



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de Djilali Bounâama Khemis Miliana

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre

Département des Sciences de la Terre

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domain : Sciences de la Terre

Filière : Géologie

Spécialité : Hydrogéologie

### Thème

CONTRIBUTION À L'ÉTUDE HYDROGÉOLOGIQUE DE L'AQUIFERE  
KARSTIQUE DU DJEBEL ZACCAR (ASPECTS HYDROLOGIQUE ET  
HYDRODYNAMIQUE)

Présenté par :

Mlle. BEDOU Fella

Mr. BENCHAAABANE Hacene Ramzi

Soutenu le 28/09/2021

devant le jury composé de :

Mr BOUGARA Mohammed

Président (Université de Khemis Miliana)

Mr SAID Ramdane

Promoteur (Université de Khemis Miliana)

Mr GHARBI Benyoucef

Examineur (Université de Khemis Miliana)

# *Remerciements*

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui nous voudrions témoigner toute ma gratitude.

Nous voudrions tout d'abord adresser toute notre reconnaissance au bon Dieu qui nous a dotés de la volonté et surtout de la patience pour produire ce travail et qui nous a aidés à faire face à toutes les difficultés rencontrées lors de son élaboration.

Nos sincères remerciements vont à nos parents qui ont sacrifié leur vie pour notre éducation, et au doyen, M. BOUSALHIHE Ibrahim; le chef département M. SAADOUNE Ali et sous-chef de département Mme. HADJ MOHAMMED Nacera pour sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

Nous désirons aussi remercier l'encadreur M. SAID Ramdane, pour son encadrement tout le long de ce projet et pour son aide, orientations et conseils très efficaces.

Nos remerciements vont également à : M. BOUGARA Mohammed, pour l'honneur qu'il nous a fait de présider le jury. M. GHARBI Benyoucef d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nos remerciements vont également à : M. MOULA Adnane Souffi qui nous a accordé la possibilité de faire un stage au sein du Centre de Recherche Nucléaire d'Alger CRNA, ainsi que M. ABDELOUAHAB Rachid, Mme Belaid Messaouda qui nous ont accompagné au terrain, et Mme ARABI Malika et M. SIDALI Ouarzki qui nous ont fourni toute la documentation et les données nécessaires.

Nous remercions aussi M. Belaïdi Mouloud de l'A.N.R.H .Blida, et M. ZEMMAM Smail de l'D.R.E. Ain Defla.

Nous remercions notre sœur Mme. FELLAG Marwa et tous ceux qui ont participé, de près ou de loin, à l'élaboration de ce travail. A tous, nous disons merci.

# *Dédicaces*

A tous ceux qui j'aime, Surtout:

Mes chers, père et mère, et mes frères Khir-eddine et Abdouraouf et ma sœur Mimi pour l'énorme soutien moral et leurs encouragements

A toutes mes amies Racim Boudice, Chakib bel Abdewahab, Abdelkader Cherchalli, Célia, Yasmina, Djamel, Ala, Houcine, Tarak Zrouki, Chemsouï Ahmed

A toute la promotion 2<sup>ème</sup> année master hydrogéologie à qui mon amie je souhaite plein de succès dans la vie professionnelle ainsi que pour tout le reste

Je remercie aussi toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin pour la réalisation de ce mémoire

Ce mémoire vous est dédié à tous.

Benchaabane Hacene Ramzi

# *Dédicaces*

Je dédie ce travail :

A mes chers parents, pour tous leur sacrifices, leur amour et prières, leur soutien et support tout au long de mes études,

A mes chers frères Nassim et Zizou, et ma chère petite sœur Yasmine

A mes cousines, et toute ma famille maternelle et paternelle pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,

A mes chères copines que j'aime trop,

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infallible,

Merci d'être toujours là pour moi.

BEDOU Fella

# SOMMAIRE

Remerciements	
Dédicaces	
Sommaire	
Listes des figures	
Liste des tableaux	
Liste des annexes	
Liste des abréviations	
Résumé	
Introduction générale.....	1
I. SITUATION ET GÉNÉRALITÉS .....	2
I.1 SITUATION GÉOGRAPHIQUE.....	2
I.2 CONTEXTE GÉOMORPHOLOGIQUE.....	2
I.3 RESEAUX HYDROGRAPHIQUE .....	3
I.4 La végétation .....	4
I.5 DEFINITIONS DE L'AQUIFÈRE KARSTIQUE.....	5
I.5.1 Définition d'un aquifère au sens large .....	5
I.5.2 Définition des aquifères karstiques .....	5
I.6 PARTICULARITÉS DES AQUIFÈRES KARSTIQUES .....	5
I.6.1 Conditions de formation d'un karst.....	5
I.6.2 Fonctionnement d'un aquifère karstique.....	7
I.7 METHODES D'ETUDES DES AQUIFERES KARSTIQUES .....	8
II. HYDROCLIMATOLOGIE .....	11
II.1 Introduction .....	11
II.2 Régime pluviométrique .....	11
II.2.1 Précipitations moyennes mensuelles.....	12
II.2.2 Précipitations saisonnières .....	13
II.2.3 Précipitations moyennes annuelles.....	15
II.3 Estimations de la lame d'eau précipitée à l'échelle du bassin versant. ....	16

II.3.1	La méthode arithmétique.....	16
II.3.2	Méthode des polygones de THEISSEN .....	16
II.4	Analyse des températures .....	18
II.5	Le régime climatique .....	19
II.5.1	Indice d'aridité de DE MARTONNE.....	20
II.5.2	Méthode OMBROTHERMIQUE .....	20
II.6	Le déficit d'écoulement .....	21
II.6.1	Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP).....	21
II.6.2	Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR) .....	22
II.7	Estimation de la lame d'eau ruisselée.....	25
II.8	Estimation de la lame d'eau infiltrée .....	25
II.9	Conclusion.....	26
III.	GÉOLOGIE.....	27
III.1	Introduction .....	27
III.2	Contexte géologique régional.....	27
III.3	Géologie du bassin du Chélif.....	28
III.4	Litho-stratigraphie .....	30
III.4.1	Le Paléozoïque .....	30
III.4.2	Le Mésozoïque .....	32
III.4.3	Le Trias .....	32
III.4.4	Jurassique .....	33
III.4.5	Crétacé.....	34
III.4.6	Cénozoïque.....	35
III.4.7	Le Quaternaire.....	36
III.5	Tectonique du Zaccar .....	37
III.6	Conclusion.....	38
IV.	HYDROGÉOLOGIE .....	39
IV.1	Les propriétés hydrogéologiques des différentes formations géologiques.....	39
IV.1.1	Niveaux perméables .....	39
IV.1.2	Niveaux semi-perméables .....	39
IV.1.3	Niveaux imperméables .....	39
IV.2	Répartition spatiale.....	39
IV.3	Caractéristiques hydrogéologiques des différentes formations géologiques.....	40

IV.4	Description des aquifères.....	43
IV.4.1	L'aquifère superficiel .....	43
IV.4.2	L'aquifère du Miocène .....	43
IV.4.3	L'aquifère du Crétacé.....	43
IV.4.4	L'aquifère du Jurassique .....	43
IV.5	Relation entre fissuration, karstification et direction des écoulements souterrains.....	49
IV.5.1	Introduction .....	49
IV.5.2	Démarche méthodologique .....	50
IV.6	Régime des eaux .....	53
IV.7	Vidange de la nappe .....	53
IV.8	Conclusion .....	56
V.	HYDRODYNAMIQUE SOUTERRAINE.....	57
V.1	Introduction .....	57
V.2	Situation de la source.....	57
V.2.1	Situation géographique.....	57
V.2.2	Situation géologique et condition d'émergence .....	57
V.3	Investigation sur terrain .....	59
V.4	Analyse du régime de tarissement de la source aux mines d'oued Rihane .....	60
V.4.1	Rappel.....	60
V.5	Analyse de l'indice de tarissement et coefficient d'emmagasinement.....	62
V.6	Conclusion .....	64
VI.	HYDROCHIMIE .....	65
VI.1	Introduction .....	65
VI.2	Situation des points de prélèvement .....	66
VI.3	Méthodologie.....	66
VI.3.1	Mesure et prélèvement sur le terrain .....	66
VI.3.2	Analyses au laboratoire .....	68
VI.4	RÉSULTATS ET DISCUSSIONS .....	70
VI.4.1	Mesures in situ .....	70
VI.4.2	Conclusion.....	82

# Liste des figures

Figure I-1 Situation administrative de la zone d'étude (TOUMI Samir 2011).....	2
Figure I-2 Image satellitaire en 3D illustrant l'aspect morphologique du massif du Zaccar el Gharbi.....	3
Figure I-3 Réseau hydrographique de la zone d'étude.....	4
Figure I-4 Aperçu de la végétation dans la région de Miliana. ....	4
Figure I-5 Bloc diagramme représente l'aquifère karstique (A. Joodi, 2009). ....	6
Figure I-6 Les différentes configurations d'infiltration du karst.....	7
Figure I-7 Schéma de fonctionnement général des karsts (MANGIN, 1975).....	8
Figure I-8 Un exemple d'hydrogramme (variation du débit de sortie Q au cours du temps) et de chimiogrammes (variation de la concentration des différents traceurs chimiques naturels au cours du temps).....	10
Figure I-9 Exemple de pompages (SAD : système annexe au drainage).....	10
Figure I-10 Expérience de traçage artificiel. Injection d'un traceur fluorescent (uranine ou fluorescéine) dans une perte de ruisseau. ....	10
Figure I-11 Un exemple de courbe de restitution après injection d'un traceur. ....	10
Figure II-1 Variations des précipitations moyennes mensuelles de la région étudiée. ....	13
Figure II-2 Répartition des précipitations saisonnières pour la saison d'automne. ....	14
Figure II-3 Répartition des précipitations saisonnières pour la saison d'hiver.....	14
Figure II-4 Répartition des précipitations saisonnières pour la saison du printemps.....	15
Figure II-5 Répartition des précipitations saisonnières pour la saison d'été.....	15
Figure II-6 Polygones de THEISSEN. ....	17
Figure II-7 Variations des températures moyennes annuelles à la station Miliana.....	19
Figure II-8 Classification climatique selon l'indice d'aridité de DE MARTONNE.....	20
Figure II-9 Courbe ombrothermique (station de Miliana). ....	21
Figure II-10 L'abaque de Wundt pour déterminer le déficit d'écoulement (ETR) .....	23
Figure III-1 Carte générale du domaine d'Alborn, des chaînes bético-rifaines et maghrébides et le l'arc calabro-péloritain (Durand Delga, 1969).....	28
Figure III-2 Cadre géologique du bas et moyen Chélif (Perrodon, 1957). ....	29
Figure III-3 Carte géologique simplifiée du bassin du Chélif (Perrodon, 1957). ....	30
Figure III-4 Carte géologique du Zaccar (Mattaure, 1950).....	31
Figure III-5 Coupes et log stratigraphique du Zaccar (Mattaure, 1950). ....	32
Figure III-6 Coupe des formations de Trias au Nord de la ville de Miliana (Mattaure, 1950). ....	33
Figure III-7 Extrait de la carte géologique de la feuille de Miliana (vue en 3D)( Abdelouahab.R Belaid.M et al. 2013).....	36
Figure III-8 Bloc-diagramme montrant la structure en « fleur » des massifs à schistosités du Bou Maad et du Chélif (Kireche, 1993).....	37
Figure IV-1 Carte géologique du Zaccar (Mattaure, 1950). ....	40
Figure IV-2 Champs de lapiaz au niveau d'el Morodj Zaccar. ....	46
Figure IV-3 Doline au niveau de Riyacha Zaccar. ....	47
Figure IV-4 Localisation de la grotte Ghar el Khadem.....	48



Figure IV-5 Carte topographique Ghar el Khadem (Spéleo Club Boufarik Octobre, 1986). .....	48
Figure IV-6 a) : stalagmite et stalactite ; b, d) : stalagmite, c) : rentrée de la grotte. ....	49
Figure IV-7 Carte vectorisée à partir de la carte géologique de Miliana et de Marengo illustrant les failles importantes ---- (Abdelouahab.R Belaid.M et al. 2013). ....	50
Figure IV-8 Carte linéaire du Massif de Zaccar (Etablie sur la base des photos satellite LANDSAT 7, combinée avec les photos aériennes (Halima CHAA ,2018). ....	51
Figure IV-9 Rosace principale directions des linéaments du Zaccar (Halima CHAA ,2018). ....	51
Figure IV-10 Mesure des directions des réseaux karstiques souterrains (Ghar el Khadem). ....	52
Figure IV-11 Rosace principale directions des réseaux karstiques. ....	52
Figure IV-12 Carte d'inventaire sources et forages. ....	55
Figure V-1 Vue Satellitaire du lieu d'émergence de source aux mines de l'oued Rihane. ....	58
Figure V-2 Extrait de la carte hydrogéologique (th.koulomzine 1935). ....	58
Figure V-3 Légende de la carte géologique. ....	58
Figure V-4 Un extrait d'une coupe géologique de la zone étudiée passant par la source (Th.koulomzine 1935), C <sup>1</sup> <sub>b</sub> ) calcaire bérchoïdes ; C <sup>3-1</sup> , C <sup>1</sup> ) Albien, C <sub>1-v</sub> ) schistes et quartzites, C <sup>1</sup> <sub>a</sub> ) calcaire lités au marmorisés. ....	59
Figure V-5 Photos de la nouvelle source aux mines de l'oued Rihane; A) entrée de la galerie de mine ; B) émergence de la source ; C) bassin de stockage ; D) tuyau d'alimentation. ....	59
Figure V-6 Schéma de la vidange des horizons aquifère. a)vidange des réserves régulatrices alimentant une cour d'eau ;b) Courbe de tarissement. ....	60
Figure V-7 Courbe de tarissement de La nouvelle source aux mines de l'oued Rihane Miliana (1923-1924). ....	61
Figure V-8 Droite représentative du tarissement de la nouvelle source aux mines l'oued Rihane. ....	62
Figure V-9 Impluvium supposé alimentant la nouvelle source aux mines de l'oued Rihane. ....	63
Figure VI-1 carte situation des points de prélèvement. ....	66
Figure VI-2 Points de mesure et de prélèvement projetés sur une image satellitaire de Google Earth. ....	68
Figure VI-3 Photo d'un chromatographe ionique DIONEX 120. ....	69
Figure VI-4 Schéma d'un spectrophotomètre d'absorption atomique de flamme. ....	70
Figure VI-5 Quelques photos de la campagne de terrain. ....	71
Figure VI-6 Températures des eaux en fonction des altitudes d'émergence. ....	72
Figure VI-7 l'interface du logiciel de Diagramme. ....	75
Figure VI-8 Représentation graphique des eaux des sources suivant le diagramme de Piper. ....	76
Figure VI-9 Représentation graphique des eaux des sources suivant le diagramme. ....	77
Figure VI-10 Représentation graphique des eaux des sources suivant le diagramme. ....	77
Figure VI-11 la corrélation de Na <sup>+</sup> avec Cl <sup>-</sup> . ....	80
Figure VI-12 Détermination de l'origine de Ca <sup>2+</sup> . ....	81

# Liste des tableaux

Tableau II-1 Liste des stations pluviométriques retenues pour l'étude.....	11
Tableau II-2 Précipitations moyennes mensuelles mesurées dans les 10 stations retenues pour l'étude.....	12
Tableau II-3 Valeurs des précipitations saisonnières pour chaque station.....	13
Tableau II-4 Précipitations moyennes annuelles.....	16
Tableau II-5 Calcul de Pmoy (Méthode de THEISSEN).....	17
Tableau II-6 Températures moyennes mensuelles (période 1973-2011).....	18
Tableau II-7 Températures moyennes annuelles à la station MILIANA (période 1973-2011).....	18
Tableau II-8 Valeurs de l'évapotranspiration potentielle pour chaque mois (station de Miliana)..	22
Tableau II-9 ETR calculée pour l'ensemble du bassin versant.....	22
Tableau II-10 Valeurs de l'ETR obtenues pour chacune des 3 méthodes.....	24
Tableau II-11 Résultats des calculs pour l'ETR.....	24
Tableau III-1 Stratigraphie de la région d'étude (Abdelouahab.R Belaid.M et al. 2013).....	36
Tableau IV-1 Tableau synthétique compilant les propriétés hydrogéologiques des différentes unités litho-stratigraphiques du Zaccar.....	40
Tableau IV-2 Résultats des mesures des directions Des galeries karstiques relevées sur le levé topo de Ghar el Khadem.....	52
Tableau IV-3 Inventaire des sources.....	53
Tableau V-1 Les résultats des analyses du tarissement de La source aux mines de l'oued Rihane Miliana (1923-1924).....	62
Tableau V-2 Les résultats des analyses du tarissement de La nouvelle source aux mines de l'oued Rihane Miliana (1923-1924).....	64
Tableau VI-1 Coordonnées géographiques des points d'eau échantillonnés.....	67
Tableau VI-2 Paramètres physico-chimiques mesurés In Situ.....	70
Tableau VI-3 Classification des eaux d'après leur pH.....	72
Tableau VI-4 La quantité de TDS préférable dans l'eau :(OMS).....	73
Tableau VI-5 Résultats d'analyses des éléments majeurs et mineurs.....	74
Tableau VI-6 L'agressivité et le pouvoir incrustant de l'eau.....	79
Tableau VI-7 Classification des eaux souterraines selon la dureté totale.....	79
Tableau VI-8 La dureté des eaux des sources du Zaccar.....	79
Tableau VI-9 Normes de potabilité des paramètres physico-chimiques (OMS, 1986).....	82
Tableau VI-10 Tableau des résultats.....	82

# *Liste des annexes*

Annexes I : Inventaire des ouvrages à protéger Miliana (DRE Ain Defla).

Annexe II : Débits mesurés à la nouvelle source aux mines de l'oued Rihane Miliana 1923-1924, (th.koulomzine 1935).

Annexe III : les courbes d'étalonnage de (Zn, Sr, Pb et Fe) analyser par un spectrophotomètre d'absorption atomique de flamme (CRNA).

# *Liste des abréviations*

Km : kilomètre ;

Q : débits ;

SAD : Système annexe au drainage ;

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques ;

$P_{\text{moy}}$  : Pluie moyenne ;

$T_{\text{moy}}$  : Température moyenne ;

CRNA : Centre de Recherche Nucléaire d'Alger ;

DRE : Direction des ressources en eau Wilaya de Ain Defla;

OMS : Organisation mondiale de la Santé.

# *Résumé*

Les monts de Zaccar situés au nord de la plaine alluviale du haut Chélif forment un aquifère karstique constitué par les calcaires du jurassique. Il est certes peut étendu latéralement, mais renferme une ressource en eaux aux potentialités importantes au vu du rendement de certains forages réalisés dans la région. Les eaux, connues pour leur bonne qualité physico-chimique, font l'objet d'une exploitation intensive que ce soit par le captage des sources ou par la réalisation de forages d'eau profonds. Cette aquifère peu étudié, comparativement aux aquifères de la plaine alluviale du Chélif, s'est avéré donc une bonne solution pour satisfaire les besoins en eau des populations locales et de certaines industries voir même des agriculteurs.

Cette étude a donc pour objectif de définir le système aquifère karstique à travers une étude géologique et structurale et d'analyser tous les paramètres hydrologiques et hydrodynamiques voir même hydro chimique qui permettront de circonscrire son fonctionnement hydrodynamique et d'évaluer les potentialités en eau souterraine emmagasinée.

Mots clef : karst, calcaires, Zaccar, tarissement, qualité des eaux souterraines

# *Abstract*

The mountains of Zaccar located in north of the alluvial plain of the upper Cheliff form a karstic aquifer made up of Jurassic limestone. It is certainly not extended laterally, but contains a water resource with significant potential in view of the performance of some boreholes in the region. The waters, known for their good physico-chemical quality, are the object of an intensive exploitation either by the catchment of springs or by the realization of deep water drillings. This aquifer little studied, compared to the aquifers of the alluvial plain of the Cheliff, has proved to be a good solution to meet the water needs of local populations and some industries and even farmers.

This study aims to define the karst aquifer system through a geological and structural study and to analyze all the hydrological and hydrodynamic parameters or even hydrochemical that will allow to circumscribe its hydrodynamic functioning and to evaluate the potentialities in stored groundwater.

Key words: karst, limestone, Zaccar, drying up, groundwater quality.

# ملخص

تشكل جبال زكار الواقعة شمال السهل الغربي في أعالي الشلف طبقة المياه الجوفية الكارستية المكونة من الحجر الجيري الجوراسي. من المؤكد أنه لا يمتد بشكل جانبي ، ولكنه يحتوي على مورد مائي ذو إمكانات كبيرة نظرا لأداء بعض الآبار في المنطقة. المياه ، المعروفة بجودتها الفيزيائية والكيميائية الجيدة ، هي موضوع استغلال مكثف إما عن طريق تجميع المياه من الينابيع أو من خلال تنفيذ عمليات الحفر في المياه العميقة. لقد أثبت هذا الخزان الجوفي الذي تمت دراسته قليلاً ، ، أنه حل جيد لتلبية احتياجات المياه للسكان المحليين وبعض الصناعات وحتى المزارعين

تهدف هذه الدراسة إلى تحديد نظام الخزان الجوفي الكارست من خلال دراسة جيولوجية وتركيبية وتحليل جميع المعلمات الهيدرولوجية والهيدروديناميكية أو حتى الهيدروكيميائية التي ستسمح بتقييم أدائها الهيدروديناميكي وتقييم الإمكانيات في المياه الجوفية المخزنة

الكلمات المفتاحية: الكارستية ، الحجر الجيري ، الطحالب ، الجفاف ، جودة المياه الجوفية

*Introduction*  
*générale*

## Introduction générale

Les régions calcaires d'Algérie offrent une grande diversité de paysages, depuis les karsts bien arrosés des hautes montagnes de l'Atlas jusqu'aux affleurements peu karstifiés du désert du Sahara (Collignon 1991). On observe des formations carbonatées dans des séries d'âges très variés qui couvrent toute l'échelle géologique, des temps les plus anciens, du Carbonifère (dans la région de Bechar), du Trias (nombreux affleurements de gypse et de sel à travers l'Algérie), du Jurassique et du Crétacé (massifs côtiers oranais, nappes telliennes, domaine tlemcénien, néritique constantinois, Atlas saharien), jusqu'au Miocène post-nappe (Djebel Murdjadjo, vallée du Chéelif). Les monts de Zaccar situés au nord de la plaine alluviale du haut Chéelif forment un aquifère karstique constitué par les calcaires du Jurassique. Il est certain peu étendu latéralement, mais contient une ressource en eaux aux potentialités importantes au vu du rendement de certains fourrages réalisés dans la région. Les eaux connues pour leur bonne qualité physique et chimique font l'objet d'une exploitation extensive soit par captage de sources, soit par forage d'eaux profondes. Comparé aux aquifères de la plaine de Chéelif, cet aquifère peu étudié s'est avéré être une bonne solution pour alimenter la ville de Miliana. Pour comprendre le mécanisme de cet aquifère de type karstique, très peu étudié d'un point de vue hydrogéologique, il est nécessaire de mener une étude hydrogéologique dans ses deux perspectives hydrodynamique et hydrologique dans le but d'offrir une contribution à la compréhension du système hydrogéologique. Pour atteindre cet objectif, nous avons réalisé cette étude qui a été scindée en 5 sections :

- Le premier chapitre est consacré à une étude hydro climatologique, où les données recueillies lors de nos recherches ont permis d'apprécier le régime pluviométrique de la région, avec une estimation de la lame d'eau précipitée, et de l'eau ruisselée et du taux d'infiltration ;
- Le deuxième chapitre est une synthèse des études géologiques de la région afin de déterminer la structure générale et identifier les déficients aquifères, et de localiser les accidents tectoniques pouvant constituer les zones de drainage ou d'intercommunication entre les différents aquifères ; - Le troisième chapitre est destiné à l'étude hydrogéologique afin de déterminer les propriétés hydrogéologiques des différents horizons aquifères en passant par l'étude des réseaux karstiques (fracture visible sur le karst superficiel et le karst souterrain) et leurs caractéristiques hydrogéologiques. Une description des aquifères notamment karstiques et leur étude de leur fissuration ont été également effectués pour préciser les directions des écoulements et les zones de drainages des eaux souterraines ;
- Le quatrième chapitre est réservée à l'hydrodynamique souterraine où les données de jaugeage de la source de Oued Rihane ont été modélisées selon la méthode de Maillet pour caractériser le régime de tarissement de la source et l'évaluation de l'indice de tarissement, du coefficient d'emménagement et de la capacité des réserves;
- Dans le dernier chapitre sont abordés les aspects les caractéristiques hydrochimiques des eaux karstiques. une étude qualitative de l'eau basée sur des analyses physico-chimique qui inclut des mesure in situ des paramètres physique (température, conductivité et le pH) et les résultats des analyses chimiques (cation ,anion et les élément en trace), en utilisant les moyens de caractérisation disponibles au niveau du laboratoire du CRNA afin de déterminer les faces chimiques de l'eau et son origine.

Le mémoire est clôturé par une conclusion qui résume les résultats tirés de l'étude, ainsi que des recommandations pour compléter les informations manquantes.



*Chapitre I: situation géographique et généralités sur les systèmes karstiques*

---

## I. SITUATION ET GÉNÉRALITÉS

### I.1 SITUATION GÉOGRAPHIQUE

Le massif du Zaccar objet de cette étude s'étend sur la commune de Ben Allel, Ain Turki et Miliana, à 20 Km au Nord-est du chef-lieu de la wilaya d'Ain Defla et à une centaine de km à l'Ouest d'Alger (Figure I-1).

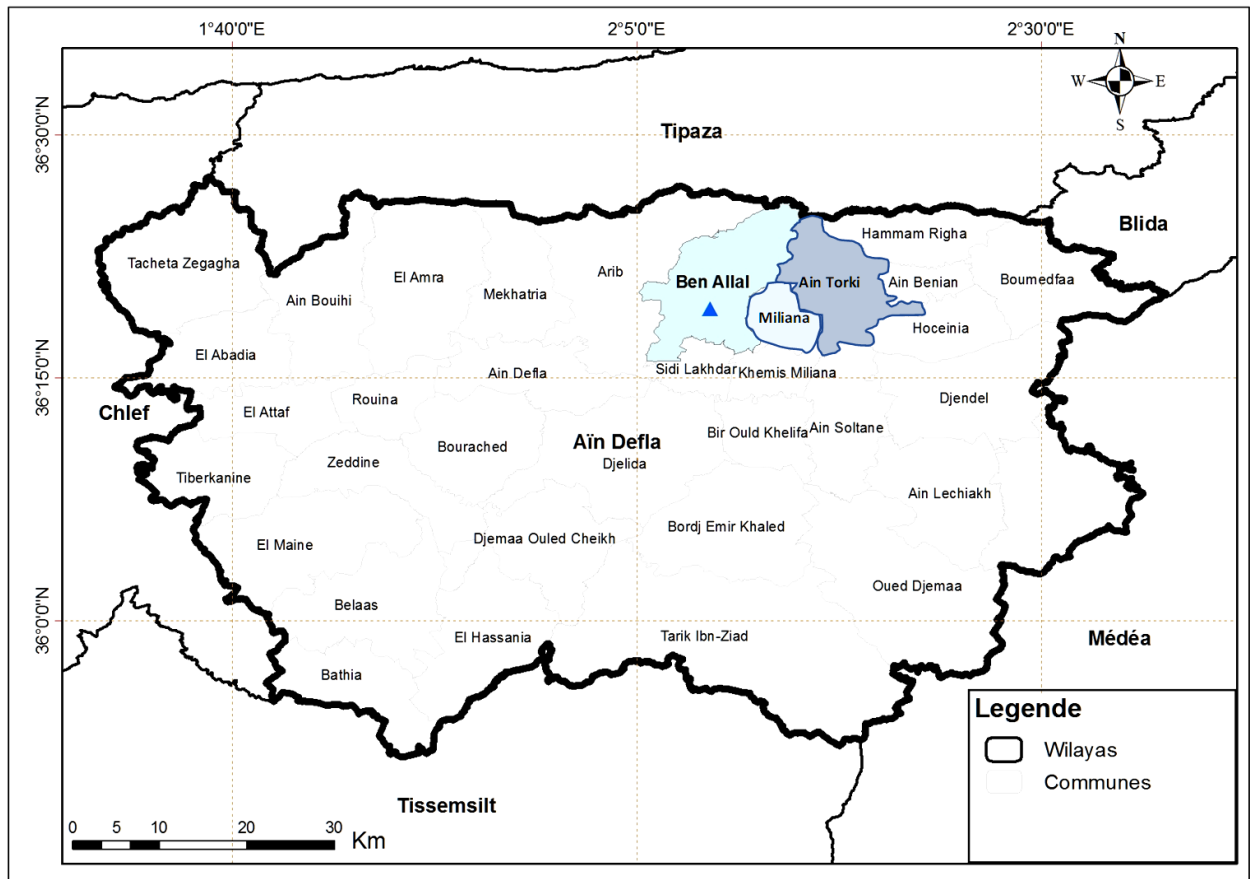


Figure I-1 Situation administrative de la zone d'étude (TOUMI Samir 2011).

### I.2 CONTEXTE GÉOMORPHOLOGIQUE

Le massif du Zaccar est une chaîne de montagne entaillée par un chevelu hydrographique dense, qui résulte d'une fracturation importante affectant toute la région. Il est limité au Nord par le massif du Bou Maad, à l'Est par le massif de Blida, à l'Ouest par le massif de Doui et au sud par le massif de l'Ouarsenis. Il est caractérisé par une forte rupture de pente annonçant le début du massif, puis brusquement apparaissent des masses rocheuses attaquées par une intense érosion.

Les bombements du massif du Zaccar culminent à 1579 m. ils sont séparés par une dépression médiane (Lepvrier, 1978), qui tranche le massif en deux : le Zaccar Chergui avec 1530 m d'altitude à l'Est, et le Zaccar Gharbi avec 1576 m d'altitude à l'Ouest. Zaccar Gharbi présente

une unité orographique principale composée de deux chaînes de montagnes parallèles (Nord et Sud), creusée par un ravin profond d'Oued Aïdous (Guendouz, 1982) (Figure I-2).



Figure I-2 Image satellitaire en 3D illustrant l'aspect morphologique du massif du Zaccar el Garbi.

### I.3 RESEAUX HYDROGRAPHIQUE

Dans le Djebel Zaccar, s'écoulent plusieurs Oueds et cours d'eau. Ces derniers connaissent un régime hydrographique irrégulier lié entièrement aux vicissitudes du climat.

Dans le Djebel Zaccar, qui est une unité hydrogéologique se trouvant à la limite de plusieurs bassins versants s'écoulent plusieurs Oueds et cours d'eau. Ces derniers connaissent un régime hydrographique irrégulier (Figure I-3).

Les lits de ces oueds sont secs en été, et connaissent des crues violentes pendant la saison pluviale. Ils s'écoulent du Nord vers le Sud sur le flanc Sud du Zaccar et du Sud vers le Nord sur le flanc Nord du Zaccar.

Les principaux Oueds s'écoulant sur le massif sont :

- Oued Rihane ;
- Oued Aidous ;
- Oued Tizi Ouchir ;
- Oued Kekou ;
- Oued Bou Alioum ;
- Oued Karamene.

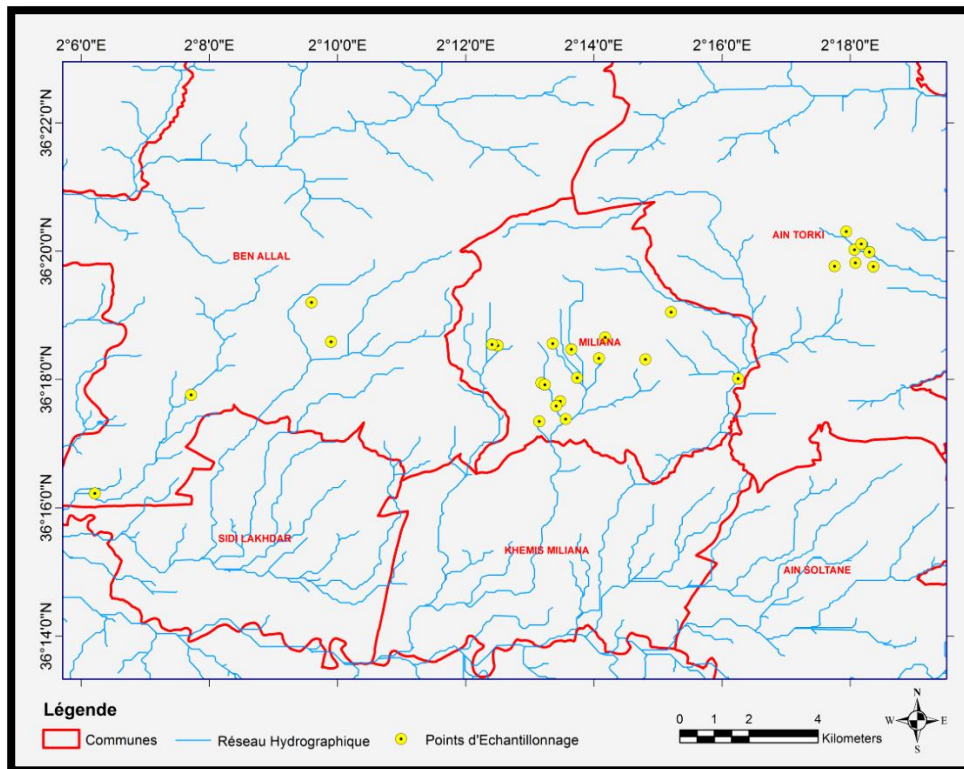


Figure I-3 Réseau hydrographique de la zone d'étude.

#### I.4 La végétation

La végétation est intimement liée au phénomène climatique, car elle joue un rôle prépondérant sur la variation de phénomènes : température, précipitations, évapotranspiration.

Le Djebel Zaccar est généralement couvert d'une maigre végétation, que l'on retrouve dans la région de Ben Allal et dans la région d'Ain N'sour. Cette végétation regroupe un ensemble des plantes telles que l'Olivier, le Chêne, le Pin Maritime, le Merisier, le Frêne, ...etc., (Figure I-4).



Figure I-4 Aperçu de la végétation dans la région de Miliana.



## **I.5 DEFINITIONS DE L'AQUIFÈRE KARSTIQUE**

### **I.5.1 Définition d'un aquifère au sens large**

Un aquifère est un corps (couche, massif) de roches perméables comportant une zone saturée suffisamment conductrice d'eau souterraine pour permettre le stockage et l'écoulement significatif d'une nappe souterraine et le captage de quantité d'eau appréciable.

Un aquifère est constitué d'une zone non saturée, ou zone d'infiltration, dont les vides, occupés par de l'air, sont parcourus par de l'eau, et d'une zone noyée ou saturée, ou nappe aquifère, dont tous les vides sont remplis d'eau. Si la porosité du milieu, c'est-à-dire le rapport du volume des vides au volume total de la formation, est forte (supérieure à 10 %), l'aquifère peut posséder une capacité de stockage intéressante, dont les réserves peuvent être exploitées. La zone d'infiltration est séparée de la zone saturée par la surface de la nappe, dont on mesure le niveau piézométrique. Ce dernier varie en fonction de l'alimentation par l'infiltration et de la vidange naturelle, par les sources ou au profit d'autres aquifères, et de la vidange artificielle par les prélèvements (pompage et drainage).

### **I.5.2 Définition des aquifères karstiques**

Le karst est toujours défini, à tort, uniquement comme un type particulier de morphologie. Or le paysage du karst résulte des écoulements souterrains particuliers qui se mettent en place progressivement dans les roches carbonatées et dans les roches évaporitiques (gypse et parfois sel gemme). Le karst est donc également un aquifère puisque l'eau souterraine est totalement impliquée dans sa formation et dans son fonctionnement. Ainsi, le karst est constitué par un ensemble de formes souterraines et de surface et de conditions d'écoulements souterrains qui interagissent les unes sur les autres.

Dans ces roches, la dissolution et l'écoulement souterrain créent des conduits parfois pénétrables par l'homme ; ces conduits sont organisés en réseau hiérarchisé de l'amont (les points d'infiltration d'eau dans la roche) vers l'aval (la source). En dehors du réseau karstique, les vides dans la roche sont constitués par des cavités et par les discontinuités de la roche (fissures, fractures et plans de stratification plus ou moins élargis par la dissolution) ; tous ces vides sont mal connectés hydrauliquement aux conduits, cela définit des conditions d'anisotropie et d'hétérogénéité particulières. Cette organisation (réseau karstique ou réseau de drainage) se fait à la manière de celle des fleuves et des rivières, en fonction de la pente générale et de la résistance opposée par la roche (perméabilité) ; elle peut être plus ou moins linéaire et simple, ou très complexe.

## **I.6 PARTICULARITÉS DES AQUIFÈRES KARSTIQUES**

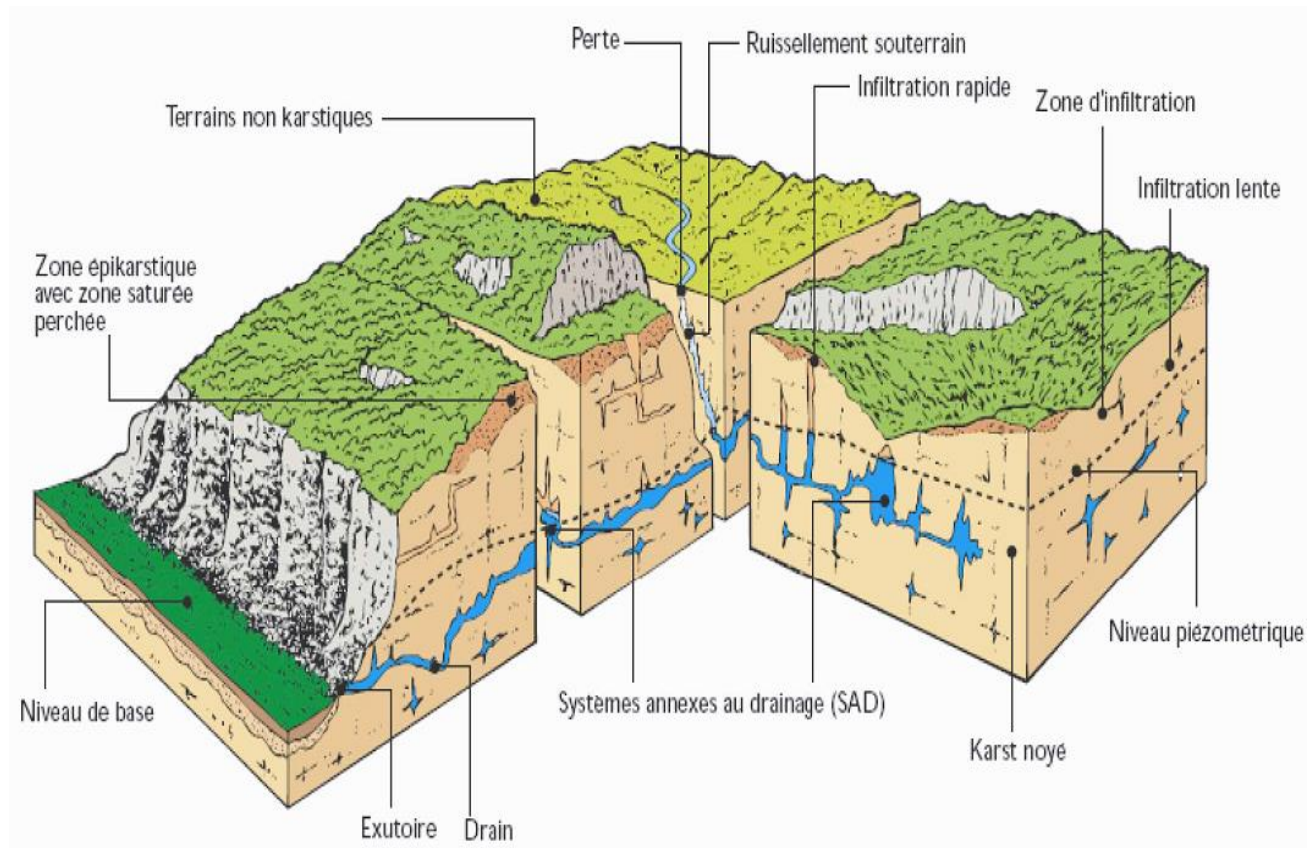
### **I.6.1 Conditions de formation d'un karst**

Le processus de mise en place du karst (la Karstification) est rapide, en temps géologique évidemment. Ainsi, pour que se forme le karst, il faut que soient réunies les conditions suivantes :

- L'eau doit pouvoir dissoudre la roche, donc contenir un acide. L'acide le plus commun résulte de la dissolution du dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) produit par la végétation dans les sols. Cette dissolution des roches carbonatées (calcaire et dolomie) est un ensemble complexe de réactions mettant en jeu trois phases : solide (la roche,  $\text{CaCO}_3$  ou  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)$ ), liquide (l'eau et ses substances en solution), gazeuse (le  $\text{CO}_2$  produit dans les sols). Il s'agit des réactions se produisant entre l'eau et l'air (dissolution ou évaporation du  $\text{CO}_2$ ), entre l'eau et la roche

(dissociation des minéraux carbonatés) et à l'intérieur de la solution (combinaison des différents ions entre eux).

- L'eau chargée en gaz (acide) doit pouvoir s'écouler à l'intérieur de la roche, c'est-à-dire que l'écoulement souterrain doit se produire, de préférence à l'écoulement superficiel qui évacue au fur et à mesure les matières dissoutes (Figure I-5).



**Figure I-5** Bloc diagramme représente l'aquifère karstique (A. Joodi, 2009).

Selon le mode d'alimentation des systèmes karstiques, on distingue deux grands types d'aquifères karstiques : 1) les systèmes karstiques de type unaire 2) ceux de type binaire.

Dans les systèmes unaires, l'aquifère est uniquement alimenté de manière diffuse, l'impluvium de l'aquifère correspond à la surface de roche perméable affleurant.

Dans le cas d'un aquifère de type binaire, deux types d'infiltrations interviennent. On trouve un mode d'infiltration direct par l'intermédiaire de pertes alimentées par des cours d'eau de surface ayant circulée sur des terrains exogènes et une infiltration de type diffuse correspondant au mode d'infiltration d'un karst unaire (Figure I-6).

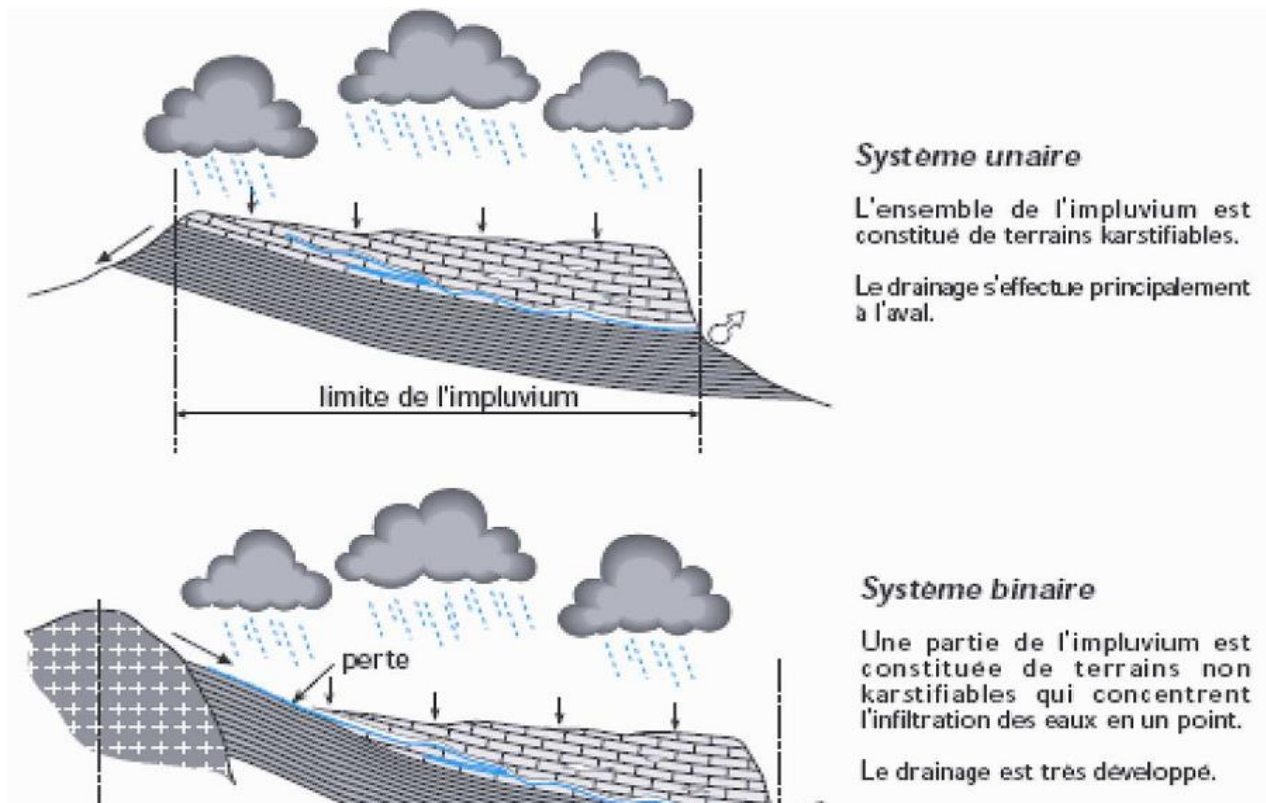


Figure I-6 Les différentes configurations d'infiltration du karst.

## I.6.2 Fonctionnement d'un aquifère karstique

A. MANGIN (1975) a proposé un schéma fonctionnel (Figure I-7), composé de deux sous-systèmes:

- Le sous-système d'infiltration, qui correspond à la zone non saturée :
  - Près de la surface, l'existence d'un aquifère épikarstique, constitué d'une frange de roches altérées et fissurées, détermine l'infiltration retardée.
  - La zone d'infiltration sous-jacente, est le siège de deux types d'infiltration :
    - ❖ L'infiltration rapide ou ruissellement souterrain, dans les grandes fractures, où l'écoulement est monophasique ;
    - ❖ L'infiltration retardée, dans les fissures de petite taille, où l'écoulement est diphasique.
- Le sous-système karst noyé, qui correspond à la zone saturée : à l'aval du système, les drains, qui assurent la fonction transmissive, sont reliés aux systèmes annexes au drainage, qui assurent la fonction capacitive.

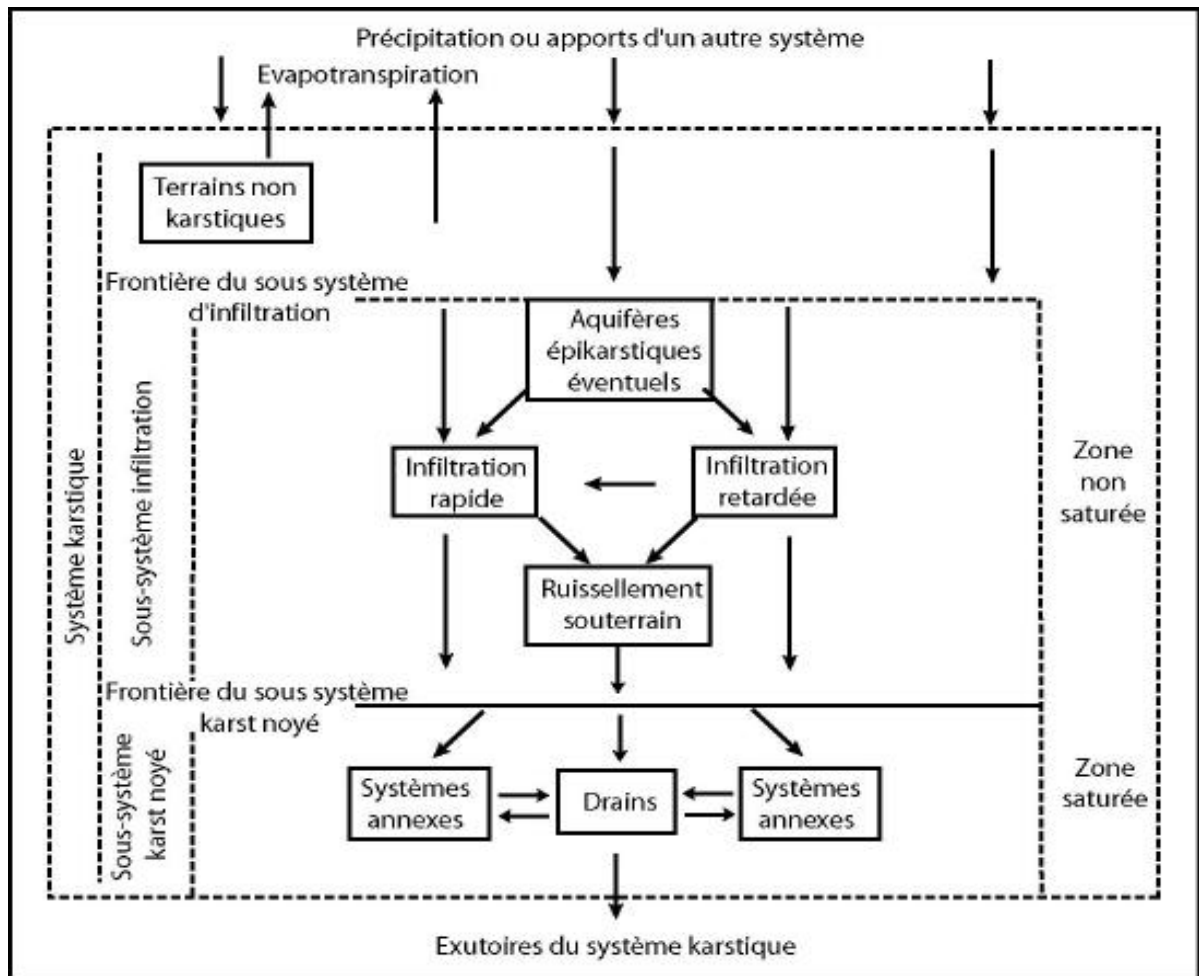


Figure I-7 Schéma de fonctionnement général des karsts (MANGIN, 1975).

## I.7 METHODES D'ETUDES DES AQUIFERES KARSTIQUES

A ce stade, il est indispensable de distinguer les différents constituants d'un karst, au plan des écoulements souterrains, c'est-à-dire de l'hydrogéologie du karst. Le réseau karstique a été défini comme l'ensemble des conduits organisés pour évacuer rapidement vers la source l'eau souterraine de l'aquifère karstique. Toutefois, les vides constitués par des cavités et les discontinuités de la roche (fissures, fractures et plans de stratification plus ou moins élargis par la dissolution) ; sont mal connectés hydrauliquement aux conduits, cela définit des conditions d'anisotropie et d'hétérogénéité extrême due à la présence de réseaux de conduits fortement perméables noyée dans les calcaires karstiques peu perméables. Cette particularité va conditionner l'usage des lois de l'hydrodynamique classique qui sont souvent conditionnées dans leur emploi par l'existence d'une zone largement homogène et isotrope (lois de Darcy, Piézométrie...etc.).

L'alimentation de la source, ou du groupe de sources, est assurée par l'aquifère karstique, qui reçoit les eaux infiltrées à sa surface, mais également souvent les eaux de rivières de surface s'écoulant sur des terrains imperméables non karstiques, s'engouffrant dans des pertes pour rejoindre les autres eaux souterraines. Le bassin d'alimentation des sources karstiques est ainsi dénommé le système karstique.



Dans l'étude du karst, il faut donc distinguer à la fois ces différentes structures et le but même de l'étude. Il est possible de distinguer trois objectifs d'étude du karst :

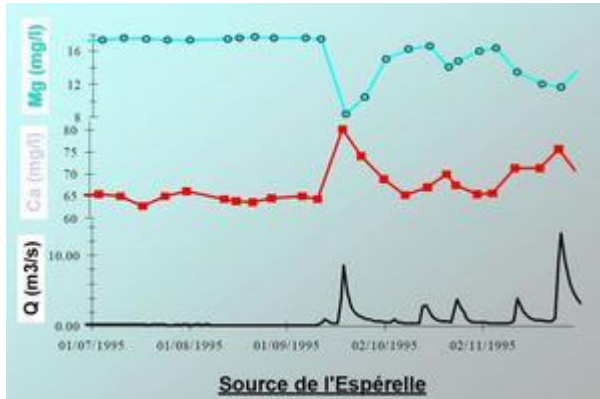
- La connaissance du réseau karstique. La spéléologie est à la fois la science de l'étude des cavernes et l'activité sportive qui organise leur exploration. Elle fournit les données de base relatives à l'organisation des conduits souterrains, à leur morphologie, à la nature et l'origine des sédiments qui comblent ces conduits.

La compréhension de la genèse et de l'évolution du karst. Ce sont les méthodes classiques de la géologie et de la géomorphologie qui sont mises en œuvre, dont les données de la spéléologie. L'étude de la fracturation, à différentes échelles d'observation, permet de déterminer l'anisotropie de la perméabilité de l'aquifère, la fréquence des fractures et leur impact sur la Karstification, autrement dit les directions préférentielles d'écoulement. Ceci nécessite d'identifier l'agencement des plans de drainage du karst. S'il est admis que les écoulements dans le karst utilisent au mieux les fractures ouvertes, il faut garder à l'esprit que la totalité des fractures n'est pas forcément le siège d'écoulements. Ces derniers utilisent en priorité les fractures qui lui permettent de dissiper le minimum d'énergie, tendant même à colmater les vides non utilisés (MANGIN, 1984).

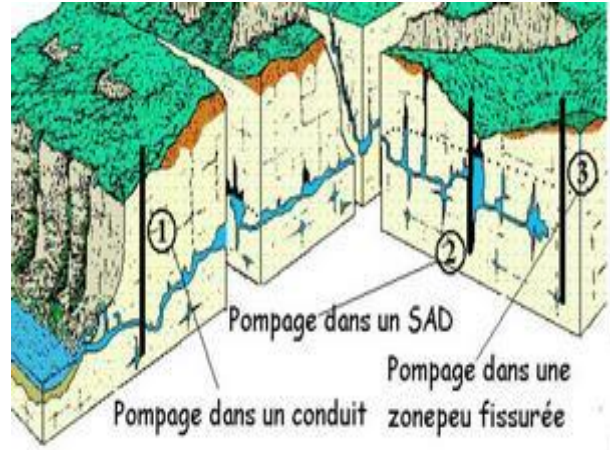
La connaissance de l'aquifère et de ses ressources en eau. Les méthodes mises en œuvre relèvent de l'hydrogéologie. Deux démarches méthodologiques sont proposées :

- **La démarche classique** d'étude de tous les milieux aquifères, elle s'appuie sur des hypothèses relativement simples, qui sont vérifiées pour les milieux aquifères peu hétérogènes (milieux poreux, comme les alluvions, milieux fracturés), dans lesquels la continuité hydraulique est vérifiée dans la zone noyée (ou zone saturée) ces milieux peuvent être simplifiés et rapportés à un Volume Élémentaire Représentatif (concept de VER). Dans ce cas, le forage est le site d'essais hydrauliques et de traçage, permettant de quantifier certains paramètres caractéristiques de l'aquifère (porosité, perméabilité, emmagasinement), qui sont ensuite généralisés à des portions de l'aquifère. Une technique fréquemment utilisée pour caractériser le milieu est la géophysique ; si les nombreuses techniques géophysiques permettent d'identifier les zones de fractures ou les variations lithologiques (présence de niveaux argileux, par exemple), aucune n'est capable de révéler l'existence de conduits karstiques à coup sûr. En effet, les conduits sont en général soit trop petits, soit trop profonds pour créer une anomalie détectable par ces méthodes ;
- **La démarche spécifique**, adaptée à la nature particulière du karst, s'inspirant de l'analyse des bassins versants superficiels. L'hétérogénéité considérable et organisée du karst et l'existence de nombreuses discontinuités hydrauliques dans la zone noyée liées au réseau karstique de drainage font que la démarche classique est inopérante. Cette démarche s'appuie sur l'identification du système karstique et sur l'analyse de son fonctionnement. La source est le lieu d'étude de référence, car les écoulements souterrains convergent vers elle ; forages et cavités naturelles peuvent fournir des informations complémentaires, dont il est indispensable de discuter la représentativité par rapport au système karstique. Sont utilisées : des méthodes hydrodynamiques (étude de l'hydrogramme, c'est-à-dire de la variation du débit de sortie au cours du temps, et hydrogéochimiques (étude des chimiogrammes, c'est-à-dire de la variation des différents traceurs chimiques naturels au cours du temps, essais hydrauliques (pompages dans la source ou dans des cavités naturelles, étude du tarissement des sources par la loi de Maillet) et de traçage artificiel (injection de colorants fluorescents pour définir l'appartenance d'un point au système et pour caractériser les conditions d'écoulement souterrain.

Toutes les informations géomorphologiques et spéléologiques sont prises en compte dans l'interprétation finale de ces analyses.



**Figure I-8** Un exemple d'hydrogramme (variation du débit de sortie Q au cours du temps) et de chimiogrammes (variation de la concentration des différents traceurs chimiques naturels au cours du temps).



**Figure I-9** Exemple de pompages (SAD : système annexe au drainage).



**Figure I-10** Expérience de traçage artificiel. Injection d'un traceur fluorescent (uranine ou fluorescéine) dans une perte de ruisseau.



**Figure I-11** Un exemple de courbe de restitution après injection d'un traceur.

# *Chapitre II : Hydroclimatologie*

---

## II. HYDROCLIMATOLOGIE

### II.1 Introduction

Le climat est défini par l'ensemble des phénomènes météorologiques (vent, précipitations, température, évaporation, etc.) qui varient d'un endroit à l'autre de la surface de la terre. Il est déterminé par la situation géographique du lieu (latitude, longitude et altitude) et la circulation atmosphérique. Les conditions climatiques jouent un rôle important dans le comportement hydrologique, conditions de recharge des chenaux fluviaux et des aquifères. Dans cette section, nous nous intéressons aux principaux facteurs importants pour établir l'équilibre de l'eau, comme les précipitations, la température et l'évapotranspiration afin de déterminer les caractéristiques climatiques et le taux d'infiltration de notre zone d'étude.

### II.2 Régime pluviométrique

Cette étude est basée sur des données qui proviennent de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) de Blida, qui a mis à notre disposition les données des pluies de dix stations pluviométriques existantes au niveau de la zone d'étude et/ou autour la zone d'étude dans les sous bassins versants Cheliff Harrezza (0117), Deurdeur et Ebda (0118) ( Tableau II-1).

**Tableau II-1 Liste des stations pluviométriques retenues pour l'étude.**

Sous bassin versant	Nom de stations	Code	X (Km)	Y (Km)	Z (m)	Période d'observation
Cheliff Harrezza	MILIANA	/	471,73	355,595	715	1981-2015
	EL KHEMIS ANRH	011717	456,2	329	300	1975-2018
Ebda	ARIB EBDA	011801	439,65	335,55	280	1966-2018
	SIDI MEDJAHED	011803	452,15	337,05	850	1916-2018
	AIN DEFLA	011804	434,6	329,9	270	1910-2017
Deurdeur	Bordj El Amir AEK	011603	461,1	285,3	1080	1922-1961 1967-2018
	TARIK IBN ZIAD	011607	450,15	299,5	660	1954-2011
Cheliff Harrezza	KHALED	011703	455,85	313,8	370	1914-2012 (Avec un manque de 37 ans de données)
	EL ABABSA	011715	443,95	318,05	320	1972-2018
Cheliff Gherib	GHERIB	011405	487,25	318,4	460	1940-2012

On a choisi une période commune de 20 ans (1991-2011) pour les calculs des précipitations moyennes à cause des lacunes observées dans les séries de données des stations pluviométriques.

### II.2.1 Précipitations moyennes mensuelles

Les quantités des précipitations mensuelles dans chaque mois dépendent des conditions climatiques et le site de chaque station (Tableau II-2).

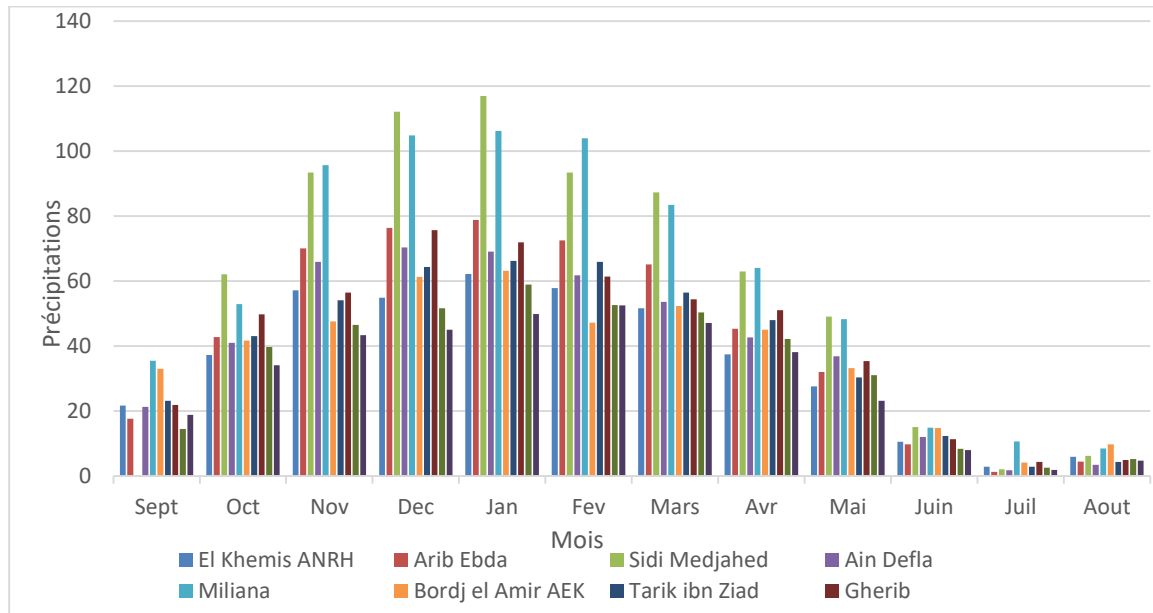
**Tableau II-2 Précipitations moyennes mensuelles mesurées dans les 10 stations retenues pour l'étude.**

Mois Stations	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	Juil.	Aout
El Khemis ANRH	23,34	37,2	60,44	53,71	60,17	58,45	42,23	40,06	26,72	6,14	1,56	5,38
Arib Ebda	25,98	35,48	73,89	67,43	76,52	68,78	55,23	45,49	31	5	1,16	5,94
Sidi Medjahed	24,38	42,28	81,43	72,55	105,47	69,7	58,67	59,9	36,5	6,03	2,54	6,96
Ain Defla	23,87	32,27	62,1	52,73	58,83	59,89	48	45,29	31,54	6,66	2,16	5,08
Miliana	39,49	55,89	99,8	112,78	107,88	85,73	77,25	68,26	50,54	10,74	7,73	10,49
Bordj el Amir AEK	33,22	40,01	44,9	47,73	70,13	44,81	37,71	41,79	33,50	6,76	2,77	7,56
Tarik ibn Ziad	25,74	40,89	50,34	54,65	64,30	62,31	44,52	51,08	35,11	9,92	2,5	6,35
Gherib	25,99	40,95	58,03	61,93	68,10	63,88	40	48,15	34,03	6,58	4,65	5,9
Khaled	19,93	27,74	38,56	37,11	44,8	42,38	31,39	40,1	31,48	4,16	2,38	4,8
El Ababsa	21,06	30,27	44,52	43,83	48,53	49,26	35,36	40,96	24,2	4,52	0,31	4,71

Nous avons étudié la répartition des précipitations à l'échelle du mois pour mieux déterminer le régime pluviométrique de la région.

A partir du tableau II-2 et Figure II-1, on peut tirer les observations suivantes :

- ✓ Présence d'une similitude entre les deux stations de Miliana et Sidi Medjahed qui sont situées à une altitude plus élevée que les autres stations ;
- ✓ Le mois de Janvier est le mois le plus pluvieux dans la région, alors que le minimum taux de précipitations enregistré dans les dix stations est enregistré pendant le mois de Juillet ;
- ✓ Les précipitations augmentent depuis le mois de Novembre jusqu'au mois de Février ;
- ✓ Les précipitations mensuelles permettent de distinguer trois saisons différentes :
  - Une saison pluvieuse qui dure de novembre jusqu'au Février ;
  - Une saison légèrement pluvieuse qui s'étale entre le mois de Mars et le mois de Mai ;
  - Une saison sèche qui marque le dernier trimestre de l'année hydrologique.



**Figure II-1 Variations des précipitations moyennes mensuelles de la région étudiée.**

### II.2.2 Précipitations saisonnières

Afin de mieux comprendre la situation pluviométrique saisonnière, nous avons utilisé la méthode de division de l'année en quatre trimestres astronomiques, Les premiers mois de chaque saison incluent le solstice d'hiver ou l'équinoxe vernal (Halimi, A. 1980).

Cette méthode définit quatre saisons comme suit :

- ✓ L'automne comprend les mois suivants : Septembre, Octobre, Novembre ;
- ✓ L'hiver se représente dans les mois de Décembre, Janvier et Février ;
- ✓ Pour le printemps c'est pendant Mars, Avril et Mai ;
- ✓ L'été inclue les mois de Juin, Juillet et Aout.

Les résultats des précipitations de chaque saison pour les cinq stations sont exprimés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau II-3 Valeurs des précipitations saisonnières pour chaque station.**

Station \ Saison	Automne		Hiver		Printemps		Eté	
	Sept-Oct-Nov		Déc-Jan-Fév		Mars-Avr-Mai		Juin-Juil-Aout	
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
El Khemis ANRH	40,32	29,12	57,44	41,48	36,33	26,24	4,36	3,14
Arib Ebda	45,11	27,51	70,91	43,25	43,9	26,77	4,03	2,45
Sidi Medjahed	49,36	26,23	82,57	43,88	51,69	27,47	4,53	2,4
Ain Defla	39,41	27,71	57,15	40,18	41,16	28,94	4,5	3,16
Miliana	65,06	26,86	102,13	42,16	65,35	26,98	9,65	3,98
Bordj El Amir AEK	39,37	28,74	54,22	39,59	37,66	27,5	5,69	4,15
Tarik Ibn Ziad	38,99	26,12	60,42	40,48	43,57	29,19	6,25	4,18
Gherib	41,65	27,27	64,63	42,32	40,72	26,66	5,71	3,73
Khaled	28,74	26,54	41,43	38,26	34,32	31,69	3,78	3,49
El Ababsa	31,95	27,58	47,2	40,74	33,5	28,92	3,18	2,74

Ces résultats montrent que la saison hivernale est la saison la plus pluvieuse pour toutes les stations. La station de Miliana a enregistré le plus grand taux de précipitations dans la région (102mm), suivie par la station de sidi Medjahed (82,57mm), tandis que la saison la moins pluvieuse correspond aux mois de l'été avec un minimum de pluie précipitée enregistrée à la station EL ABABSA.

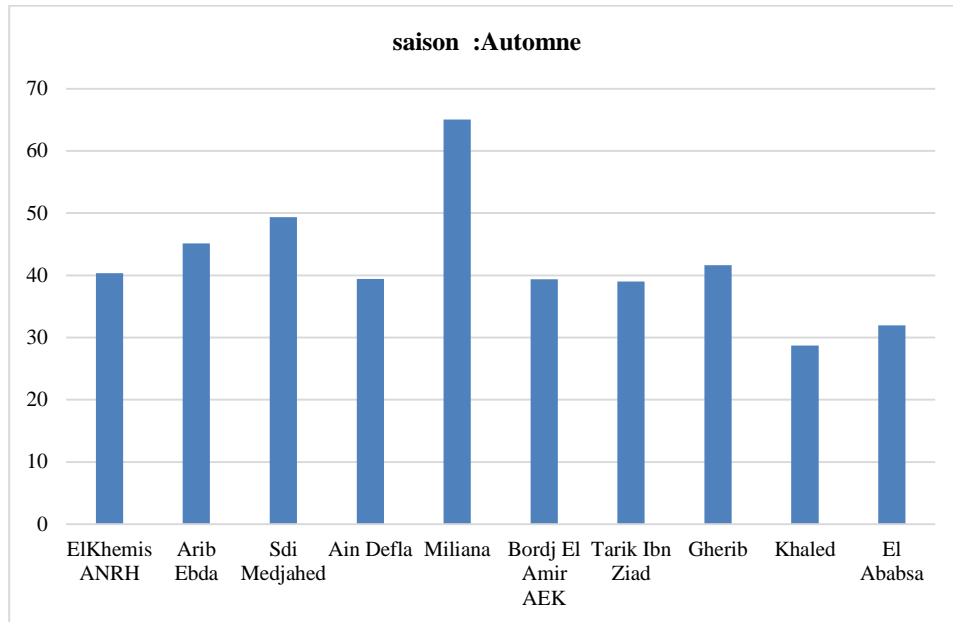


Figure II-2 Répartition des précipitations saisonnières pour la saison d'automne.

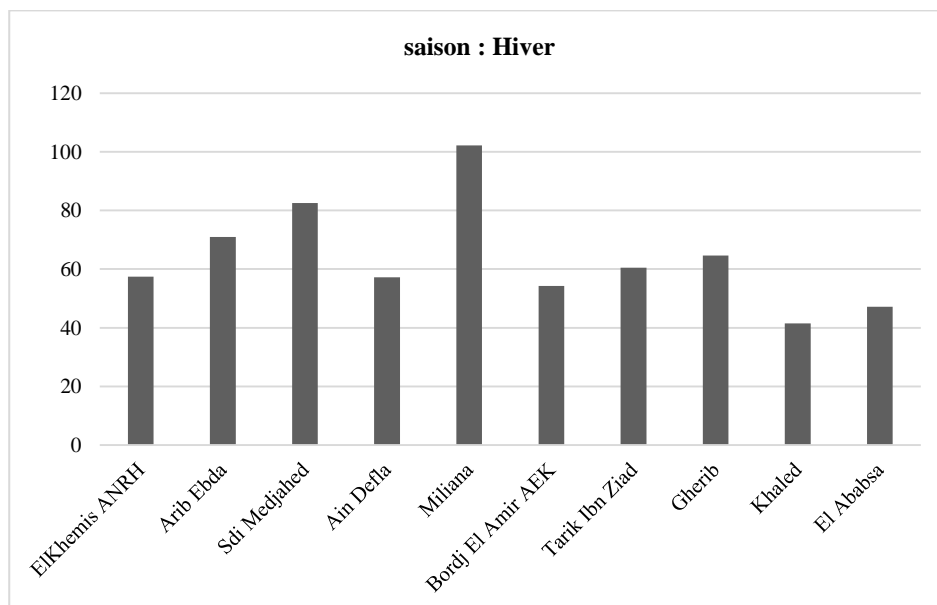


Figure II-3 Répartition des précipitations saisonnières pour la saison d'hiver.

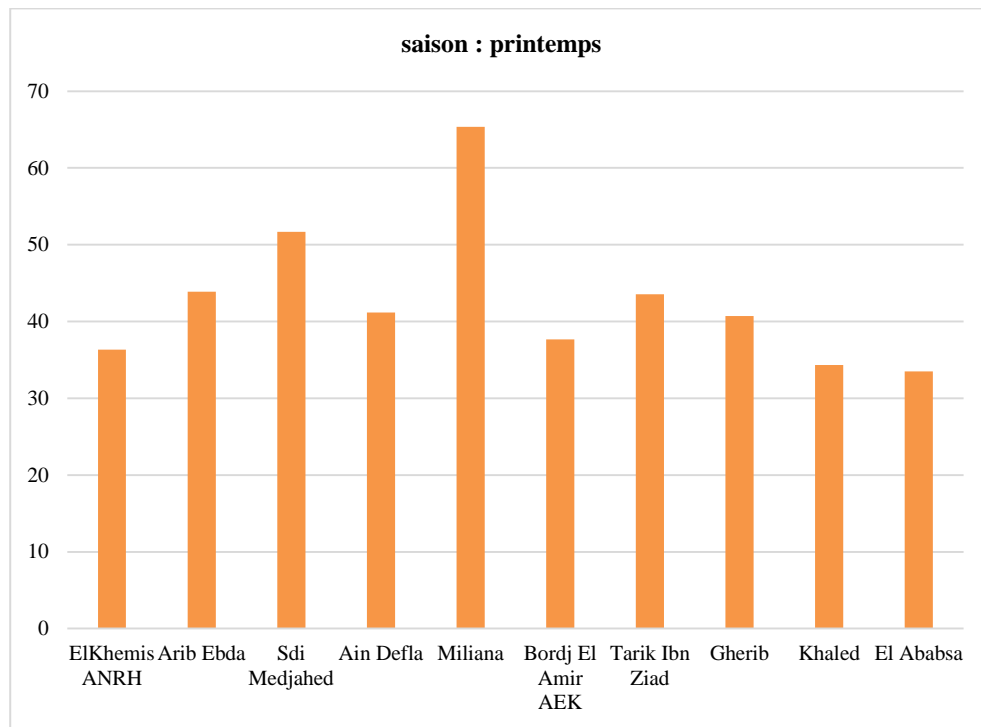


Figure II-4 Répartition des précipitations saisonnières pour la saison du printemps.

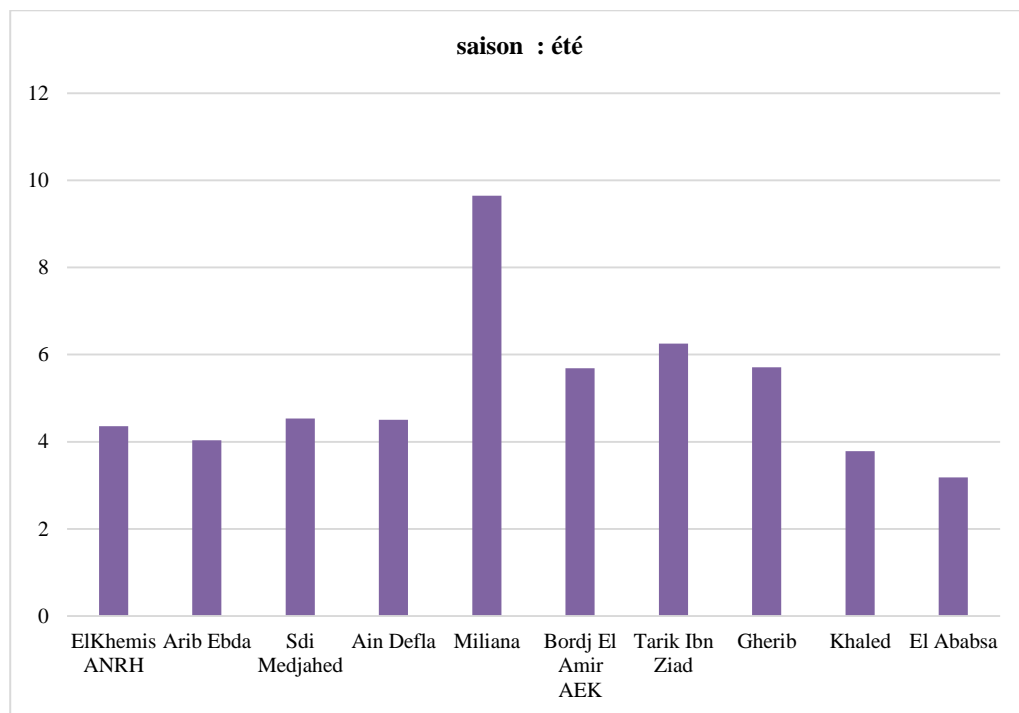


Figure II-5 Répartition des précipitations saisonnières pour la saison d'été.

### II.2.3 Précipitations moyennes annuelles

Les totaux annuels des précipitations ont été recueillis auprès de l'agence nationale des ressources hydrauliques (Tableau II-4).



**Tableau II-4 Précipitations moyennes annuelles.**

Stations	El Khemis ANRH	Arib Ebda	Sidi Medjahed	Ain Defla	Miliana	Bordj El Amir AEK	Tarik ibn Ziad	Gherib	Khaled	El Ababsa
Précipitations moyennes annuelles (mm)	412,67	486,61	569,01	429,2	726,63	410,59	447,77	461,64	323,92	347,85

### II.3 Estimations de la lame d'eau précipitée à l'échelle du bassin versant.

#### II.3.1 La méthode arithmétique

La lame d'eau moyenne précipitée dans la région d'étude peut être déterminée par la méthode des moyennes arithmétiques :  $P_{\text{moy}} = \frac{\sum p_i}{n}$

$p_i$  : Pluie moyenne au niveau de la station ;

$n$  : Nombre total des stations pluviométriques ;

$$P_{\text{moy}} = \frac{\Sigma(412,67 + 486,61 + 569,01 + 429,2 + 726,63 + 410,59 + 447,77 + 461,64 + 323,92 + 347,85)}{10}$$

$$P_{\text{moy}} = 461,58\text{mm}$$

#### II.3.2 Méthode des polygones de THEISSEN

C'est une méthode purement géométrique. Elle présume que les précipitations en tous points sont enregistrées à la station pluviométrique la plus proche. Les stations étant géoréférencées, la lame d'eau précipitée annuelle est calculée pour chaque station pluviométrique sur le nombre d'années d'observations.

Il faut délimiter la zone d'influence de chaque station pluviométrique et calculer la surface correspondante. La précipitation  $P_{\text{moy}}$  se calcule par l'expression suivante :

$$P_{\text{moy}} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i P_i}{S}$$

Avec :

$S_i$  : Surface d'influence du pluviomètre  $i$  en  $\text{Km}^2$  ;

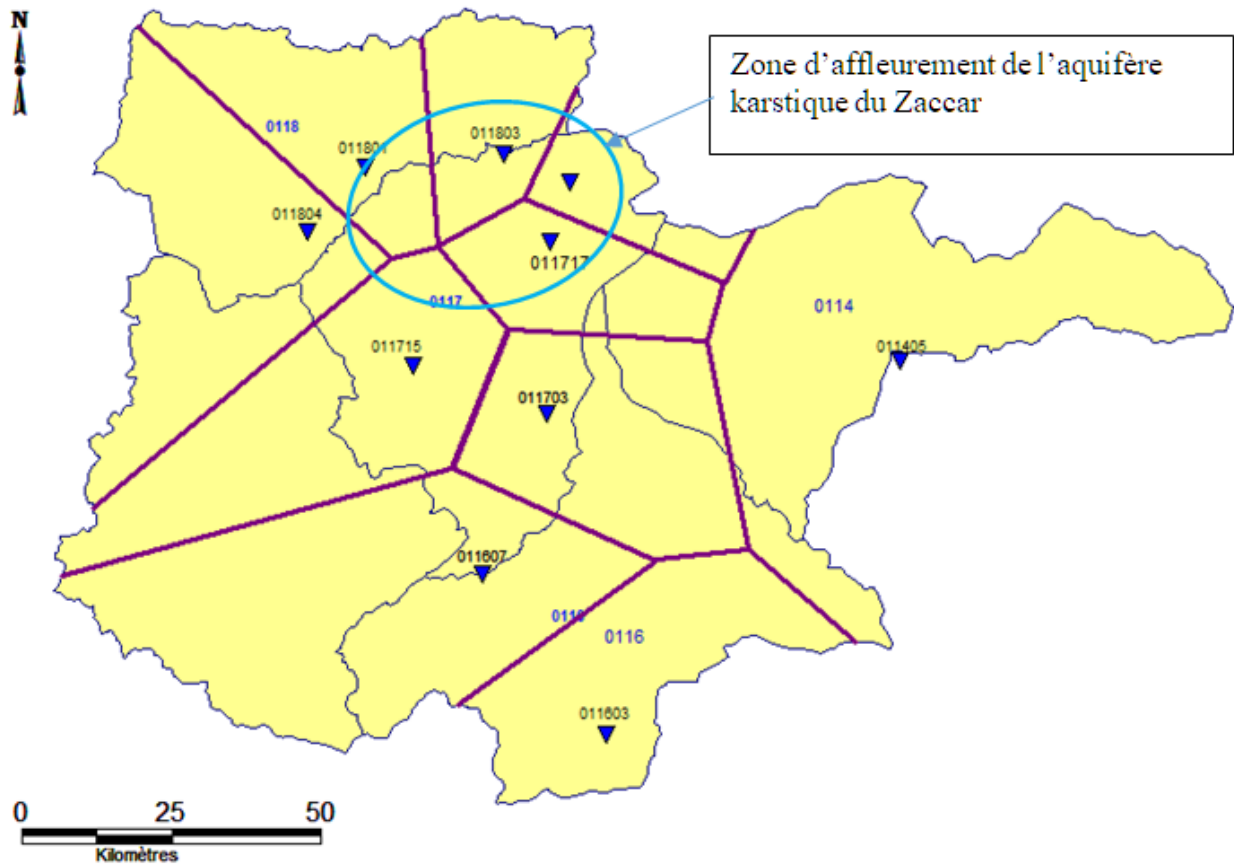
$P_i$  : Précipitation au poste  $i$  en  $\text{mm}$  ;

$S$  : Surface du bassin versant en  $\text{Km}^2$  /  $S = \Sigma S_i$  (2) .

#### Principe de la méthode :

- Les stations pluviométriques sont réparties sur le bassin versant selon leurs coordonnées géométrique (X, Y) ;

- des séries de lignes droites sont tracées en reliant les postes pluviométriques formant des triangles ;
- On trace une médiatrice perpendiculaire de chaque côté de chaque triangle ;
- L'intersection des médiatrices des triangles délimite la zone d'influence (le polygone de THEISSEN) de chaque station, une fois jointes entre elles ;
- planimétrie de la surface de chaque polygone afin de calculer à la fin la précipitation moyenne  $P_{moy}$ .



**Figure II-6 Polygones de THEISSEN.**

Dans la méthode d'estimation de la pluie moyenne annuelle ci-dessus, on remarque que les stations utilisées dans l'étude ne se situent pas dans la même altitude, et plus la station est éloignée de l'impluvium plus son altitude baisse, et donc la quantité des précipitations est plutôt faible dans les stations à faible altitude. Le cercle bleu dans la figure ci-dessus représente la zone d'affleurement de l'impluvium de l'aquifère karstique, objet de cette étude. Il en ressort ainsi que seules les quatre stations (11801, 11803, 11804 et 11717) qui sont implantées dans la zone d'affleurement de l'aquifère étudié sont représentatives.

**Tableau II-5 Calcul de  $P_{moy}$  (Méthode de THEISSEN).**

Stations	$P_i$ (mm)	$S_i$ (Km <sup>2</sup> )	$S_i P_i$
El Khemis ANRH (011717)	412,67	279,55	115361,89
Arib Ebda (011801)	486,61	451,24	219577,89
Sidi Medjahed (011803)	569,01	256,56	145985,2

Ain Defla (011804)	429,2	933,82	400795,54
Miliana	726,63	278,89	202649,84
Tarik ibn Ziad (011607)	482,49	1035,23	499488,12
Bordj El Amir Khaled (011603)	410,59	609,56	250279,24
Gherib (011405)	447,77	1925,01	861961,72
Khaled (011703)	323,92	379	233513,92
El Ababsa (011715)	347,85	720,9	250765,06

$$\text{En appliquant la loi } P_{\text{moy}} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i P_i}{S} \rightarrow P_{\text{moy}} = \frac{3180378,42}{6869,76}$$

D'où  $P_{\text{moy}} = 462,95\text{mm}$

La méthode des isohyètes est inapplicable dans ce cas à cause de ses résultats qui ne sont pas convenables à notre étude, rappelons à ce titre qu'il s'agit d'une méthode géométrique.

Pour cela on a retenu la moyenne des résultats des deux autres méthodes (la méthode arithmétique et la méthode des polygones de THEISSEN), soit une pluie moyenne de 462,26mm.

#### II.4 Analyse des températures

La température est un facteur important dans l'étude du climat, car elle donne une image claire sur le climat de la région et son rapport avec les précipitations, le taux d'humidité et l'évaporation. A cet effet, nous avons collecté les données des mesures de température pour une période de 39 ans pour les températures moyennes annuelles mesurées à la station de MILIANA.

**Tableau II-6 Températures moyennes mensuelles (période 1973-2011).**

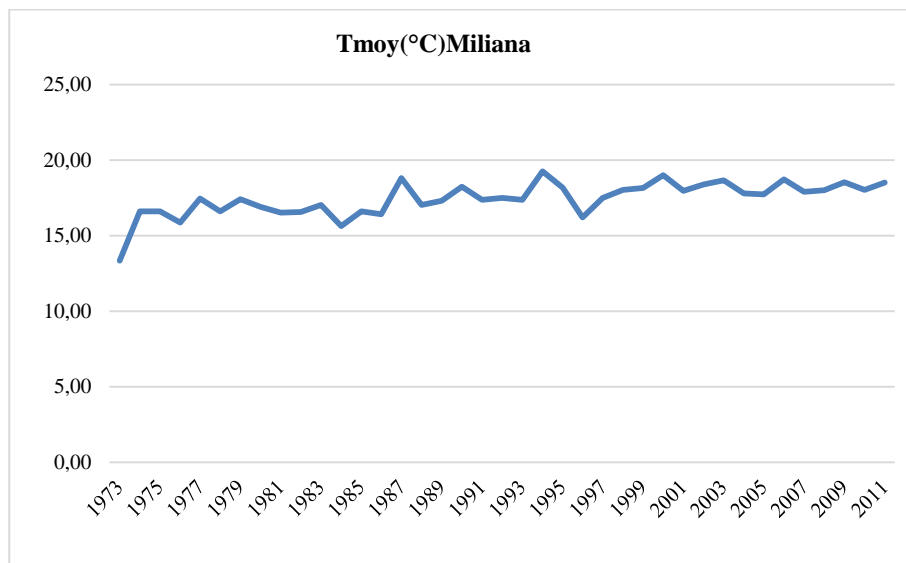
Mois	Jan.	Fév.	Mars.	Avr.	Mai.	Juin.	Juil.	Aout.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
T °C	9,26	10,06	12,46	14,91	18,9	24,17	28,24	28,16	24,01	19,36	13,47	10,26

**Tableau II-7 Températures moyennes annuelles à la station MILIANA (période 1973-2011).**

Année	Température (°C)	Année	Température (°C)
1973	13,34	1993	17,37
1974	16,61	1994	19,25
1975	16,61	1995	18,17
1976	15,86	1996	16,21
1977	17,47	1997	17,49
1978	16,60	1998	18,03
1979	17,41	1999	18,15
1980	16,91	2000	19,00
1981	16,53	2001	17,96
1982	16,56	2002	18,38
1983	17,03	2003	18,66
1984	15,63	2004	17,79
1985	16,62	2005	17,73

1986	16,43	2006	18,72
1987	18,81	2007	17,90
1988	17,03	2008	18,01
1989	17,30	2009	18,54
1990	18,23	2010	18,03
1991	17,36	2011	18,52
1992	17,50		

Température moyenne annuelle :  $T_{moy} = 17,43^{\circ}\text{C}$



**Figure II-7 Variations des températures moyennes annuelles à la station Miliana.**

Les variations de la température à la station MILIANA montrent que les 2 valeurs de la température les plus élevées ont été enregistrées durant l'année 1994 ( $19,25^{\circ}\text{C}$ ) et l'année 2000 ( $19^{\circ}\text{C}$ ), pendant que la plus basse température a été mesurée en 1973 avec une moyenne de  $13,34^{\circ}\text{C}$ . On observe aussi que les moyennes des températures varient généralement entre  $15^{\circ}$  et  $19^{\circ}$ , caractéristique des régions du Nord du pays subissant un climat méditerranéen modéré. On observe également au cours des dix dernières années que les moyennes des températures augmentent par rapport aux années précédentes, résultat de plusieurs facteurs naturels et de différents phénomènes et du réchauffement climatique, qui a influencé aussi le taux des précipitations.

## II.5 Le régime climatique

Il y a plusieurs méthodes pour étudier l'état climatique d'une région donnée. Ces méthodes peuvent être utilisées à l'aide des données de précipitations et de températures disponibles aux niveaux des stations. Par ailleurs, il est à noter qu'il y a une absence de données concernant les valeurs journalières de températures, cela limite l'utilisation de plusieurs méthodes qui permettent d'estimer le régime climatique de la région.

### II.5.1 Indice d'aridité de DE MARTONNE

DE DEMARTONNE (1925) a développé une expression permettant le calcul de l'indice d'aridité. En se basant sur ce dernier ainsi que sur l'abaque mis au point le climat de la région est déterminé.

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

I : indice de l'aridité de DE MARTONNE ;

P : précipitations moyennes annuelles en mm ;

T : températures moyennes annuelles en °C ;(4)

$$I = \frac{576.78}{17.43+10} = \frac{576.78}{27,43} = 21.02$$

$$I = 21,02$$

A l'aide de la figure ci-dessous qui présente la classification climatique en fonction de l'indice d'aridité on peut déterminer la nature du climat de la région selon la valeur de l'indice d'aridité calculé.

Valeur de I <sub>DM</sub>		Signification
< 5	aridité absolue	désert sans culture
5 à 10	désert (aride)	désert et steppe ; aucune culture sans irrigation
10 à 20	semi-aride	formations herbacées, steppes ou savanes. Irrigation nécessaire pour les cultures exigeant de l'humidité
20 à 30	semi-humide	prairie naturelle ; irrigation généralement non nécessaire
30 à 40	humide	les arbres jouent un rôle de plus en plus grand dans le paysage
> 40	humide	la forêt est partout la formation climatique. Les cultures de céréales tendent à être remplacées par les herbages

**Figure II-8 Classification climatique selon l'indice d'aridité de DE MARTONNE.**

Selon la classification climatique et l'indice de DE MARTONNE obtenu (I=21.02), la région subit un climat semi-humide avec des précipitations d'intensité moyenne et une température modérée.

### II.5.2 Méthode OMBROTHERMIQUE

Cette méthode consiste construire un graphique en reportant en ordonnées arithmétique les températures et les précipitations, et en abscisse le temps en mois. Ce graphique est appelé diagramme OMBROTHERMIQUE.

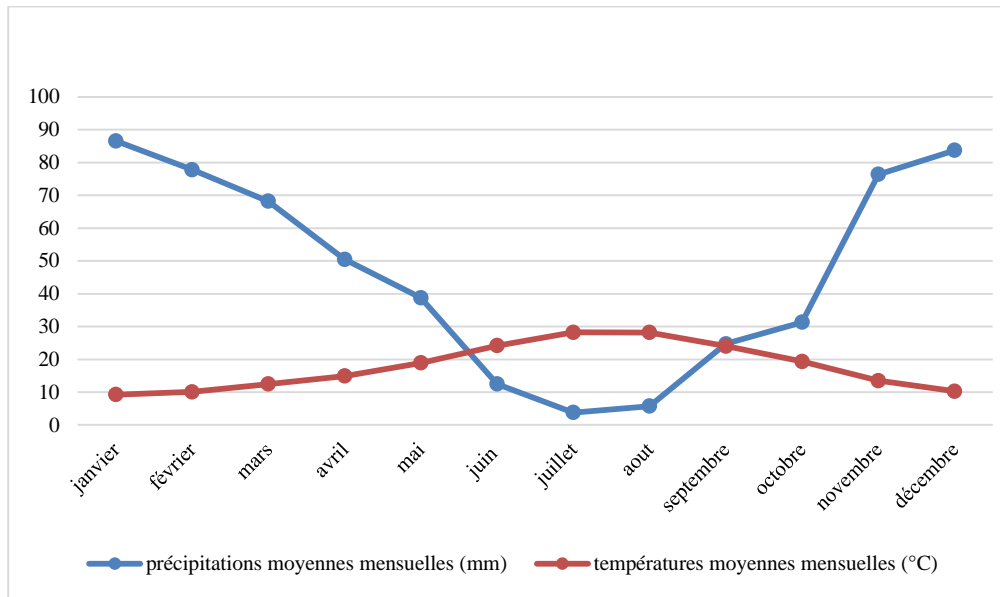


Figure II-9 Courbe ombrothermique (station de Miliana).

## II.6 Le déficit d'écoulement

### II.6.1 Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP)

Elle est définie comme l'ensemble des pertes en eau par évaporation et transpiration d'une surface de gazon de hauteur uniforme, couvrant totalement le terrain, en pleine période de croissance et abondamment pourvue en eau.

Pour la calculer on a utilisé la formule de THORNTHWAITE qui permet d'estimer l'évapotranspiration potentielle à l'échelle mensuelle en un lieu en fonction des températures moyennes mensuelles et de la latitude de ce lieu. Elle s'exprime par la relation suivante :

$$ETP = 1,6 \left( \frac{10T}{I} \right)^a ; \text{ Avec : } I = \sum_1^{12} i \text{ et } i = \left( \frac{t}{5} \right)^{1,514}$$

ETP : Evapotranspiration potentielle (cm) ;

T : Température moyenne annuelle (°C) ;

I : Indice thermique annuel ;

t : température moyenne mensuelle (°C) ;

a : Indice lié à la température. On le calcule par la formule suivante :

$$a = \{6,75 \cdot 10^{-7} I^3\} + \{7,71 \cdot 10^{-5} I^2\} - \{1,79 \cdot 10^{-2} I\} + 0,492$$

Que serra (1954) a proposé de simplifier en :

$$a = 1,6 \frac{I}{100} + 0,5 / a = 6,14$$

Après cette formule  $ETP = 1,6 \left( \frac{10T}{I} \right)^a$

THORNTHWAITE a proposé une correction de l'ETP en multipliant la valeur de l'ETP obtenue par un facteur de correction (K) qui tient compte du nombre de jours par mois et de la durée des jours, en fonction de la latitude.  $ETPc = ETP \times K$

Les résultats obtenus sont exprimés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau II-8 Valeurs de l'évapotranspiration potentielle pour chaque mois (station de Miliana).**

mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars.	Avr.	Mai.	Juin.	Juil.	Aout.	Année
T (°C)	24,01	19,36	13,47	10,26	9,26	10,06	12,46	14,91	18,9	24,17	28,24	28,16	17,02
i	10,75	7,76	4,48	2,96	2,54	2,08	3,98	5,22	7,48	10,86	13,75	13,69	71,86
ETP (mm)	11,56	8,12	4,91	2,86	2,42	2,77	3,94	5,29	7,81	11,69	15,06	15,02	860,54
K	1,04	0,95	0,81	0,77	0,81	0,82	1,02	1,12	1,26	1,28	1,29	1,30	
ETP corrigée	12,02	7,71	3,97	2,20	1,96	2,27	4,01	5,92	9,84	14,96	19,42	19,52	1003,8

### II.6.2 Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR)

Elle est définie par la quantité d'eau retirée d'une surface (par le sol et par les plantes) en raison du processus d'évaporation et de transpiration quand l'eau vient à manquer. Les plantes étant à un stade de développement physiologique et sanitaire spécifique.

L'évapotranspiration annuelle réelle du bassin versant sera déterminée en considérant la température annuelle moyenne du bassin versant et la lame d'eau précipitée sur le bassin versant. Le calcul de l'ETR se fait par des formules empiriques qui tiennent compte de la température et de la pluviométrie.

#### II.6.2.1 Formule de TURC

Cette formule est applicable à tous les climats ; elle s'écrit comme suit :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}, \text{ avec } L = 300 + 25T + 0,05T^3$$

ETR : évapotranspiration réelle annuelle (mm/an) ;

P : pluviométrie moyenne annuelle (mm /an) ;

T : température moyenne annuelle (°C) ;

L : pouvoir évaporant ;

**Tableau II-9 ETR calculée pour l'ensemble du bassin versant.**

P (mm)	T (°C)	L	ETR (mm)
462,26	17,43	1000,51	438

#### II.6.2.2 Formule de COUTAGNE

L'application de cette formule est dépendante aux conditions suivantes :

$$\frac{1}{8\lambda} < P < \frac{1}{2\lambda}, \text{ avec } \lambda = \frac{1}{0,8 + 0,14 T}$$

P : précipitation moyenne annuelle (m) ;

T : température moyenne annuelle ;

Selon la formule de COUTAGNE l'évapotranspiration réelle (ETR) s'écrit comme suivant :

$$ETR = P - \lambda P^2$$

$$\lambda = \frac{1}{0,8+0,14T} = \frac{1}{0,8+0,14(17,43)} = 0,3 \quad \lambda = 0,3$$

On vérifie si la condition  $\frac{1}{8\lambda} < P < \frac{1}{2\lambda}$  est réalisable :

$$\frac{1}{8\lambda} = 0,42 / \frac{1}{2\lambda} = 1,66 \rightarrow 0,42 < 0,462 < 1,66$$

0,462 : précipitations moyennes annuelle en m.

La condition est réalisable, donc on calcule l'ETR :

$$ETR = P - \lambda P^2$$

$$ETR = 0,462 - 0,3(0,462)^2$$

$$ETR = 0,398 \text{ m}$$

### II.6.2.3 Méthode de WUNDT

L'évapotranspiration réelle peut être également déterminée à partir du diagramme de Wundt qui est une fonction des précipitations moyennes annuelles (P) et de la température (T). Pour T = 17,43°C et P = 462,26mm, l'évapotranspiration selon le diagramme est de 450mm.

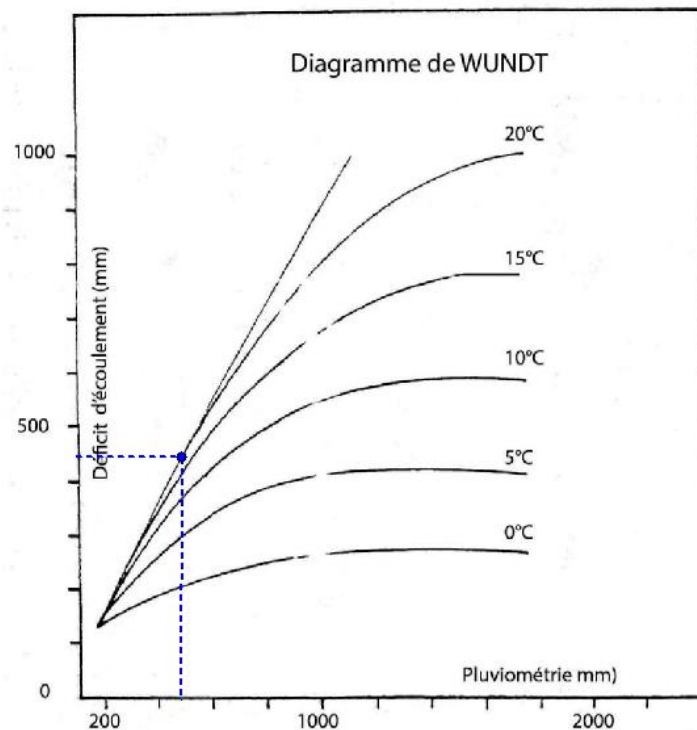


Figure II-10 L'abaque de Wundt pour déterminer le déficit d'écoulement (ETR)



#### II.6.2.4 Discussion des résultats

Les valeurs de l'ETR obtenues par les trois méthodes sont regroupées dans le tableau ci-dessus :

**Tableau II-10 Valeurs de l'ETR obtenues pour chacune des 3 méthodes.**

Méthodes	Turc	Coutagne	Wundt
ETR (mm)	438	398	450

On observe une différence entre les résultats des méthodes de Turc et de Coutagne qui représentent respectivement 94,75% et 86,09% du taux des précipitations moyennes annuelles. La valeur déterminée par l'abaque de Wundt est légèrement supérieure aux résultats précédents (97,34% des précipitations), et elle n'est pas vraiment représentative car elle est considérée comme une méthode graphique sujette à des erreurs d'application.

Ces résultats obtenus sont inconvenables pour un milieu karstique qui se caractérise par une infiltration massive et rapide. Cela peut s'expliquer du fait que l'estimation des paramètres hydrologiques a été faite à l'échelle du bassin versant en tenant compte des stations pluviométriques situées à basse altitude mesurant une pluie relativement faible à celle situées en altitude dans la région où affleure l'impluvium de l'aquifère karstique du Djebel Zaccar.

Pour y remédier nous avons refait les calculs en tenant compte uniquement des précipitations situées en altitude dans la zone d'extension de l'aquifère étudiée, à savoir : El Khemis ( $P_{\text{moy}} = 412,67\text{mm}$ ), Arib Ebda ( $P_{\text{moy}} = 486,61\text{mm}$ ), Miliana ( $P_{\text{moy}} = 726,63\text{mm}$ ), Sidi Medjahed ( $P_{\text{moy}} = 569,01\text{mm}$ ).

La pluie moyenne annuelle estimée par la méthode arithmétique :  $P = 548,73\text{mm}$ .

La pluie moyenne annuelles estimée par la méthode de Theissen :  $P = 539,84\text{mm}$ .

Si l'on considère une pluie moyenne obtenue par la méthode de Theissen (539,84mm), les résultats calculés pour l'ETR sont comme suit :

**Tableau II-11 Résultats des calculs pour l'ETR.**

Méthode	Turc	Coutagne
ETR (mm)	435,37	451,84

Tous les résultats obtenus dans le but de l'estimation de l'évapotranspiration réelle, nous l'avons sous-estimé, par ce qu'ils ne représentent pas vraiment ce qui se passe dans un milieu karstique. Lorsqu'il s'agit d'une évapotranspiration réelle, le milieu karstique, avec sa structure pleine de dolines, poljés, lapiaz, fissures et sa grande porosité, il n'est pas considéré comme le meilleur milieu pour une réalisation complète et avec une bonne quantité du processus susmentionné. De l'autre côté, les formules utilisées ne prennent pas en considération le facteur de la nature du sol.

## II.7 Estimation de la lame d'eau ruisselée

Le ruissellement est considéré comme un écoulement de surface qui généralement n'intervient qu'après la saturation du sol, ou comme dans notre cas, le mont de Zaccar est un karst jeune avec relief à pente élevée, ce qui favorise le ruissellement.

On calcule le ruissellement avec la formule de Tixeront – Berkaloff (1969) :

$$R = \frac{P^3}{3ETP^2}, \text{ Avec :}$$

R : ruissellement superficiel moyen annuel (mm) ;

P : précipitation moyennes annuelle (mm) ;

ETP : l'évapotranspiration potentielle (cm) ;

$$R = \frac{(462,26^3)}{3(1003,8^2)} = 32.67mm$$

## II.8 Estimation de la lame d'eau infiltrée

L'infiltration indique le mouvement de l'eau pénétrant le sol et les couches du sous-sol, sous l'action de la gravité et les effets de la pression. La lame d'eau infiltrée est souvent déduite à partir des autres paramètres du bilan hydrologique :

$$P = ETR + R + I + \Delta W$$

Avec:

P: Hauteur de la précipitation annuelle en (mm).

R: Ruissellement de surface annuel en (mm).

ETR: Evapotranspiration réelle annuelle en (mm).

I: Infiltration annuelle (mm).

$\Delta W$ : Variation de réserves en (mm), souvent négligeable. (10)

On extrait (I) l'infiltration de la formule :  $I = P - (ETR + R)$

Pour une précipitation  $P = 539,84mm$ , un ruissellement  $R = 32.62mm$  et une  $ETR = 435,37$  (calculée par la méthode de Turc), on obtient une lame d'eau infiltrée I équivalente à 71.85 mm, cela représente 13.3% de la quantité des précipitations.

Le résultat trouvé n'est pas vraiment représentatif du phénomène d'infiltration dans un milieu karstique, où le taux d'infiltration favorisé par la capacité d'absorption de la surface du sol parsemée de forme d'érosion de type karstique, avoisine les 40% des précipitations pour certaines régions karstiques du nord d'Algérie (48% dans les monts de Saida et 46 % selon Said ramdane 1992 et 46% dans les massifs néritiques du Constantinois selon Issadi A. 1987). Notons que dans cette région la neige représente une part non négligeable des précipitations qui n'est malheureusement pas pris en considération dans cette étude par manque de données relatives à l'enneigement. Ce manque ne permet donc pas une réelle estimation de l'infiltration sur le massif carbonaté du Zaccar.

## II.9 Conclusion

L'analyse des paramètres climatiques de la région étudiée montre que notre bassin est soumis à un climat méditerranéen semi-aride à hiver pluvieux et un printemps tempéré.

La pluviométrie est variable dans les dix stations, dont la moyenne mensuelle maximale enregistrée durant la période (1991-2011) était de 112mm à Miliana au mois de décembre, alors que la plus basse est mesurée à la station d'El Ababsa pendant le mois d'aout

La température moyenne annuelle enregistrée au niveau de la station Miliana est de 17,43°C. En général, les températures maximales sont enregistrées aux mois de Juillet et Août et les minimales sont observées du mois de Décembre à Février. Selon l'indice de l'aridité égale à 21 et l'abaque de DE MARTONNE, on a constaté que la région se caractérise par un climat semi-humide.

La lame d'eau précipitée, correspondant à la moyenne des valeurs déterminées par les deux méthodes arithmétique et des polygones de THEISSEN est de 462,26mm.

L'évapotranspiration potentielle égale à 1003,8 mm/an a été calculée par la méthode de THORNTHWAITE. L'évapotranspiration réelle calculée par la méthode de TURC et la méthode de COUTAGNE avoisine 398mm/an, alors que celle obtenue de l'abaque de Wundt apparait surestimée.

La lame d'eau ruisselée déduite de la formule de Tixeront-Berkaloff représente 6.9% de la pluie reçue sur le bassin versant.

## *Chapitre III : Géologie*

---

## III. GÉOLOGIE

### III.1 Introduction

Cette synthèse géologique est établie sur la base des travaux géologiques antérieurs notamment ceux de J.M. VILLA, 1975, Durand Delga, 1969 Perrodon, 1957, Saadallah et al, 1994 ; Belhai ; 1996, Roult, 1982 in Kolli, 1997.

Cette synthèse est établie dans le but d'identifier les formations géologiques susceptibles d'être aquifères et de circonscrire leurs conditions hydrogéologiques qui sont étroitement liées à leurs structures tectoniques.

### III.2 Contexte géologique régional

En Algérie, on peut distinguer quatre grands ensembles structuraux qui du Nord au Sud forment :

- Les chaînes telliennes ;
- Les hauts-plateaux et les hautes plaines ;
- L'Atlas saharien ;
- La plate-forme saharienne.

Notre secteur d'étude est circonscrit dans le premier ensemble. En effet, la région du Zaccar forme le chaînon septentrional du Tell.

La cote africaine de la méditerranée, qui se développe de Ceuta à Bizerte est sensiblement parallèle, à petite échelle, à la chaîne maghrébine ; celle-ci formant la façade méridionale du système alpin périméditerranéen qui se développe d'Ouest en Est sur plus de 2000Km. Elle est représentée à l'Ouest par le Rif marocain, au centre par le tell algérien et à l'Est par son équivalent en Tunisie (Durand Delga, 1969) (Figure III-1). La structure des maghébides résulte de l'affrontement des plaques africaines et européennes (ou une plaque intermédiaire, la plaque d'Alboran) ; cette collision est précédée par une subduction de l'Afrique sous l'Europe (Bouillin, 1986).

Sur la transversale de l'Algérie, la chaîne maghrébine et son avant pays complexe comportent la chaîne alpine proprement dite, constituée du Nord au Sud de trois principaux ensembles :

- un domaine interne ;
- des nappes pelliculaires de flysch ;
- et un domaine externe ou domaine tellien (Durand Delga, 1969).

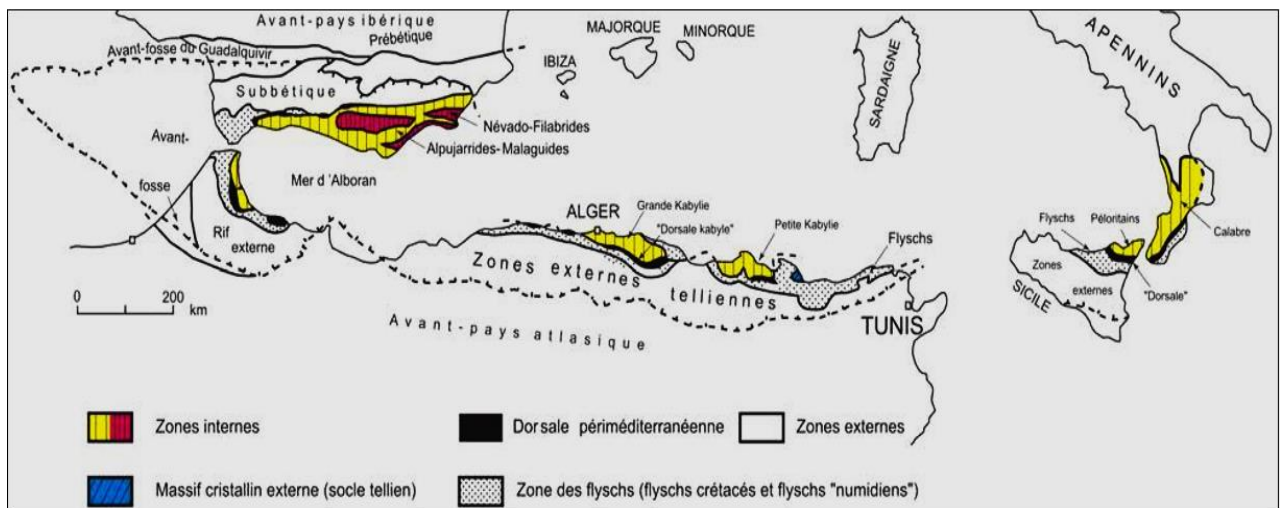
Les unités internes de la chaîne alpine sont constituées par des nappes allochtones ; certaines de ces unités comportent un socle et sa couverture méso-cénozoïque, d'autres ne comprennent que des flyschs ; ces ensembles sont charriés sur les unités externes qui se rattachent paléogéographiquement au craton africain.

Le domaine tellien, dont notre terrain d'étude fait partie est un ensemble de nappes, dites pelliculaires, imbriquées les unes aux autres à vergence Sud, résultat d'une tectonique en écaillage

en deux phases ; une première à l'Eocène et une seconde au Miocène (Vila1980 ; Saadallah et al, 1994 ; Belhai ; 1996). Les nappes sont principalement des formations marneuses et carbonatées d'âge triasique à néogène et dérivent de la paléo-marge africaine. Elles sont largement charriées, parfois sur une distance de 100 Km, sur le parautochtone de calcaires jurassique ou encore allochtone à schistosité de la plate-forme africaine (Durand Delga, 1969). Ces nappes ayant atteint leur position actuelle au langhien (Vila, 1980).

Le dispositif tellien est complété par :

- Des nappes et olistostromes de flyschs, provenant du domaine externe, qui ont glissé par gravité au Burdigalien dans un bassin sédimentaire détritique, qui a recouvert en discordances les zones internes à partir de l'Oligocène supérieur ;
- Des formations continentales post-nappes qui se sont étendues sur les zones internes et externes à partir du langhien (Roult, 1982 in Kolli, 1997) ;
- En fin au Miocène, des appareils magmatiques et volcaniques qui se mettent en place le long des zones internes et externes ;
- Le domaine tellien est représenté notamment par les massifs du littoral ornais, du Dahra, du Boumaad, des Babors, de Blida et du Chélif qui inclue la zone d'étude.



**Figure III-1** Carte générale du domaine d'Alborn, des chaînes bético-rifaines et maghrébides et de l'arc calabro-péloritain (Durand Delga, 1969).

### III.3 Géologie du bassin du Chélif

Le domaine tellien est représenté notamment par les massifs du littoral ornais, du Dahra, du Boumaad, des Babors, de Blida et du Chélif qui inclue la zone d'étude représentée par les monts du Zaccar. Il s'agit proprement dit du Tell Centro-Occidental qui s'aligne parallèlement à la côte méditerranéenne du Nord-Ouest de l'Algérie ; il se présente au Nord par le tell septentrional et au sud par le Tell méridional présentant une analogie de structures. Il s'agit d'un domaine caractérisé par des nappes allochtones reposant sur un autochtone de composition variée, affecté de plis et de schistosité (Lepvrier, 1971 in Kireche, 1977) ; « Les massifs de Chélif » ou « Massif intra-Chélifien » sont représentés par les mots du Dahra, de Boumaad et du Zaccar dans la partie

septentrionale du Tell et par les mots de l'Ouarsenis dans sa partie méridionale (Kireche, 1977). Ces massifs émergent au milieu de la plaine du Chélif.

Perrodon (1957) a subdivisé le bassin du Chélif, de l'Ouest à l'Est, en deux unités sublittorales néogènes : le bas Chélif et le moyen Chélif (Figure III-2).

Le bassin du Chélif est l'un des bassins sublittoraux du centre occidental de l'Algérie (e.g. bassins de la "Tafna" et de la "Mitidja"). Il est relativement étendu sur 300 Km de long et 100 Km de large (3000 Km<sup>2</sup>), formant une cuvette intra-montagneuse subsidente avec un remplissage qui peut atteindre 6000 m d'épaisseur, mais peu élevée par rapport aux chaînes secondaires plissées qui l'encadrent.

Il est formé dans un système de décrochement suite à une extension le long des systèmes de failles liées aux mouvements de divergence ou de convergence relatifs de la plaque, d'après Perrodon (1957), le bassin du Chélif fonctionne en graben et les massifs bordiers en horst. Il forme un sillon intra-montagneux subsident, et est défini comme étant un bassin intracontinental à environnement de marge continentale (Philip et al, 2005 in Arab, 2011). L'histoire néogène de la zone du Chélif est étroitement liée aux phases ultimes et paroxysmales de l'orogénèse alpine (Figure III-3).

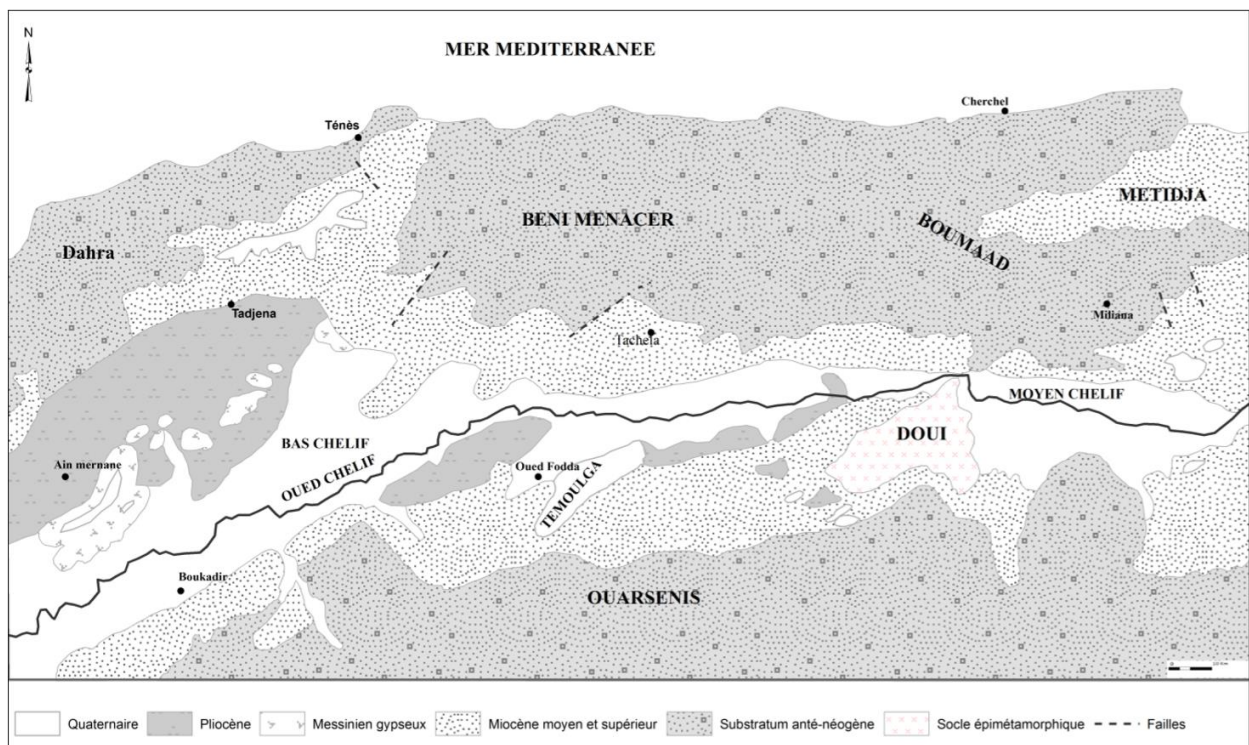


Figure III-2 Cadre géologique du bas et moyen Chélif (Perrodon, 1957).



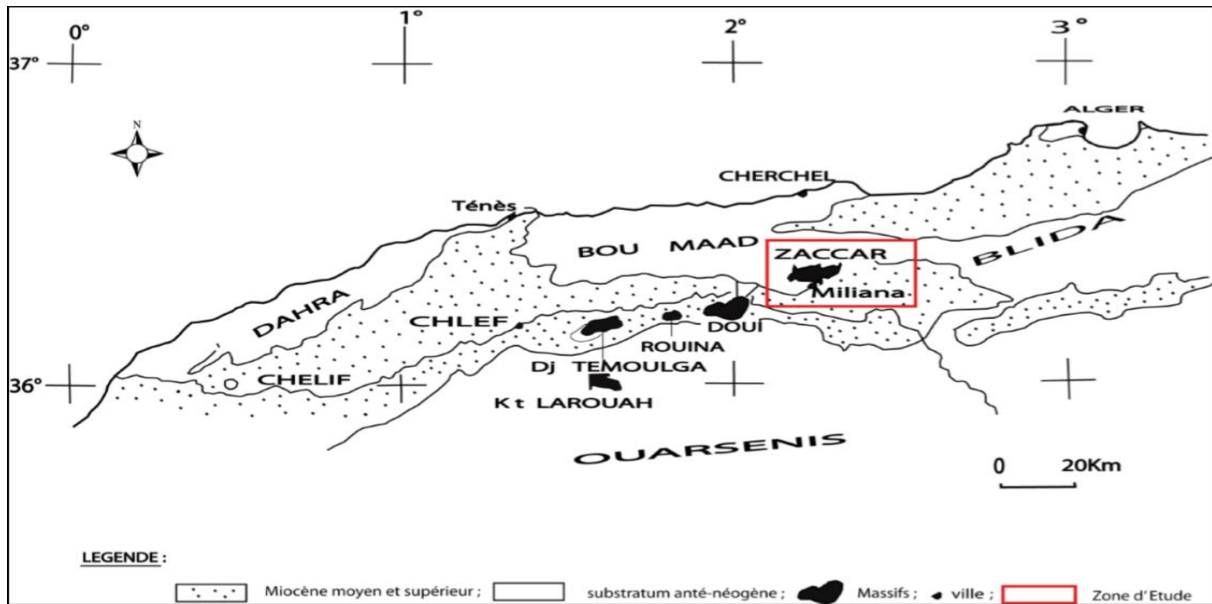


Figure III-3 Carte géologique simplifiée du bassin du Chélif (Perrodon, 1957).

### III.4 Litho-stratigraphie

Le Zaccar est formé essentiellement par du calcaire. Ces calcaires n'affleurent que dans la partie élevée du Massif, on ne le rencontre plus au-dessous de la cote 750. Le calcaire du Zaccar n'a pas de faciès uniforme. Il présente des variations d'origine sédimentaire et des variations d'origine métamorphique (th. Koulomzine, 1935).

La série stratigraphique du Djebel Zaccar est assez complète. Primaire, Secondaire Tertiaire et quaternaire y sont interminablement représentés, et y présente des caractères très différents (Figure III-4 et Figure III-5). Le manque des fossiles empêche de dater les étages des séries stratigraphiques du Zaccar. Avec à la base, un socle d'âge Paléozoïque surmonté par une couverture d'âge Secondaire à Quaternaire.

#### III.4.1 Le Paléozoïque

Il est caractérisé par l'absence totale de fossiles, mais peut être raccordé grâce à ses caractéristiques lithologiques aux autres affleurements primaires et formations analogues du Nord-Ouest de l'Algérie. Les séries primaires du Chélif sont à rattacher à celles de Zaccar. Le secteur Zaccar-Chélif constituait un seul domaine paléogéographique (Kireche, 1977).

Le série la plus anciennes affleure largement sur le flanc Sud du Zaccar Chergui depuis le Nord de Ain Turki jusqu'au tour du sommet 1381m, et sur la partie Nord-Est du Zaccar Gharbi. Elle comprend (Mattauer, 1950) :

- Un niveau inférieur de quartzites blancs, avec intercalation de schiste blanchâtre le tout est traversé par de très nombreux filonnets de quartz laiteux ;
- Un niveau de schiste vert transformés en banc compacts observés au Nord de Ain Turki, représenté sous forme de nombreux éboulis ; ces schistes verts sont recoupés par des filons de roche éruptives, formés de dolérites. Un niveau de schistes et quartzites grisâtres et noirâtres, affleurant au niveau de la route reliant Miliana et Ain n'sour ;



- Un niveau de quartzites bruns altérés, de couleur rouge et comprenant quelque fois des niveaux schisteux ;
- Une série éruptive située juste au-dessus des quartzites et des schistes, représentée par l'andésite, la rhyolite, les pyrclastites et d'autre type des roches inter-stratifiées au sein des formations primaires. Leur affleurement forme une large bande allant de Tazrout et s'étendant jusqu'au point culminant du Zaccar Chergui. Cet ensemble comprend tous les types de formations accompagnées de phénomène volcanique : laves, coulées, tufs, brèches, et filons de roche éruptive. La base de cette série est représentée par des tufs rhyolitiques blancs bien stratifiés, restant très fins, ou au contraire se chargeant de débris de roches volcaniques anguleux et disposés en lits, associés souvent aux schistes noirs, et sont reconnaissables dans tout le massif à leur contour clair. Les tufs et les brèches volcaniques de la série volcanique deviennent plus détritiques dans la partie sommitale passant à des grywackes et des poudingues à galets et de quartz rose ou même immédiatement à des schistes violets (Mattaue, 1950).

Plusieurs auteurs (Maluski, 1979, Mattauer, 1950, Kireche, 1977) ont discuté l'âge de cette série : Gentil (in Mattauer, 1950) a attribué à ces terrains un âge Silurien sans donner des arguments, alors que Glangeud (1932) avait placé cet ensemble dans le Crétacé, admettant que les schistes se trouvent sur les calcaires du Zaccar.

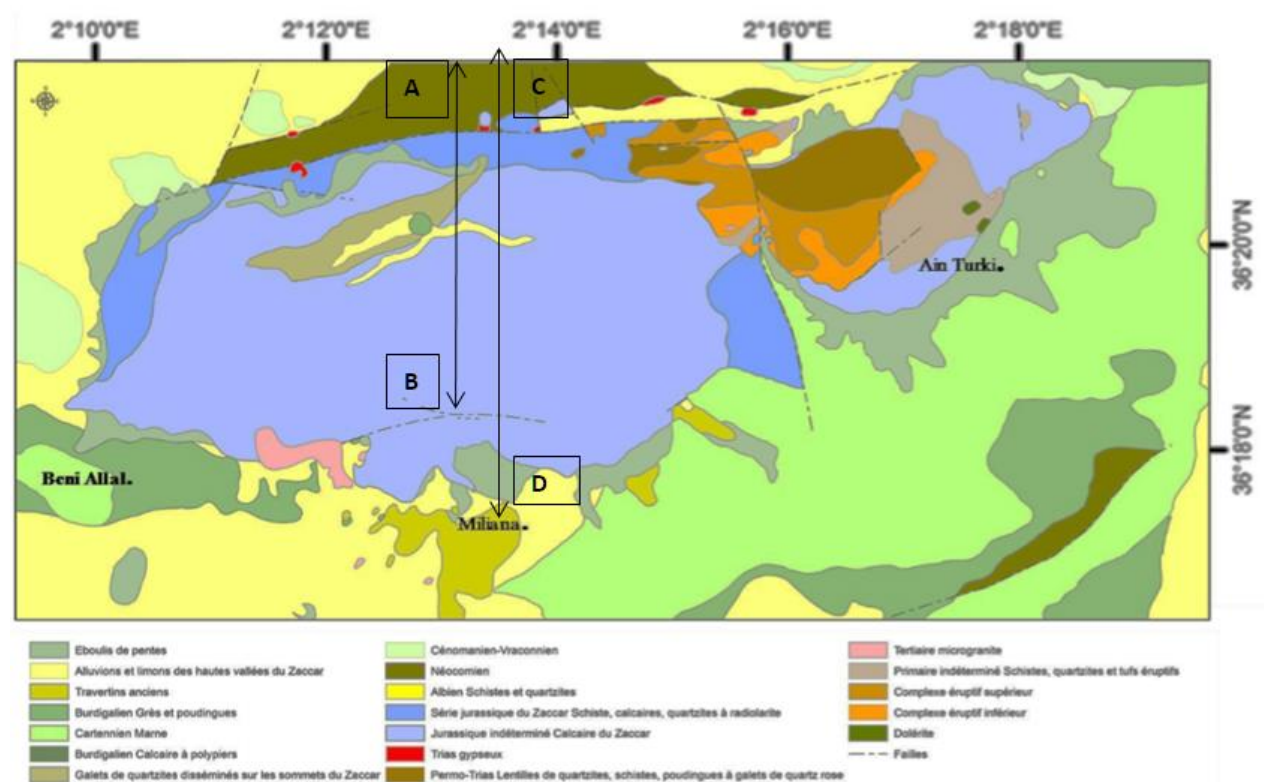


Figure III-4 Carte géologique du Zaccar (Mattaure, 1950).

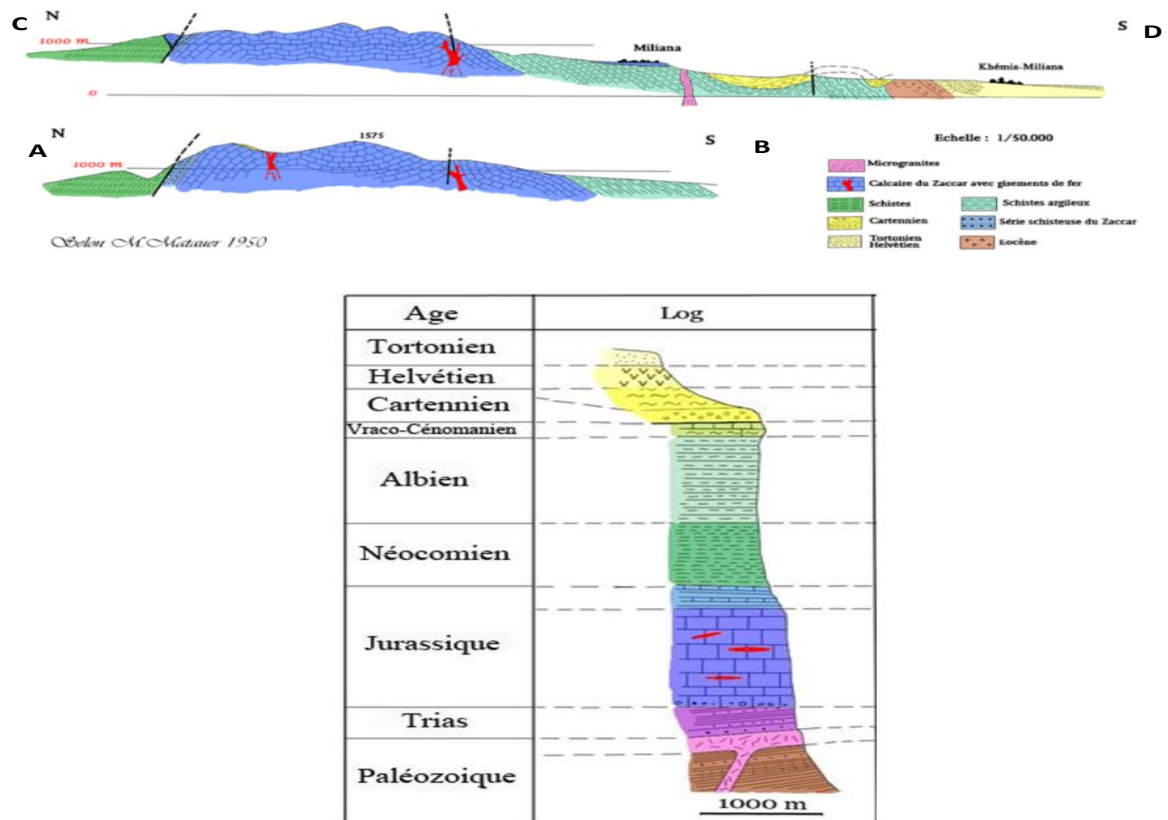


Figure III-5 Coupes et log stratigraphique du Zaccar (Mattaure, 1950).

### III.4.2 Le Mésozoïque

Si les terrains secondaires ne sont pas totalement caractérisés par l'absence de fossiles, ils le sont toutefois par leur rareté. Ce sont des calcaires et surtout des schistes à faciès uniforme, épais, à tectonique indéchiffrable, qui affleure dans toute l'Afrique du Nord suivant une large bande longeant la côte et correspondant à l'Atlas Tellien (Mattaure, 1950).

### III.4.3 Le Trias

Les affleurements triasiques observés au Nord du massif à la plâtrière de Col Riras et au Sud à Ouled Boujemaa montrent des masses gypseuses blanches au sein des schistes. Son emplacement est souvent lié à des contacts anormaux (Figure III-6). Une formation triasique se trouve à l'Ouest du précédent ; il s'agit aussi des masses gypseuses blanches mais associées à des brèches dont les éléments sont des quartzites gris et des débris de roche volcanique primaire ; ce Trias jalonne un contact anormal entre l'Albien au Sud et les schistes du Jurassique au Nord.

En de nombreux points du Zaccar, la région de Tazrout en particulier, affleurent des dolomies, des cargneules, des brèches à éléments de quartzites gris, des calcaires gréseux bréchiques ou à poudingues, que Mattauer (1950) placerait immédiatement dans le Trias à cause de leurs faciès pétrographiques analogues à ceux des formations triasiques connues en Afrique du Nord.

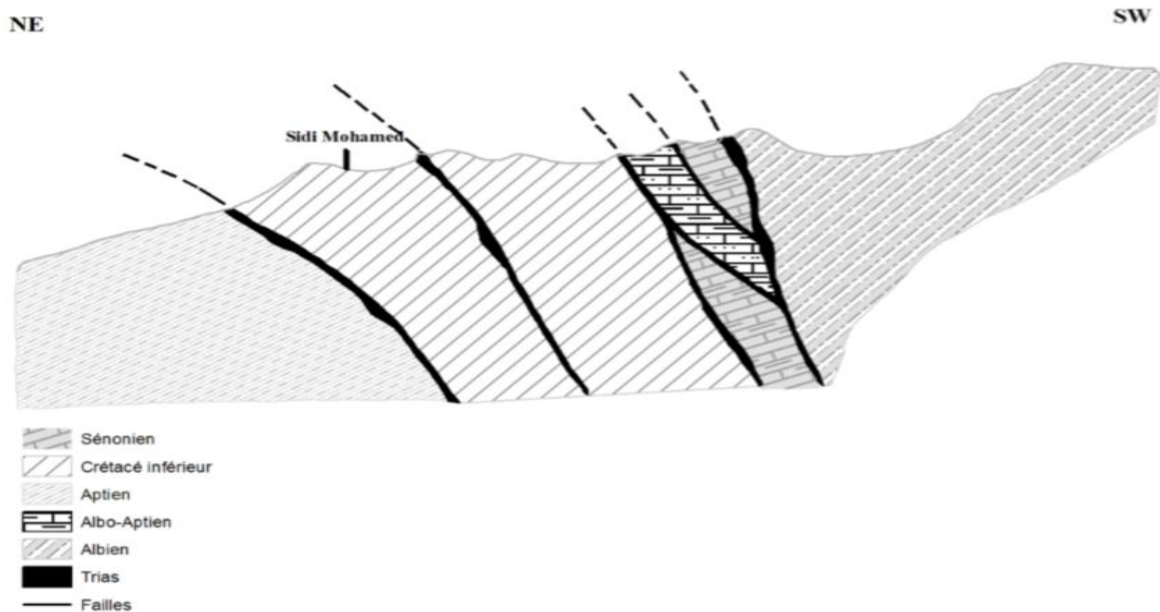


Figure III-6 Coupe des formations de Trias au Nord de la ville de Miliana (Mattauer, 1950).

### III.4.4 Jurassique

#### III.4.4.1 La série des calcaires du Zaccar

Les calcaires et les niveaux qui leur sont associés affleurent sur une grande étendue. Presque tout le Zaccar El Gharbi est constitué de calcaire ; alors que dans le Zaccar Chergui, les calcaires sont plus réduits par suite de l’affleurement des formations paléozoïques citées précédemment.

Cette série, bien qu’étant essentiellement calcaire et tranchant ainsi bien nettement dans la série stratigraphique est bien loin d’être toujours calcaire. Elle comporte de nombreux faciès, inclus dans la même série pour former un ensemble cohérent méritant d’être mis à part. La puissance des couches varie de 0,1 à 40m, avec une moyenne de l’ordre de 12m. La direction générale des couches est N60°, le pendage s’oriente vers le Sud, avec un angle qui dépasse graduellement 45°, l’épaisseur de cette assise est d’environ 1300m. Cette série se compose de bas en haut (Mattauer, 1950).

#### III.4.4.2 Base des calcaires

L’allure des contours de leur base montre que les calcaires sont transgressifs ; ils reposent effet sur la série éruptive du Zaccar Chergui, mais en général, l’apparition des formations de calcaire se fait brusquement permettant de tracer les contours assez exacts avec différents faciès :

- Faciès de calcaire gréseux brun ferrugineux détritique avec de petits lits fréquents de gravier fin observé dans le flanc Sud du Zaccar Chergui et au Nord de Ain Turki en contact avec la série primaire ;
- Brèche de calcaire remplaçant les faciès précédents reposant sur le socle primaire ou la base des calcaires consiste en un véritable gravier de roches très variées (calcaire, schiste, quartzite et roche éruptives), très peu roulées dans un ciment de calcaire brunâtre ou rougeâtre.

Un faciès schisteux blanchâtres se trouve en nombreux points du Zaccar, recouvrant le Permien avec des intercalations de bancs de calcaire.

#### **III.4.4.3 Les calcaires du Zaccar proprement dits**

Ce sont des calcaires compacts, stratifiés. Ils s'organisent en bancs métriques à décimétrique de 5-10m à 20m ; ils se caractérisent par un aspect rubané, qui par suite de l'action des agents atmosphériques ont souvent une surface érodée en petites crevasses qui peuvent former jusqu'à de véritables lapiez (Guendouz, 1982). La surface du calcaire en contact avec l'air est le plus souvent de patine bleu clair ou grise. En cassure, le calcaire se révèle de couleur bleue très cristallin, à grains plus ou moins fins, fortement tectonisé.

Les calcaires de Zaccar se présentent aussi d'autres types : calcaire ferrugineux, brun rougeâtre et un calcaire recristallisé de couleur rose à blanche occupant une grande étendue de la série du Zaccar Gharbi. Souvent, la stratification des calcaires est soulignée par un rubanement caractéristique et par des circonvolutions qui s'expliquent probablement par les efforts orogéniques (Mattauer, 1950).

A l'effet de déformations, Kireche (1977) suggère que les calcaires de Zaccar sont modifiés par une recristallisation à la suite d'un léger métamorphisme.

#### **III.4.4.4 Niveau schisteux du Zaccar**

Ce niveau est placé dans cette série en raison de sa présence dans de nombreuses intercalations de calcaires. Il comprend toujours des schistes clairs généralement blanchâtres, des quartzites et des intercalations de calcaire typique du Zaccar avec de fréquents passages entre ces trois faciès. Leur épaisseur est de l'ordre de plusieurs centaines de mètres. Ces niveaux ont une position très variable dans la série des calcaires du Zaccar, observés aussi bien à la base qu'au sommet de la série.

#### **III.4.4.5 Les grès**

Ces grès sont peu observés dans le massif du Zaccar et ne sont pas mentionnés dans la carte géologique de Miliana, et sont associés à la série des calcaires et représentés par des grès quartzeux, en petit bancs d'ordre centimétrique à décimétrique.

### **III.4.5 Crétacé**

#### **III.4.5.1 La série des schistes**

Au-dessus de la série de calcaire du Zaccar, se présente une épaisse série de schistes d'âge Crétacé inférieur, nettement différenciés des terrains environnants, le plus souvent très finement gréseux, se délitant facilement en esquilles allongées ou en plaquettes, des bancs de quartzites peu épais y sont intercalés. Les affleurements sont nombreux : Tazrout, Ain N'sour, et le long de la route de Miliana à Ain Turki (Mattauer, 1950).

#### **III.4.5.2 Niveaux de calcaire aptiens**

Ce sont en général, des calcaires jaunâtres, plus au moins marneux, à patine blanche, ressemblant au calcaire du Cénomaniens, mais le plus souvent, ils s'en distinguent par la présence de niveaux

plus gréseux et plus néritiques, pétris de fossiles, d'une épaisseur de l'ordre de 50m au plus et extrêmement variable (Mattauer, 1950).

### **III.4.5.3 Faciès Albien**

Ce sont des schistes argileux, verdâtres, ou gris sombres, alternant avec de petits lits de grès quartzeux, et conservant rigoureusement le même faciès, très reconnaissable sur d'énormes épaisseurs (plus de 1000m), la tectonique de détail est toujours indéchiffrable, avec de nombreux replis. Les fossiles sont extrêmement rares, cependant c'est grâce à quelques découvertes paléontologiques que cet étage a pu être caractérisé (Mattauer, 1950). Les formations Albiennes sont transgressives sur les terrains inférieurs au voisinage d'Ain Nsour et au bord de la route de Miliana. Ceci laisse Mattauer (1950) supposer que le Zaccar est formé dans un haut fond au milieu d'une large mer pas trop profonde, sans reliefs importants à proximité, malgré la grande épaisseur de ses dépôts.

### **III.4.5.4 Vraconnien-Cénomaniens**

Au-dessus de l'Albien, se trouve un ensemble de calcaire noir à patine blanche et marno-calcaire Vraconnien-Cénomaniens. De nombreuses empreintes d'ammonite ont été fournies, dont quelques-unes déterminables (Mattauer, 1950).

## **III.4.6 Cénozoïque**

Les terrains tertiaires sont caractérisés par la présence plus nombreuse de fossiles et par des faciès bien différents des précédents, souvent des grès et des marnes donnant un relief mou.

### **III.4.6.1 Eocène**

Le faciès Eocène est présent à l'Ouest de Miliana, sous forme de quartzites et de marnes colorées, généralement de couleur rouge.

### **III.4.6.2 Le Miocène**

Le Miocène est nettement transgressif, sur les terrains précédents, la discordance est très nette et s'observe particulièrement bien le long de la route de Miliana à Ben Allal à 1.5 Km de Miliana. On peut distinguer :

- 1- Grès et poudingues de la base Carténiens, d'une épaisseur très variable pouvant dépasser la centaine de mètres.
- 2- Les marnes Carténiennes, contrastant avec les terrains environnants par leurs ravinements.
- 3- Grès et poudingues Vindoboniens d'une épaisseur variant de 100 à 150 m, bien représentés à la bordure Est de Zaccar.
- 4- Calcaire à Lithothamnium, Vindobonien, très riches en foraminifères, le seul affleurement qui existe, se situe à l'Est de Djebel Zaccar.

### **III.4.6.3 Les formations volcaniques Néogène-Paléogène**

Signalons la présence sur le flanc Sud du Zaccar Gharbi, de nombreux pointements Néogènes de rhyolite ; le pointement le plus important se situe à l'Ouest de Miliana, près de l'oued Rihane, daté du Langhien (14,6M.A ± 0,5M.A ; Bellon, 1977).



### III.4.7 Le Quaternaire

Il affleure principalement au Nord de Ain Torki et au voisinage de Miliana. Il atteint une épaisseur de 50 m. Les formations sont composées par :

- ✓ Des éboulis de pente ;
- ✓ Des alluvions et limons : occupant les hautes vallées dans la dépression située entre les deux sommets du Zaccar Gherbi ;
- ✓ Les Travertins.

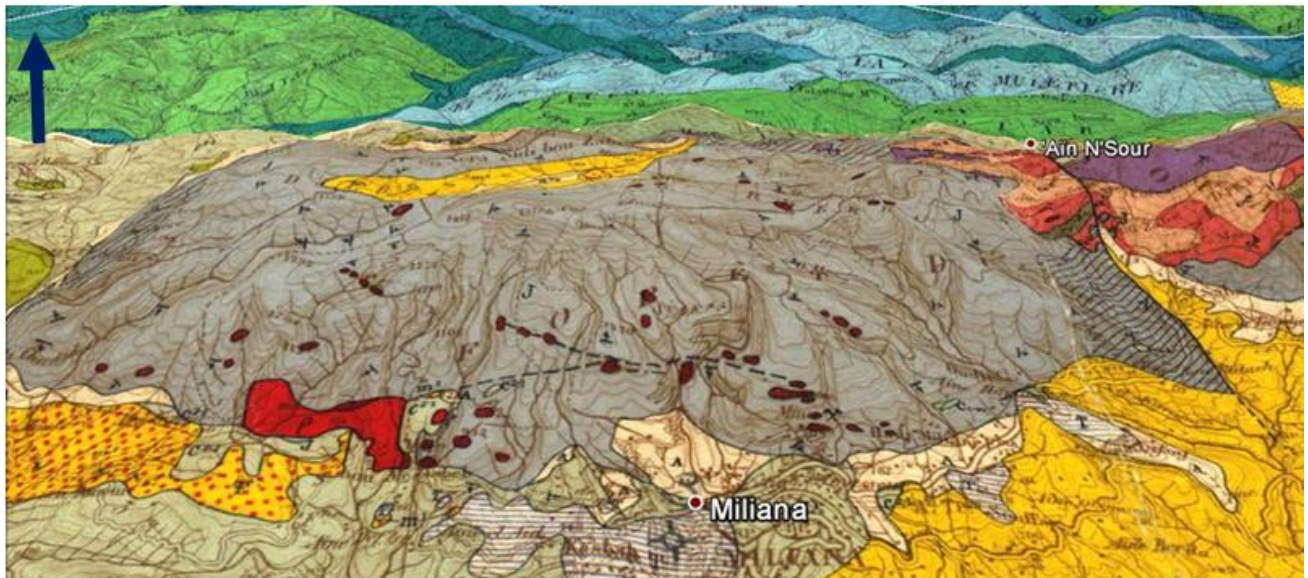


Figure III-7 Extrait de la carte géologique de la feuille de Miliana (vue en 3D)( Abdelouahab.R Belaid.M et al. 2013).

Tableau III-1 Stratigraphie de la région d'étude (Abdelouahab.R Belaid.M et al. 2013).

	Étage	Sous étage	Litho stratigraphie	Lithologie
Le Tertiaire	Quaternaire	Quaternaire		Les alluvions : des dépôts caillouteux et limoneux
		Quaternaire		Les travertins : des dépôts superficiels à faciès essentiellement carbonaté
	Pliocène	Pliocène		rouge sableux intercalées de lits caillouteux
	Miocène	Helvétien	Helvétien	
Carténien		Carténien		Grès et poudingues Mames.
Le Secondaire	Crétacé	Le Sénonien		Mames très dures, fracturées, calcaires très compacts et très durs
		Le Cénomanién		Calcaires alternant avec des mammo-calcaires
		L'Albien		Schistes, gris verdâtres alternant, avec des lits quartziteux
		Néocomien		Argiles schisteuses avec des bancs de gré quartziteux.
	Jurassique	Jurassique		Essentiellement calcaire avec des niveaux de calcaire-gréseux et des schistes blancs à débris de plantes
Trias	Trias		Brèches dolomitiques, cargneules, gypses et argiles irisées.	
Primaire	Primaire		Alternances de schistes noirs et graphiteux avec des bancs quartzites	

### III.5 Tectonique du Zaccar

La tectonique est extrêmement variée dans le secteur d'étude. Plusieurs phases de plissements ont affecté la région et les formations de tous les étages sauf celles du Quaternaire. Cette tectonique a généré des plis isoclinaux et verticaux. A l'Eocène, qui constitue la phase tectonique majeure, le Djebel Zaccar est plissé et disloqué. Au cours du Miocène et du Plio-quaternaire, il se surélève en anticlinorium pendant que la plaine du Chélif s'affaisse.

Les plissements du Zaccar Gharbi ont été assez difficiles à étudier parce qu'on manque des couches de terrains stratifiés et différenciés. En pareil cas la seule méthode pour déterminer la structure est une synthèse à partir des pendages recueillis sur le terrain. Les plis formant le massif du Zaccar sont relativement doux et assez réguliers. Dans un tel plissement il est difficile de concevoir des charriages et des déversements de plis du genre de ceux qui, par exemple, ont été invoqués par L. Gentil et E. Ficheur pour expliquer à Tazrout la superposition du calcaire du Zaccar aux schistes du Néocomien.

Glangeaud (1932) fait état au Zaccar, le style est celui d'un « flexur-horst » ou ces bords sont flexurés ou faillés, de structures en écailles, réputées Eocène, antérieurs au bombement tardif du Zaccar.

Lepvrier (1978) suggère une tectonique tardive qui affecte le Miocène « post nappe » (dont la série débute au Langhien-Serravallien) traduit par un bombement E-W à grand rayon, d'ampleur kilométrique, de courbes accompagnées par des ondulations qui donnent un aspect en anticlinaux du Zaccar, et une série de linéaments méridiens marque l'interruption orientale du massif et par aménagement des rhyolites Langhiennes dans le Sud du Zaccar sur de telles fractures.

Les anticlinaux observés au Zaccar sont déversés plus ou moins au Sud sur le versant méridional, au Nord sur le versant septentrional (Figure III-8). Les têtes anticlinales de calcaires manquent quelquefois par suite des 'étirements des plis, qui sont souvent cassées (Brives, 1918).

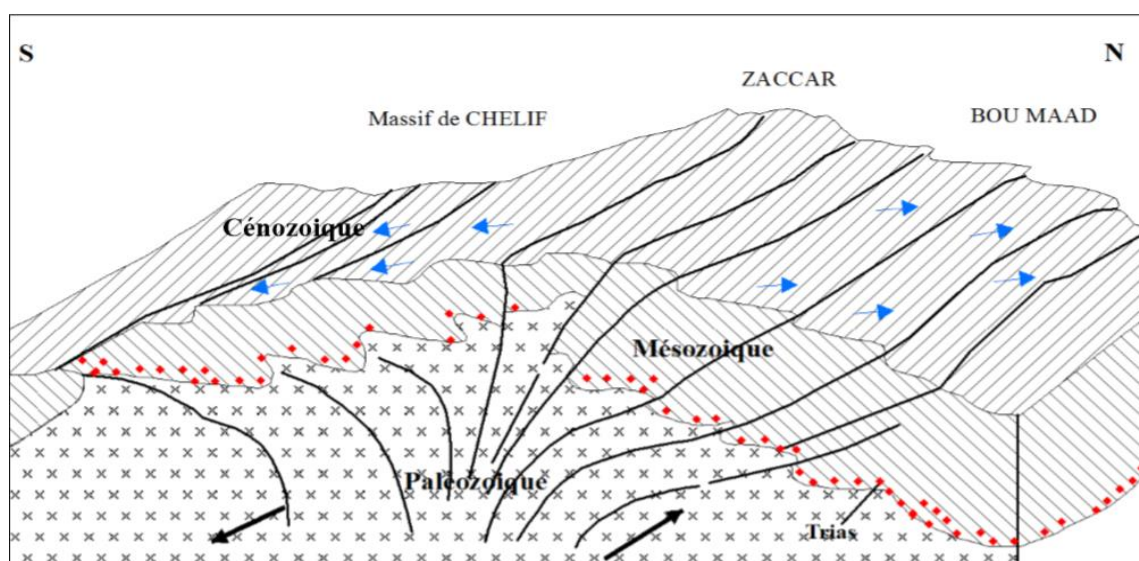


Figure III-8 Bloc-diagramme montant la structure en « fleur » des massifs à schistosités du Bou Maad et du Chélif (Kireche, 1993).

### **III.6 Conclusion**

Le Zaccar est formé essentiellement par des calcaires Jurassique qui sont mis en contact par un réseau de faille avec les facies schisteux qui les encadrent aussi bien au Nord qu'au Sud du massif. Ces calcaires n'affleurent que dans la partie élevée du Massif, on ne le rencontre plus au-dessous de la côte 750. Ce calcaire est une roche excessivement perméable, tellement perméable que dans les ravins de la partie supérieure du Zaccar l'eau ne coule jamais, même pendant les averses des Hivers pluvieux. Ainsi toute l'eau de pluie qui tombe sur les parties hautes du Zaccar est, soit évaporée, soit percolée, c'est-à-dire pénètre dans le massif.



## *Chapitre IV: Hydrogéologie*

## **IV. HYDROGÉOLOGIE**

### **IV.1 Les propriétés hydrogéologiques des différentes formations géologiques**

A l'issue de l'étude géologique nous analysons dans ce chapitre les propriétés intrinsèques liées à la perméabilité et à la fissuration des différentes formations géologiques. Cela nous a permis de classer leur degré de perméabilité selon trois catégories.

#### **IV.1.1 Niveaux perméables**

Les niveaux perméables sont représentés par :

- Les terrains quaternaires (Alluvions, limons et Travertins);
- La série tertiaire (Calcaire, Grès et poudingues) ;
- Le Cénomaniens-Vraconien (Calcaire, Grès et Argile) ;
- La série Jurassique du Zaccar (le Massif calcaire).

#### **IV.1.2 Niveaux semi-perméables**

Par ce terme, nous désignons les ensembles détritiques (gréseux et argileuse qui présentent, une perméabilité d'interstices. Dans cette catégorie on peut classer les terrains de la série Oligocène-Éocène sup (nummulitiques sup) représentés par des Grès et argiles.

#### **IV.1.3 Niveaux imperméables**

Ils sont représentés par :

- Les terrains primaires du socle;
- La série Trias gypseux ;
- La série Permo-Trias (Schistes et quartzites) ;
- L'albien représenté par des schistes et quartzites ;
- Les marnes du Carténnien et les argiles de l'Helvétien .

### **IV.2 Répartition spatiale**

La répartition spatiale d'ensembles aquifères et non aquifères identifiés ci-dessus est illustrée par la figure suivante :

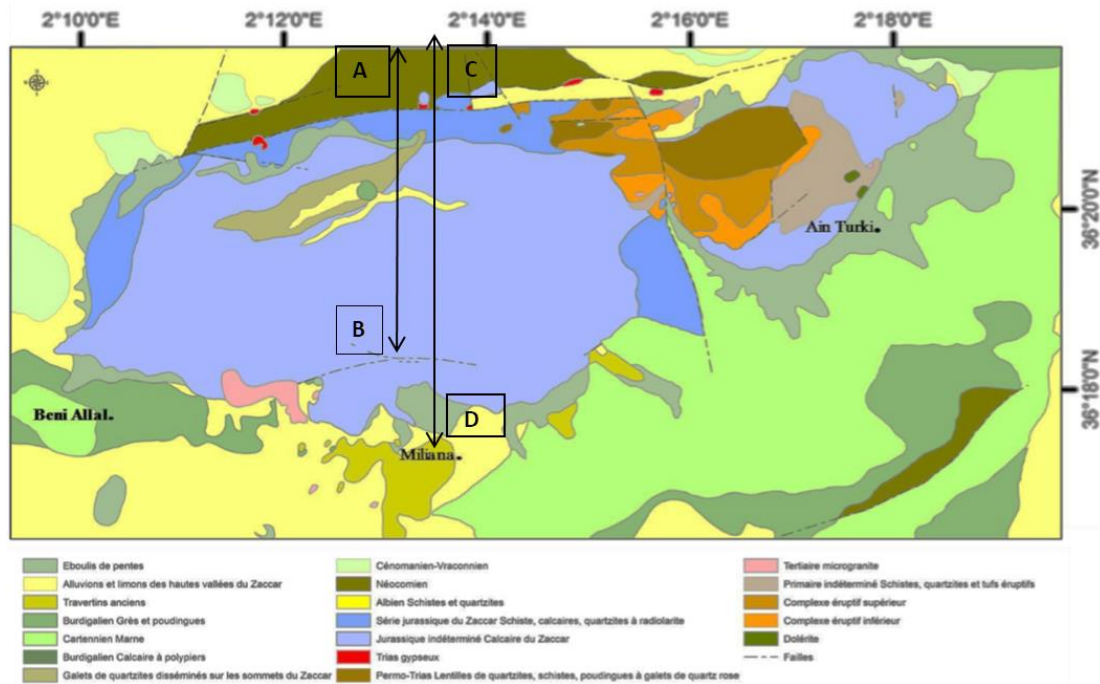


Figure IV-1 Carte géologique du Zaccar (Mattaure, 1950).

### IV.3 Caractéristiques hydrogéologiques des différentes formations géologiques

Dans le tableau sont résumés d'une façon très succincte, la nature lithologique des formations géologiques et leurs caractéristiques hydrogéologiques (Tableau IV-1).

Tableau IV-1 Tableau synthétique compilant les propriétés hydrogéologiques des différentes unités litho-stratigraphiques du Zaccar.

Unités lithostratigraphique	lithologie	Épaisseur	Caractéristique Hydrogéologiques		
			Type de circulation	Caractéristiques et limites d'aquifères	Types d'aquifère
Quaternaire	Eboulis de pentes	0-50 m	Interstices	Représentés par blocs centimétriques relié en général cimentées	Aquifères
	Alluvions actuelles des vallées		Interstices	C'un mélange de sables et de graviers, ils sont perméables ils forment un aquifère intéressant.	Aquifères
	Alluvions et limons de hautes vallées		Interstices	occupant les hautes vallées dans la dépression située entre les deux sommets du Zaccar Gherbi. Les limons sont peu perméable et les niveaux alluvionnaires ils forment un aquifère intéressant.	Aquifères
	Cônes de		Interstices	ces dépôts superposés se présentent en forme	Aquifères

	déjection			d'éventail et d'épaisseur variant de quelque dizaine de centimètre à quelques mètres	
	Alluvions récentes		Interstices	Correspondent au champ d'inondation des rivières	Aquifères
	Travertins		Interstices	Se forment au niveau des sources calcaires	Aquifères
Vindobonien	Calcaires à lithothamnium	100 à 150 m	Fissures	le seul affleurement qui existe, se situe à l'Est de Djebel Zaccar.	Aquifères
Burdigalien	Grès et poudingues Calcaires à polypiers Galets de quartzite	Épaisseur très variable pouvant dépasser la centaine de mètres	Interstices Fissures	Les niveaux gréseux, poudingues et les calcaires sont très perméables forment un aquifère intéressant.	Aquifères
Oligocène-Éocène sup (nummulitiques sup)	Grès et argiles		Interstices	Le niveau gréseux il est très perméables il forme un aquifère intéressant et le niveau argileux il est imperméable il constitué le substratum	Aquitard
Cénomaniens-Vraconien	Calcaires et marno-calcaires	Comprise entre 20 à 60 m	Fissures	Les calcaires ils sont caractérisé par une perméabilité de fissure ces niveau de calcaire forment un aquifère intéressant par contre les niveaux marneux ils sont imperméable.	Aquifères
Albien	Principaux bancs de quartzites Schistes et quartzites	Plus de 1000 m	Imperméables	les bancs schistes argileux alternant avec de petits lits quartzeux, ces niveaux sont imperméables constitué le substratum. L'Albien affleure : au voisinage d'Ain N' sour ; au voisinage de Miliana ; à l'Ouest de Sidi El Hadj-Brahim.	Aquiclude
Néocomien	Calcaires aptiens	entre 10 et 50 m.  Varie de 800 à 1000 m	Fissures	Ce niveau caractérisé par une perméabilité de fissure forme un aquifère assez important, se trouvant entre la série des schistes bleus et la série Albienne. Ils affleurent au Zaccar Gherbi	Aquifères
				Au-dessus de la série du	Aquiclude

	Schiste bleu		Imperméables	Zaccar, on trouve souvent une épaisse série de schistes bleus qui constitue le substratum imperméable de l'aquifère sus-jacent. Les affleurements en sont nombreux: au Nord de Zaccar, au Sud de Zaccar; au Nord de Ain N'sour :	
Série Jurassique du Zaccar	Schistes sup Schistes,	Ils ont des épaisseurs de l'ordre de plusieurs centaines de mètres	Imperméables	Ces schistes sont intercalés avec des quartzites et sont imperméables, on les trouve en trois endroits : à l'Est de Sidi Medjahed, au Tazrout, le long de la route de Miliana à Ain N'sour.	Aquiclude
	Calcaires et quartzites à radiolaire	L'épaisseur des calcaires du Zaccar est de 1000m environ.	Fissures (Calcaires)	Les niveaux calcaires gréseux, parfois graveleux, brèche calcaire sont très perméables et forment un aquifère très important.	Aquifères
	Calcaires du Zaccar		Fissures	Les niveaux schisteux s'intercalant avec des bancs calcaires en contact avec des quartzites, qui s'organisent en gros bancs. Ces niveaux sont caractérisés par une perméabilité de fissure et forment un aquifère très important. Tout le Zaccar Gherbi est calcaire.	Aquifères
Trias gypseux	Gypse		Imperméables	Les niveaux gypseux ne sont pas assez épais, et peu étendu, forment un substratum imperméable, S'observent au Nord du Zaccar, à la plâtrière, à 500 m au Nord du col des Rhigas.	Aquiclude
Permo-Trias	Schistes et quartzites		Imperméables	Constitue le substratum imperméable.	Aquiclude
Primaire indéterminé	Schistes Quartzites et tufs éruptifs		Imperméables	L'ensemble est imperméable et constitue le substratum. Une bonne partie du flanc sud du Zaccar Chergui,	Aquiclude
Paléozoïques	Complexe éruptifs sup et inf		Imperméables	L'ensemble est imperméable a cause de la prédominance des éruptifs.	Aquiclude
	Diabases		Imperméables		Aquiclude
	Dolérites		Imperméables		Aquiclude
	Microgranites tertiaires		Imperméables		Aquiclude

## **IV.4 Description des aquifères**

Nous pouvons individualiser les aquifères suivants :

### **IV.4.1 L'aquifère superficiel**

Il est constitué par les couches limoneuses, ainsi que les colluvions (dépôts de pente) qui sont représentés par des limons, argile et éléments rocheux arrachés aux falaises calcaires. Ces terrains ont une porosité d'interstices et renferment un volume d'eau quand ils sont épais et sont captés par plusieurs puits domestiques. Les terrains travertins qui se manifestent parfois par quelques sources très importantes (AIN TALA-OUCHIAB, AIN SEMINA, etc.). Cela suppose une alimentation plus ou moins par les calcaires sous-jacents, par l'intermédiaire de failles qui draineraient les eaux karstiques, au sud de la ville de Miliana.

### **IV.4.2 L'aquifère du Miocène**

Il est constitué par les couches gréseuses, et par les poudingues de la base du Carténnien, ainsi que par les grès et poudingues du Vindobonien. Cet ensemble peut développer une centaine de mètre d'épaisseur. Ces terrains à porosités d'interstices forment un aquifère potentiel dans la région. Cette nappe retenue par le substratum étanche, des niveaux marneux Carténniennes est alimentée par les Calcaires à Lithothamnium du Vindobonien, qui affleurement à l'Est de Djebel Zaccar.

### **IV.4.3 L'aquifère du Crétacé**

#### **IV.4.3.1 L'aquifère du Vraconien-Cénomaniens**

Il est situé au-dessus de l'Albien, et tranchant nettement avec lui par ses faciès différents ; c'est un ensemble de calcaire noir et de marno-calcaires gris, dont les potentialités sont inconnues. Ils n'existent pas de sources ni de forage captant cet aquifère. Cette aquifère retenue par le substratum marquée par un niveau de schistes phosphatés bien développé affleure principalement au Nord de Djebel Zaccar.

#### **IV.4.3.2 L'aquifère du Néocomien**

Il est constitué par les calcaires aptiens se trouvant entre la série des schistes bleus et la série Albienne. C'est un aquifère peu développé en raison de sa faible épaisseur qui oscille entre 10 et 50 m.

### **IV.4.4 L'aquifère du Jurassique**

Il est constitué par, les calcaires et les niveaux qui leurs sont associés affleurant sur une grande étendue. Tout le Zaccar el Gherbi est calcaire. Dans le Zaccar Chergui les affleurements de calcaires sont plus réduits par suite de l'apparition du socle primaire. Cette série est composée par un niveau calcaire gréseux, parfois graveleux, passant latéralement à une véritable brèche calcaire, Localement on note la présence d'un niveau schisteux s'intercalant avec des bancs calcaires et un niveau de calcaire ferrugineux en contact avec des quartzites. L'ensemble de cette série est caractérisé par une perméabilité de fissure souvent karstifié. L'aquifère du jurassique de djebel Zaccar est limitée par des niveaux schisteux du Crétacé très étendus.

L'épaisseur des calcaires du Zaccar est de 1000 mètre environ. Ils sont très fissurés et karstifiés aussi bien en surface par le développement des formes d'érosion épikarstique (dolines, pertes, et

lapiazs) cet aspect géomorphologique est caractéristique des karsts de haute montagne et favorise une infiltration massive des eaux de pluie. C'est ce qui confère à cet aquifère des potentialités en eau souterraines très intéressantes révélées par les débits importants (70 à 100l/s) de certaines sources et forages. Ce système karstique culmine à une altitude de 1554 mètres. Il se trouve entre deux extrémités : Tizi Ouchir à l'Est et Sidi Medjahed à l'Ouest. C'est un chaînon, d'une quinzaine (15) de kilomètres de longueur, et d'une largeur de six (06) kilomètres, qui occupe une surface de 90 km<sup>2</sup> environ. Il est limité par :

- Les Monts de Boumâad au Nord ;
- La plaine du haut Cheliff au Sud ;
- La ville d'Ain Bénien à l'Est ;
- Les Monts d'Arib à l'Ouest.

Un ravin profond creusé par l'Oued Aidous divise le massif en deux unités :

- A l'Est le Zaccar Chergui de moindre étendue mais présente une allure plus élevée ;
- A l'Ouest le Zaccar Gherbi entièrement calcaire au pied duquel se trouve la ville de MILIANA.

#### **IV.4.4.1 Structure de l'aquifère karstique**

##### **IV.4.4.1.1 Caractéristiques générales**

Par ses caractéristiques bioclimatiques (les influences du climat de type méditerranéen, surtout en été, prédominance à l'affleurement des faciès carbonatés, une végétation riche et variée située au long du Massif), le karst du Zaccar est de type périméditerranéen. La présence d'eau de précipitation et la faible évaporation augmentant les possibilités de la Karstification. En effet, de nombreuses lapiez constituent l'essentiel de la morphologie karstique de surface.

Le karst de Massif du Zaccar est formé essentiellement par des calcaires. Il s'agit d'une roche excessivement perméable, tellement perméable que dans les ravins de la partie supérieure du Zaccar l'eau ne coule jamais, même pendant les averses des hivers pluvieux. Ainsi toute l'eau de pluie qui tombe sur les parties hautes du Zaccar est, soit évaporée, soit percolée, c'est-à-dire pénètre dans le massif. Le calcaire du Zaccar n'a pas de faciès uniforme. Il présente des variations d'origine sédimentaire et des variations d'origine métamorphique (th. Koulomzine, 1935).

Les pendages des formations carbonées sont forts orienté vers le Sud-Ouest, il dépasse 10° et traduit une structure convexe.

##### **IV.4.4.1.2 Rôles des failles et de la fracturation**

Dans les pays karstiques, les failles et leurs satellites jouent un rôle important du point de vue hydrogéologique.

##### **IV.4.4.1.3 Limites souterraines étanches**

Elles sont soulignées par des failles qui mettent en contact les formations imperméables avec les formations aquifères. Dans notre cas, il s'agit souvent de contacts schistes crétacés et calcaires du jurassique.

#### **IV.4.4.1.4 Infiltration des eaux**

Les fissures qui accompagnent les grandes failles sont très denses et donnent aux terrains qu'elles affectent un aspect déchiqueté, déterminant des zones d'infiltrations privilégiées. Cette infiltration est massive et se produit de façon très rapide en fonction de la morphologie karstique superficielle.

Le Massif du Zaccar à une morphologie karstique complexe et les formes karstiques de surface marquées par la présence de lapiaz, dolines et dépressions fermées jouent un rôle important dans l'infiltration des eaux des précipitations qui se fait de manière massive et rapide.

#### **IV.4.4.1.5 Lignes de décharge de la nappe**

Elles sont soulignées par des sources qui constituent des émergences par contact de terrains différents. C'est le cas des sources qui jaillissent sur le versant Sud du massif du Zaccar.

#### **IV.4.4.1.6 Karstification et écoulement**

Les fissures qui subissent une karstification deviennent des conduites très larges dans lesquels s'effectuent les écoulements les plus importants. Sans fissures, les calcaires qui constituent l'aquifère seraient imperméables en raison de leur faible porosité. Ces fissures souvent karstiques permettent l'enfouissement et la circulation des eaux dans la masse rocheuse. Le sens général des écoulements correspond, comme l'ont montré plusieurs auteurs, à la direction dominante des fractures qui constituent une zone de drainage privilégiée.

L'établissement de cartes piézométriques pour préciser le sens d'écoulement des eaux souterraines devient utopique, car l'aquifère karstique est par définition hétérogène. Et de plus la densité des points de mesures piézométriques est très faible.

#### **IV.4.4.1.7 Alimentation et pertes de la nappe**

L'alimentation de la nappe se fait uniquement par l'infiltration directe des eaux atmosphériques à travers la surface fissurée et karstifiée du réservoir. Cette alimentation n'est pas régulière car les reliefs et la Karstification ne sont pas uniformes à l'échelle de tout le massif.

Les pertes se font, essentiellement par les sources, dont les plus importantes sont pérennes, évaporation et par les fuites qui se produisent au niveau des massifs calcaires vers les niveaux schisteux du Crétacé. Cette perte est peu importante, car la communication hydraulique est très difficile du fait de la prédominance de la fraction schisteuse.

#### **IV.4.4.2 Hydrogéologie superficielle**

D'après les caractéristiques globales de l'écoulement superficiel et souterrain et le type de phénomène d'érosion chimique, le réseau karstique élémentaire et décomposé selon les grandes parties suivantes :

##### **IV.4.4.2.1 La zone d'absorption (épi-karst)**

C'est la zone d'infiltration par excellence, caractérisée à l'affleurement par la prédominance de la roche carbonatée hachée de fissures et karstifiée par endroits. Sur le plan morphologique, cette partie supérieure du karst est caractérisée par la présence des formes suivantes :



#### IV.4.4.2.1.1 Les Lapiaz

Les lapiaz sont des formes d'érosion résultant de la dissolution à la surface et sur les fronts des couches calcaires, donnant une typologie très variée. La surface calcaire burinée est un lapiiez (qui correspond à une cavité superficielle). La formation et l'évolution des lapiiaz se nomment la lapiézation. C'est le principal mécanisme de disparition, de dissolution du calcaire, soit à l'air libre (lapiiez nu), soit enfoui (lapiiez couvert).

L'humidité du climat favorise la formation extensive de lapiiaz à une altitude (700 à 1500m).



Figure IV-2 Champs de lapiiaz au niveau d'el Morodj Zaccar.

#### IV.4.4.2.1.2 Les dépressions fermées

##### IV.4.4.2.1.2.1 Les Dolines :

La dissolution aboutit en surface à la formation de dolines, dépressions fermées souvent tapissées d'argile de décalcification. Plusieurs dolines coalescentes donnent naissance à une ouvala (ovala), car les dolines agrandissent leur bassin de réception et se réunissent ainsi. Elles se forment là où la fissuration est plus importante, par formation d'un creux (doline) sous l'influence de l'infiltration de l'eau, puis de la gélifraction sur les bords. Les formes des dolines sont fonction de la dissolution (action chimique) et de l'érosion latérale par gélifraction (action mécanique).

Les dolines jouent un rôle important sur le plan hydrologique. En effet, les petits écoulements qui apparaissent suite à des fortes pluies s'enfuient au niveau des calcaires.



**Figure IV-3 Doline au niveau de Riyacha Zaccar.**

#### **IV.4.4.2.1.3 Les avens et les puits**

##### **IV.4.4.2.1.3.1 Les avens**

Un aven est une cavité souterraine d'origine karstique, dont l'entrée généralement imposante présente une verticalité marquée, ce qui la rend difficilement accessible sans matériel spécifique. Les dimensions de l'ouverture en surface de ces cavités béantes sont très variables : de quelques décimètres jusqu'à deux cents mètres.

##### **IV.4.4.2.1.3.2 Les puits**

Puits naturel aux parois abruptes, creusé dans un plateau calcaire par les eaux d'infiltration et formé, soit par dissolution des couches calcaires par l'eau de pluie, soit par effondrement de la voûte de cavités karstiques (ou grotte).

#### **IV.4.4.2.2 Description des réseaux karstiques explorés**

Peu d'explorations spéléologiques ont été effectuées dans le massif calcaire du Zaccar. La recherche bibliographique nous ont permis de mettre la main sur le rapport établi par le Spéléo club de Boufarik qui propose une description détaillée de la cavité de Ghar el Khadem.

Cette dernière est située au point de coordonnées ( $X=2^{\circ}12'50''$  et  $Y=36^{\circ}19'7''$ ) ;( Figure IV- 4). L'entrée de GHAR EK KHADEM est une bouche de mine qui s'ouvre à 108m d'altitude. Une végétation dense rend difficile le repérage. En effet, en 1928, en creusant un travers-banc, les mineurs aboutissent sur la grande salle de cette grotte dénommée GHAR EK KHADEM (grotte de l'esclave). Comme le montrent les inscriptions, elle a reçu plusieurs visites dont celle du spéléo français WERNIER et de son collègue algérien BOUKADOU qui activaient ensemble dans la région de 1948 à 1954. Le relevé topo ou du moins sa publication n'a pas été fait à l'époque. Mais en 1984 le spéléo club de Boufarik a ré-explorer toute la cavité et effectue un levé topographique de tout le réseau exploré (figure VI-5).



Au pied de la pente et à gauche, deux conduits inclinés permettent l'accès à une première salle caractérisée par une belle stalagmite au centre (Figure IV-6). Cette salle et tout ce qui s'ensuit à une beauté exceptionnelle, avec un concrétionnement quasi général. Quel que puits d'une dizaine de mètres sont abordables sans corde sauf le dernier P10 qui donne sur la salle des orgues, point culminant en beauté : jolis piliers sculptés, grandes coulées éclatantes, excentrique, concrétions avec oxyde de fer.



Figure IV-4 Localisation de la grotte Ghar el Khadem.

#### IV.4.4.2.3 La zone noyée

Elle est représentée par l'horizon de transfert à écoulement libre selon un schéma vertical ou oblique.

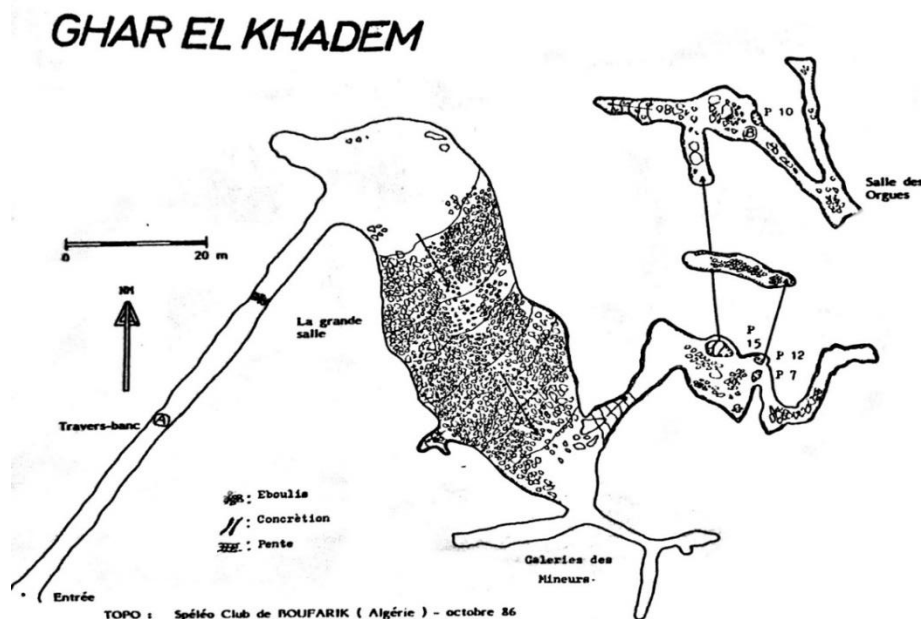


Figure IV-5 Carte topographique Ghar el Khadem (Spéléo Club Boufarik Octobre, 1986).

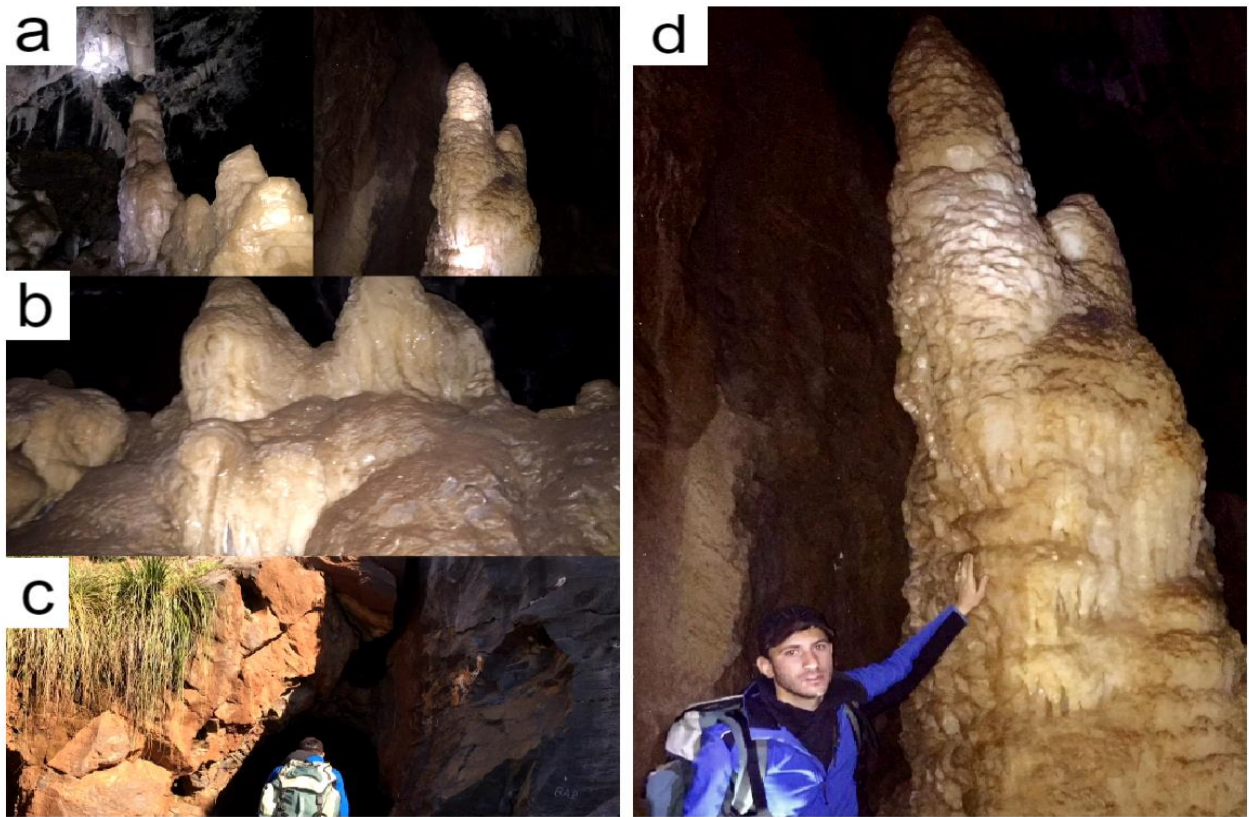


Figure IV-6 a) : stalagmite et stalactite ; b, d) : stalagmite, c) : rentrée de la grotte.

## IV.5 Relation entre fissuration, karstification et direction des écoulements souterrains

### IV.5.1 Introduction

La circulation des eaux souterraines dans les milieux carbonatés s'effectue essentiellement au niveau des discontinuités tectoniques (failles, diaclases, fissure, joints de stratification). L'action corrosive de l'eau conduite à l'élargissement de ces éléments structuraux. C'est ainsi qu'il est aujourd'hui admis que les directions préférentielles de la fracturation se surimposent à celles des directions linéaires des galeries souterraines et déterminent l'essentiel des conditions hydrodynamiques dans ces milieux (kiraly, 1968 ; P. Verdeil, 1957 ; A.Issaadi, 1981 etc. ...). Le sens général des écoulements correspond, comme l'ont montré plusieurs auteurs, à la direction dominante des fractures qui constituent une zone de drainage privilégiée.

L'établissement de cartes piézométriques pour préciser le sens d'écoulement des eaux souterraines devient utopique, car l'aquifère karstique est par définition hétérogène. Et de plus la densité des points de mesures piézométriques est très faible. Pour connaître les directions des écoulements d'eau souterraines nous avons adopté une démarche méthodologique qui consiste à préciser, à différentes échelles d'observation, les directions préférentielles de la fracturation et de la comparer à celle des conduites souterraines. Nous l'avons appliqué aux formations carbonatées du jurassique qui représentent le réservoir le plus important de la région et les affleurements les plus développés.

## IV.5.2 Démarche méthodologique

### IV.5.2.1 1<sup>ère</sup> Approche

Elle est basée sur l'étude de la fracturation à partir des cartes géologiques à l'échelle 1/50000 ème, et de la carte de fissuration complétée par les fractures reconnues

Nous avons reconnu 17 failles matérialisées sur l'histogramme de la figure (Figure IV-7) qui représente la densité des fractures selon leurs orientations. Il apparaît nettement une direction prépondérante orientée 60 à 90° (NE-SW à E-W) et 150 à 180° (NW-SE) qui correspond aux failles verticales à subverticales.

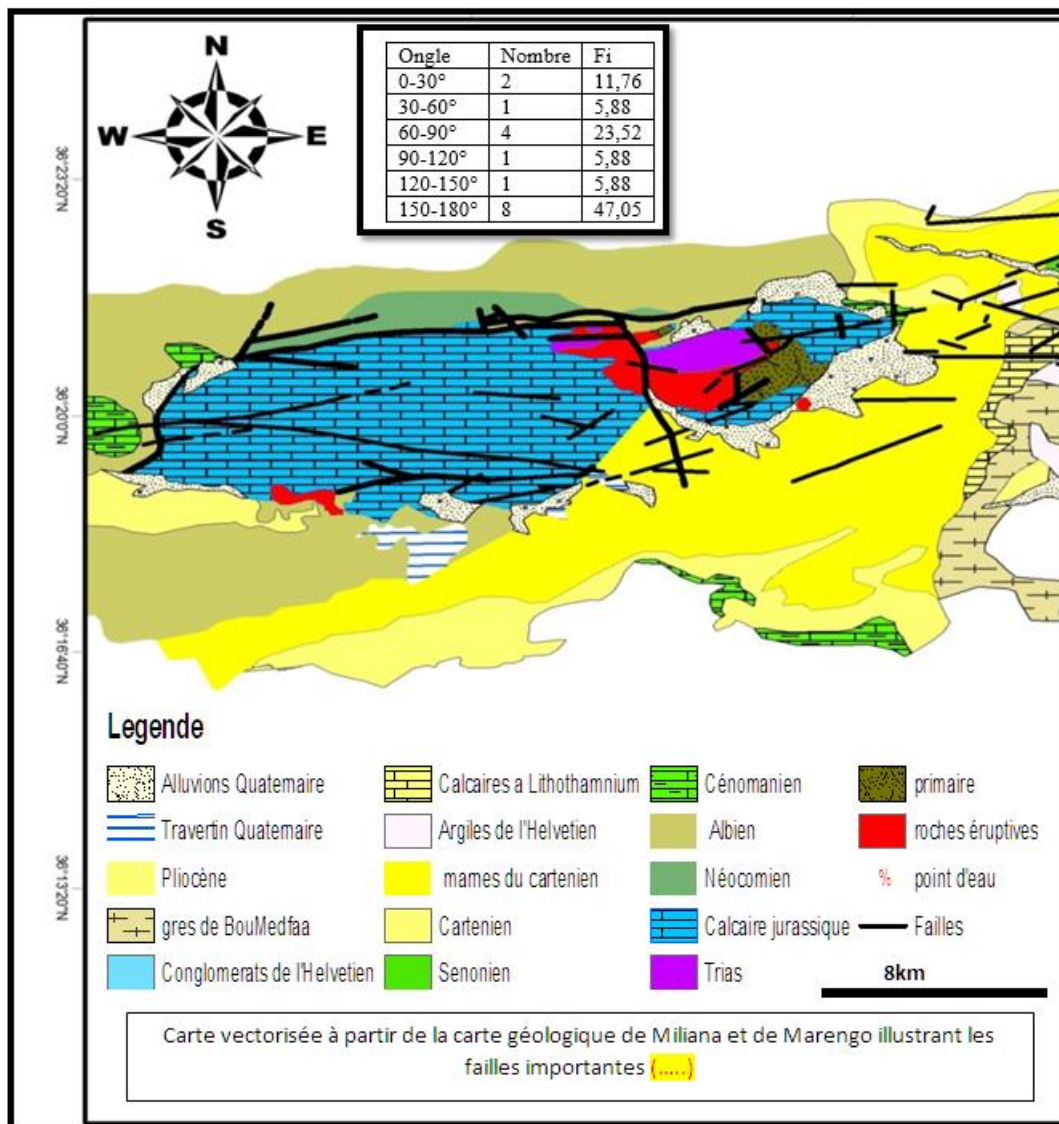


Figure IV-7 Carte vectorisée à partir de la carte géologique de Miliana et de Marengo illustrant les failles importantes ---- (Abdelouhab.R Belaid.M et al. 2013).



#### IV.5.2.2 2<sup>ème</sup> Approche

Elle est fondée sur l'étude des photos aériennes (Figure IV-8) qui couvrent l'essentiel des affleurements de la région étudiée (Figure IV-9).

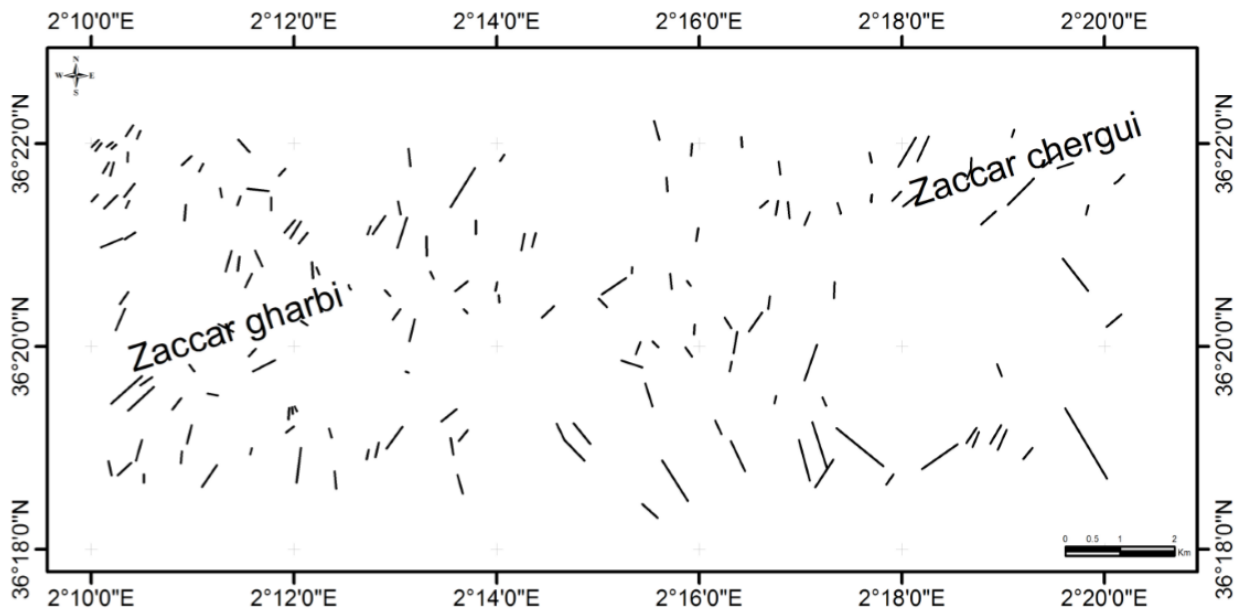


Figure IV-8 Carte linéaire du Massif de Zaccar (Etablie sur la base des photos satellite LANDSAT 7, combinée avec les photos aériennes (Halima CHAA ,2018).

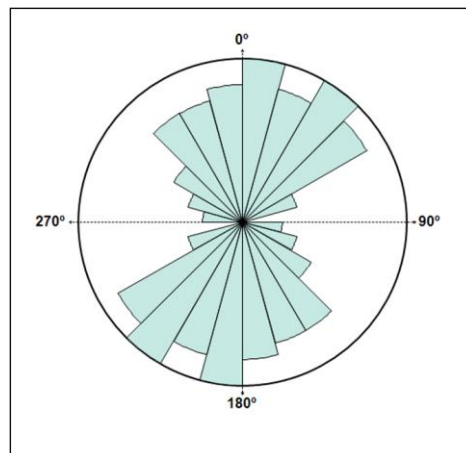


Figure IV-9 Rosace principale directions des linéaments du Zaccar (Halima CHAA ,2018).

Il en ressort que les directions les plus fréquentes sont établies entre NE-SW et NW-SE.

#### IV.5.2.3 3<sup>ème</sup> Approche

Fondée sur l'analyse statistique des segments rectilignes tracés dans l'axe des galeries souterraines. Elle intéresse Ghar el Khadem (figure IV-10 et IV-11). Les résultats obtenus (Tableau IV-2) montrent, globalement, la direction prépondérante E-W et NW-SE.

# GHAR EL KHADEM

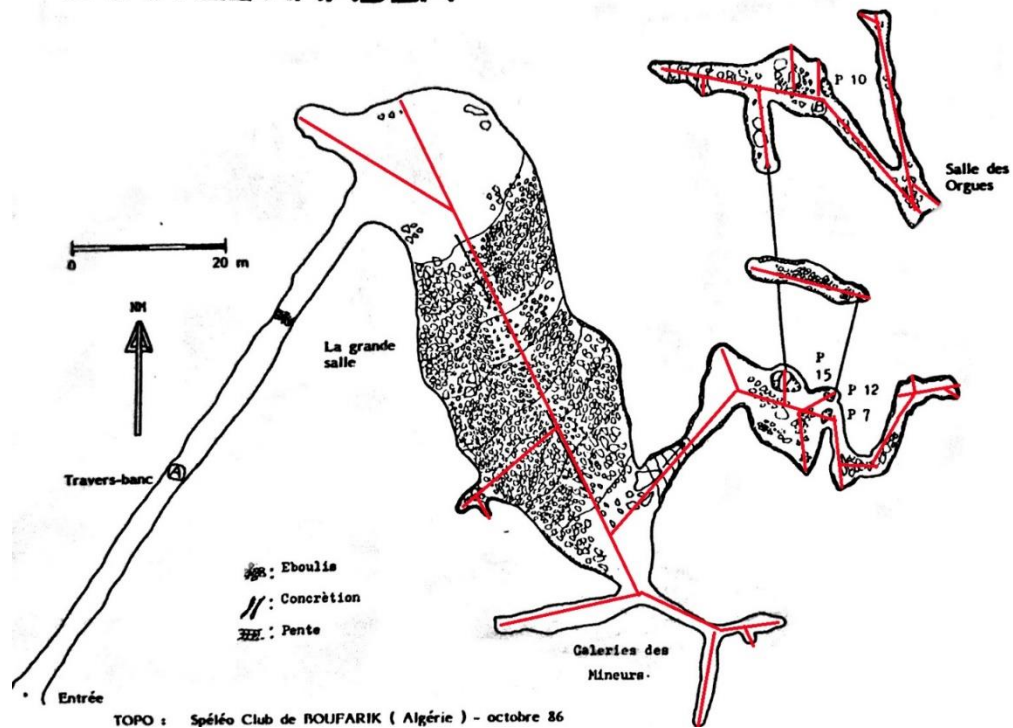


Figure IV-10 Mesure des directions des réseaux karstiques souterrains (Ghar el Khadem).

Tableau IV-2 Résultats des mesures des directions Des galeries karstiques relevées sur le levé topo de Ghar el Khadem.

Classe	Nombre de mesure	Fréquence
0°-20°	1	3,33
20°-40°	2	6,66
40°-60°	2	6,66
60°-80°	4	13,33
80°-100°	4	13,33
100°-120°	4	13,33
120°-140°	2	6,66
140°-160°	3	10
160°-180°	8	26,66

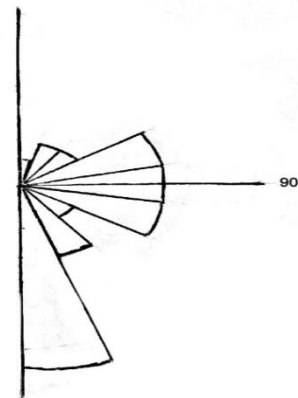


Figure IV-11 Rosace principale directions des réseaux karstiques.

## IV.6 Régime des eaux

A part l'eau évaporée immédiatement après la pluie, toutes les eaux qui tombent sur le massif du Zaccar s'infiltrant vers la profondeur et le ruissèlement n'est constaté qu'en cas de pluies torrentielles (fortes intensité). Or le calcaire de Zaccar est de tous les côtés entouré de schistes imperméables. Les eaux s'accumulent alors au fond de la lentille calcaire et forment une véritable citerne d'eau captée et imprégnant complètement le calcaire (Th. Koulomzine en 1935).

Au nord du Zaccar le contact des schistes et du calcaire est trop haut (cote 900-1100) pour laisser déverser le trop plein de ce bassin fermé. Au contraire, au sud de Zaccar Gherbi, le contact schistes calcaire descend jusqu'à la cote 740 environ en plusieurs endroits. C'est là que se trouvent les sources principales de la région de Miliana. Ces sources sont de simple déversoirs du trop-plein du bassin éponge du Zaccar (Th. Koulomzine en 1935).

## IV.7 Vidange de la nappe

Les exhaures de la nappe s'effectuent par de nombreuses sources qui émergent sur le flanc sud et sud-ouest de la dorsale calcaire au contact de ces derniers avec les schistes du Crétacé. Pour ce qui nous concerne, nous avons établis un inventaire de toutes les sources du Zaccar dont les caractéristiques sont compilées dans le tableau suivant.

**Tableau IV-3 Inventaire des sources.**

N°	ID	SITUATION	NOM	X	Y	Z(m)	Type	Tari	date de tarissement	Débits (l/S)
0	Zac01	AIN TOURKI	AIN EL HAMRA	2°19'40" E	36°20'33" N	620	SOURCE	NON		0,08
1	Zac02	AIN TOURKI	AIN HIRASS	2°18'60" E	36°20'25" N	724	SOURCE	OUI	2021	0
2	Zac03	AIN TOURKI	AIN DEWAR	2°18'21" E	36°19'46" N	685	SOURCE	NON		0,21
3	Zac04	AIN TOURKI	LA CITÉ	2°18'26" E	36°19'49" N	670	SOURCE	NON		0,4
4	Zac05	AIN TOURKI	BOUZABOUDJA	2°18'17" E	36°19'59" N	710	SOURCE	NON		0,12
5	Zac06	AIN TOURKI	AIN EL KBIRA	2°18'3" E	36°20'1" N	780	SOURCE	NON		0,08
6	Zac07	Tizi Ouchir	CANCASSEUR	2°18'7" E	36°21'46" N	844	SOURCE	NON		0,09
7	Zac08	Tizi Ouchir	Tizi Ouchir 2	2°17'47" E	36°21'43" N	855	SOURCE	NON		0,01
8	Zac09	AIN N'SOUR	MOHA EL BACHIR	2°16'43" E	36°21'18" N	928	SOURCE	NON		0,14
9	Zac10	AIN N'SOUR	AIN TIFASSOUR	2°16'3" E	36°21'10" N	912	SOURCE	NON		2
10	Zac11	AIN N'SOUR	AIN EL KADOUS	2°15'43" E	36°21'9" N	950	SOURCE	NON		0,75
11	Zac12	AIN N'SOUR	NESSISSA	2°15'45" E	36°21'4" N	1020	SOURCE	NON		0,6
12	Zac13	AIN N'SOUR	AIN GINI TAZROUT	2°13'55" E	36°21'27" N	998	SOURCE	NON		0,023
13	Zac14	AIN N'SOUR	AIN DHEMAMA	2°15'28" E	36°20'53" N	1070	SOURCE	OUI	2020	0
14	Zac15	AIN N'SOUR	AIN OUED AIDOUS	2°15'59" E	36°20'47" N	1000	SOURCE	NON		0,14
15	Zac16	EL KARBOUS	AIN SEFRA	2°16'12" E	36°20'17" N	952	SOURCE	NON		0,2
16	Zac17	EL KARBOUS	AIN EL BAHRI	2°16'18" E	36°19'59" N	780	SOURCE	NON		0,05
17	Zac18	EL KARBOUS	AIN CHÂTEAU	2°16'40" E	36°19'54" N	877	SOURCE	NON		10
18	Zac19	EL KARBOUS	AIN NAMOUS	2°16'50" E	36°19'34" N	750	SOURCE	OUI	2021	0
19	Zac20	EL KARBOUS	AIN CHABCHABA	2°16'15" E	36°19'35" N	694	SOURCE	OUI	1990	0
20	Zac21	EL KARBOUS	AIN EL KAHWA	2°15'5" E	36°19'22" N	740	SOURCE	OUI	2002	0
21	Zac22	EL HAMMAMA	SOURCE 1	2°15'22" E	36°19'12" N	737	SOURCE	NON		0,3
22	Zac23	EL HAMMAMA	SOURCE 2	2°15'21" E	36°12'12" N	742	SOURCE	OUI	2000	
23	Zac24	EL HAMMAMA	SIDI BOUZIAN	2°15'31" E	36°18'52" N	667	SOURCE	NON		0,8
24	Zac25	MILIANA	LES BELLES SOURCES	2°14'12" E	36°18'36" N	723	SOURCE	OUI	2016	



25	Zac26	MILIANA	ZAZAC	2°13'40" E	36°18'28" N	728	SOURCE	NON		0,02
26	Zac27	MILIANA	AIN EL ANNASSIR	2°13'55" E	36°18'27" N	708	SOURCE	NON		0,05
27	Zac28	MILIANA	AIN BEN ACHOUR	2°14'02" E	36°18'20" N	659	SOURCE	NON		0,03
28	Zac29	ZOUGALAH	AIN EL BERKOUK	2°13'44" E	36°18'01" N	566	SOURCE	NON		7
29	Zac30	ZOUGALAH	TALA OUCHIBA	2°13'28" E	36°17'39" N	496	SOURCE	NON		2
30	Zac31	ZOUGALAH	AIN SOULTAN	2°13'25" E	36°17'37" N	491	SOURCE	NON		
31	Zac32	ZOUGALAH	AIN TABOURDJI	2°13'08" E	36°17'21" N	454	SOURCE	NON		0,33
32	Zac33	ZOUGALAH	AIN SEFERA	2°13'34" E	36°17'23" N	440	SOURCE	NON		0,75
33	Zac34	ZOUGALAH	AIN MERAD	2°13'14" E	36°17'30" N	536	SOURCE	NON		0,45
34	Zac35	ZOUGALAH	AIN SEMINA	2°13'14" E	36°17'55" N	603	SOURCE	NON		5
35	Zac36	ZOUGALAH	AIN EL KAHEWA	2°13'18" E	36°17'43" N	520	SOURCE	NON		0,27
36	Zac37	MILIANA	AIN BAHTOUL 1	2°12'24" E	36°18'13" N	658	SOURCE	NON		0,02
37	Zac38	MILIANA	AIN BAHTOUL 2	2°12'22" E	36°18'9" N	621	SOURCE	NON		0,04
38	Zac39	MILIANA	AIN MANBIR KOURKAH	2°12'55" E	36°18'33" N	811	SOURCE	NON		0,038
39	Zac40	MILIANA	OUED RIHAN 1 lavage	2°13'20" E	36°18'13" N	711	SOURCE	NON		
40	Zac41	MILIANA	OUED RIHAN école des mines	2°12'20" E	36°18'13" N	760	SOURCE	NON		
41	Zac42	MILIANA	OUED RIHAN OUED JDIDE 1	2°12'12" E	36°18'28" N	733	SOURCE	NON		
42	Zac43	MILIANA	OUED RIHAN OUED JDIDE 2	2°12'09" E	36°18'27" N	718	SOURCE	NON		0,016
43	Zac44	MILIANA	OUED RIHAN LA NOVELLE SOURCE	2°12'08" E	36°18'35" N	746	SOURCE	OUI	1986	
44	Zac45	MILIANA	SIDI BOUMSABIH	2°11'45" E	36°18'40" N	820	SOURCE	OUI	2021	0
45	Zac46	BEN ALLAL	AIN EL BARDA	2°30'98" E	36°16'49" N	620	SOURCE	OUI	2021	0
46	Zac47	SIDI MDJAHED	AIN SEFSAF	2°9'7" E	36°20'23" N	806	SOURCE	NON		0,02
47	Zac48	SIDI MDJAHED	AIN HALIMA	2°9'17" E	36°20'14" N	818	SOURCE	NON	2021	0
48	Zac49	MILIANA	AIN EL MIR	2°14'41" E	36°18'20" N	685	SOURCE	OUI	2005	0
49	Zac50	MILIANA	AIN CHERCHALI	2°14'47" E	36°18'46" N	670	SOURCE	NON		0,05
50	Zac51	AIN EL BAREDA	AIN BEN HADJ AMER	2°15'29" E	36°18'37" N	630	SOURCE	NON		0,02
51	Zac52	AIN EL BAREDA	RN	2°16'1" E	36°18'39" N	570	SOURCE	OUI	2006	0
52	Zac53	RN ALG-KM	AIN OUED SOUFAI	2°16'14" E	36°18'2" N	460	SOURCE	NON		0,76

La vidange de la nappe est également soulignée par les différents forages réalisés par la direction des ressources en eau de la wilaya de Ain Defla dont les eaux sont destinées à l'alimentation des populations. Les données recueillies auprès de la subdivision de la Direction des ressources en eau de la Daïra de Miliana, permettent de compiler quelques informations sur les forages captant les calcaires du Zaccar :

- Forage Korkah : Donne un débit de 30 à 70 l/s pour des rabattements allant de 1.8 à 21.0 m ; et un niveau statique de 48.5m.
- Forage de Belles-sources: Semble avoir rencontré le niveau aquifère dans le calcaire jurassique fissuré. Les prélèvements de ce forage montrent les caractéristiques suivantes :
  - Débit : 10 à 42 l/s, pour des rabattements allant de 5.40 à 7.42m et un niveau statique de 24.10 m.
- Forage Hammama-1 : Il a atteint le niveau aquifère dans le calcaire jurassique fissuré. Les prélèvements ont montré les caractéristiques suivantes :
  - Débit : 20 l/s avec les rabattements compris entre 23.58 à 23.66 m. Le niveau statique est de 33.65 m.

- -Forage Hammama-2 : D'une profondeur de 160 m les prélèvements donnent les résultats suivants : un débit égal à 20 l/s et un niveau statique de 31m.
- Forage Prometal : le débit prélevé est petit et égal à 15l/s pour un rabattement de 13.78 m et le niveau statique est de 50.35m. L'aquifère étant constitué de calcaire jurassique grisâtre.
- Forage Boutektoun : A donné un débit de 40 à 45l/s pour des rabattements allant de 5.2 m à 7.4 m; le niveau statique est de 12 m.
- Forage AEP de Miliana (Boutektoun bis) : donne un débit de 24 à 74.3 l/s avec des rabattements compris 1.14 m à 1.60 m ; un niveau statique de 1.10 m. l'aquifère étant constitué de calcaires jurassiques fissurés (Annexe I).

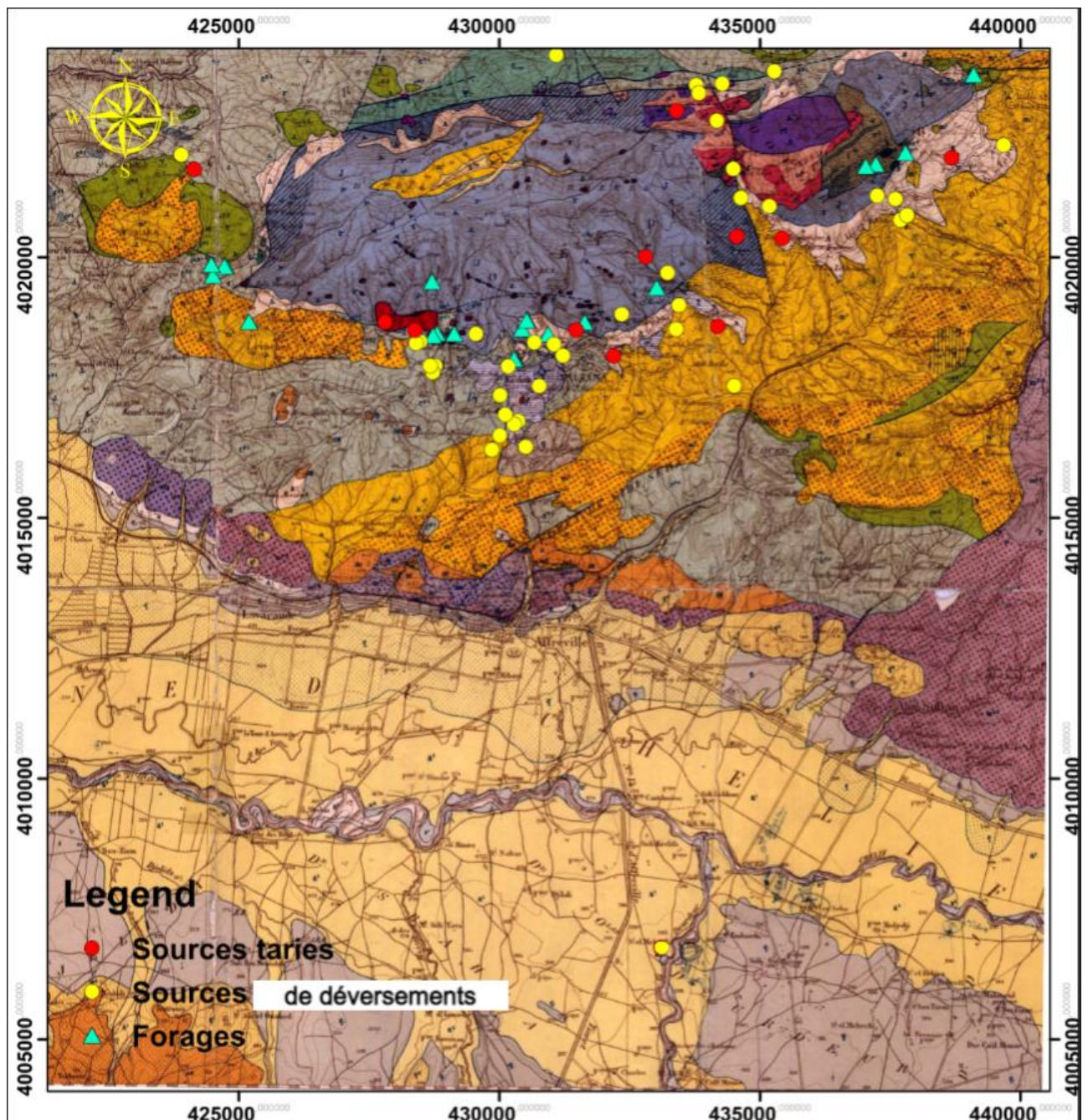


Figure IV-12 Carte d'inventaire sources et forages.

## **IV.8 Conclusion**

L'étude lithologique et tectonique des différentes formations montrent que les seuls niveaux qui présentent un intérêt hydrogéologique sont représentés par les calcaires du Zaccar du jurassique, et l'ensemble gréseux et poudingues du Miocène. Les autres formations jouent le rôle d'écrans imperméables.

Toutefois, seul l'aquifère karstique de la série du jurassique, qui est de loin le plus étendu et le plus alimenté, fera l'objet de notre étude.

L'étude de la fracturation de la zone étudiée par différentes approches a montré que la direction dominante de cette zone est NW-SE. Il apparaît que la Karstification soit orientées principalement dans la même direction. Ces directions déterminent une bonne part des écoulements vers le Sud, favorisant l'écoulement vers cette dernière orientation. C'est d'ailleurs sur le flanc sud du karst du Zaccar qu'apparaissent tous les sources de vidange du système karstique.

*Chapitre V: Hydrodynamique  
souterraine*

## V. HYDRODYNAMIQUE SOUTERRAINE

### V.1 Introduction

Dans cette partie, nous allons déterminer les propriétés hydrodynamiques de l'aquifère karstique du Zaccar. Pour ce faire, et à défaut de données sur les essais de pompage des forages, nous étudierons le tarissement des sources du Zaccar. Les recherches bibliographiques sur les données des différentes sources du massif ont permis de retrouver une chronologie annuelle des débits de la source aux mines de l'oued Rihane, recueillies dans le bulletin du service de la carte géologique de l'Algérie (3<sup>ème</sup> série-fascicule 3) intitulé les sources de Miliana -essai d'hydrogéologie précise établi par Th. Koulomzine en 1935.

Ces données permettent une exploitation pour une application intégrale du modèle de Maillet permettant l'étude de la courbe de tarissement.

Nous prendrons pour une application, l'étude des sources de Miliana étudiée par th.Koulomzine. Pour l'année 1923-1924. Nous disposons d'un cycle de tarissement d'une durée de 135 jours (Juillet 1<sup>er</sup> Quinzaine 1923 au Novembre 2<sup>e</sup> Quinzaine 1923) (Annexe II).


Les réserves régulatrices représentent le volume d'eau gravifique stocké dans l'horizon aquifère au cours d'une recharge de la nappe et libéré ensuite par vidange. Elles sont donc déterminées par infiltration efficace, c'est-à-dire la quantité d'eau, ou fraction de la précipitation qui parvient à la zone de saturation de l'aquifère.

Elles concernent essentiellement les nappes libres et correspondent à la quantité d'eau libérée par le volume d'horizon aquifère délimité de la position maximale et minimale de la surface piézométrique.

### V.2 Situation de la source

#### V.2.1 Situation géographique

La source étudiée est localisée au point de coordonnées géographiques suivantes (X= 2°12'8" E, Y= 36°18'35" N, Z= 746m).

Géographiques			Lambert		UTM Zone 31	
Lat. $\varphi$	36°	18' 35"	X	455 444.41	X	428 377.06
Long. $\lambda$	2°	12' 8"	Y	334 557.51	Y	4 018 308.05
<input checked="" type="radio"/> Est <input type="radio"/> Ouest			 D.M.S.			

#### V.2.2 Situation géologique et condition d'émergence

La source aux mines de l'oued Rihane est l'une des plus importantes sources de Miliana. Elle émerge au niveau d'oued Jdide (galeries de mine à oued Rihane) ; en contact des terrains calcaires du Jurassique (formation perméable) et des terrains schisteux du Crétacé (formation imperméable).



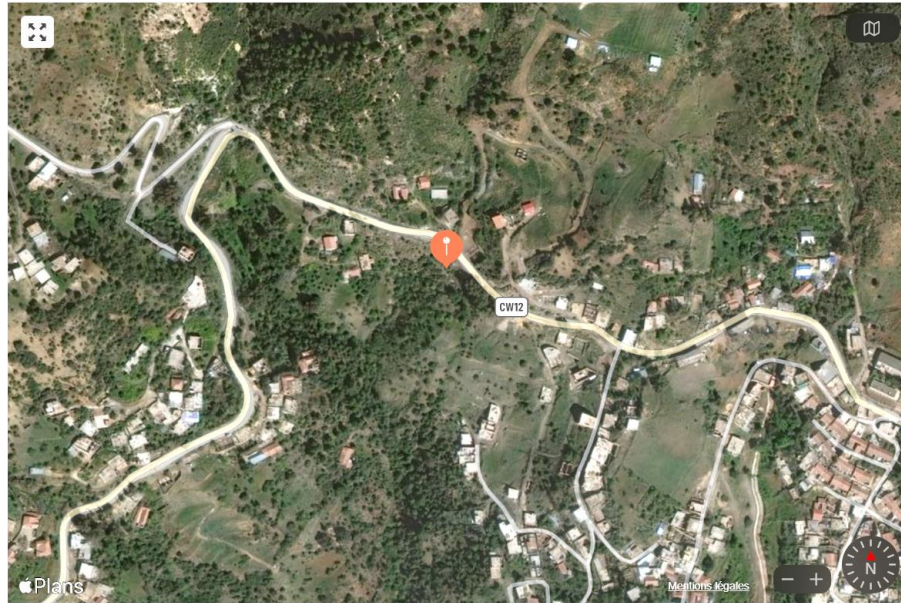


Figure V-1 Vue Satellitaire du lieu d'émergence de source aux mines de l'oued Rihane.

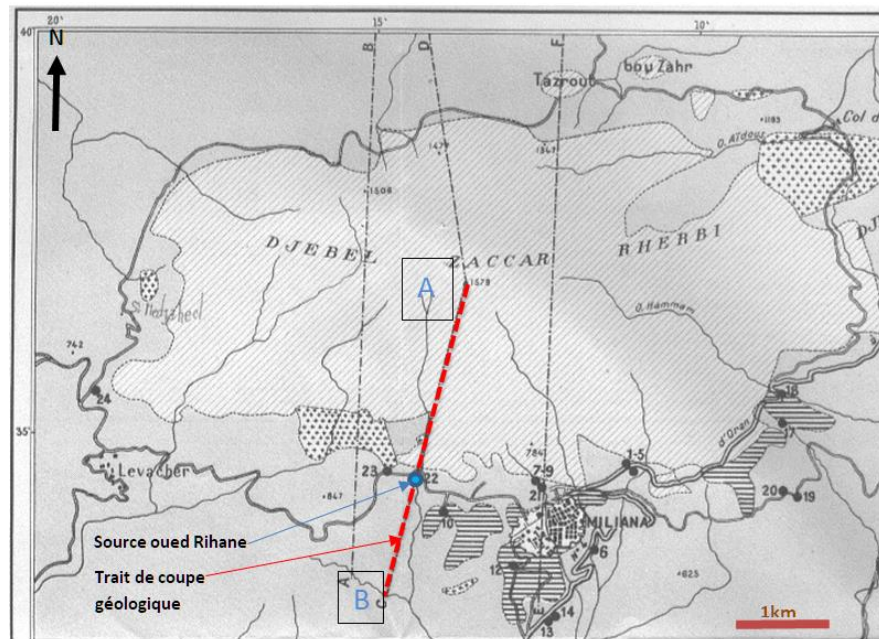


Figure V-2 Extrait de la carte hydrogéologique (th.koulomzine 1935).

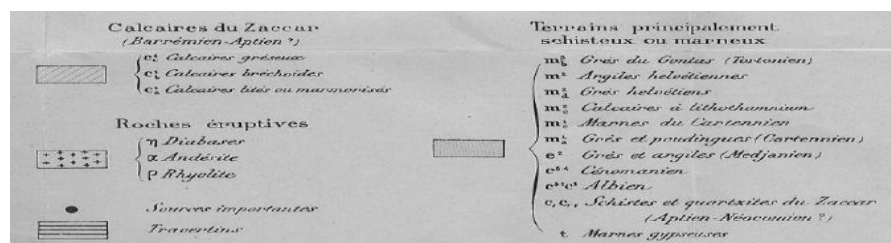
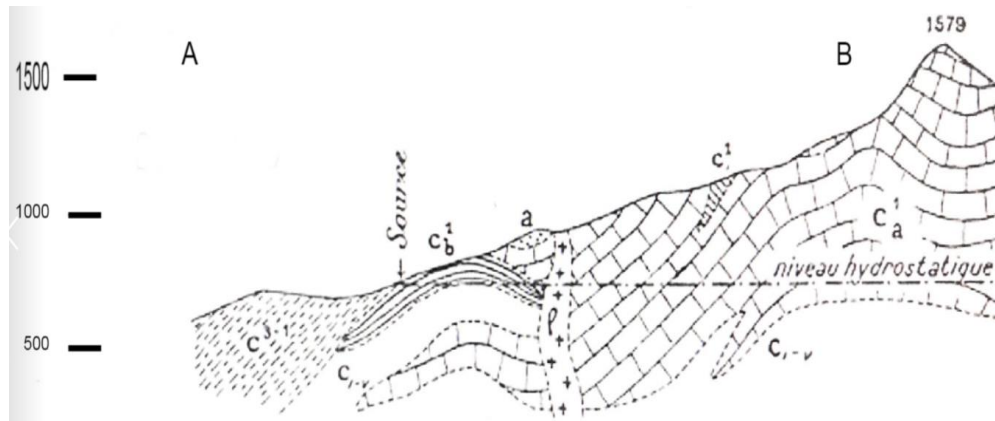


Figure V-3 Légende de la carte géologique.



**Figure V-4** Un extrait d'une coupe géologique de la zone étudiée passant par la source (Th.koulomzine 1935),  $C^1_b$ ) calcaire bérchoïdes ;  $C^{3-1}$ ,  $C^1$ ) Albien,  $C_{1-v}$ ) schistes et quartzites,  $C^1_a$ ) calcaire lités au marmorisés.

### V.3 Investigation sur terrain

Après notre visite sur terrain effectuée le 18/05/2021, des photos ont été prise montrant la situation actuelle de la source aux mines de l'oued Rihane (Figure V-5); en demandant aux citoyens locaux, nous avons confirmé que cette source a tarié dans les années (1986 /1987) après la mise en service des nouveaux forages.



**Figure V-5** Photos de la nouvelle source aux mines de l'oued Rihane; A) entrée de la galerie de mine ; B) émergence de la source ; C) bassin de stockage ; D) tuyau d'alimentation.

Une autre sortie a été faite le 06/07/202 afin de déterminer le dh, en mesurant la hauteur de la source la plus proche (localisée par les coordonnées :  $X= 2^{\circ}12'12''$  E,  $Y= 36^{\circ}18'28''$  N,  $Z= 733m$ ),

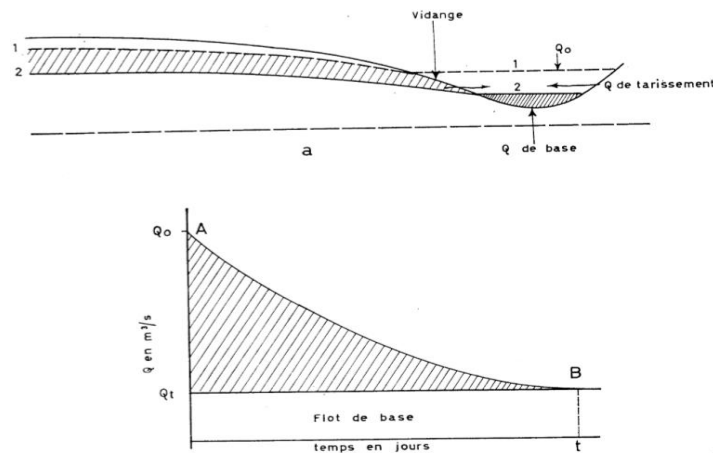


et faire la différence (la hauteur de la source étudiée et la hauteur de la source proche) (Figure V-2).

## V.4 Analyse du régime de tarissement de la source aux mines d'oued Rihane

### V.4.1 Rappel

Un cours d'eau en absence de précipitation, est alimenté par les eaux souterraines correspondant aux réserves régulatrices des horizons aquifères de son bassin versant (Figure V-6). Il en résulte que la courbe de tarissement représente le volume d'eau libéré par les réserves régulatrices pendant la durée du tarissement, c'est-à-dire de la vidange des nappes en régime non-influencé.



**Figure V-6 Schéma de la vidange des horizons aquifères. a) vidange des réserves régulatrices alimentant une cour d'eau ; b) Courbe de tarissement.**

De même pour les sources, la réserve régulatrice, alimente le débit de tarissement. Ainsi les courbes de tarissement des sources en l'absence d'infiltration efficace et des cours d'eau en période de sécheresse, permettent de calculer le volume d'eau des réserves régulatrices des horizons aquifères qui les alimentent.

En régime non influencé, la courbe de tarissement montre une décroissance exponentielle du débit en fonction du temps (Figure V-6):

La formule de base de la courbe de tarissement est celle de Maillet :

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha t} \quad \text{Équation 1}$$

Ou :  $Q_t$ : débit à l'instant  $t$ ,  $m^3/sec$  ;

$Q_0$  : débit au début du tarissement en  $m^3/sec$  ;

$e$  : 2,78, base des logarithmes népériens ;

$\alpha$ : coefficient de tarissement ;

$t$  : temps écoulé depuis l'origine A du tarissement en jours ;

Elle permet de calculer le débit  $Q_t$  en  $m^3/sec$  à l'instant  $t$ , en fonction du débit  $Q_0$  au début du tarissement.

Le volume d'eau  $V$ , exprimé en  $m^3$ , emmagasiné par l'horizon aquifère alimentant le tarissement à l'instant  $t_0$ , donc le volume des réserves régulatrices est donné par la formule de Maillet :



$$V = \int_{t_0}^{\infty} Q_t dt \quad \text{Équation 2}$$

Avec t en secondes.

$$\text{Ou } V = \frac{Q_0}{\alpha} m^3 \quad \text{Équation 3}$$

V : volume d'eau emmagasiné  $m^3$  ;

Elle peut s'écrire, avec les logarithmes décimaux :

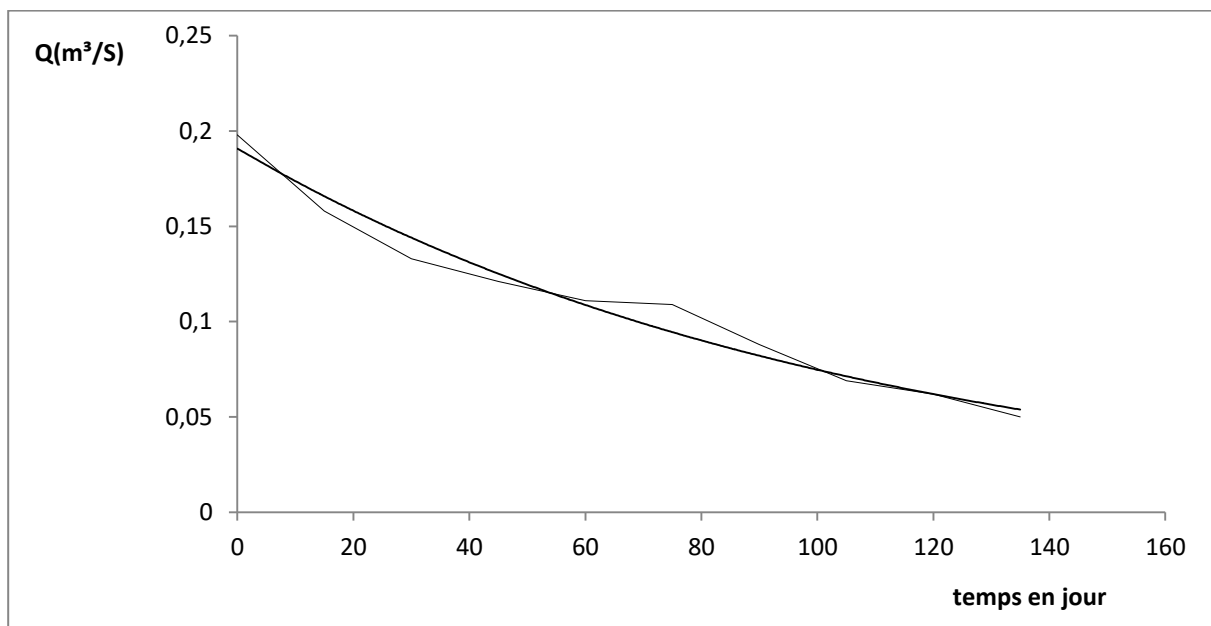
$$\log Q_t = \log Q_0 - (0,4343\alpha)t \quad \text{Équation 4}$$

Les données de la courbe de tarissement, ou courbe des logarithmes des débits en fonction du temps, ont été reportées sur un diagramme semi-logarithmique avec en abscisses les temps t en jours, et en ordonnées les logarithmes des débits journaliers en  $m^3/sec$ . Nous obtenons ainsi la droite représentative de la formule de la courbe de tarissement (Équation 3), l'ordonnée à l'origine donne la valeur de  $Q_0$ .

Pour calculer le coefficient de tarissement, on détermine par le graphique le temps t en jours pendant lequel s'est écoulé un débit  $Q_t$  en  $m^3/sec$ , et on introduit cette valeur numérique dans la formule logarithmique (Équation 4).

Nous signalons que cette méthode permet de calculer avec précision le débit  $Q_0$ , donc le point d'origine de la courbe de tarissement de l'hydrogramme.

L'application a été faite pour la source des mines d'oued Rihane jaugée par th.Koulomzine pendant l'année hydrologique 1923-1924. Nous disposons ainsi d'un cycle de tarissement d'une durée de 135 jours (Juillet 1er Quinzaine 1923 au Novembre 2<sup>ème</sup> Quinzaine 1923) (Figure V-7).



**Figure V-7 Courbe de tarissement de La nouvelle source aux mines de l'oued Rihane Miliana (1923-1924).**

D'après les résultats de la courbe et la droite représentative du tarissement (Figure V-8), nous avons rassemblé dans le Tableau (Tableau V-1) les différentes valeurs de  $\alpha$  (coefficient de tarissement) et de  $v$  (coefficient ou capacité d'emmagasinement) pour ce cycle.

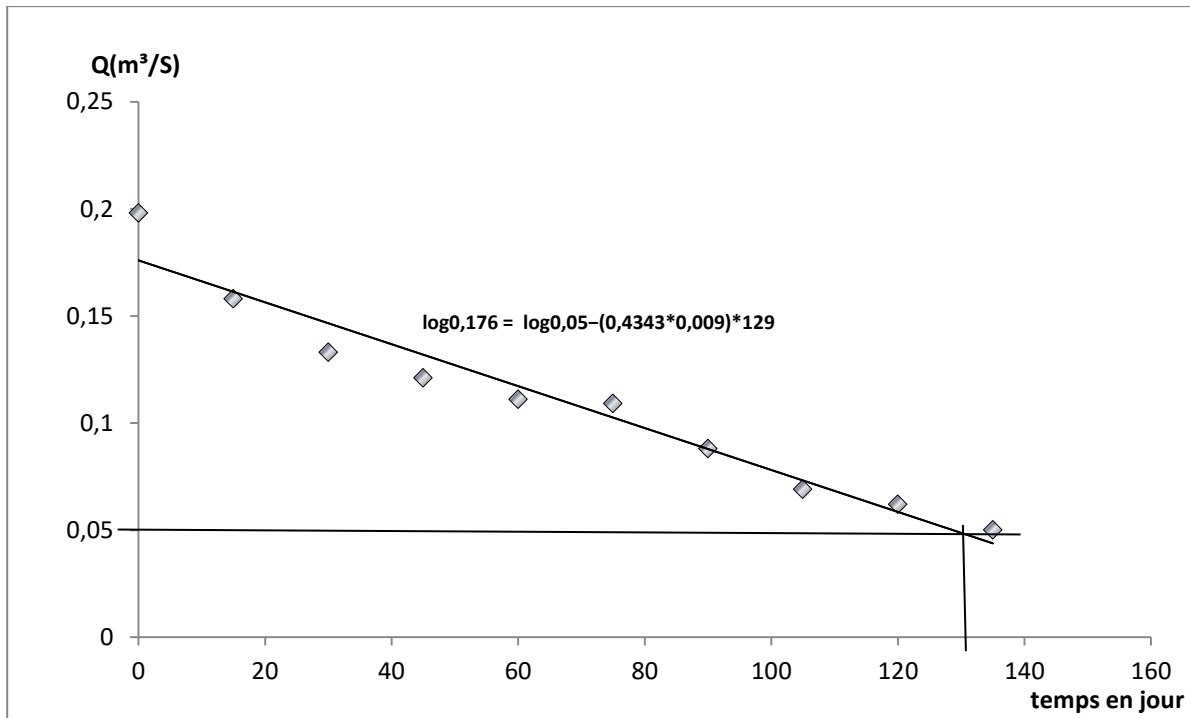


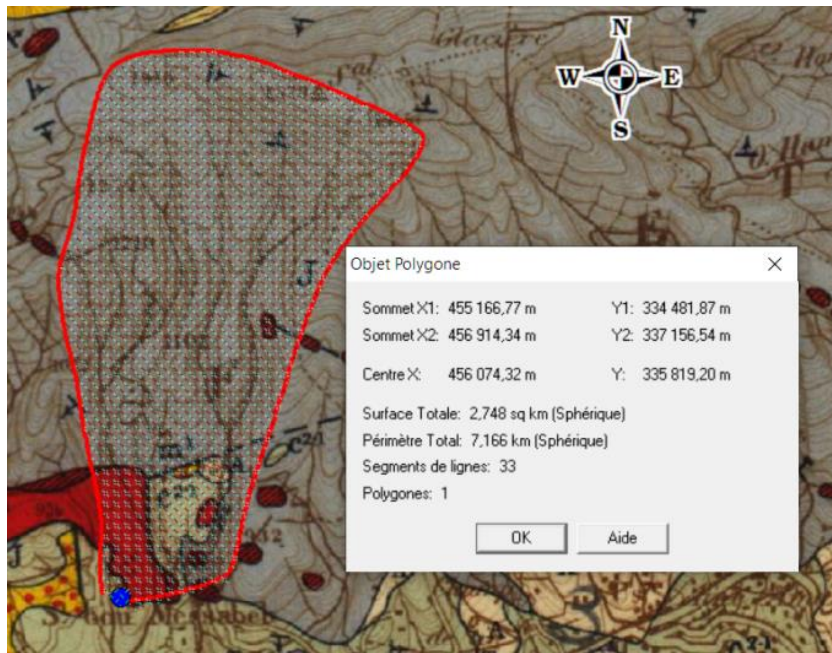
Figure V-8 Droite représentative du tarissement de la nouvelle source aux mines l'oued Rihane.

Tableau V-1 Les résultats des analyses du tarissement de La source aux mines de l'oued Rihane Miliana (1923-1924).

Cycle de tarissement	$Q_0$ (m <sup>3</sup> /sec)	$Q_t$ (m <sup>3</sup> /sec)	T(jours)	$\alpha$	$V = \frac{Q_0}{\alpha}$ m <sup>3</sup>
Juillet 1 <sup>er</sup> Quinzaine 1923 au Novembre 2 <sup>eme</sup> Quinzaine 1923)	0,176	0,05	129	0,009	1,6.10 <sup>6</sup>

### V.5 Analyse de l'indice de tarissement et coefficient d'emménagement

Pour calculer l'indice d'emménagement dW (improprement dit indice de rétention); on doit déterminer une superficie A en m<sup>2</sup>, correspondant au sous bassin versant hydrogéologique ou impluvium qui alimente la source (Figure V-9).



**Figure V-9 Impluvium supposé alimentant la nouvelle source aux mines de l’oued Rihane.**

La capacité d’emmagasinement  $V$ , improprement appelée indice de rétention d’un bassin versant, est obtenue par l’une des deux formules :

$$V = \frac{Q_0}{\alpha} m^3 \quad \text{Équation 5}$$

$$V = \frac{Q_0}{(1+\alpha)t} m^3 \quad \text{Équation 6}$$

Si  $A$  est la superficie de l’impluvium en  $m^2$ , l’indice d’emmagasinement  $dW$  (improprement indice de rétention) est le volume des réserves régulatrices stockées à l’instant  $t_0$  alimentant les sources en période de décrue est donné par l’équation (5) et (6).

Nous pouvons alors calculer l’indice d’emmagasinement.

$$dW = \frac{V}{A} 1000 = \text{mm} \quad \text{Équation 7}$$

$$dW = \frac{Q_0}{A\alpha} 1000 = \text{mm} \quad \text{Équation 8}$$

Nous savons que l’indice d’emmagasinement est donné par l’expression suivante :

$$dW = dh S \quad \text{Équation 9}$$

$dh$  : Étant l’amplitude moyenne en mètre de la variation du niveau piézométrique au cours d’une vidange de l’horizon aquifère pendant le temps  $t$  ;

$S$  : Le coefficient d’emmagasinement moyen de cet horizon aquifère.

Connaissant  $dh$ , par l’étude des niveaux piézométriques, il est possible de déterminer  $S$  :

$$S = \frac{dW}{dh} \quad \text{Équation 10}$$

D’après les équations (5), (7), (8), (9), et(10). Nous avons rassemblé dans le tableau (Tableau V-2) les différentes valeurs de  $dW$  et de  $S$  pour le cycle de tarissement.

**Tableau V-2 Les résultats des analyses du tarissement de La nouvelle source aux mines de l'oued Rihane Miliana (1923-1924).**

Cycle de tarissement	$Q_0$ (m <sup>3</sup> /sec)	A (m <sup>2</sup> )	$\alpha$	dW (mm)	dh	S
Juillet 1 <sup>ère</sup> Quinzaine 1923 au Novembre 2 <sup>ème</sup> Quinzaine 1923)	0,176 x86400	2,748x10 <sup>6</sup>	0,009	568,113	746-733=13m	0,0043

## V.6 Conclusion

Ces résultats permettent de préciser le comportement hydraulique de l'aquifère drainé par la source aux mines de l'oued Rihane et traduisent la vitesse d'écoulements des eaux souterraines.

Pour le cycle de tarissement, la courbe  $\ln Q = f(t)_t$  se compose d'un cycle avec  $Q_0 = 0,176$  et  $\alpha = 0,009$ , correspond à la décrue rapide de l'aquifère, il représente les débits respectivement évacués par les grands conduits karstiques et par les fissures de grande dimension.

En période de crue, les débits au niveau du karst noyé augmentent rapidement au point où les ouvertures de l'exutoire, pourtant très larges ne permettent pas l'évacuation des eaux qui voient ainsi leur charge hydraulique, augmentés progressivement.

La courbe de tarissement de la saison sèche (Cycle de tarissement) montre des irrégularités, les pics observés montrent une augmentation instantanée des débits, sachant qu'il n'a plu durant cette période que 33,73mm, cette augmentation est due probablement aux apports d'eaux de condensation interne. La vitesse des écoulements est relativement lente, et la valeur du coefficient de tarissement est égale à 0,009.

Les eaux débitées par la source correspondent à la circulation d'eaux dans les fissures et les pores qui ne sont pas négligeables dans les bancs carbonatés, tranche importante de l'aquifère.

Le volume traduit nettement la prédominance des fissures et microfissures et des pores dans l'alimentation de la résurgence de la source étudiée, et le fonctionnement hydrodynamique du système karstique de cette source résulte de l'arrangement des vides de tailles différentes.

Le volume traduit nettement la prédominance des fissures et microfissures et des pores dans l'alimentation de la résurgence de la source étudiée, et le fonctionnement hydrodynamique du système karstique de cette source résulte de l'arrangement des vides de tailles différentes.

# *Chapitre VI: Hydrochimie*

---

## **VI. HYDROCHIMIE**

### **VI.1 Introduction**

L'hydrogéologie s'intéresse aux propriétés physico-chimiques des eaux souterraines et superficielles et constitue une discipline appelée « hydrochimie ». C'est un outil ou un moyen d'investigation de l'hydrogéologie, comme toutes les autres méthodes ou outils (Géophysique, piézométrie, géologie...etc.) qui permet par la connaissance de certains paramètres physicochimiques et isotopiques de compléter les connaissances acquises par les autres moyens d'investigation pour connaître le comportement hydrodynamique des eaux souterraines. L'hydrochimie permet en outre de résoudre quelques problèmes liés à l'origine des eaux souterraines, à la distinction des aquifères et leur nature lithologique, d'identifier les zones d'alimentation des aquifères, les relations entre les différents aquifères et le sens des écoulements souterrains...etc.

Dans le cadre de ce projet de fin d'étude et en collaboration avec le Centre de Recherche Nucléaire d'Alger « CRNA » nous avons effectué une mission de terrain d'une semaine durant le mois de juin 2021. L'objectif de la mission a porté sur l'inventaire et les prélèvements d'échantillons d'eau de quelques sources pour des analyses.

Ainsi plus d'une vingtaine de sources ont fait l'objet de mesures in-situ et prélèvement pour des analyses au laboratoire.

L'objectif attendu de l'exploitation des données recueillies sur le terrain et au laboratoire est :

- De connaître le faciès chimique et les caractéristiques physico-chimiques des eaux ;
- D'actualiser les données physico-chimiques des eaux souterraines de la région ;
- De déterminer l'origine et les zones de circulation des eaux ;
- De confirmer ou non les hypothèses émises dans les chapitres précédents ;
- De préciser le fonctionnement hydrogéologique de l'aquifère karstique de djebel Zaccar, la distinction des aquifères et leur nature lithologique.

## VI.2 Situation des points de prélèvement

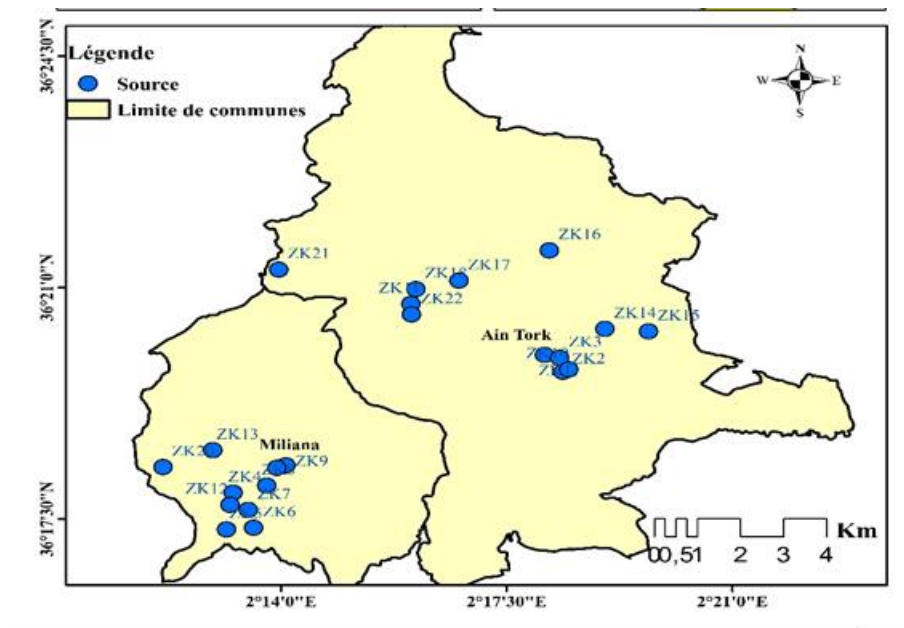


Figure VI-1 carte situation des points de prélèvement.

## VI.3 Méthodologie

### VI.3.1 Mesure et prélèvement sur le terrain

Lors de cette campagne, nous avons procédé à l'échantillonnage d'une douzaine de points d'eau. Sur le terrain les paramètres physico-chimiques tels que : Le pH, la température, la conductivité, la salinité totale ont été mesurés à l'aide d'une sonde WTW.

L'intérêt de telles mesures in situ réside dans le fait que certains paramètres (T, pH, O<sub>2</sub>, conductivité...) et composés (bicarbonate) sont instables et donc leur concentration varie au cours du transport et du stockage. Dans ce sens et afin de limiter les risques de précipitation de minéraux, nous avons acidifié un des échantillons pour chaque point d'eau prélevé.

Bien que l'alcalinité ne soit pas intrinsèquement un paramètre physico-chimique de l'eau, nous la traiterons en tant que tel par commodité, étant donné que la mesure se fait toujours sur le terrain au même titre que les autres paramètres cités ci-dessus. L'alcalinité (charge en carbonates dissous) a été déterminée in-situ par titrage à l'aide de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1.6N après avoir ajouté une dosette de phénolphtaléine, indicateur de virage, et le « vert de Bromocrésol ». L'approche adoptée lors de l'échantillonnage répond à une démarche logique qui veut que l'on ait le maximum d'informations sur l'échantillon in-situ.

Pour chaque point il a été prélevé systématiquement :

1. Un flacon de 30ml avec filtration de l'eau sur filtre de 0.45µm pour déterminer la composante en <sup>18</sup>O et <sup>2</sup>H, cette dernière nous permettent de préciser si les eaux ont, au cours de la précipitation, subi un caractère évaporatoire ou échangé avec la matrice.

On devra en outre être en mesure de préciser les altitudes de recharge de chaque aquifère, en comparant les données en <sup>18</sup>O et <sup>2</sup>H des eaux souterraines avec celles des eaux de pluie.

2. Deux flacons de 500ml ont été prélevés avec acidification à 2% avec de l'Acide Nitrique ( $\text{HNO}_3$ ) suprapur pour analyses des ions majeurs et quelques éléments en traces à l'aide d'un chromatographe ionique et un spectromètre d'absorption atomique.

L'inventaire des points de mesure et de prélèvement est résumé dans le tableau ci-dessous et projeté sur une image satellitaire de Google Earth (Figure VI-2).

**Tableau VI-1 Coordonnées géographiques des points d'eau échantillonnés.**

N°	ID	SITUATION	NOM	X	Y	Z	TYPE	ACCÈS
1	ZK01	AIN TOURKI	AIN EL KEBIRA	2°18'3" E	36°20'1" N	780	SOURCE	PUBLIC
2	ZK02	AIN TOURKI	SIDI BOUZABOUDJ 2 DEWAR	2°18'21" E	36°19'46" N	685	SOURCE	PUBLIC
3	ZK03	AIN TOURKI	BOUZABOUDJA	2°18'17" E	36°19'59" N	710	SOURCE	PUBLIC
4	ZK04	ZOUGALAH	AIN SEMINA	2°13'14" E	36°17'55" N	603	SOURCE	PRIVÉ
5	ZK05	ZOUGALAH	AIN TABOURDJI	2°13'08" E	36°17'21" N	454	SOURCE	PUBLIC
6	ZK06	ZOUGALAH	AIN SEFERA	2°13'34" E	36°17'23" N	440	SOURCE	PUBLIC
7	ZK07	ZOUGALAH	TALA OUCHIBA	2°13'28" E	36°17'39" N	496	SOURCE	PUBLIC
8	ZK08	ZOUGALAH	AIN EL BARKOUK	2°13'44" E	36°18'01" N	566	SOURCE	PUBLIC
9	ZK09	MILIANA	AIN BEN ACHOUR	2°14'02" E	36°18'20" N	659	SOURCE	PUBLIC
10	ZK10	AIN TOURKI	LA CITE	2°18'26" E	36°19'49" N	670	SOURCE	PUBLIC
11	ZK11	AIN NSOUR	AIN OUED AIDOUS	2°15'59" E	36°20'47" N	1003	SOURCE	PUBLIC
12	ZK12	ZOUGALAH	AIN MERAD	2°13'14" E	36°17'30" N	536	SOURCE	PUBLIC
13	ZK13	MILIANA	AIN MANBIR KOURKAH	2°12'55" E	36°18'33" N	811	SOURCE	PUBLIC
14	ZK14	AIN TOURKI	AIN EL HAMERA	2°19'40" E	36°20'33" N	620	SOURCE	PUBLIC
15	ZK15	Tizi Ouchir	Tizi Ouchir 1	2°18'7" E	36°21'46" N	844	SOURCE	PUBLIC
16	ZK16	AIN NSOUR	MOHA EL BACHIR	2°16'43" E	36°21'18" N	928	SOURCE	PUBLIC
17	ZK17	AIN NSOUR	AIN TIFASOUR	2°16'3" E	36°21'10" N	912	SOURCE	PUBLIC
18	ZK18	MILIANA	AIN EL ANNASSIR	2°13'55" E	36°18'27" N	708	SOURCE	PUBLIC
19	ZK19	MILIANA	OUED RIHAN 1	2°13'20" E	36°18'13" N	711	SOURCE	PUBLIC
20	ZK20	TAZROUT	AIN GINI	2°13'55" E	36°21'27" N	998	SOURCE	PUBLIC
21	ZK21	MILIANA	OUED RIHAN SOURCE OUED JDIDE 2	2°12'09" E	36°18'27" N	718	SOURCE	PUBLIC



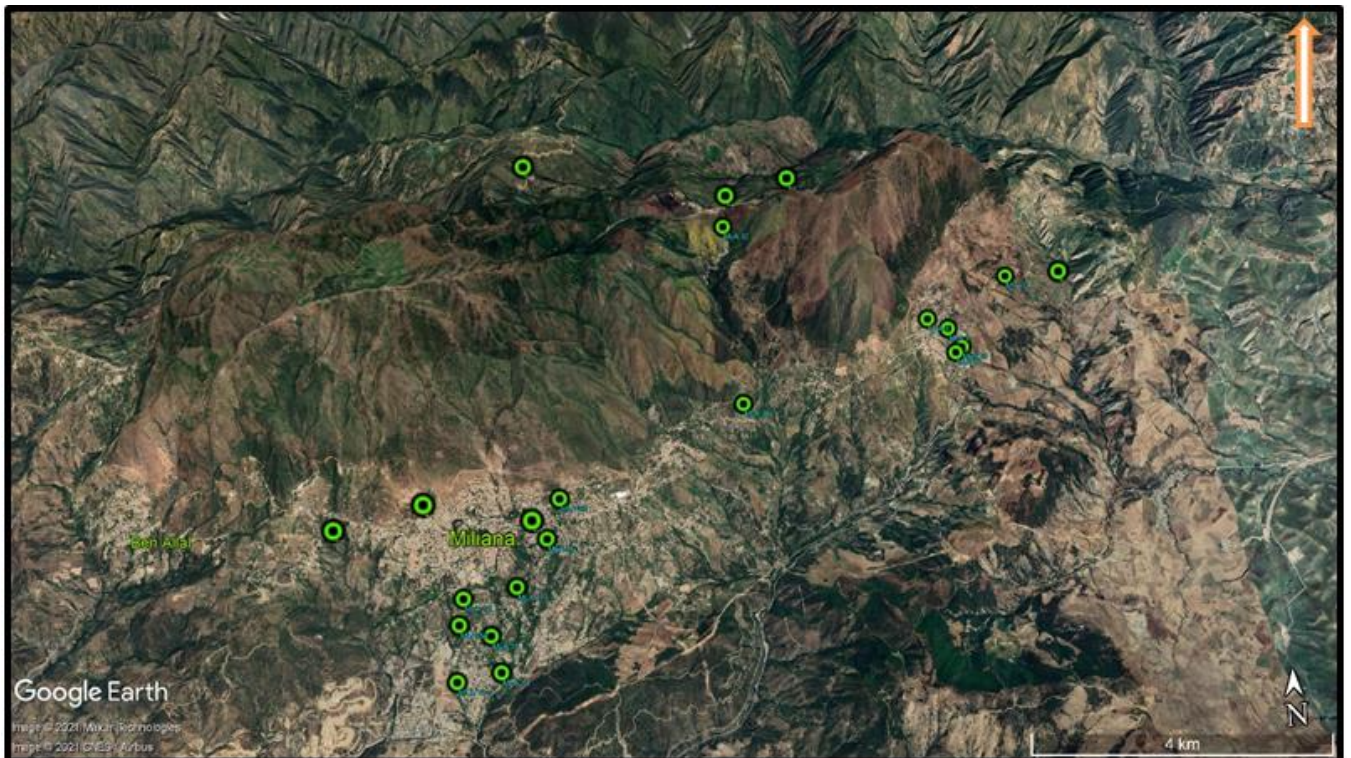


Figure VI-2 Points de mesure et de prélèvement projetés sur une image satellitaire de Google Earth.

### VI.3.2 Analyses au laboratoire

Les échantillons prélevés ont fait l'objet d'une analyse chimique complète avec dosage des éléments majeurs (calcium  $\text{Ca}^{2+}$ , magnésium  $\text{Mg}^{2+}$ , sodium  $\text{Na}^+$ , potassium  $\text{K}^+$ , chlore  $\text{Cl}^-$ , nitrate  $\text{NO}_3^-$ , sulfate  $\text{SO}_4^{2-}$ ) et des éléments en trace (Pb, Zn, Sr et Fe).

Les analyses chimiques, cations et anions, ont été effectuées et confirmées par deux méthodes, la première, méthode classique qui est la titration et la deuxième à l'aide d'un chromatographe ionique Dionex120 à colonne rapide au laboratoire hydrochimique du CRNA. Des éléments trace ont été déterminés à l'aide d'un spectromètre d'absorption atomique.

Nous avons également été associés par le personnel du CRNA aux différentes étapes de réalisation de ces analyses qui se sont déroulés durant le mois de juillet 2021 en utilisant les procédés et matériels suivants :

#### VI.3.2.1 La chromatographie ionique

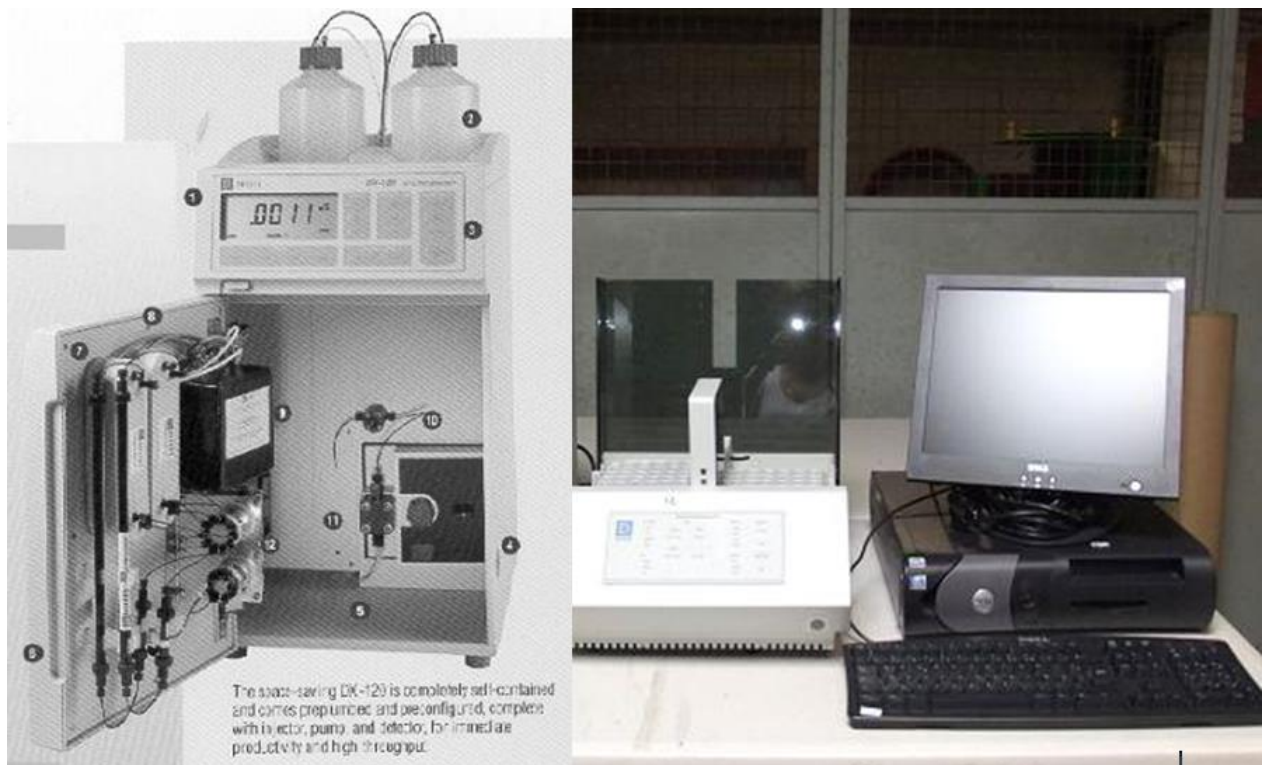
La chromatographie ionique est une technique qui permet l'analyse qualitative (par séparation des espèces présentes), et quantitative des espèces ioniques présentes dans un échantillon liquide dépourvu de matière organique.

Le chromatographe ionique permet de détecter et de quantifier une grande variété d'anions. Cette technique est fondée sur des processus d'échange entre une phase liquide (éluant et échantillon) et une phase solide (résine échangeuse d'ions). Un échantillon liquide est injecté dans l'appareil et ensuite poussé à l'aide d'une pompe dans une colonne faite d'une résine échangeuse d'ions. L'échantillon est mélangé à un éluant, c'est-à-dire, une solution facilitant la séparation des différents ions contenus dans l'échantillon à l'intérieur de la colonne.

Les ions contenus dans l'échantillon sont séparés parce qu'ils se déplacent à différentes vitesses dans la colonne, le tout dépendant de leur affinité pour la résine échangeuse d'ions. La séparation des ions est fonction de leur charge et de leur taille. Plus les ions sont petits, moins ils seront retenus. Plus les ions sont chargés, plus ils seront retenus ( $\text{HPO}_4^{-2} > \text{NO}_3^-$ ).

L'éluant et l'échantillon passent à travers un suppresseur, un module permettant d'augmenter la sensibilité du détecteur en soustrayant la conductivité électrique spécifique à l'éluant et en diminuant les bruits de fond.

Un détecteur mesure la conductivité électrique de chaque ion séparé contenu dans l'échantillon et un signal est envoyé à l'ordinateur. Les ions des solutions électrolytiques ont des conductivités électriques spécifiques qui peuvent être quantifiées. Le dosage est possible en comparant le signal obtenu pour un échantillon avec le signal d'une solution de concentration connue. L'identification des ions est possible grâce à leur temps de rétention particulier, obtenus préalablement lors de la préparation des courbes de calibration tracées à partir de solutions témoins.



**Figure VI-3 Photo d'un chromatographe ionique DIONEX 120.**

### VI.3.2.2 Spectroscopie d'absorption atomique

La spectroscopie d'absorption atomique (Atomic absorption spectroscopy) en anglais ou AAS) est une technique servant à déterminer la concentration de certains métaux dans un échantillon. Elle fait partie des méthodes classiques d'analyse en chimie analytique. Basée sur des méthodes optiques, elle conduit aussi bien à des résultats qualitatifs qu'à des données quantitatives.

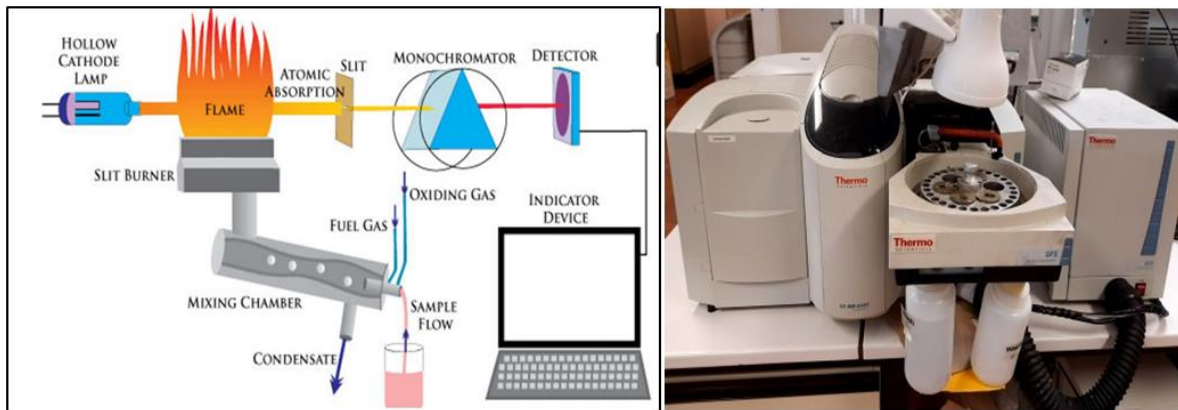


Figure VI-4 Schéma d'un spectrophotomètre d'absorption atomique de flamme.

## VI.4 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

### VI.4.1 Mesures in situ

Les résultats de mesures in situ sont montrés dans le tableau suivant :

Tableau VI-2 Paramètres physico-chimiques mesurés In Situ.

N°	ID	NOM	débit (L/S)	pH	Cond (µs/cm)	T (°C)	TDS (mg/l)	ALC (mg/l)
1	ZK01	AIN EL KEBIRA	0,08	8,07	571	20,3	289	280
2	ZK02	SIDI BOUZABOUDJ 2 DEWAR	0,21	7,43	766	23,8	390	195
3	ZK03	BOUZABOUDJA	0,12	7,18	784	18,4	394	190
4	ZK04	AIN SEMINA	5	7,36	791	18,5	245	
5	ZK05	AIN TABOURDJI	0,33	7,42	1203	18,2	594	400
6	ZK06	AIN SEFERA	0,75	7,17	1219	17,3	602	395
7	ZK07	TALA OUCHIBA	2	7,46	1004	18,5	491	385
8	ZK08	AIN EL BARKOUK	3	7,48	917	18,6	464	368
9	ZK09	AIN BEN ACHOUR	0,03	7,74	1024	18,7	603	285
10	ZK10	LA CITE	0,4	7,26	1035	18	517	335
11	ZK11	AIN OUED AIDOUS	0,14	7,3	619	17,1	313	180
12	ZK12	AIN MERAD	0,45	7,29	973	17,9	494	300
13	ZK13	AIN MANBIR KOURKAH	0,038	7,28	833	21	416	268
14	ZK14	AIN EL HAMERA	0,08	7,6	798	18,3	434	190
15	ZK15	Tizi Ouchir 1	0,09	7,9	355	17	169	77
16	ZK16	MOHA EL BACHIR	0,14	7,3	262	14,5	126	76
17	ZK17	AIN TIFASOUR	2	7,6	981	14,7	480	425
18	ZK18	AIN EL ANNASSIR	0,05	7,38	1026	21,1	501	285
19	ZK19	OUED RIHAN 1		7,62	701	19,5	356	252
20	ZK20	AIN GINI	0,023	8,14	608	19,1		
21	ZK21	OUED RIHAN SOURCE OUED JDIDE 2	0,016	8,14	950	21,9	500	340





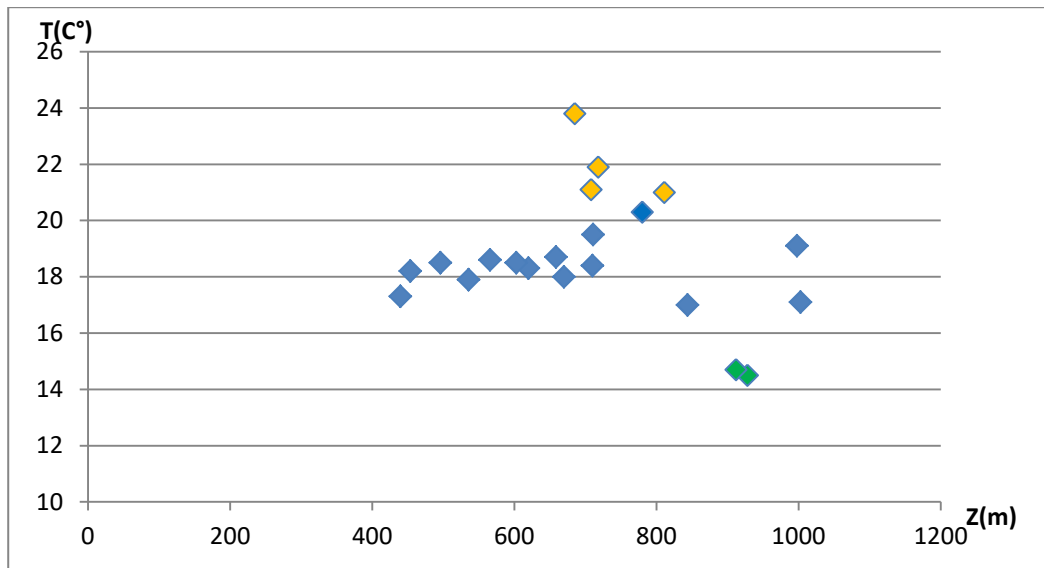
**Figure VI-5 Quelques photos de la campagne de terrain.**

#### **VI.4.1.1 Température**

La température est un paramètre important puisqu'il permet parfois d'indiquer, la profondeur de circulation des eaux et de révéler des zones de mélange d'eaux de différentes profondeurs. De plus, en mettant en évidence des contrastes de température de l'eau sur un milieu, il est possible d'obtenir sur l'origine et l'écoulement de l'eau.

L'examen de la figure (Figure 6) montre la variation de la température en fonction des altitudes d'émergence, trois groupes d'eaux ont été mis en évidence :

- Des eaux à faibles température inférieure de  $16^{\circ}\text{C}$  . Elles concernent les eaux avec une altitude d'émergence avoisinant ou dépassant les 1000m.
- Des eaux avec une température comprise entre  $16^{\circ}\text{C}$  et  $21^{\circ}\text{C}$  , pour ces derniers, les  $T^{\circ}$  observées sont en conformité avec la température moyenne de l'air de la région qui est de l'ordre de  $18^{\circ}\text{C}$ .
- Des eaux à température supérieure à  $21^{\circ}\text{C}$ . Elles concernent les eaux des sources (ZK 02, 13, 18 ,21). Ces  $T^{\circ}$  révèlent des circulations plus profondes dans l'aquifère karstique.



**Figure VI-6 Températures des eaux en fonction des altitudes d'émergence.**

#### VI.4.1.2 Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH (potentiel Hydrogène) permet d'évaluer la concentration de l'ion hydrogène dans une solution. Cette grandeur chimique mesure le caractère acide ou basique d'une solution aqueuse. Plus la solution est acide, plus la valeur du pH est faible et inversement.

Les mesures du pH sur les échantillons, ont été effectuées sur terrain. Les valeurs obtenues varient de 7,17 à 8,14, indiquant des eaux généralement neutres à légèrement basiques.

**Tableau VI-3 Classification des eaux d'après leur pH.**

pH < 5	Acidité → présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles
pH = 7	pH neutre
7 < pH < 8	Neutralité approchée → majorité des eaux de surface
5,5 < pH < 8	Majorité des eaux souterraines
pH = 8	Alcalinité forte, évaporation intense

#### VI.4.1.3 La conductivité

La conductivité permet d'évaluer, de façon globale, la teneur en sels dissous dans l'eau. Les valeurs de la conductivité obtenues pour les eaux souterraines du système karstique du Zaccar varient entre 262 et 1219  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . La plage de variation est importante et cela est régi par plusieurs facteurs :

- ✓ Échange eaux-encaissant ;
- ✓ Temps de séjour ;
- ✓ Dissolution des minéraux due à l'augmentation de la température avec la profondeur ;
- ✓ Echanges avec les nappes adjacentes ;

Lors de notre campagne de terrain nous avons remarqué que les eaux caractérisées par une faible conductivité (<300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) émergent sur des affleurements schisteux et sont marquées par un

faible débit ce qui est logique pour des suintements sur des horizons schisteux, et la minéralisation de ces eaux est expliqué par le faible échange entre la matrice et l'eau, contrairement aux eaux qui circule dans des milieux carbonatés, et qui sont marqués par une conductivité plus élevée allant jusqu'à 1219  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

#### VI.4.1.4 Total des solides dissous TDS

TDS signifie total des solides dissous et représente la concentration totale des substances dissoutes dans l'eau. Le TDS est composé de sels inorganiques (ions) et de quelques matières organiques. Les cations sont des ions chargés positivement et les anions sont des ions chargés négativement. Le calcium, le magnésium, le potassium et le sodium sont tous des cations, tandis que les carbonates, nitrates, bicarbonates, chlorures et sulfates sont des anions.

Les valeurs obtenues (Tab 02), elles varient entre 126 et 602 mg/l. La valeur la plus faible 126 mg/l a été mesurée au niveau d'une source perchée à plus de 1000m d'altitude (temps de contact très faible) et issus d'une circulation en milieux schisteux.

La valeur la plus élevée est de 602 mg/l, mesuré au niveau de la source de Ain Seffra qui se trouve le plus en aval de notre système karstique c.-à-d. que les eaux ont eu le temps de circuler sur un long parcours souterrain et par conséquent une charge minérale plus importante.

Le tableau ci-dessous nous permet de classer les eaux du Zaccar généralement dans la case de qualité passable à faible.

**Tableau VI-4 La quantité de TDS préférable dans l'eau :(OMS).**

Niveau de TDS mg/l	Evaluation
Moins de 300	Excellent
300-600	Bien
600-900	Passable
900-1200	Faible
Plus de 1200	Inacceptable
Gout de l'eau avec différents concentrations de TDS	

#### VI.4.1.5 Le titre alcalimétrique complet (TAC=ALC)

Le TAC indique la teneur d'une eau en carbonate, en bicarbonates et en  $\text{OH}^-$  due aux hydrates. Il est exprimé soit en meq/l soit en mg/l soit en degré français ( $^{\circ}\text{f}$ ). Ce titre se mesure en degrés français ( $^{\circ}\text{f}$ ) : 1 $^{\circ}\text{f}$  équivaut à 3,4 mg/L d'ion hydroxyde ( $\text{HO}^-$ ) ou à 6 mg/L d'ion carbonate, ou encore à 12,2 mg/L d'ion hydrogénocarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ).

Au niveau du Zaccar, le TAC varie de 67 à 425 mg/l.

L'intérêt de l'alcalimétrie et la dureté des eaux en hydrogéologie, outre la connaissance de la potabilité des eaux, réside dans la connaissance de la saturation des eaux en carbonates, hydrogénocarbonates et calcium, magnésium.

### VI.4.1.6 Analyse au laboratoire

Parmi les sources d'eau prélevées lors de la campagne de terrain, une partie d'entre eux a fait l'objet d'analyse hydrochimique au niveau du laboratoire d'hydrochimie du Centre de Recherche Nucléaire d'Alger, l'analyse des éléments majeurs (anions et cations) a été réalisée par la méthode classique (titration) et par chromatographie ionique à phase gazeuse, et par spectrométrie d'absorption atomique pour les éléments mineurs (les traces) (Annexe III), les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau VI-5 Résultats d'analyses des éléments majeurs et mineurs.**

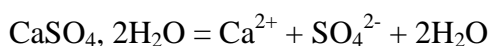
ID	T°C	pH	pH équi	c25°C	O2	Ca	Mg	Na	K	HCO3-	Cl	SO4	NO3	SiO2	TAC	Sr	Fe	Pb	Zn
ZK02	23,8	6,64	4,9	766	6,25	82,29	24,85	39,71	6,36	210,58	53,5	36,85	107,9	15,97	195				
ZK04	18,5	6,65	7	791	7,1	116,18	29,77	36,11	4,4	356,1	46,3	73,35	63,38	13,76		0,3964	0	0,0773	0,016
ZK06	17,3	6,89	8,4	1219	7,85	134,05	51,2	70,14	8,43	459,2	90,3	104,08	48,27	15,26	395	0,91	0	0,0915	0,0108
ZK07	18,5	6,64	7,1	1004	7,9	118,77	40,95	49,55	8,33	380,63	67,4	69,98	60,23	14,95	385	0,6427	0	0,0906	0,0083
ZK09	18,7	6,76	8,6	1024	6,4	149,5	47,67	43,93	6,47	409,5	52,9	133,29	7,87	12,09	285	1,3904	0	0,0939	0,0092
ZK11	17,1	6,64	2	619	5,9	91,87	12,21	19,42	2,11	285,9	27,7	8,2	19,64	16,64	180	0,0266	0	0,0698	0,0135
KZ12	17,9	6,61	8	973	7,15	150,12	29,41	45,5	6,02	449,3	55,4	81,33	54,1	12,71	300	0,5434	0	0,0864	0,0117

### VI.4.1.7 Les espèces ioniques

#### VI.4.1.7.1 Les cations

##### VI.4.1.7.1.1 Le Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ )

Le calcium est l'élément dominant des cations avec des teneurs moyennes voisines de 120 mg/l. L'ion  $\text{Ca}^{2+}$  provient de deux origines naturelles différentes qui sont la dissolution des formations carbonatées.



##### VI.4.1.7.1.2 Le sodium ( $\text{Na}^+$ )

La présence des ions  $\text{Na}^+$  (moyenne de 44 mg/l en général) serait principalement liée à la dissolution des formations évaporitiques (la halite  $\text{NaCl}$ ) et des minéraux silicatés, et peut aussi avoir une origine due au lessivage des formations gypso-sulfureuses du trias.

##### VI.4.1.7.1.3 Le Magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ )

Les ions  $\text{Mg}^{2+}$  proviennent, comme les ions calcium, de la dissolution des formations carbonatées riches en magnésium. Il se présente avec une moyenne de 34 Mg/l.

#### VI.4.1.7.2 Les anions

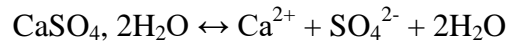
##### VI.4.1.7.2.1 Les Chlorures ( $\text{Cl}^-$ )

L'ion chlorure possède des caractéristiques différentes de celles des autres éléments, il n'est pas adsorbé par les formations géologiques et ne se combine pas facilement avec les autres éléments chimiques. Il est dit conservé. Les eaux présentent une concentration en chlorure (moyenne de 56 mg/l). L'origine des chlorures dans les eaux souterraines est diverse :

- ✓ La nature lithologique des formations traversées (halite,...).
- ✓ La présence des niveaux argileux et marneux.

#### VI.4.1.7.2.2 Les Sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ )

La présence des sulfates dans l'eau est liée à la dissolution des formations gypseuse et évaporitiques, selon la relation :



Dans les eaux du Zaccar les sulfates sont de l'ordre de 83mg/l. Une source se détache du reste du groupe avec une très faible valeur en sulfate (8 mg/l), cela s'explique probablement par la nature des terrains traversés (complexe éruptive) constitué localement de roches intrusives.

#### VI.4.1.7.2.3 Les bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ )

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées, selon la réaction suivante :



Les valeurs enregistrées varient entre 210 et 460 mg/l pour l'ensemble des points analysés, cela s'explique par la dissolution des formations carbonatées formant le système karstique, aussi cela témoigne du temps de contact ou de résidence de ces eaux dans la matrice carbonatée.

#### VI.4.1.8 Représentation graphiques et classification des eaux

Grâce à la composition de l'eau en cations et anions, on peut déterminer le type de l'eau à laquelle nous avons à faire.

Afin de déterminer le faciès chimique d'une eau, plusieurs méthodes de représentation graphique et de classification ont été élaborées, parmi elles ; nous avons retenu celles de Schoëller- Berkaloff et de Piper. A cet effet nous avons reporté les résultats d'analyses sur des graphiques à l'aide du logiciel « Diagramme » développé par le laboratoire d'hydrologie d'Avignons (Figure VI-7).

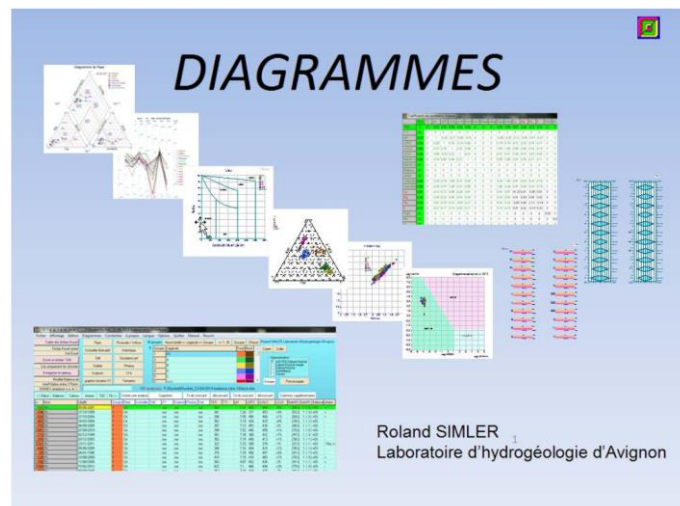


Figure VI-7 l'interface du logiciel de Diagramme.





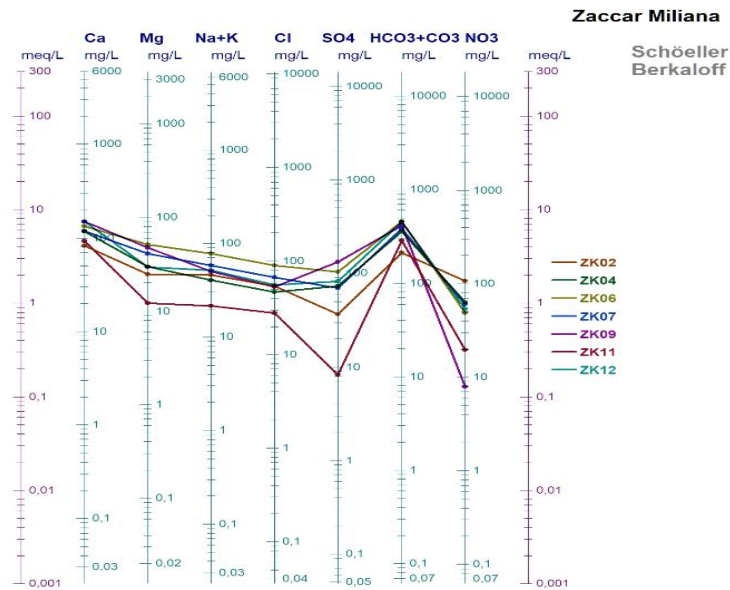


Figure VI-9 Représentation graphique des eaux des sources suivant le diagramme.

#### VI.4.1.8.3 Diagramme Wilcox

La représentation graphique de la chimie des eaux des sources karstiques de djebel Zaccar, sur le diagramme Wilcox, montre que la majorité de l'eau a une bonne conductivité.

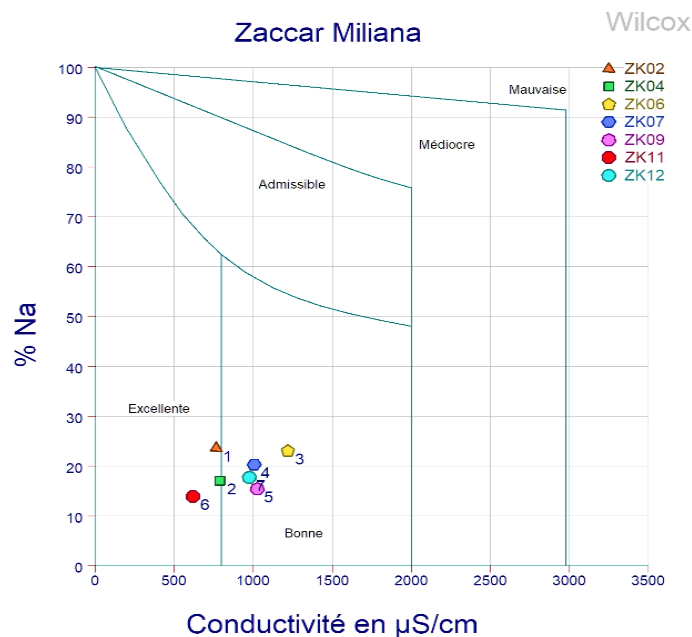


Figure VI-10 Représentation graphique des eaux des sources suivant le diagramme.

#### VI.4.1.9 Equilibre carbonique de l'eau-agressivité

Dans les aquifère carbonatés, tel que celui que nous étudions, les écoulements les plus importants se font dans des chenaux. Ceux-ci résultant d'une intense Karstification (ou dissolution chimique) faite le long des discontinuités tectoniques.

Ainsi, afin de mieux comprendre ces phénomènes de corrosion chimique, provoquant l'attaque de la roche par des eaux dites agressives, il est indispensable d'étudier au préalable les paramètres qui régissent ces réactions:

#### VI.4.1.9.1 La température et le CO<sub>2</sub>

L'influence de la température sur les réactions se produisant dans le système CO<sub>2</sub> /H<sub>2</sub>O/CaCO<sub>3</sub> est importante. En effet, plus l'eau est froide, plus elle est en mesure de dissoudre le gaz carbonique, et donc plus elle devient agressive vis-à-vis de la roche.

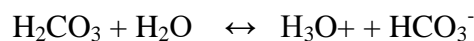
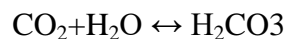
Les températures des eaux de djebel Zaccar sont relativement élevées à celles rencontrées habituellement dans les karsts de haute montagne. En période de fonte de neige et de névés, la corrosion chimique doit être plus intense. Et l'eau circulant en profondeur dans l'aquifère karstique présente des températures supérieures à celles des eaux circulant près de la surface.

Par conséquent, cela suppose que la Karstification, est comme l'ont démontré plusieurs auteurs, plus importante dans les niveaux supérieurs-plus froids- des massifs que dans leurs zones profondes.

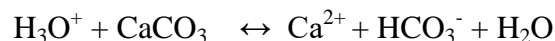
#### VI.4.1.9.2 Le pH d'équilibre

Quand une eau qui contient du CO<sub>2</sub> libre est mise en contact avec le carbonate de calcium en excès, ce dernier se trouve attaqué et, au bout d'un certain temps, la réaction s'arrête, bien qu'il reste encore du CO<sub>2</sub> et du CaCO<sub>3</sub>, l'eau est alors saturée en calcite. On obtient ainsi l'équilibre de saturation du carbonate à partir duquel un pH dit d'équilibre.

L'équation de la dissolution du CO<sub>2</sub> dans l'eau s'établit comme suit:



L'équation de la dissolution de la calcite (CaCO<sub>3</sub>) s'établit comme suit :



Une eau est dite:

- ✓ Une eau agressive si le pH mesuré < pH d'équilibre ;
- ✓ Une eau incrustante si le pH mesuré > pH d'équilibre ;
- ✓ Une eau neutre si le pH mesuré = pH d'équilibre.

**Tableau VI-6 L'agressivité et le pouvoir incrustant de l'eau.**

ID	T°C	pH	pH équi	l'agressivité de l'eau
ZK02	23,8	6,64	4,9	incrustante
ZK04	18,5	6,65	7	faiblement agressive
ZK06	17,3	6,89	8,4	agressive
ZK07	18,5	6,64	7,1	agressive
ZK09	18,7	6,76	8,6	agressive
ZK11	17,1	6,64	2	très incrustante
ZK12	17,9	6,61	8	agressive

Ainsi, nous pouvons dire que les eaux des sources sont, pour la plupart agressives, les sources (ZK 02, 11) sont incrustantes.

#### VI.4.1.9.3 La dureté de l'eau

Dans la nature, le calcaire se trouve surtout sous forme de roche minérale, mais il se dissout facilement dans l'eau, conférant à celle-ci une certaine dureté. Cette caractéristique, qui équivaut essentiellement à la teneur en calcium et en magnésium dissous dans l'eau est exprimée en milli mols par litre (mmol/l) ou en degrés de dureté français (°FH).

Elle est calculée par la formule suivante :

$$TH (°F) = (r Ca^{++} + r Mg^{++}) 5$$

**Tableau VI-7 Classification des eaux souterraines selon la dureté totale.**

TH (°F)	0 à 7	7 à 15	15 à 25	25 à 42	Supérieur à 42
Eau	Très douce	Douce	Moyennement dure	Dure	Très dure

La dureté des eaux des sources du Zaccar varie entre 31 et 57 °FH. Toutes les eaux de la région sont donc dures à très dures. Cela s'explique par la forte dissolution des éléments carbonatés.

**Tableau VI-8 La dureté des eaux des sources du Zaccar.**

ID	Zk 02	ZK 04	ZK 06	ZK 07	ZK 09	ZK 11	ZK 12
Dureté °FH	31	41	55	46	57	28	50

#### VI.4.1.10 Les éléments en traces Fe<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup> et Sr<sup>2+</sup>

Le fer est le quatrième élément abondant dans l'écorce terrestre et le premier parmi les métaux lourds. On le trouve surtout sous forme Fe<sup>2+</sup> ou Fe<sup>3+</sup>. Le fer dissous dans les eaux souterraines est sous forme réduite (Fe<sup>2+</sup>), qui est soluble. Ce dernier est oxydé en Fe<sup>3+</sup> par contact avec l'oxygène de l'air, c'est pourquoi la concentration de fer dans les eaux bien aérées est rarement élevée. Le Fe<sup>3+</sup> précipite sous forme d'hydroxydes insolubles dans l'eau et est adsorbés par les sédiments. Alors la présence de fer dans l'eau serait probablement due à des conditions réductrices (manque d'oxygène) du milieu. La concentration en fer n'a pas pu être déterminée, et reste en dessous du seuil de détection de l'appareillage utilisés. Le strontium est un élément lié aux évaporites, il est faiblement intégré dans le réseau des carbonates et est peu absorbé par les argiles, les fortes

teneurs en  $\text{Sr}^{2+}$  dans les eaux ne s'expliquent que par la dissolution de la celestite ( $\text{SrSO}_4$ ), minéral associé au gypse. Il forme ainsi un bon marqueur de la présence des évaporites (Carré, 1975). Le strontium permet ainsi de distinguer les sulfates provenant de l'oxydation de sulfures (teneurs faibles) de ces eaux issues de la dissolution d'évaporites (teneurs élevées). Le dosage de strontium montre que les points d'eaux étudiées possèdent des teneurs en  $\text{Sr}^{2+}$  qui varient entre 0,026 et 1,39 mg/l.

Le rapport ionique (en concentration molaire)  $\text{Sr}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$  indique une origine évaporitiques s'il est égale à 1‰ (Bakalowicz, 1988) et il est supérieur à 5 ‰ dans les évaporites du Trias alpin (Meybeck, 1984).

Les résultats obtenus dans la région d'étude montrent que les valeurs du rapport caractéristique  $\text{Sr}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$  exprimé en ‰ (0.13 à 4.25‰) permet de conclure que les eaux du Zaccar se rangent dans la même catégorie que les eaux issues d'une origine évaporitiques.

Les valeurs de  $\text{Zn}^{2+}$  dans les eaux varient entre 0,0083 et 0,0160 mg/l, pour une valeur moyenne de 0.0115 mg/l (norme fixées par l'OMS 3 mg/l). Cette teneur moyenne est acceptable pour l'utilisation des eaux comme des eaux potables.

#### VI.4.1.11 L'Origine des éléments chimiques

##### VI.4.1.11.1 Le couple $\text{Na}^+ / \text{Cl}^-$

Dans les eaux naturelles, la présence des éléments  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  est attribuée à la dissolution de la halite ( $\text{Na Cl}$ ), que l'on rencontre dans les formations évaporitiques. Cependant, les chlorures comme le sodium peuvent avoir d'autres origines naturelles. La représentation graphique de l'évolution des teneurs de  $\text{Na}^+$  en fonction des teneurs en  $\text{Cl}^-$  (Fig. 11), indique un accroissement linéaire des deux teneurs. Le rapport  $\text{Na}^+/\text{Cl}^-$  calculé pour tous les points d'eaux est légèrement supérieur à 1 (Fig). Ces deux arguments montrent que l'origine est essentiellement évaporitiques (halite) du sodium et des chlorures avec un apport supplémentaire pour le sodium, cet apport est autre que l'halite, cela s'explique probablement par des échanges de base (échange de l'ion  $\text{Ca}^{++}$  en  $\text{Na}^+$ ).

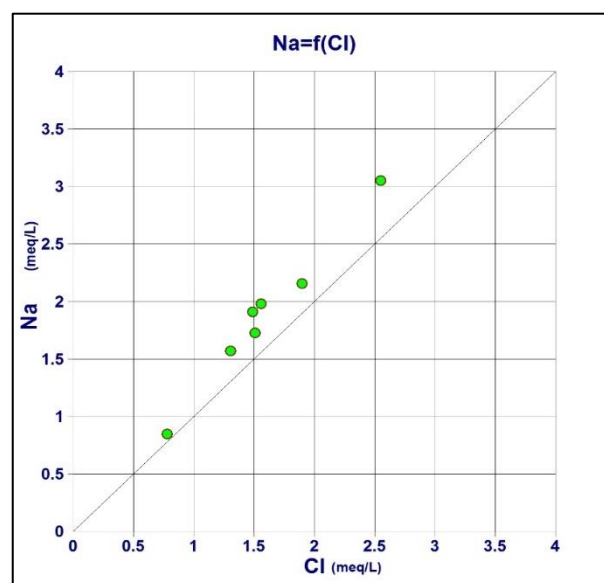


Figure VI-11 la corrélation de  $\text{Na}^+$  avec  $\text{Cl}^-$ .

#### VI.4.1.11.2 Les éléments $\text{Ca}^{2+}$ / $\text{SO}_4^{2-}$

Le calcium tire son origine des carbonates et du gypse. Pour déterminer l'origine des éléments  $\text{Ca}^{2+}$  /  $\text{HCO}_3^-$  /  $\text{SO}_4^{2-}$ , nous avons établi les corrélations suivantes :

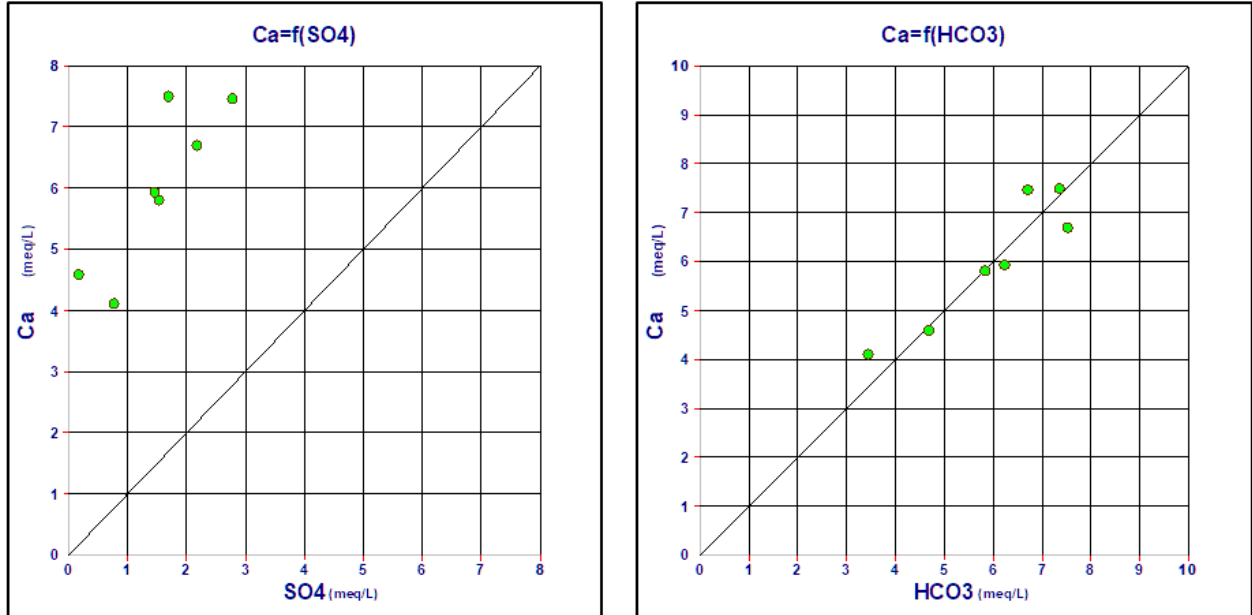


Figure VI-12 Détermination de l'origine de  $\text{Ca}^{2+}$ .

L'augmentation des teneurs en  $\text{Ca}^{2+}$  en fonction du  $\text{SO}_4^{2-}$  indique qu'il y a un excès du  $\text{Ca}^{2+}$ , ce qui démontre que l'origine du ( $\text{Ca}^{2+}$ ) n'est pas juste la dissolution des roches évaporitiques. L'évolution du  $\text{Ca}^{2+}$  en fonction du  $\text{HCO}_3^-$  est linéaire indiquant l'autre origine du  $\text{Ca}^{2+}$ , qui l'origine principale (calcaire du Jurassique).

#### VI.4.1.12 Pollution anthropique

Le développement urbain, agricole, et industriel entraîne souvent une pollution rapide des eaux souterraines par les formes chimiques de l'azote, surtout celle de nitrate, en raison de leur grande solubilité et leur faible affinité aux échanges ioniques (Macko et Ostrom, 1994 Stumm et Morgan, 1996). La présence de nitrates dans l'eau peut avoir plusieurs origines : une origine liée aux activités humaines (rejets industriels, agricoles et urbains) ou bien, une origine naturelle. La limite de potabilité pour les nitrates est fixée à 50 mg/l par les normes Algérienne en vigueur. Elle est fondée sur les recommandations de l'Organisation mondiale de la santé (OMS). Dans notre cas d'étude, les teneurs en nitrates des eaux souterraines de la région étudiée sont comprises entre 7,87mg/l enregistrée au niveau de la source (ZK 09) et 107,9 mg/l au niveau de la source (ZK 02). Les teneurs en nitrates au niveau des sources (ZK 02, 04, 07,12) sont supérieur à 50 mg/l. cela est dû probablement à un une pollution urbains.

#### VI.4.1.13 Normes de potabilité physico-chimique

D'un point de vue chimique, l'eau potable doit contenir, sans excès, un certain nombre d'éléments minéraux dont la présence lui confère un goût agréable, à l'exception de ceux qui seraient des indices de pollution, ainsi que toutes autres substances toxiques.

**Tableau VI-9 Normes de potabilité des paramètres physico-chimiques (OMS, 1986).**

Paramètres	Unités	Niveau guide
Température	°C	12
pH	/	6.5>pH<8.5
Conductivité	µs/cm	400
Chlorures	Mg/l	25
Sulfates	Mg/l	25
Calcium	Mg/l	100
Magnésium	Mg/l	30
Sodium	Mg/l	20
Potassium	Mg/l	10
Ammonium	Mg/l	0.05
Nitrites	Mg/l	0.01
Nitrates	Mg/l	25
Dureté (THT)	°F (CaCO <sub>3</sub> )	35 (350)
Fer	Mg/l	0.05
Phosphore	Mg/l	70

Nous examinerons la qualité chimique des eaux de djebel Zaccar et en le comparant aux normes internationales retenues par l'O.M.S (organisation mondiale de la santé).

**Tableau VI-10 Tableau des résultats.**

Les ions	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	So <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	No <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH
Concentration max. admissible en mg/l	200	150	400	600	50	8.5
Les points présentant une concentration dépassant la norme de potabilité	0	0	0	0	Zk 02 ZK 04 ZK 07 ZK 12	0

Ce tableau permet de conclure que les concentrations en éléments chimiques des eaux de l'aquifère karstique de djebel Zaccar sont toutes inférieures à la teneur maximale admissible. Au niveau des sources, exception faite pour quelques points d'eau et par rapport au nitrates uniquement, et cela s'explique par la possibilité d'une pollution provoquée par l'activité humaines (rejets des eaux usées), vu que ces sources d'eaux se trouve proche des habitants.

#### VI.4.2 Conclusion

Les eaux du système karstique du Zaccar montrent une réponse hydrochimique relativement similaire pour la totalité des points d'eau analysés

La mesure des éléments in-situ a permis de maitre un lien entre l'encaissant et les eaux qui circules dedans, en effet la température est régie par l'altitude d'émergence et aussi par la profondeur de circulation des eaux souterraines. La conductivité et la TDS qui sont étroitement liée montrent l'impact de la circulation en milieu carbonaté et le temps de séjours de ces eaux dans la matrice calcaire, cela est confirmé par la mesure de l'alcalinité de l'eau.

Le faciès chimique dominant est de type bicarbonaté calcique et magnésien, les bicarbonates représentent l'élément dominant des anions tandis que le calcium est l'élément dominant des cations.



Par le biais des rapports caractéristiques, l'origine des éléments majeurs a été mis en évidence, en effet, les sulfates ont pour origine les évaporites, idem pour le calcium qui tire son origine des formations évaporitiques mais principalement des roches carbonatées et qui sont aussi à l'origine des bicarbonates, le sodium et les chlorures ont pour source la dissolution de la Halite principalement,

Les eaux souterraines du Zaccar sont de qualité chimique acceptable et respect les normes de potabilités de la législation algérienne, excepté pour les éléments de pollution pour quelques sources, ces derniers sont marqués par une pollution au nitrate, probablement dû au rejet domestique, mettant ainsi la potabilité des eaux de ces sources en question.

## *Conclusion générale*

---

## *Conclusion générale*

Le Zaccar est principalement constitué de calcaires karstifée qui abritent une nappe aux réserves importantes pour la ville de Miliana, ainsi que les villes avoisinantes et fournies d'excellentes conditions d'exploitation. La gestion et la protection de cette ressource nécessitent la compréhension de son fonctionnement, son mode d'alimentation et les conditions de recharge et les relations éventuelles entre ce système et les hydrosystèmes environnants.

L'analyse des paramètres climatiques montre que la région étudiée est soumise à un climat méditerranéen semi-aride à hiver pluvieux et un printemps tempéré. Les précipitations moyennes mensuelles maximales enregistrées durant la période (1991-2011) étaient de 112mm à Miliana au mois de décembre, alors que les plus basses sont mesurées à la station d'El Ababsa pendant le mois d'août. La température moyenne annuelle enregistrée au niveau de la station Miliana est de 17,43°C. En général, les températures maximales sont enregistrées aux mois de Juillet et Août et les minimales sont observées du mois de Décembre à Février. La lame d'eau précipitée, correspondant à la moyenne des valeurs déterminées par les deux méthodes arithmétiques et des polygones de THEISSEN, est de 462,26mm. L'évapotranspiration potentielle égale à 1003,8 mm/an a été calculée par la méthode de THORNTHWAITE. L'évapotranspiration réelle calculée par la méthode de TURC et la méthode de COUTAGNE avoisine 398mm/an, alors que celle obtenue de l'abaque de Wundt apparaît surestimée. La lame d'eau ruisselée déduite de la formule de Tixeront-Berkaloff représente 6.9% de la pluie reçue sur le bassin versant.

Le Zaccar est principalement constitué de calcaire, Ces calcaires n'affleurent que dans la partie élevée du Massif, on ne les rencontre plus au-dessous de la côte 750. L'aquifère karstique excessivement perméable, tellement perméable que dans les ravins de la partie supérieure du Zaccar l'eau ne coule jamais, même pendant les averses des hivers pluvieux. Ainsi toute l'eau de pluie qui tombe sur les parties hautes du Zaccar est, soit évaporée, soit percolée, c'est-à-dire pénètre dans le massif.

L'étude lithologique et tectonique des différentes formations montrent que les seuls niveaux qui présentent un intérêt hydrogéologique sont représentés par les calcaires karstifée du Jurassique du Zaccar, et l'ensemble gréseux et poudingues du Miocène. Les autres formations jouent le rôle d'écrans imperméables.

Toutefois, seul l'aquifère karstique de la série du jurassique, qui est de loin le plus étendu et le plus alimenté, a fait l'objet de notre étude.

L'étude de la fracturation de la zone étudiée par différentes approches a montré que la direction dominante de cette zone est NW-SE. La Karstification semble aller principalement dans le même sens. Ces directions déterminent une bonne part des écoulements vers le Sud, favorisant l'écoulement vers cette dernière orientation. C'est d'ailleurs sur le flanc sud du karst du Zaccar qu'apparaissent toutes les sources de vidange du système karstique.

En période de crue, les débits au niveau du karst noyé augmentent rapidement au point où les ouvertures de l'exutoire, pourtant très larges ne permettent pas l'évacuation des eaux qui voient ainsi leur charge hydraulique augmentée progressivement.

La courbe de tarissement de la saison sèche de la source d'Oued Rihane montre des irrégularités. Les pics observés montrent une augmentation instantanée des débits, cette augmentation est due probablement aux apports d'eaux de condensation interne. La vitesse des écoulements est

relativement lente, et la valeur du coefficient de tarissement est égale à 0,009. Le volume des vides est important. Il traduit nettement la prédominance des fissures et microfissures et des pores dans l'alimentation de la résurgence de la source étudiée. Le fonctionnement hydrodynamique du système karstique de cette source résulte de l'arrangement des vides de tailles différentes.

Les eaux du système karstique du Zaccar montrent une réponse hydrochimique relativement similaire pour la totalité des points d'eau analysés. En effet la température est régie par l'altitude d'émergence et aussi par la profondeur de circulation des eaux souterraines. La conductivité et le TDS qui sont étroitement liés montrent l'impact de la circulation en milieu carbonaté et le temps de séjours de ces eaux dans la matrice calcaire, cela est confirmé par la mesure de l'alcalinité de l'eau.

Le faciès chimique dominant est de type bicarbonaté calcique et magnésien, les bicarbonates représentent l'élément dominant des anions tandis que le calcium est l'élément dominant des cations. Les eaux souterraines du Zaccar sont de qualité chimique acceptable, conforme aux normes de potabilités de la législation algérienne, excepté pour les éléments de pollution relevés au niveau de quelques sources. Ces derniers sont marqués par une pollution par les nitrates notamment, probablement dû au rejet domestique, mettant ainsi la potabilité des eaux de ces sources en question.

Certaines recommandations peuvent être proposées, afin de compléter l'étude hydrogéologique de l'aquifère karstique de djebel Zaccar dans ces deux aspects : hydrodynamique et hydrologique, citant comme exemple:

- Etablir deux stations météorologiques : une station météorologique au niveau du sommet du Zaccar (Riyacha), et une autre au niveau du sommet Ain N'sour ;
- Compléter l'étude hydrogéologique par un traçage artificiel et des essais de pompage ;
- Un suivi des débits d'eau pour chaque source au minimum une fois tous les 15 jours, et notée le débit maximum et minimum une fois par an ;
- Une étude géologique doit être réalisée pour distinguer les calcaires karstiques des calcaires métamorphiques ;
- Gérer les réseaux d'assainissement pour protéger les sources d'eau contre la pollution, et donc les résultats obtenus peuvent nous donner des informations exactes sur les sources originales des eaux basant sur sa composition chimique.

---

## *Bibliographies*

Abdelouahab.R Belaid.M et al. 2013 CARACTERISATION GEOCHIMIQUE ET ISOTOPIQUE DU SYSTEME HYDROTHERMAL DE HAMMAM RIGH.

Atkinson, T.C. and Smart, P.L., 1979. Traceurs artificiels en hydrogéologie. Bulletin du B.R.G.M., 2, section III, 3 : 365-380.

Bakalowicz M., Mangin, A. (1980). L'aquifère karstique. Sa définition, ses caractéristiques et son identification. Mém. h.série Soc. géol. France, 11, p.71-79.

Bakalowicz, M. (1979). Contribution de la géochimie des eaux à la connaissance de l'aquifère karstique et de la karstification. Thèse Doctorat ès Sciences naturelles, Univ. P. et M. Curie, Paris 6, Géologie dynamique et Laboratoire Souterrain CNRS, Moulis, 269 p.

Bakalowicz, M. (1996). La zone d'infiltration des aquifères karstiques. Méthodes d'étude. Structure et fonctionnement. Hydrogéologie, 4 (1995) : 3-21.

Bakalowicz, M., 1999. Connaissance et gestion des ressources en eaux souterraines dans les régions karstiques. Guide technique n°3, SDAGE Rhône - Méditerranée -Corse. Agence de l'Eau Rhône - Méditerranée - Corse, Lyon, 40 pp.

Belhaï D (1996) Evolution tectonique de la zone Ouest algéroise (Ténès-Chenoua) : Approche stratigraphique et structurale. Thèse Doct. D'Etat. FSTGAT. USTHB. Alger.

Bouillie .I. P. (1986) le bassin de maghrébin : une ancienne limite entre l'Europe et l'Afrique à l'ouest des alpes Bulletin de la Société Géologique de France, II (4) : 547-558.

Bulletin d'Hydrogéologie, Centre d'Hydrogéologie de l'Université de Neuchâtel (Suisse). Numéro spécial Action européenne COST 65, 14 (1995).

CASTANY, G. (1963) : Traité pratique des souterraines. Dunod. Paris.

CASTANY, G., (1963) : Réserves en eaux souterraines. Classification et évaluation. Bulletin de l'AIHS.

CHAA, H. (2018). Etude des minéralisations de Fe-(Ba-Pb-Cu) du massif se Zeccar (Miliana, Nord-Ouest Algérois) : Minéralogie, Géochimie et Métallogénie. USTHB.

COLLIGNON B., 1987 : la mise en exploitation karstiques (quelques exemples algériens). Karstologia N°10 Rev.F.F,S.1987. pp 17 - 24.

COLLIGNON B., 1988 : Spéléologie - Approches scientifiques.

CONSTANTINIDIS D. et SARROT-REYNAULD J., 1978 : Comparaison des méthodes de détermination du coefficient d'emmagasinement des nappes aquifères. 103e Congr.nat.Soc.Savantes.(Nancy, 1978).fasc.IV pp153-164.

COST-Action 65 (1995). Karst groundwater protection. Final report. European Commission, EUR 16547.

---

---

COURBON. P, 1982 : Explorations souterraines dans l'Ouest Algérien. Spel.alg. 1981/1982. pp 71 - 77.

Cours de Géologie de l'Algérie 2<sup>ème</sup> année géologie : (Durand Delga, 1962) Durand Delga et Magné, (1957); Lepvrier (1967 et 1968) (Raoult, 1969, 1974, Vila, 1969, 1971) ; (Durand Delga, 1969; Bourrouilh et al., 1976; Bouillin, 1977; Gélard, 1979; Raoult, 1974; Naak, 1988; Belhaï, 1987; Aïfa et al., 1996; Sadallah, 1992; Mahdjoub, 1990) (Raoult, 1969) (Vila, 1969) .

Cours de Mme Hallouz, module : Climatologie, université DJILALI BOUNAAMA.

Cours de Mme Hallouz. Module : Climatologie, université DJILALI BOUNAAMA.

Cours de Mme Hallouz. Module : Climatologie, université DJILALI BOUNAAMA.

CROUSILLE M., DELOCHE C., DIXSAUT C. et GUY TAMIN A.L., 1978 : télédétection spatiale et fracturologie de la chaîne cantabrique (Espagne) exemple d'une approche méthodologique. Bull. BRGM. (2esérie). Sect. IV. N°1, 1978, pp . 5 - 38.

Darwish, T., Nimah, M. and El Masri, T. May 1995 1995. "Mineralogical composition of some Lebanese mountain inceptisols". In Third International Meeting on Red Mediterranean Soils May 1995, Chalkidiki [Google Scholar]

DROGUE C., MAS G., GRILLOT JC, LLORIA C. et GUERIM R., 1975 : utilisation du filtrage optique pour l'étude de la fracturation des roches carbonatées en hydrogéologie. Rev.geogr.phys.géol.dyn. (2) Vol.XIII.fasc. 1, pp 39 - 44.

Durand-Delga (1969) Mise en point sur la structure du N-E Ode la Berberie. Bull.serv. carte géologique Algérie (nouvelle série) n 39. 89p-131 p.

Field, M., 1999. The QTRACER program for tracer-breakthrough curve analysis for karst and fractured-rock aquifer. EPA/600/R-98/156a, National Center for Environmental Assessment, U.S. EPA, Washington.

Ford, D. & Williams, P. (1989) Karst geomorphology and hydrology. Unwin Hyman, London, 601 p.

FORKASIEWICZ J. et PALOC H.,1965 : Le régime de tarissement de la foui de la vis. Etude préliminaire. Act.coll.Dubrovnik, 1965.

FOUCAULT A. et RAOULT J.F., 1988 : Dictionnaire français de géologie.

Fouzia. BENSAOULA, Etude de la Karstification à partir des données de forages: le cas des monts de Tlemcen (Algérie) article n°49, 2017 p 15 (Collignon 1991).

Gèze, B., 1965. La spéléologie scientifique. Le Seuil, Paris, 190 p.

Glaussaire-eau.fri/Ministère chargé de l'écologie.

GRILLOT J.C et, GUERIN R., 1975 : Tectonique, microtectonique et directions des écoulements souterrains : exemple de relations dans le bassin karstique du Haut-Vidourle (Gard, France). Rev.géogr. phys.géol. dyn. (2), vol.XIII, fasc.1, pp45-60.

---



---

GRUNDY, F., (1951) The ground-water depletion curve, its construction and uses. Ass. Générale AIHS, Bruxelles, Tome II, pp. 213-217.

Hakim, B. 1982. Recherches hydrologiques et hydrochimiques sur quelques karsts méditerranéens, France, Thèse; Aix-en-Provence: Liban, Syrie et Maroc. [Google Scholar]

Halimi, A. 1980.

Hdtzl, H. and Werner, A. (Editors), 1992. Tracer hydrology. Balkema, Rotterdam, 464 pp.

HLAVEK, R. et LEVEQUE, P. (1960) : Contribution à l'étude hydrologique du Haut Atlas de Demnate (Maroc). Prix Henri Milon. La Houille Blanche.

<https://www.inbw.be/parametres-et-normes> (paramètre et normes de potabilité de l'eau)

<https://www.lenntech.fr/applications/potable/normes/normes-oms-eau-potable.htm> (normes de potabilité de l'eau)

<https://www.lenntech.fr/periodique/elements/pb.htm> (propriété chimique des éléments en trace)

Hydrogéologie, revue éditée par le BRGM. Numéro thématique (4/1997) consacré au karst.

ISAADI A., 1981 : Contribution à l'étude hydrogéologique des massifs de Guerioun et Fortass. Thèse. Doct. 3e cycle. Inst. Sc. Terre. U.S.T.H.B.

Jeannin, P.Y., 1995. Action COST 65 - Projets Bure et (Suisse) : cadre théorique, position des problèmes, présentation des sites étudiés et des données disponibles. Bulletin d'Hydrogéologie, Centre d'Hydrogéologie, Université de Neuchâtel, 14 : 53-81.

Jeannin, P.Y., 1996. Structure et comportement hydraulique des aquifères karstiques. Thèse de Doctorat, Université de Neuchâtel, Neuchâtel, 237 pp.

Karam, F., Breidy, J., Stephan, C. and Roupheal, J. 2003. Evapotranspiration, yield and water use efficiency of drip irrigated corn in the Bekaa Valley of Lebanon. Agric. Water Manage., 63: 125–137. [Crossref], [Web of Science ®], [Google Scholar]

KARSTOLOGIA N 1. Revue. Fed. Fran. Spéléo.

Khawlie, M., Sha'aban, A. and Abdallah, C. November 2000. "Evaluating the potentials of submarine springs: an unconventional groundwater source for the coastal area-Lebanon". In Expert Group Meeting on Groundwater Rehabilitation for Water Resources Protection and Conservation (ESCWA, UNEP/ROWA, BGR, MoWE) November 2000, 14–17. Beirut [Google Scholar]

Kiraly, L., 1997. Modelling karst aquifers by the combined discrete channel and continuum approach, 6th Conference on limestone hydrology and fissured aquifers, session on modelling karst aquifers. Université de Franche-Comté, Sciences et Technique de l'Environnement, La Chaix-de-Fonds, pp. 1-26.

Kiraly, L., Perrochet, P. and Rossier, Y., 1995. Effect of the epikarst on the hydrograph of karst springs : a numerical approach. Bulletin d'Hydrogéologie, Centre d'Hydrogéologie, Université de Neuchâtel, 14 : 199-220.

---

Kireche, O (1977) Etude géologique structurale des massifs de la plaine du Chélif (Doui, Rouina, Temoulga). Thèse Doct. 3è cycle, USTHB, Alger (Algérie).

Kolli, O. (1997) Géologie et géologie des minéralisations à Ba, Pb, Zn (Cu, Fe) du socle cristallin de Grande Kabylie. Evolution métallogénique au cours du cycle Alpin. Thèse Doct. d'Etat, USTHB, Alger.

Lepvrier C (1978) Les plis couchés synschisteux des massifs du Chélif (Tell algérois. Algérie), une tectonique d'âge crétacé supérieur. Rev Géogr Phys Géol Dyn XX :123-136.

MAGRIN, J. (1954) : Remarques sur quelques relations entre la pluie et les écoulements sur le bassin versant de l'usine de Marèges sur la Dordogne. La Houille Blanche, IIIe jour. De l'Hydraulique, pp. 100-105.

MAILLET, E. (1905) : Essai d'hydraulique fluviale, Hermann, Paris.

Maluski, H. Lepvrier, C., Biarreau, V. (1979) Epimétamorphisme syntectonique d'âge 85 Ma dans les zones nord-telliennes (Algérie). Comptes Rendus à l'Académie des Sciences de Paris, 288, 1583-1586.

Mangin, A. (1975) Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques. Thèse Doct. ès Sci., Université, de Dijon, Dijon (Ann. Spéleol., 1974, 29(3) : 283-332 ; 1974, 29(4) : 495-601 ; 1975, 30(1) : 21-124).

Mangin, A. (1994). Karst Hydrogeology. J.Gibert, D.Danielopol and J.Stanford ed. J.Wiley, New York, Groundwater Geology, Chap.1, pp. 43-67.

Marsaud, B. (1996). Structure et fonctionnement de la zone noyée des karsts à partir des résultats expérimentaux. Thèse Doct. en Sciences, Université de Paris X1 Orsay. In : Documents du BRGM (1997) 268, 306 p.

Mattauer M (1950) Contribution à l'étude géologique du massif de Djebel Zaccar, Djebel Doui et de Littré. Université de Besançon.

Mattauer, M (1958) Etude géologique de l'Ouarsenis oriental (Algérie). Pub. Serv. Geol. Map of Algeri (nouvelle série), bull. N°17.

MEGNTEN, C. (1959) : Observations hydrogéologiques sur le SE du Bassin de Paris, Thèses, Paris.

Mémoire de projet de fin d'étude. Thèse présentée par Mlle Hind.

Meus, P., 1993. Hydrogéologie d'un aquifère karstique dans les calcaires carbonifères (Néblon - Anthismes, Belgique). Apports des traçages à la connaissance des milieux fissurés et karstiques. Thèse Doctorat en Sciences, Université de Liège, Liège, 323 p. pp.

Milanovic, P., 2000. Geological engineering in karst. Zebra Pub. Ltd, Belgrade, 347 p.

MUDRY J .et ROSENTHAL P., 1977 : Etudes comparatives des directions structurales de la fracturation et de l'orientation des cavités karstiques (Région de la grotte du Cernois - Haut Jura). Ann.Sc. Univ.Besançon, pp.17 - 23.

---

---

Nader, F. H., Swennen, R. and Ottenburgs, R. 2003. Karst-meteoric dedolomitization in Jurassic carbonates, Lebanon. *Geologica Belgica*, 6(1-2): 3–23. [Google Scholar]

Nicod, J., 1972. Pays et paysages du calcaire. P.U.F., Paris, 244 p.

OLIVE P., 1976 Le système CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O/CaCO<sub>3</sub>. moment o.pratique. Centre de recherches géodynamiques. Univ Pierre et marie Curie.

Perrodon A (1957) Etude géologique des bassins néogènes sublittoraux de l'Algérie du Nord occidental. Pub. Serv. Geol. Map. Algérie (nouvelle série). Bull N°12.

Plagnes, V., 1997. Structure et fonctionnement des aquifères karstiques. Caractérisation par la chimie des eaux. Thèse Doct. En Sciences, Université Montpellier II, Montpellier. In : Documents du BRGM (2000) 294, 376 p.

QUINIF Y., 1976 Contribution à l'étude morphologique des karsts algériens de type Haut-Alpin. *Rev.géogr.phys.géol.dyn*.pp 5 - 18.

RAPPORT DE STAGE sujet : LA RESSOURCE ENEAU BASSINVERSANT DEL'ARROUX.  
Par : Stéphane RENAUW/École des mei Paris Tech.

Saad, Z., Slim, K., Ghaddar, A., Nasreddine, M. and Kattan, Z. 2000. Composition chimique des eaux de pluie du Liban. *J. Eur. Hydrol.*, 31(2): 105–120. [Google Scholar]

Saadallah A, caby R. (1994) Structuration et exhumation des massif cristallins des Maghrébides (Algérie) : les effest de distension méditerranéenne. *Bulletin du Service Géologique de l'Aalgérie*, 5 (1) (1994) 81-87.

SAADALLAH A., 1987 : Les grands traits de la géologie de l'Algérie (cours de 2eme année I.S.T - U.S.T.H.B).

SCHOELLER, H. (1962) Les eaux souterraines. Masson, Paris. TISON, G. (1960) : Courbe de tarissement, coefficient d'écoulement et perméabilité du bassin. *Ass. Générale AI HS, Helsinki*, pp. 229-243.

Site d'analyses de l'eau :  
[https://www.oieau.fr/ReFEA/fiches/AnalyseEau/AnalyseEau\\_PresGen.htm](https://www.oieau.fr/ReFEA/fiches/AnalyseEau/AnalyseEau_PresGen.htm), (Analyses de l'eau / Présentation générale par l'équipe technique du RÉFEA)

Th.Koumzine. (1935) les Sources De Miliana essai d'hydrogéologie précise p (11-39).

TOUMI Samir (2011) ETUDE HYDROCHIMIQUE ET ISOTOPIQUE DE LA NAPPE DU SYSTEME KARSTIQUE DU ZACCAR (MILIANA) p 3-15.

TROMBE F., 1973 : La spéléologie. "Que - sais- je ?" N°709.

US Department of the Interior, Office of Reclamation. 1957. Water resources Investigations for the Nahr El Assi Basin, Denver, US: Dept of the Interior. [Google Scholar]

VERDEIL P., 1965 : Essai d'évaluation numérique des apports dus aux condensations dans les systèmes karstiques. *Mem. Cong, I.A.H, 1965, Vol.VII.*, pp 56 - 57.

---

VERDEIL P., 1971 : Limites d'utilisation des "courbes de tarissement" dans la détermination des caractéristiques morphologiques des karsts. Act.Coll.Hydrog.en pays calcaire (Besançon, 1971).

Vila, JM (1980) La chaîne alpine d'Algérie nord-oriental et des confins algéro-tunisiens. Thèse Doctorat. D'Etat, Univ. P. et M. Curie, VI, 665p.

WERNER, P W, et SUNDQUIST, K J. (1951) On the ground-water recession curve for large water-sheds. Ass. Générale AIHS, Bruxelles, Tome II, pp. 202-212.

White, W. (1988) Geomorphology and hydrology of karst terrains. Oxford University Press, 464 p.

---

## *Liste des annexes*

Annexes I : Inventaire des ouvrages à protéger Miliana (DRE Ain Defla).

N°	Prop	Type	N° inv	Situation	X	Y	P(m)	Q(l/s)	NS(m)
1	ADE	Forage	F01170054	Boutektoune F1	457350	334000	120	30	8
2	ADE	Forage	F01170055	Boutektoune F2	457350	334020	120	10	8
3	ADE	Forage	F01170418	Boutektoune F3	457500	334600	160	40	17
4	ADE	Forage	F01170056	Korkah F2 Remp	456200	334500	170	30	48,15
5	ADE	Forage	F01170059	Korkah F1	452260	334720	150	8	48,15
6	ADE	Forage	F01170419	Hammama Remp	460080	335400	170	20	49
7	ADE	Forage	F01170058	Ras El Akba	458000	334500	108	20	17
8	ADE	Forage	F01170420	Onex Belles Sources	458700	334730	80	30	24
9	ADE	Forage	F01170421	Milian centre	452260	334720	180	15	72
10	ADE	Forage	F01170545	Miliana centre F1	457595	334775			
11	ADE	Forage	F01170546	Ecole des Mines	455870	334505			
12	ADE	Forage	F01170565	Ecole des MinesF2	455770	335501			
13	APC	Forage	F01170024	Talaouchakouf	451800	335800	150	30	0
14	APC	Forage	F01170566	Talaouchakouf II	451568	335604			
15	APC	Forage	F01170025	Merdja Remp	446500	333250	140	20	17
16	APC	Forage	F01170016	Ain Torki F2	464280	337780	150	8	10,2
17	APC	Forage	F01170152	Ain Torki F3	464850	338000	170	25	117
18	APC	Forage	F01170014	Tizi Ouchir F2	466150	339500	163	6	154
19	APC	Forage	F01170013	Ain Torki	464084	337735			

---

Annexe II : Débits mesurés à la nouvelle source aux mines de l'oued Rihane Miliana 1923-1924,  
(th.koulomzine 1935).

Mois	Temps en jour	Débit l/s	Débit m <sup>3</sup> /s
21 Février 1923	0	180	0, 18
Avril 1 <sup>er</sup> Quinzaine	38	218	0, 218
Avril 2 <sup>e</sup> Quinzaine	53	222	0, 222
Mai 1 <sup>er</sup> Quinzaine	68	279	0, 279
Mai 2 <sup>e</sup> Quinzaine	83	240	0, 24
Juin 1 <sup>er</sup> Quinzaine	98	200	0, 2
Juin 2 <sup>e</sup> Quinzaine	113	198	0, 198
Juillet 1 <sup>er</sup> Quinzaine	128	198	0, 198
Juillet 2 <sup>e</sup> Quinzaine	143	158	0, 158
Aout 1 <sup>er</sup> Quinzaine	158	133	0, 133
Aout 2 <sup>e</sup> Quinzaine	173	121	0, 121
Septembre 1 <sup>er</sup> Quinzaine	188	111	0, 111
Septembre 2 <sup>e</sup> Quinzaine	203	109	0, 109
Octobre 1 <sup>er</sup> Quinzaine	218	88	0, 109
Octobre 2 <sup>e</sup> Quinzaine	233	69	0, 069
Novembre 1 <sup>er</sup> Quinzaine	248	62	0, 062
Novembre 2 <sup>e</sup> Quinzaine	263	50	0, 05
Décembre 1 <sup>er</sup> Quinzaine	278	50	0, 05
Décembre 2 <sup>e</sup> Quinzaine	293	50	0, 05
Janvier 1 <sup>er</sup> Quinzaine	308	50	0, 05
Janvier 2 <sup>e</sup> Quinzaine	323	50	0, 05
Février 1 <sup>er</sup> Quinzaine	338	61	0, 61
Février 2 <sup>e</sup> Quinzaine	353	109	0, 109
Mars 1 <sup>er</sup> Quinzaine	368	136	0, 136
Mars 2 <sup>e</sup> Quinzaine	383	160	0, 160
Avril 1 <sup>er</sup> Quinzaine	398	173	0, 173
Avril 2 <sup>e</sup> Quinzaine	413	174	0, 174
Mai 1 <sup>er</sup> Quinzaine	428	174	0, 174
Mai 2 <sup>e</sup> Quinzaine	443	169	0, 169
Juin 1 <sup>er</sup> Quinzaine	458	169	0, 169
Juin 2 <sup>e</sup> Quinzaine	473	169	0, 169



Annexe III : les courbes d'étalonnage de (Zn, Sr, Pb et Fe) analyser par un spectrophotomètre d'absorption atomique de flamme (CRNA).

