

جامعة محمد الصديق بن يحيى
كلية علوم الطبيعة والحياة
المكتبة
الجرد : 2818

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

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

جامعة محمد الصديق بن يحيى جيجل

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



كلية علوم الطبيعة والحياة
قسم: علوم الارض و الكون

Mémoire de Master

Filière : Géologie

Option : Géologie de l'Ingénieur et Géotechnique

Thème

Application des systèmes de classification des masses
rocheuses : Cas de la route nationale N°43- Wilaya de
Jijel

Membres de Jury

Président : Dr Tekkouk Mustapha
Examinateur: Mme Tebib Houria
Encadreur : Mme Yellas Chahra
Dr Benzaid Riad



Présenté par :

Bouternikh Rabiaa
Feghrour Ilham

Année Universitaire 2018-2019

Numéro d'ordre (bibliothèque) :

Remerciements

Louage à Dieu le Clément Miséricordieux qui nous a guidé sur le chemin du savoir et de nous avoir procuré volonté et persévérance pour venir à terme de notre noble tache.

*Nos remerciements s'adressent tout d'abords à M^{me} **Chahra Yellas** pour avoir accepter de nous intégrer dans l'équipe de recherche en géotechnique que dirige le docteur **R. Benzaid** lui-même Co-encadreur du travail, et d'avoir diriger le déroulement des différents étapes franchies avant d'aboutir a la mise au point finale de ce mémoire de fin de cycle de Master 2.*

Elle a été toujours patiente à notre égard, soucieuse de nos errements dans les multiples taches qui nous été assignées par ses conseils fructueux, ses critiques constructives qui nous ont été d'un apport considérable et inestimable.

*Qu'elle trouve ici elle-même ainsi que M^r **Benzaid** l'expression de toute notre gratitude et notre profond respect.*

Nos remerciements s'adressent aussi à messieurs les membres du Jury d'avoir accepter de nous réserver de leur temps précieux pour lire et juger le contenu de notre travail. Nous leur exprimons ici nos remerciements les plus expressifs pour l'intérêt qu'ils ont accordé à ce jugement.

*Monsieur "**Rouikha Youcef**" Nous tenion à vous adresser un sincère remerciement pour votre soutien, vos enseignements et vos conseils tout au long de l'élaboration de ce mémoire pour l'aide précieuse qui nous a été accordée de votre part.*

Que toute personne ayant participé à l'élaboration de ce mémoire ou avoir éprouvé des moments de joie à notre égard durant nos rudes épreuves et réussite qu'elle trouve ici l'expression amplement sincères de nos vifs remerciements.

Rabiaa & Ilham



Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à mon cher père « **Hachemi** » à ma chère mère « **Zahra** » pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.*

*Merci beaucoup A mes chères soeurs « **Sara** » et son fiancé « **Walid** », « **Souad** » et son mari « **Achraf** », « **Soumia** » et son mari « **Abd El Rahim** » et son enfant « **Houssam** », et ma petite sœur « **Yousra** ».*

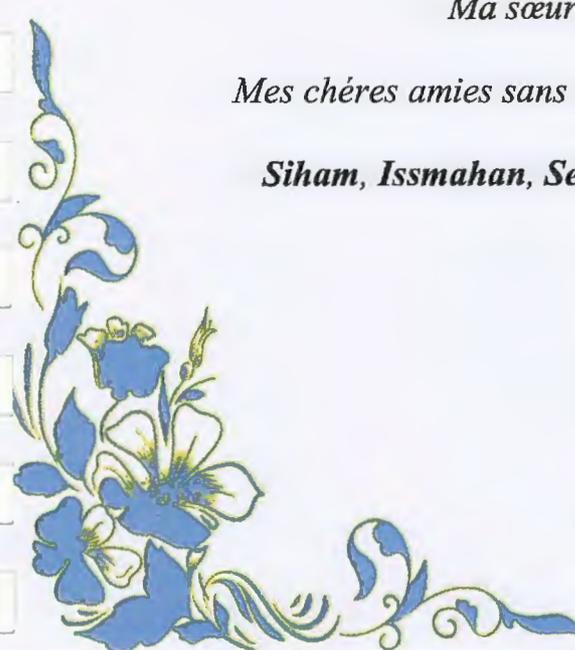
*A mon frère « **Rabah** ».*

*Spécial dédicace a mon fiancé « **Oussama** » et sa famille.*

*Et Toute ma famille **Bouternikh** , **Laouar** et **Delloul** pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire.*

*Ma sœur collègue de travail : « **Ilham** ».*

*Mes chères amies sans exception :, **Meriem**, **Khadidja**, **Asma**, **Fatima**
Siham, **Issmahan**, **Selma**, **Abla**, **Fatima**, **Souhila**, **Hayet**, **Touma** .*



Rabíaa



Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à mon cher père « **Boudjema** » et ma chère mère « **Aldjia** » pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.*

*Merci beaucoup A mes chères soeurs « **Najiba** » et son mari « **Nourddine** », et leurs enfants **Anis, Inas, Midou, Wadia, Assil, Maram, Kamar, « Ibtissam** » et son mari « **Achour** » et leurs enfants **Younas, Youssaf, Aya***

*A mes frères « **Naaman** » et sa femme « **Selma** » et leur enfant **Mohammed Djawad A « Fateh** », « **Khamis** », « **Abas** », « **Sifeddine** ».*

*et Toute ma famille **Feghrour et Serrar** pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire.*

*Ma chère Nana: « **Fatma** ».*

*Spécial dédicace a mon fiancé « **Ammar** » et à ses parents père « **Ahmed** », sa mère « **Naima** ».*

*Leurs frères : **Djallal, AHCEN, Houcin, Nourou.***

*Leures sœurs : **Keltoum, Chaima.***

*Ma collègue de travail : « **Rabiaa** »*

*Mes chée sans exception : **Meriem, Khadidja, Asma, Fatima, Siham, Issmahan, Selma, Abla, Fatima, Louiza, Zahra, Amina, Douria,***



Ilham

SOMMAIRE

Introduction Générale	01
Chapitre I : Généralités	
I.1. Introduction	02
I.2. Situation géographique	02
I.3. Climat	03
I.4. Végétation	03
I.5. Orographie	03
I.6. Réseau hydrographique	04
I.7. Sismicité	06
II. Conclusion	07
Chapitre II : Cadre géologique	
I. Introduction	08
I.1. Les unités à matériel éocène	08
I.2. Les unités septentrionales	08
I.2.1. Unité des Bâbors	08
I.2.2. Unité de Draa el Arba – Erragène	08
I.2.3. Unité de Brek Gouraya	08
II. Géologie des Babors orientaux	09
II.1. Présentation de la chaîne des Babors	09
II.2. Structures tectoniques	09
III. Géologie régionale	10
III.1. Géologie de la petite Kabyle occidentale	11
III.1.1 Litho stratigraphie	11
III.1.1.1 Les terrains métamorphiques	11
III.1.1.2 La dorsale maghrébide	11
III.1.1.3 Les flyschs des Maghrébides	11
III.1.1.4 Les dépôts de l'OMK (oligo-miocène kabyle)	11
III.1.1.5 les dépôts post nappes	12
III.1.2 Compartimentage tectonique	12
IV. Géologie de site	13
IV.1. Site de dar El-oued	13

IV.1.1. Le Lias Supérieur de Dar El-Oued	14
IV.2.Site des Grottes Merveilleuses	14
IV.3.Le site des Falaises	16
IV.3.1. Phénomène de Karstification	17
V .Conclusion	18

Chapitre III: Synthèse hydro-climatologique

I. Introduction	19
II. Hydro-climatologie	19
II.1. Aperçu général sur le climat	19
II.1.2. Aperçu climatique de la région de Jijel	19
II.2. Analyse des paramètres climatiques	20
II.2.1.Pluviométrie	20
II.2.2 Température de l'air	21
II.2.3 Diagramme Ombro-thermique de GAUSSEN et BAGNOULS	22
II.3. Bilan hydrologique	23
II.3.1 Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP)	24
II.3.2 Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR)	25
II.3.2.1 Calcul de l'ETR	25
II.3.2.2. Calcul du déficit agricole (Da)	26
II.3.3 Estimation du ruissellement et de l'infiltration	27
II.3.3.1.Ruissellement (R)	28
II.3.3.2.Infiltration (I)	28
III .Conclusion	29

Chapitre IV : Caractérisation mécanique du massifs rocheux

I.Introduction	30
II. Buts des systèmes de classification des massifs rocheux	30
III. Différents systèmes de classification	30
III.1.Rock Quality Designation (RQD) (Deere, 1967)	30
III.1.1.Limites du système RQD	32
III.2.Système RMR (Rock Mass Rating)	32
III.2.1.Limitations du système RMR	35
III.3. Q –Système	35
III.3.1.Limitations du système Q	36

III.4. Geological Strength Index (<i>GSI</i>)	37
IV. Corrélations entre les différentes méthodes de classification	39
V. Commentaires sur les systèmes de classification	39
VI. Conclusion	40

Chapitre V : Résultats et discussion

I. Introduction	41
II. Exemple de calcul des différents paramètres géométriques	41
II.1. Calcul de RQD	41
II.2. Calcul de RMR	42
II.3. Calcul du Système Q	48
II.4. Estimation de GSI	58
III. Conclusion	62
Conclusion Générale	63-64

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1 : Situation géographique du tronçon d'étude.....	2
Figure I.2 : Carte des reliefs du tronçon d'étude.....	4
Figure I.3 : Réseau hydrographique de la wilaya de Jijel (A.N.R.H, 2012).....	5
Figure I.4 : Réseau hydrographique de la région d'étude	6
Figure I.5 : Carte de zonage sismique du territoire national (D'après le RPA 99 version 2008).....	7

Chapitre II

Figure II.1 : Unités et sous - unités des Babors Orientaux (D. Obert, 1981) (légèrement modifié, Yellas 2018).....	9
Figure II.2 : Coupe géologique interprétative des unités baborien, région de Jijel (Yellas, 2018).....	10
Figure II .3 : Coupe géologique le long de la RN 43 Jijel- Bejaia montrant la complexité structurale de la région Petite Kabylie –Algerie (Yellas, 2018).....	12
Figure II.4 : Présentation d'un plan vertical d'une méga rupture au sein du massif.....	13
Figure II.5 : La structure verticale des lanières carbonatées du Lias et l'intensité de la fracturation.....	13
Figure II.6 : Masse carbonaté en bancs métriques verticalisés.....	15
Figure II.7 : Massif rocheux dolomitique à structure chaotique Présence de méga fractures ouvertes.....	15
Figure II.8 : L'aspect morphologique de la falaise naturelle le long de la RN 43.....	16
Figure II.9 : Falaise carbonatée fortement découpée par fracturation tectonique.....	16
Figure II.10 : Fracturation intense du front de taille à l'entrée de tunnel des falaises (Yellas, 2018).....	17

Chapitre III

Figure III.1 : Carte pluviométrique de la wilaya de Jijel (ANRH, 1996).....	19
Figure III.2 : Répartition des précipitations moyennes mensuelles (2002-2015, station EL-Agrem).....	21
Figure III.3 : Variations des températures moyennes mensuelles (2002-2015, station EL-Agrem).....	22

Figure III.4 : Diagramme Ombrothermique durant la période 2002-2015 Station El-Agrem.....	23
...	
Figure III .5 : Diagramme du bilan hydrique station EL-Agrem (2002-2015).....	27

Chapitre IV

Figure IV.1 : Une carotte (Zhao J, 2008).....	31
Figure IV.2 : Illustration graphique des paramètres de caractérisation du RMR Chalhoub M. [2006].....	33
Figure IV.3 : Estimation du GSI à partir d'une description géologique de la masse rocheuse, d'après Hoek et Brown (1995).....	38

Chapitre V

Figure V.1: Comparaison entre RQD ,RMR ,Q des sept massifs (station des Falaises)....	57
Figure V.2: Comparaison entre RQD ,RMR ,Q des six massifs (station de Dar El- Oued)..	57
Figure V. 3: Comparaison entre RQD ,RMR ,Q des sept massifs (station des Grottes)....	58
Figure V.4 : Charte GSI des Falaises	59
Figure V.2 : Charte GSI de Dar El Oued	60
Figure V.3 : Charte GSI des Grottes.....	61

Liste des tableaux

Chapitre III

Tableau III.1 : Précipitations mensuelles.....	22
Tableau III.2 : Température moyennes mensuelles.....	21
Tableau III.3 : Calcul de l'évapotranspiration potentielle selon Thornth.....	25
Tableau III.4 : Bilan hydrique a la station EL-Agrem (2002-2015).....	26
Tableau III .5 : Les principaux termes du bilan hydrique.....	28

Chapitre IV

Tableau IV.1 : Corrélation entre l'indice RQD et la qualité du massif rocheux Deere, D. U.1968.....	31
Tableau IV.2 : Classification RMR (Bieniawski).....	34
Tableau IV.3 : Classe de rocher selon la classification de Z. BIENIAWSKI après application de la note d'ajustement.....	35
Tableau IV.4: Classification des massifs en fonction de la valeur Q [Maciej A., [2012],]	36
Tableau IV.5 : Qualité des massifs rocheux selon la valeur du GSI Chalhoub M., [2006],.....	37

Chapitre V

Tableau V.1 : Classification RQD globale des Sept gradins Station des Falaises (Deere, 1968).....	41
Tableau V.2 : Classification RQD globale des six gradins Station de Dar El Oued (Deere, 1968)....	42
Tableau V.3 : Classification RQD globale des sept gradins Station des Grottes (Deere, 1968).....	42
Tableau V.4 : Valeurs de RMR station des Falaises.....	43
Tableau V.5 : Valeur de RMR station de Dar El Oued.....	45
Tableau V.6 : Valeur de RMR station des Grottes.....	46
Tableau V.7 : Récapitulatif des résultats de RMR	48
Tableau V.8 : Valeurs de Système Q station des Falaises.....	49

Tableau V.9 : Valeur du Système Q station de Dar El Oued.....	51
Tableau V.10 : Valeur du Système Q station des Grottes.....	53
Tableau V.11 : Récapitulatif des résultatsde Système Q des trois stations.....	55

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction

Le tronçon routier reliant les villes de Jijel à Bejaia dans le Nord-Est algérien est caractérisé par une morphologie très accidentée sur plus de 50 Km. En effet la zone côtière de cette partie des Babors orientaux présente des reliefs rocheux surplombant le niveau marin et dans lesquels s'insinue la route nationale RN43

Les dangers naturels liés à la stabilité du massif rocheux sont dus à l'intensité de la fracturation des rochers surplombant la chaussée routière.

Notre travail consiste à l'analyse systématique des caractéristiques lithologiques géo mécaniques et hydrauliques régnant dans le massif afin de pouvoir se prononcer sur la qualité du massif en utilisant des méthodes de calcul basées sur les systèmes de classification des massifs

Les levés de terrain ont permis de recueillir un nombre important de données dans 3 stations différentes le long du tronçon routier. L'application des systèmes de classification indice de qualité de la roche RQD, Indice d'évaluation de la masse rocheuse RMR, indice de résistance géologique GSI, et le système Q permettent par le biais de données recueillis de se prononcer sur la qualité du massif rocheux et permet ainsi de prédire le comportement de ces derniers vis-à-vis de la stabilité et des risques de rupture.

L'objectif de notre travail consiste à classer les différents massifs des trois stations considérées d'Ouest en Est : Les Falaises, Dar El-oued et le site les Grottes merveilleuses. Pour réaliser notre étude nous avons effectué les mêmes prélèvements systématiques des données nécessaires pour l'application des systèmes de classifications sur les trois sites afin d'aider les concepteurs d'ouvrages, les réalisateurs des projets et les pouvoirs publics a acquérir une banque de données géotechniques nécessaires à la prise en charge du phénomène du rupture des talus liés à la qualité du massif.

Les données et résultats d'analyses des travaux réalisés seront présentés dans ce mémoire selon le plan suivant:

- Introduction Générale
- Chapitre I: Généralités
- Chapitre II: Cadre géologique
- Chapitre III: Synthèse hydro-climatologique
- Chapitre IV: Caractérisation mécanique du massif rocheux
- Chapitre V: Résultats et discussion
- Conclusion générale.

CHAPITRE I

Généralités

I.1. Introduction

La wilaya de Jijel est traversée par la route nationale N°43 (RN 43) d'Est en Ouest. Cette dernière qui débute son parcours de la commune de Souk EL Ténine (wilaya de Bejaïa) et qui s'étend jusqu'à la commune d'El Hadaïek (wilaya de Skikda), traverse sur son chemin plusieurs communes qui sont : Ziama mansouriah, Aouana, Jijel, Sidi Abdelaziz, El Ancer, El Milia, Bin El Ouiden, Tamalous et Bouchtata.

I.2. Situation géographique

La wilaya de Jijel est située le long de la côte Est du pays, à un peu plus de 350 km à l'Est de la capitale Alger et environ de 120 km au Nord – Ouest de la Wilaya de Constantine. Elle est affiliée au littoral méditerranéen, limitée au Nord par la mer Méditerranée, à l'Ouest par la Wilaya de Bejaïa, à l'Est par la Wilaya de Skikda, au Sud-Ouest par la wilaya de Sétif, au Sud par la Wilaya de Mila et enfin au Sud-Est par la Wilaya de Constantine.

Le tronçon routier concerné par notre étude fait partie de la route national N°43 (Figure I.1), il est délimité :

- A l'Ouest par le méridien des Falaises,
- A l'Est par le méridien d'El Aouana
- Au Nord par le littoral méditerranéen

Plusieurs points d'instabilité ont été repérés le long de ce tronçon, dont la morphologie est dominée par des reliefs très élevés et des falaises abruptes très escarpées et dentelées. Les altitudes varient de 846 m (Djebel Brek) jusqu'à 2004 m (Djebel Babor).

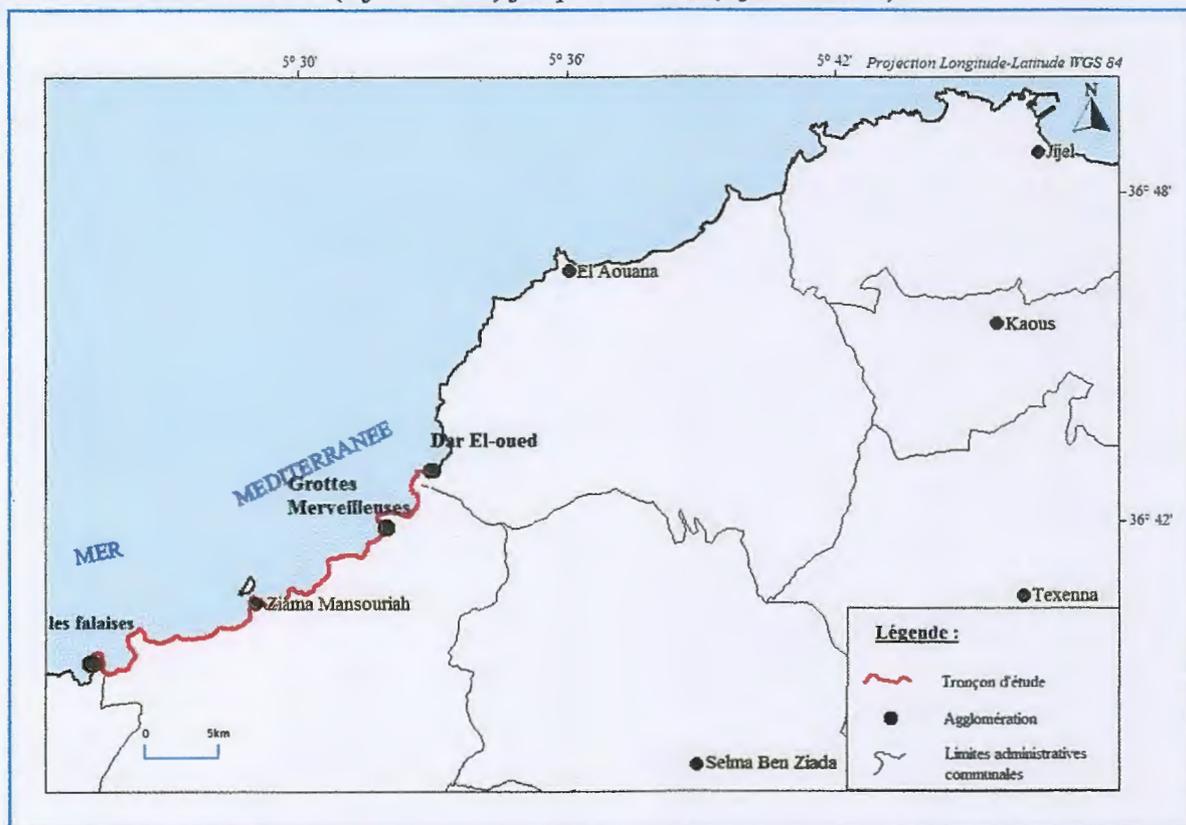


Figure I.1. Situation géographique du tronçon d'étude

I.3. Climat

La région de Jijel bénéficie d'un climat tempéré et humide avec un hiver doux et un été sec caractéristique des zones méditerranéennes et une pluviométrie importante, comme toutes les villes de la moitié Est du littoral algérien. Les températures saisonnières varient comme suit : la saison la plus froide correspond à l'Hiver avec une valeur moyenne de 12°C et la saison la plus chaude correspond à l'Été avec une valeur moyenne de 26°C. Les précipitations sont de l'ordre de 1078 mm/an.

Le climat de la région concernée, est de type méditerranéen caractérisé par un hiver doux et humide et par un été chaud avec un taux d'humidité élevé.

I.4. Végétation

En Afrique du Nord, comme d'ailleurs dans tous les pays à climat sec et chaud, la forêt exerce une influence incontestable et régulatrice sur le climat, cette action est beaucoup plus marquée que dans les pays d'Europe à climat plus régulier, on a pu constater dans les stations météorologiques forestières que la température moyenne était plus basse en forêt, que l'humidité était plus élevée, que la présence d'un massif forestier important tendait à accroître la pluviosité moyenne de 80 % sans toutefois que le nombre de jours de pluie fut augmenté (Boudy, 1952).

Avec un environnement méditerranéen, la région d'étude jouit d'une couverture végétale très épaisse et très développée. En effet le couvert forestier est omniprésent, composé essentiellement de forêts de maquis, arboricultures, chêne liège et de broussaille.

I. 5. Orographie

Région de montagne par excellence, la wilaya de Jijel offre un relief des plus accidenté et des plus difficiles d'accès pour les principaux acteurs économiques et sociaux.

En effet, plus de 80% du territoire est situé entre les altitudes 500 et 1500 m et plus de 65% des terres possèdent des pentes topographiques raides supérieures à 25%.

Les montagnes de Tamesguida, Bouazza, Tababourt, Seddat et McidEchattat forment les plus hauts sommets et culminent à 1620 m (Tamesguida).

Le restant de la superficie du territoire est constitué des plaines côtières, assez étroites et des plaines intra montagneuses assez réduites formant des clairières éparses.

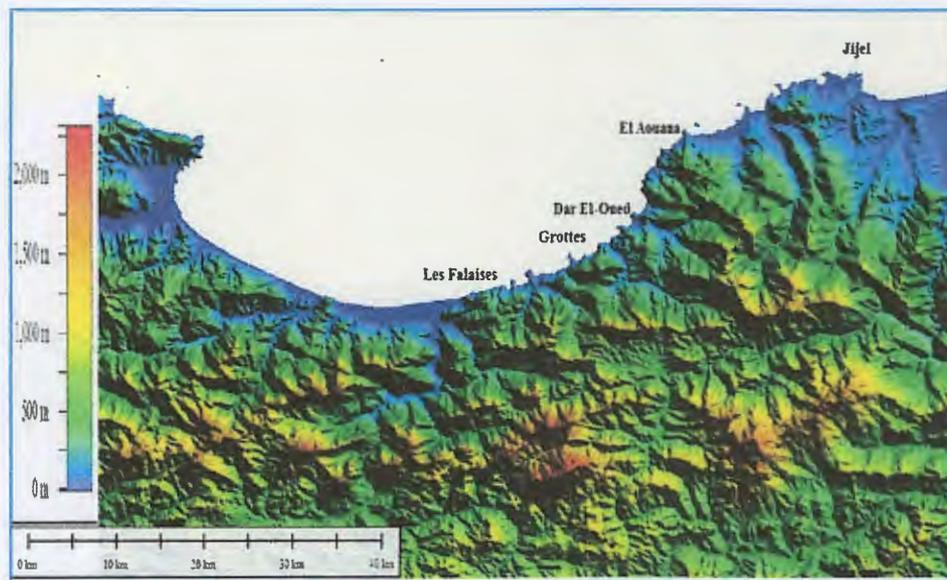


Figure I.2. Carte des reliefs du tronçon d'étude.

I.6. Réseau hydrographique

Selon la codification de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH), la région de Jijel est comprise entre les bassins N° 03 (côtiers Constantinois) et N°10 (Kebir- Rhumel). Les plaines côtières proches de Jijel sont drainées principalement d'Ouest en Est par les Oueds Kissir, El Kantara, Mencha, DjenDjen et Nil.

Les régions d'El Milia, El Ancer et l'ensemble des régions montagneuses situées au Sud-Est de la Wilaya font partie du bassin versant Kebir-Rhumel.

Le réseau hydrographique de la Wilaya est très dense de direction Sud-Est, Nord-Est favorisant l'écoulement des lames d'eau précipitées qui se déversent généralement dans la mer (Figure I. 3).

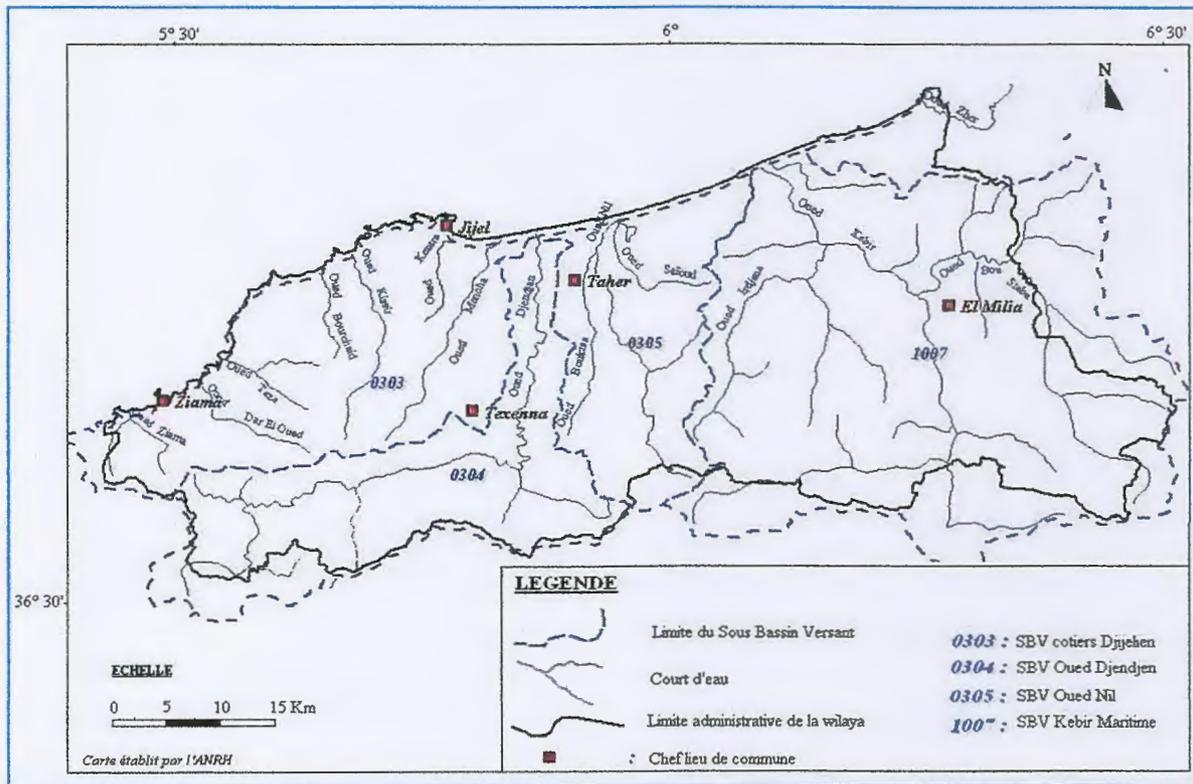


Figure I.3. Réseau hydrographique de la wilaya de Jijel (A.N.R.H, 2012)

En ce qui concerne le réseau hydrographique de la région de notre étude, il est assez important relatif à la lame d'eau précipitée durant l'année.

Ce réseau est représenté par différents drains, alimentés surtout par les sources résurgentes et les ruissellements superficiels en liaison surtout avec la fonte des neiges des reliefs élevés.

Les eaux de ruissellements du Sud vers le Nord et du Sud Est vers le Nord-Ouest.

Les principaux cours d'eaux sont : Oued Bourchaid, Oued Kebir, Oued Seghir, Oued Taza, Oued Dar el oued, Oued Amssal et Oued Ziama.

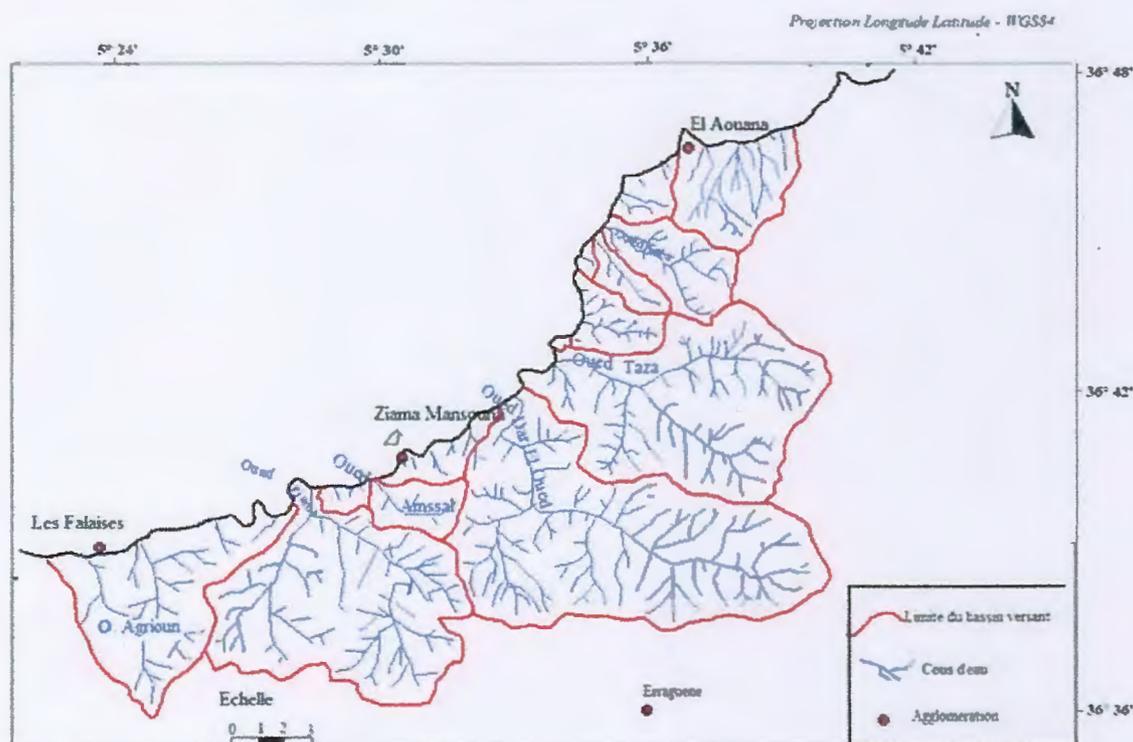


Figure I.4. Réseau hydrographique de la région d'étude

I.7. Sismicité

Le Nord de l'Algérie est connu pour son intense activité sismique. Il est essentiellement marquée par des séismes superficiels qui causent des dégâts considérables. La wilaya de Jijel est située dans une région sismique classée comme une région pouvant subir des secousses supérieures à l'intensité 4 sur l'échelle de Richter (Bockel, 1972). Les épicentres de la plupart des secousses dans la région de Jijel sont localisés ou Sud et à L'Ouest (Bejaia et Sétif) dans la région des Bibans et des Babors.

Les études les plus récentes réalisées par Yelles et al. (1999), montrent l'existence d'une faille supposée active dans la zone de la pente continentale au large de Jijel. Les Règles Parasismiques Algériennes (RPA 99/ version 2008), divisent le territoire national en quatre (04) zones de sismicité croissante comme le montre la (figure I.5), définies sur la carte des zones de sismicité, laisse apparaitre 5 zones qui soit:

- Zone 0 : sismicité négligeable
- Zone I : sismicité faible
- Zone II a : sismicité moyenne
- Zone II b : sismicité élevée
- Zone III : sismicité très élevée

CHAPITRE II

Cadre géologique

I. Introduction

L'étude géologique d'une région donnée est une étape préalablement nécessaire et indispensable pour tous les travaux d'implantation de projet technique, ou pour l'utilisation du sol et du sous-sol de cette région.

L'ensemble des Babors dont fait partie le site étudié appartient au domaine tellien interne. Il se localise dans le nord-oriental de l'Algérie. Les Babors font partie de la tranche sud de la chaîne Alpine qui s'étend sur environ 2000 km entre le détroit de Gibraltar à l'ouest, et la Sicile et Calabre à l'est.

I.1. Les unités à matériel éocène

Ces unités sont bien exprimées dans la partie sud du front des Babors. Elles sont considérées comme diversification de série de provenance plus septentrionale que la nappe de Djmila.

Elles se différencient de leur substratum par leur position structurale et par la réduction de leur colonne stratigraphique dont la base ne descend pas au-delà du Maestrichtien, mais dont le sommet atteint le Lutétien (Obert, 1981).

I.2. Les unités septentrionales

Elles constituent un ensemble allochtone qui s'étend dans la direction Nord- Ouest, Sud- Est et présente une évolution stratigraphique continue des séries jurassique et crétacé (Obert, 1981).

I.2.1. Unité des Bâbors

Elle a été morcelée en sous unités : Kherrata, Dj Bâbord et Adrar ou Mellal. Ces sous unités présentent des caractères stratigraphique communs et une évolution métamorphique identique. La série stratigraphique est constituée de terrain allant du trias au paléocène (Obert, 1981).

I.2.2. Unité de Draa el Arba – Erragène

Cette unité comporte les sous unités : l'Ahzerouftis, Beni – Felkai – Tababor, Dj. Boukouna au Dj. Pachachit. Cette unité constituée de terrains allant du Trias au Paléocène, apparaît comme une série appartenant à un milieu le plus individualisée.

Sa partie occidentale forme un vaste synclinorium dont l'abaissement axial vers l'W est souligné par l'apparition du crétacé supérieur au Nord du Dj. Takoucht (Leikine, 1975), tandis que, la partie centrale se présente comme une suite d'anticlinoriums et de synclinoriums (Obert, 1981).

I.2.3. Unité de Ebrek

Englobant la zone de Ziama et s'étend du Djebel Taounert à Tloudéne au Sud, composée du Jurassique calcaire et Sénomien marneux et conglomératique.

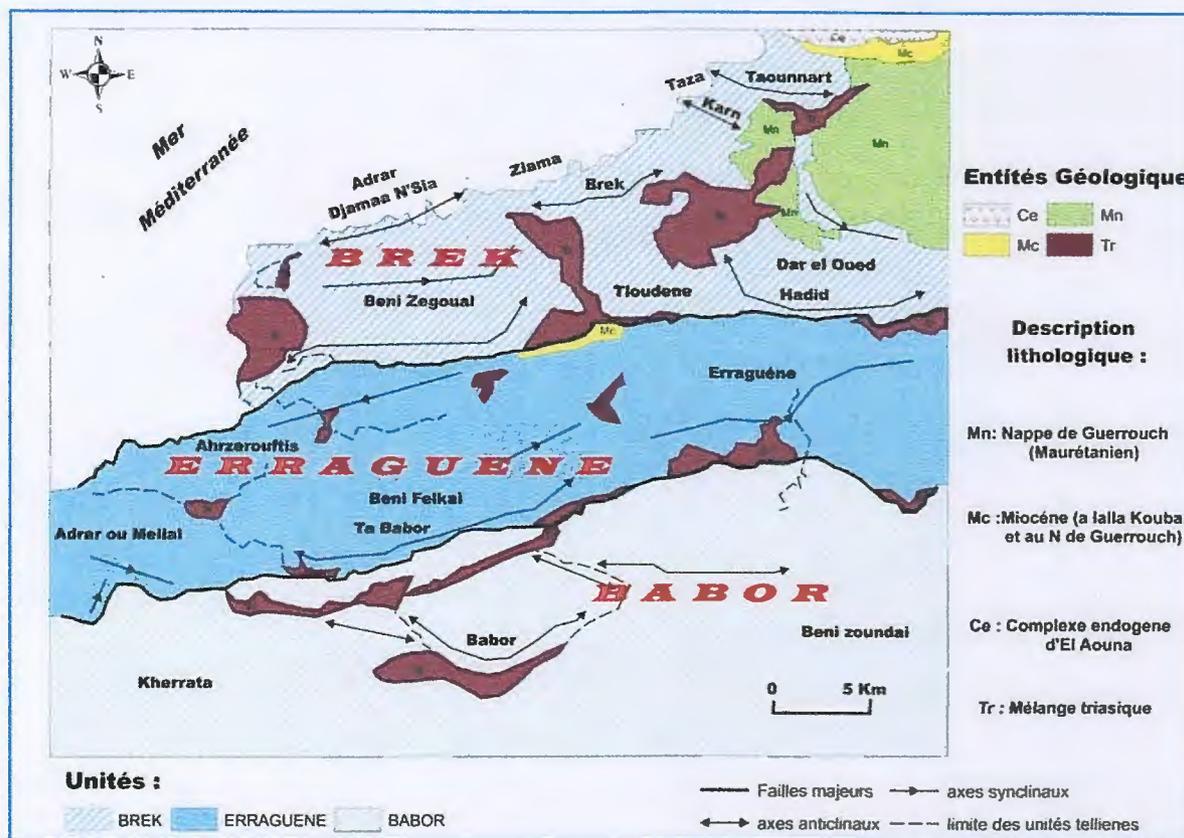


Figure II.1. Unités et sous - unités des Babors Orientaux (D. Oberti, 1981) (légèrement modifié, Yellas 2018)

II. Géologie des Babors orientaux

II.1. Présentation de la chaîne des Babors

Elle est limitée à l'Est par le massif endogène d'El Aouana et la nappe maurétanienne de Guerrouche, au sud-ouest par les Bibans, au Nord par la mer méditerranée à l'ouest par les Babors occidentaux.

La chaîne des Babors orientaux représente un segment de la chaîne tellienne d'Afrique du Nord et est constituée de trois grandes unités tectoniques disposées du nord au sud (Figure II.1) comme suit :

- L'unité Breck-Gouraya
- L'unité d'Erraguène –Barbacha
- L'unité de Djebel Babors

II.2. Structures tectoniques

Les Babors orientaux font partie du domaine tellien interne. Ils sont constitués d'une succession de nappes de charriage à vergence Sud dominante et organisées en unités tectoniques par des contacts anormaux majeurs et des failles inverses tardi-orogéniques à pendage sud qui viennent segmenter les différentes unités en place.

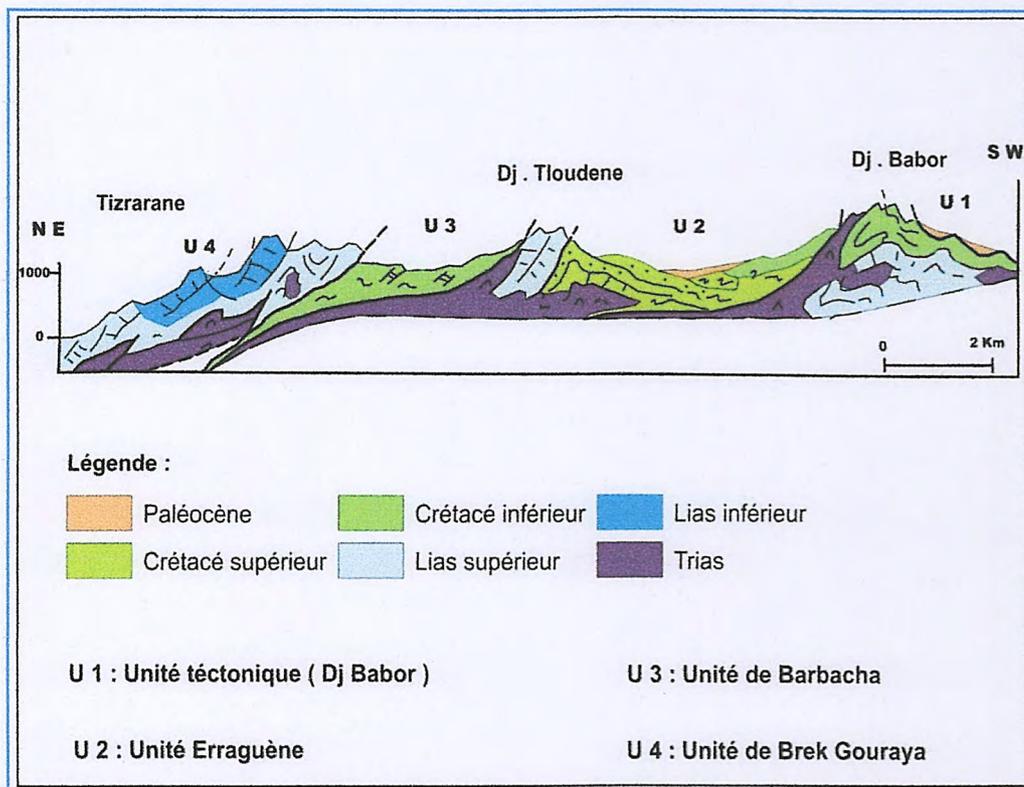


Figure II.2. Coupe géologique interprétative des unités baborien, région de Jijel

(Yellas, 2018)

III. Géologie régionale

Notre secteur d'étude est situé eu petite Kabylie occidentale, zone charnière entre la wilaya de Jijel à l'Est et celle de Bejaia à l'Ouest.

Sur le plan géologique, il s'agit des formations du domaine tellien interne de Babors orientaux.

III.1. Géologie de la petite Kabyle occidentale

III.1.1. Litho stratigraphie

Les terrains affleurant en Petite Kabylie occidentale appartiennent à différents domaines paléogéographique initialement éloignés déposés dans des bassins et sillons situés entre l'Europe et l'Afrique.

On distingue alors de terrains métamorphiques, des séries flyshoides et des formations néritiques carbonatées.

Leur position structurale actuelle et géologique est le résultat d'un polyphasage tectonique méso-cénozoïque.

III.1.1.1. Les terrains métamorphiques

Ils constituent l'essentiel de socle Kabyle et sont issus du domaine interne de l'orogène alpin. On distingue deux séries :

- une série inférieure gneissique
- une série supérieure phylladique

III.1.1.2. La dorsale maghrébide

En petite kabyle occidentale elle est représentée structuralement par le C.V.S complexe volcano sédimentaire épi métamorphique et schistosé admettant des roches volcaniques d'âge jurassique présumé.

III.1.1.3. Les flyschs des Maghrébides

D'âge Crétacé basal à Eocène .Ce sont des dépôts de mer profonde mis en place par des courants de turbidité (Bouillin ,1986)

On distingue deux grands groupes de flyschs:

- Au nord les flyschs proximaux à caractères maurétaniens et leur couverture grésomiacée.
- Au sud les flysch distaux à caractères massyliens.
- Un 3ème groupe plus récent, le flysch numidien d'âge Miocène inférieur qui s'est déposés dans une dépression relique héritière du bassin des flyschs initial (Bouillin , 1986).

III.1.1.4. Les dépôts de l'OMK (Oligo-Miocène-Kabyle)

D'âge Oligocène supérieur à Burdigalien ce sont des formations gréseuses turbiditiques ayant comblé les bassins miocènes en général de l'effondrement post orogéniques du socle kabyle en Petite kabylie.

Ils sont surmontés par un olistostrome formé d'unités tectno-sédimentaires ayant glissé dans le bassin oligo-miocène. Elles sont majoritairement à matériel flysch.

III.1.1.5. les dépôts post nappes

Déposés au niveau de la chaîne après une accalmie tectonique ou des bras de mer du miocène supérieur couvraient les zones basses du territoire ou se déposaient des marnes bleues à passées calcaires (miches) suivi d'un cycle continental régressif au Pliocène.

III.1.2 .Compartimentage tectonique

La petite kabylie occidentale fait partie intégrante de la chaîne de maghrébides. Elle recèle des structures tectoniques remarquables, Pour la compréhension l'histoire géologique.

On distingue deux compartiments :

-Au nord le compartiment structural supérieur constitué des nappes gravitaires.

-Au sud le compartiment structural inférieur constitué des nappes du socle kabyle ; du C.V.S du flysch massylien ; et du tellien marneux.

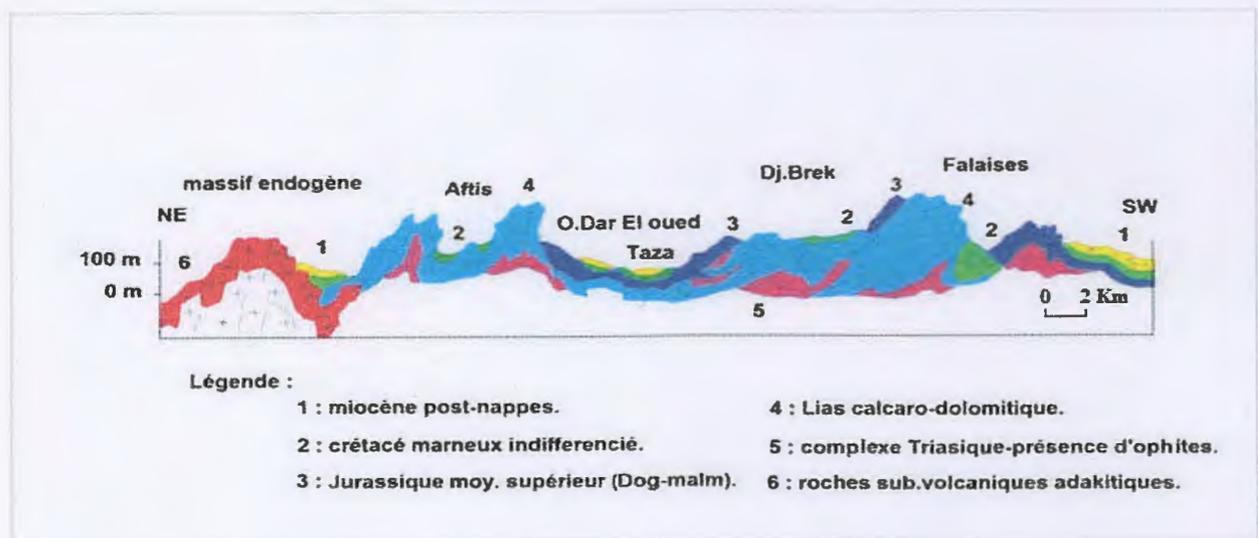


Figure II .3 . Coupe géologique le long de la RN 43 Jijel- Bejaia montrant la complexité structurale de la région Petite Kabylie -Algerie (Yellas, 2018).

IV. Géologie du site

Le site concerné par notre étude s'étend de Dar El-Oued à l'Est jusqu'à la région des falaises à l'Ouest.

IV.1. Site de Dar El-Oued

Les affleurements relevés le long de la route Jijel –Bejaia à l'Ouest immédiat du pont de Dar-El Oued sont représentés dans les faciès suivants :



Figure II.4. *Plan vertical d'une méga rupture au sein du massif.*



Figure II.5. *Structure verticale des lanières carbonatées du Lias et l'intensité de la fracturation.*

Une dolomie noirâtre ,vacuolaire bréchifiée à ciment pulvérulent jaune et calcaire bistre , gris en patine ,micritique homogène et à faciès proche de la dolomie mais le ciment y est plus ferrugineux avec des dolomies grises ,homogènes et des brèches de pente ,la dolomie grise ,terne admet des débris quartzeux et des inclusions dendritiformes noires et des calcaires gris à patine jaunâtre tachée de noir, une dolomie grise à patine rougeâtre à débit en petits morceaux .

IV.1.1. Le Lias Supérieur de Dar El-Oued

Au-de là de la masse des brèches de pente, la RN 43 traverse les niveaux supérieurs de Lias, à couches très redressées et de direction moyenne NW-SE. Elles sont déformées par des plis métriques ou décamétriques de même orientation (N130).

Cet affleurement serait séparé de la série renversée par des failles NW-SE découpant le massif en lanières.

Les calcaires du lias supérieur y présentent quelques particularités : pauvreté en silex cantonnés dans la partie stratigraphiquement basale de la série affleurante, l'existence d'un hard-grounds avec ravinement vers le haut de celle -ci .d'autres hard grounds ont été observés dans le reste de l'unité, dès la fin du lias moyen au Dj.Tloudane .(D Obert 1981)

IV.2.Site des Grottes Merveilleuses

Ils sont représentés par une masse carbonatée qui montre plusieurs affleurements et aspects :

A) Des gros bancs de calcaires d'épaisseur d'ordre métrique appartenant à l'unité de Brek-Gouraya, et formés essentiellement par des calcaires dolomitiques d'âge Jurassique.

B) Des brèches dolomitiques dans une matrice argileuse à grains fins, avec des traces d'oxydes de Fer ou sein des fractures .

C) Des masses calcareuses avec des passées de dolomies grises à grains fins à grossiers, très fracturées, leur stratification originale est difficilement observable, elle n'est repérable que par des minces lits d'argile. L'ensemble de la masse carbonatée est affecté par une intense fracturation entraînant sa bréchification. Ces fractures sont « remplies » par des produits calcitiques et d'oxyde de fer.



Figure II.6. *Masse carbonatée en bancs métriques verticalisés .*



Figure II.7. *Massif rocheux dolomitique à structure chaotique
Présence de méga fractures ouvertes.*

IV.3. Site des Falaises

Dans la partie occidentale du tronçon routier affleurent des calcaires massifs, des calcaires dolomitiques et des dolomies secondaires ruiniformes du jurassique inférieur (lias) (Obert, 1981).

A) *Trias* : Il est souvent associé aux accidents majeurs et servant de semelle au glissement des unités tectoniques et à la verticalisation des écaïlles liasiques. Le faciès triasique gypsifère est représenté par des argiles vari colores gypsifères, des grés rouges en bancs minces et des intrusions ophitiques.



Figure II.8. L'aspect morphologique de la falaise naturelle le long de la RN43.



Figure II.9. Falaise carbonatée fortement découpée par fracturation tectonique.

B) Jurassique : Il est représenté par son terme liasique à facies généralement calcaro-dolomitique en bancs épais et massifs. Les termes marneux sont localement coincés entre les lanières verticales calcaro-dolomitiques.

La dolomitisation : ce processus y est fréquent dans ce domaine fortement fracturé. Les facies dolomitiques ruiniformes caractérisent les hautes falaises de la corniche ou on observe un nombre impressionnant de fabriques calcitiques tapissant les parois internes des karsts. Le caractère magnésien (rougeâtre) souligne l'aspect du paysage. Voir la figure n°10 :

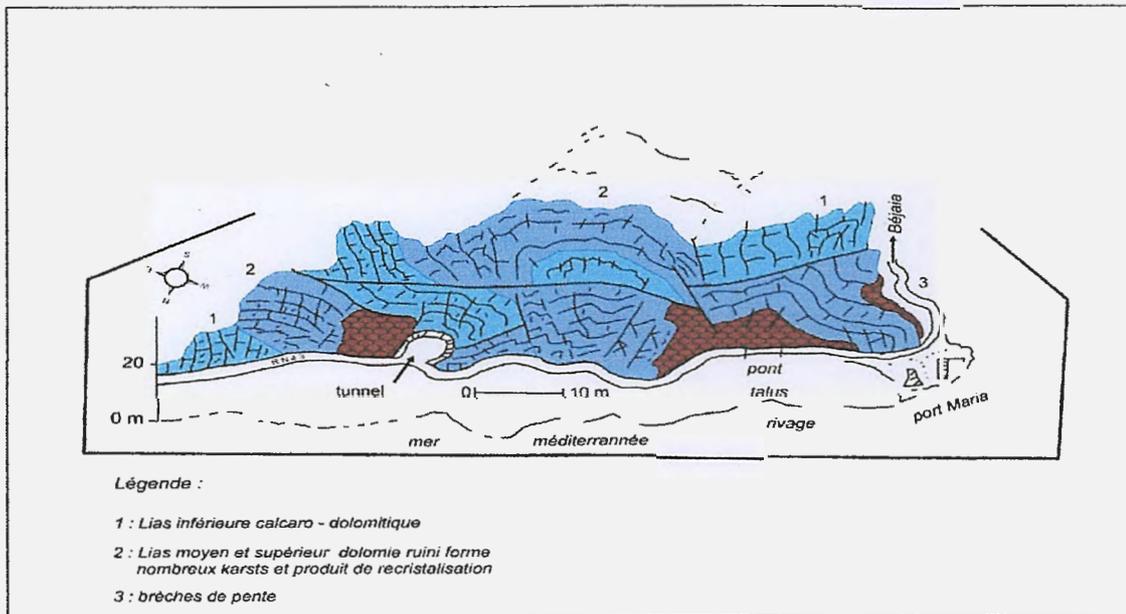


Figure II.10. *Fracturation intense du front de taille à l'entrée de tunnel des falaises (Yellas, 2018).*

IV.3.1. Phénomène de Karstification

Le terme *karst* vient de Kras, région slovène de plateaux calcaires au modelé caractéristique, à l'ouest de Prague ; et les roches carbonatées solubles (calcaire, dolomie, marbre, craie) sont façonnées par dissolution : c'est le phénomène de karstification.

La Karstification, c'est la dissolution des roches qui conduit à l'élargissement des fissures, puis à la création des cavités importantes.

Elle correspond à l'ensemble des processus de genèse et d'évolution des formes superficielles et souterraines dans une région Karstique. Or, un des problèmes concernant la Karstification est celui de la vitesse de développement du réseau de drainage établi dans la zone non saturée. Ce problème correspond à l'évaluation de l'intensité de la dissolution dont le système Karstique en est le siège (Yellas, 2008).

▪ 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

Les Babors internes concernés par cette étude sont constitués de roches carbonatées susceptibles de développer une karstification importante dont l'impact se répercute inévitablement sur le comportement géotechnique des massifs rocheux le long de la RN43.

Plusieurs sites portant d'emblée le nom de 'grottes' de plusieurs centaines de m³ de vides se répartissent le long du tronçon considéré .

V. Conclusion

La géologie des Babors orientaux est l'une des plus complexes de la région de Petite Kabylie. Ainsi sur le plan litho-stratigraphique un nombre très important de discontinuités et lacunes tronquent les séries sédimentaires de bas en haut de la série mésozoïque

Alors que sur le plan tectonique, l'architecture structurale organisée d'abord en unités chevauchantes du nord au sud ont été reprises par des phases tardives compliquant davantage le schéma structural par un découpage et segmentation des formations, des extrusions du Lias au travers des terrains meubles crétacés et verticalisation par injection du Trias le long des accidents majeurs.

Cette complexité tectonique nécessite une bonne reconnaissance géotechnique pour mieux appréhender les problèmes liés aux risques engendrés par cette complexité géologique.

CHAPITRE III

Synthèse hydro-climatologique

I. Introduction

L'étude climatologique est très intéressante pour l'étude des eaux de surface, car c'est elle qui nous donne les valeurs des paramètres climatiques (température, évaporation, précipitation, ruissellement...) et qui sont fondamentales pour estimer les quantités d'eau ruisselées et le bilan hydrologie.

Celui-ci va schématiser le fonctionnement du système hydrologique et son influence sur le comportement hydrodynamique des aquifères de la région étudiée.

II. Hydro-climatologie

II.1. Aperçu général sur le climat

Le climat Algérien est caractérisé par la variation de la répartition des précipitations et des températures. Cette variation est due à l'influence de la mer méditerranée et sahariennes et des irrégularités topographiques, l'altitude et l'orientation des chaînes montagneuses de l'atlas tellien et saharien. Ces derniers jouent le rôle des barrières en face des vents désertiques du sud, cependant, l'influence des vents chargés d'humidité venant du nord subsiste ainsi qu'à la morphologie générale du pays.

Les conditions climatiques plus que d'autres facteurs jouent un rôle déterminant dans le régime des cours d'eau d'un bassin versant. La pluviométrie demeure à cet effet l'élément le plus important.

II.1.2. Aperçu climatique de la région de Jijel

La région de Jijel bénéficie d'un climat tempéré avec un hiver doux caractéristique des zones méditerranéennes, d'une pluviométrie de l'ordre de 1200 mm/ans et un été chaud où la température peut atteindre 30°C.

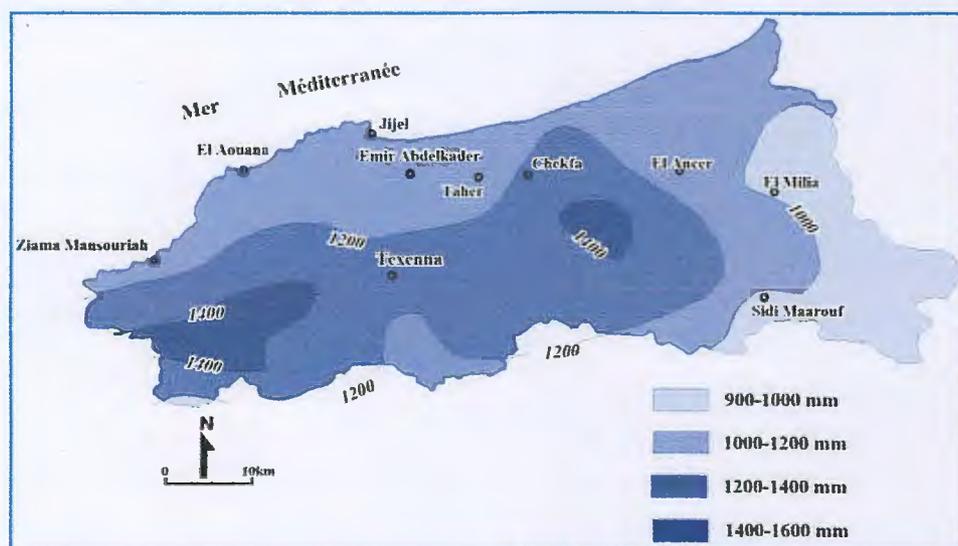


Figure III.1. Carte pluviométrique de la wilaya de Jijel (ANRH, 1996)

Spatialement, les précipitations sont plus faibles en plaines et plus élevées en montagne, indiquant une augmentation des précipitations en fonction de l'altitude.

Temporellement, on distingue deux périodes :

- **Une période douce et humide** : caractérisé par de fortes précipitations et une baisse de température qui peut atteindre parfois 12° en mois de janvier.
- **Une période chaude et sèche** : s'étend du mois de mai jusqu'au mois de septembre

II.2. Analyse des paramètres climatiques

Les conditions climatiques jouent un rôle principal dans la détermination de la chimie des eaux (superficielle et souterraine).

Parmi les facteurs hydro-climatologiques, nous étudions la pluviométrie et la température de l'air à partir des données des périodes récentes qui s'étendent de 2002 à 2015 pour la station EL-Agrem.

II.2.1. Précipitations

Les précipitations constituent le phénomène physique qui décrit le transfert d'eau de la phase liquide (pluie) au solide (neige et grêle) entre l'atmosphère et le sol. C'est également l'élément le plus important du cycle de l'eau. En plus de son influence sur les eaux de surface, la précipitation a une influence sur le volume d'eau emmagasinée, par conséquent, abaissant ou augmentant le niveau piézométrique de la nappe. On appelle hauteur de précipitation, la hauteur en mm du volume total des précipitations exprimé en eau, par unité de la surface collectrice et pour des durées variables (jour, mois, saisons ou années).

Cette étude s'intéresse uniquement aux précipitations liquides (pluies), qui constituent le facteur primordial dans le comportement hydrologique de la région.

Tableau III.1. Précipitations mensuelles durant la période 2002-2015 Station EL-Agrem

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté			Total(mm)
Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	
P (mm)	72	95	142	198	161	150	113	82	42	14	1	9	1078
	103			169			79			8			

Le tableau (III.1) indique que La valeur maximale des précipitations est observée pendant l'hiver (déc , jan , fév) avec 169 mm, tandis que la valeur minimale est de 8 mm en été (jui , juil, aou)

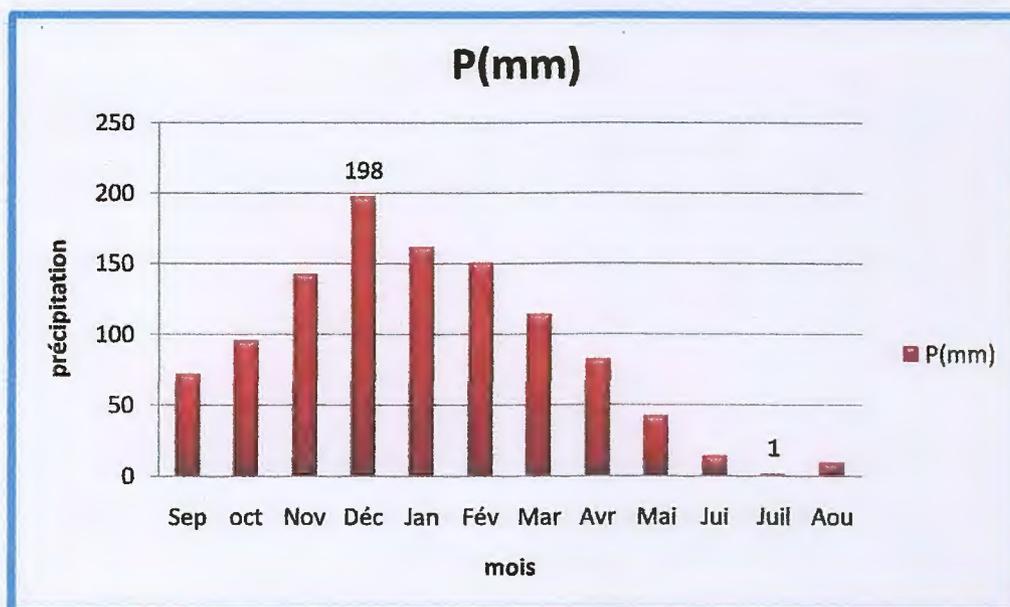


Figure III.2. Répartitions des précipitations moyennes mensuelles (2002-2015, station EL-Agrem)

II.2.2 Température de l'air

La température constitue avec les précipitations l'élément majeur qui régit le climat d'une région. Elle joue le rôle d'un facteur qui influe sur le bilan hydrographique du fait de son impact sur déficit d'écoulement et l'évapotranspiration.

Le tableau ci-dessous résume les données concernant ce paramètre, mesurées à la station d'EL-Agrem.

Tableau III.2. Température moyennes mensuelles durant la période 2002-2015 Station EL-Agrem

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Été			total
Mois	Se	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Ma	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	18.5
T (C°)	24	20	16	12	12	11	14	16	19	24	27	27	
	20			12			16			26			

Le tableau (III.2) indique que l'hiver est la saison la plus froide avec une température de 12°C, par contre l'été est la saison la plus chaude avec une température de l'ordre de 26°C.

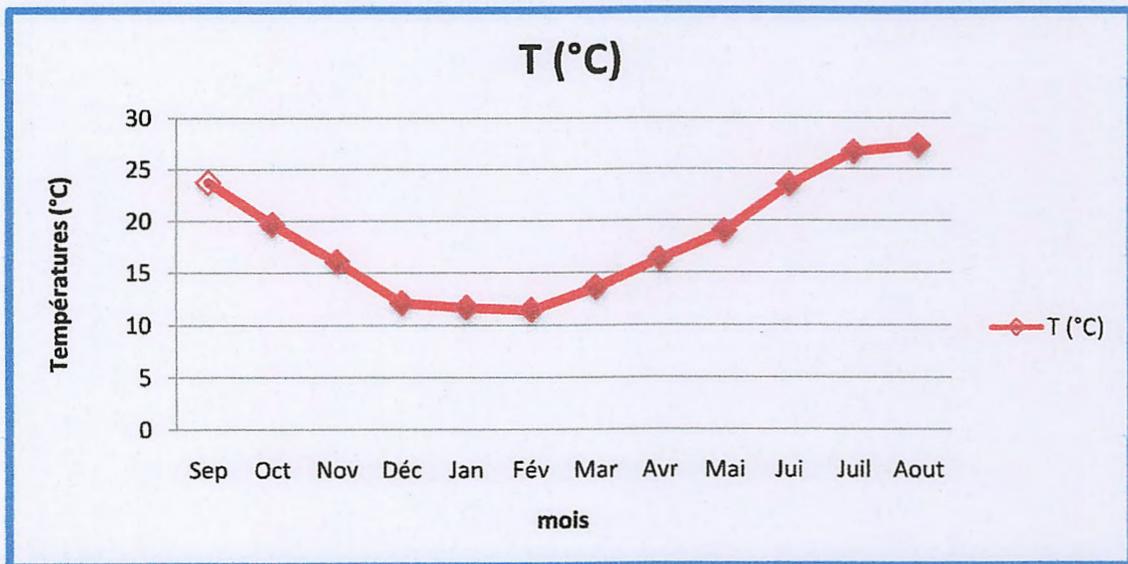


Figure III.3. Variations des températures moyennes mensuelles
(2002-2015, station EL-Agrem)

II.2.3 Diagramme Ombro-thermique de GAUSSEN et BAGNOULS

La combinaison des deux facteurs climatique, température et la précipitation est intéressant pour déterminer le type du climat et les mois véritablement secs.

D'après la formule de Gausсен, $P \leq 2T$. Un mois sec est celui où le total des précipitations est égal ou inférieure au double de la température.

Il résulte de la combinaison des deux paramètres climatiques principaux (précipitation et température), Une relation qui permet d'établir un graphique Ombrothermique sur lequel les températures sont portées à l'échelle double de précipitation (Figure. III.4).

Lorsque la courbe représentative des précipitations passe au-dessus de celle des températures, la période correspondante est excédentaire. Par contre, si la courbe représentative des températures passe au-dessus de celle des précipitations, la période correspondante sera déficitaire.

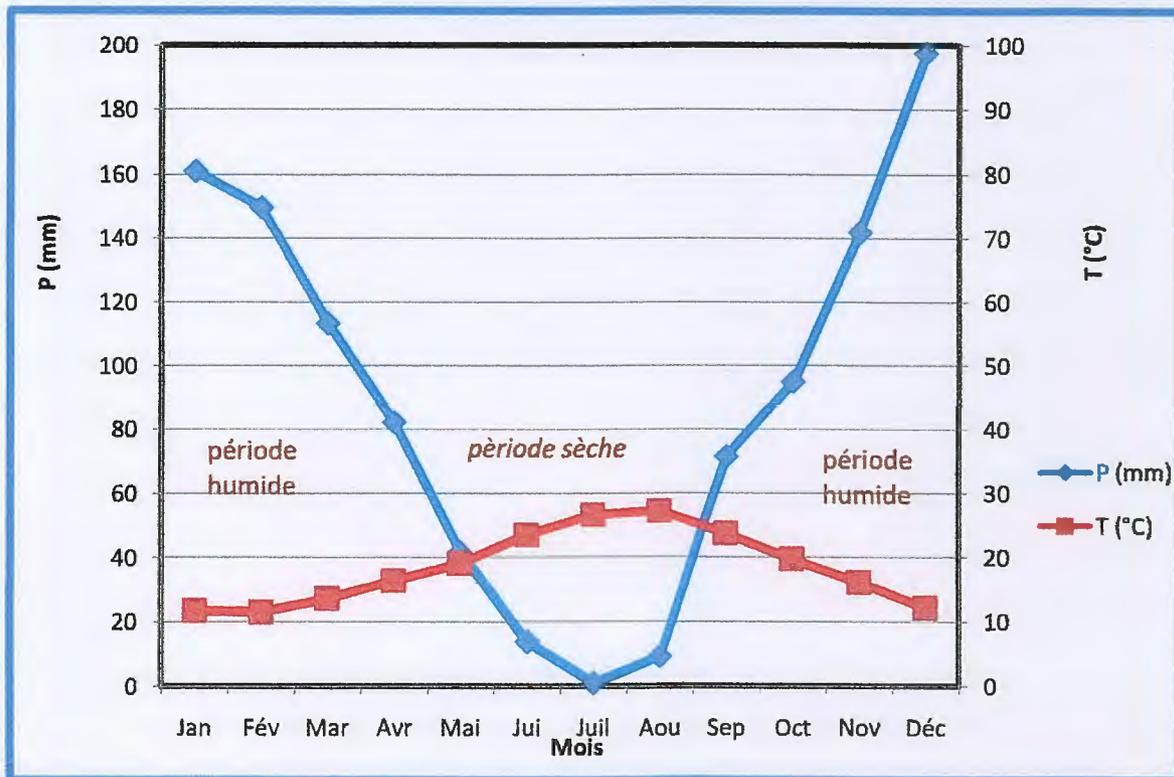


Figure III.4. Diagramme Ombrothermique durant la période 2002-2015
Station El-Agrem

Le diagramme Ombrothermique nous permet d’avoir une idée générale sur les périodes sèches et humides. La première s’étend de la mi-mai jusqu’à la fin du mois d’Aout et la seconde du début de Septembre jusqu’à la mi-mai.

II.3. Bilan hydrologique

Le bilan d’eau global correspondant à une équation entre les apports et les pertes qui influent directement sur la variation des réserves. Ainsi pour déterminer le bilan de la zone d’étude. Il est indispensable d’évaluer ses composants (Infiltration (I), ruissellement (R) et évapotranspiration (ETR)).

L’élaboration d’un bilan hydrique, est d’une grande nécessité, afin d’évaluer les réserves d’eau transmises ou emmagasinées dans une région.

Ce bilan se présente par la formule suivante :

$$P = ETR + R + I + Wa \dots\dots\dots (III.1)$$

Avec:

P : Précipitation moyenne annuelle (mm).

ETR : Evapotranspiration réelle en (mm).

R : Ruissellement (mm).

I : Infiltration (mm).

Wa : Variation des réserves (négligeable).

II.3.1 Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP)

L'évapotranspiration est un transfert de l'eau de la terre vers l'atmosphère par évaporation des eaux de surface et du sol et par transpiration de la végétation.

Partant d'expériences réalisées sur divers climats (subhumide-humide), Thornthwaite, propose la formule suivante pour le calcul de l'ETP :

$$ETP = 16 \left(\frac{10 \times T}{I} \right)^a \dots \dots \dots (III.2)$$

Avec: $I = \sum_{i=1}^{12} i$ où $i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1,514}$

Où :

ETP : Évapotranspiration potentielle non corrigée en mm (30 jours / mois et 12h / jour)

T: Température moyenne mensuelle en (°C)

I : Indice thermique mensuel

a : Exposant climatique, cependant G. Gastany en (1936) conseil de retenir:

$$a = 0,016 I + 0,5$$

Pour la région étudiée : $I = 39,278$

$$a = 1,928$$

L'indice thermique (i) pour chaque mois est donné par le tableau de référence en fonction de la température, (pour chaque température mensuelle, il y'aura un indice thermique i).

K : Facteur de correction par lequel convient de multiplier selon le mois et la latitude de la région (et donc de l'insolation soit 36°N) les valeurs de l'ETP non corrigées pour obtenir celle corrigées.

$$ETP_{corrigé} = ETP_{non\ corrigé} \times K \dots \dots \dots (III.3)$$

Les résultats de l'ETP mensuelle sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau III.3. Calcul de l'évapotranspiration potentielle selon Thornthwaite durant la période 2002-2015 Station El-Agrem

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Année
P(mm)	71,59	94,98	141,84	197,51	161,01	149,77	113,38	82,09	41,66	13,74	1	9,28	1077,85
T(°C)	23,7	19,7	16,1	12,1	11,7	11,4	13,6	16	19	23,5	26,7	27,3	220,8
I	10,546	7,972	5,873	3,811	3,622	3,482	4,498	5,818	7,547	10,412	12,632	13,065	89,278
ETP(mm)	105,09	73,58	49,87	28,75	26,95	25,63	35,51	49,28	68,63	103,4	132,25	138,04	836,98
K	1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	/
ETPc(mm)	108,24	71,37	42,89	24,15	23,45	21,79	36,58	54,21	83,04	126,15	163,99	160,13	915,98

II.3.2 Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR)

L'évapotranspiration réelle ETR qui est la quantité d'eau réellement évaporée et dépend des conditions naturelles (végétation, nature du sol...) et d'autre part de la quantité d'eau disponible dans le sol.

II.3.2.1 Calcul de l'ETR

Pour calculer L'ETR on utilise la méthode de Thornthwaite :

1-Si les précipitations (P) du mois sont supérieures à l'évapotranspiration potentielle (ETP) :

L'évapotranspiration réelle est égale à l'évapotranspiration potentielle.

$$ETR = ETP$$

2- Si les précipitations (P) du mois sont inférieures à l'évapotranspiration potentielle (ETP), dans ce cas, Thornthwaite admet l'utilisation d'une réserve facilement utilisable (RFU) :

$$ETR = \sum p_i + RFU$$

Celle -ci est supposée mobilisée comme suit :

- a) Si la RFU antérieure est assez forte pour combler l'insuffisance des précipitations :

$$ETR = ETP$$

- b) Si la RFU est insuffisante pour satisfaire l'évapotranspiration potentielle, l'ETR reste inférieure a celle-ci est égale a la somme des précipitations du mois et des RFU, il existe un déficit agricole Da

II.3.2.2. Calcul du déficit agricole (Da)

Le déficit agricole est la quantité d'eau qu'il faudrait apporter à l'irrigation pendant le déficit, il est égal la différence entre l'évapotranspiration potentielle et l'évapotranspiration réelle.

$$Da = ETP - ETR \dots \dots \dots (III.4)$$

Il représente la quantité d'eau supplémentaire qui aurait pu être utilisée par les plantes (et les sols) si les disponibilités en eau avaient pu être artificiellement complétées par un système d'irrigation.

Le tableau suivant représente les résultats du bilan hydrique obtenu après calcul par la méthode de Thornthwaite, sur une période de 14 ans (2002-2015), pour la station EL-Agrem :

Tableau III.4. Bilan hydrique a la station EL-Agrem (2002-2015)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Année
P(mm)	71,59	94,98	141,84	197,51	161,01	149,77	113,38	82,09	41,66	13,74	1	9,28	1077,85
ETPc(mm)	108,24	71,37	42,89	24,15	23,45	21,79	36,58	54,21	83,04	126,15	163,99	160,13	915,99
P-ETPc(mm)	-36,65	23,61	98,95	173,36	137,56	127,98	76,80	27,88	41,38	-112,41	-162,99	-150,85	/
ETR(mm)	71,59	71,37	42,89	24,15	23,45	21,79	36,58	54,21	83,04	72,36	1	9,28	511,71
Da(mm)	36,65	0	0	0	0	0	0	0	0	53,79	162,99	150,85	404,28
Ws(mm)	0	0	22,56	173,36	137,56	127,98	76,8	27,88	0	0	0	0	566,14
RFU(mm)	0	23,61	100	100	100	100	100	100	58,62	0	0	0	/

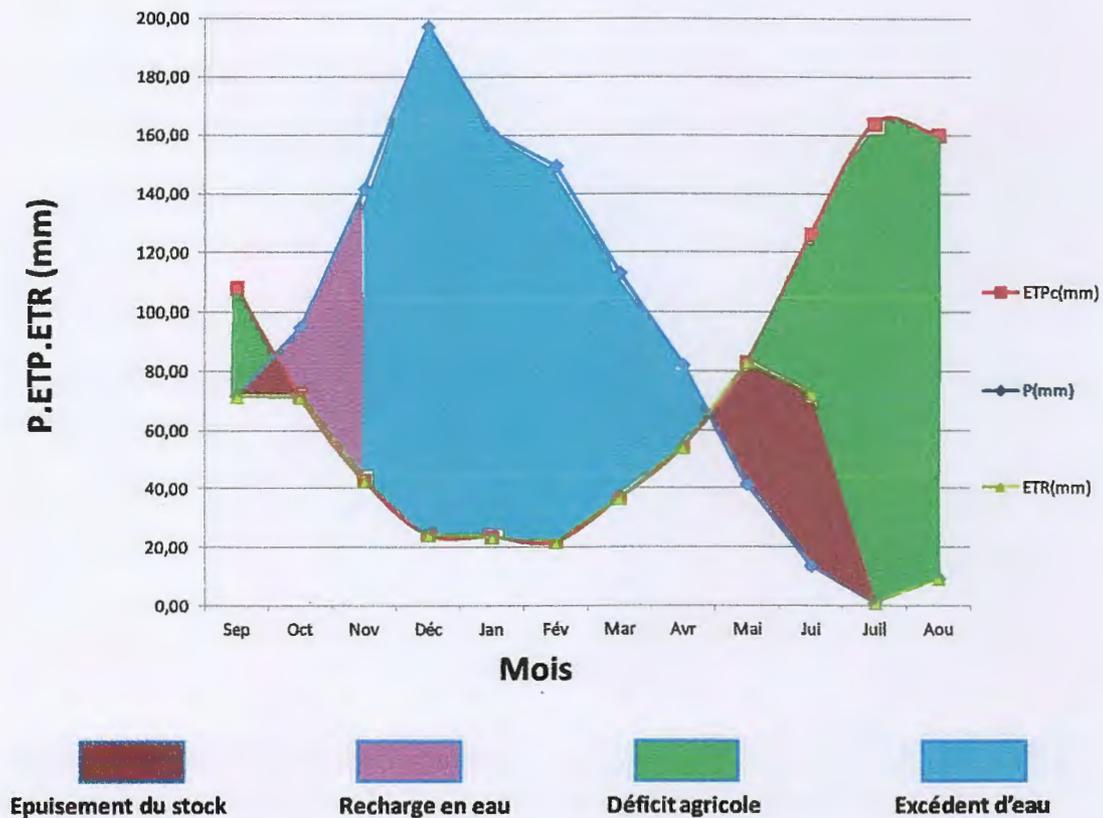


Figure III .5. Diagramme du bilan hydrique station EL-Agrem (2002-2015)

D'après le bilan hydrique de Thornthwaite, représenté par le tableau (III.4) et schématisé par la figure (III.5), on constate qu'à partir du mois d'octobre les précipitations deviennent supérieures à l'ETP. De ce fait, il existe une reconstitution d'une partie des réserves du sol. Ces dernières atteignent leur maxima à 100 mm au mois de novembre, décembre, janvier, février, mars et avril, alors il est enregistré un excédent pour ces six mois d'une valeur annuelle de 566,14 mm.

L'ETR est d'une valeur annuelle de 511,71 mm et le déficit agricole est de 404,28 mm avec un maximum constaté au mois de juillet de 162,99 mm.

La période déficitaire en eau commence à partir du mois de juin jusqu'au mois de septembre. Cela permet de prévoir les besoins annuels en eau d'irrigation.

La figure (III.5), schématise bien les différentes composantes du bilan hydrique.

II.3. 3. Estimation du ruissellement et de l'infiltration

Pour le calcul des ruissellements et des infiltrations on utilise :

Evapotranspiration potentielle : $ETP = 915,99 \text{ mm}$

Précipitations totales annuelles : $P = 1077,85 \text{ mm}$

Lame évapotranspirée : $ETR = 511,71 \text{ mm}$

II.3.3.1. Ruissellement (R)

L'évaluation du ruissellement est impérative pour connaître la quantité d'eau qui s'écoule à la surface du sol (bassin versant topographique) par unité de temps sans s'évaporer avant de garder une masse d'eau.

Ce paramètre joue un rôle très important sur le bilan hydrographique. Il est calculé selon deux formules :

- formule de Tixeront-Berkaloff : $R = \frac{P^3}{3(ETP^2)}$ Pour $R < 600 \text{ mm}$
- formule de Tixeront-Berkaloff modifiée par Romantchouk 1974 :
 $R = \frac{P^3}{3}$ Pour $R > 600 \text{ mm}$

Avec :

R : ruissellement (mm).

P : précipitation moyennes annuelles (mm).

ETP : évaporation potentielle d'après Thornthwaite (mm).

$$R = \frac{(1,07785)^3}{3} = 0,4174 \text{ m} \rightarrow R = 417,4 \text{ mm}$$

II.3.3.2. Infiltration (I)

L'infiltration représente la quantité d'eau qui pénètre dans le sol et le sous-sol, elle alimente les eaux souterraines, eau rétention, écoulement hypodermique, écoulement souterrain et la reconstitution des réserves aquifères.

Elle est estimée à partir de la formule du bilan hydrologique :

$$P = ETR + R + I + Wa \dots\dots\dots(III.5)$$

Tableau III .5. Principaux termes du bilan hydrique

Paramètre	P (mm)	ETR (mm)	R (mm)	Considérons Wa
Valeurs	1077,85	511,71	417,4	0

L'application numérique de la formule donne :

$$1077,85 = 511,71 + (417,4 + I)$$

$$I = 1077,85 - 929,11 \rightarrow I = 148,74 \text{ mm}$$

Soit $I = 13,8\%$ des précipitations.

III .Conclusion

A partir de cette étude hydro climatologique de tronçon étudié, on peut dire que cette région est caractérisée par un climat tempéré méditerranéen intermédiaire (période humide et période sèche).

La région d'étude reçoit des précipitations annuelles moyennes de l'ordre de 1 078 mm, et une température moyenne annuelle de l'ordre de 18 .5°C.

Le bilan hydrique de cette zone d'étude montre que :

- L'évapotranspiration potentielle calculée selon la méthode de Thornthwaite est de 915.99 mm
- Le déficit agricole selon la méthode de Thornthwaite est de l'ordre de 404.28 mm.
- Le Ruissèlement obtenu est de 417.4mm
- L'infiltration calculée est de l'ordre de 148.74 mm, cette dernière est relativement faible et présente un pourcentage de l'ordre de 13.8 % des précipitations moyennes annuelles.



CHAPITRE IV

**Caractérisation et classification
du massif rocheux**

I. Introduction

Les classifications des massifs rocheux fracturés continuent à évoluer depuis plus d'un siècle. Leur utilisation a un intérêt considérable lors de l'étude de faisabilité et de dimensionnement préliminaire d'un projet, surtout quand les informations mécaniques, hydrologiques et l'état de contrainte in-situ du massif rocheux ne sont pas disponibles.

Nous nous intéressons, dans ce qui suit, aux systèmes de classifications quantitatives, nommés également classifications géo-mécaniques.

II. Buts des systèmes de classification des massifs rocheux

La classification géo mécanique consiste à quantifier un massif rocheux par une note empirique décrivant sa qualité par une série de termes allant d'un très bon rocher à un rocher très médiocre.

Les buts principaux de ces classifications se résument comme suit :

-Estimer indirectement les propriétés mécaniques à grande échelle d'un massif fracturé, en particulier son module de déformation, sa résistance à la compression simple, sa cohésion et son angle de frottement interne.

-Estimer le temps durant lequel le massif rocheux peut tenir sans soutènement (stand up time), c'est un indice très essentiel dans la détermination de la portée d'excavation

-Donner des recommandations de soutènement des ouvrages (Chalhoub, 2006).

III. Différents systèmes de classification

Plusieurs méthodes de description et de classification des roches ont été développées, notamment ces dernières années et on a choisi d'en présenter les suivantes (Yellas, 2008):

- 1) RQD (Indice de Qualité de la masse Rocheuse) Deere (1967).
- 2) RMR (Indice d'évaluation de la masse rocheuse) d'après Bieniawski (1976).
- 3) Q-system (Barton, 1974).
- 4) GSI (Indice de Résistance Géologique) d'après Hoek- Brown (1995).

III.1. Indice de Qualité de la Roche (RQD) (Deere, 1967)

Deere (1964) propose un paramètre évaluant la qualité de roche de la masse rocheuse selon un index intitulé RQD. Obtenu à partir de carotte de forage géologique, cet indice représente l'évaluation du pourcentage des carottes récupérées sur une longueur de course précise. Basée sur un procédé qualitatif, seule la somme des longueurs de morceaux de plus de 10 cm, cette somme est divisée par la longueur de course de la carotte de forage. Ce paramètre est défini comme suit (Deere, 1964):

$$RQD = \frac{100 \times \text{longueur totale des morceaux } > 10 \text{ cm}}{\text{longueur de la passe de carottage}} \dots\dots\dots (IV.1)$$

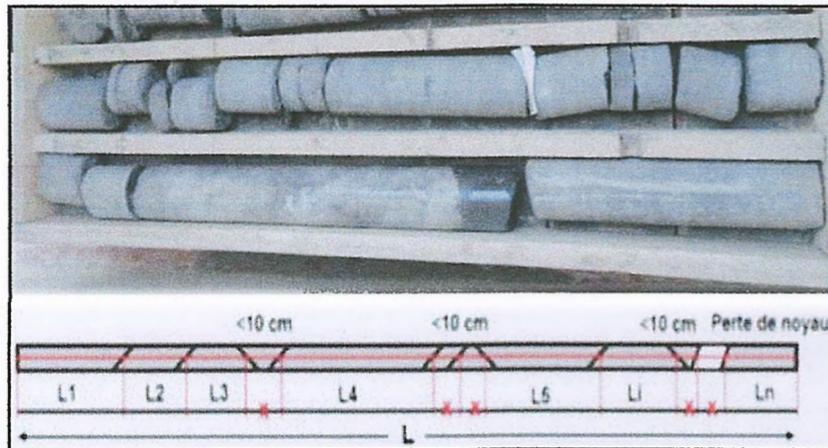


Figure IV.1. Calcul de RQD à partir de d'une carottes (Zhao, 2008)

Deere et al. (1967) affirment que le RQD s'avère utile pour déterminer le facteur de réduction du module de déformation de la roche intacte à la masse rocheuse (Deere et al 1967)

Le tableau ci-dessous présente la valeur du RQD et la qualité du massif selon la proposition de Deere (1968) :

Tableau IV.1. Corrélation entre l'indice RQD et la qualité du massif rocheux
D'après (Deere, 1968)

R.Q.D	Désignation
0-25	Très médiocre
25-50	Médiocre
50-75	Moyen
75-90	Bon
90-100	excellent

Il existe aussi des méthodes alternatives pour estimer l'indice RQD autre que par l'utilisation de carottes de forage géologique.

Priest et Hudson (1976) ont établi une relation entre nombre des joints (joints/mètre) déterminé à partir de mesure de surface du massif rocheux exposé et de l'indice RQD:

$$RQD=100(0,1\lambda + 1)e^{-0,1\lambda} \dots\dots\dots(IV.2)$$

Lorsqu'aucun forage géologique n'est pas disponible, cette corrélation s'avère très utile (Edelbro, 2003).

La méthode suivante est proposée pour un massif rocheux sans remplissage d'argile. Proposé par (Palmström, 1982), l'indice RQD peut être indirectement déterminé par le nombre de joints/discontinuités par unité de volume pour définir la somme volumétrique des joints (Jv) caractérisant la surface du massif rocheux :

RQD=115-3,3Jv.....(IV.3)

Pour $J_v < 4,5$ le RQD = 100.

Le système de classification RQD se base sur des forages géologiques standard et sa plus grande force retombe sur sa simplicité, la vitesse d'acquisition et aussi qu'il est peu coûteux.

Le RQD doit être interprété comme un indice de qualité du massif lorsque la roche présente des caractéristiques problématiques comme un haut degré de détérioration et se présente par un comportement ductile, une zone de cisaillement ou un massif fracturé

III.1.1.Limites du système RQD

La simplicité du système RQD a non seulement promu son utilisation importante comme outil, mais aussi l'apport de plusieurs critiques. Voici une série de limites trouvées dans la littérature (Maciej , 2012):

- Le RQD peut donner des résultats différents en fonction de l'orientation du trou de forage géologique par rapport au massif rocheux.
- Le RQD est insensible à l'effet d'échelle de ses excavations. Pour un certain indice RQD déterminé, il est impossible d'appliquer ce même paramètre de design pour un tunnel de petite dimension que pour une grande excavation souterraine.
- Le système RQD fait défaut lorsque l'espacement des joints ou fractures du massif est d'environ 100 mm. Ainsi, sur une longueur de course de 1000 mm il y a seulement des espacements de fractures naturelles de 110 mm pour un indice final de 100 %. Par contre, si l'espacement constant enregistré est de 90mm le nouvel indice RQD est de 0 %.
- La résistance du RQD est directement affectée par la résistance de la roche intacte et de la grosseur du diamètre des carottes. Lorsqu'effectuée sur une carotte de forage, cette classification est en outre limitée par la qualité du forage.

III.2.Système RMR (Indice d'évaluation de la masse rocheuse)

Cette classification a été développée par Bieniawski en 1973 au SACSIR (South African Council of Scientific and Industrial Research), Elle est basée sur l'étude de quelques centaines de tunnels creusés principalement dans des roches sédimentaires à profondeur modérée. L'utilisation de cette classification nécessite de diviser au préalable le site en régions homogènes d'un point de vue de structures géologiques. Chaque région est classifiée séparément.

Le RMR résulte de la somme de cinq notes de caractérisation (de A1 à A5) et d'une note d'ajustement. Ces paramètres sont illustrés sur la figure IV.2.

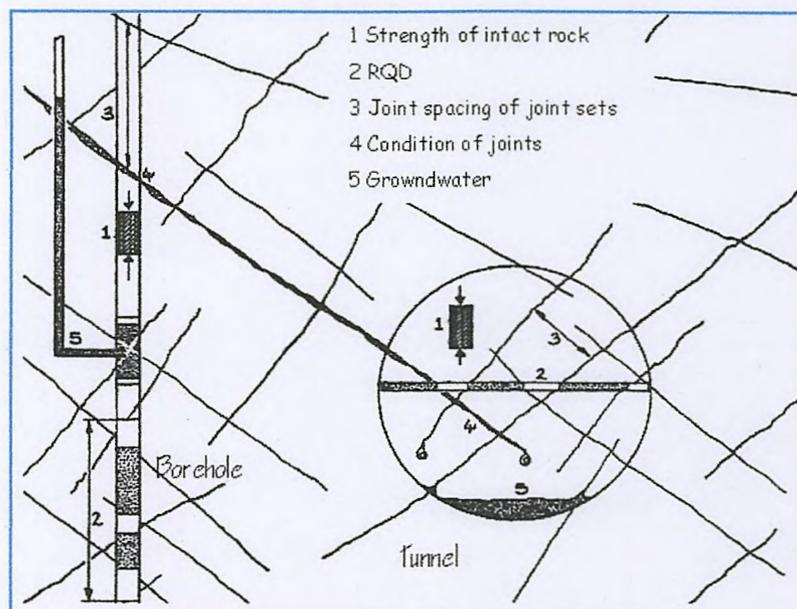


Figure IV.2. Illustration graphique des paramètres de caractérisation du RMR

(Chalhoub, 2006).

La somme de ces notes attribue une valeur comprise entre 0 et 100 au massif. Cette valeur utilise à plus de 70% la fracturation et elle accorde 15% d'influence aux propriétés de la matrice rocheuse et 15% à la présence d'eau (AFTES, 2003)

La signification des indices du RMR sont présentées comme suit :

- A1 (Résistance à la compression de la roche) : la résistance à la compression simple de la matrice rocheuse est obtenue, soit par procédure d'écrasement d'un échantillon, soit par procédure de chargement ponctuel (note : de 0 à 15).
- A2 (Indice de qualité de la roche RQD): il caractérise la qualité des carottes de sondage en calculant le rapport entre la longueur cumulée des carottes supérieures à dix centimètres et la longueur totale considérée (note : de 3 à 20).
- A3 (Espacement des discontinuités) : dans le cas de plusieurs familles de fractures le minimum des notes attribuées à l'espacement des fractures est considéré (note : de 5 à 20).
- A4 (Conditions des discontinuités) : cet indice caractérise l'extension, l'ouverture, la rugosité, le matériau de remplissage et l'altération des épontes des discontinuités (note : de 0 à 30).
- A5 (conditions hydraulique) : Il est en rapport avec les conditions hydrogéologiques et consiste à réaliser des mesures de flux d'eau ou de pressions interstitielles des joints (note : de 0 à 15).
- B (Ajustement pour orientation des joint) : c'est un facteur correctif qui est en rapport avec l'effet de l'azimut et du pendage des familles de discontinuités sur la stabilité de l'ouvrage (note : de -12 à 12 pour les tunnels, de - 25 à 0 pour les fondations et de - 60 à 0 pour les talus).
- La somme des cinq premiers indices caractérise le RMR de base. Quant aux travaux souterrains, il faut ajouter l'effet du facteur correctif (Bieniawski ,1989).

Le RMR_{99} s'écrit alors :

$$RMR_{99} = A1 + A2 + A3 + A4 + A5 + B \dots \dots \dots (IV.4)$$

Chacun des paramètres précédents aura une note, la somme des notes, après avoir été ajustée par une note relative à l'orientation (Tableau IV.2.) nous donne une appréciation générale de la qualité du rocher (Tableau IV.3).

Tableau IV.2. Classification du RMR (Bieniawski, 1989).

A – classification des paramètres et note									
Paramètres			Coefficients						
1	Résistance de la roche	Indice Franklin	>10 MPa	4 – 10 MPa	2 – 4 MPa	1 – 2 MPa	Indice Franklin non utilisable		
		Résistance à la compression	>250 MPa	100–250 MPa	50 – 100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa
	Note		15	12	7	4	2	1	0
2	R.Q.D		90%-100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%		
	Note		20	17	13	8	3		
3	Espaceme des discontinuités		> 2 m	0,6 – 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm		
	Note		20	15	10	8	5		
4	Nature des discontinuités		Surfaces très rugueuses non continues Epontes en contact Epontes non altérées	Surfaces légèrement rugueuses Epaisseur < 1 mm Epontes non altérées	Surfaces légèrement rugueuses Epaisseur < 1 mm Epontes altérées	Surfaces lustrées ou remplissage < 5 mm ou joint ouvert 1 à 5 mm Joints continus	Remplissage mou > 5 mm Joints ouverts > 5mm Joint continu		
	Note		30	25	20	10	0		
5	Conditions hydraulique	Débit sur 10 m	Aucune venue d'eau	< 10	10 - 25	25 – 125	>125		
		Pression d'eau contrainte	0	< 0,1	0,1 – 0,2	02 – 0,5	>0,5		
		Hydrogéologie	Complètement sec	Suintements	Suintements	Pressions d'eau modérée	Problèmes sérieux de venues d'eau		
	Note		15	10	7	4	0		

Tableau IV.3. *Classe de rocher suivant la classification de Z. BIENIAWSKI
Après application de la note d'ajustement*

Note globale	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20
Classe de rocher et description	1 Très bon rocher	2 Bon rocher	3 Rocher moyen	4 Rocher médiocre	5 Rocher très médiocre

III.2.1. Limitations du système RMR

Étant donné que le système de classification RMR est initialement développé pour le domaine civil. Dans le domaine minier voici quelques limitations pertinentes où l'ingénieur doit questionner la validité lors de l'évaluation d'un massif rocheux ; le paramètre de l'orientation des discontinuités (B) est ignoré. Le système conservé redevient le RMR de base.

Cette correction est apportée principalement pour ignorer les conditions environnementales résultant en une classification dépendante du massif rocheux uniquement;

- Les contraintes sont ignorées comme paramètre du système RMR. Bieniawski, 1989 estime le système RMR adéquat pour un projet civil jusqu'à une contrainte verticale de 25 MPa. Souvent dans le domaine minier, les mines souterraines exploitent à des niveaux de contraintes supérieurs;
- Cette classification ne prend pas en considération l'état de contrainte in-situ ni la rugosité des fractures et l'angle de frottement du matériau de remplissage ; les roches gonflantes n'y sont pas non plus traitées.
- L'application de cette classification est limitée aux cas de massifs dont la matrice a une bonne résistance et dont le comportement est régi par les discontinuités. Néanmoins, le RMR reste un outil puissant, lorsque bien utilisé. Ce système a réussi à identifier des paramètres géologiques quasi universels permettant d'enregistrer rapidement et simplement toute expérience d'excavations dans la masse rocheuse. De la sorte, l'application du système de classification RMR s'étend avec succès à la conception de fondation, de stabilité de talus, l'évaluation du décapage, ainsi que de nombreuses applications minières (Maciej, 2012).

III.3. Indice de qualité Q -Système

Barton et al. (1974) ont introduit le système Q, un indice permettant de décrire la qualité de la masse rocheuse pour l'excavation de tunnels. Le système de classification se nomme Indice du système Q ou tout simplement système du NGI en hommage de l'Institution Géotechnique Norvégienne.

Le système Q juge important d'évaluer, en tant que paramètres de classification, six caractéristiques particulières du massif rocheux (voir annexe), soit:

- **RQD** désigne la qualité de la roche.
- **J_n** représente le nombre de familles de discontinuités.
- **J_r** représente la rugosité des épontes de la famille de discontinuité.
- **J_a** caractérise l'état d'altération des discontinuités.
- **J_w** est un facteur de réduction due à la présence de l'eau dans les joints.
- **SRF** est un facteur de réduction des contraintes dans le massif.

Les valeurs numériques de l'indice Q varient sur une base logarithmique de 0,001 à 1000. Il est définie par :

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \dots\dots\dots(IV.5)$$

Tableau IV.4. Classification de massif en fonction de la valeur Q (Maciej, 2012)

Indice Q	Qualité de la masse rocheuse
0,001 – 0,01	Exceptionnellement pauvre
0,01 – 0,1	Extrêmement pauvre
0,1 – 1	Très pauvre
1 – 4	Pauvre
4 – 10	Moyenne
10 – 40	Bonne
40 – 100	Très bonne
100 – 400	Extrêmement bonne
400 – 1000	Exceptionnellement bonne

III.3.1.Limitations du Système Q

- L'utilisation de l'indice Q est spécifiquement développée pour des tunnels et des excavations en forme de voûte, principalement pour le domaine du génie civil. En conséquence, il se présente quelques limitations lors de l'application à un massif rocheux dévoilant un comportement mécanique anisotrope.
- Étant donné que la cote Q a été développée presque exclusivement avec moins de 3 séries de discontinuité, l'indice Q semble diminuer la compétence de la roche quand le massif présente 4 discontinuités espacées. Ces derniers déconseillent donc d'utiliser la cartographie géologique pour risque de compter plusieurs familles de discontinuités;
- Lors du développement du système, seulement neuf études de cas ont des conditions de terrain problématique (gonflement ou convergence).
- Une conséquence indirecte souvent attribuable au massif rocheux anisotrope.
- Dans cette classification, l'évaluation de Q dépend de l'état des contraintes dans le massif et des paramètres non intrinsèques de la matrice rocheuse. La contribution directe

de la résistance mécanique de la matrice rocheuse est absente. En outre l'orientation des joints n'apparaît pas dans cette classification.

III.4.Indice de Résistance Géologique (GSI)

Introduit par Hoek et al en 1995 puis amélioré par Hoek et Brown en 1997, le GSI ne présente pas une classification géomécanique en soi. Cependant, il constitue un lien entre le RMR (*Q-system*) et la détermination des paramètres de déformabilité et de résistance des massifs rocheux.

Afin d'estimer le GSI, il est nécessaire de calculer le RMR de base et le Q' qui sont des valeurs modifiées de RMR et de Q. Le RMR de base est calculé en retenant une valeur 15 pour le coefficient relatif à l'eau (A5) et une valeur nulle pour le coefficient de correction relatif à l'orientation des discontinuités (B).

RMRde base= A1+A2+A3+A4+15

De même, Q' se calcule en ne tenant pas compte de l'état initial du massif par rapport à l'eau et aux contraintes (Jw/SRF), donc la formule devient comme suit :

$$Q' = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \dots \dots \dots (IV.6)$$

Ayant calculé RMR' et Q' le GSI se détermine comme suit :

GSI=RMR'89-5 si RMR'89 >23

GSI =9(logQ'+44) si RMR'89 ≤23

L'estimation du GSI s'appuie sur une observation directe de la structure du massif rocheux à partir d'un examen de la qualité de la masse rocheuse in situ. Cet indice varie entre 5 et 85.

Par définition, les valeurs proches de 5 correspondent à des matériaux de très mauvaise qualité, tandis que les valeurs proches de 85 décrivent des matériaux d'excellente qualité.

Tableau IV.5. Qualité du massif rocheux selon la valeur du GSI (Chalhoub, 2006)

Valeur de GSI	76-95	56-75	41-55	21-40	<20
Qualité de Massif rocheux	Très bonne	Bonne	Moyenne	mauvaise	Très mauvaise

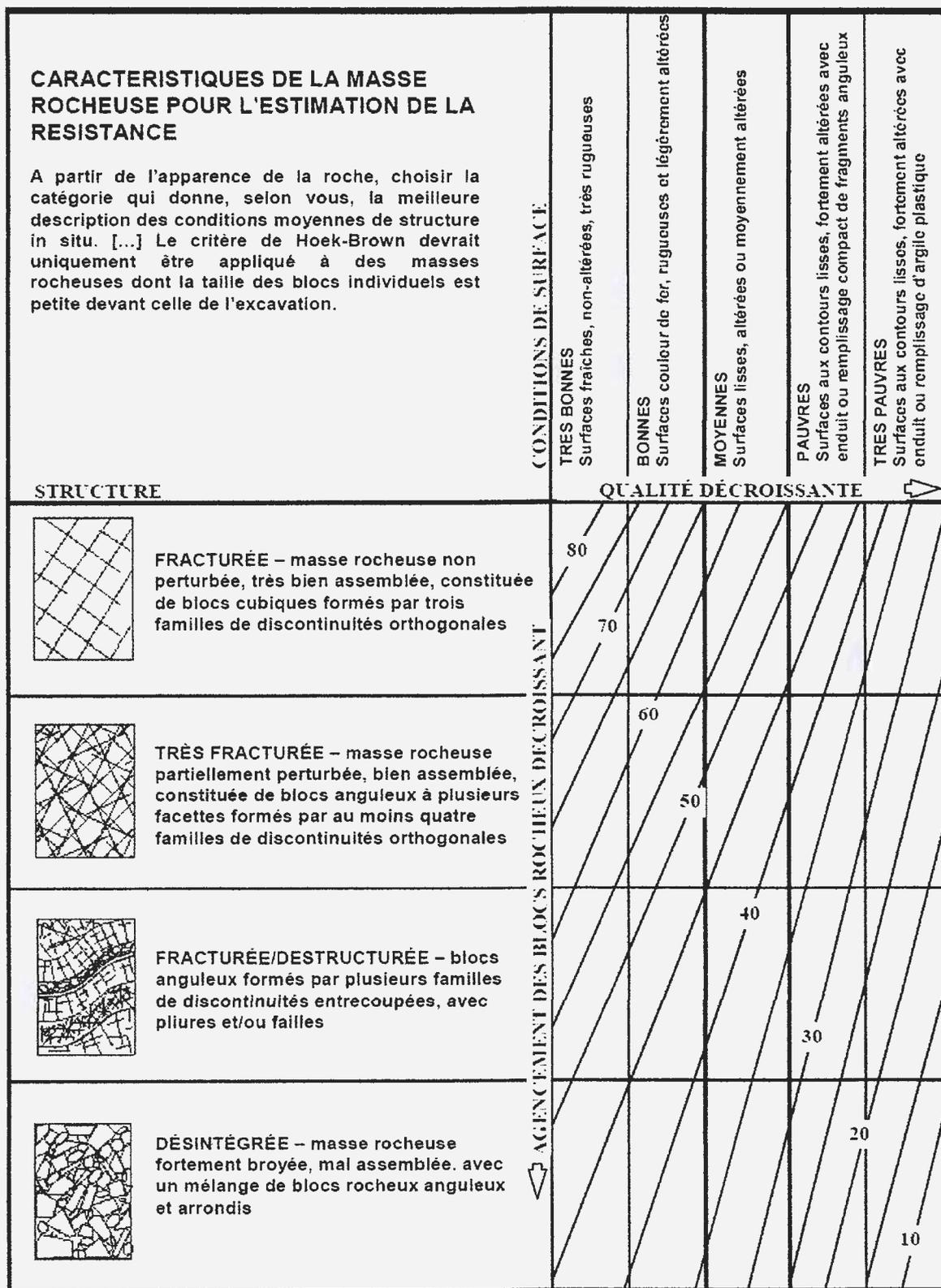


Figure IV.3. Estimation du GSI à partir d'une description géologique de la masse rocheuse, d'après Hoek et Brown (1995).

IV. Corrélations entre les différentes méthodes de classification

Des relations empiriques existent entre ces différents indices. Bieniawski propose de relier le *RMR* et le Système *Q* de Barton :

$$\mathbf{RMR = 9 \log Q + 44 \dots\dots\dots(IV.7)}$$

Pour des roches de bonne qualité (*GSI* > 25), la valeur de *GSI* peut également être estimée directement à partir de la version 1976 du *RMR* de Bieniawski :

$$\mathbf{GSI = RMR76 * \dots\dots\dots(IV.8)}$$

- Avec des conditions hydrauliques valeur de 10 (humide) et un ajustement pour l'orientation des discontinuités égal à 0 (très favorable)

De même, si la version 1989 de la classification *RMR* de Bieniawski est utilisée, alors on peut estimer un *GSI* correspondant :

$$\mathbf{GSI = RMR_{89} - 5 * \dots\dots\dots(IV.9)}$$

- avec des conditions hydrauliques valeur de 15 (sec) et un ajustement pour l'orientation des systèmes de discontinuités et finalement la plus petite est retenue pour quantifier la globalité du talus.

V. Commentaires sur les systèmes de classification

Les classifications quantitatives des massifs rocheux fracturés sont utilisées depuis plusieurs dizaines d'années pour la conception et la construction des ouvrages réalisés dans les massifs rocheux. Elles sont basées sur la connaissance des paramètres décrivant la qualité du massif rocheux et font la combinaison des différents paramètres mesurés sur le site pour arriver à mettre une note concernant la qualité du massif rocheux.

Ces méthodes sont facilement utilisées au stade de l'avant-projet. Cependant elles présentent certaines limites que nous résumons ci-dessous :

- Les paramètres de classification sont utilisés universellement sur tous les types de massifs rocheux, sans tenir compte de leurs caractéristiques spécifiques et du projet considéré.

- Les propriétés complexes du massif rocheux, en particulier son anisotropie et son comportement différé (dépendant du temps) ne sont pas pris en compte.

Les paramètres de déformabilité et de résistance qui en résultent sont relatifs à un milieu isotrope.

- La notion du Volume Élémentaire Représentatif (VER) ne figure pas dans ces classifications.

- En général, ces méthodes empiriques simplifiées ne prennent pas en compte le mécanisme de rupture, de déformation et de l'interaction du support avec la roche.

- Le *RMR* et le Système *Q* ne sont pas adaptés au cas de roches tendres.

VI .Conclusion

Les systèmes de classifications des massifs rocheux sont des méthodes empiriques qui déterminent les propriétés du massif en fonction de plusieurs facteurs affectent sa stabilité. Leur rôle consiste à combiner de manière structurée les informations provenant d'observation de mesure ou encore de l'expérience de manière à fournir des estimations quantitative et qualitative sur la situation de massifs et le type de soutènement adéquat.

CHAPITRE V

Résultats et discussions

I. Introduction

Dans ce chapitre nous présentons les résultats de calculs de l'indice de qualité de la masse rocheuse RQD, Indice d'évaluation de la masse rocheuse RMR, Système Q ainsi que l'Indice de résistance géologique GSI pour caractériser et classer les massifs rocheux des trois sites de Dar El Oued, Grottes Merveilleuses et les Falaises.

Le travail est basé sur l'étude des discontinuités de chaque site pour cela, nous avons adopté le protocole suivant qui consiste prendre six à sept mesures des massifs rocheux choisies sur la RN 43.

II. Exemple de calcul des différents paramètres géométriques

II.1. Calcul de RQD

RQD peut être corrélé à la fréquence de joint $RQD = 100(0.1\lambda + 1) e^{-0.1\lambda}$

Et $\lambda = \text{nombre de joints} / \text{longueur} = n / L$

$$\checkmark \lambda = 180 / 10 = 18$$

Donc: $RQD = 100(0.1 * 18 + 1) e^{-0.1 * 18} = 46 \%$ (Exemple du Massif 01 des Falaises)

Les résultats de RQD des trois stations sont mentionnés dans les tableaux (V.1, V.2, V.3):

Tableau V.1. Classification RQD globale Des Sept massifs Station des Falaises (Deere, 1968)

Stations	% classe de RQD	Valeur RQD (note)	RQD %	RQD globale	Qualité du massif
Les Falaises	25%-50%	8	46	58	Moyen
	50%-75%	13	70		
	50%-75%	13	56		
	75%-90%	17	80		
	50%-75%	13	74		
	25%-50%	8	28		
	50%-75%	13	55		

D'après les résultats des mesures effectuées sur le site des Falaises résumés dans le tableau V.1, l'indice de qualité de la masse rocheuse est compris entre $50 < RQD < 70$ ce qui signifie que le massif des Falaises est classé comme rocher de qualité moyenne.

Tableau V.2. Classification RQD globale Des six massifs Station de Dar El Oued (Deere, 1968)

Stations	% classe de RQD	Valeur RQD (note)	RQD %	RQD globale	Qualité du massif
Dar El Oued	<25%	3	6	62	Moyen
	75%-90%	17	90		
	50%-75%	13	74		
	50%-75%	13	66		
	50%-75%	13	54		
	75%-90%	17	83		

Les mesures effectuées sur le site de Dar El Oued représentées dans le tableau V.2, montrent que la qualité du massif est moyenne après calcul du RQD qui est compris entre $50 < RQD < 70$.

Tableau V.3. Classification RQD globale Des sept massifs Station des Grottes (Deere, 1968)

Stations	% classe de RQD	Valeur RQD (note)	RQD %	RQD globale	Qualité du massif
Les Grottes	50%-75%	13	74	80	Bon
	50%-75%	13	92		
	50%-75%	13	95		
	75%-90%	17	77		
	50%-75%	13	92		
	50%-75%	13	58		
	50%-75%	13	74		

A partir des résultats du tableau V.3, le RQD est compris entre le $75 < RQD < 90$ ce qui signifie que le site des Grottes est considéré comme un massif de bonne qualité.

II.2. Calcul de RMR

Le calcul du RMR est obtenu par la somme des valeurs des cinq paramètres suivants :

- la résistance à la compression simple ;
- le RQD qui caractérise la qualité du rocher ;
- l'espacement des discontinuités ;
- la nature des discontinuités ;
- les conditions hydrauliques.

Les mesures effectuées sur les sites d'étude nous permettent d'estimer ces cinq paramètres à partir de la classification du RMR de Bieniawski (Bieniawski, 1989).

Le RMR est la somme des notes $RMR=R1+R2+R3+R4+R5$

Les résultats de calcul du RMR des trois stations sont présentés dans les tableaux V.4, V.5, et V.6.

✓ Station des Falaises

Tableau V.4. Valeurs de RMR de la station des Falaises

Massif 01	Paramètres	description	note	RMR
	Résistance de la roche	100<RC<250 MPa	12	58
	RQD	25%-50%	8	
	Espacement des joints	60-200 mm	8	
	Nature des discontinuités	Surfaces légèrement rugueuses épaisseur <1 mm épontes altérées	20	
	Conditions hydraulique	suintements	10	
Massif 02	Paramètres	description	note	
	Résistance de la roche	100<RC<250 MPa	12	65
	RQD	50%-75%	13	
	Espacement des joints	200-600 mm	10	
	Nature des discontinuités	Surfaces légèrement rugueuses épaisseur <1 mm épontes altérées	20	
	Conditions hydraulique	suintements	10	
Massif 03	Paramètres	description	note	
	Résistance de la roche	100<RC<250 MPa	12	62
	RQD	50%-75%	13	
	Espacement des joints	200-600 mm	10	
	Nature des discontinuités	Surfaces légèrement rugueuses épaisseur <1 mm épontes altérées	20	
	Conditions hydraulique	suintements	7	
Massif 04	Paramètres	description	note	
	Résistance de la roche	100<RC<250 MPa	12	58
	RQD	75%-90%	17	
	Espacement des joints	<60 mm	5	
	Nature des discontinuités	Surfaces légèrement rugueuses épaisseur <1 mm épontes altérées	20	
	Conditions hydraulique	Pressions d'eau modérée	4	

	Paramètres	description	note	RMR
Massif 05	Résistance de la roche	100<RC<250 MPa	12	54
	RQD	50%-75%	13	
	Espacement des joints	<60 mm	5	
	Nature des discontinuités	Surfaces légèrement rugueuses épaisseur <1 mm épontes altérées	20	
	Conditions hydraulique	Pressions d'eau modérée	4	
Massif 06	Paramètres	description	note	RMR
	Résistance de la roche	100<RC<250 MPa	12	58
	RQD	25%-50%	8	
	Espacement des joints	60-200 mm	8	
	Nature des discontinuités	Surfaces légèrement rugueuses épaisseur <1 mm épontes altérées	20	
	Conditions hydraulique	suintements	10	
Massif 07	Paramètres	description	note	RMR
	Résistance de la roche	100<RC<250 MPa	12	60
	RQD	50%-75%	13	
	Espacement des joints	200-600 mm	10	
	Nature des discontinuités	Surfaces lustrées ou remplissage<5 mm ou joint ouvert 1à5 mm joints continus	10	
	Conditions hydraulique	Complètement sec	15	

- le RMR=12+8+8+20+10=58 (Station des Falaise, massif 01)
- le RMR=12+13+10+20+7=65 (Station des Falaise, massif 02)
- le RMR=12+13+10+20+7=62 (Station des Falaise, massif 03)
- le RMR=12+17+5+20+4=58 (Station des Falaise, massif 04)
- le RMR=12+13+5+20+4=54 (Station des Falaise, massif 05)
- le RMR=12+8+8+20+10=58 (Station des Falaise, massif 06)
- le RMR=12+13+10+10+15=60 (Station des Falaise, massif 07)

D'après les résultats de nos mesures et calcul du RMR, la station des Falaises est classée comme rocher moyen (classe III).

✓ Station de Dar El Oued

Tableau V.5. Valeur de RMR de la station de Dar El Oued

Paramètres	description	note	RMR
Résistance de la roche	100<RC<250 MPa	12	62
RQD	<25%	3	
Espacement des joints	200-600 mm	10	
Nature des discontinuités	Surfaces très rugueuses non continues épontes en contact épontes non altérées	30	
Conditions hydraulique	suintements	7	
Paramètres	description	note	RMR
Résistance de la roche	100<RC<250 MPa	12	84
RQD	75%-90%	17	
Espacement des joints	0.6-2 m	15	
Nature des discontinuités	Surfaces très rugueuses non continues épontes en contact épontes non altérées	30	
Conditions hydraulique	suintements	10	
Paramètres	description	note	RMR
Résistance de la roche	100<RC<250 MPa	12	62
RQD	50%-75%	13	
Espacement des joints	200-600mm	10	
Nature des discontinuités	Surfaces légèrement rugueuses épaisseur <1 mm épontes altérées	20	
Conditions hydraulique	suintements	7	
Paramètres	description	note	RMR
Résistance de la roche	100<RC<250 MPa	12	60
RQD	50%-75%	13	
Espacement des joints	<60 mm	5	
Nature des discontinuités	Surfaces légèrement rugueuses épaisseur <1 mm épontes altérées	20	
Conditions hydraulique	suintements	10	
Paramètres	description	note	RMR
Résistance de la roche	100<RC<250 MPa	12	63
RQD	50%-75%	13	
Espacement des joints	60-200 mm	8	
Nature des discontinuités	Surfaces légèrement rugueuses épaisseur <1 mm épontes altérées	20	
Conditions hydraulique	suintements	10	
Paramètres	description	note	RMR
Résistance de la roche	100<RC<250 MPa	12	

RQD	75%-90%	17	63
Espacement des joints	200-600mm	10	
Nature des discontinuités	Surfaces légèrement rugueuses épaisseur <1 mm épontes altérées	20	
Conditions hydrauliques	Pressions d'eau modérée	4	

- le RMR=12+3+10+30+7=62 (Station de Dar El Oued, massif 01)
- le RMR=12+17+15+30+10=84 (Station de Dar El Oued, massif 02)
- le RMR=12+13+10+20+7=62 (Station de Dar El Oued, massif 03)
- le RMR=12+13+5+20+10=60 (Station de Dar El Oued, massif 04)
- le RMR=12+13+8+20+10=63 (Station de Dar El Oued, massif 05)
- le RMR=12+17+10+20+4=63 (Station de Dar El Oued, massif 06)

Les résultats du RMR sont compris entre 61 et 80 ce qui implique que la station de Dar El Oued appartient à la classe de rocher de bonne qualité (classe II).

✓ **Station des Grottes**

Tableau V.6. Valeur de RMR de la station des Grottes

Paramètres	description	note	RMR
Résistance de la roche	100<RC<250 MPa	12	68
RQD	50%-75%	13	
Espacement des joints	60-200 mm	8	
Nature des discontinuités	Surfaces légèrement rugueuses épaisseur <1 mm épontes altérées	20	
Conditions hydraulique	Complètement sec	15	
Paramètres	description	note	RMR
Résistance de la roche	100<RC<250 MPa	12	77
RQD	50%-75%	13	
Espacement des joints	0.6-2 m	15	
Nature des discontinuités	Surfaces très rugueuses non continues épontes en contact épontes non altéré	30	
Conditions hydraulique	suintements	7	
Paramètres	description	note	RMR
Résistance de la roche	100<RC<250 MPa	12	65
RQD	50%-75%	13	
Espacement des joints	<60 mm	5	
Nature des discontinuités	Surfaces légèrement rugueuses épaisseur <1 mm épontes altérées	20	
Conditions hydraulique	Complètement sec	15	

Paramètres	description	note	RMR
Résistance de la roche	50<RC<100 MPa	7	49
RQD	75%-90%	17	
Espacement des joints	60-200 m	8	
Nature des discontinuités	Surfaces lustrées ou remplissage<5 mm ou joint ouvert 1à5 mm joints continus	10	
Conditions hydraulique	suintements	7	
Paramètres	description	note	RMR
Résistance de la roche	100<RC<250 MPa	12	70
RQD	50%-75%	13	
Espacement des joints	200-600 mm	10	
Nature des discontinuités	Surfaces légèrement rugueuses épaisseur <1 mm épontes altérées	20	
Conditions hydraulique	Complètement sec	15	
Paramètres	description	note	RMR
Résistance de la roche	50<RC<100 MPa	7	58
RQD	50%-75%	13	
Espacement des joints	60-200 mm	8	
Nature des discontinuités	Surfaces légèrement rugueuses épaisseur <1 mm épontes altérées	20	
Conditions hydraulique	suintements	10	
Paramètres	description	note	RMR
Résistance de la roche	50<RC<100 MPa	7	63
RQD	50%-75%	13	
Espacement des joints	60-200 mm	8	
Nature des discontinuités	Surfaces légèrement rugueuses épaisseur <1 mm épontes altérées	20	
Conditions hydraulique	Complètement sec	15	

- le RMR=12+3+8+20+15=68 (Station des Grottes, massif 01)
- le RMR=12+13+15+30+7=77 (Station des Grottes, massif 02)
- le RMR=12+13+5+20+15=65 (Station des Grottes, massif 03)
- le RMR=7+17+8+10+7=49 (Station des Grottes, massif 04)
- le RMR=12+13+10+20+15=70 (Station des Grottes, massif 05)
- le RMR=7+13+8+20+10=58 (Station des Grottes, massif 06)
- le RMR=7+13+8+20+15=63 (Station des Grottes, massif 07)

Nos résultats de calcul du RMR, montrent que les valeurs sont situées entre 61 et 80 ce qui implique que la station des Grottes présente un rocher de bonne qualité (classe II).

Les différents résultats des trois stations sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.7. Tableau récapitulatif des résultats de RMR

Stations	% Classe de RMR	RMR (valeur)	RMR globale	Observation
Les Falaises	41%-60%	58	59	Rocher moyen
	61%-80%	65		
	61%-80%	62		
	41%-60%	58		
	41%-60%	54		
	41%-60%	58		
	41%-60%	60		
Dar El Oued	61%-80%	62	66	Bon rocher
	81%-100%	84		
	61%-80%	62		
	41%-60%	60		
	61%-80%	63		
	61%-80%	63		
Les Grottes	61%-80%	68	64	Bon rocher
	61%-80%	77		
	61%-80%	65		
	41%-60%	49		
	61%-80%	70		
	41%-60%	58		
	61%-80%	63		

Le tableau V.7 montre que le massif rocheux des Falaises est de moyenne qualité avec une valeur moyenne du RMR égale 59, Alors que les deux autres stations sont de bonnes qualités.

II.3.Calcul du Système Q

✓ Station des Falaises

L'indice Système Q est calculé de la manière suivante :

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \dots\dots\dots(V.1)$$

$$Q = \frac{46}{12} \times \frac{3}{4} \times \frac{0.66}{5} = 0.4$$

(Station des Falaise, massif 01)

Les résultats de calculs du Système Q des trois stations sont présentés dans les tableaux V.8 , V.9.et V.10

Tableau V.8. Valeurs du Système Q de la station des Falaises

	Paramètres	description	note	Q
	Massif 01	RQD	25%-50%	46
Jn		Trois familles et des discontinuités dispersées	12	
Jr		Discontinuité rugueuse ou irrégulière et ondulée	3	
Ja		Enduit de minéraux faiblement frottant	4	
Jw		Pression ou débit moyen ; remplissage des discontinuités occasionnellement baigné	0.66	
SRF		Discontinuités ouvertes ; roche fortement fracturée	5	
Massif 02		Paramètres	description	note
	RQD	50%-75%	70	0.9
	Jn	Trois familles et des discontinuités dispersées	12	
	Jr	Discontinuité plane et rugueuse ou irrégulière	1.5	
	Ja	Epontes largement altérées ; enduit sans minéraux argileux ; mais avec des parties sableuses	2	
	Jw	Excavation hors d'eau ou avec un débit très faible	1	
	SRF	Discontinuités ouvertes ; roche fortement fracturée	5	
Massif 03	Paramètres	description	note	
	RQD	50%-75%	56	1.1
	Jn	Quatre familles et des discontinuités dispersées ; roche très densément fracturée	15	
	Jr	Discontinuité rugueuse ou irrégulière et ondulée	3	
	Ja	Epontes largement altérées ; enduit sans minéraux argileux ; mais avec des parties sableuses	2	
	Jw	Excavation hors d'eau ou avec un débit très faible	1	
	SRF	Discontinuités ouvertes ; roche fortement fracturée	5	

	Paramètres	description	note	Q
Massif 04	RQD	75%-90%	80	0.9
	Jn	Trois familles de discontinuités	9	
	Jr	Discontinuité plane et rugueuse ou irrégulière	1.5	
	Ja	Epontes largement altérées ; enduit sans minéraux argileux ; mais avec des parties sableuses	2	
	Jw	Pression ou débit moyen ; remplissage des discontinuités occasionnellement baigné	0.66	
	SRF	Discontinuités ouvertes ; roche fortement fracturée	5	
	Massif 05	Paramètres	description	
RQD		50%-75%	74	0.9
Jn		Trois familles et des discontinuités dispersées	12	
Jr		Discontinuité plane et rugueuse ou irrégulière	1.5	
Ja		Epontes largement altérées ; enduit sans minéraux argileux ; mais avec des parties sableuses	2	
Jw		Excavation hors d'eau ou avec un débit très faible	1	
SRF		Discontinuités ouvertes ; roche fortement fracturée	5	
Massif 06	Paramètres	description	note	
	RQD	25%-50%	28	0.7
	Jn	Trois familles et des discontinuités dispersées	12	
	Jr	Discontinuité rugueuse ou irrégulière et ondulée	3	
	Ja	Epontes largement altérées ; enduit sans minéraux argileux ; mais avec des parties sableuses	2	
	Jw	Excavation hors d'eau ou avec un débit très faible	1	
	SRF	Discontinuités ouvertes ; roche fortement fracturée	5	
Massif 07	Paramètres	description	note	
	RQD	50%-75%	55	1.4
	Jn	Deux familles de discontinuités	4	

	Jr	Discontinuité plane et rugueuse ou irrégulière	1.5
	Ja	Enduit silteux ou sableux faiblement argileux	3
	Jw	Excavation hors d'eau ou avec un débit très faible	1
	SRF	Discontinuités ouvertes ; roche fortement fracturée	5

Les résultats de calcul du Système Q de la station des Falaises, montrent qu'il est compris entre $0.1 < Q < 1$ ce qui implique un très mauvais rocher (classe E).

Les résultats des autres stations Dar El Oued et les Grottes sont résumés dans les tableaux V.9 et V.10.

✓ **Station de Dar El Oued**

Tableau V.9. Valeur du Système Q de la station de Dar El Oued

	Paramètres	description	note	Q
Massif 01	RQD	<25%	6	0.2
	Jn	Trois familles et des discontinuités dispersées	12	
	Jr	Discontinuité rugueuse ou irrégulière et ondulée	3	
	Ja	Epontes non altérées ; uniquement oxydées	1	
	Jw	Pression ou débit moyen ; remplissage des discontinuités occasionnellement baigné	0.66	
	SRF	Discontinuités ouvertes ; roche fortement fracturée	5	
	Massif 02	Paramètres	description	
RQD		75%-90%	90	
Jn		Quatre familles et des discontinuités dispersées ; roche très densément fracturée	15	
Jr		Discontinuité plane et rugueuse ou irrégulière	1.5	
Ja		Epontes non altérées ; uniquement oxydées	1	

	Jw	Excavation hors d'eau ou avec un débit très faible	1	
	SRF	Discontinuités ouvertes ; roche fortement fracturée	5	
Massif 03	Paramètres	description	note	Q
	RQD	50%-75%	74	2.5
	Jn	Trois familles de discontinuités	9	
	Jr	Discontinuité rugueuse ou irrégulière et ondulée	3	
	Ja	Epontes largement altérées ; enduit sans minéraux argileux ; mais avec des parties sableuses	2	
	Jw	Excavation hors d'eau ou avec un débit très faible	1	
	SRF	Discontinuités ouvertes ; roche fortement fracturée	5	
Massif 04	Paramètres	description	note	
	RQD	50%-75%	66	0.7
	Jn	Quatre familles et des discontinuités dispersées ; roche très densément fracturée	15	
	Jr	Discontinuité rugueuse ou irrégulière et ondulée	3	
	Ja	Epontes largement altérées ; enduit sans minéraux argileux ; mais avec des parties sableuses	2	
	Jw	Pression ou débit important dans une roche compétente sans remplissage dans les discontinuités	0.5	
	SRF	Discontinuités ouvertes ; roche fortement fracturée	5	
Massif 05	Paramètres	description	note	
	RQD	50%-75%	54	0.9
	Jn	Trois familles et des discontinuités dispersées	12	
	Jr	Discontinuité rugueuse ou irrégulière et ondulée	3	
	Ja	Enduit silt eux ou sableux faiblement argileux	3	
	Jw	Excavation hors d'eau ou avec un débit	1	

		très faible		
	SRF	Discontinuités ouvertes ; roche fortement fracturée	5	
Massif 06	Paramètres	description	note	Q
	RQD	75%-90%	83	1.4
	Jn	Trois familles de discontinuités	9	
	Jr	Discontinuité plane et rugueuse ou irrégulière	1.5	
	Ja	Épaves non altérées ; uniquement oxydées	1	
	Jw	Pression ou débit important dans une roche compétente sans remplissage dans les discontinuités	0.5	
	SRF	Discontinuités ouvertes ; roche fortement fracturée	5	

Les résultats de calcul du Système Q ($1 < Q < 4$) de la station de Dar El Oued montre que la masse est un mauvais rocher.

✓ **Station les Grottes**

Tableau V.10. Valeur du Système Q de la station des Grottes

Massif 01	Paramètres	description	note	Q
	RQD	50%-75%	74	1.2
	Jn	Trois familles et des discontinuités dispersées	12	
	Jr	Discontinuité plane et rugueuse ou irrégulière	1.5	
	Ja	Épaves non altérées ; uniquement oxydées	1	
	Jw	Excavation hors d'eau ou avec un débit très faible	1	
	SRF	Multiple zones de cisaillement dans une roche compétente sans argile	7.5	
Massif 02	Paramètres	description	note	
	RQD	90%-100%	92	1.5
	Jn	Trois familles et des discontinuités dispersées	12	
	Jr	Discontinuité plane et rugueuse ou irrégulière	1.5	

	Ja	Epontes non altérées ; uniquement oxydées	1	
	Jw	Excavation hors d'eau ou avec un débit très faible	1	
	SRF	Multiple zones de cisaillement dans une roche compétente sans argile	7.5	
Massif 03	Paramètres	description	note	Q
	RQD	90%-100%	95	2.4
	Jn	Trois familles et des discontinuités dispersées	12	
	Jr	Discontinuité rugueuse ou irrégulière et ondulée	3	
	Ja	Epontes largement altérées ; enduit sans minéraux argileux ; mais avec des parties sableuses	2	
	Jw	Excavation hors d'eau ou avec un débit très faible	1	
	SRF	Discontinuités ouvertes ; roche fortement fracturée	5	
Massif 04	Paramètres	description	note	
	RQD	75%-90%	77	0.5
	Jn	Quatre familles et des discontinuités dispersées ; roche très densément fracturée	15	
	Jr	Discontinuité plane et rugueuse ou irrégulière	1.5	
	Ja	Epontes largement altérées ; enduit sans minéraux argileux ; mais avec des parties sableuses	2	
	Jw	Excavation hors d'eau ou avec un débit très faible	1	
	SRF	Multiple zones de cisaillement dans une roche compétente sans argile	7.5	
Massif 05	Paramètres	description	note	
	RQD	90%-100%	92	3.1
	Jn	Trois familles de discontinuités	9	
	Jr	Discontinuité rugueuse ou irrégulière et ondulée	3	
	Ja	Epontes largement altérées ; enduit sans minéraux argileux ; mais avec des parties sableuses	2	
	Jw	Excavation hors d'eau ou avec un débit très faible	1	
	SRF	Discontinuités ouvertes ; roche fortement	5	

		fracturée		
Massif 06	Paramètres	description	note	Q
	RQD	50%-75%	58	3.9
	Jn	Trois familles de discontinuités	9	
	Jr	Discontinuité rugueuse ou irrégulière et ondulée	3	
	Ja	Épentes non altérées ; uniquement oxydées	1	
	Jw	Excavation hors d'eau ou avec un débit très faible	1	
	SRF	Discontinuités ouvertes ; roche fortement fracturée	5	
Massif 06	Paramètres	description	note	Q
	RQD	50%-75%	74	1.6
	Jn	Trois familles de discontinuités	9	
	Jr	Discontinuité plane et lisse	1	
	Ja	Épentes non altérées ; uniquement oxydées	1	
	Jw	Excavation hors d'eau ou avec un débit très faible	1	
	SRF	Discontinuités ouvertes ; roche fortement fracturée	5	

Les résultats de calcul du Système Q de la station des Grottes nous donnent $1 < Q < 4$ ce qui implique que le site présente un mauvais rocher.

Tableau V.11. *Tableau récapitulatif des résultats de calcul du Système Q des trois stations.*

Stations	% classe de Q	Q (valeur)	Q Moyen	Observation
Les Falaises	0.1-1	0.4	0.9	Très mauvais
	0.1-1	0.9		
	1-4	1.1		
	0.1-1	0.9		
	0.1-1	0.9		
	0.1-1	0.7		
	1-4	1.4		
Dar el Oued	0.1-1	0.2	1.3	mauvais
	1-4	1.8		
	10-40	2.5		
	0.1-1	0.7		
	0.1-1	0.9		
	1-4	1.4		
Les Grottes	0.1-1	1.2	2	mauvais
	1-4	1.5		
	1-4	2.4		
	0.1-1	0.5		
	1-4	3.1		
	1-4	3.9		
	1-4	1.6		

A partir des valeurs de l'indice Q calculées qui varient entre 0.9 et 4 dans les trois stations, nous pouvons déduire que les stations de Dar El Oued et celle des Grottes présentent de mauvaises qualités et appartiennent à la classe D, alors que la station des Falaises présente une qualité très mauvaise de classe E.

Les résultats des paramètres calculés RQD, RMR et Système Q des trois sites sont présentés sous forme d'histogramme en Figures V.1, V.2 et V.3.

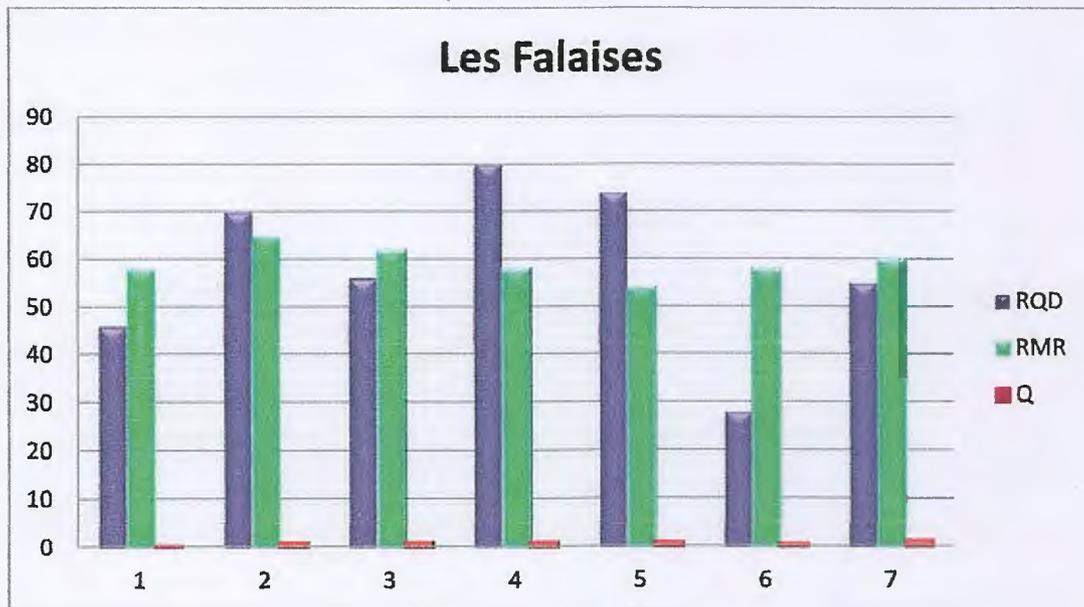


Figure V.1. Comparaison entre RQD, RMR et Q des sept massifs
(Station des Falaises)

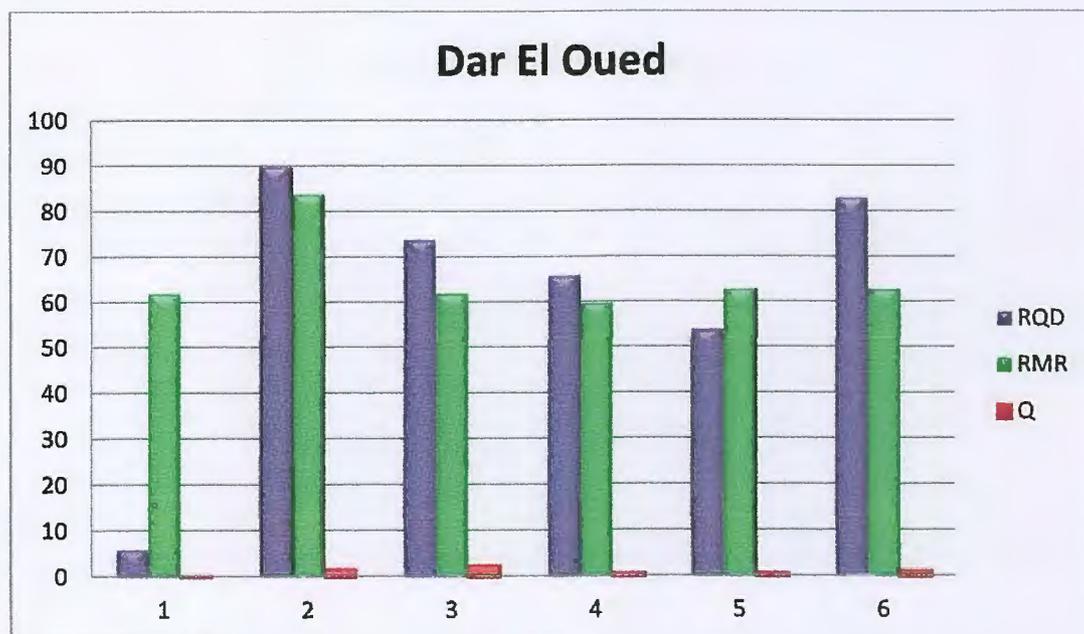


Figure V.2. Comparaison entre RQD, RMR et Q des six massifs
(Station de Dar El Oued)

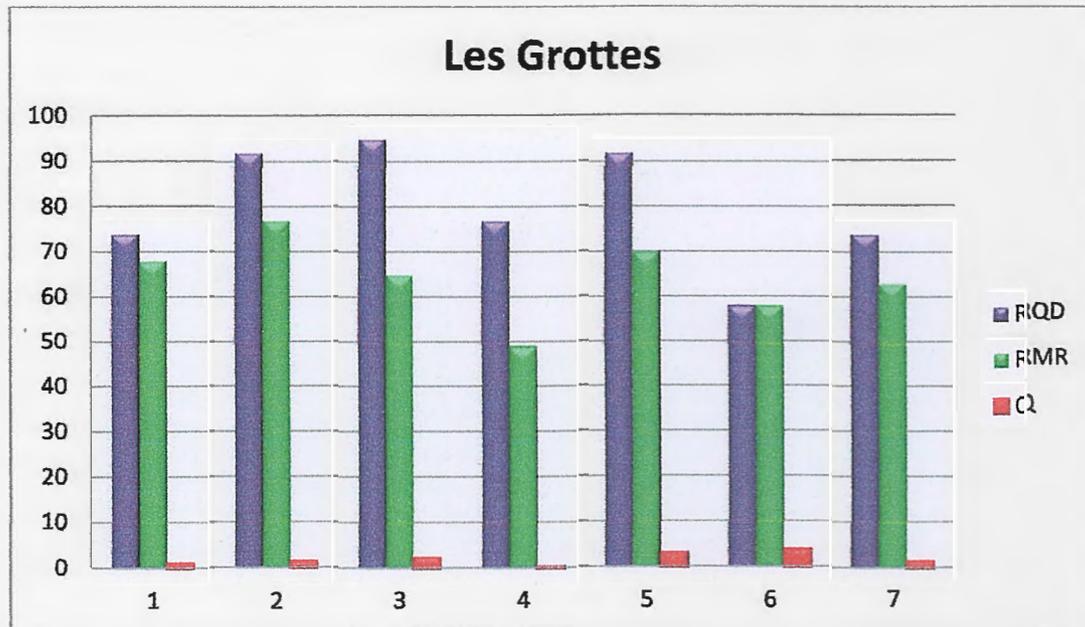


Figure V.3. Comparaison entre RQD, RMR et Q des sept massifs

(Station des Grottes)

II.4. Estimation de GSI

A partir d'observations directes de la structure du massif rocheux, en se basant sur le critère de Hoek et Brown, on détermine la valeur de GSI de chaque site d'étude.

A partir des résultats de la campagne d'observation, nous avons pu établir les chartes GSI de chaque site pour les différents faciès représentées sur les figures V.4, V.5 et V.6.

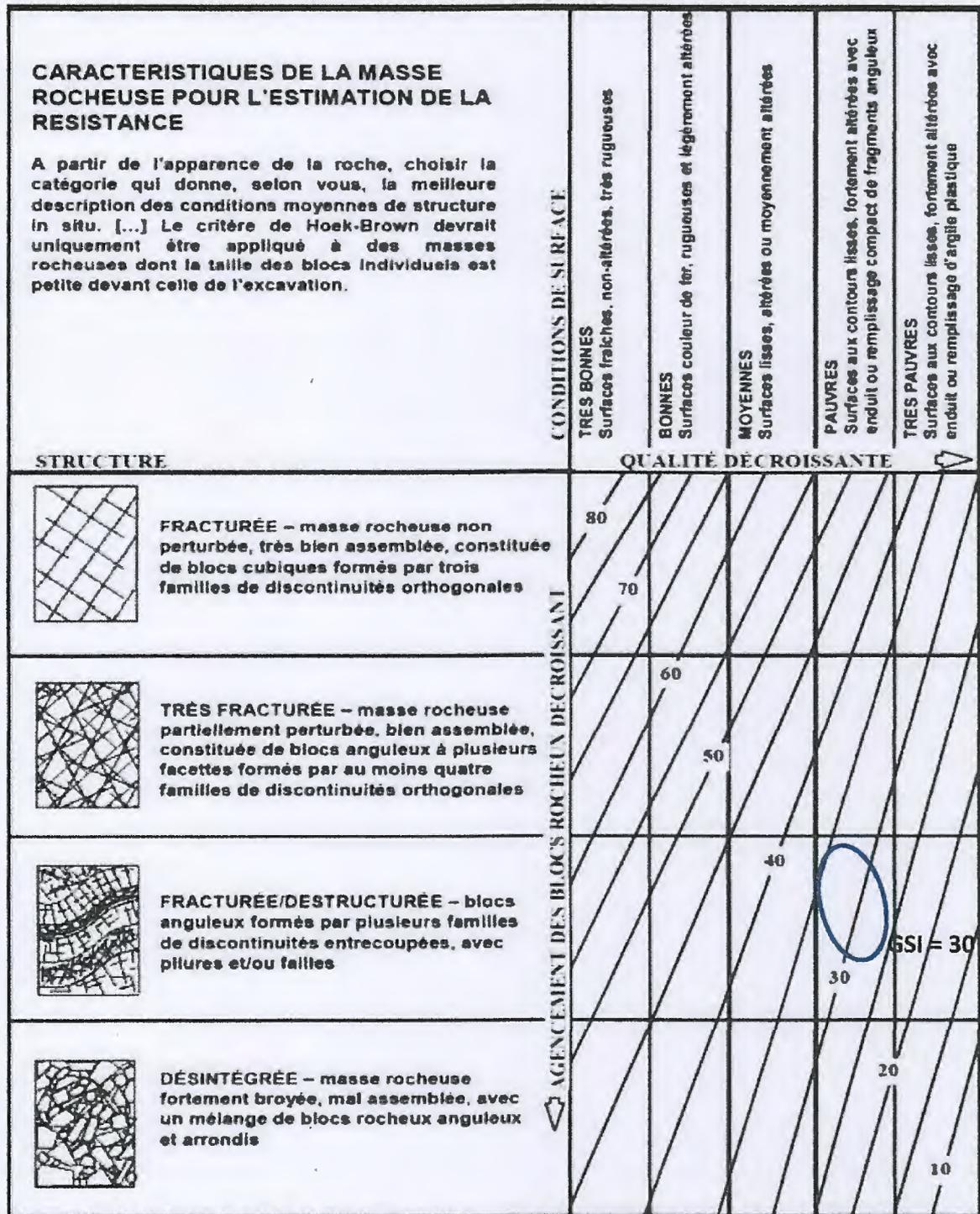


Figure V.4. Charte GSI des Falaises

D'après les chartes GSI des différents sites représentées en figure V.4, V.5 et V.6, on observe que la valeur du GSI des Falaises est comprise entre 21 et 40, le massif est ainsi classé de mauvaise qualité. On ce qui concerne les deux autres stations la valeur du GSI est comprise entre 56 et 75 caractérisant des roches de bonne qualité.

III. Conclusion

Notre étude nous a permis de définir les différents paramètres de classification des trois sites d'étude à savoir les Falaises, Dar El Oued et les Grottes le long de la RN 43.

Les résultats obtenus montrent que le site des Falaises est caractérisé par des massifs rocheux de qualité moyenne à mauvaise, les deux autres sites étudiés présentent un massif de qualité bonne à moyenne.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale

Tout talus quelque soit sa topographique et sa morphologie peut présenter des risques de ruptures et causer des désagréments potentiels pour la sécurité des biens et des humains. Ainsi l'enjeu réel réside dans le fait de pouvoir procéder à un diagnostic authentique capable de parvenir à la maîtrise du phénomène de rupture du talus quelques soient les conditions naturelles.

D'emblée, et avant de procéder à la caractérisation du massif rocheux et à sa classification selon les systèmes internationaux reconnus, il faut d'abord procéder ce travail par un recueil d'information constituant une banque d'information concernant la lithologie, la structure la géomorphologie, les conditions hydrauliques du talus et du massif rocheux.

Tous ces renseignements de terrain serviront de points d'appui de départ pour l'application des systèmes de classification des massifs rocheux.

Ceci a été le cas concret dans ce manuscrit où nous avons procédé au diagnostic géomécanique des massifs rocheux au niveau des trois sites le long de la RN n° 43 entre El Aouana et Béjaia, à savoir les sites des Falaises, Dar El Oued et le site dit les grottes merveilleuses.

L'objectif principal de notre travail est de caractériser les massifs, appliquer les systèmes de classification pour classer ces massifs faisant valoir sa qualité géomécanique.

Se basant sur les observations de terrains et la l'analyse des données requises, nous avons pu mettre en évidence que le comportement mécanique d'un massif rocheux dépend énormément de la structure géométrique, des discontinuités ainsi que leurs propriétés mécaniques et de la matrice rocheuse.

Le massif rocheux de la corniche jijelienne le long de la RN 43 est caractérisé par deux mouvements de masse potentielle assortie d'enjeux et risques à savoir

- ✓ les chutes de blocs
- ✓ les glissements de terrain le long des pentes abruptes.
- ✓ l'isolement des populations le long de la corniche

Grace aux systèmes de classification géomécanique (RQD, RMR, Q, GSI), on a pu estimer que la zone des falaises est classée moyenne à médiocre, ce qui implique une forte incidence des chutes de blocs et les dommages associés.

La géologie de ce site montre une structure en lanière des talus verticaux à l'aplomb du rivage marin et de la RN 43.

Par contre les sites de Dar El Oued et celui des Grottes, présentent des massifs rocheux plutôt de bonne qualité à moyenne en général mais sujets à une détérioration de sa qualité géomécanique sous l'influence permanente des aléas naturels tels les ruissellements, la dissolution active des carbonates, l'influence de la mer, les travaux d'élargissement et ou d'ouverture de chaussé.

A partir des résultats de notre étude, nous recommandons certaines suggestions capables de minimiser les risques de rupture de blocs et protéger la route concernée et dissiper l'enjeu qui pèse sur la région qui aura pour effet la paralysie totale du trafic.

Parmi ces suggestions :

- ✓ procéder à une étude détaillée et systématique des aléas et risques au niveau des trois sites ;
- ✓ définir les relations la pente et la qualité du massif et se prononcer sur les éventuels types de glissements plans ou dièdre en cas de chutes de blocs ;
- ✓ une étude de stabilité de ces massifs rocheux par le logiciel Rockfall ou autre ;
- ✓ placer des écrans pare-blocs ;
- ✓ placer des soutènements nécessaires aux lieux et sites définis ;
- ✓ la mise en place du béton projeté à l'endroit des zones fracturées et fragmentées ;
- ✓ réaliser un système de drainage profond.

**RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES**

Références bibliographiques

- Barton, N, R. Lien, et al**, "Engineering classification of rock masses for the design of rock support." *Rock Mechanics* 6(189-236)(1974).
- Bieniawski, Z. T**, "Engineering classification of jointed rock masses." *Trans. S. Afr. Instn. Civil Engrs.* 15(12): 335-344 ,(1973).
- Bieniawski, Z. T**, "Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering". New York John Wiley and Sons,(1989).
- Boudy, P**, "Guide du forestier en Afrique du nord. Ed. Maison Rustique". Paris ,505p,(1952)
- Bockel, M.**, " Structure de la croûte terrestre en Algérie d'après les ondes sismiques", *Annali di Geofisica*, Vol. XXV, n. 3,(1972).
- Bouillin, JP, Durand Delga, M, Olivier, P** "Betic–Rifian and Tyrrhenian arcs: distinctive features, genesis and development stages". In: Wezel, FC. (éd.) *The Origin of Arcs*, Elsevier Sci, New York, pp. 281–304, (1986)
- Chalhoub M**, «Apport des méthodes d'homogénéisation numérique à la classification des massifs rocheux fracturés », Thèse de doctorat 2006, Ecole Nationale des mines de Paris, spécialité géologie de l'ingénieur 206 pages,(2006)
- Deere D.U**, "Technical description of rock cores for engineering purposes". *Rock mechanics and rock engineering*, vol1, pp, 17-22. (1964).
- Deere, D. U. A. J. Hendron, et al**, *Design of surface and near surface constructions in rock*. Proc. 8 th U.S. Symp. Rock Mechanics. C. Fairhurst, New York: AIME: 237-302. (1967).
- Deere, D. U**, "Geological considerations. *Rock Mechanics in Engineering Practice*". R. G. Stagg and D. C. Zienkiewicz. Wiley, New York: 1-20. (1968).
- Edelbro, C.Rock**, "mass strength - a review. Technical Report", Lulea University of Technology: 130, (2003).
- Hoek E, Kaiser PK, Bawden WF.** , "Support of underground excavations in hard rock". Rotterdam: A.A. Balkema; (1995).
- Hoek E, Brown ET**, " Practical estimates of rock mass strength. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts* "34(8):1165e86. (1997).
- Leikine M, Obert D, Bellier JP** "Intégration des Elabors aux nappes telliennes, existence d'un métamorphisme anté-nappe". *Bull. Soc. Géol. France* 17: 764–772. (1975)

- Maciej A.**, « Modification des classifications mécaniques pour les massifs rocheux schisteux », Thèse de maîtrise des sciences appliquées de l'université de Montréal, spécialité génie minier, 163 pages,(2012) .
- Obert.D.**, "Etude géologique des balters orientaux (domaine tellien, Algérie) Ph.D. thesis, university of Paris 6, Paris, France(1981).
- Palmstrom, A.** "The volumetric joint count - A useful and simple measure of the degree of jointing". Proceedings of the 4th International Congress IAEG. New Delhi, India. 5: 221- 228,(1982).
- Priest, S. D. and J. A. Hudson**, "Discontinuity spacings in rock". Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 13(5): 135-148, (1976).
- Yellas C, Benzaid R.**, "Geological context and Fracturing State of The Rock Massifs of the jijelien ledge (Northeast Algéria)", Recent Advances in Géo-Environmental Engineering, Geomechanics and Geotechnics, and Geohazards, proceedings of the 1st Springer Conference of the Arabian Journal of Geosciences (CAJG-1), pp 149- 152, (2018)
- Yelles-Chaouche, A.K., Djellit, H., Beldjoudi, H., Bezzeghoud, M. and Buforn, E.**, The Ain Temouchent (Algeria) earthquake of December 22nd, Pure Appl.Geophys. 161,,607–621,(1999)
- Yellas.C.**, "Etude géologique et géotechnique du Tunnel de Oued Dar-El-Oued (GrottesMerveilleuses) Wilaya de Jijel", Mémoire de Magister, Université de Jijel- Algérie ,(2008).
- Zhao J.**, « Propriétés des discontinuités », part 3, cours de mécanique des roches, L'école polytechnique fédérale de Lausanne ,(2008).

ANNEXES

Paramètres de la classification du système Q

(1) Description de la fracturation	RQD
A. Très forte	0-25
B. Forte	25-50
C. Moyenne	50-75
D. Faible	75-90
E. Très faible	90-100

(2) Nombre de famille de discontinuités	Jn
A. Roche massive, pas ou peu de fracture	0.5 -1
B. Une famille de discontinuités	2
C. Une famille de discontinuités et des discontinuités dispersées	3
D. Deux familles de discontinuités	4
E. Deux familles et des discontinuités dispersées	6
F. Trois familles de discontinuités	9
G. Trois familles et des discontinuités dispersées	12
H. Quatre (ou plus) familles et des discontinuités dispersées , roche très densément fracturée en (morceaux de sucre)	15
I. Roche broyée	20

(3) Rugosité des discontinuités	Jr
(b) Les deux épontes sont en contact (10cm)	
A. Discontinuités non persistante	4
B. Discontinuités rugueuse ou irrégulière et ondulée	3
C. Discontinuités lisse et ondulée	2
D. Discontinuités lisse et ondulés avec grissement en surface ondulée	1.5
E. Discontinuités plane et rugueuse ou irrégulière	1.5
F. Discontinuités plane et lisse	1.0

G. Discontinuités lissée et plane	0.5
(b) Les deux épontes ne sont pas en contact	
H. Discontinuités avec un remplissage argileux	1.0
I. Discontinuités avec un remplissage sableux graveleux ou de roche broyée	1.0

(A) Altération de la discontinuité	Ja	(φ) approximatif
(a) Contacte entre les deux épontes		
A. Remplissage imperméable, résistant fortement consolidé	0.75	-
B. Epontes non altérées ,uniquement oxydées	1	25°-35°
C. Epontes largement altérées , enduit sans minéraux argileux ,mais avec des parties sableuses	2	20°-30°
D. Enduit silteux ou sableux faiblement argileux	3	20°-25°
E. Enduit de minéraux faiblement frottant c'est -à dire kaolinite ,mica ,gypse chiante ,talc, graphite ...avec une petite quantité d'argiles gonflantes	4	8°-16°
(b) Epontes rocheuse restant en contact après un léger cisaillement (10cm)		
F. Roche désintégrée ,avec des parties sableuses mais sans argile	4	25°-30°
G. Remplissage argileux fortement surconsolidé	6	16°-24°
H. Remplissage argileux faiblement à moyennement sur-consolidé	8	12°-16°
I. Remplissage argileux avec minéraux gonflant exemple : montmorillonite, la valeur de Ja dépend du pourcentage de minéraux expansif et des conditions d'hydratation	8-12	6°-12°

(c) Les épontes ne sont pas en contact		
K ,L,M . Zones ou bandes de roche désintégrée ou broyée avec des conditions d'argile identiques aux cas G ,H et I	6	6°-24°
	8	
N. Zones ou bandes de matériau silteux ,ou sableux avec une faible teneur en argile	5	//
OP et R Zones ou bandes de matériau épaisses avec des conditions sur les minéraux identiques aux cas G, H et I	10-13	//
	6-24	

(5) Effet de l'eau	JW	Pression d'eau (pa)
A. Excavation hors d'eau ou avec un débit très faible (5(l / mn)) localement	1,0	$< 9,8 \cdot 10^5$
B. Pression ou débit moyen, remplissage des discontinuités occasionnellement baigné	0,66	$9,8 \cdot 10^5 - 2,5 \cdot 10^5$
C. Pression ou débit important dans une roche compétente sans remplissage dans les discontinuités	0,5	$2,5 \cdot 10^5 - 9,8 \cdot 10^5$
D. Pression ou débit important remplissage largement baignés	0,33	$> 9,8 \cdot 10^5$
E. Pression ou débit exceptionnellement élevé au moment de l'abattage puis diminuant avec le temps	0,2-0,1	$> 9,8 \cdot 10^5$
F. Pression ou débit exceptionnellement élevé restant constant dans le temps	0,1-0,05	$> 9,8 \cdot 10^5$

(6) Facteur de contrainte	σ_c / σ_1	σ_t / σ_1	SRF
(a) Ouvrage souterrain rencontrant des zones altérées susceptibles d'induire des instabilités de masses rocheuses lors de l'excavation			
A .Multiples zones d'altération contenant des argiles ou du matériau chimiquement dégradé	.	.	10 ,0

B. une zone d'altération isolée contenant des argiles ou du matériau chimiquement dégradé, à une profondeur <50m	.	.	5,0
C. Idem mais profondeur >50m	.	.	2,5
D. Multiple zones de cisaillement isolée dans une roche compétente sans argile	.	.	7,5
E. Zone de cisaillement isolée dans une roche compétente, sans argile, profondeur <50m	.	.	5,0
F. Idem mais profondeur >50m	.	.	2,5
G. Discontinuité ouvert, roche fortement fracturée	.	.	5,0
(b) Roches compétentes- Etat de contrainte			
H. Faible contrainte, faible profondeur	>200	>13	2,5
I. Contrainte moyenne	10-200	0,66-13	1,0
J. Contrainte importante, structure fortement comprimée	5-10	0,33-0,66	0,5-2
K. Ecaillage moyen	2,5-5	0,16-0,33	5-10
L. Ecaillage important	<2,5	<0,16	10-20
(c) Roches poussantes, déformation importantes			
M. Pression de déformation moyenne	.	.	5-11
N. Pression de déformation élevée	.	.	10-20
(d) Roches gonflantes			
M. Pression de gonflante moyenne	.	.	5-10
N. Pression de gonflante élevée	.	.	10,15

Résumé

Résumé

La plupart des mouvements de terrain sont dus à l'instabilité des roches, ce phénomène naturel présente un risque pour les biens et les personnes. Les propriétés du massif rocheux influent directement sur le type de mouvement. Une étude géologique et géotechnique est nécessaire pour caractériser et classer un massif rocheux.

Notre travail concerne une caractérisation et classification du massif rocheux et montagneux d'un tronçon de la RN43 reliant les Falaises, Dar El Oued et les Grottes merveilleuses (w.de Jijel) à Bejaia. Les systèmes de classification géomécanique tels que le RQD RMR Système Q et le GSI ont été utilisés afin de déterminer la qualité des roches de ce massif qui représente des problèmes et des dangers qui menacent la route RN43.

Les résultats obtenus montre que la zone des falaises est classée moyenne à médiocre ce qui implique une forte incidence des chutes de blocs et les dommages associés. Par contre les sites de Dar El Oued et des Grottes, présentent des massifs rocheux plutôt de bonne à moyenne qualité.

Mots clés : massif rocheux, discontinuités, RQD, RMR, Système Q, GSI.

Abstract

Most ground movements are due to the instability of the rocks, this natural phenomenon poses a risk to people and property. The properties of the rock mass directly affect the type of movement. A geological and geotechnical study is needed to characterize and classify a rock mass.

Our work concerns a characterization and classification of the rocky and mountainous mass of a section of the RN 43 connecting the Cliffs, Dar El-Oued and the Wonderful Caves (W. de Jijel) in Bejaia. Geomechanical classification systems such as the RQD, CMA, Q system and the GSI were used to determine the rock quality of this massif, which represents problems and hazards that threaten the RN43 highway.

The results obtained show that the Cliffs area is classified as average to mediocre, which implies a high incidence of block falls and the associated damages. On the other hand, the sites of Dar El-Oued and the Caves, have rock masses rather good to average quality.

Key words: rock mass, discontinuities, RQD, RMR, Q System, GSI.

المخلص

معظم الانزلاقات الارضية ناتجة عن عدم استقرارية الصخور وهذه الظواهر الطبيعية تمثل خطرا حقيقيا على الاشخاص والممتلكات وبما ان الخصائص الجيوميكانيكية للصخور لها تأثير مباشر على طبيعة تركيبة الارض لهذا السبب يجب القيام بدراسة جيولوجية جيوتقنية نستطيع من خلالها تصنيف جميع الكتل الصخرية ان بحثنا هذا يندمج في هذا الاطار ويخص الطريق الوطني رقم 43 الرابط بين العوانة و بجاية نخص منها صخور المطلة على الطريق في اماكن ثلاثة وادار الواد الكهوف العجيبة -و الجرف

ان انظمة التصنيف RQD, RMR, Q, GSI تستعمل لضمان الخصائص الملانمة المطابقة لسلامة و استقرار الكتل الصخرية ان النتائج المتحصل عليها من خلال دراستنا هذه اثبتت ان صخور منطقة واد دار الواد و منطقة الكهوف العجيبة تعتبر ذات الخصائص و النوعية الجيدة اما صخور منطقة الجرف تصنف ضمن النوعية المتوسطة الى رديئة قد تشكل خطر الانهيار و الخسائر الناتجة عن ذلك

الكلمات المفتاحية: الكتل الصخرية، عدم الاستمرارية، RQD, RMR, Q, GSI.