a été très importante à traiter par les responsables de l'ANRH sur la possibilité de contamination des eaux souterraines de la région par les éléments radioactifs.

Les premiers engins autopropulsés ont été testés, dès 1948, sur les champs de tir de la métropole (à Mailly-le-Camp notamment) mais ces essais demandent des champs de tir très étendus qui permettent la récupération des engins. Le Sahara présente ces avantages mais il

faut disposer d'eau, d'énergie, de moyens d'accès routiers, ferroviaires et aériens. C'est ainsi que Colomb-Béchar est choisi avec des zones allant jusqu'à 3 000 km². Le Centre d'essais des engins spéciaux (CIEES) est créé le 24 avril 1947, il offre aux trois armes les champs de tir et les moyens de mesure nécessaires à la mise au point des engins de toutes catégories. Colomb-Béchar dispose des champs de tir et des moyens propres à satisfaire les demandes concernant les engins air-air, air-sol et sol-air et sol-sol.

La position du site B2namous dans la zone de Beni Ounif il est : X =31° 50'24 " Nord/Y =0° 36'35 " ouest.

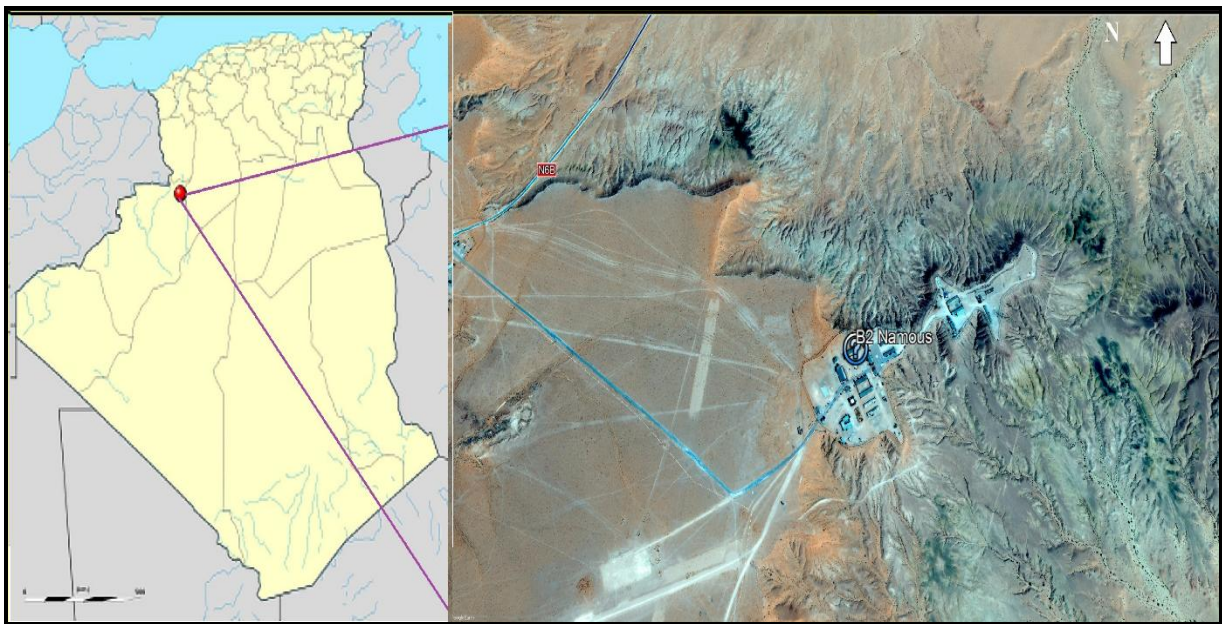


Figure 73. Carte de la position du site B2namous dans la zone de Beni ounif.

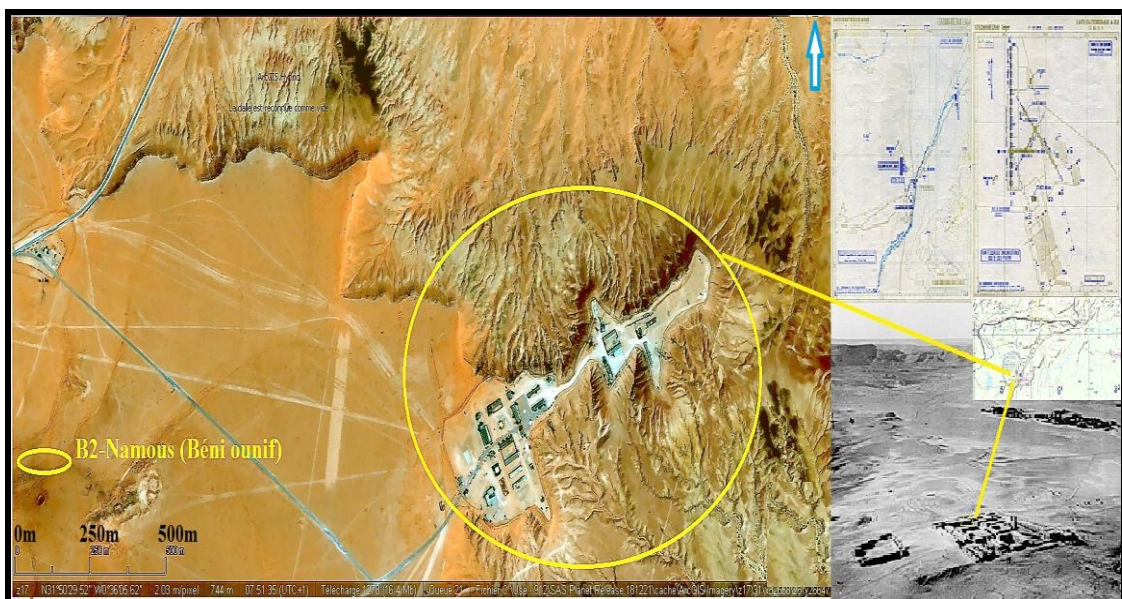


Figure 74 : Les cartes d'approche à vue et d'atterrissage de Colomb-Béchar dans la région de Béni Ounif en mai 1961.

Le Centre de Béni Ounif - Guir se compose de trois sites :

-**La base originelle BO**, pour les tirs obliques vers l'est, qui rassemble 2 000 personnes, à l'ouest de la ville de Colomb-Béchar avec l'aérodrome *Georges Léger*, les supports logistiques du CIEES et deux champs de tir proches, l'un, **B1 (Itmar)**, de 25 km X 25 km pour les tirs obliques d'une centaine de kilomètres vers l'ouest, et l'autre, à Bou-Hamama, à 12 km. La zone B1 est utilisée par la SNCASE pour certains tirs d'engins de la famille SE 4200, les cibles SE 1524, les SE 4500 prévu pour le transport de la bombe atomique, ainsi que les derniers SE 4100 à autodirecteurs optiques ou radar.

-**Une aire B'1** pour les tirs verticaux sol-air et les essais air-sol, à 50 km au sud, sans moyens particuliers.

-**L'aire principale de lancement B2 à Hammaguir**, à 110 km au sud-ouest de Colomb-Béchar (wilaya de Béchar maintient), aménagée à partir de 1951, avec une base-vie de 800 personnes, permettant des tirs à 1 000 km vers le sud-ouest (Tindouf) et 1 000 à 2 000 km vers le sud-est (Bidon 5 et le Tchad, pour les premiers missiles de type balistique (*Eole*, *Véronique*)).

Depuis 1957, le CNET demande à Sud-Aviation d'étudier et construire des fusées destinées à l'étude de la très haute atmosphère aux fins de télécommunications. Le même programme et les mêmes types d'engins seront utilisés par le Comité français de recherches spatiales pour satisfaire ses propres besoins.

Les tirs se succèdent : *Mammouth* de la SEREB, *Antarès* et *Bérénice* de l'ONERA, les fusées *Bélier*, *Centaure*, *Dragon*, *Pégase* et *Eridan* de Sud-Aviation. Le 10 octobre 1961, lancement du *Véga*, engin à statoréacteur de Nord-aviation qui atteint 21 500 m et Mach 4,15. Les 13 et 17 novembre 1961, 3ème et 4ème tir d'*Agate* de la SEREB à 69 000 m avec une charge de 725 kg, elle sera suivie par *Topaze*, *Emeraude*, *Saphir* et *Diamant*. L'engin-cible hypersonique CT41 *Narval* de Nord-Aviation est tiré le 13 décembre 1961. Du 21 mai au 6 juin 1962, a lieu une importante campagne de tir avec des tirs simultanés de Reggan, Hammaguir (Beni Ounif) et de l'île du Levant pour, entre autre, des mesures de triangulations, avec des engins *Bélier*, *Centaure* (qui atteint 183 km) et *Véronique*. Le 26 novembre 1965, *Astérix*, le premier satellite français, sera lancé par la fusée *Diamant n°1*; les tirs de fusée cesseront en juillet 1967. Ci-contre : Les cartes d'approche à vue et d'atterrissage de Colomb-Béchar Léger en mai 1961. L'aérodrome a été nommé Léger en mémoire de Georges Léger, ingénieur victime d'une explosion lors du chargement d'un fusée.

L'aérodrome de Colomb-Béchar Ville est situé au sud de la ville de Béni Ounif .

Ci-dessous : La base B2 Namous figure sur la cartes aéronautiques. En 1935, la France a

installé une base d'essais d'armes chimiques et biologiques dans l'oued Namous, à 160 km à l'est de Colomb-Béchar et à plus de 80 km au sud-est de Béni-Ounif, cette base deviendra la base « secrète » B2 Namous, réactivée en 1965 et qui fonctionnera jusqu'en 1978 **même après l'indépendance**. La base d'Hammaguir a été nommée B2 peut-être afin de créer une confusion. En bas à droite : Basse B2 Namous 1965.

D'après le directeur régionale de ANRH Adrar **Mr. Ansari .T** , **le champ de captage des eaux de continental intercalaire est** très éloigné (environ de 100 km) des anciens sites des essais des armes chimiques et bactériologiques (Fig.72) effectuées par l'armée coloniale française dans la région d'étude donc il ne pas aucun risque de pollution sur le champs de captage des eaux souterraine ; sauf les eaux de surface proche de la zone d'essai comme point d'oued namous à diamètre de 69 km.

7. CONCLUSION

Dans le but de contrôler la qualité des eaux de la région d'étude, des campagnes d'échantillonnage des eaux souterraines et de surface ont été réalisées et ont été soumises à des analyses physicochimiques.

Les résultats ainsi obtenus montrent des températures moyennes de 21,2°C des eaux de la nappe superficielle et de 22,8°C pour celles de la nappe profonde.

L'étude hydrochimique des nappes de la région de Béni Ounif montre que les eaux à permis de mettre en évidence la forte concentration des éléments chimiques du Complexe Terminal (CT) par rapport à celle du continental Intercalaire (CI) dans la région d'étude. Le report des résultats d'analyses hydrochimiques sur le diagramme de Piper et Stiff des eaux des deux aquifères des eaux de la nappe superficielle et profond montre que le faciès Bicarbonate calcique et magnésienne 76.66% est dominant pour les eaux du Complexe Terminal (CT), parcontre le faciès Sulfaté magnésienne 37.5% caractérise les eaux du Continental intercalaire (CI). L'interprétation des résultats hydrochimiques à l'aide du diagramme de Riverside montre que les deux horizon d'aquifères , selon les endroits, ont la qualité de leurs eaux qui peut être eaux de qualité excellente ou admissible.

L'indice de qualité des eaux pour la région d'étude sont comprises entre 36.5 à 47.5. Les résultats montrent que tous les échantillons prélevés à partir des forages des nouveaux champs de captage que captant l'aquifère du (CI) de Beni Ounif étudié appartiennent à la catégorie qualité excellente.

L'étude de l'impact des essais nucléaire sur les aquifères de la région montrant que l'ancien

site des essais des armes chimiques et bactériologiques effectuées par l'armée coloniale française dans la région d'étude il est très éloignée environ de 100 km du nouvelle forage albien, donc il ne pas aucun risque de pollution sur le champs de captage des eaux souterraine ; sauf les eaux de surface proche de la zone d'essai comme point d'oued namous à diamètre de 69 km et La crainte de restes de communication entre l'oued et les nappes profonds.

Conclusion générale

CONCLUSION GÉNÉRALE ET RECOMMANDATIONS

La zone d'étude (Béni Ounif) fait partie de la wilaya de Bechar, elle se localise au sud-ouest de l'Algérie, c'est une point frontalier avec le royaume du Maroc, elle s'étende sur une superficie de 42730 km², sa population est estimée à 13000 habitants (2017). Du point de vu géologique la région fait partie de la grande plateforme saharienne et appartient au Craton Nord-Africain où le socle précambrien repose en discordance sur une puissante couverture sédimentaire. Le bassin d'Oued Namous est caractérisé par un socle accidenté, attribué au Précambrien, ceinturé par des assises paléozoïques recouvertes par les formations mésozoïques ou récentes (hamadas et ergs), leur épaisseur peut atteindre 10 km.

Le climat de la zone d'étude est de type saharien avec un hiver chaud. La précipitation moyenne interannuelle ne dépassent pas 32 mm, la précipitation mensuelle ne dépasse pas 2 mm. La température moyenne annuelle est 27.37°C, elle est maximale au mois de juillet avec une valeur de 38.83°C et minimale au mois de janvier avec une valeur de 12.94°C. Le bilan hydrique de la zone d'étude est déficitaire, conséquence d'une faible précipitation et d'une forte évapotranspiration, la réserve facilement utilisable est nulle durant les douze mois de l'année et la recharge par la pluie efficace est négligeable.

Sur le plan hydrogéologique la région de Béni Ounif renferme un système aquifère constitué de trois nappes, de bas en haut on distingue : la nappe de continentale intercalaire représenté d'âge Crétacé inférieur, constitué d'une alternance de couche grés-sableuse-argileuse et sa puissance varie entre 100m et 300 m. L'analyse piézométrique montre que à l'échelle du bassin d'Oued Namous, l'écoulement régional des eaux de CI se fait selon une direction majeure : Nord-Ouest vers Sud –Est, le gradient hydraulique varie entre $5,8 \times 10^{-4}$ et $1,03 \times 10^{-3}$. La nappe de CI est surmontée par la nappe de complexe terminal d'âge Turonien, constitué calcaro-dolomitique d'épaisseur de 50 m, reposant sur un mûr argileux-gypseux imperméable, et de marne gypseux d'âge Cénomaniens (e=60m).

À la surface on trouve la nappe libre superficielle constituée des alluvions d'âge quaternaires, leur épaisseur varie de 300m et 380m. elle est alimentée par les crues hivernales et surtout printanières des oueds (oued Lakhdar, oued Zouzfana, oued Namous, et oued Laouedj). L'étude géophysique de l'aquifère superficiel montre qu'il est constitué des alluvions, dunes de sables, argile, les sables argileux et passage de grès, alors que le substratum est représenté par les calcaires et les calcaires dolomitiques, leur surface est

ondule avec des profondeurs varies entre 300m et 380m, on note aussi l'existence quelques dépressions où la profondeur peut atteindre 480m vers la partie Est..

Sur le plan de la gestion des eaux dans la région de Béni Ounif, la demande en eau potable, agricole et industrielle est de l'ordre de 8.46 hm^3 à par années, dont (AEP = 1.08 hm^3 , IRR = 7.38 hm^3 , IND = 0.001 hm^3). d'autre part pour Satisfaire la demande croissante de l'eau dans la wilaya de Béchar amène les responsables a lancé un projet hydraulique d'envergure de transfert des eaux albiennes du champ de captage de la région de Béni-Ounif vers cinq communes de la wilaya à savoir Bechar, Kenadsa, Abadla, Mechraa Houari-Boumediene et Erg Farradj, sera réceptionné et mis en service dès la fin du mois d'avril 2019 la 1^{ère} partie de projet , qui vise à assurer une alimentation régulière en eau potable afin de permettre le transfert quotidiennement de 30.000 m^3 d'eau à partir de dix (10) forages d'une profondeur variante en 400 a 500 mètres.

L'étude hydrochimique des nappes de la région de Béni Ounif montre que les eaux de la nappe superficielle sont très minéralisée par apport la nappe du continental Intercalaire (CI). Le faciès Bicarbonate calcique et magnésienne 76.66% est dominant pour les eaux du nappe superficielle, par contre nappe de CI est caractérisée par cinq ; facies 37.5% Sulfaté magnésienne 37.5%, Chlorurée sodique 12.5%, Chlorurée sodique 12.5%, Bicarbonate calcique 18.75% et Bicarbonate magnésienne 18.75%.

Évaluation de la potabilité des eaux de la nappe superficielle est acceptable pour l'alimentation en eaux potable à l'exception de quelques forages qui des concentrations en nitrates et en sulfates dépassant les normes algériennes. Pour le champ de captage des eaux de l'albien, l'évaluation de la potabilité des eaux est faite par la méthode de l'indice de la qualité des eaux (WQI), cette dernière nous donne des valeurs varient entre 36.5 à 47.5, indiquant que les eaux de l'aquifère de CI appartiennent à la catégorie qualité excellente.

La représentation des échantillons d'eau sur le diagramme de Riverside montre que les eaux de la nappe superficielle sont de qualité excellente (C_1S_1), eaux de qualité bonne (C_2S_1) et eaux de qualité admissible (C_3S_1) pour l'irrigation. Les eaux de CI s'arrangent dans deux classes ; eaux de qualité bonne (C_2S_1) et eaux de qualité admissible (C_3S_1)

RECOMMANDATIONS

Les eaux souterraines constituent une ressource économique et écologique de première importance. Toutefois, ces réserves s'épuisent et leur qualité se dégrade sous l'effet des

différentes activités humaines. Par ailleurs, la demande en eau est à satisfaire non seulement du point de vue quantité mais devant répondre surtout aux exigences de qualité.

Dans la région de Béni Ounif le manque de données a rendu difficile notre étude. Pour une bonne estimation de la part de la recharge des aquifères par les apports des cours d'eau. Pour cette raison il est nécessaire de mettre une station de mesures météorologiques et des stations de jaugeages des cours d'eau dans le site.

De même, pour déterminer le risque de la contamination par l'eau de superficielle, il est nécessaire de mettre en place des piézomètres profonds au niveau du secteur d'étude.

La sensibilisation des agriculteurs sur l'impact de l'utilisation en excès des engrais sur la qualité des eaux souterraines.

Enfin, un suivi de la qualité des eaux et de la piézométrie est recommandé en vue de préserver ces ressources.

*RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES*

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Askri H. et al, (2017) : Géologie de l'Algérie, Contribution de SONATRACH Division Exploration, Centre de Recherche et Développement et Division Petroleum Engineering et Développement. 32 p.

Benhamza.M, et Merzougui.B, (2007) : Champ Captant d'In Salah, Rapport Interne, ANRH Adrar, 27 p.

Besbes.M et al, (2005) : Bassin Occidental ; Hydrogéologie et Modèle conceptuel, OSS, Tunis,24 P

Bouselsal. B, (2016) : Etude hydrogéologique et hydrochimique de la nappe Aquifère libre d'El-Oued Souf ,33 p

Castany G. (1982) : Principes et méthodes de l'hydrogéologie, Dunod université Bordas Paris. France, 25p.

CDARS, (1999): Étude du Plan Directeur Général de Développement des Régions Sahariennes, Ressources en eau : Connaissances d'ensemble, Ouargla, 50 p.

Conrad G. (1969) : L'évolution continentale post-hercynienne du Sahara algérien. Centre de recherche sur les zones arides. Série géologie n°10, CNRS, Paris,8 p

Conrad G. (1975) : Les isotopes dans les eaux du sahara nord-occidental (Algérie), Rapport IAEA, 25 p.

Hadj-said .s(2007) : Contribution à l'étude hydrogéologique d'un aquifère en zone cotière : cas de la nappe de guerbes , 57 p.

Fabre J. (2005) : Géologie du Sahara occidental et central, musée royal de l'Afrique centrale – Belgique, 6p.

Fabre J. (1976) : Introduction à la géologie du Sahara algérien. SNED, Alger, Algérie, 5 p.

Hounslow.A.W (1995): Water quality data analysis and interpretation, Ed LEWIS PUBLISCHERS, 78 p.

Jacques.Boudin (2008): Cours de Lithologie et Chimie des Eaux Souterraines, Module de géologie département Géosciences, Université de Poitier, Fichier PPT, 58 p.

Mohamedou Ould Baba Sy. (2005) : Recharge et Paléorecharge du Système Aquifère du Sahara Septentrional. Thèse Doct, Univ, Tunis El Manar 25 p.

O.S.S (2004): Système aquifère du sahara septentrional, Modèle Mathématique, Volume4,25 p.

Robert M.W. et al, (1973): Hydrogeology of the Albian formation, Submitted to the graduate Faculty of Texas Tech University in Partial Fulfillment of the Requirements for the degree of Doctor in Philosophy. 24p.

Rodier.J et coll (2005) : L'Analyse de l'eau, 8^e Edition, Dunod, Paris, 58p.

UNESCO. (1972) : Étude des ressources en eau du Sahara septentrional. Plaquette 2, La nappe du continental intercalaire- modèle mathématique, 24p.

UNESCO. (1972) : Étude des ressources en eau du Sahara septentrional. Plaquette 5, Utilisation des modèles pour l'établissement des programmes d'exploitation. 24p.

UNESCO. (1972) : Étude des ressources en eau du Sahara septentrional. Plaquette 7 Captage et utilisation des eaux souterraines, les forages et le refroidissement des eaux. 24p.

ANNEXES

ANNEXE I : Fiche technique de quelque forage dans la région de Beni Ounif

II- Beni Ounif

II-1 Forage F1

NAPPE CRETACE	
Désignation	Caractéristiques
A-Caractéristique Genie civil	
Cloture	625 m ²
Surface batie	9 m ²
B-Caractéristique du FORAGE	
Date de mise en service	1985
Coordonnées	X=4; Y=35,8; Z=/
Profondeur	158 m
Niveau statique	57 m
Niveau dynamique	38 m
Débit théorique	5 l/s
C-Caractéristique Equipements	
- GEP	
Débit d'exploitation	5 l/s
HMT	110 m
Puissance	18,5 Kw
Compteur	DN = 80 mm ; PN= 16 bars
Vanne	DN = 80 mm ; PN= 16 bars
Clapet	DN = 80 mm ; PN= 16 bars
- Armoire de commande	
Puissance	18,5 KW
Disjoncteur	C 63
Contacteur	D 65
Relais thermique	55-65 A



II-2 Forage F2

NAPPE CRETACE

Désignation	Caractéristiques
A-Caractéristique Genie civil	
Cloture	625 m ²
Surface batie	9 m ²
B-Caractéristique du FORAGE	
Date de mise en service	1981
Coordonnées	X= 4,01; Y= 35,58; Z= /
Profondeur	122 m
Niveau statique	27.52
Niveau dynamique	/
Débit théorique	12 l/s
C-Caractéristique Equipements	
- GEP	
Débit d'exploitation	9 l/s
HMT	90 m
Puissance	30Kw
Compteur	DN = 100 mm ; PN= 16 bars
Vanne	DN = 80 mm ; PN= 16 bars
Clapet	DN = 80 mm ; PN= 16 bars
- Armoire de commande	
Puissance	30 KW
Disjoncteur	C 63
Contacteur	D 65
Relais thermique	55-65 A



II-3 Forage F4

NAPPE CRETACE

Désignation	Caractéristiques
A-Caractéristique Genie civil	
Cloture	625 m ²
Surface batie	9 m ²
B-Caractéristique du FORAGE	
Date de mise en service	1992
Coordonnées	X=/; Y=/; Z=/
Profondeur	140 m
Niveau statique	23.58
Niveau dynamique	/
Débit théorique	15 l/s
C-Caractéristique Equipements	
- GEP	
Débit d'exploitation	12 l/s
HMT	140 m
Puissance	30 Kw
Compteur	DN = 100 mm ; PN= 16 bars
Vanne	DN = 100 mm ; PN= 16 bars
Clapet	DN = 100 mm ; PN= 16 bars
Mannometre	inexistant
- Armoire de commande	
Puissance	30 KW
Disjoncteur	87,5-125 A
Contacteur	D 45
Relais thermique	54 - 65 A



II-4 Puits Central

Désignation	Caractéristiques
A-Caractéristique Genie civil	
Cloture	625 m ²
Surface batie	20 m ²
B-Caractéristique du FORAGE	
Date de mise en service	1992
Coordonnées	X=/; Y=/; Z=/
Profondeur	20 m
Niveau statique	/
Niveau dynamique	/
Débit théorique	3,5 l/s
C-Caractéristique Equipements	
- GEP	
Débit d'exploitation	3,5l/s
HMT	49 m
Puissance	11 Kw
Compteur	DN =80 mm ; PN= 16 bars
Vanne	
Clapet	DN = 80 mm ; PN= 16 bars
Mannometre	Defectueux
- Armoire de commande	
Puissance	7,5 KW
Disjoncteur	C 63
Contacteur	CL 45
Relais thermique	/



II-5 Puits Fendi

Désignation	Caractéristiques
A-Caractéristique Genie civil	
Cloture	625 m ²
Surface batie	12 m ²
B-Caractéristique du FORAGE	
Date de mise en service	1971
Coordonnées	X=/; Y=/; Z=/
Profondeur	20 m
Niveau statique	/
Niveau dynamique	/
Débit théorique	2,5 l/s
C-Caractéristique Equipements	
- GEP	
Débit d'exploitation	1,5l/s
HMT	30 m
Puissance	5 Kw
Compteur	DN = 80 mm ; PN= 16 bars
Vanne	DN = 80 mm ; PN= 16 bars
Clapet	DN = 80 mm ; PN= 16 bars
Mannometre	/
- Armoire de commande	
Puissance	5 KW
Disjoncteur	C 63
Contacteur	CL 03
Relais thermique	13-18 A



II-6 Puits Oued Lakhdar

Désignation	Caractéristiques
A-Caractéristique Genie civil	
Cloture	Sans cloture
Surface batie	4 m ²
B-Caractéristique du FORAGE	
Date de mise en service	1971
Coordonnées	X=1,11; Y=32,14; Z=/
Profondeur	20 m
Niveau statique	/
Niveau dynamique	/
Débit théorique	2,5 l/s
- GEP	
Débit d'exploitation	2,5 L/S
HMT	30 M
Puissance	7 Kw
Compteur	DN = 80 mm ; PN= 16 bars
Vanne	DN = 80 mm ; PN= 16 bars
Clapet	Non
Mannometre	Non
- Armoire de commande	
Puissance	7 KW
Disjoncteur	C 32
Contacteur	D 10
Relais thermique	10 - 13 A



II-7 Forage Rosfa Taiba

Désignation	Caractéristiques
-------------	------------------

A- Caractéristique Genie civil	
Cloture	625 m ²
Surface batie	20 m ²
B- Caractéristique du FORAGE	
Date de mise en service	1971
Coordonnées	X=/; Y=/; Z=/
Profondeur	136 m
Niveau statique	28,53 m
Niveau dynamique	57,06 m
Débit théorique	1,5 l/s
- GEP	
Débit d'exploitation	1,5 l/s
HMT	100 m
Puissance	11 Kw
Compteur	DN = 80 mm ; PN= 16 bars
Vanne	Non
Clapet	Non
Mannometre	Non
- Armoire de commande	
Puissance	11 KW
Disjoncteur	C 25
Contacteur	D 11
Relais thermique	20 - 32 A



ANNEXE II : liste de quelque logiciel utilisé dans cette mémoire.



Résumé

La région de Béni Ounif (SO Algérie) s'étend sur une superficie de 42730 km², sa population est estimée à 13000 habitants. Le climat de la région est de type saharien, la hauteur précipitation annuelle ne dépassent pas 32 mm. Le système aquifère de la région est constitué de trois nappes, de bas en haut on distingue : la nappe de continentale intercalaire d'âge Crétacé inférieur, constitué d'une alternance de couche grés-sableuse-argileuse, elle est surmontée par la nappe de complexe terminal d'âge Turonien, constitué calcaro-dolomitique d'épaisseur de 50 m, et la surface on trouve la nappe libre superficielle constituée des alluvions d'âge quaternaires. L'étude hydrochimique des nappes de la région de Béni Ounif montre que les eaux de la nappe superficielle sont très minéralisée par apport la nappe du continental Intercalaire (CI). Évaluation de la potabilité des eaux de la nappe superficielle est acceptable pour l'alimentation en eaux potable à l'exception de quelques forages où les concentrations de nitrates et de sulfates dépassant les normes algériennes. Pour le champ de captage des eaux de l'albien, l'évaluation de la potabilité des eaux est faite par la méthode de l'indice de la qualité des eaux (WQI), montre qu'elles sont de qualité excellente. La représentation des eaux sur le diagramme de Riverside montre que les eaux de la nappe superficielle sont de qualité excellente, bonne et admissible pour l'irrigation, et les eaux de CI s'arrangent de qualité bonne et admissible pour l'irrigation.

Mots clés : Béni Ounif, continentale intercalaire, WQI, potabilité, irrigation.

Summary

The region of Beni Ounif (SO Algeria) extends over an area of 42,730 km², its population is estimated at 13,000 inhabitants. The climate of the region is of Saharan type, annual precipitation height do not exceed 32 mm. The aquifer system of the region consists of three layers, from bottom to top we can distinguish: the intercropping continental sheet of lower Cretaceous age, consisting of an alternation of sandstone-clay layer, it is surmounted by the sheet of Turonian-age terminal complex, calcaro-dolomitic in thickness of 50 m, and the surface is the surface free layer consisting of quaternary alluvium. The hydrochemical study of the aquifers of the Béni Ounif region shows that the waters of the superficial aquifer are very mineralized by adding the continental Intercalaire (CI) aquifer. Assessment of the potability of surface water is acceptable for drinking water supply with the exception of a few boreholes where nitrate and sulphate concentrations exceed Algerian standards. For the water catchment area of the albian, the assessment of the drinking water quality is done by the method of the water quality index (WQI), shows that they are of excellent quality.

The water representation on the Riverside diagram shows that the waters of the surface water are of excellent, good and acceptable quality for irrigation, and CI waters are of good and acceptable quality for irrigation.

Key words: Beni Ounif, Inland Continental, WQI, Potability, Irrigation.

ملخص

تمتد منطقة بني عونف (الجزائر) على مساحة 42730 كيلومتر مربع، ويقدر عدد سكانها بـ 13000 نسمة. مناخ المنطقة من النوع الصحراوي، لا يتجاوز ارتفاع هطول الأمطار السنوي 32 مم. يتكون نظام طبقة المياه الجوفية في المنطقة من ثلاث طبقات، من أسفل إلى أعلى يمكننا تمييزها: الطبقة القارية المتداخلة من العصر الطباشيري السفلي، والتي تتكون من تناوب لطبقة من الحجر الرملي، ويعلوها طبقة من مجمع طوروني من العصر التوروني، كالكارو دولوميت بسماكة 50 متر، والسطح هو الطبقة السطحية الخالية من الرواسب الرباعية. تبين الدراسة الهيدروكيميائية لمستودعات المياه الجوفية في منطقة بني عنيف أن مياه الطبقة الجوفية السطحية تمعدن للغاية من خلال إضافة طبقة المياه الجوفية المتداخل القاري. يُعتبر تقييم إمكانات المياه السطحية مقبولاً لإمدادات مياه الشرب باستثناء عدد قليل من الآبار التي تتجاوز فيها تركيزات النترات والكبريتات المعايير الجزائرية. بالنسبة لمنطقة مستجمعات المياه للعصر البييني، يتم تقييم جودة مياه صالح للشرب عن طريق طريقة مؤشر جودة المياه (WQI)، مما يدل على أنها ذات جودة ممتازة يوضح تمثيل المياه في مخطط ريفرسايد أن مياه المياه السطحية ذات جودة ممتازة وجيدة ومقبولة للري، وأن مياه المتداخل القاري ذات نوعية جيدة ومقبولة للري.

الكلمات المفتاحية: بني أونيف، الداخلية القارية، WQI، صالح للشرب، الري.