

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل
Université Mohammed Seddik Benyahia - Jijel

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département : des Sciences de la Terre et de
l'Univers



كلية علوم الطبيعة و الحياة
قسم: علوم الأرض و الكون

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme : **Master Académique en Géologie**

Option : **Géologie de l'Ingénieur et Géotechnique**

Thème

**La tectonique cassante et ses effets sur le développement
des réseaux karstiques de la région Ouest d'El Aouana –
Jijel.**

Membres de Jury :

Président : Mm. KHERROUBA H.

Examineur: Mm. YELLAS C.

Encadrant : Mr. TEKKOUK M. et Dr. BENZAID R.

Présenté par :

BOUDRAA Souha

LAMARA Amina

Année Universitaire 2019-2020

Numéro d'ordre (bibliothèque) :

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, de nous avoir guidé vers le droit chemin, et de nous avoir aidé tout le long de nos années d'étude.

Au nom d'Allah le plus grand merci lui revient de nous avoir donné la force, la patience et le courage d'accomplir ce travail.

En second lieu, nous remercions chaleureusement notre encadreur **Mr. TEKKOUK Mustapha** et co-encadreur **Mr. BENZAID Riad** pour leurs disponibilités, leurs orientations, leurs remarques judicieuses, leurs encouragements et leurs intérêts et efforts pour que ce travail soit en bon port.

Nos remerciements s'adressent aux membres de jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail en acceptant de l'examiner et de l'enrichir par leurs propositions.

Nous tenons aussi à remercier tous nos enseignants, pour leur participation à notre formation. Enfin, nos sincères remerciements à tous nos proches et amis.

Dédicace

Merci Allah de m'avoir donné une autre chance pour continuer mes études, merci de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur de lever mes mains vers le ciel et de dire « Ya Kayoum ».

MERCI ALLAH

Je dédie ce modeste travail

A mes parents .Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour Dont ils ne cessent de me combler. Que dieu leur procure bonne santé et longue vie.

*A celui que j'aime beaucoup et qui m'a soutenue tout au long de ce projet : mon mari
SALAH*

*À mes prestigieux encadreurs monsieur Tekkouk Mustapha et monsieur Benzaid
Riad.*

A toute ma famille, et mes amis, A mon binôme AMINA et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci

Souha

Au terme de ce travail je remercie

Dieux d'avoir écarté de mes yeux le voile de l'ignorance et de m'avoir guidé vers la connaissance de la vraie nature des choses.

Ce travail est l'aboutissement d'un grand courage, d'une éducation et d'un grand sérieux. Je le dédie :

À ma chère mère « Razika » et à mon cher père « Ammar », pour leurs encouragements et leur soutien moral et matériel durant toutes mes années d'études, que Dieu me les gardent.

A toute ma famille

A mon mari Mohammed.

A mes amis Ines ; Souha.

Amína

Table des matières

Résumé	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale	01
Chapitre I : Généralité sur la karstification (notions et définitions)	
I. Présentation générale du phénomène de karstification.....	02
I.1. Quelques notions et définitions du karst.....	02
I.1.1. Définitions générales.....	02
I.2.2 Définitions spécialisées.....	03
I.2. La genèse du karst.....	04
I.3. L'organisation karstique dans l'espace et le temps (processus et caractéristique).....	05
I.3.1. Morphologies karstiques et caractéristiques.....	06
I.3.2. Conditions de formation du karst.....	07
I.3.3. Fracturation.....	07
I.3.4. Influences structurales.....	08
I.3.5. Joints tectoniques, fractures et failles.....	08
I.5. Facteurs de la karstification.....	08
I.5.1. Facteurs endogènes.....	08
I.5.2. Facteurs exogènes.....	09
I.6. Différentes configurations des systèmes karstiques.....	10
I.7. Réseau karstique.....	10
I.7.1. Zone d'absorption.....	11
I.7.2. Zone de transfert vertical.....	11
I.7.3. Zone d'écoulement horizontal.....	11
I.8. karst dans le bassin Méditerranéen.....	12
I.8.1 Crise Messénienne de salinité et ses conséquences sur le karst.....	13
Chapitre II : Cadre géographique et géologique	
II.1. Cadre géographique.....	15
II.1.1. Massifs limitrophes.....	15
II.1.2. Relief.....	16
II.2. Aperçu géologique.....	16

II.2.1.Géologie régionale	17
II.2.1.1.Domaine tellien.....	17
II.2.1.2.Evolution paléogéographique des domaines de la petite Kabylie au cours du Méso–Cénozoïque	18
II.2.2.Géologie locale.....	19
II.2.2.1.Unités à matériel éocène.....	20
II.2.2.2.Les unités septentrionales.....	20
II.2.2.3.Caractères stratigraphiques des Babors	21
II.2.2.4.Ensembles structuraux des Babors.....	22
II.2.2.5.Stratigraphie	23
II.2.2.6.Fracturation de la zone étudiée	25
II.2.3.Géologie du site	26

Chapitre III : Hydro climatologie

III.1. Orographie	28
III.2. Variabilités climatiques spatiales et temporelles.....	29
III.3. Pluviométrie de la zone étudiée	31
III.3.1. Pluviométries mensuelles.....	32
III.3.2. Pluviométries annuelles	34
III.4. Coefficient de pluviosité.....	36
III.4.1. Coefficient à Erraguène.....	36
III.4.2. Coefficient à Zياما Mansouriah	37
III.4.3 Comparaison de la pluviosité aux stations de Zياما et d'Erraguène.....	38
III.5 Variations pluviométriques saisonnières.....	39
III.6. Agressivité des pluies.....	40
III.6.1. Formule de Mataresse.....	40
III.6.2. Formule de Body.....	41
III.6.3. Indice de F. Fournier.....	42
III.7. Les précipitations solides.....	43
III.8 Variation des débits.....	43
III.8.1 Débits mensuels à Erraguène.....	44
III.8.2. Débits saisonniers.....	45
III.9. Température.....	45

III.9.1. Les température de la zone d'étude.....	46
Chapitre IV : Influence de la tectonique sur le développement des réseaux karstique	
IV.1. Karstification et fracturation.....	49
IV.1.1 Rôle de l'eau dans la karstification.....	49
IV.2 Relevés de la fracturation le long du tronçon d'étude	50
VI.2.1 Site des Aftis 1.....	50
IV.2.1.1 Représentation des mesures relevées à la station Aftis 1.....	50
IV.2.1.2 Orientation des familles de discontinuités.....	50
IV.2.2 Site Aouana.....	51
IV.2.2.1.Représentation des mesures relevées à la station Aouana.....	51
IV.2.2.2 Orientation des familles de discontinuités	52
VI.2.3 Station des Grottes merveilleuses.....	52
VI.2.3.1 Orientation des familles de discontinuités.....	53
IV .3 Représentation des différentes familles de fractures.....	53
IV.4 Approche morphologique et spéléologique.....	54
IV.4.1 Cavités du djebel Brek et du djebel Hamra.....	55
IV.5 Approche karstologique des lieux.....	60
IV.5.1 Exemples de résultats de la karstification des lieux étudiés.....	60
IV.5.2 Source karstique M'Chaki.....	63
Conclusion général	65
Bibliographie	

Résumé

L'intérêt de notre présent travail réside dans le fait que tout futur projet de routes ou d'ouvrages d'art que connaîtra la région d'El Aouana sollicitera le milieu naturel (sols, roches, eau) sur lequel il sera établi. Des études géologiques préliminaires s'imposent car elles sont des facteurs capitaux dans l'appréciation des conditions de réalisation de ces ouvrages.

En plus de l'intérêt porté à l'étude de la fracturation des formations calcaires et son rôle joué dans le développement de la karstification des lieux, nous devons signaler l'intérêt géotechnique lié à la connaissance de ces accidents tectoniques, car en saison hivernale, la RN 43 est souvent rendue impraticable par les chutes de blocs, les éboulements et autres mouvements de masse qu'elle subit.

Les sorties permet clairement de voir que la disposition de la majorité des cavités qui est parallèle au rivage et qu'elle fait penser à l'un des principaux axes tectoniques régnant ayant sévis dans la région. En effet, il s'agit de la direction NE-SW.

Mots clés : karst, calcaire, tectonique cassante, fracturation, réseaux karstique, région El Aouana,

المخلص

تكمن المصلحة من عملنا هذا في ان اي مشروع مستقبلي للطرقاات و المنشآت الفنية في منطقة العوانة يتطلب معرفة البيئة الطبيعية (التربة ، الصخور و المياه) التي سيتم إنشاؤها عليها ، تعتبر الدراسات الجيولوجية الأولية ضرورية لأنها عوامل رأسمالية في تقييم ظروف إنشاء هذه الأعمال.

بالإضافة إلى الاهتمام الموضح بدراسة تكسير تكوينات الحجر الجيري ودوره في تطوير الكارستية للأماكن ، يجب أن نشير إلى الاهتمام الجيوتقني المرتبط بمعرفة هذه الحوادث التكتونية ، لأنه في فصل الشتاء غالبًا ما تصبح غير عملية بسبب سقوط الصخور و الانهيارات الأرضية و غيرها من الحركات الجماعية التي تخضع لها على مستوى الطريق الوطني 43 تظهر الخرجات الميدانية بوضوح أن ترتيب غالبية التجاويف الموازية للشاطئ و يذكر بأنه أحد المحاور التكتونية الرئيسية السائدة في المنطقة. في الواقع ، هذا هو اتجاه شمال شرق وجنوب غرب.

كلمات المفتاحية : الكارستية ، الجير ، التكتونية الهشة ، التصدع ، الشبكات الكارستية ، منطقة العوانة

Abstract :

The interest of the present work lies in the fact that any futur project of roads or civil structures in the region of El Ouana will seek the natural environment (Soil, Rock, water) on which it will be established. Preliminary geological studies are essential because they are capital factors in the assessment of the construction making conditions. In addition to the interest given to the study of the fracturing of limestone formations and its role in the development of karstification in the area, we must point out the geotechnical interest linked to the tectonic activity, because in winter the NR 43 is often made impracticabal by boulders falls, landslides and other mass movement that is subjected. The onsite visits show up easily that most cavities arrangement is parallel to the coast and let us think that the main tectonic axes prevailing in the region. Indeed, it is the NE-SW direction.

Key words: karst, limestone, brittle tectonic; fracturing, karstique network, Ouana area.

Liste des Figures

Figure I.1 : Schéma du système karstique qui présente les phénomènes majeurs interagissant au sein d'un karst actif (modifié d'après Ford & Williams, 1989).....	04
Figure I.2: Organisation des réseaux karstiques le long du profil amont-aval et présentation des termes hydrodynamiques et morphologiques. Eglantine H. (2013)	05
Figure I.3: Bloc-diagramme d'un paysage karstique synthétique (Bakalowicz, 1999.).....	07
Figure I.4: Configurations des systèmes karstiques.....	10
Figure I.5 : Zonation du réseau de drainage karstique (M. Tekkouk 1984).....	12
Figure I.6 : Différents types de sources karstiques.....	12
Figure I.7: Affleurements des ensembles karstiques (en bleu) autour de la Méditerranée (Bakalowicz and Dörfliger 2005).....	13
Figure I.8: Bassins résiduels de la Méditerranée au Messinien, avec dépôts de gypse et de sel. (Rouchy, 2000).....	14
Figure II.1: Localisation géographique du secteur d'étude ((Photos Google Earth).....	15
Figure II.2 : Unités et sous – unités des Babors Orientaux (D. Obert, 1981) (légèrement modifié).....	21
Figure II.3 : Structure géologique de la chaîne des Babors, Algérie nord orientale.....	21
Figure II.4: Esquisse géologique de l'unité Brek-Gouraya -Bâbors orientaux–Synthèse des cartes géologiques de D. Obert (1981)	23
Figure II.5: Coupe géologique de l'unité Brek- Gouraya (Etablie à partir de la carte géologique (D.Obert, 1981)).....	24
Figure II.6: Contexte sismotectonique de la région Jijel – Béjaïa (CRAAG 1971).....	25
Figure III.1 : les chaînes Nord et Sud numidiqes.....	28
Figure III.2 : Hypsométrie de la wilaya de Jijel.....	29
Figure III.3 : pluviométrie de la wilaya de Jijel.....	29
Figure III. 4 : Variations intermensuelles pluviométriques à Erraguène.....	33
Figure III.5 : Variations intermensuelles de la pluviométrie à Ziama Mansouriah Période 1945/46 – 1960/61.....	34

Figure III.6 : Variations interannuelles pluviométriques à Erraguène (Période 1960/61 1990/91)....	35
Figure III.7 : Précipitations moyennes annuelles à Erraguène (Période 1990/91 2009/10).....	35
Figure III.8 : Précipitations moyennes annuelles à Ziama Mansouriah (Période 1945/46 1960/61)	36
Figure III.9 : Coefficient de pluviosité à Erraguène période 1945/46 - 1960/61 et 1968/69 - 1985/86.....	37
Figure III.10 : Coefficient de pluviosité à Ziama Mansouriah période 1945/46.....	38
Figure III.11 : Pluviométrie aux stations de Ziama Mansouriah et Erraguène période 1945/46-1960/61	39
Figure III.12 : Répartition saisonnière de la pluviométrie Erraguène – 1960/61 – 1990/91.....	40
Figure III.13 : Variabilité des débits mensuels à Erraguène (Période 1990/91 à 2009/10).....	45
Figure III.14 : Débits saisonniers de l’Oued Djendjen à Erraguène (Période 1990-2010).....	45
Figure.III.15 : Températures moyennes mensuelles Aéroport F.Abbàs Période 1971/72 – 2007/08	47
Figure III.16 : Evapotranspiration de l’Est algérien pour les Saisons hivernales et estivale.....	48
Figure IV.1 : Projections stéréographiques des discontinuités du site « Afis1 » [Yellas,2018].....	50
Figure IV. 2 : Représentation en 3 D des discontinuités - Station Aftis1[Yellas,2018].....	51
Figure IV. 3 : Projections stéréographiques des discontinuités - Station « Aouana » [Yellas,2018]...	51
Figure IV.4 : Représentation en 3 D des discontinuités - Station « Aouana» [Yellas,2018].....	52
Figure IV.5 : Projections stéréographiques Site « Grottes merveilleuses ».[Yellas,2019].....	53
Figure IV.6 : Représentation en 3 D des discontinuités- Station des Grottes merveilleuses.[Yellas,2019].....	53
Figure IV.7 : Représentation des différentes familles de fractures Sites étudiés[Yellas,2018].....	54
Figure IV.8 : Cavernes et abîmes des environs de Ziama Mansouriah (Etablie par J.Birebent , modifiée par nos soins).....	59
Figure IV.9 : Emplacement et représentation en 3 D des lieux karstifiés de la région ouest d’El Ouana.....	59
Figure IV.10 : Aven et grotte marine à Kbeur Es Sba.....	60
Figure IV.11 : Cavités au niveau de la route PK 25+450 sur RN 43 (Ghar El Baz).....	61

Figure IV.12: Les deux grandes cavités karstiques Ghar El Baz.....	61
Figure IV.13 : Coupe géologique de la région « Ghar el Baz ».....	62
Figure IV.14: Les grottes merveilleuses	62
Figure IV.15: Coupe géologique du site et dispositif hydrogéologique karstique de la source M'Chaki (Article soumis : M. Tekkouk, R. Benzaid, 2020).....	63
Figure IV.16 : Détail des réservoirs karstiques assurant lapérennité et l'intermittence de la source M'Chaki. (Article soumis : M.Tekkouk, R.Benzaid, 2020).....	64

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Evolution du domaine tellien du Trias au Plio–Quaternaire.....	19
Tableau III.1 : Variation de la pluviométrie avec l'altitude.....	30
Tableau III.2 : les données de la pluviométrie enregistrées aux stations d'Erraguène et de Ziama Mansouriah.....	32
Tableau III.3 : Agressivité climatique selon Mataresse (D'après M.Bourouba 1988).....	41
Tableau III.4 : Agressivité climatique selon Body (in M. Bourouba 1988).....	42
Tableau III.5 : Agressivité climatique selon l'indice de F. Fournier	42
Tableau III.6 : Température moyenne mensuelle (Station Jijel Aéroport, Période 1971/ 72 -2007/08).....	47
Tableau IV.1 : Orientation et direction des différentes familles de discontinuités de la station Aftis 1.....	51
Tableau IV.2 : Orientation et direction des différentes familles de discontinuités (Aouana).....	52
Tableau IV.3 : Orientation et direction des différentes familles de discontinuités Station Grottes merveilleuses.....	53
Tableau IV.4 : Cavités, grottes et sources recensées par J.Birebent Corniche Jijel – Béjaia.....	56

Introduction générale

Profitant des effets de la tectonique, les phénomènes d'érosion, de corrosion, et de dissolution, liés aux précipitations favorisent d'année en année la dégradation des sols, des terrains meubles et la karstification des formations carbonatées de l'Ouest d'El Aouana.

L'eau de par ses multiples actions reste incontestablement le facteur essentiel de toute la dynamique de développement et du modelage des paysages karstiques de notre région ici étudiée.

Conscients de l'importance du rôle joué par la fracturation dans le développement des réseaux karstiques, nous avons, pour mettre en relief l'impact de la tectonique cassante, jugé utile de structurer notre travail en 4 chapitres où il a été question de :

En chapitre 1 nous avons en guise de généralités, de définitions et de notions des récents travaux.

En chapitre 2 les grands traits géologiques régionaux et locaux seront traités. Une synthèse des différentes phases tectoniques ayant affecté notre région d'étude sera abordée, elle sera suivie d'une carte séismo-tectonique qui nous permettra de recenser les cicatrices ou accidents majeurs que recèle la région Jijel-Béjaia.

Le chapitre 3 est consacré aux agents hydroclimatiques jouant un rôle dans la karstification commençant par une orographie de la région et une étude de la précipitation sur deux stations pluviométrique Erraguène et Ziama Mansouriah pour mieux décrire le processus de dissolution des carbonates.

Le chapitre 4 sera réservé aux relevés et mesures de la fracturation que nos enseignants chercheurs ont effectués sur les sites des « Aftis », de la « Grotte merveilleuse » et des « Falaises » situés sur la RN43 de la côte ouest d'El Aouana. Dans lequel seront présentées les formes karstiques des lieux sera réservé à un résumé des travaux spéléologiques de **Birebent**. Ce même chapitre contiendra des photos et autres coupes géologiques, ils permettront aux lecteurs de vérifier de visu quelques-unes des formes karstiques ainsi héritées. Notons que dans ce même chapitre nous profiterons de l'occasion pour exploiter résultats de travaux de recherche de nos encadreurs qui ont été soumis dans un article et qui concerne la source karstique M'Chaki.

CHAPITRE I

GENERALITE SUR LA KARSTIFICATION (NOTIONS ET DEFINITION)

D'après Philippe Renault le phénomène karstique ont suscité et susciteront de nombreuses questions/discussions dès 1897, Gunther écrivait : il n'est pas possibles de donner une définition exact de ce terme ». Le karst est un phénomène complexe dans ses manifestations ; sa variété et ses combinaison morpho-sédimentaire ou ses processus chimiques et/ou physiques. Une coexistence et une interaction entre différentes disciplines : géologie structurale, géomorphologie, hydrologie, spéléologie...etc. nous donne une meilleure compréhension de ce phénomène de karstification.

I.1 Présentation générale du phénomène de karstification

Le terme karst est dérivé des termes "Carso" et "Kras" utilisés par les populations locales (Slaves) pour décrire le paysage rocheux typique autour de Trieste et de la chaîne Dinarique en Slovénie comme il est présent dans la langue allemande. Il est assimilé à un système intégré de transfert de masse dans des roches solubles dont la perméabilité est dominée par des conduits dissous. Les karsts se développent principalement dans les roches carbonatées, comme les calcaires (constitués essentiellement de minéral de calcite, CaCO_3).

Dans ce paragraphe , ainsi que dans le reste du manuscrit, l'intérêt sera particulièrement porté sur les définitions les plus appropriés au terme karst ainsi que sur sa genèse et son développement dans ces roches.

I.2 Quelques notions et définitions du karst

Il existe une problématique des définitions du karst, l'échelle d'étude joue un rôle important ce qui donne naissance à des définitions générales et des définitions spécialisées.

I.2.1 Définitions générales

Etant donné que le karst se développe dans les massifs des roches carbonatées solubles et peu solubles cas des grés (M. Mainguet, 1975), pour plus de détails voir le travail de E. Calvin Alexander Jr. (2015) dans sont travail sur le comté de Pine (Minnesota USA).

I.2.1.1. Définition géographique : un karst est caractérisé par une morphologie de surface, avec lapiaz et formes endoréiques particulières (dolines et poljes), et une morphologie souterraine (caverne, rivière...) résultats d'une hydrographie qualifié par des pertes et/ou résurgences de grand débit. Par conséquence Le karst se développe principalement dans les massifs de roches carbonatées ; où le l'accent est mis sur le critère morphologique ou sur le critère lithologique.

I.2.1.2. Définition géologique : elle complète la définition précédente en ajoutant aux phénomènes primaires, des phénomènes secondaires correspondant au colmatage chimique (concrétions) ou mécanique (éboulis, alluvions) dans les parties creuses du paysage (**J. Kunsky, 1950 in Philippe Renault 1977**).

I.2.1.3. Définition scalaire : elle est donnée et utilisée par l'ex-bloc Soviétique, c'est **Aprodove 1948** qui a proposé cette nouvelle approche. Elle retient les critères précédents (morphologiques et lithologiques) en y ajoutant une distinction originale entre manifestations morphologiques crypto-karstiques, à l'échelle des pores physico-chimique, manifestation micro-karstiques, à l'échelle de l'observation directe permettant l'écoulement de l'eau et manifestation macro-karstique correspondant à une échelle régional et se traduisant par le développement de gisements minéraux et du réseau hydrographique.

I.2.2 Définitions spécialisées

Avec l'avancé des travaux/ recherches sur le karst d'autres définitions ont été présentées :

I.2.2.1. Définition géochimique : elle a été proposée, reposant essentiellement sur une séparation entre la calcite et des éléments constituant du calcaire moins solubles. Le transport de ces éléments et leur dépôt peuvent alors intervenir dans un ensemble de structures, résultat de cette altération: Les cavités karstiques. Dans son rôle de réceptacle, le karst conditionne les dépôts ... par les conditions hydriques et physico-chimiques qui y règnent ... Ainsi le karst se définit par les deux fonctions essentiellement que sont la séparation et la concentration ...le Karst constitue une métallotecte morphologique et physico-chimique (**M.G. Leleu, 1966 in Philippe Renault 1977**).

I.2.2.2. Définition géotechnique et (ou) spéléologique : Le terme « karst » employé dans le sens de cavité karstique issu des travaux de génie civil ; il est très discutable par ce qu'il englobe tous les vides colmaté ou non qui ne sont pas des vides artificiels ou des vides dus à la décompression (**R. Théron, 1973**).

I.2.2.3. Définition hydrodynamique : un réseau hydrographique souterrain ne se limite pas au calcaire. C'est pour quoi de l'U.N.E.S.C.O de Dubrovnik (Croatie), 1965 existait une section « hydrologie karstique dans les roches volcanique » R. Hazan distingue les écoulements laminaires, turbulents et karstiques, cas particulier des précédents. Dans un pompage « lorsqu'au niveau du forage d'exploitation, la perte de charge totale est constante dans le temps, on dit que l'on a affaire à un écoulement karstique (**R. Hazan et L. Monition, 1964**) ».

I.3 Genèse du karst

Le karst désigne un type de paysage particulier, comprenant des cavités et un vaste système de circulation d'eau souterraine développé dans les roches solubles comme les carbonates d'un point de vue géomorphologique et hydrogéologique.

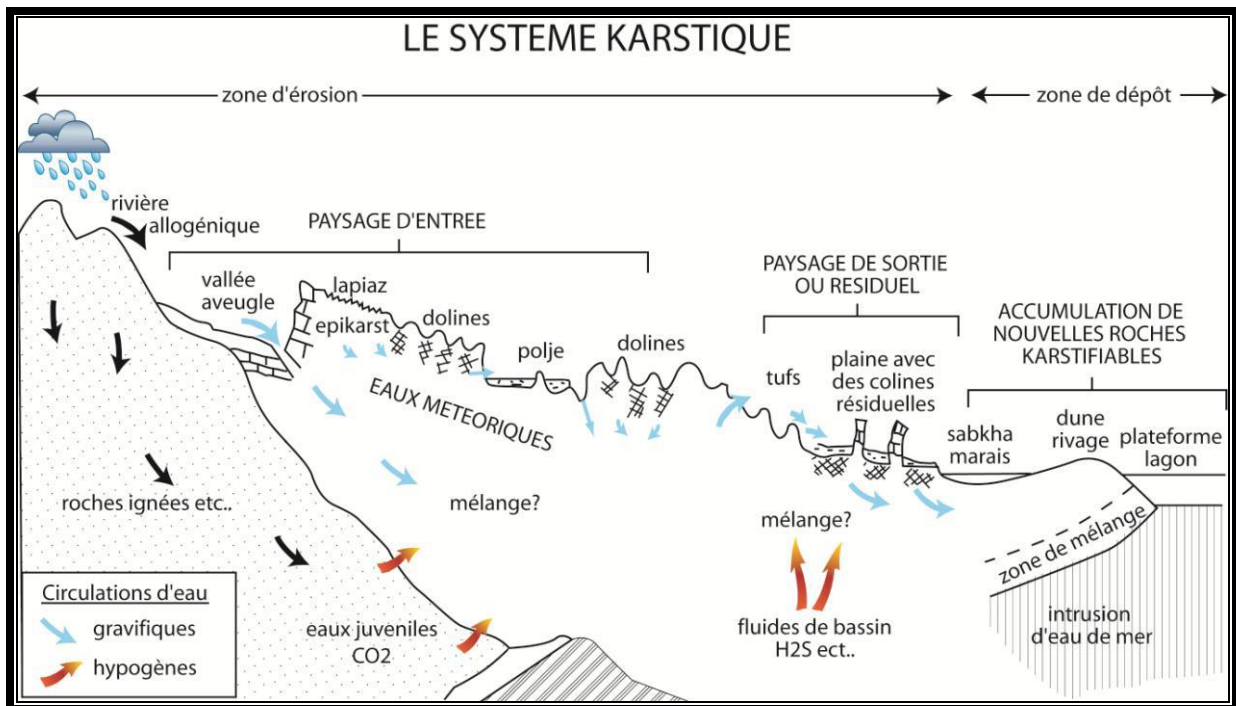


Figure I.1 : Schéma du système karstique qui présente les phénomènes majeurs interagissant au sein d'un karst actif (modifié d'après Ford & Williams, 1989).

Ces roches se dissolvent sous l'action d'une eau chargée d'un agent agressif (CO_2 , H_2SO_4 ...), c'est pourquoi il est nécessaire de différencier 3 types de karst (**Bakalowicz, 1996**):

- les "karsts gravifiques" (**Mangin, 1982**), formés sous l'action de l'eau météorique et d'un gradient d'écoulement (ou potentiel altimétrique) entre la zone de recharge et la sortie de l'aquifère ;
- les karsts hypogènes (**Filippov, 2004; Ford, 2006; Audra et al., 2011**) formés par des remontées d'eaux hydrothermales ou de fluides profonds ;
- les karsts littoraux où la dissolution chimique liée au mélange eaux douces/eaux salées est aidée par l'abrasion mécanique des vagues, des courants et les variations du niveau marin. (**Salomon, 1982; Fleury, 2005**)

Par conséquence de nombreuses définitions ont été proposées pour désigner convenablement le processus qui résulte de l'action dissolvante de l'eau sur certains types de roches. Dans ce manuscrit,

la définition proposée par (Bakalowicz ;1999) a été retenue : le karst est l'ensemble de formes superficielles et souterraines résultant de la dissolution de roches carbonatées (calcaires, dolomies) par l'eau rendue acide par le dioxyde de carbone ; par extension, l'ensemble de formes comparables se développant dans les roches salines (gypse, anhydrite, halite).

Le mot « karst » s'est répandu dans l'Europe centrale et occidentale. On désigne sous le nom de « phénomènes karstiques » les formes du relief, les caractères morphologiques et les processus hydrographiques particuliers aux terrains calcaires ou salins sur toute la surface de la Terre. En effet, le paysage karstique résulte des écoulements souterrains particuliers qui se mettent en place progressivement dans les roches carbonatées et salines et constitue également un aquifère puisque l'eau souterraine est totalement impliquée dans sa formation et dans son fonctionnement (Mangin, 1975 ; Bakalowicz, 1999).

I.4 L'organisation karstique dans l'espace et le temps (processus et caractéristique)

Le karst possède une zonation de processus morphologique et hydrodynamique dans l'espace; à la fois horizontale et verticale (figure I.2).

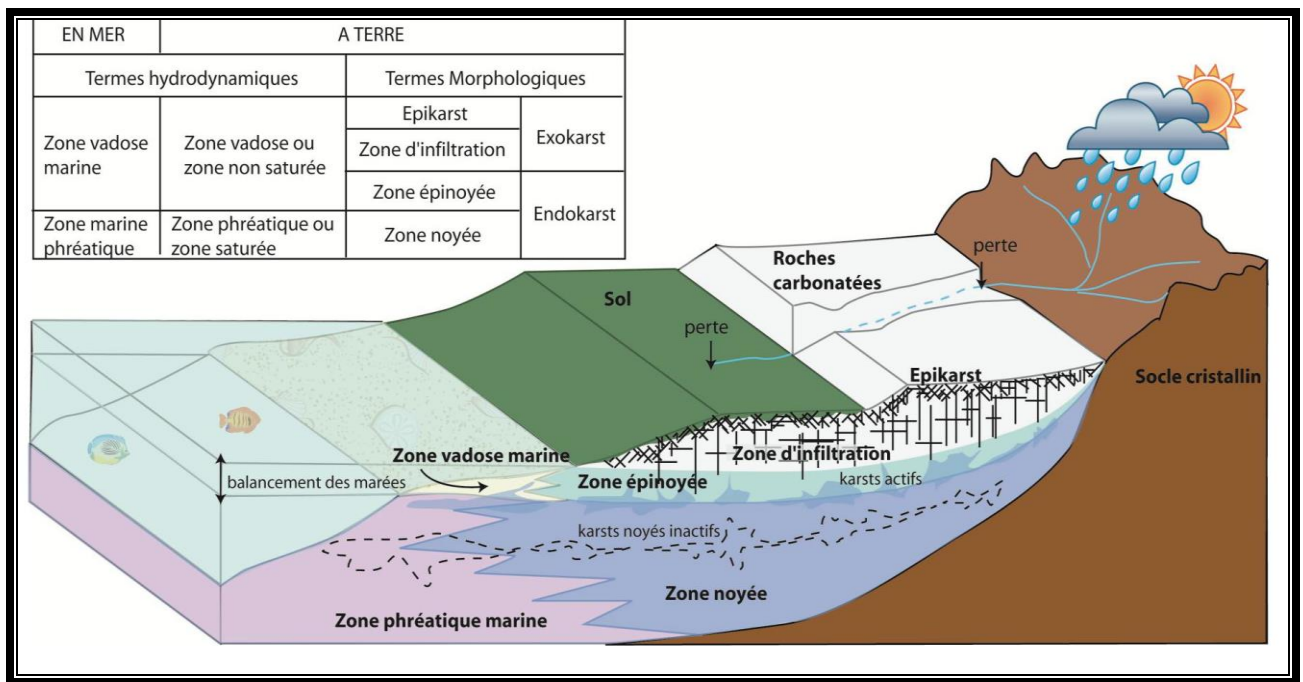


Figure I.2: Organisation des réseaux karstiques le long du profil amont-aval et présentation des termes hydrodynamiques et morphologiques. (Eglantine;2013).

Le découpage morphologique s'organise de manière verticale et permet de différencier quatre parties de l'aquifère karstique (Camus, 2003) :

- L'épikarst représente la partie superficielle du karst (figure I.2). Epaisse de quelques mètres à quelques dizaines de mètres, elle collecte les eaux d'infiltration ou de ruissellement et les stocke

temporairement dans une nappe perchée, discontinue. Ces eaux sont ensuite drainées vers le bas par des vides plus larges.

- **La zone d'infiltration** correspond à la partie de l'aquifère karstique dans laquelle les eaux s'écoulent par des drains hétérogènes (conduits kilométriques à fissures micrométriques) depuis l'épikarst jusqu'à la zone épinoyée.

- **La zone épinoyée** correspond à ce qu'on appelle familièrement la zone de battement de la nappe, c'est-à-dire à la partie de l'aquifère contenu entre la surface piézométrique des hautes eaux lors de la recharge et la surface piézométrique des basses eaux lors de l'étiage.

- **La zone noyée** s'organise autour d'un axe de drainage pouvant correspondre à des conduits karstiques de grande taille. Le toit de la zone noyée est en connexion directe avec l'exutoire ou le niveau de base.

I.4.1 Morphologies karstiques et caractéristiques

Une grande diversité morphologique et hydrographique est constatée dans les différentes régions karstiques (**Figure I.3**). La composition chimique de la roche et le climat, sa couverture sédimentaire, la tectonique de la région, la présence et l'épaisseur de couches imperméables intercalées, sont des facteurs qui peuvent contrôler l'évolution de la karstification et provoquer des différences morphologiques considérables entre les régions karstiques.

On peut tout d'abord distinguer les formes karstiques de surface (exokarst) des formes souterraines/des formes en profondeur (endokarst). Les dolines sont, avec les lapiazs, les premières expressions du karst en surface, même si on peut parfois retrouver ces morphologies plus en profondeur, notamment sous une couverture de sol (**Figure I.3**). Les poljés, gouffres, avens et ouvalas sont également des formes superficielles remarquables par leurs dimensions car si les poljés et les ouvalas peuvent s'étaler sur de larges surfaces, les gouffres et les avens peuvent parfois atteindre des profondeurs de plusieurs centaines de mètres.

En profondeur justement, on peut trouver des cavités de plus ou moins grande dimension, ainsi que des réseaux de conduits se développant parfois sur plusieurs dizaines de kilomètres linéaires et plusieurs centaines de mètres verticalement.

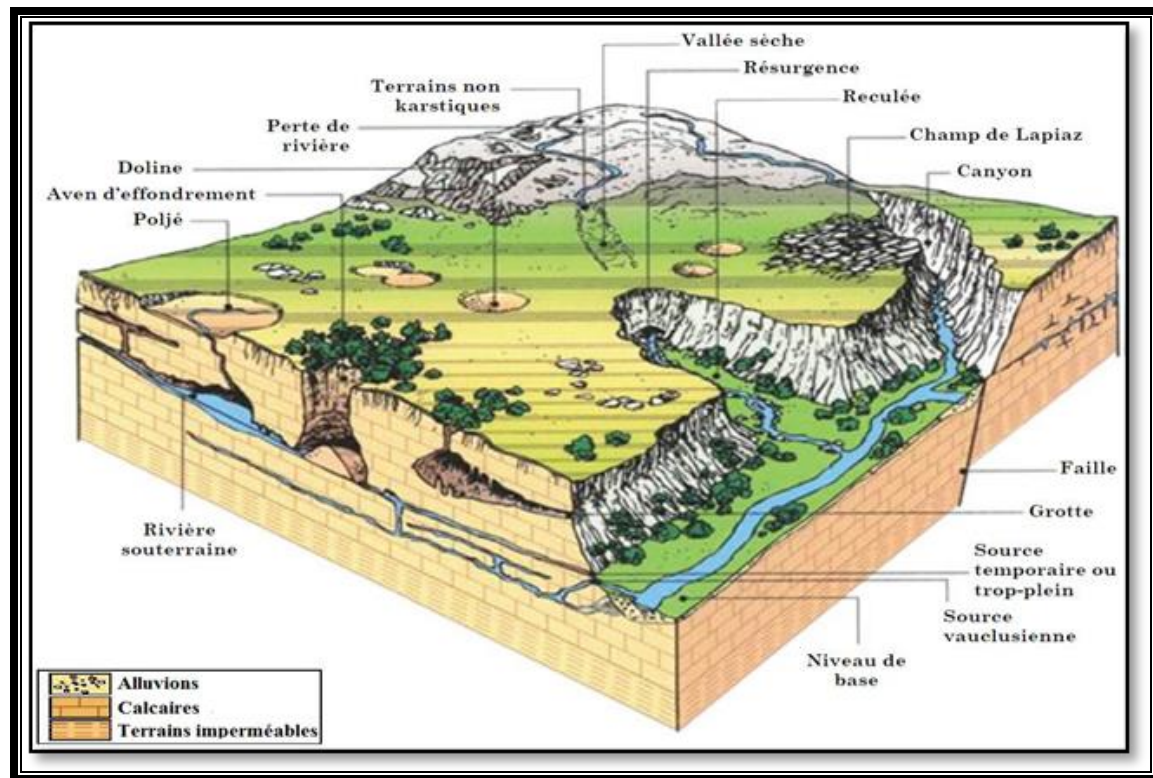


Figure I.3: Bloc-diagramme d'un paysage karstique synthétique (Bakalowicz, 1999.)

I.4.2 Conditions de formation du karst

Les conditions de formation du karst ne sont pas partout identique par tous les calcaires deviennent karstique – il existe des calcaires compacts qui en sont exempts. La craie finement poreuse n'en renferme guère. Une condition essentielle est, dès lors que la circulation de l'eau doit se former en chenaux soit verticaux, soit horizontaux, soit inclinés, c'est-à-dire suivant des fractures des joints des diaclases, bref des solutions de continuité perméables en grand.

Remarquons que la nature de la roche joue aussi un rôle puisque les dolomies sont moins susceptibles d'être affectées que les calcaires.

Une autre condition est la relative abondance de la pluviosité comme source d'eau d'infiltration. Il existe cependant des karsts en pays sud (sud Algérien) ceci ne va pas en contradiction avec nos conditions initiales, ça doit nous emmener à penser à une paléo géographie qui a évolué d'un climat humide à un climat sec (échelle temporelle).

I.4.3 Fracturation

À l'état de roche, les carbonates peuvent également être sujets à la fracturation. Cette dernière modifie alors la relation entre l'aquifère et la circulation des fluides (Berkowitz, 2002). Une dissolution de la roche, contrôlée par de nombreux facteurs, peut se surimposer à cette fracturation.

Cette dissolution peut intervenir depuis l'éogénèse jusqu'à la télogénèse et créer ainsi des systèmes de vides organisés modifiant là encore les propriétés aquifères (**Vacher & Mylroie, 2002**). Cette dissolution constitue le karst. Ces deux processus, fracturation et karstification, s'ajoutent à l'hétérogénéité « naturelle » des carbonates et sont de ce fait fondamentaux pour la compréhension des écoulements (**Edwards et al. 1992**). [**Fournillon;2012**].

I.4.4 Influences structurales

Le rôle des structures tectoniques dans le développement de cavité a été étudié sous différents aspects. Les études se sont d'abord concentrées sur la relation entre l'orientation spatiale et le développement de conduits karstiques (**Ford et Ewers, 1978 ; Palmer, 1991**) puis sur le type et la géométrie des structures tectoniques influençant préférentiellement la spéléogénèse (**Tîrlă et Vijulie, 2013 ; Sauro, 2014 ; Littvaet al. 2015**).

I.4.5 Joints tectoniques, fractures et failles

Les différentes structures tectoniques (joints tectoniques, fractures, failles) peuvent intervenir à différents stades de l'évolution d'une roche, très tôt lors de la diagenèse ou plus tardivement lors d'évènements tectoniques. Ces structures sont le résultat de contraintes extensives, compressives ou cisailantes. (**Glazek ; 1989**) suggère que la présence de structure tectonique est indispensable pour le développement de cavité. À l'échelle régionale, les structures tectoniques majeures, comme les failles, auraient une grande influence sur la circulation des fluides (**Levens et al, 1994**). Les chemins d'écoulement préférentiel peuvent ainsi être bien développés le long des zones de faille du fait de la présence d'une rugosité plus importante ou de la présence de brèche ou cataclasite présentant une perméabilité plus élevée.

Le "potentiel de karstification" ou "potentiel karstique" selon (**Mangin ;1975 et Bakalowicz ;1986**) s'apparente à un "potentiel de dissolution" contrôlé par un gradient hydraulique (potentiel d'érosion mécanique) et l'agressivité de l'eau (potentiel d'altération chimique). De plus, le potentiel de karstification est dépendant de la pluviométrie et de l'activité végétale de la région étudiée; le climat va donc avoir une influence importante sur le développement des aquifères karstiques (**Camus, 2003; Garry, 2007**).

I.5 Facteurs de la karstification

I.5.1 Facteurs endogènes

Les roches karstiques sont constituées sélectivement d'une série de minéraux tels que calcite, aragonite, latérite, dolomite, magnésite, honstite, etc. Dont les formes cristallines différentes de

propriété et de structures. C'est d'ou le microscope seul qui nous permet de découvrir une première cause de différences dans l'évolution des roches karstiques.

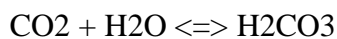
La nature des solutions résiduelles et notamment leur ph, procure une indication au sujet des réactions chimiques et sur la nature des molécules dont les roches attaquées étaient constituées à l'origine.

Les roches selon leur constituant répondent différemment à l'attaque par le CO_2 . Ses produits de solubilité des composés dissous dans l'eau se situent dans une gamme très étendue de compositions. Dépendant des facteurs tels que la pression de CO_2 , la température, le potentiel oxydo- réducteur, la présence d'alcalin ect., la correction entre le ph et le rapport Mg / Ca a été confirmée par l'étude synthétique de diverses eaux en Belgique. Il est lié à la solubilité différente du calcium et du magnésium et aux propriétés des solutions résiduelles de la dissolution des roches.

I.5.2.Facteurs exogènes

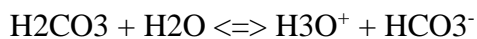
En présence de CO_2 de l'air, l'attaque du calcaire et de la dolomie s'effectue selon les formules :

- Dissolution du dioxyde de carbone :



Dioxyde de carbone + eau \rightleftharpoons acide carbonique

- Dissociation aqueuse de l'acide carbonique :



Acide carbonique + eau \rightleftharpoons hydronium + hydrogénocarbonate

- Attaque acide des carbonates :



Hydronium + carbonate de calcium \rightleftharpoons calcium + hydrogénocarbonate + eau

Il est évident que cette réaction est influencée par des facteurs anthropogènes, puisque l'air et l'eau conditionnent le biotope humain.

Les structures karstiques constituent aussi, et plus encore pour eaux qui n'y vivent pas en permanence, un attrait à cause du modelé des paysages et du jeu de l'eau dans les roches qui est toujours spectaculaire dans le sous-sol.

La présence de l'homme en pays karstique a pour effet d'accélérer l'altération diogénique et d'y accroître la fréquence des affaissements du sol.

Il est à noter que les composés sulfatés présents dans l'air exercent une influence notable sur la dégradation des roches karstiques.

Le modelé karstique est le résultat direct de l'action des facteurs d'érosion physique et chimique. Il dépend aussi de l'orientation des massifs et de leur exposition face aux agents tels que la pluviosité, l'atmosphère maritime ou continentale.

I.6 Différentes configurations des systèmes karstiques

Les deux variables intervenant principalement sur la configuration du système karstique sont la nature de l'impluvium et l'état. En fonction de la nature de l'impluvium, on distingue (**Figure I.4**) :

- **les karsts unaires** pour lesquels l'ensemble de l'impluvium est constitué de terrains karstiques ;
- **les karsts binaires** qui possèdent dans leur bassin versant des terrains non karstiques et imperméables, sièges d'un ruissellement. Les écoulements de surface qui se forment sur ces terrains pénètrent dans l'aquifère par l'intermédiaire de pertes généralement situées au contact entre les deux types de formations.

Le rôle d'un impluvium non-karstique est fondamental car il concentre l'énergie disponible en un point ce qui accélère et augmente le développement d'une structure de drainage. De plus il est responsable d'apport d'eaux de surface influant sur le colmatage (apports de particules fines) et la qualité des eaux. (Marsaud;1997).

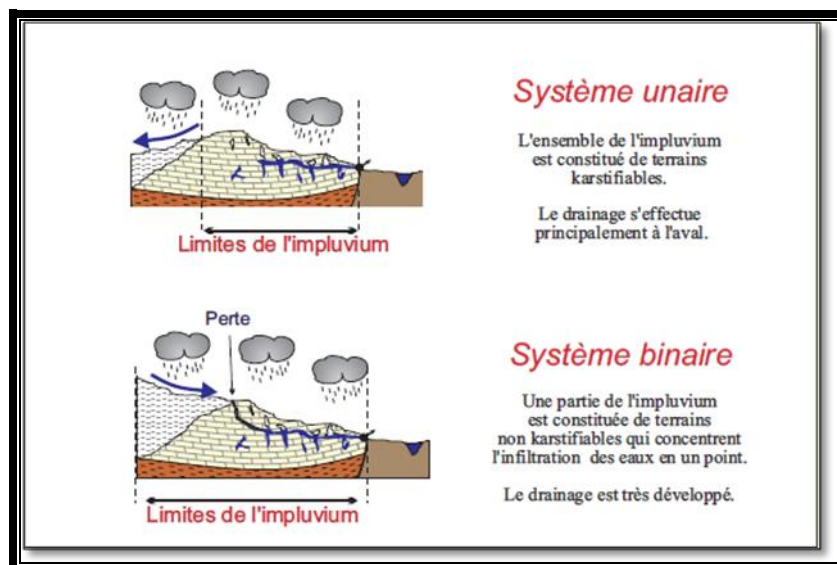


Figure I.4: Configurations des systèmes karstiques.

I.7. Réseau karstique

Dans un karst parvenu à maturité dans un terrain homogène, le réseau de drainage souterrain est composé de 03 zones :

- La zone d'absorption ;
- La zone de transfert vertical ;

- La zone d'écoulement horizontal.

I.7.1 Zone d'absorption

La zone d'absorption très fissurée en raison de la détente des terrains en surface, est favorable à une altération poussée, la dissolution y est active et le pourcentage des vides peut être élevé. Cette zone de quelques décimètres à quelques mètres d'épaisseur est limitée par une discontinuité généralement bien marquée de la roche sous-jacente plus compacte et moins perméable.

Le gradient de perméabilité favorise localement l'accumulation d'un aquifère superficiel (L'aquifère épi karstique). Entre la surface et la zone de transfert vertical, l'infiltration des eaux se fait de diverses manières. Lorsque le karst reçoit des écoulements allochtones, provenant des terrains non-karstiques imperméables, latéraux ou supérieurs, l'enfouissement s'effectue de manière localisée et rapide dans les pertes, qui sont des points privilégiés d'absorption. Les eaux d'infiltration lente sub-saturées vis-à-vis des carbonates avant d'atteindre la zone de transfert vertical, seuls les eaux d'infiltration rapide circulant dans les fissures les plus largement ouvertes, sont encore agressives en profondeur.

I.7.2 Zone de transfert vertical

La zone de transfert vertical, appelée parfois zone vadose, permet à l'eau de cheminer soit jusqu'à la zone noyée, soit jusqu'au mur imperméable du karst.

L'enfouissement des eaux se fait habituellement par une succession de puits raccordés entre eux par des courts tançons horizontaux.

La dissolution dans la zone de transfert vertical est relativement réduite, comparativement aux deux autres zones, en raison du cheminement rapide des eaux.

I.7.3 Zone d'écoulement horizontal

Après avoir traversé la zone de transfert vertical, les eaux finissent apparaître à la surface.

On appelle les sources karstiques (**Figure I.5**).

Plusieurs cavités karstiques de tailles importantes ont été rencontrées au PK 25+450 sur RN 43 (grotte de Ghar El Baz), ce karst s'est vidé par lui-même, et s'est développé par l'enfoncement vertical de failles, diaclases, les écoulements et les eaux de ruissellement. (**Figure I.5**).

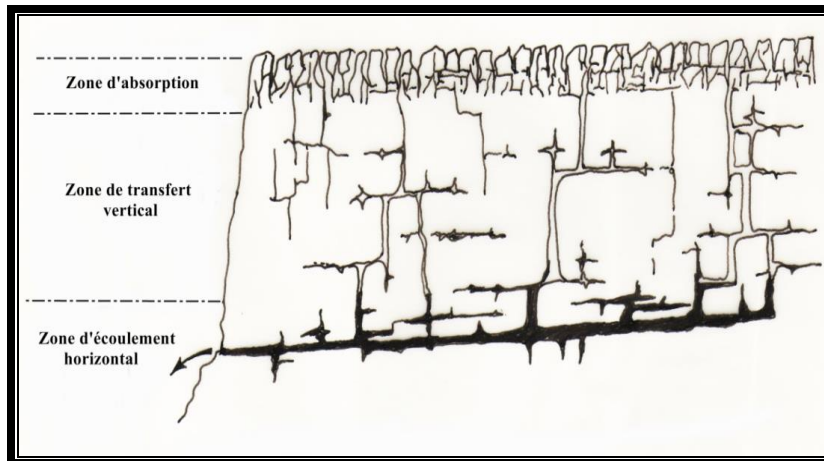


Figure I.5 : Zonation du réseau de drainage karstique (Tekkouk ;1984).

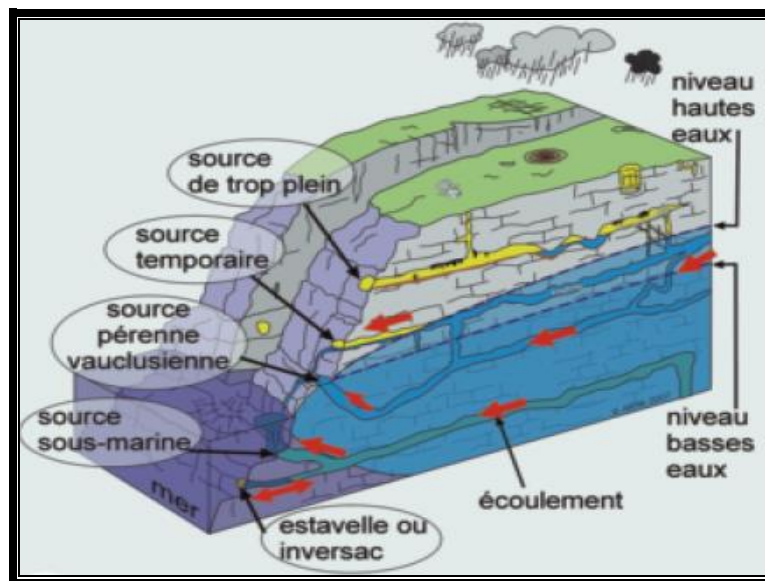


Figure I.6 : Différents types de sources karstiques.

I.8 karst dans le bassin Méditerranéen

Les roches carbonatées sont très présentes dans le bassin méditerranéen et affleurent selon les pays sur 30 à 70 % de la surface (Figure I.7) (Bakalowicz et Dörfliger, 2005). De plus, ces régions ont été soumises à de nombreuses phases tectoniques et à des variations très importantes du niveau de la mer. Toutes ces conditions plaident en faveur d'un remplissage important de ressource en eau des aquifères karstiques de la région méditerranéenne.

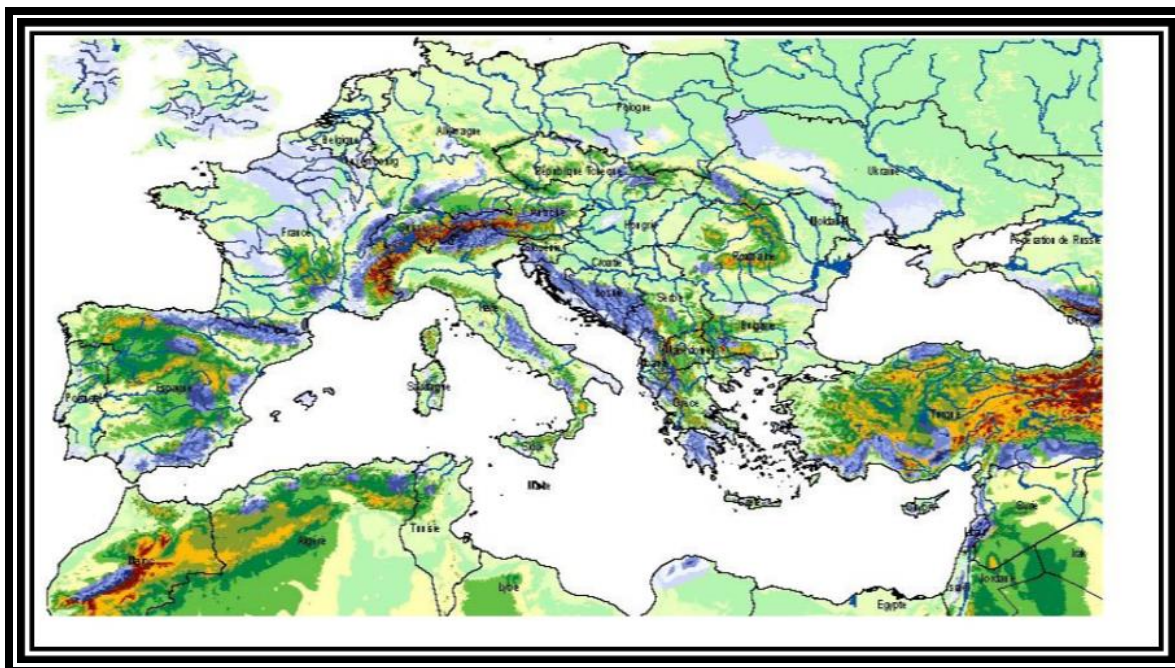


Figure I.7: Affleurements des ensembles karstiques (en bleu) autour de la Méditerranée (**Bakalowicz et Dörfliger 2005**).

I.8.1 Crise Messénienne de salinité et ses conséquences sur le karst

À la fin du Miocène, au Messinien un événement exceptionnel par son ampleur et sa courte durée (1.91 MA) a touché le bassin méditerranéen. Il s'agit de la Crise Messénienne de Salinité (CMS).

D'après les travaux de (**Rouchy ; Suc ; Ferrandini ; Ferrandini ; 2006**), la fermeture du détroit entre l'Atlantique et la Méditerranée a provoqué l'assèchement progressif du bassin, et a donné lieu à d'importants dépôts gypso-salifères (**Figure I.8**). En effet, l'abaissement maximal de la mer a été de 1500 à 2500 m sous le niveau actuel pendant environ 600.000 ans. La CMS a contraint tous les écoulements, de surface et souterrains, à s'adapter à ce niveau de base très bas. Les fleuves ont creusé de profondes vallées remontant très en amont (le Nil a atteint Assouan ; le Rhône est remonté jusqu'à Lyon). La karstification des roches calcaires a été intense, son développement a atteint les profondeurs les plus enfouies - de ces formations - qui peuvent parfois atteindre plusieurs centaines de mètres sous le niveau marin actuel (**Arfib ; Marsily ; Ganoulis ; 2002**). L'ouverture du détroit de Gibraltar, marquant le début du Pliocène, a provoqué l'ennoyage quasi instantané de tout le bassin, favorisant une épaisse sédimentation alimentée par les fleuves, constituée d'argiles marines bleues du Zancéen, surmontées des formations deltaïques et alluviales de l'Astien.

Ces argiles marines isolent les formations aquifères en les protégeant de l'intrusion d'eau marine. Mais comme elles n'existent pas partout, leur absence s'explique soit par absence de dépôt,

soit par érosion. Les aquifères, en particulier karstiques, se déversent alors directement en mer. De ce fait, les phénomènes karstiques superficiels développés au Messinien, puis submergés par la transgression marine du Zancéen, permettent les échanges entre l'eau de mer et l'eau douce souterraine (Fleury ; Bakalowicz ; Marsily ; 2007).

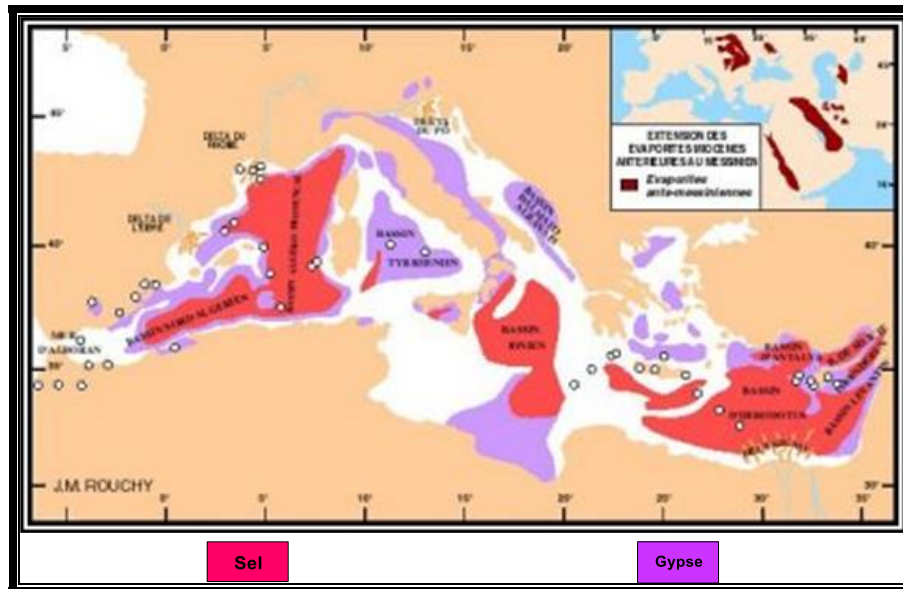


Figure I.8: Bassins résiduels de la Méditerranée au Messinien, avec dépôts de gypse et de sel. (Rouchy, 2000).

Une définition de terme karst reste ambiguë en raison de la complexité du phénomène et de la peu de recherches dans ce domaine. Notre contribution a essayé de collecter le mieux mais reste non exhaustive. La karstification est évidente principalement dans les roches carbonatées malgré qu'elle existe dans roches peu solubles comme les grès, elle s'étale sur une échelle de temps relativement grande mais elle est également préparée par la nature structural de la roche tant au niveau de la lithologie que de la tectonique. Un autre agent important est le climat qui joue un rôle surtout par la quantité d'eau qu'il est susceptible de mettre à disposition pour le travail de corrosion ainsi qu'un processus physico chimique. Cette recherche à éclairé les notions et les définitions pour mieux détaillé aux prochains chapitres influence de la tectonique sur les réseaux karstiques.

CHAPITRE II

CADRE GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE

Une étude géographique de la zone d'intérêt est primordiale pour aider à comprendre son aspect géologique. Elle doit contenir la géo-localisation et la description du relief pour entreprendre une analyse géologique proprement dite.

II.1 Cadre géographique

Notre zone d'étude s'étend sur une vingtaine de kilomètre de la façade maritime Ouest de la wilaya de Jijel (**Figure II.1**). Elle a pour limites :

- Au Nord la Mer méditerranée
- A l'Est le lieu dit les Aftis rattachés administrativement à la wilaya de Jijel, coordonnées (36°,7111. 5°,5562).
- A l'Ouest les falaises rattachées administrativement à la wilaya de Béjaia, 36°.648763, 5°.378229
- Au Sud la wilaya de Sétif.

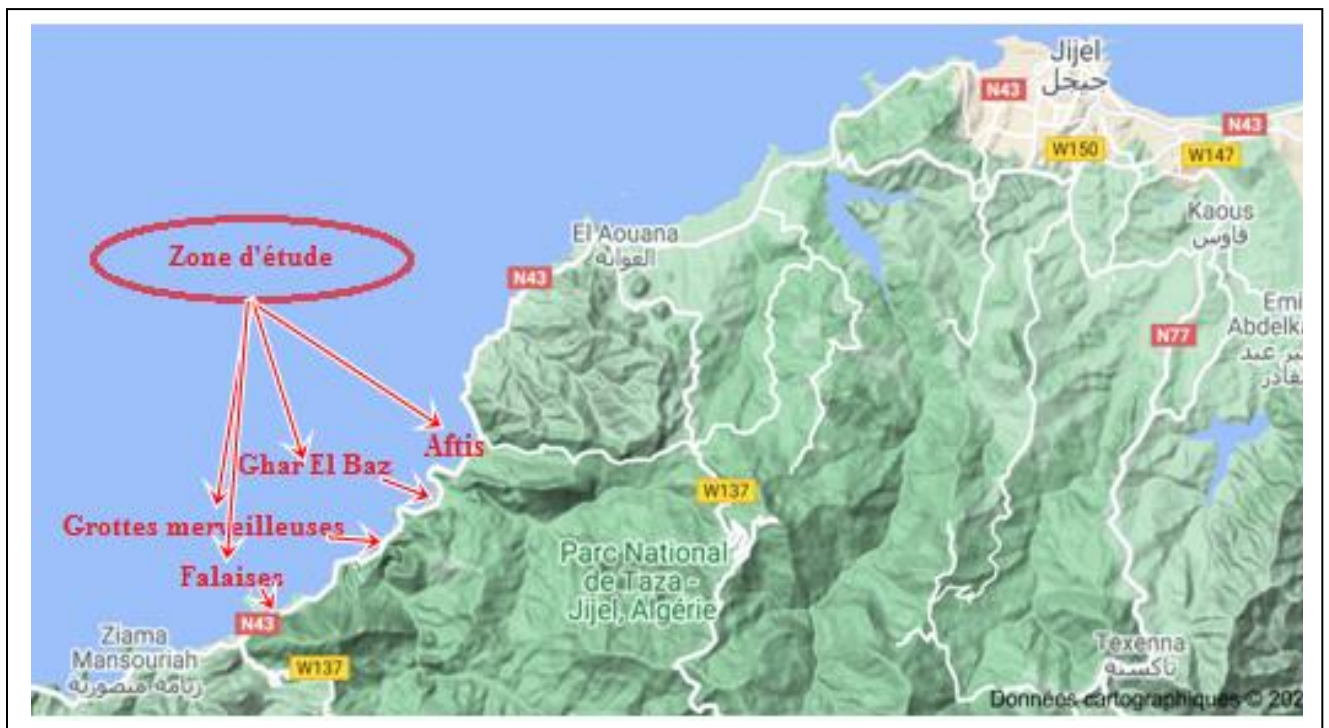


Figure II.1: Localisation géographique du secteur d'étude ((Photos Google Earth).

II.1.1 Massifs limitrophes

La zone « Aftis- les Falaises » étudiée et dont le point culminant (1992 m) se situe à la limite Sud-Ouest de l'oued Agrioun dans les montagnes des Babors, appartient à l'axe orographique « nord

numidique » décrit par (Delga ;1955) qui correspond à l'ensemble Tloudène_M'cidEch_Chetta (1428 m).

La limite Ouest (les Falaises) est représentée par l'ensemble des deux chaînes calcaires, les Tababors et les Babors (deux massifs jumeaux dont les sommets atteignent respectivement 2 004 et 1 969 m).

Vers l'Est, du côté des Aftis, ce sont les monts du massif éruptif d'El Aouana (ex- Cavallo) qui culminent dans la région 600 et quelques mètres.

II.1.2 Relief

La topographie présente un double aspect, dû à l'opposition de deux versants bien distincts. Les différences entre ces deux secteurs sont d'ordre morphométrique et lithologique. Les dénivellations y sont fortes et varient entre 0 et 1700 m. Elles sont également marquées par des pentes raides et des falaises. La vallée et le cours d'eau des oueds sont profondément encaissés dans ce paysage méditerranéen montagneux aux formations géologiques très variées. La variété, la nature et la forme du matériel comblant le lit des Oueds, témoigne de la jeunesse du relief des lieux et de l'influence de l'action combinée de l'orogénèse et celle de l'activité sismique de la région des Babors.

II.2 Aperçu géologique

La complexité géologique de la région se retrouve parfaitement dans la diversité des affleurements de Jijel et ses environs.

En effet, nous observons au niveau des limites septentrionales de la région étudiée :

- A l'Ouest, la chaîne calcaire Tloudène_Taza Guezouat.
- A l'est, les affleurements des flyschs maurétaniens, massyliens et du massif ancien.
- Au Sud-Est la nappe numidienne constituant la plus grande part des massifs montagneux.
- Au Sud-Ouest, affleurent les klippes à matériel éocène et les calcaires de Taza_N'gouef qui culminent à 1992 m.

Les charriages des différentes unités géologiques résultant des phases cénozoïques ont été suivis par différentes phases d'érosion qui ont modelé le paysage au-delà de la phase tortonienne pour donner aux lieux leur forme actuelle.

La tectonique et la nature lithologique des affleurements ont conduit à l'installation du réseau hydrographique qui n'a cessé de creuser dans les structures (calcaires entre autres) pour s'y enfoncer ou aller rejoindre la mer. Ainsi une grande quantité de matériel arrachée se trouve transférée vers les niveaux topographiques les plus bas.

L'orientation du relief joue un rôle dans la répartition des pluies. En effet, les reliefs exposés au Nord reçoivent nettement plus de précipitations que ceux exposés au Sud. Les parties hautes reçoivent deux fois plus de pluie que la côte qui enregistre 800 mm de pluie par an. Deux périodes opposées caractérisent le climat dans la région et définissent ainsi un climat typiquement méditerranéen, ce sont :

- Une période pluvieuse où les averses, intenses et fréquentes, marquent de fortes moyennes mensuelles.
- Une période sèche qui commence au début du mois de juin et atteint la mi-septembre. En cette période, les oueds sont taris, les sols disséqués.

Le rôle particulièrement important des structures géologiques, l'importance des formations calcaires et la forte pluviométrie dans cette région Ouest de Jijel exigent une approche géologique à une double échelle : d'abord régionale, puis locale.

II.2.1 Géologie régionale

La région étudiée fait partie de la petite Kabylie. Elle s'intègre dans la partie orientale des Maghrébides, branche méridionale de la chaîne alpine de la Méditerranée orientale. Quatre grands domaines géologiques structurés en nappes de charriage caractérisent cette partie Nord-orientale de la chaîne alpine d'Algérie. Ce sont :

- Le socle kabyle
- La chaîne calcaire ou dorsale Kabyle
- Le domaine des flyschs
- Le domaine tellien

Situé à l'Ouest de Jijel, le long du tronçon « les Aftis - les Falaises » où abondent particulièrement les formations carbonatées du domaine tellien - thème de notre présent travail- nous nous contenterons uniquement de développer la lithostratigraphie de cette quatrième partie des Maghrébides.

II.2.1.1 Domaine tellien

Le domaine tellien se caractérise par une forte subsidence donnant de très épaisses séries marneuses et marno-carbonatées durant le méso-cénozoïque.

Encadré par le domaine des flyschs au Nord et le néritique au Sud, le domaine tellien se décompose en trois séries (Vila;1980) qui sont :

✓ L'ultra-tellien

Les faciès ultra-telliens forment un ensemble homogène de marno-calcaires avec des séries à dominance de faciès clairs durant tout le Crétacé.

✓ Le tellien sens strict (tellien s.s)

Il est représenté par un faciès à dominante essentielle marneuse. Il s'étend des chaînons côtiers des Babors aux premières pentes du Hodna. Les séries telliennes sens-strict peuvent être rassemblées en cinq groupes.

Du Nord au Sud, sont représentées :

- Les séries de type Djmila.
- Les séries de type Drâa el Arba–Erraguène.
- Les séries de type Gouraya–Arbalou–Brik.
- Les séries de type Berbacha.
- Les séries de type Eocène (unités à matériel éocène).

✓ **L'épitéllien (ou péni tellien)**

Du Nord au Sud, les séries épitélliennes s'étalent sur une étendue de 150 kilomètres. Elles se caractérisent par une alternance de faciès tellien typique (s.s) et de faciès rappelant ceux des domaines néritiques constantinois ou sétifiens plus méridionaux.

L'ensemble de tous ces domaines géologiques (y compris l'avant pays allochtone) de la chaîne alpine d'Algérie du Nord est relayé au Sud par les domaines hodnéens et aurassiens qui constituent dans leur ensemble l'Atlas Saharien.

II.2.1.2 Evolution paléogéographique des domaines de la petite Kabylie au cours du Méso–Cénozoïque

Sise en pleine partie Nord orientale des Maghrébides, et appartenant aux domaines internes, Jijel a connu, au cours du cycle alpin, de grandes phases tectoniques qui ont marqué l'évolution paléogéographique.

Dans son étude sur les Babors orientaux, (**Obert, 1981**) a dressé un tableau dans lequel il résume l'évolution du domaine tellien du Trias au Plio–Quaternaire.

Sans trop nous étaler sur la question, nous nous contenterons ici (**Tableau II.1**) de reprendre uniquement les grands traits des événements traités par l'auteur.

Tableau II.1 : Evolution du domaine tellien du Trias au Plio–Quaternaire.

Phases Cénozoïques Le Trias active le mouvement des nappes	Phase post- Tortonien	Les chevauchements Est- Ouest sont facilités par les semelles triasiques
	Interphase Burdigalien supérieur – langhien	- Erosion - Sédimentation (Miocène) Le Trias facilite les mouvements
	Phase post Aquitanien- Burdigalien inférieur	
	Interphase Oligocène terminal	Le Trias active le mouvement des nappes Les massifs jurassiques sont charriés sur les gypses du Trias
Phases Mésozoïques Dépôt salifères u Trias	Phase post Priabonien – Stampien	
	Phases anté-Sénonien ou anté – Eocène	Le Trias commence ses déplacements subhorizontaux Profitant des ouvertures dues aux distensions, le Trias est injecté et affleure le long des failles.
	Phase Jurassique moyen à supérieur ou anté Néocomien	Le trias en blocs remaniés Le Trias continue sa montée Le Trias commence son ascension

Notons au passage un fait important relatif à l'évolution du Trias au cours du Méso-Cénozoïque où, sous les dépôts essentiellement calcaires et dolomitiques du Jurassique, ce dernier (le Trias) amorce son ascension entraînant vers le haut (surface) toutes les formations sus-jacentes qui à partir de leur affleurement (lors de la distension aptienne et bien après), seront directement exposées aux aléas climatiques, lesquels aléas, connus pour être les paramètres essentiels de l'entrée en action des phénomènes de karstification.

Comme toutes les régions du bassin méditerranéen, notre région d'étude a connu au cours du Messinien un événement des plus remarquables qui a eu des conséquences directes sur le karst de la région Ouest de Jijel. Il s'agit de la crise de salinité messilienne que nous allons développer ci-dessous.

II.2.2 Géologie locale

Les Babors orientaux faisant partie du domaine tellien interne. Ils correspondent à l'entité géographique qui s'étend d'Ouest en Est, et du Nord au Sud de la méditerranée au Djebel Babor (Obert, 1981)

Plusieurs unités distinctes ont été définies par (Leikine ; Obert et Bellier ;1975). Chacune d'elles a été caractérisée par sa composition stratigraphique et son évolution métamorphique- Toutes ces dernières ont été individuellement subdivisées en sous-unités. (Figure II.2)

II.2.2.1 Unités à matériel éocène

Ces unités sont bien exprimées dans la partie sud du front des Babors. Elles sont considérées comme la diversification de séries de provenance plus septentrionale que la nappe de Djmila (Obert, 1981).

II.2.2.2 Les unités septentrionales

Elles constituent un ensemble allochtone qui s'étend dans la direction nord-ouest, sud-est. Cet ensemble présente une évolution stratigraphique continue des séries jurassique et créacé (Obert, 1981).

Toutes ces dernières ont été individuellement subdivisées en sous-unités. (Figure II.3). Du Sud au Nord et pour chaque unité, nous avons les sous-unités suivantes :

✓ Unité des Bâbors

Elle a été morcelée en sous unités : Kherrata, Dj Bâbord et Adrar ou Mellal. Ces sous unités présentent des caractères stratigraphiques communs et une évolution métamorphique identique. (Obert, 1981)

✓ Unité de Draa el Arba – Erraguène

Cette unité comporte les sous unités suivantes :

l'Ahzerouftis, les Beni Felkai – les Tababors, le Djebel.Boukouna, le Djebel. Pachachit. Constituée de terrains allant du Trias au Paléocène, cette unité apparait comme une série appartenant à un milieu le plus individualisé. (Obert, 1981)

✓ Unité de Brek

Essentiellement formé du Sud au Nord par une masse de calcaires dolomitiques d'âge Jurassique, cette unité s'étale de l'Adrar El Alem au Djebel Tazeguezaout.

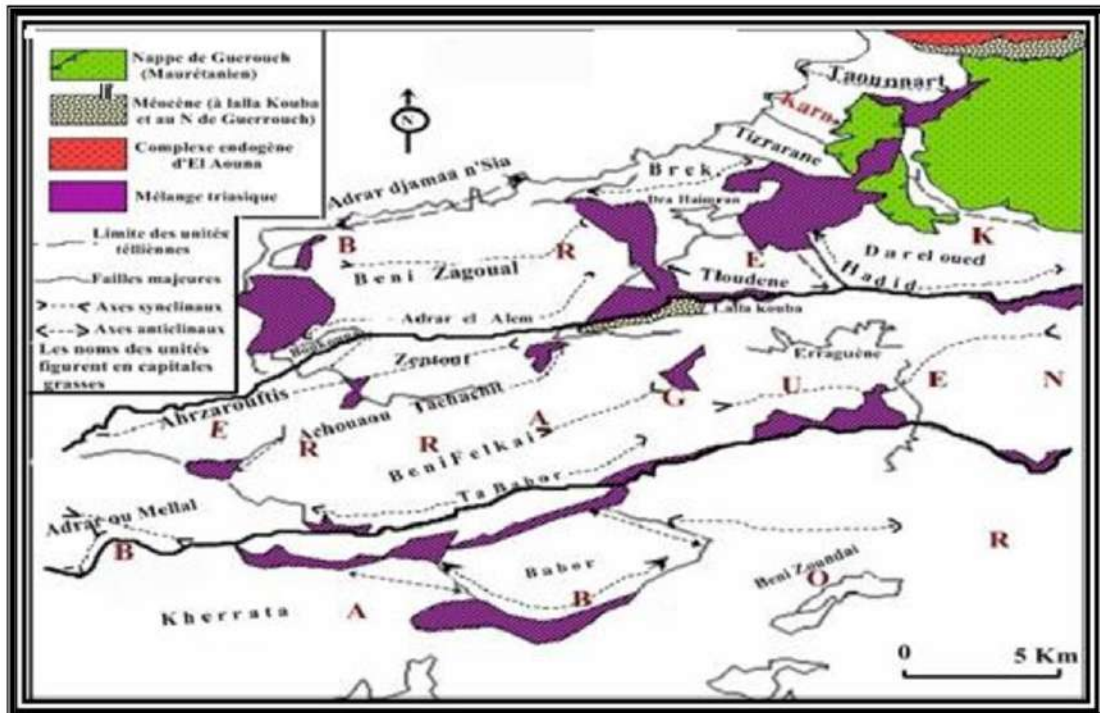


Figure II.2 : Unités et sous – unités des Babors Orientaux (Obert, 1981) (légèrement modifié).

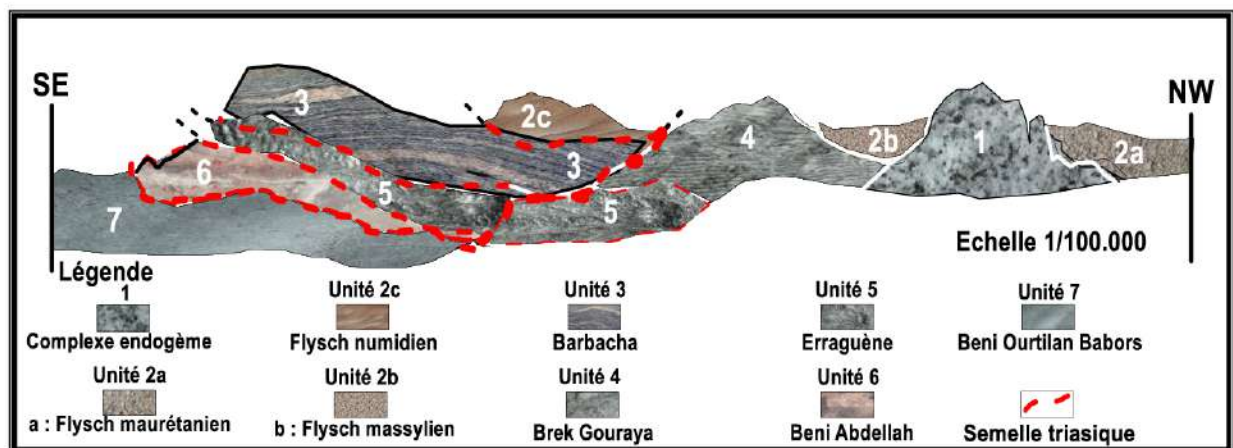


Figure II.3 : Structure géologique de la chaîne des Babors, Algérie nord orientale

II.2.2.3 Caractères stratigraphiques des Babors

Le découpage structural de la région orientale des Babors est exprimé par trois unités tectono- sédimentaires qui sont du Nord au Sud.

✓ L'unité de Brek

Englobant la zone de Ziama, l'unité de Brek qui s'étend du Djebel Taounert au Nord au Djebel Tloudéne au Sud. Les formations représentant cette unité sont les calcaires du Jurassique et les marnes et conglomérats du Sénonien.

✓ L'unité d'Erraguène

Composé par des formations marneuses de l'Albien et des marno-calcaires du Cénomaniens le Crétacé supérieur est quant à lui représenté par des marnes noires et des calcaires.

✓ L'unité du Djebel Babor

L'unité Djebel babor est constituée par les mêmes formations que celle des unités précédentes. Les bancs marno calcaire du Sénonien y sont nettement plus développés qu'aux mêlé au Sénonien à matériel marneux le Trias jalonne largement le front de chevauchement

II.2.2.4 Ensembles structuraux des Babors

Le substratum tectonique des Babors affleure au Sud (massif néritique du Guerrouch), (**Leikine et Vila, 1975 ;Obert, 1981**), il est constitué par l'unité des Béni Ourtilane –Djebel Bâbors. (**Figure II.3**)

La totalité de la chaîne Baborienne est constituée par un empilement de nappes largement déplacées les unes par rapport aux autres. Comme elles le font, pour toutes les structures chevauchantes du Nord de l'Algérie, les lames du Trias jalonnent les contacts tectoniques majeurs.

Morcelé initialement par des failles inverses à vergence Sud le dispositif structural du domaine Baborien a été tardivement repris et disloqué en écailles par des mouvements Est-Ouest (**Obert, 1972 ; Freneix et al ;1974**).

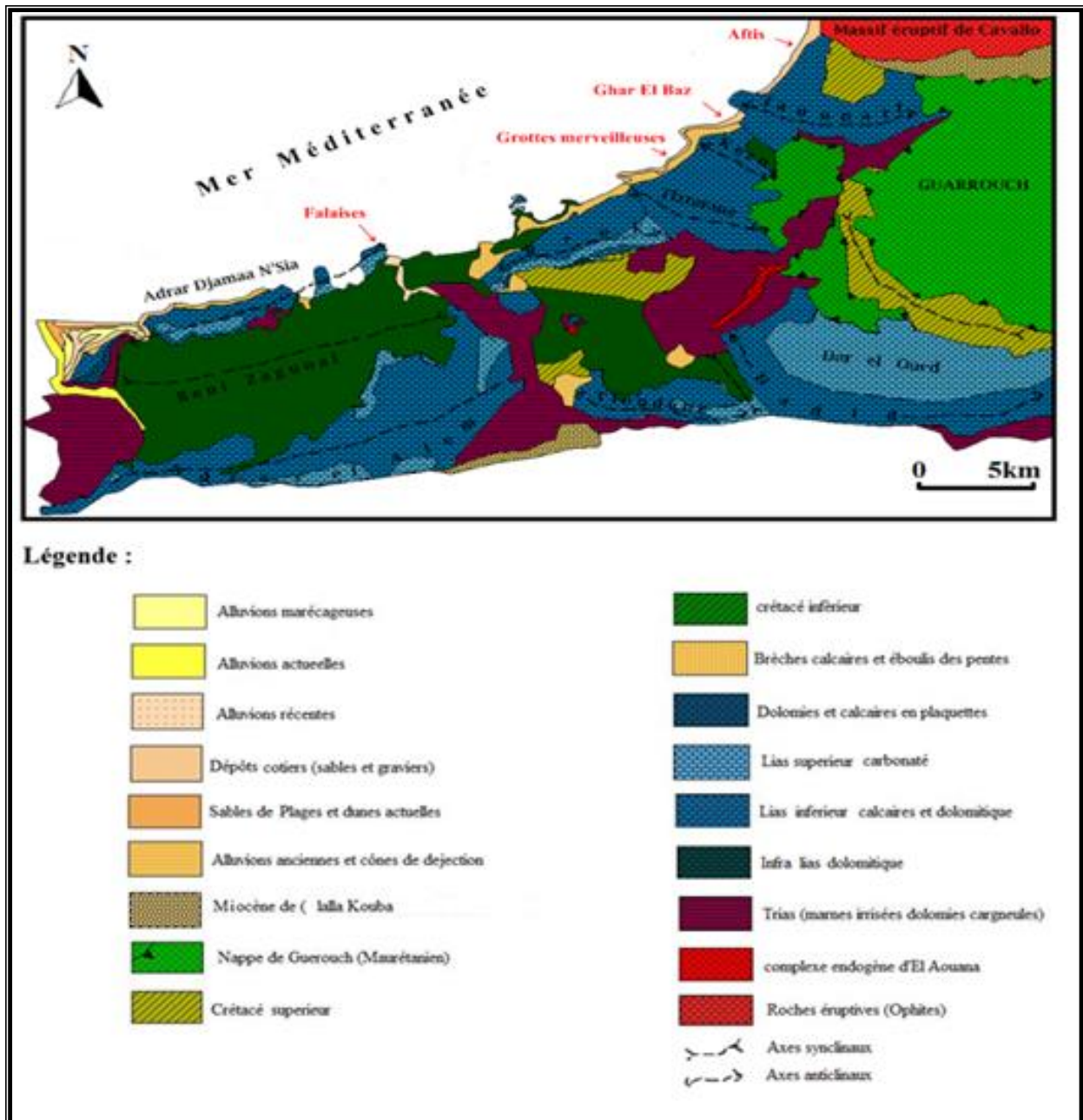


Figure II.4: Esquisse géologique de l'unité Brek-Gouraya -Bâbors orientaux–Synthèse des cartes géologiques d'Obert (1981).

II.2.2.5 Stratigraphie

Les différents ensembles stratigraphiques de cette unité (**Figure II.5**) peuvent être présentés comme suit :

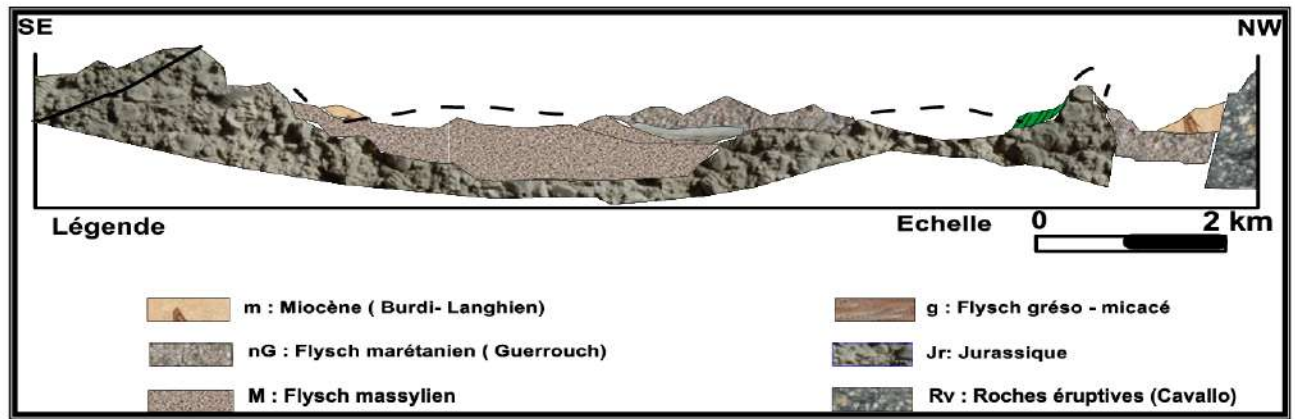


Figure II.5: Coupe géologique de l'unité Brek- Gouraya (Etablie à partir de la carte géologique (Obert, 1981).

➤ Trias

Connu et daté au Dj. Brek sous forme de grés micacés et de schistes lilacés ou verdâtres.

➤ Jurassique

Il est représenté par des dolomies sombres, massives ou bréchifiées, et de gros blocs de calcaires

- **Lias inférieur :** Il est représenté par des dolomies sombres, verdâtre ou lilacées, massives, rubanées ou bréchiques.
- **Lias moyen :** Caractérisé par des calcaires massifs à Algues, des niveaux supérieurs, plus sombres contenant des silex qui sont partiellement ou totalement (Hadid-Tloundène) dolomitiques.
- **Lias supérieur :** Représenté par des calcaires gris, pyriteux, contenant des silex inégalement répartis, des Radiolaires, des spicules de Spongiaires, des filaments dans les niveaux élevés.
- **Dogger :** Il est représenté par des marnes et marno-calcaires, des niveaux détritiques au Dj.Brek et des calcaires oolitiques au Dj.Tloundène.
- **Malm :** Il est représenté par des dolomies sombres, massives ou Bréchifiées des calcaires massifs du Lias inférieur et moyen et des calcaires gris à silex du Lias supérieur. Calcaires oolitiques, Calcaires argileux et des schistes rouges, ainsi que des conglomérats à l'Est du Dj.Brek.
- **Jurassique supérieur :** Fortement attaquée par l'érosion (anté) néocomienne, cette formation n'est connue au Dj. Taounart qu'à l'état de galets. Faciès variés : calcaires oolitiques à lits et bourgeons siliceux au Dj. Brek où ils s'associent à des calcaires détritiques clairs et à des schistes vari colores à lits radiolaritiques.

➤ **Crétacé**

Caractérisé par des Calcaires pélitiques gris, ou brun jaune, à fossiles pyriteux, des Conglomérats ou galets épars leur sont associés.

▪ **Crétacé inférieur** : Il est représenté par des formations de conglomérats, des calcaires argileux et des schistes pélitiques gris.

▪ **Crétacé supérieur** : Il est représenté par des marnes et des calcaires marneux de couleur grise à vert au sud du Dj. Brek.

➤ **Cénozoïque**

Caractérisé par des formations réduites et rares en pliocènes et éocènes, et montrent une similitude de faciès avec les formations paléocènes du Dj.Taounart, le Miocène représente des formations à dominance détritique.

II.2.2.6 Fracturation de la zone étudiée

Avant de procéder à l'étude du site étudié, il est important d'aborder cette partie de notre travail par l'introduction de la fracturation de la région Jijel-Béjaia (**Figure II.6**) qui laisse apparaître quatre familles de failles qui sont :

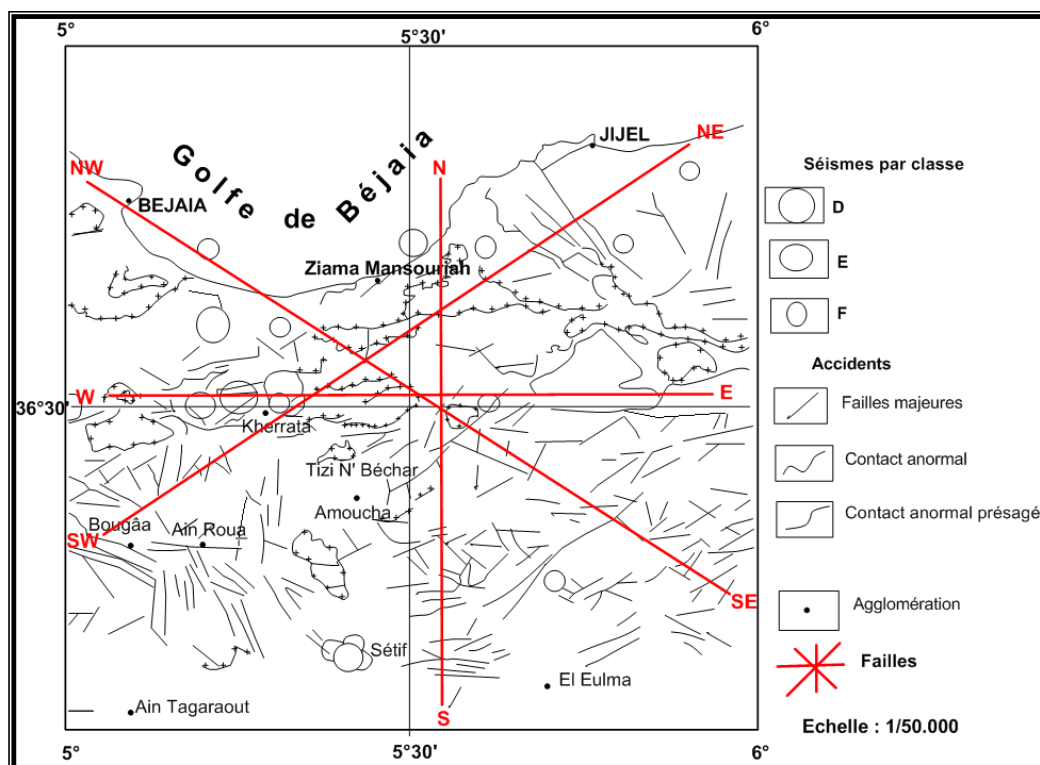


Figure II.6: Contexte sismotectonique de la région Jijel – Béjaia (CRAAG 1971)

➤ **Faille Nord Est-Sud Ouest**

Jijel, au Nord comme au Sud présente cet alignement de failles.

L'alignement Nord, part de Jijel, traverse Kherrata et va jusqu'à l'Ouest de Bougâa (Bibans), on peut compter 8 foyers de séisme. L'alignement Sud quant à lui part du Sud Jijel pour disparaître à l'Est de Bougâa, ce dernier comptabilise trois (03) foyers.

➤ **Faille Nord-Ouest-Sud Est**

Le Nord-Ouest de la carte est par excellence, la région où l'on remarque un réseau très développé de failles. On retrouve aussi cette direction privilégiée du côté Sud-Ouest de la carte, aux environs de Bougâa et d'Ain Roua. Ailleurs, dans la carte, cette même famille de failles existe, elle est cependant moins dense et présente des failles de moindre importance comparées à celles des environs de Jijel et de Bougâa.

➤ **Failles Est-Ouest**

Un axe passant par le Nord de Ziamma Mansouriah (au niveau de la mer) et s'étalant jusqu'au Sud de Jijel semble s'aligner sur l'axe très net Est-Ouest qui passe par Kherrata et où les foyers longent les tracés des fronts de charriages de la région. Au Sud de Kherrata, l'axe Bougâa, Ain Roua présente le même alignement de failles Est-Ouest.. En effet, en plus de l'axe Est-Ouest limitant au Nord «Ain Roua-Bougâa», on voit bien un autre axe ou limite Nord–Est–Sud–Ouest situant ainsi la région entre deux grands alignements.

➤ **Failles Nord-Sud**

La zone des Bibans (Ain Roua et Amoucha) est la seule à présenter discrètement cet alignement. Les villages de Kherrata et Ziamma Mansouriah situés au Nord, sont donc dans le prolongement direct de ce réseau de failles.

II.2.3 Géologie du site

Brek Gouraya c'est l'unité concernée par l'étude géomécanique étant donné qu'elle est traversée par la RN43 le long du littoral Jijel – Bejaia.

L'ensemble des différentes formations situées entre le Djebel Taounart et d'Adrar El Djamaa N'sia qui appartient à l'unité Brek- Gouraya est principalement formé par des calcaires dolomitiques d'âge Jurassique (Lias).

Cette dernière débute par un Trias marno-gypseux, schisteux et gréseux, le Jurassique comprend des dolomies et des calcaires, des niveaux conglomératiques et des pélites. Le Crétacé inférieur est formé de calcaires pélitiques, de pélites plus ou moins schisteux et de conglomérats avec des grès.

Le Crétacé supérieur comporte des calcaires marneux et des marnes avec des conglomérats.

Le Paléogène est développé surtout dans la partie méridionale, où le Paléocène est marno-pélique et l'Eocène calcaire puis marneux. Le Néogène est composé de calcaires biodétritiques, scellant le contact unité Breck/ unité d'Erraguène, recouverts par des calcaires marneux, des marnes détritiques puis des marnes rouges continentales du Tortonien.

CHAPITRE III

HYDROCLIMATOLOGIE

Le climat d'une région donnée se définit principalement par les précipitations qui englobent tout les processus par lesquels l'eau arrive à la surface du globe, essentiellement sous forme de pluies, de neiges ou de grêle. Dans notre région d'étude les précipitations résultent d'une ascension des masses d'air dans l'atmosphère.

Il faut noter que l'eau des sols résultant de la précipitation et de la couverture végétale ainsi que la température ont une influence notable sur la karstification.

III.1 Orographie

Les terrains qui nous concernent sont uniquement ceux du Nord, ils sont collés à la mer et la partie Sud de ces derniers constitue la chaîne Nord numidique.

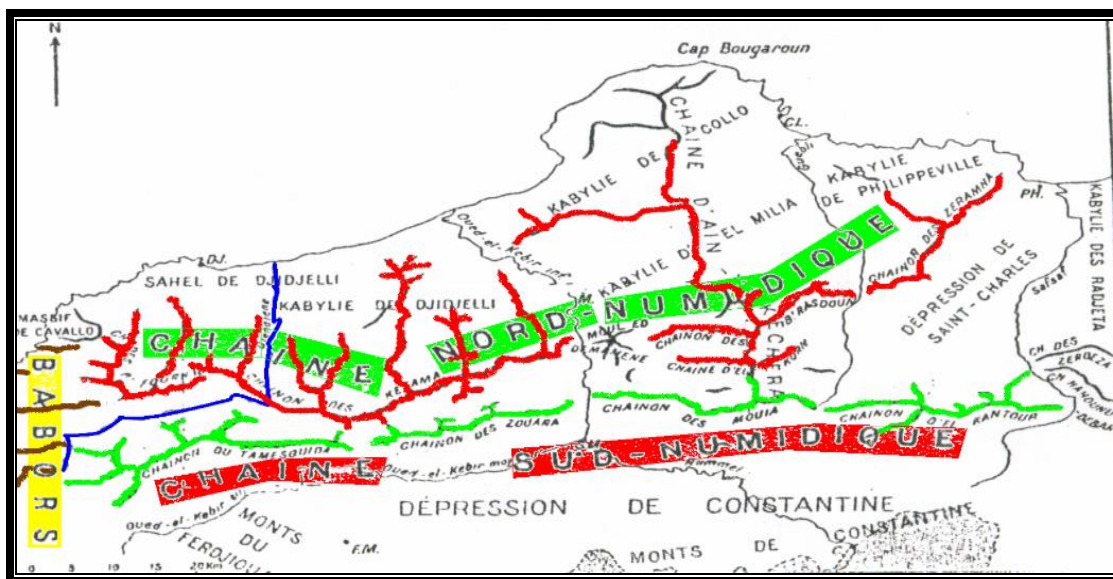


Figure III.1 : les chaînes Nord et Sud numidiques.

L'orographie y est variée, Certains points atteignent et dépassent même les 1900 m (1992 m à Eurraguène-Bâbors).

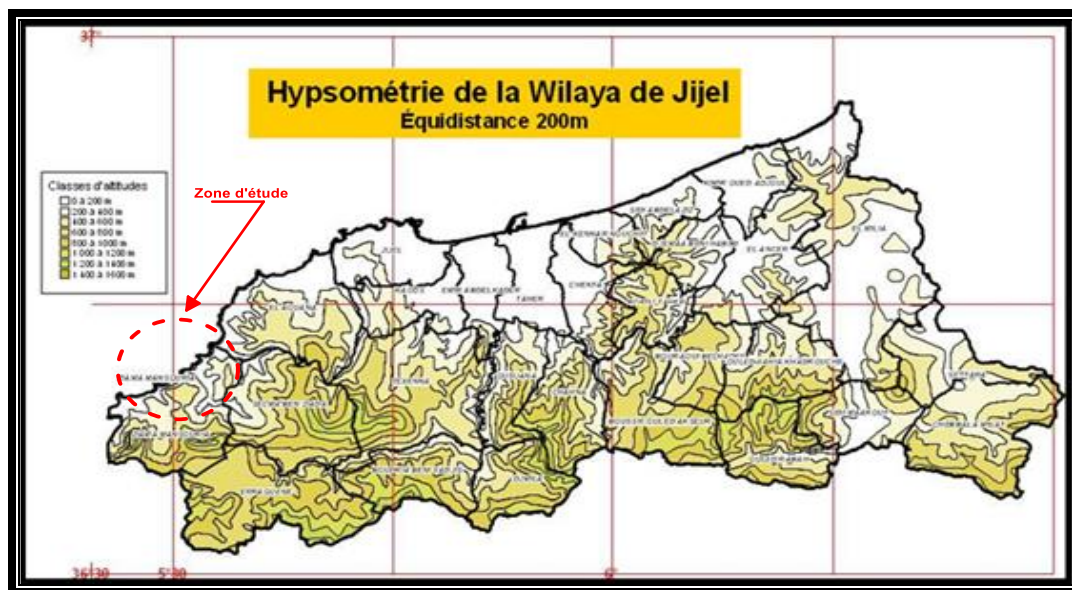


Figure III.2 : Hypsométrie de la wilaya de Jijel

III.2 Variabilités climatiques spatiales et temporelles

Plus que les facteurs orographiques, morphologiques, lithologiques et biogéographiques, les conditions climatiques de la zone étudiée jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique et hydrogéologique des cours d'eau. Ce sont les précipitations, surtout liquides qui constituent le facteur essentiel du développement de la karstification :

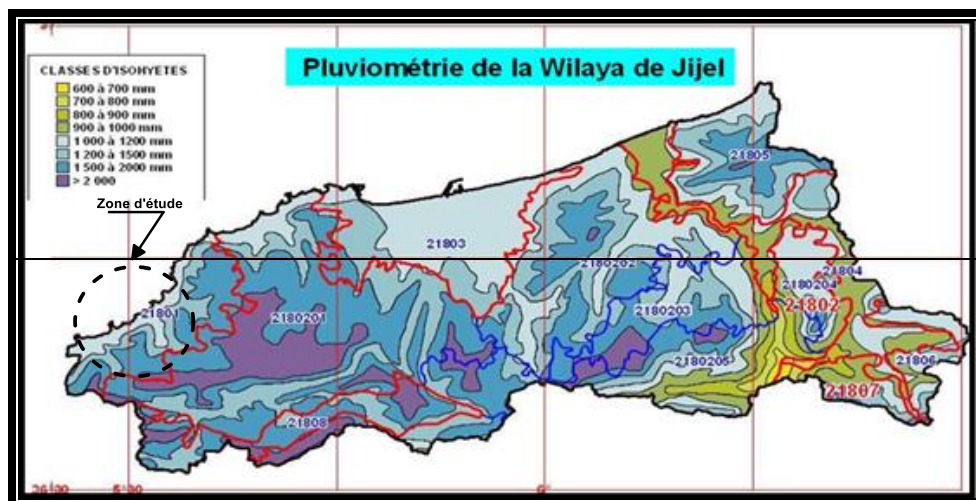


Figure III.3 : pluviométrie de la wilaya de Jijel

Une vue d'ensemble des deux cartes ci-dessus (**Figure III.2 et Figure III.3**) permet de constater que d'une façon générale, le tracé des courbes isohyètes est parallèle au tracé des courbes hypsométriques. La pluviométrie est proportionnelle à l'altitude.

En effet, le **Tableau III.1** établi (**Tekkouk ;2005**) à partir des cartes pluviométriques de (**Chaumont et Paquin ;1971**), et celle de l'**A.N.R.H (1993)** montre clairement que la pluviométrie est directement proportionnelle à l'altitude. En effet, c'est aux altitudes les plus élevées que la pluviométrie enregistrée est la plus forte.

Tableau III.1 : Variation de la pluviométrie avec l'altitude

Altitude (m)	Précipitations (mm) $\frac{P_{CH} + P_{ANRH}}{2}$
> 1000	1700 et plus
800-1000	1400 à 1700
600-800	1100 à 1400
< 600	900 à 1100

D'après le **Tableau III.1**, les variations des précipitations moyennes annuelles avec l'altitude sont de l'ordre de :

- Inférieures à 1 mm/mètre pour les altitudes en de ça de 600 m.
- 1,5 mm/m pour les altitudes comprises entre 600 et 800 m.
- 1,5 mm/m pour les altitudes comprises entre 800 et 1000 m.
- Supérieures à 1,5 pour les altitudes supérieures à 1000 m

La répartition et la variabilité des pluies dans notre région d'étude est conditionnée par :

- Les flux des masses d'air et les types de temps
- Le relief et sa disposition par rapport à la mer

Le relief influence les précipitations et leur répartition. En effet, il intervient non seulement par son altitude et son exposition mais aussi par la manière dont il modifie la circulation des flux d'air humide en accentuant localement la continentalité géographique.

La répartition spatiale des précipitations, présentée sur la carte (**Figure III.3**) permet de déduire que la zone Sud (exposée au Nord) et les massifs montagneux des Babors constituent les zones les plus élevées et enregistrent la plus forte pluviométrie.

Les longues périodes pluvieuses et les hauteurs d'eau importantes proviennent directement de l'activité cyclonique que subit la région.

Les temps cycloniques en été ralentissent ou disparaissent presque totalement sur tout le Nord de l'Algérie (climat sec en été).

Les rares intrusions polaires (très épisodiques) qui affectent notre région d'étude donnent de brefs orages incapables de donner des pluies soutenues.

A Jijel et aux régions côtières environnantes, la période de sécheresse s'étale de mai à septembre. Elle peut même être légèrement plus longue et prononcée.

Dans les hauts plateaux, au Sud de notre zone d'étude (Béni Aziz, Sétif, El Eulma...), l'effet des frottements continentaux se fait sentir. Les courants sont atténués, la chaîne Numidique Sud joue le rôle de barrière.

La pluviométrie de la région est régie par un jeu complexe. Lors de leur progression les courants provenant du Nord deviennent perturbés ils s'appauvrissent, et provoquent ainsi des irrégularités quant au régime des précipitations.

La région se trouve ainsi traversée soit par de faibles coulées d'air froid qui se dénaturent et se dessèchent très vite, soit par, de puissantes coulées d'air froid qui accentuent l'instabilité et déclenchent des averses qui se généralisent sur toute la région.

III.3 Pluviométrie de la zone étudiée

En gros, et comme le montre clairement la **Figure III.3**, la zone étudiée dans le présent mémoire reçoit annuellement :

- Une pluviométrie « littorale » de l'ordre de 1000 à 1200 mm, et
- Une pluviométrie de montagne où les hauteurs d'eau tombée dépassent les 1400 mm et peuvent parfois atteindre les 2000 mm.

La rareté de stations d'observations fonctionnelles et de données pluviométriques récentes au niveau de notre zone d'étude, et afin de mieux représenter la pluviométrie en ces lieux, nous nous sommes contentés d'utiliser les rares données, anciennes pour leur majorité, à savoir les données des 1945/46- 1960/61, 1966/67- 1985/86 de **Bourouba ;1988**), celles de 1960-1990 (**Tekkouk ;2019**) et aussi les données plus récentes des services de la Sonelgaz (1990/91-2009/2010). Toutes ces données ont été enregistrées aux stations d'Erraguène et de Ziama Mansouriah qui ont pour caractéristiques :

Tableau III.2 : les données de la pluviométrie enregistrées aux stations d'Erraguène et de Ziama Mansouriah

Code et nom de la station	Altitude (m)	Longitude	Latitude
03.03.24 Ziama Mansouriah	55	536 E	3630 N
03.04.01 Erraguène	610	534 E	3635 N

III.3.1 Pluviométries mensuelles

➤ Station d'Erraguène

Les histogrammes de variation des précipitations mensuelles représentés dans la **Figure III.4** révèlent des nuances dans la répartition des pluies au cours de l'année avec des irrégularités très marquée d'une période d'observation à une autre. En effet, les histogrammes des périodes 1945/46 – 1960/61 et celui de 1960/61- 1990/91 montrent une répartition plus ou moins uniforme malgré les disparités qu'on peut constater sur les graphes à partir du mois de février jusqu'au mois de mai.

La répartition intermensuelle de la période 1968/69 – 1985/86 diffère totalement des deux précédentes, en effet, si pour les deux séries précédentes, on peut aisément distinguer la période humide par ses plus forts enregistrements, cette distinction n'est pas du tout aisée pour la répartition intermensuelle de la série 1968/69 – 1985/86 car telle que représentés sur le diagramme, la saison humide ou de fortes pluies, semble cette fois –ci s'étaler du mois d'octobre.

Pour les 3 périodes suscitées, seule la saison sèche, que caractérisent les mois de juin, juillet et août est nettement individualisée.

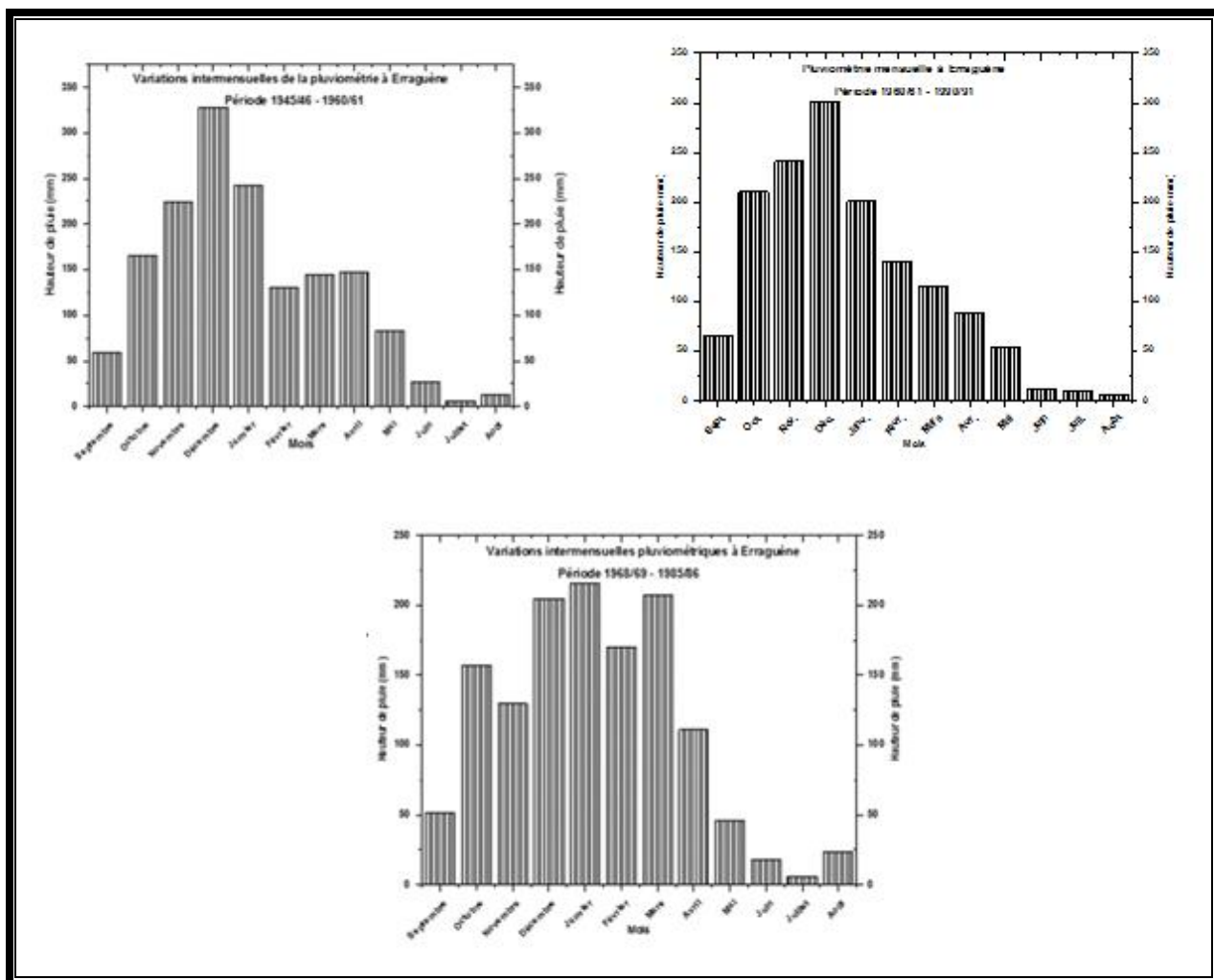


Figure III. 4 : Variations intermensuelles pluviométriques à Erraguène

(Périodes 1945/46 - 1960/61 - 1960/61 - 1990/91 ; 1968/69 – 1985/86 (Tekkouk ; 2005-2019))

➤ **Station de Ziama Mansouriah**

Au vu de la position littorale de Ziama Mansouriah et de son enclavement au milieu des hauts reliefs qui l’entourent, les valeurs mensuelles de la pluviométrie présentées en Figure III.5, s’expliquent parfaitement la disposition du relief par rapport à la mer ainsi que les flux de masses d’air et les types de temps que subit la région. En effet, l’irrégularité de la répartition de la pluie est bien présente, le mois de mars avec ses forts enregistrements témoigne de l’influence des courants provenant du Nord, qui lors de leur progression deviennent perturbés provoquant ainsi des irrégularités en ce début de saison printanière.

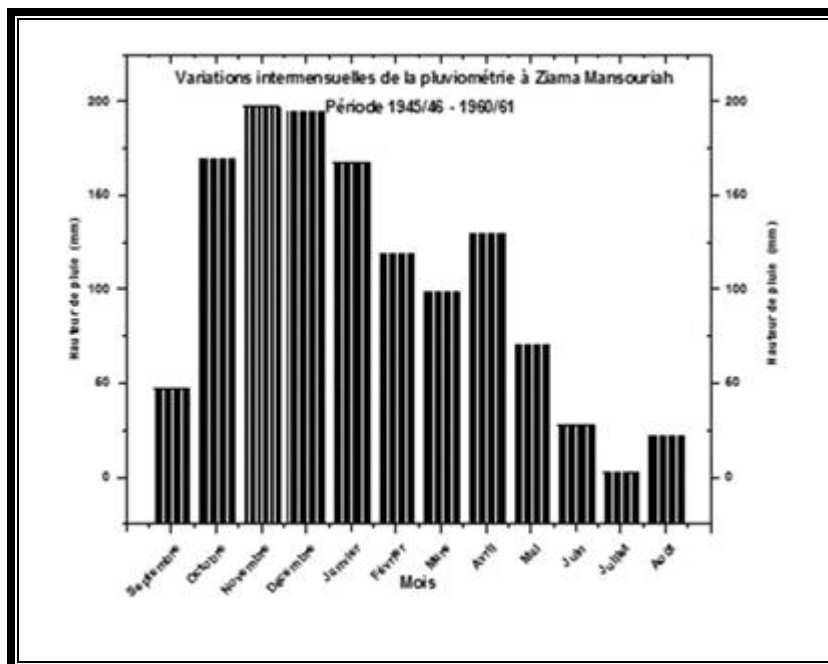


Figure III.5 : Variations intermensuelles de la pluviométrie à Zama Mansouriah Période 1945/46 – 1960/61

III.3.2 Pluviométrie annuelle

➤ Station Erraguène

Comme montré sur la **Figure III.7** qui suit, les précipitations pour la période 1990/91-2009/2010 variant entre 727 et 1967 mm/an ont pour valeur moyenne 1400 mm/an.

Comparés aux valeurs pluviométriques de la figure (**Figure III.3**), les données enregistrées en cette période (1990/91- 2009/2010) sont parfaitement représentatives de la pluviométrie annuelle d'Erraguène et de ses environs.

En effet, la **Figure 7** de **Tekkouk** établie en 2005 pour la même station confirme parfaitement nos propos, car comme on le voit, les données de la série 1960/60 – 1990/91 ainsi utilisées donnent une valeur moyenne 1441 mm/an.

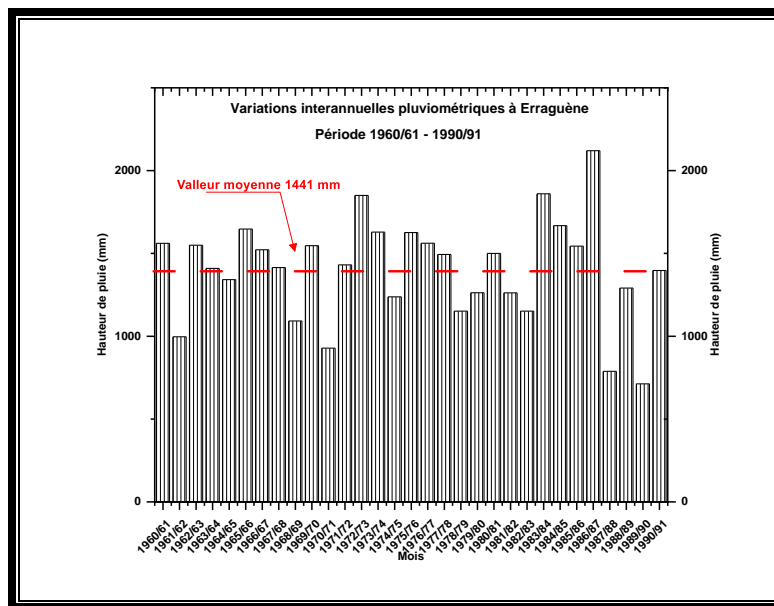


Figure III.6 : Variations interannuelles pluviométriques à Erraguène (Période 1960/61 1990/91)

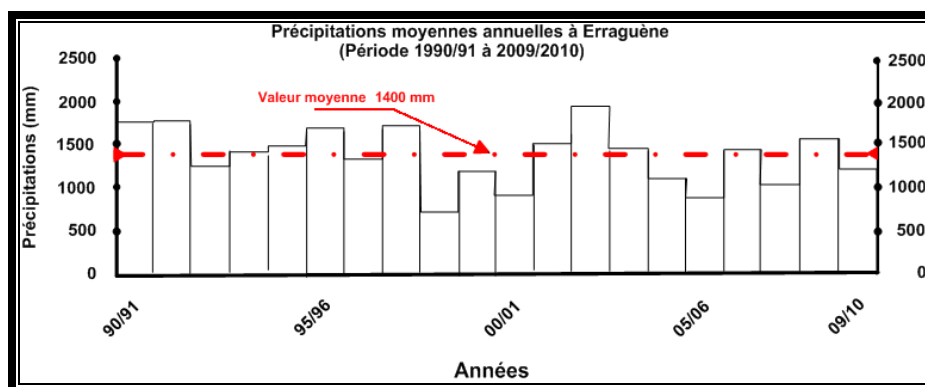


Figure III.7 : Précipitations moyennes annuelles à Erraguène (Période 1990/91 2009/10)

Si on prend uniquement en considération les valeurs moyennes annuelles données où nous avons, pour les périodes 1945/46 -1960/61 et 1968/69- 1985/86, respectivement 1571.5 mm et 1341 mm on aura comme valeur moyenne 1456.25 mm, valeur que nous considérons correcte et très légèrement supérieure aux 1400 mm précédemment estimés. On peut finalement admettre qu'entre la moitié des années 1940 à 2010, sur une durée de 65 ans, la moyenne pluviométrique annuelle à Erraguène est restée la même, elle est de l'ordre de 1400 à 1456 mm.

➤ Station de Ziama Mansouriah

N'ayant d'autres données que celles de la carte pluviométrique de la **Figure III.3** et celles présentées dans la figure qui suit, on peut sans risque de trop nous tromper, que la moyenne annuelle de la pluviométrie à Ziama Mansouriah est de l'ordre de 1200 à 1223 mm.

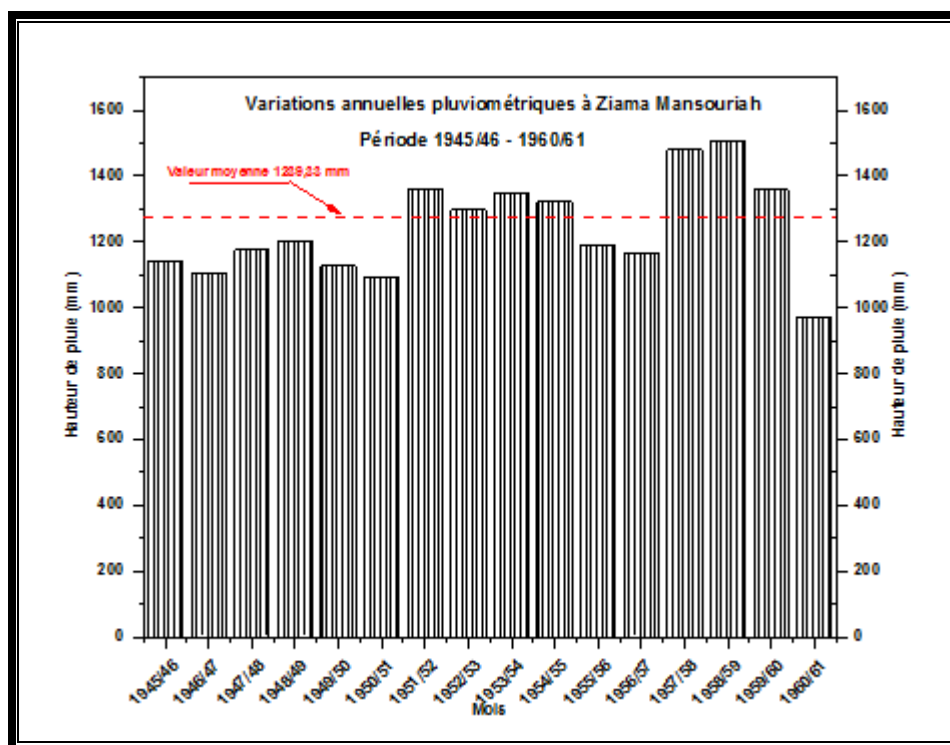


Figure III.8 : Précipitations moyennes annuelles à Ziama Mansouriah (Période 1945/46 - 1960/61)

III.4 Coefficient de pluviosité

De l'étude pluviométrique qui vient d'être abordée, et en plus de l'irrégularité de la distribution de la pluviométrie, la seule constatation qui a pu être clairement définie est que la pluviométrie est proportionnelle à l'altitude.

Le manque de données pluviométriques et l'hétérogénéité des séries d'observations en notre possession rend compliqué le suivi et l'étude de la variabilité des pluies. Pour avoir une idée plus ou moins claire des fluctuations pluviométriques interannuelles, nous avons procédé au calcul du coefficient de pluviosité qui nous permettra au moins de séparer les années sèches de celles humides.

III.4.1 Coefficient à Erraguène

Le coefficient calculé pour la station d'Erraguène a été établi à partir des séries d'observation 1945/46 – 1960/61 et celle de 1968/69 – 1985/86. La **Figure III.9** permet de constater qu'au sein d'une même série et d'une série à l'autre les coefficients sont très variables et totalement inégaux.

La courbe de la série 1945-1961 permet de ressortir sur les 16 années d'observation :

- 9 années et ;
- 10 années humides.

Celle de la série 1968/69 – 1985/86 laisse quant à elle apparaître au cours des 18 ans d'observation :

- 9 années sèches et ;
- 9 années humides.

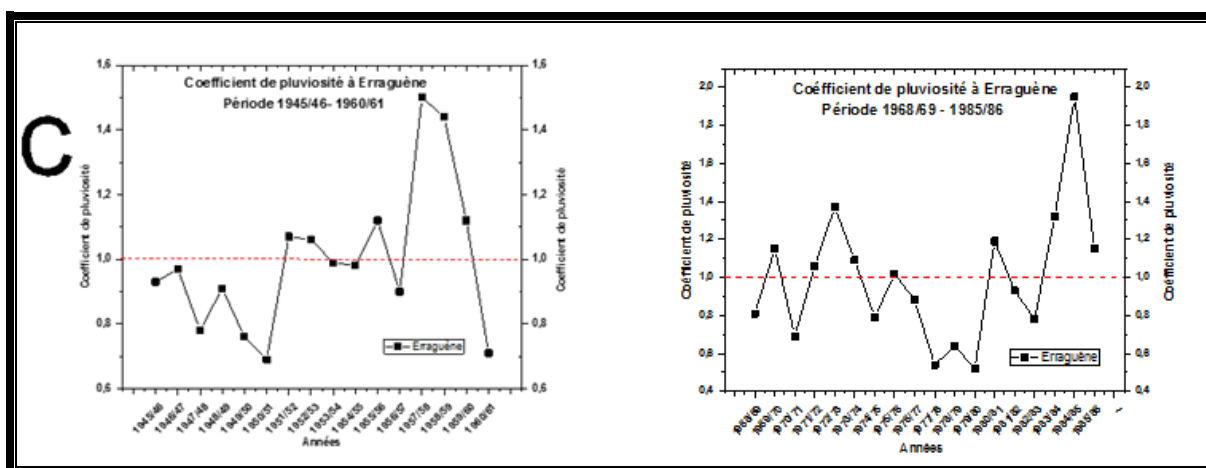


Figure III.9 : Coefficient de pluviosité à Erraguène période 1945/46 - 1960/61 et 1968/69 - 1985/86

III.4.2 Coefficient à Ziam Mansouriah

Faute de données, le coefficient calculé pour la station de Ziammansouriah n'a pu être établi que pour la seule série d'observation en notre possession il s'agit de la série 1945/46 – 1960/61.

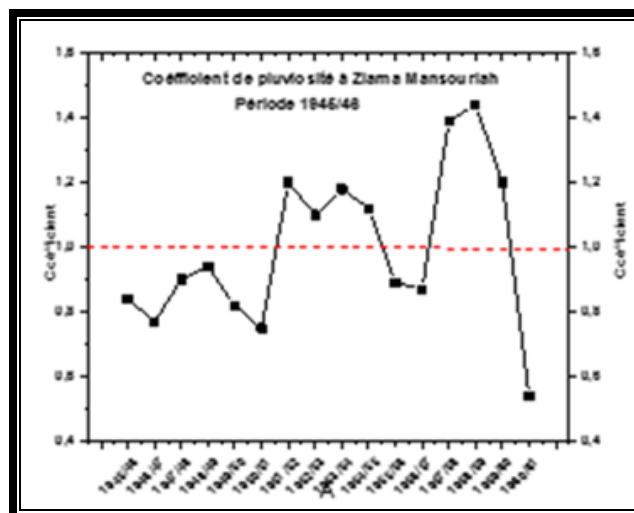


Figure III.10 : Coefficient de pluviosité à Zياما Mansouriah période 1945/46

Comme constaté précédemment pour la station d'Erraguène, les coefficients de pluviosité sont très variables et inégaux. Les périodes humides et sèches qui ressortent de ces 16 années d'enregistrements se répartissent comme suit.

- 9 années sèches et ;
- 7 années humides.

Quoi que la tendance à l'équilibre entre la répartition des années sèches et humides semble plus ou moins conservée à Zياما Mansouriah, il n'en demeure pas moins que ce sont les années les plus sèches qui l'emportent à Zياما Mansouriah.

III.4.3 Comparaison de la pluviosité aux stations de Zياما et d'Erraguène

En plus de l'allure générale des deux courbes de la **Figure III.11** qui semble être la même pour les deux stations, l'explication que l'on peut tirer de la différence de la répartition de la pluie entre les stations d'Erraguène et de Zياما Mansouriah où a (**Figure III.11**):

- 9 années sèches pour Zياما Mansouriah et 10 années pour Erraguène contre 7 années humides pour Zياما Mansouriah et 6 pour Erraguène doit résider dans le fait de la position littorale qu'occupe la station de Zياما Mansouriah, en effet, les moindres masses d'air froid (de basses altitudes) venues du Nord et ne pouvant pas atteindre les sommets des environs d'Erraguène se transforment en pluie que la station de Zياما Mansouriah ne manque pas d'enregistrer.

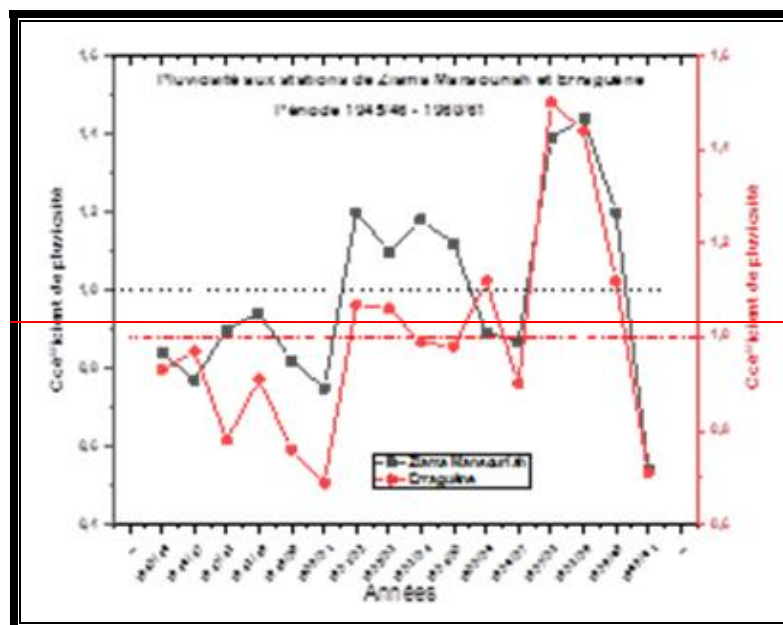


Figure III.11 : Pluviométrie aux stations de Ziama Mansouriah et Erraguène période 1945/46-1960/61

III.5 Variations pluviométriques saisonnières

L'étude des variations saisonnières permet de connaître la répartition des précipitations par saison et par mois.

Comme mentionné précédemment, les types de temps ont une influence décisive sur la répartition saisonnière des pluies dans la région.

La fréquence des invasions des masses d'air du Nord atteint son paroxysme en hiver et vers la fin de l'automne. Elles s'affaiblissent au printemps et deviennent nulles en été.

Les invasions généralisées des masses du Nord pèsent sur les tranches pluviométriques. Les types de temps du Sud et du Sud-ouest dont la fréquence est au maximum pendant l'absence des flux polaires (avril/mai -septembre/octobre) n'influent pas beaucoup sur le régime des pluies.

C'est donc en période des hautes fréquences des flux polaires que la région enregistre 80% de ces précipitations (**Figure III.12**).

De mai à septembre, l'air ne pénètre qu'en altitude et ce, pour de très courtes durées. Il atteint les chaînes littorales Numidiques. Toutes les stations enregistrent des totaux très faibles. Les orages en été sont très rares et passagers dans la région.

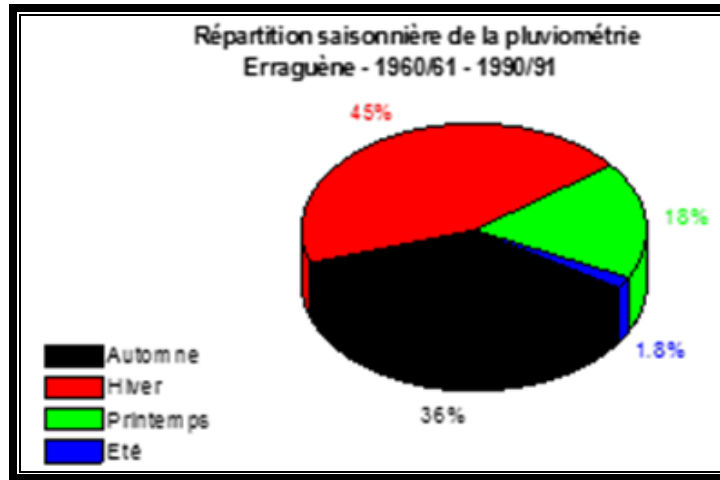


Figure III.12: Répartition saisonnière de la pluviométrie Erraguène – 1960/61 – 1990/91

III.6 Agressivité des pluies

Le choc des gouttes des pluies sur le sol détruit les agrégats libèrent les particules de sol pour le transport et les projette à faible distance (Gomer, 1994). C’est un effort de cisaillement dont la vitesse du courant de ruissellement génère une énergie cinétique qui initie l’érosion ou l’arrachage des matériaux solides qu’après une valeur seuil dépendant de la cohésion des sols et également la vitesse d’écoulement.

L’énergie hydraulique libérée par les écoulements de surface peut être calculée :

III.6.1 Formule de Mataresse

Dans son étude de l’agressivité du climat, Mataresse a établi la formule suivante :

$$R = 37.67 (C / 10.000)^a \dots\dots\dots(III.1)$$

Avec :

C = produit des deux facteurs qui sont : \bar{P}_{an} et \bar{P}_j où :

- \bar{P}_{an} = pluie moyenne annuelle ;
- \bar{P}_j = Moyenne des pluies journalières maximales.

a = constante égale à 0.651 pour la région méditerranéenne.

Extrait des travaux de (Bourouba ;1988), le tableau qui suit donne les valeurs de l’agressivité climatique pour chacune des stations de Ziama Mansouriah et Erraguène.

Tableau III.3 : Agressivité climatique selon Mataresse (D'après Bourouba ;1988)

Station	Pluie moy. Annuelle	Moy pluies journ. Maxi.	Agressivité \bar{P}_{an} et \bar{P}_j / 10000	Indice d'agress. moyen	Période d'observation
Z.Mansouriah	1246.9	84	10.4	173.8	1945 - 1961
Erraguène	1571.5	101	15.8	227.8	1945 – 1961
	1341.0	89	11.9	189.2	1968 -1986

D'après les résultats affichés au tableau, on remarque, que comme pour la pluviométrie moyenne, l'indice d'agressivité à la station littorale Ziama Mansouriah est nettement inférieur à celui d'Erraguène situé en haute montagne, sans risque de nous tromper, on peut conclure que l'indice d'agressivité climatique est directement proportionnel à l'altitude.

III.6.2 Formule de Body

Les résultats de l'agressivité climatique obtenus par **K. Body** dans son étude sur les pluies de l'Algérie septentrionale ont été calculés par la formule suivante :

$$P_{\max t, p\%} = P_{\max j, p\%} (t/24)^b \dots\dots\dots(III.2)$$

$P_{\max t, p\%}$: Pluie de courte durée de même fréquence que $P_{\max j, p\%}$ [mm] ;

$P_{\max j, p\%}$: Pluie maximale journalière pour une fréquence donnée [mm] ;

t : Temps [heure] ;

b : Exposant climatique de la station.

Ceci est pour estimer les pluies de courte durée à une période donnée (24 h) et une fréquence donnée sur site/station possédant de longues séries d'observations.

Tableau III.4 : Agressivité climatique selon Body (in Bourouba ;1988)

Station	Altitude (m)	Pluies moy. annuelles	Moy. pluies jour maxi	Coeff de variation	Exposant climatique « b »	Nbre d'années
Z.Mans.	55	1246.9	84.0	0.23	0.50	50
Erraguène	610	1571.5 1341.0	101.0 89.0	0.40	0.52	50

III.6.3 Indice de F. Fournier

La formule de F. Fournier est calculée à partir d'une répartition temporelle des pluies dans les postes d'observation, elle est donnée par l'expression :

$$I_f = P_m^2 / P_a \dots \dots \dots (III.3)$$

Avec :

P_m : Hauteur de pluie du mois le plus humide (mm) ;

P_a : Hauteur de pluie annuelle (mm).

Le tableau donne l'indice ainsi calculé aux postes d'observation de Zياما Mansouriah et celui d'Erraguène.

Tableau III.5 : Agressivité climatique selon l'indice de Fournier

Station	Pluv. annuelle (mm)	Pluv. du mois pluvieux (mm)	Indice de Fournier P^2/P	Série d'observations
Zياما Mansouriah	1246.9	197	31.1	1945/46- 1960/61
Erraguène	1571.5 1341	327.8 215.5	68.4 34.5	1945/46- 1960/61 1968/69 – 1985/86

Les résultats du tableau mettent bien en relief l'irrégularité des pluies d'un point à un autre de nos lieux étudiés. En effet, on voit bien que comme pour les précipitations, les valeurs les

plus fortes de l'indice sont le propre de la haute montagne, en d'autres termes elles appartiennent bien à la station d'Erraguène.

Les trois méthodes de calcul de l'agressivité climatique confirment l'irrégularité des précipitations, notons bien que ces indices ne font que confirmer que les formations géologiques calcaires sont bel et bien agressées (chimiquement par l'acidité des eaux et mécaniquement par l'impact des gouttes de pluie) en surface comme en profondeur, néanmoins la capacité qu'ont les eaux d'arracher, de déplacer et de transporter les particules solides reste du domaine de l'énergie hydraulique.

III.7. Les précipitations solides

Conscients de l'importance du rôle que peuvent jouer les précipitations solides dans la karstification des formations carbonatées de notre région d'étude, et faute de données relatives à ce type de précipitations, nous avons jugé utile de reprendre les travaux de **(Tekkouk ; 2005)** d'où nous avons pu tirer ce qui suit :

(Tekkouk ; 2005) dans ses travaux a écrit : « L'importance de la neige réside dans le fait qu'elle imbibe le sol d'une façon continue et le laisse donc s'humecter profondément pendant la période de fusion. L'enneigement se fait seulement sentir au début de l'hiver sur les hautes altitudes des Babors, d'Erraguène, et plus loin à l'est à Texenna, il s'arrête aux environs de 5 à 600 m.

L'altitude exerce donc une influence prépondérante sur les chutes de neige ».

Etant donné que les chutes de neige sont rares en Algérie, les données relatives à ce paramètre font gravement défaut et c'est la raison pour laquelle l'auteur dans ces travaux **(Tekkouk ; 2005)** s'est contenté des seules données disponibles de **(Seltzer de 1913/1938)** relatives à l'enneigement au niveau des Babors et à Texenna.

L'imbibition des matériaux est liée à la vitesse de la fusion. Une fusion lente, permet une infiltration importante qui alimenterait les réservoirs à perméabilité en grand.

A plus de 1500 mètres d'altitude, la fusion est beaucoup plus lente, l'alimentation par les fissures peut donc être très importante. Ainsi sur les sommets, la fusion est retardée ou interrompue momentanément par la gelée tout cela rentre dans le processus physique de la karstification.

III.8 Variation des débits

On sait que par opposition aux débits moyens mensuels et saisonniers qui expriment les grands traits du régime fluvial et ses variations, les moyens annuels n'exprime quant à eux que des variations temporo-spatiales sur de longues périodes d'observation.

La contrainte liée au manque de stations hydrologiques fonctionnelles et aux données relatives aux débits nous a contraints de nous contenter du peu de renseignements qui nous espérons tirer de la série des débits mensuels de la période 1960/61 – 1990/91.

Le manque de données, l'hétérogénéité et l'insuffisance générale aux différentes échelles (horaire, maxima journaliers, etc.) n'a permis de traiter que l'un des aspects fondamentaux du régime fluvial à savoir : Les variations mensuelles de l'écoulement.

III.8.1 Débits mensuels à Erraguène

Dans son mémoire de Magister, (**Ouidir ;2012**) présente une série de données de débits mensuels et débits spécifiques pour la période allant de 1990 à 2010 enregistrés par la Société Nationale de l'Electricité et du Gaz (Sonelgaz).

Ces données récentes et utiles permettent d'avoir un aperçu les variations de l'écoulement à Erraguène. En effet, les deux tracés de courbes présentées **Figure III.13** représentant la variabilité des débits mensuels à Erraguène pour la période 1990/91 à 2009/10) permettent de voir que comme ce qui a été constaté pour l'irrégularité de la pluviométrie dans la région, les débits sont eux aussi concernés par le même phénomène.

Mise à part quelques fluctuations (minimes) constatées au niveau du tracé de chacune des trois courbes, l'allure globale permet de constater que les trois paramètres étudiés évoluent mensuellement dans le même sens.

La lecture conjointe de la courbe des débits et celle des coefficients de variation permet de constater que la période de crues ou forts débits dure six mois elle débute à la moitié du mois d'octobre et s'étale jusqu'au début du mois de mars.

Le décalage à droite (**Figure III.13**) du tracé de la courbe de l'évolution de l'écart type par rapport au tracé de la courbe des débits et celle du coefficient de variation, peut s'expliquer par les apports liquides (en provenance de nappes de sources de la fonte des neiges) qui viennent tardivement s'ajouter aux débits des cours d'eau déjà en activité.

Encore une fois, en plus des fluctuations ou variations mensuelles qu'expriment les courbes de la **Figure III.13**, les deux périodes de crue (mi-octobre début mars) et de décrue début mars- début septembre sont nettement marquées.

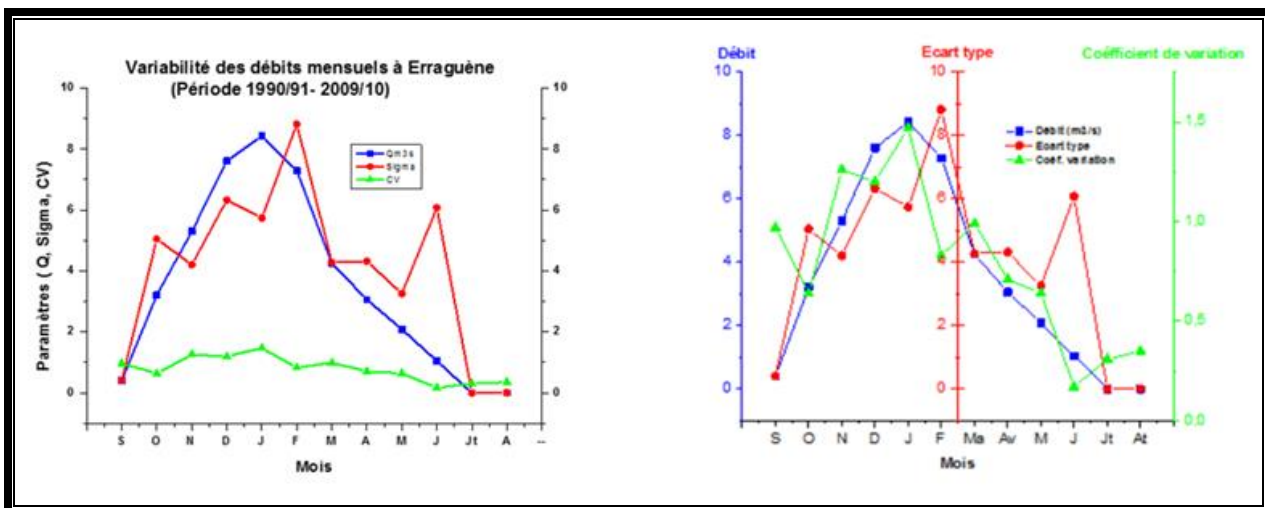


Figure III.13 : Variabilité des débits mensuels à Erraguène (Période 1990/91 à 2009/10)

III.8.2 Débits saisonniers

La répartition des débits à travers les saisons (**Figure III.14**) pour la période 1990/91 - 2010/11 montre clairement que les 55 % des écoulements enregistrés en hiver dépassent largement les taux d'écoulements des autres saisons. En effet, la somme des taux des écoulements automnaux reste inférieure aux taux d'écoulements hivernaux.

La faiblesse du taux d'écoulement estival dû à la rareté des apports pluviométriques, marque bien la période de tarissement des oueds en ces lieux.

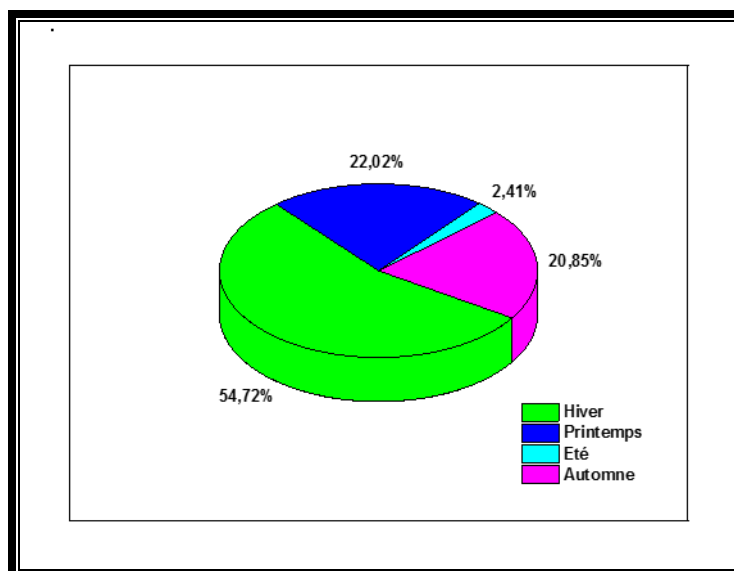


Figure III.14: Débits saisonniers de l'Oued Djendjen à Erraguène (Période 1990-2010)

III.9. Température

La température a une action incontestable trop souvent négligée sinon occultée par la majorité des chercheurs. Son importance se traduit par son action sur la solubilité du CO₂ (donc les carbonates) et sur la vitesse des réactions chimiques. Cette action est fonction de la latitude, de la saison, du jour de la nuit, de l'exposition et de l'altitude.

Les variations de température jouent un rôle non négligeable par le biais :

- Du bilan hydrique, au travers de l'évaporation et de l'évapotranspiration. Or l'on sait que ces deux dernières sont importantes en mois secs.
- Des réactions chimiques, et donc de la corrosion, notamment dans le sens vertical car la température varie rapidement avec la profondeur. On sait par exemple que le CO₂ est plus soluble à basse température qu'à haute température et donc en théorie les eaux froides devraient être plus agressives (**CORBEL ;1959**). Il existe un autre avis qui stipule qu'une augmentation de la température a tendance à favoriser les réactions chimiques (la vitesse de réaction est une fonction exponentielle de la température) et donc la dissolution (**BIROT, 1966 ; MUXART, 1971**), car elle favorise la vitesse de diffusion du CO₂ dans l'eau et celle de mise en solution des carbonates par l'eau chargée de CO₂.
- Des dépôts (évaporation + processus chimiques); l'intensité de l'évaporation donne lieu à un dépôt secondaire de carbonate de calcium (souvent dur et stalagmitique, laminé) qui est souvent considéré comme l'une des causes des versants très raides des reliefs et un très fort dégazage de CO₂ comme par exemple l'abondance des travertins, dans le Grand Canyon en Arizona (**Salomon, 1997**).
- Du rôle du gel/dégel, et de la neige jouant un rôle important avec l'altitude. Le gel en particulier joue un rôle important car il favorise par cryoclastie la destruction des lapiés à mesure qu'ils se forment.

III.9.1 Températures de la zone d'étude

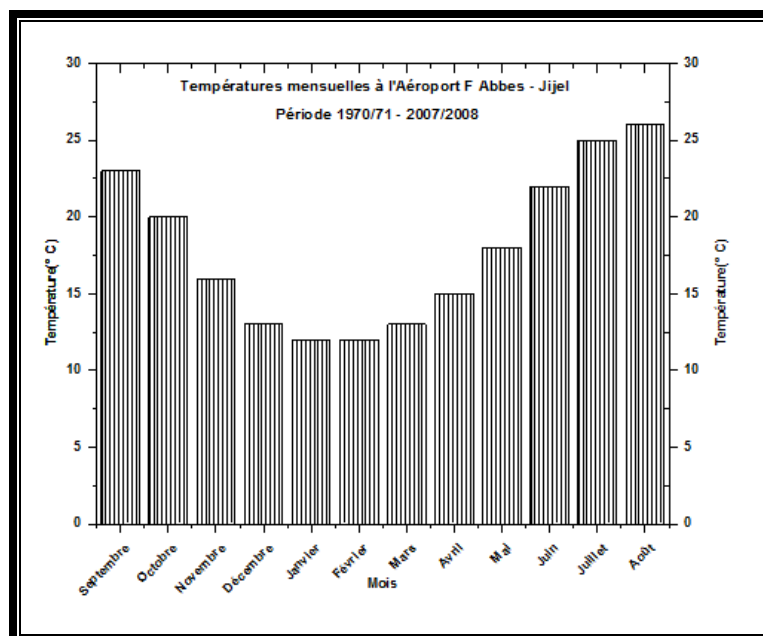
La température de l'air est un facteur qui a une grande influence sur le bilan hydrologique du fait de son impact sur le déficit d'écoulement (évapotranspiration)

Faute de données de notre zone d'étude on s'est limité aux données collectées à la station météorologique la plus proche à savoir celle de l'aéroport Ferhat Abbas de Jijel.

Le **Tableau III.6** illustré par **Figure III.15** donne la répartition de la température moyenne mensuelle à l'aéroport Ferhat Abbas de Jijel. Pour la période 1971 à 2008.

Tableau III.6 : Température moyenne mensuelle (Station Jijel Aéroport, Période 1971/ 72 - 2007/08)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Température moyenne mensuelle (T°C)	23	20	16	13	12	12	13	15	18	22	25	26

**Figure.III.15** : Températures moyennes mensuelles Aéroport Abbàs Période 1971/72 – 2007/08.

On remarque que le mois d'août est le plus chaud (26°C), les mois de Janvier et février sont les mois le plus froids, la température en ces mois vaut de (12°C).

La température moyenne maximal est enregistrée au mois d'Aout est vaut de 26°C, par contre la moyenne minimale enregistrée au mois de Janvier elle, vaut de 12°C.

Pour mieux apprécier les effets de la température régnant sur les lieux, nous avons jugé utile de joindre à notre travail la **Figure III.16** où l'évapotranspiration a été estimée cartographiquement par les services de l'ANRH et (**Laborde ;2002**).

Dans l'Est algérien, en hiver, pendant le mois de janvier où l'*E.T.P.* est en général au plus bas, les isovaleurs de ce mois oscillent entre 10 et plus de 60 mm. En revanche, en été pendant le mois d'août où l'*E.T.P.* est la plus forte, les courbes isovaleurs varient de 160 à 310 mm.

L'action de la température est ici bien mise en relief pendant ces deux saisons extrêmes. En effet, en hiver, la dégradation et autres phénomènes participants à l'agression des formations carbonatées est principalement assurée par l'action du gel et du dégel qu'accroît la dynamique hydraulique.

En été, l'enrichissement des eaux en CO_2 et la dessiccation des roches sont eux aussi un facteur favorisant la dégradation ou la karstification des roches exposées aux fortes températures de la saison.

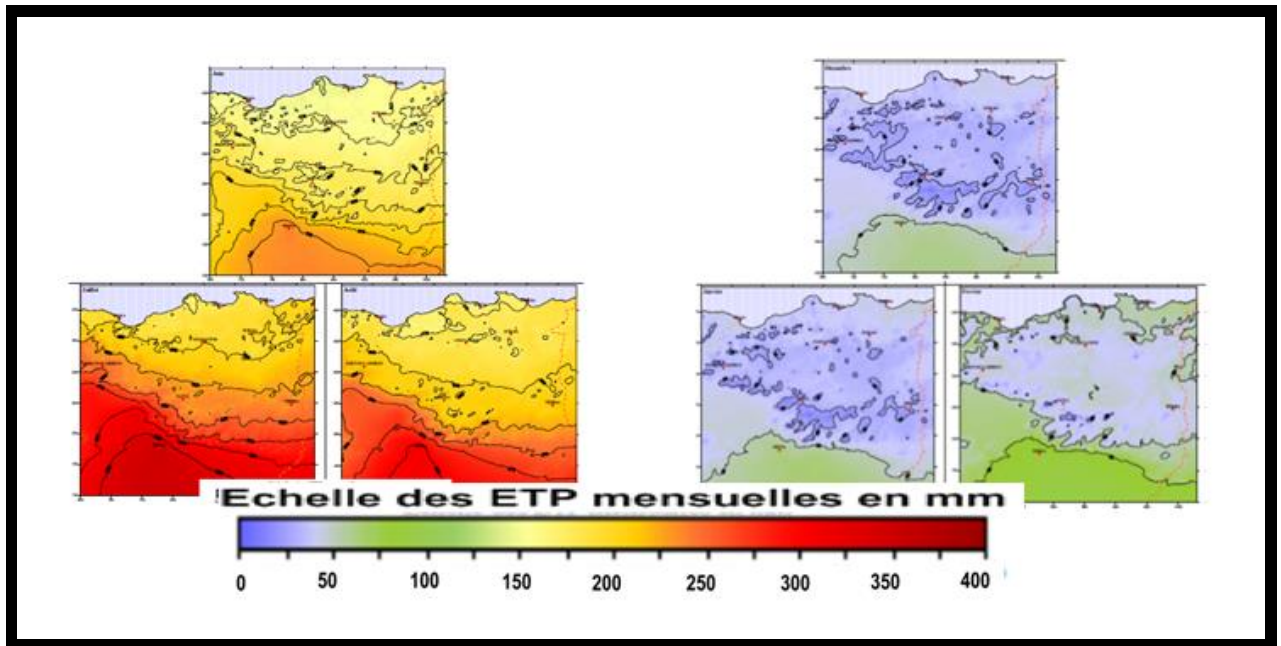


Figure III.16 : Evapotranspiration de l'Est algérien pour les Saisons hivernales et estivale.

CHAPITRE IV

INFLUENCE DE LA TECTONIQUE

SUR LE DEVELOPPEMENT DES

RESEAUX KARSTIQUES

Si la tectonique est connue comme le phénomène responsable des déformations des roches par le biais des forces physiques importantes de compression, de cisaillement, et d'écartement, elle se traduit au niveau de la croûte terrestre d'une manière souple sous forme de plis et d'une manière cassante sous forme de failles, fractures et autres discontinuités. Cette dynamique cassante (accidents tectoniques) joue un rôle important sur la formation des réseaux de drainage souterrain, leur mise en place ainsi que leur développement.

IV.1 Karstification et fracturation

La structuration d'un système karstique consiste en la hiérarchisation de mieux en mieux réalisée des écoulements souterrains au cours du temps (**Havron et al, 2004**). Il ne suffit pas qu'une fissure existe, il faut qu'elle soit assez ouverte pour permettre la circulation de l'eau avant toute karstification. Cette dernière ne se produit que si, simultanément à l'existence d'un potentiel hydrodynamique agissant sur une eau chimiquement agressive, une tectonique en extension ouvre certaines familles de fissures. Ainsi, les étapes de karstification au cours de l'évolution géologique d'une région, doivent correspondre à l'existence de ces états de contrainte tectonique en détente associés à un potentiel hydrodynamique.

Si le rôle de l'eau est expliqué dans ce qui suit, l'énergie mécanique de la spéléo-genèse fait par contre l'objet de plus de difficultés pour être correctement définie. La géologie structurale kilométrique pour l'étude de la karstification (phénomène avant tout local) l'analyse structurale métrique à hectométrique et l'analyse microtectonique sont des outils indispensables et complémentaires pour mieux étudier ce phénomène.

IV.1.1 Rôle de l'eau dans la karstification

Il est évident que la karstification n'est possible sans la présence de l'eau. Son intervention joue sous deux angles : le qualitatif et le quantitatif. En l'état actuel et avec la pollution dans les régions côtières, les eaux de pluie ont plus de chlorures et de sulfates et sont plus acides, elles possèdent donc une agressivité significative (voir processus chimique au **chapitre III**).

La quantité d'eau mise en jeu est une notion simple, souvent oubliée mais fondamentale, car même si l'on observe de faibles teneurs en carbonates dans les sources karstiques lors des mesures, la valeur absolue de la dissolution peut être très importante compte tenu des grandes

quantités d'eau disponibles. Dans notre cas, notre région d'étude se caractérise par des formations carbonatées du Jurassique exposées à une abondante pluviométrie moyenne annuelle de l'ordre de 1200 à 1400 mm.

IV.2 Relevés de la fracturation le long du tronçon d'étude

Quatre des cinq sites traités antérieurement par [Yellas C. , 2018, 2019] ont été retenus dans notre présente étude. Il s'agit de :

- Sites El Aouana ;
- Site des Aftis 1 ;
- Site des Grottes merveilleuses.

IV.2.1 Site des Aftis 1

Le site des Aftis 1 limitrophe du massif endogène d'El Aouana été fortement tectonisé lors des différents épisodes de remontée du magma proximal. La complexité structurale du lieu conjuguée aux effets de l'activité tectonique régionale a permis l'apparition de nombreuses discontinuités.

IV.2.1.1 Représentation des mesures relevées à la station Aftis 1

La projection stéréographique de 137 mesures de discontinuités effectuées à la station « Aftis 1 » est représentée en **Figure IV.1** qui suit.

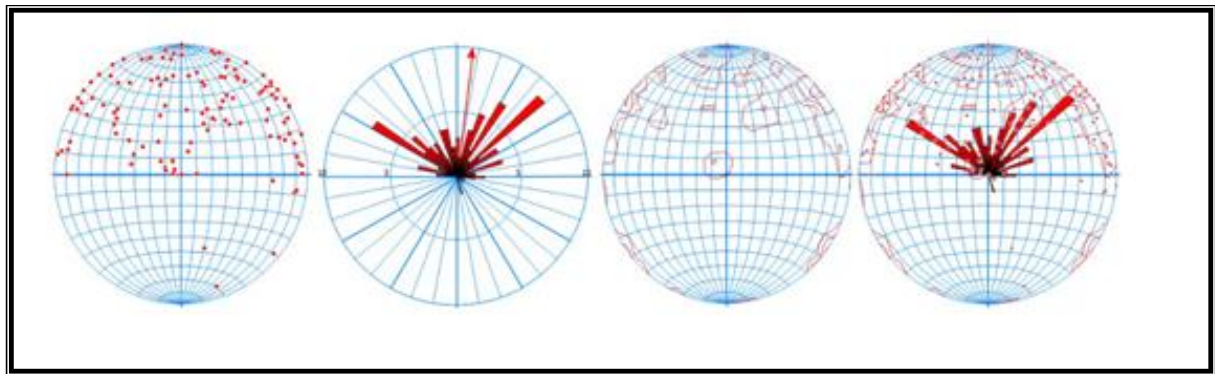


Figure IV.1: Projections stéréographiques des discontinuités du site « Aftis 1 ». [Yellas,2018].

IV.2.1.2 Orientation des familles de discontinuités :

La projection ainsi établie laisse apparaître 3 familles de failles qui sont regroupées dans le **Tableau IV.1** qui suit :

Tableau IV.1 : Orientation et direction des différentes familles de discontinuités de la station **Aftis 1**

Famille	Pendage	Direction et orientation
F1	90°	, N 45°E, Verticale
F2	15°	N 31°E, subhorizontale
31	85°	N 135°E, Horizontale

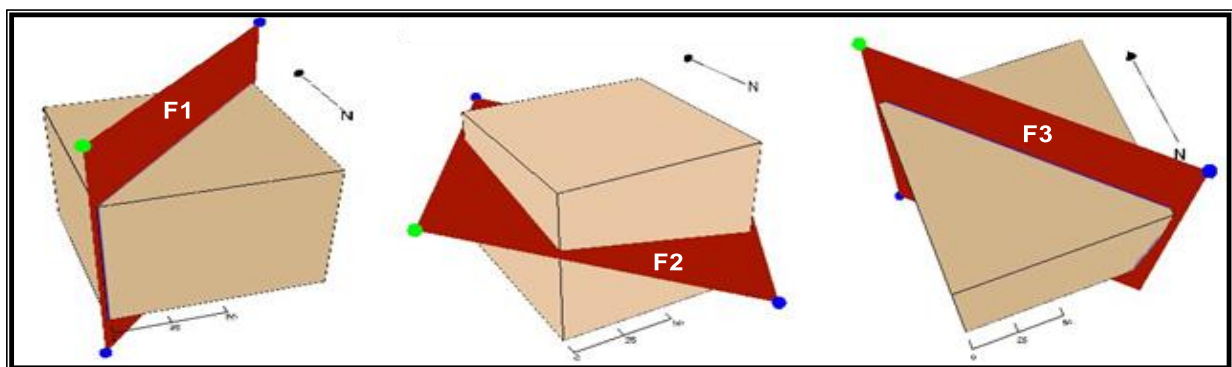


Figure IV.02 : Représentation en 3 D des discontinuités - Station Aftis1 [Yellas,2018].

IV.2.2 Site Aouana

IV.2.2.1 Représentation des mesures relevées à la station Aouana

La projection stéréographique de 240 mesures de discontinuités effectuées à la station Aouana est représentée en **Figure IV.3** qui suit :

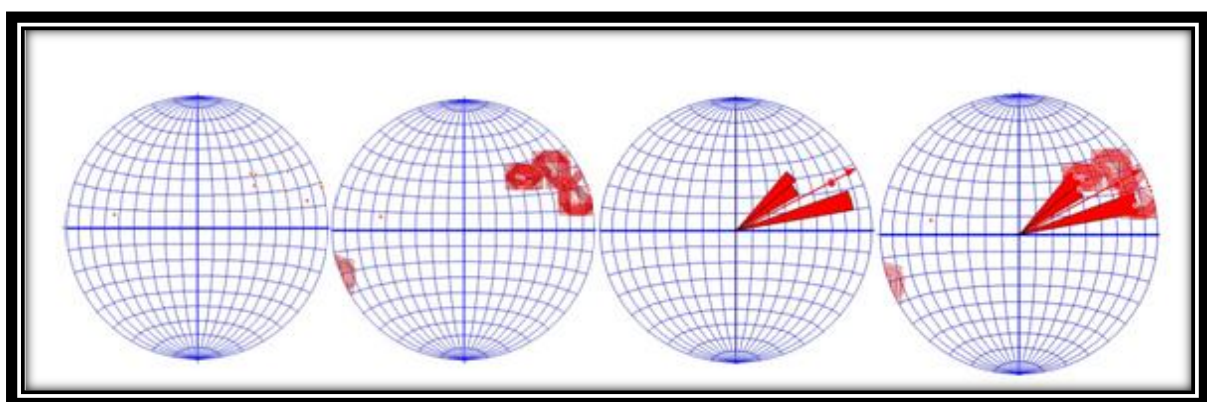


Figure IV.03: Projections stéréographiques des discontinuités - Station « Aouana ». [Yellas,2018].

IV.2.2.2 Orientation des familles de discontinuités

L'activité tectonique intense ayant affecté le massif rocheux durant les phases de structuration est à l'origine de l'apparition de deux familles de failles. La classification de ces dernières selon leur pourcentage respectif est représentée par de courbes d'isodensité en projection stéréographique.

Deux familles de failles ont été définies, elles sont représentées dans le **tableau IV.2**:

Tableau IV.2 : Orientation et direction des différentes familles de discontinuités (Aouana)

Famille	Pendage	Direction et orientation
F1	90°	N162° E, incliné
F2	45°	N144° E, verticale

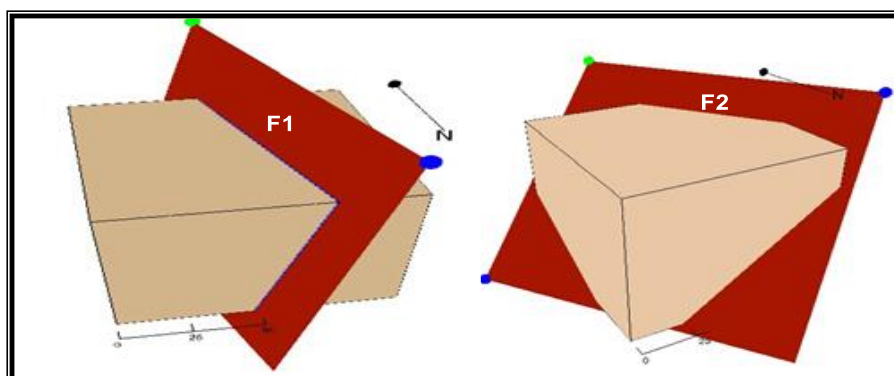


Figure IV.4: Représentation en 3 D des discontinuités - Station « Aouana »
[Yellas,2018].

IV.2.3 Station des Grottes merveilleuses

La projection stéréographique de 37 discontinuités sous forme de contours, de rosasses et de nuages de points est représentée en **Figure IV.5**

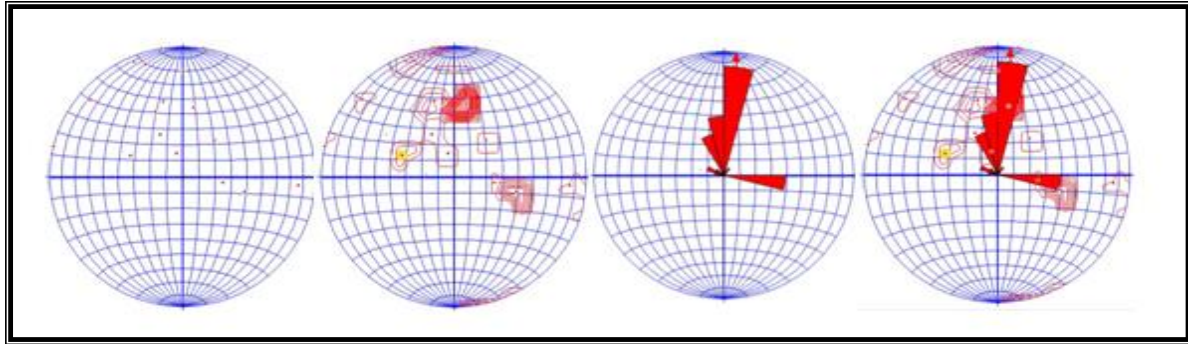


Figure IV.5 : Projections stéréographiques Site « Grottes merveilleuses ».[Yellas,2019].

IV.2.3.1 Orientation des familles de discontinuités

Deux familles de failles ont été définies, elles sont représentées dans le **Tableau IV.3** :

Tableau IV.3 : Orientation et direction des différentes familles de discontinuités Station Grottes merveilleuses

Famille	Pendage	Direction et orientation
F1	15°	N76°E, Horizontale
F2	80°	N72°E, verticale

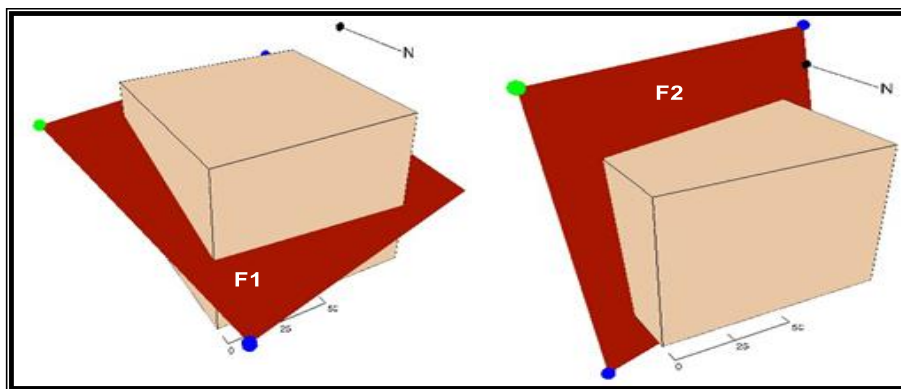


Figure IV.6 : Représentation en 3 D des discontinuités- Station des Grottes merveilleuses. [Yellas, 2019].

IV .3 Représentation des différentes familles de fractures

Nous présentons en **Figure IV.7**, les principales familles de fractures répertoriées sur les 4 sites étudiés. De cette présentation, on peut facilement retenir ce qui suit :

Chapitre IV : Influence de la tectonique sur le développement des réseaux karstique

- Les failles qui ressortent au niveau du site Aftis 1 sont sensiblement orthogonales, et sont orientées NE-SW et NW-SE
- Les failles affectant le site Aouana ont pour direction N160 à N 165° E. Elles peuvent être regroupées avec les failles affectant le site des falaises lesquelles apparaissent sur un plus large éventail qui s'étend du N160 à N 215 ° E en passant par l'axe N180° E ou en d'autre terme l'axe N-S.
- Les failles affectant le site des grottes merveilleuses rappellent quant à elles l'axe de fracturation EW, en effet, leur projection sur canevas donne des axes N70 et N 115° E.

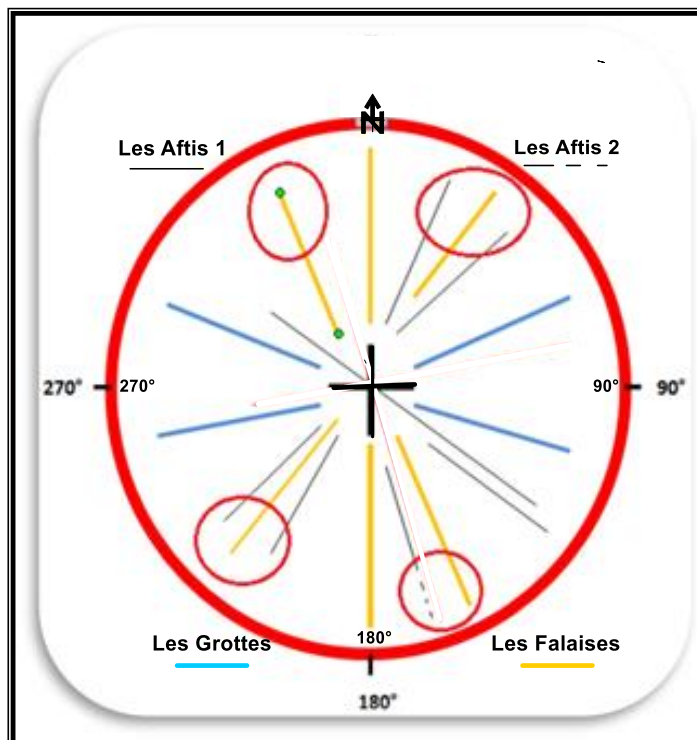


Figure IV.7 : Représentation des différentes familles de fractures Sites étudiés.

[Yellas,2018].

Le relevé de la fracturation effectuée sur les 4 sites a permis vérifier que les grandes familles de failles déduites de la carte sismicité du CRAAG (**Figure II.6**) sont bel et bien représentées. En effet, tous les axes de direction N-S, E-W, NE-SW et SW-NE figurent dans l'une comme dans l'autre étude de la fracturation.

IV.4 Approche morphologique et spéléologique

Lors de ses recherches spéléologiques sur la région du Djebel Brek et sur les régions environnantes (**Biberent ;1947**) a écrit « où les cavités pouvaient permettre l'étude de le

circulation des eaux souterraines, donc la connaissance des cavités creusées, fossiles ou actives et les règles du creusement de ces cavités dans la même région, les mêmes terrains et les mêmes conditions qu'au djebel Brek ».

C'est dans cet esprit que les recherches effectuées par **Biberent** dans la région de Ziama Mansouriah ont intéressé les lieux dits suivants :

- Le djebel Brek lui-même ainsi que sur son annexe, le djebel Hamra ;
- Les vallées avoisinantes : oued Amzal et Guelil ;
- Les massifs à l'Est :
 - Djebel Kern,
 - Djebel Taounart et Haouita ;
- Les massifs au Sud :
 - Djebel Tloundène,
 - Djebel Bou Douès,
 - Djebel Mrada ;
- Les massifs plus lointains :
 - Djebel Ablad,
 - Adrar Djemaa N'Sia,
 - Djebel M'Saada.

Dans son rapport descriptif des lieux prospectés, **Biberent** apporta de nombreux détails et précisions relatifs aux grottes (Ghar) et autres formes de dissolution karstiques. Faute de pouvoir sortir sur terrain (**covid-19**), nous nous contenterons dans le présent travail de reproduire un résumé de la description écrite par ce dernier, elle concerne les cavités des djebels Brek et Hamra. La suite des lieux explorée sera donnée dans le **tableau VI.4** qui suivra.

IV.4.1 Cavités du djebel Brek et du djebel Hamra

Compris entre l'oued Amzal à l'Ouest, l'oued Guelil à l'Est (**Figure IV.7**), dominant la mer de 840 mètres, relié au massif du Tloundène par la crête du djebel Betacha, le djebel Brek se présente sous forme de structures redressées à la verticale, où les formations (dolomies, calcaires, calcaires marneux, grès, schistes..) très tectonisées laissent apparaître d'importantes failles décrochantes et de chevauchement.

Chapitre IV : Influence de la tectonique sur le développement des réseaux karstique

A mi- pente du djebel Brek, surplombant le ravin de Bou Serdoun, jaillit une source pérenne. Selon les habitants des lieux, la source a un fort débit en hiver et coule de façon appréciable en été.

La prospection du sommet du djebel par Alexis Lambert - géologue à Electricité et Gaz d'Algérie (EGA), actuellement Sonelgaz, passé antérieurement sur les lieux lui a permis de recenser une série de dépressions fermées.

Bien après le passage du géologue susnommé, J. Birebent prospecta à son tour le massif, il y découvrit un grand nombre de grottes (Ghars), fissures, et avens suite à quoi, il écrivit ce qui suit :

« L'un d'eux en particulier, le « Rhar T'chountchoun dépasse par ses dimensions les normes des cavités de la région. Nous n'avons pu atteindre le fond du premier puits avec les moyens habituels. explorer complètement ce gouffre qui descendant à la verticale sur le trajet d'une faille, doit renseigner sur la géologie du massif, la circulation des eaux fossiles et actuelles... »

Ayant constaté que le massif est « troué » (karstifié) de toute part, J. Birebent regroupa les nombreuses cavités qui s'y trouvaient en :

- Cavités du bord de mer ;
- Cavités du flanc nord ;
- Cavités du sommet ;
- Cavités du flanc Sud ;
- Cavités du djebel Hamra

Tableau IV.4: Cavités, grottes et sources recensées par **J.Birebent** Corniche Jijel – Béjaia

1- Cavités du djebel Brek et du djebel Hamra	
Cavités du bord de mer	Source du Bélier Grotte aux pigeons Trou de Khankhoun
Cavités du flanc nord	Grottes du chemin de Tizrarane Grotte aven de la Falaise Aven Kalinin RharTchountchoun I RharTchountchoun II

Chapitre IV : Influence de la tectonique sur le développement des réseaux karstique

	Sotchs de la crête
Cavités du sommet	Sotchs* – Avens du gouffre Margot Margot I Margot II Autres sotchs
Cavités du flanc Sud	Aven de Sidi Khalifa
Cavités du djebel Hamra	RharDurbane (Grotte du Porc-Epic) RharDiba (Grotte du chacal) RharTintoun Grotte Merveilleuse

(*) Sotch = Cuvette, dépression fermée dans les régions calcaires

2 - Cavités des vallées des oued Amzal et oued Guelil	
Vallée de l'oued Amzal	/
Vallée de l'oued Guelil	Une résurgence – beaucoup de fissures
3 – Cavités du djebel Kern et des djebels Taounnart et Haouita	
Djebel Kern	Kbeur es Sba Rhar el Baz (grotte du Faucon) Rhar el Baz II Région d'EchChéria RharBouHanarouk Rharberd
DjebelHaouita	Grotte de la Madeleine Nord Grotte de la Madeleine Grotte de la Madeleine Sud RharHaouita Rhar Omar el Hadj Lapiaz de Mokhtar

Chapitre IV : Influence de la tectonique sur le développement des réseaux karstique

DjebelTaounnart	Aven de la Falaise RharBelichbal Grotte des lauriers Sources de l'oued
-----------------	---

4-Cavités des massifs Sud (djebel Hadid, djebel Tloudène et djebel M'rada)	
Djebel Hadid	Grosses résurgences
Djebel Tloudène	Ain Mechtka Ain Zari Ain Djerrar
DjeblbouDoues	Aven de la route Aven du Bou Doues Ain Lemta Ain Tachrat
Djebel Mrada	Grotte de la Panthère
5 – Cavités de djebels Ablad Adrar,Djemmaa N'Sia djebel M'Saada	
Djebel Ablad	RharbouTchintchouf
Adrar Djemmaa N'Sia	Grotte des grandes falaises Grotte Arambourg
Djebel M'Saada	Grotte du Marabout

Chapitre IV : Influence de la tectonique sur le développement des réseaux karstique

La figure IV.8 qui suit permet de situer l'espace qui a été prospecté par cet auteur. Notons que pour ne pas trop charger notre carte, nous nous sommes volontairement limités à ne reporter que quelques-uns des points répertoriés par Birebent.

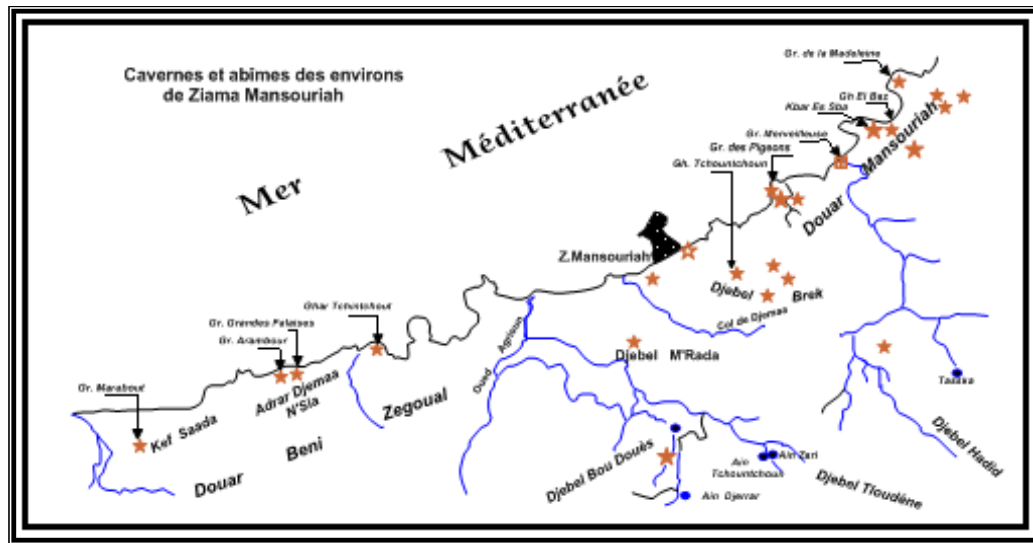


Figure IV.8 : Cavernes et abîmes des environs de Ziam Mansouriah (Etablie par Birebent, modifiée par nos soins).

La Figure IV.9 qui suit permet elle aussi de situer les points recensés et d'avoir un aperçu topographique des lieux. Une vue d'ensemble permet clairement de voir que la disposition de la majorité des points est parallèle au rivage et qu'elle fait penser à l'un des principaux axes tectoniques régnant ayant sévis dans la région. En effet, il s'agit de la direction NE-SW vue antérieurement dans la partie fracturation du chapitre réservé à la géologie du présent travail.

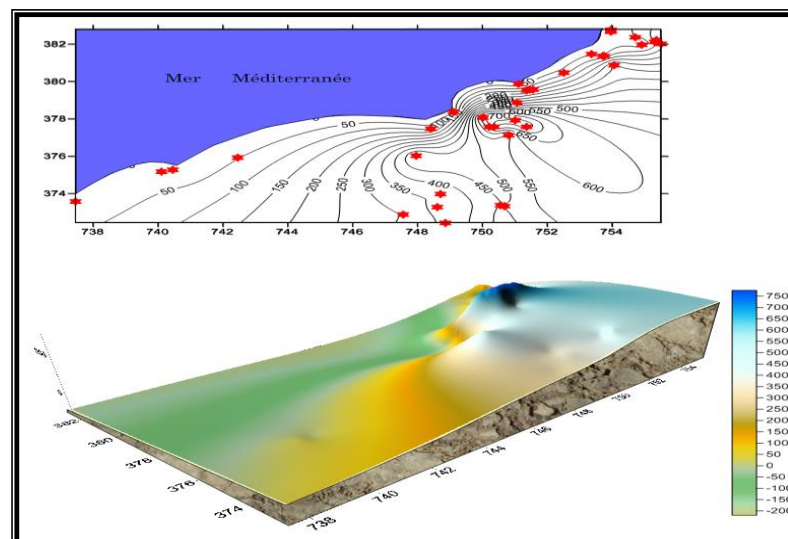


Figure IV.9 : Emplacement et représentation en 3 D des lieux karstifiés de la région ouest d'El Aouana.

IV.5 Approche karstologique des lieux

Comme développé dans le chapitre qui a été réservé à la présentation générale du phénomène de la karstification et pour éviter de nous redire, nous présentons dans ce qui va suivre, les résultats du rôle joué par la circulation des eaux, l'érosion, et la corrosion qui ont contribué au développement morphologique des lieux étudié:

IV.5.1 Exemples de résultats de la karstification des lieux étudiés

Pour une bonne illustration des effets de la karstification qui a régné dans les lieux, nous avons pensé utile de présenter les quelques photos et schémas qui suivent.

Kbeur Es Sba ou encore le tombeau du Lion.

Il s'agit d'un aven s'ouvrant dans le flanc de la montagne au-dessus du talus Sud de la route de Bejaïa à Jijel (**Figure IV.10**), à 200 mètres à l'Ouest et au même niveau que Ghar El Baz. Il se compose d'un puits à parois légèrement inclinées (28/10/40) terminé à – 28 m par une cuvette et un talus d'éboulis qui descend à – 40 mètres au niveau de la mer qui occupe le fond. Une petite galerie (15/8/10) en direction du Nord permet d'atteindre le fond de l'aven par la mer. Cet abîme est le type des cavités fermées à la faveur d'un joint de stratification redressé où l'érosion tourbillonnaire a agrandi les fissures rencontrées jusqu'au niveau imperméable, représenté par le Crétacé inférieur, qui a arrêté le creusement.

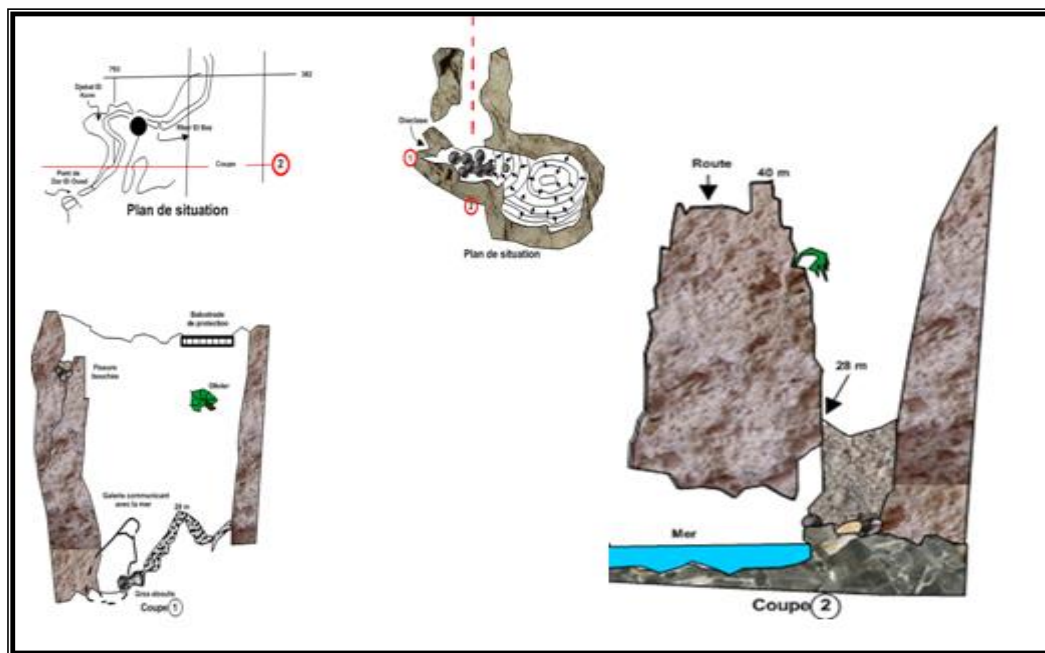


Figure IV.10 : Aven et grotte marine à Kbeur Es Sba.



Figure IV.11 : Cavités au niveau de la route PK 25+450 sur RN 43 (Ghar El Baz)



Figure IV.12: Les deux grandes cavités karstiques Ghar El Baz.

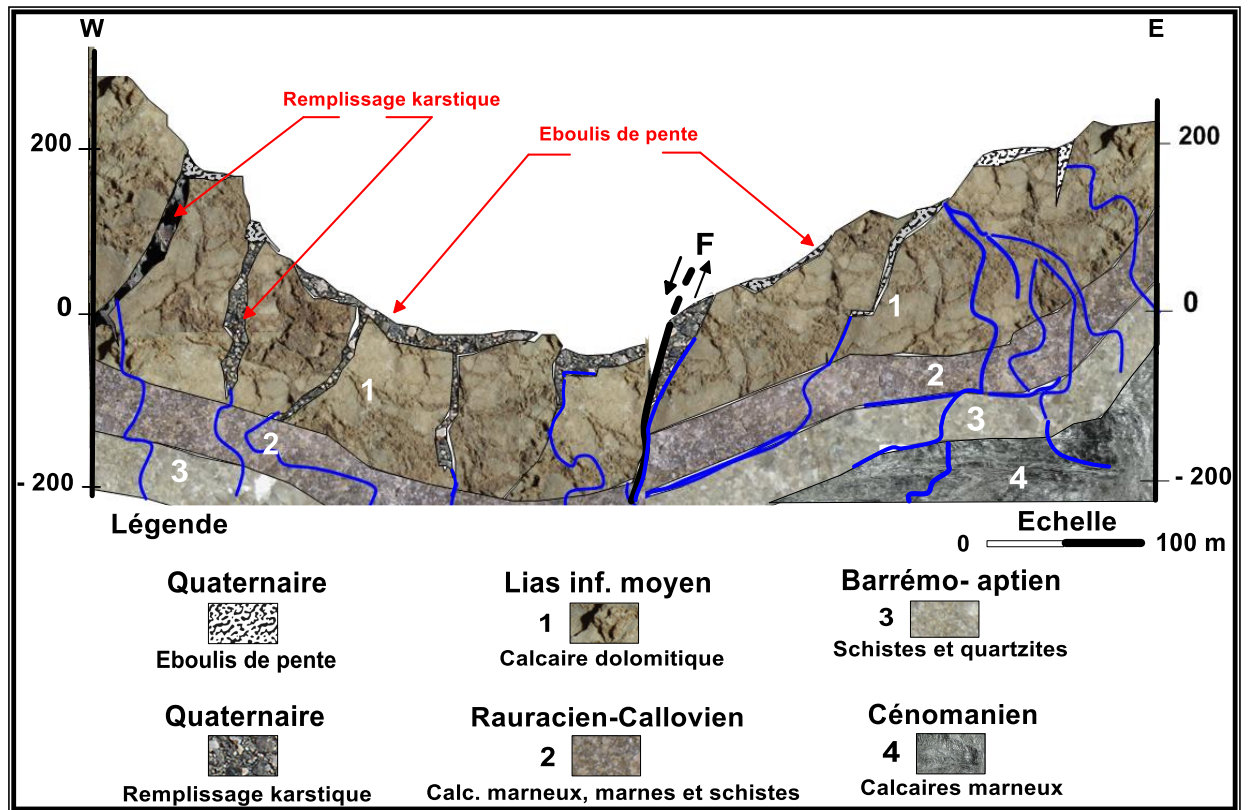


Figure IV.13 : Coupe géologique de la région « Ghar el Baz ».



Figure IV.14: Les grottes merveilleuses

IV.5.2 Source karstique M'Chaki

Les coupes présentées en **figure IV.15** qui suit montrent clairement le contexte géologique du site M'Chaki et le schéma explicatif du dispositif hydrogéologique de la source M'Chaki. En effet, au regard des formations géologiques calcareuses pour leur majorité, et des indices tectoniques, les failles et les chevauchements ; soulignés par les éléments gypseux du Trias, nous sommes bien en présence de l'un des plus importants effets de la tectonique cassante, lesquels par l'action des eaux météoriques ont aidé au développement de ce type de « cavités réservoirs » et autres formes connues des paysages karstiques dont nous avons parlé en tout début de notre présent travail.

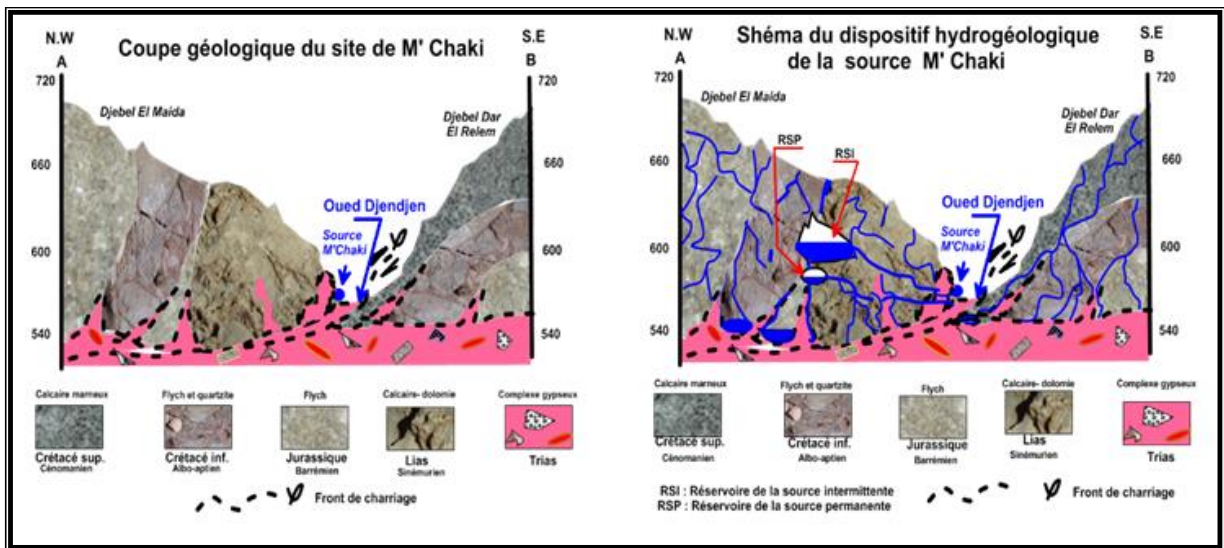


Figure IV.15: Coupe géologique du site et dispositif hydrogéologique karstique de la source M'Chaki (Article soumis : **Tekkouk, Benzaid, 2020**)

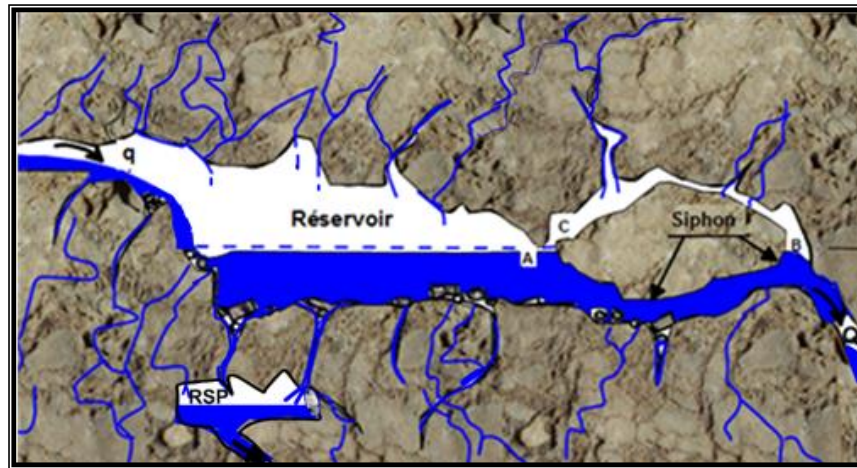


Figure IV.16 Détail des réservoirs karstiques assurant lapérennité et l’intermittence de la source M’Chaki. (Article soumis : **Tekkouk, Benzaid, 2020**).

La tectonique cassante traduite par les discontinuités recensées sur le terrain joue un grand rôle dans la karstogénese en présence des carbonates et de l’eau. La cartographie des lieux permet facilement de constater que la majorité des cavités sont disposées parallèlement au rivage est qu’il fait comprendre que cet alignement rappelle parfaitement un des principaux axes tectoniques ayant sévi dans la région. Il s’agit de l’axe tectonique de direction NE-SW

La source M’chaki nichée en pleines formations calcaires est le parfait exemple du développement des réseaux karstiques de la région. Les eaux de pluie, les failles et les chevauchements soulignés par les gypses du trias, ne se sont pas limités aux Grottes Merveilleuses et à Ghar El Baz uniquement, bien d’autres formes de dissolution existent, il suffit de les chercher, les travaux de **Birebent** sont là pour le confirmer. Ils sont un exemple à suivre.

Conclusion générale

Une définition de terme karst reste ambiguë en raison de la complexité du phénomène et de la peu de recherches dans ce domaine. Notre contribution a essayé de présenter le mieux mais reste non exhaustive. La karstification est évidente principalement dans les roches carbonatées malgré qu'elle existe dans des roches peu solubles comme les grès, elle est également préparée par la nature structurale que de la tectonique. Notre région d'étude située dans un contexte géologique connu par des discontinuités jouant un rôle important dans la karstogénèse. D'autres agents importants hydro-climatiques sont cités et leur rôle est très bien expliqué surtout par la quantité d'eau qu'il est susceptible de mettre à disposition pour le travail de corrosion ainsi qu'un processus physico-chimique. Cette recherche a éclairé les notions et les définitions pour mieux détailler l'influence de la tectonique sur les réseaux karstiques.

Notre contribution par des sorties sur terrain de nos collègues chercheurs permet clairement de voir que la disposition de la majorité des cavités qui est parallèle au rivage et qu'elle fait penser à l'un des principaux axes tectoniques régnant ayant sévis dans la région. En effet, il s'agit de la direction NE-SW vue antérieurement dans le chapitre consacré d'étudier l'influence de la tectonique cassante sur le développement des réseaux karstiques.

Les discontinuités recensées sur les quatre stations se classent en deux à trois familles de petites à grande extension.

Pour une bonne illustration des effets de la karstification qui a régné dans les lieux, nous avons présenté quelques photos et schémas avec une parfaite description de la source M'chaki caractérisé par des calcaires, des failles et de chevauchement soulignés par les gypses du trias et par le développement de cavité réservoir ainsi que d'autres formes karstiques tels que les Grottes Merveilleuses et Ghar El Baz.

Enfin, le développement d'un réseau karstique nécessite une recherche interdisciplinaire, cartographie, géodynamique, géochimie...etc. pour avoir de fructueux résultats et ceci sur une période d'observation significative. Notre travail reste une contribution ou une initiation non exhaustive que les futurs chercheurs doivent compléter.

Références bibliographiques

- A.N.R.H. et Laborde J.P. (2002)** : La cartographie des Evapotranspirations potentielles mensuelles moyennes de l'Est algérien
- Audra P. Bigot J.Y. Camus H. Gauchon C. Wienin M. (2011)** : La grotte-mine du Piei (Lagnes, Vaucluse), paléokarst hypogène à remplissage de minerai de fer oxydé. *Karstologia* n°58, p1- 14.
- Bakalowicz M. (1986)**. De l'Hydrogéochemie en karstologie, *Karst Euskadi*, pp. 105-129
- Bakalowicz M. (1996)**. Les Processus de karstification et les différents types de karst associés. *Mémoires de la Société Géologique de France*, 1996, Vol. 169, pp.363-371
- Bakalowicz M. (1999)**. Guide technique N°3 – Connaissance et gestion des ressources en eaux souterraines dans les régions karstiques, Juin 1999 – AERM&C.
- Birebent J. (1947)** ; « Explorations souterraines en Algérie ».
- Body K. (1981)** : Analyse fréquentielle des pluies de l'Algérie, Synthèse régionale (complétée et corrigée par SARVARY, 1985)
- Boudraa S. et Himeur k. (2013)**, Faisabilité des fondations profondes du futur viaduc de Ghar El Baz région de Taza wilaya de Jijel. mémoire de fin d'étude Univ. Jijel Algérie.
- Bourouba M. (1988)** : Hydrologie et érosion actuelle dans le Tell oriental (Algérie) : le cas du bassin versant de l'oued Djendjen. Thèse Doctorat 3ème cycle, Université Aix- Marseille-II, 404p.
- Camus H. (2003)**. Vallée et réseaux karstiques de la bordure carbonatée sud-cévenole. Relation avec la surrection, le volcanisme et les paléoclimats. Thèse Doctorat, Université Bordeaux III, 692p.
- Chaumont M. et Paquin C. (1971)** : "Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord, échelle 1/500 000" (4 feuilles et notice). Société de l'Histoire Naturelle d'Afrique du Nord, Alger.
- Calvin Alexander E.Jr (2015)** : The Sandstone Karst of Pine County, Minnesota
- Corbel J. (1959)** : « Karst du Yucatan et de la Ronde », *B.A.G.F.* ; n° 283, pp. 2-14.
- Delga D. (1955)**: Etude géologique de l'Ouest de la chaîne Numidique. Thèse d'Etat. Paris, Publ. serv. Carte géol. Algérie, 24,533P.
- Eglantine H. (2013)** ; Interaction géodynamique/karstification et modélisation géologique 3D des massifs carbonatés : Implication sur la distribution prévisionnelle de la karstification. Exemple des paléokarts créacés à néogènes du Languedoc montpelliérain. *Sciences de la Terre*. Université Montpellier II - Sciences et Techniques du Langue doc

Références bibliographiques

- Filippov A.G. (2004).** Mineral deposits in karst. In: Gunn J. (Ed.) Encyclopedia of caves and karst science, p 514-515. Fitzroy Dearborn, Londres.
- Fleury P. (2005):** Sources sous-marines et aquifères côtiers méditerranéens: fonctionnement et caractérisation, Thèse, 286 pp.
- Ford D.C. (2006).** Karst geomorphology, caves and cave deposits: A review of North American contribution during the half past century. IN: R.S. Harmon & C.W. Wicks. Eds. Perspectives on karst geomorphology, hydrology and geochemistry. GSA Spec. Paper, Boulder, Colorado, p 1-14
- Freneix S, Carbonnel G, Courmerault M.D., Magne J. et Obert D. (1974) :** Contribution à l'étude stratigraphique, structurale et faunistique (microfaune et Bivalves) du bassin miocène de Lalla Kouba (Algérie).
- Garry B. (2007).** Etude des processus d'écoulements à la zone non saturée pour le modélisation des aquifères karstiques. Expérimentation hydrodynamique et hydrochimique sur les sites du Laboratoire Souterrain à Bas Bruit (LSBB) de Rustrel et de Fontaine de Vaucluse. Thèse de doctorat, Université d'Aix-Marseille, 218pp.
- Gomer D. (1994) :** écoulement et érosion dans des petits bassins-verants a sols marneux sous climats semi-aride méditerranéen
- Hazan R. et coll (1964);** hydrogéologie karstique au Maroc, Coll. Int. Spéléo., Athènes, , p. 105-122.
- Havron C. Quinif Y. Vandycke S. (2004) :** Tectonique et karstification : le cas de la région de Han-sur-Lesse (Belgique). In: Karstologia : revue de karstologie et de spéléologie physique, n°43, Mollusques souterrains à Padirac (Lot) et Datations dans l'Aldène (Hérault) pp. 19-26;
- Vila, J. M. 1980 :** La chaîne Alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens. Thèse Doct. UNIV. Pierre et Marie Curie (Paris VI) ,3 vol, Paris. 663 pages.
- Leleu M. G. (1966);** Le karst et ses incidences métallogéniques. Se. Terre, 1966, 11, p. 385-413.
- Leikine M., Obert D. et Bellier J. P. (1975) :** Intégration des Babors aux nappes telliennes : existence d'un métamorphisme anté-nappe, Bulletin Soc. Géol. Fr., (7), XVII, P. 764-772, Paris
- Mainguet (M.) et coll (1975);** karsts gréseux et karsts calcaires. Mém. et Doc., C.N.R.S., 1975, 15, p. 105-110.
- Mangin A. (1975).** Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques, thèse de docteur es Sciences, Université de Dijon, (Ann.spéléol., 1974, 29,3, pp283-332: 1974, 29,4, pp495-601, 1975, 30, 1, p21-124.

Références bibliographiques

- Mangin A. (1982).** Mise en évidence de l'originalité et de la diversité des aquifères karstiques. Originality and diversity of karstic aquifers. Annales Scientifiques de l'Université de Besançon Géologie, 1, 159-172.
- OBERT D. (1981):** Thèse sur l'étude géologique des Babors orientaux (Domaine tellien, Algérie).
- Bracq P. & Brunin A.S. (1999) :** Approche des relations tectonique-karst-hydrodynamisme par l'analyse de traçages réalisés dans l'aquifère crayeux du Boulonnais (Escalles, Nord de la France), Geodinamica Acta, 12:6, 359-370
- Renault. P (1977) ;** Remarques sur les notions de karst et de karstification et sur la définition de ces termes. In: Norois, n°95 bis. Karstologie. pp. 23-35;
- Salomon J.N. (1997) :** Les influences climatiques sur la géomorphologie karstique : exemple des milieux tropicaux et arides [The climatic influences on the karst geomorphology: exemple of tropical and arid environments.]. In: Quaternaire, vol. 8, n°2-3. pp. 107-117.
- Salomon J.N. (1982) :** Les karsts littoraux du sud-ouest malgache et les variations récentes du niveau de la mer. Karsts littoraux, colloque de Perpignan 1982; Mem A.F.K., n°4, p29-38.
- Seltzer P. (1946) :** Climat de l'Algérie .institut de météorologique du globe de l'Algérie 219 p.
- Tekkouk M, (2005) :** Etude de la pollution par les sulfates des eaux du bassin versant de l'oued Djedjen (Jijel- Algérie). Mémoire de Magister en Hydrogéologie. Université des frères Mentouri Constantine, Algérie. 260 p.
- Tekkouk.M, (2009) :** Hydrogéologie et risques probables du futur barrage de Tabellout-Texenna, wilaya de Jijel ». in « 1er Colloque International sur la Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE) », Batna 10 et 11 novembre 2009-UnIversité de Batna (Algérie).
- Tekkouk.M, (2019) :** Étude Hydrogéologique et géotechnique de deux sites de barrage de l'Algérie nord-orientale. Cas des sites de Tabellout et de Kissir de la région de Jijel. Thèse de Doctorat en géologie option hydrogéologie. Université Mohammed Seddik Benyahia - Jijel Algérie.
- Théron. R (1973);** étanchéité des lacs de barrage en pays karstique, Eyrolles éd., Paris.
- Yellas .C, Benzaid R., (2018) ;** "Geological Context and Fracturing State of the Rock Massif of the Jijelian Ledge (Northeast Algeria)", recent Advances in Geo-Environmental Engineering, geomechanics and geotechnics, and Geohazards, Proceedings of the 1st Springer Conference of the Arabian Journal of Geosciences (CAJG-1) pp 149-152.

Références bibliographiques

Yellas .C, Benzaid R., Tekkouk M., (2019) ; Application of classification systems for the assessment of rock mass stability-case of national road 43,jjel, Algeria.2nd Springer Conference of the Arabian Journal of Geosciences (CAJG-2).

Site web :

https://www.researchgate.net/publication/306062292_The_Sandstone_Karst_of_Pine_County_Minnesota