

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل

Université Mohammed Seddik Benyahia - Jijel

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



كلية علوم الطبيعة والحياة
قسم: علوم الأرض والكون

Mémoire de fin d'études

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

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

Thème

**Caractérisation et classification géomécanique des
massifs rocheux, situés entre El Aouana et les Aftis
Wilaya de Jijel**

Membres de Jury

Président : Dr. Tekkouk Mustapha
Examineur : Mme Tebib Houria
Encadrant : Mme Yellas chahra
Pr. Benzaid Riad

Présenté par :

Zaabat Roumaissa
Lecheheb Ahlem

Année Universitaire 2019-2020

Numéro d'ordre (bibliothèque) :

Remerciement

*Au nom de Dieu le Clément, le Miséricordieux.
Avant tout, on remercie Allah en premier lieu Dieu
tout-puissant qui nous donné la force et la volonté de
continuer à travailler sérieusement et arriver à finir ce
travail en bon état*

*On remercie infiniment mes encadrant Madame
Yellas Chahra qui nous proposé ce sujet de ce genre,
Merci pour nous avoir encadré, suivi et orienté pendant cet
année, on remercie également monsieur R. Bengaid*

*On remercie aussi les membres de jury monsieur Tebkouk
Mostapha et madame Tebib qui ont accepté d'évaluer notre
travail.*

*On désire aussi remercier monsieur Beghoul Mahmoud
et monsieur Rouibha Youcef qui ont contribué au succès
de stage*

*On remerciement spécialement mes parents, pour leur
soutien constant et leurs encouragements*

Roumaïssa et Ahlem

Dédicace

A

*Mon très cher père « Djelloul » que dieu l'accueille dans
son vaste paradis*

Je voulais tout que tu sois présent

*Ma très chère mère « Rahima » que dieu la protège et
la garde parmi nous longue vie maman*

A

*Mes sœurs « Manel, Asma, Ahlem et Taboua » et
unique frère « Moussa »*

Que dieu vous bénisse

A

Ma camarade de travail « Ahlem » bon chance

A

*Tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin, surtout oncle
« abd el rezak et boudjemaa » à mon fiancé « Nasro »*

Qu'Allah vous guide

Je dédie ce modeste travail

Roumaïssa

Dédicaces

Je dédie modeste travail :

*A Ma chère mère Djailila et à mon cher père
Mohammed*

A Mes chères soeurs :

*Nassira , Soraya, Malika, Fatima, Nadjet, Saïda ,
et Nada*

Spécial dédicaces à mon frère Abd Elrezzak

A mes neveux et nièces :

*Ossama, Isshak, Asma, Chourouk ,
Walid, Yacer, El Mouatag Billah , Ad,
Assil, Atihal*

A mon fiancé Tarek

A Mes chères amies en particulier :

Doma, Roumaïssa , Khadija

*A Tous les étudiants (e) en master 2 géologie de
l'ingénieur et géotechniques*

Ahlem

Table des matières

Remerciement	
Dédicace	
Introduction Générale	1
CHAPITRE I : GENERALITES	
I. Introduction	2
I.1. Cadre géologique	2
I.2. Situation géographique et administrative de la wilaya de Jijel	3
I.3. Géomorphologie de la région de Jijel	4
I.3.1. Relief	4
I.3.2. Les pentes	4
I.4. Climatologie	5
I.5. Végétation	5
I.6. Orographie	5
I.7. Réseau hydrographique	6
I.8. Sismicité	7
II. Conclusion	8
CHAPITRE II : CADRE GEOLOGIQUE	
I. Introduction	9
II. Géologie régionale	9
II.1. Domaine interne	9
II.1.1. Socle kabyle	9
II.1.2. Dorsale kabyle	10
II.2. Domaine des flysch	10
II.2.1. Flysch Mauritanien	10
II.2.2. Flysch Massylien	11
II.2.3. Flysch Numidien	11
II.3. Domaine externe	12
II.3.1. Les unités ultra- telliennes	12
II.3.2. Les unités telliennes	12
II.3.3. Les unités péni-tellienne	12
III. Géologie locale	12
III.1. présentation de la chaîne des Babors	13
III.2. Site d'El Aouana	15
III.3. Site des Aftis	16
IV. Conclusion	19
CHAPITRE III : SYNTHESE HYDRO –CLIMATOLOGIQUE	
I. Introduction	20
II. Hydro- climatologie	20
II.1. Aperçu générale sur le climat	20
II.1.1. Aperçu climatique de la région de Jijel	20
II.2. Analyse des paramètres climatiques	21
II.2.1. Précipitation	21
II.2.2. Température de l'air	23
II.2.3. Diagramme ombro-thermique de BAGNOULS et GAUSSEN	24

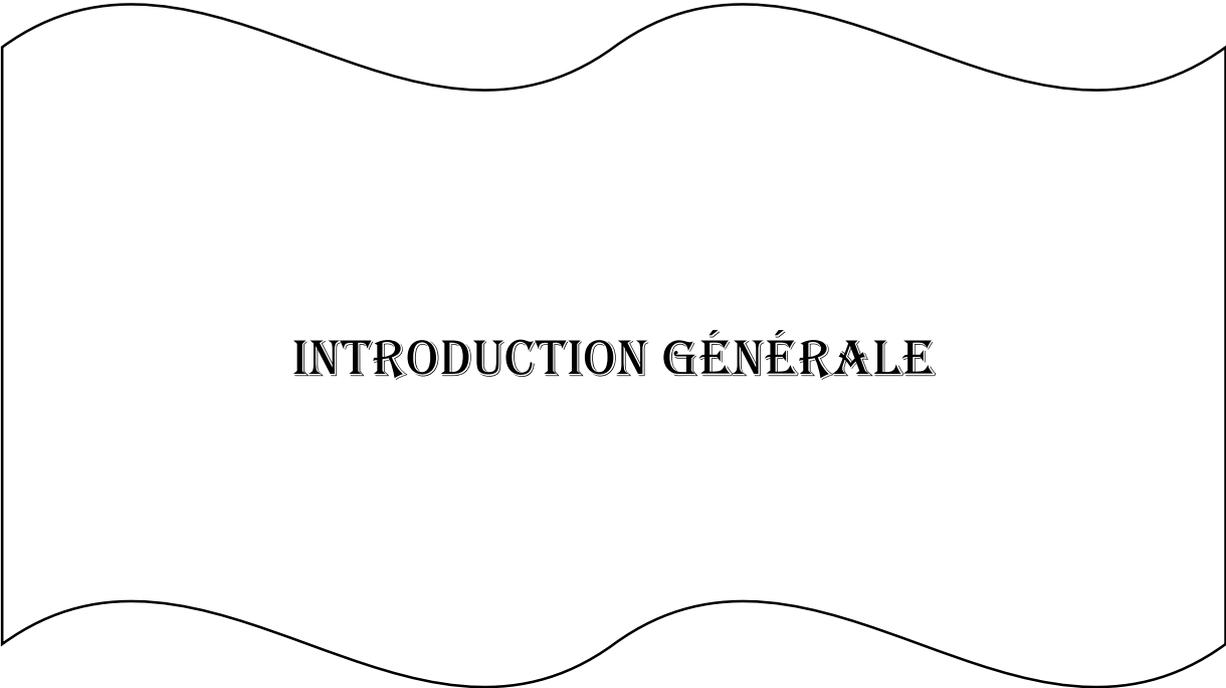
II.3. Bilan hydrologique	24
II.3.1. Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP)	25
II.3.2. Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR)	26
II.3.2.1. Calcul de l'ETR	26
II.3.2.2. Calcul du Déficit agricole(Da)	27
II.3.3. Interprétation du bilan hydrique de Thornthwaite	28
II.3.4. Estimation du ruissellement et de l'infiltration	28
II.3.4.1. Ruissellement	29
II.3.4.2. Infiltration	29
III. Conclusion	30
CHAPITRE IV : METHODE DE CLASSIFICATION DES MASSIFS ROCHEUX	
I. Introduction	31
II. Caractérisation du massif rocheux	31
II.1. Structure géométrique des massifs rocheux	31
II.2. Discontinuité du massif rocheux	32
II.2.1. Les type de discontinuité	32
II.2.2. Paramètre caractérisent les discontinuité	32
II.3. Type géotechnique de la roche	33
II.4. Les propriétés physico-mécanique des roches	34
III. Systèmes de classification des massifs rocheux	34
III.1. Types des systèmes de classification	34
III.2. Buts des systèmes de classification	34
III.3. Différents systèmes de classification	35
III.3.1. Indice de qualité de la roche (RQD)	35
III.3.2. Indice dévaluation de la masse rocheux (RMR)	36
III.3.3. Le Q-système	40
III.3.4. Indice de la résistance géologique (GSI)	41
III.4. Les limites des différents systèmes de classification	44
III.4.1. Limites du système (RQD)	44
III.4.2. Limitation du système (RMR)	44
III.4.3. Limitation du système (Q)	45
IV. Corrélation entre les différentes méthodes de classification	45
V. Commentaires sur les système de classification	46
VI. Conclusion	47
CHAPITRE V : RESULTATS ET DISCUSSIONS	
I. Introduction	48
II. Exemple de calcul des différents paramètre géométrique	48
II.1. Calcul de RQD	48
II.2. Calcul de RMR	49
II.3. Calcul du système Q	56
II.4. Estimation de GSI	64
III. Conclusion	68
Conclusion Générale	69
Référence bibliographique	71

Liste des figures

CHAPITRE I		
Figure I.1	Contexte géologique de la région de Jijel (H. Djellit. 1987)	2
Figure I.2	Localisation géographique du tronçon d'étude sur la carte topographique BOUGIE (NJ 31-16) au 1/250000	3
Figure I.3	La carte des pentes du tronçon d'étude à partir de MNT	4
Figure I.4	Réseau hydrographique de la wilaya de Jijel (A.N.R.H. 2012)	6
Figure I.5	Carte de zonage sismique du territoire national (D'après le RPA 99 version 2008)	8
CHAPITRE II		
Figure II.1	Principaux faciès des flyschs créacés et tertiaires du petit kabyle occidental Jijel Yellas, 2018	11
Figure II.2	Coupe géologique montrant les structures baboriennes aux confins du complexe endogène	13
Figure II.3	Roche magmatique qui caractérisé le site d'El Aouana	15
Figure II.4	Différent discontinuité dans le massif et l'intensité de fracturation	15
Figure II.5	Plan horizontale et verticale de discontinuité	16
Figure II.6	Photos illustrant la micro diorite au niveau des Aftis	17
Figure II.7	Les enclaves au niveau des Aftis	17
Figure II.8	Calcaires de la région d'Aftis	18
Figure II.9	Fracturation intense au niveau des Aftis	19
CHAPITRE III		
Figure III.1	Carte pluviométrique de la wilaya de Jijel (ANRH, 1996)	21
Figure III.2	Répartition des précipitation moyennes mensuelles (2002-2015, Station EL- Agrem)	22
Figure III.3	Températures moyennes mensuelles (2002-2015, Station EL-Agrem)	23
Figure III.4	Diagramme Ombrothermique durant la période 2002-2015 Station EL-Agrem	24
Figure III.5	Diagramme du bilan hydrique Station EL-Agrem (2002-2015)	28
CHAPITRE IV		
Figure IV.1	Structure géométrique d'un massif rocheux	31
Figure IV.2	Illustration graphique des paramètre de caractérisation du RMR (Chalhoub, 2006)	37
Figure IV.3	Estimation du GSI à partir d'une description géologique de la masse rocheuse d'après Hoek etBrown (1995)	43
CHAPITRE V		
Figure V.1	Comparaison entre RQD, RMR et Q des sept massifs (Station d'EL-Aouana)	63
Figure V.2	Comparaison entre RQD, RMR et Q des sept massifs (station Aftis01)	63
Figure V.3	Comparaison entre RQD, RMR et Q des sept massifs (station Aftis02)	64
Figure V.4	Charte GSI station d'EL-Aouana	65
Figure V.5	Charte GSI station des Aftis01	66
Figure V.6	Charte GSI station des Aftis 02	67

Liste des Tableaux

CHAPITRE III		
Tableau III.1	Précipitations mensuelles durant la période 2002-2015 station EL-Agrem	22
Tableau III.2	Température moyennes mensuelles durant la période 2002-2015 Station EL- Agrem	23
Tableau III.3	Calcul de l'évapotranspiration potentielle selon Thornthwaite durant la période 2002-2015 Station EL-Agrem	26
Tableau III.4	Bilan hydrique a la station EL-Agrem (2002-2015)	27
CHAPITRE IV		
Tableau IV.1	Corrélation entre l'indice RQD et la qualité du massif rocheux	35
Tableau IV.2	Classification du RMR (Bieniawski, 1989)	39
Tableau IV.3	Classe de rocher suivant la classification de Z. Bieniawski après application de la note d'ajustement	39
Tableau IV. 4	Classification de massif en fonction de la valeur Q (Maciej, 2012)	40
Tableau IV.5	Qualité du massif rocheux selon la du GSI (Chelhoub, 2006)	41
CHAPITRE V		
Tableau IV.1	Classification RQD globale des sept massifs station d'EL- Aouana (Deere, 1968)	48
Tableau IV.2	Classification RQD globale des sept massifs station des Aftis 01	49
Tableau IV.3	Classification RQD globale des sept massifs station des Aftis 02	49
Tableau IV.4	Valeur de RMR de la station d'EL-Aouana	50
Tableau IV.5	Valeur de RMR de la station Aftis 01	52
Tableau IV.6	Valeur de RMR de la station Aftis 02	53
Tableau IV.7	Récapitulatif des résultats de RMR	55
Tableau IV.8	Valeur du système Q de la station d'EL-Aouana	56
Tableau IV.9	Valeur du système Q de la station Aftis 01	58
Tableau IV.10	Valeur du système Q de la station Aftis 02	60
Tableau IV.11	Récapitulatif des résultats des calculs du système Q des trois stations	62



INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

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 (El Aouana, Aftis 1 et Aftis 2) 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, système Q et indice de résistance géologique GSI, 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.

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

Introduction générale

Chapitre I. Généralités

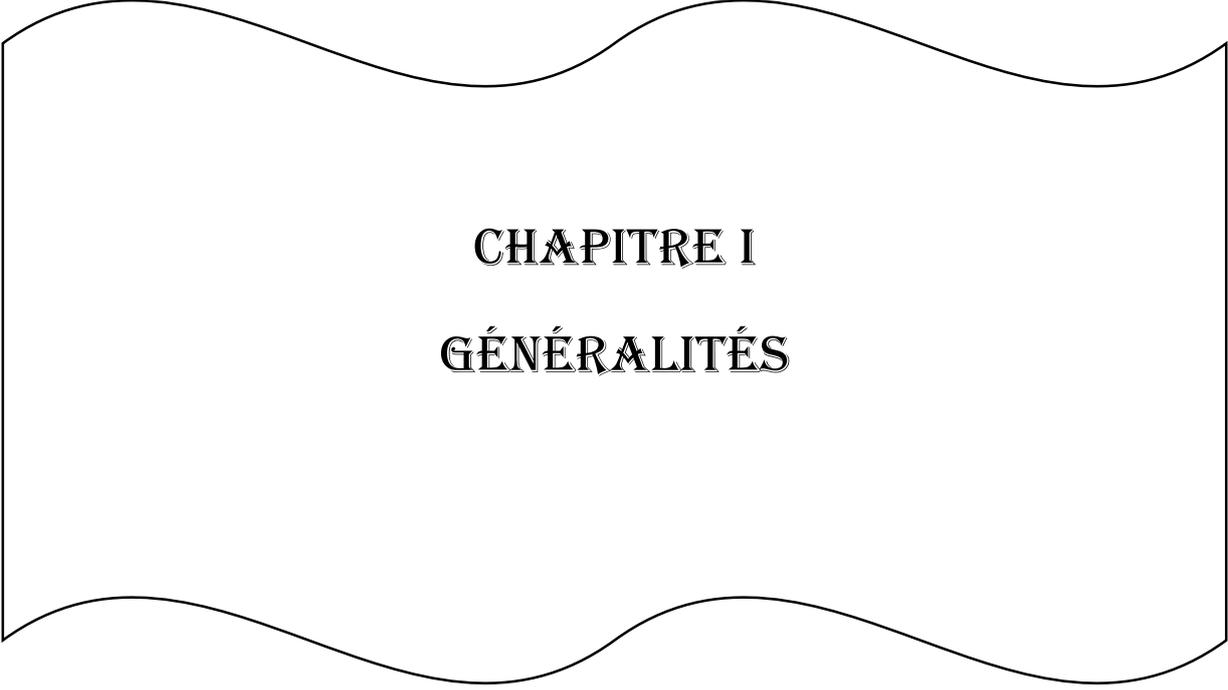
Chapitre II. Cadre géologique

Chapitre III. Synthèse hydro-climatologique

Chapitre IV. Méthode de classification des massifs rocheux

Chapitre V. résultats et discussion

Conclusion générale



CHAPITRE I
GÉNÉRALITÉS

I. Introduction

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

I.1. Cadre géologique

Le territoire de la région de Jijel présente une géologie assez variée qui résulte de l'action de la tectonique tertiaire. L'analyse des cartes géologiques permet de distinguer plusieurs unités qui appartiennent à des domaines géologiques bien distincts (H.Djellit 1987) (Figure I.1).

- Le domaine externe, représenté par les unités des Babors et de Djemila ;
- Le domaine des flyschs, représenté par la nappe de Guerrouch, et numidienne de Jijel ;
- Le domaine interne, représenté par les affleurements du socle kabyle ;
- Le domaine post nappe, représenté par l'époinçonnement magmatique d'El Aouana.

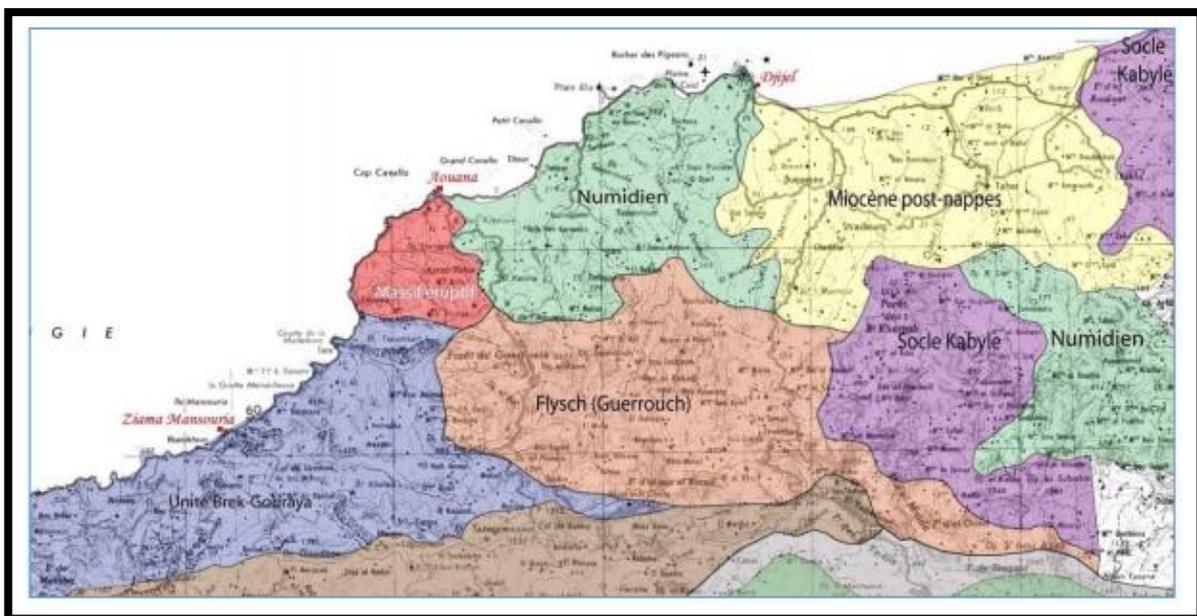


Figure.I.1. Contexte géologique de la région de Jijel (H. Djellit 1987)

I.2. Situation géographique et administrative de la wilaya de Jijel

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.2), il est délimité :

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

Le long de ce tronçon on a repérer plusieurs points d'instabilité, dont la morphologie est dominée par des reliefs très élevés et des falaises abruptes très escarpées et dentelées.



Figure.I.2. Localisation géographique du tronçon d'étude sur la carte topographique BOUGIE (NJ 31-16) au 1 / 250 000

I.3.Géomorphologie de la région de Jijel

I.3.1. Relief

Faisant partie du grand ensemble du tell oriental Algérien ; la zone d'étude présente un relief montagneux très complexe dans sa structure et dans sa morphologie. Elle se distingue par un grand massif montagneux, par un ensemble collinaire et par des étendues de plaines côtières et de vallées.

Du point de vue morphologique, le territoire de la région de Jijel peut être subdivisé en trois grands ensembles à savoir :

- La Kabylie de Babors qui correspond à tout le territoire côtier occidental et s'étend jusqu'à la limite Sud-Ouest de la région.
- La Kabylie de Collo qui correspond au secteur oriental et les monts de Tamesguida.
- La chaîne de Constantine qui se limite juste au versant Nord de Zouahra et M'sida Aicha.

I.3.2.Les pentes

La carte des pentes de la région de Jijel nous permet de quantifier le relief en fonction de l'inclinaison du terrain (Figure I.3).

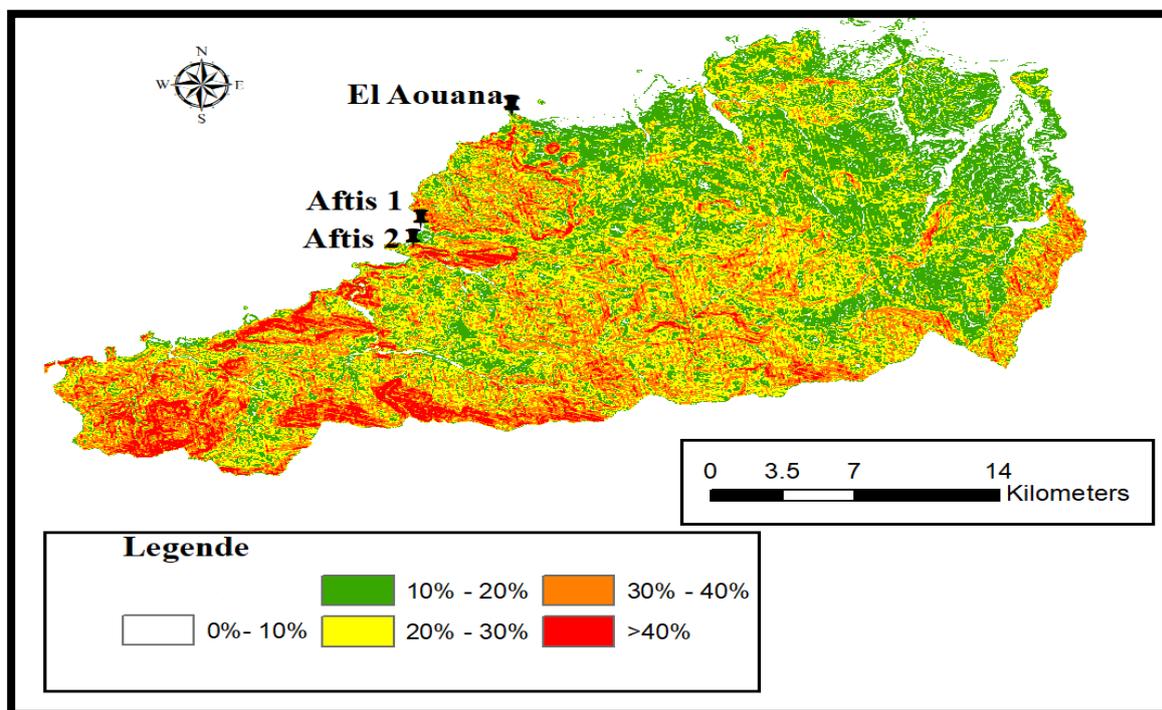


Figure.I.3. la carte des pentes du tronçon d'étude à partir de MNT

La carte des pentes de la région d'étude montre cinq zones dont la pente varie de 0% à plus de 40 %, Notre tronçon routier objet de cette étude traverse des zones de moyenne à forte pente.

I.4.Climatologie

La région de Jijel est considérée parmi les régions les plus pluvieuses d'Algérie. Elle est caractérisée par un climat maritime méditerranéen, pluvieux et doux en hiver, chaud et humide en été.

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.

Les précipitations moyennes annuelles enregistrées dans la wilaya varient de 8 mm en été à 169 mm en hiver.

I.5. Végétation

Selon les services des forêts de la région de Jijel, la superficie forestière est estimée à 115000 ha, elle représente 47,98 % de la superficie totale de la wilaya. Les forêts productives y occupent 57000 ha. La forêt de Jijel est une forêt de chêne liège (4720 ha), de chêne zène et afares (7750 ha), de chêne vert (342 ha) et de pin maritime (1140 ha). La superficie maquis et broussailles est estimée quant à elle à 58000 ha.

La végétation naturelle qui correspond aux forêts maquis broussailles totalise donc 173000 ha soit 72,18 % du territoire de la wilaya. Cette formation est présente pratiquement sur toutes les communes avec un taux de couverture variable.

I.6.Orographie

La région de Jijel est essentiellement montagneuse. Son système orographique occupe 82% de sa superficie totale où plusieurs sommets dépassent les 1 500m d'altitude.

On y distingue la chaîne numidique au Sud et les anciens massifs de la Petite Kabylie au Nord.

La chaîne numidique d'orientation sensiblement WSW-ENE, est composée essentiellement des massifs calcaires jurassiques (Djebels M'sid Aicha 1462m ; Sidi Driss 1364m, etc....) et les massifs gréseux oligocènes (Djebels Bou Affroun 1352 m, Tamesguida 1620 m, etc....).

Ces reliefs forment une importante barrière rocheuse qui partage la Petite Kabylie au nord et les hauts plateaux au sud. Les plus hauts sommets de la Wilaya sont : Tamesguida 1620 m, Tababour 1990 m, Bouazza 1600 m, El Korn 1200 m et Seddat.

Les massifs anciens de la Petite Kabylie sont formés de terrains métamorphiques, traversés par des roches éruptives. Ces chaînes montagneuses longent directement la mer vers le côté ouest et reculent au sud dans la zone côtière Est où des vallées de plusieurs oueds (Oued El-Kébir, Oued Nil, Oued Djendjen) présentent de vastes dépôts alluviaux. De petites plaines jalonnent également le littoral à l'exemple de celles d'El-Aouana, d'oued Z'hour, le bassin de Jijel, et enfin de l'oued Boussiaba à l'intérieur des terres.

I.7. 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. 4).

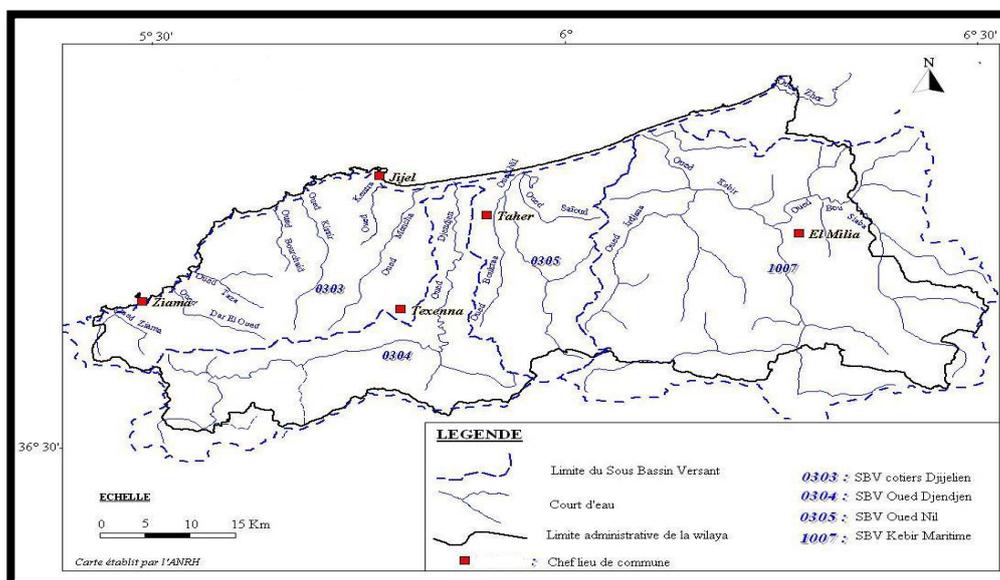


Figure.I.4. Réseau hydrographique de la wilaya de Jijel (A.N.R.H, 2012)

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 s'écoulent 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.

I.8.Sismicité

Le Nord de l'Algérie est connu pour son intense activité sismique. Elle est essentiellement marquée par des séismes superficiels qui causent des dégâts considérables dans la zone épacentrale.

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 épacentres de la plupart des secousses dans la région de Jijel sont localisés entre Bejaia et Sétif dans la région des Bibans et des Babors.

Les études les plus récentes réalisées par Yelles et al. (1999), montre 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 séismicité, soit :

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

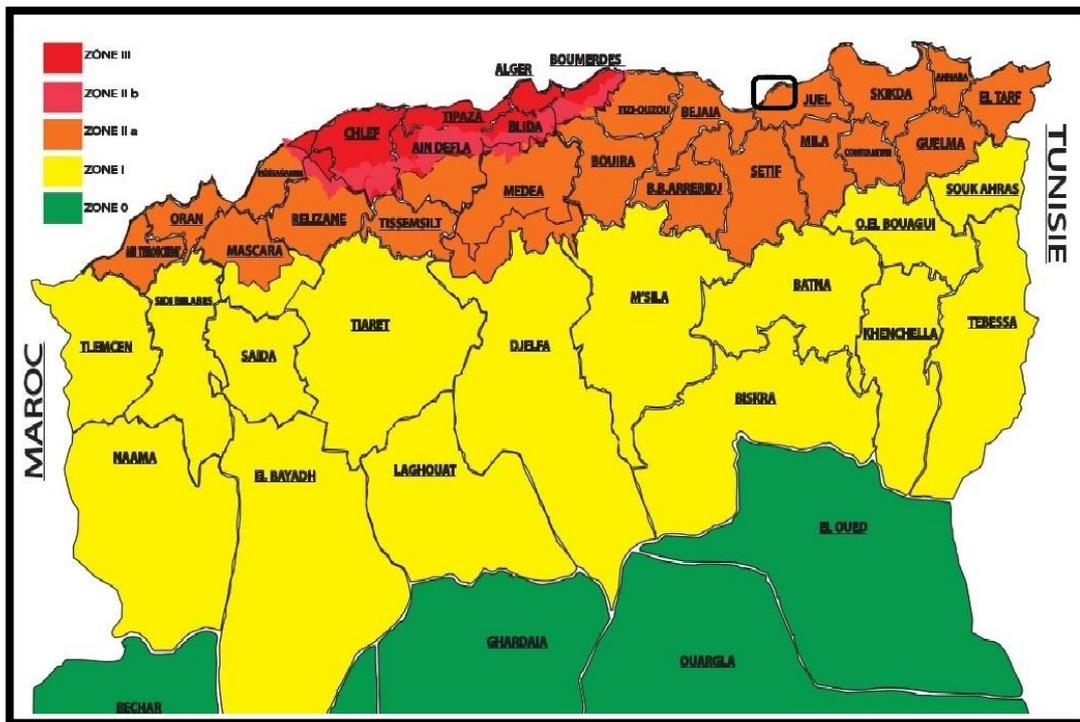


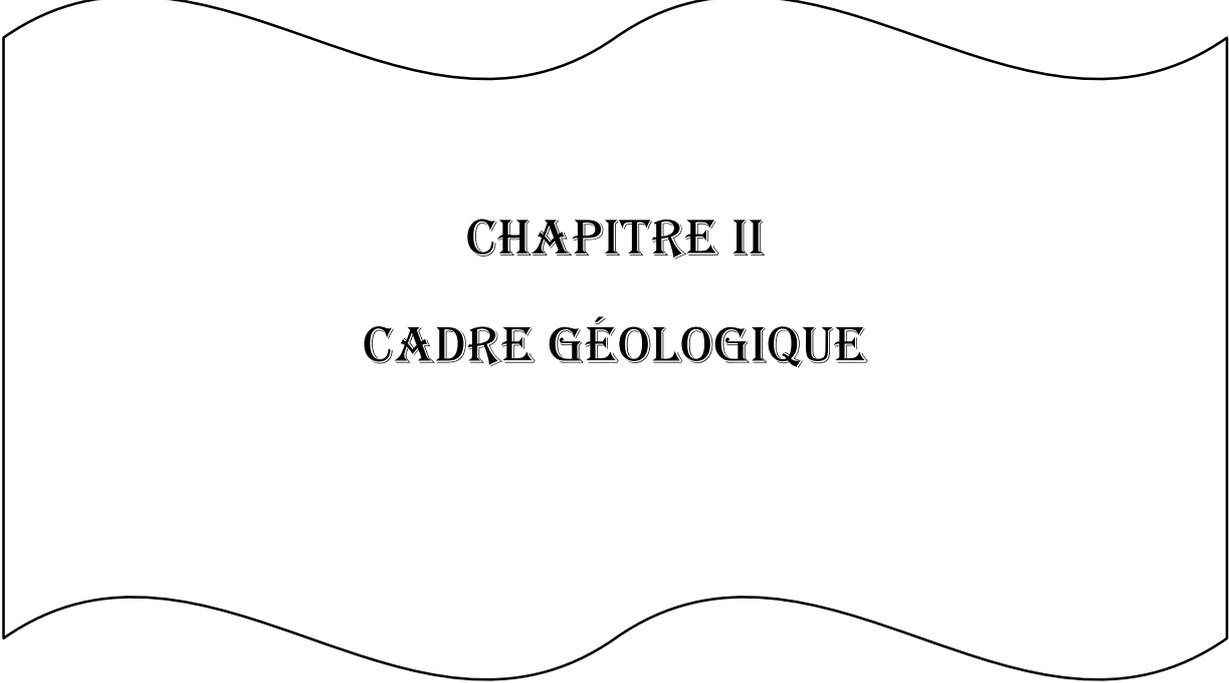
Figure.I.5. Carte de zonage sismique du territoire national

(D'après le RPA 99 version 2008)

II. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons parlées sur les différents éléments physiques de la région de Jijel concernant notamment les données climatologiques qui influe directement sur la morphologie.

Ainsi que l'effet des eaux de surface et l'activité sismique qui jouent un rôle très important sur la stabilité des massifs rocheux.



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.

Ainsi, concernant notre sujet sur caractérisation et classification géomécanique des massif rocheux, une reconnaissance approfondie des structures géologiques et leur caractérisations géométrique, au sein d'un environnement complexe comme celui de la chaîne tellienne des babor s'avère des plus indispensables pour aspirer à une maîtrise des comportements géotechniques et prédire les réponses des massif rocheux aux différents aléas naturels.

II. Géologie régionale

La chaîne des maghrébides s'étend sur plus de 2000 km, allant de Gibraltar à l'ouest jusqu' à la Calabre à l'Est. Elle montre une structure en nappes, engendrée par des phases tectoniques tangentielles à vergence Sud dominante. La chaîne tellienne en Algérie est l'un des segments de la chaîne des maghrébides. Le massif de la petite Kabylie fait partie des zones internes de la chaîne tellienne. Cette dernière est partagée en unités structurales issues de trois domaines paléogéographiques : Domaine interne ; Domaine des flyschs ; Domaine externe.

II.1. Domaine interne

Au domaine interne (Tell septentrional) des noyaux Kabyles, comprennent le socle kabyle (Précambrien et Paléozoïque) qui provient de la fragmentation de l'ALKAPECA et la dorsale kabyle (ou chaîne calcaire Méso-Cénozoïque) qui est découpée en trois principales unités (interne, médiane et externe.)

II.1.1. Socle kabyle

Il Apparaît, en Algérie du Nord, sous forme de trois pointements amygdalaires insérés au sein de vastes nappes à matériel de flysch. Ce sont le massif du Chenoua à l'Ouest, de la Grande la Kabylie au centre et de la Petite Kabylie à l'Est. Le socle de ces massifs est largement chevauché vers le Sud et comporte deux ensembles :

A/ Ensemble supérieur

Des schistes satinés (phyllades) à intercalation locale de grés et des porphyroïdes ocellés. Localement, les phyllades montrent à leur extrême base des passées carbonatées.

B/ Ensemble inférieur

Il est formé de gneiss fins à intercalations de marbres (localement puissantes) et d'amphibolites. Les termes de base de cet ensemble conservent des assemblages reliques du faciès des granulites. En Kabylie de Collo, ces gneiss renferment également des péridotites. On sait qu'en Afrique du Nord, les socles en position interne ont subi des remobilisations alpines ayant entraîné la remontée de leurs parties profondes.

II.1.2. Dorsale kabyle

Elle constitue la couverture du socle kabyle qui la charriée. La dorsale kabyle repose actuellement en contact anormal sur les flyschs. Elle est représentée par trois formations qui traduisent des conditions de sédimentation de plus en plus profondes lorsqu'on passe de la dorsale interne à la dorsale médiane puis à la dorsale externe. En allant du Nord vers le Sud nous avons :

A/ La dorsale interne

Elle est caractérisée par une série complète allant du Permo-Trias au Neocomien.

B/ La dorsale médiane

Elle est caractérisée par des dépôts plus profonds marneux et marno-calcaire.

C/ La dorsale externe

Elle est caractérisée par un Crétacé supérieur et un Eocène inférieur détritique.

II.2. Domaine des flyschs

Elles sont alimentées depuis le Crétacé et jusqu' à l'Eocène supérieur en matériel détritique par le domaine interne. Les principales séries de type flysch sont classiquement subdivisée en :

II.2.1. Flysch Maurétanien

Il Comporte des séries variées (calcaires, péllites, microbrèche calcaires, conglomérats et argile) d'âge Néocomien à Albien supérieur. Les flysch Maurétaniens sont charriés sur les flyschs Massyliens.

II.2.2. Flysch Massylien

Comporte de bas en haut :

- Un Crétacé inférieur argilo-quartzeux ;
- Un Cénomaniens avec des niveaux de phanite ;
- Un Crétacé supérieur micro bréchiq à débris de calcaire.

Ces flyschs sont charriés sur les unités telliennes

II.2.3. Flysch Numidien

Il Forme une entité à part, il comporte des argiles sous-numidiennes, de teinte verte, rouge ou violacée à Tubotomaculum, surmontée par des grés numidiens à quartz roulés et se termine par des marnes et des silexites dont la partie supérieure atteint le Burdigalien basal.

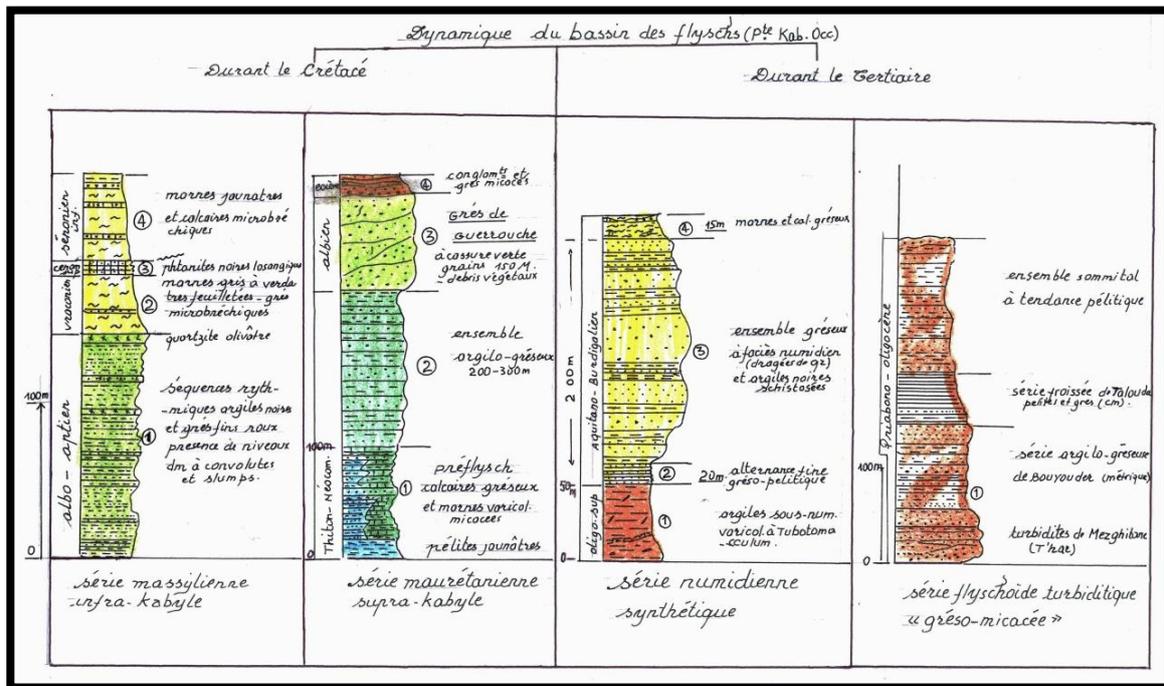


Figure. II.1. Principaux facies des flyschs crétaqués et tertiaires du petite Kabylie occidental Jijel (Yellas, 2018)

II.3. Domaine externe

Au domaine externe (Tell méridional) qui est représenté par les unités telliennes parautochtones (Babors et Bibans), dont la sédimentation mésozoïque et tertiaire (du Trias à l'Eocène) est d'affinité africaine.

Il est découpé en trois grandes unités :

- les unités ultra-telliennes ;
- les unités telliennes ;
- les unités péni-tellienne.

II.3.1.les unités ultra-telliennes

D'après Durand Delga (1969), ces séries forment un ensemble particulièrement homogène qui contient un Crétacé marneux à Ammonites et à globigérines et un Eocène caractérisé par des marnes sombres et des calcaires à silex noirs.

II.3.2.les unités telliennes

Représentent l'équivalent de la série mésotellienne dans la nomenclature de M. Durand.Delga (1969). Ces unités se caractérisent par un crétacé inférieur riche en dépôts terrigènes ou les intercalations des faciès néritiques restent modérées du crétacé supérieur à l'Oligocène.

II.3.3.les unités péni-tellienne

Selon (Vila, 1977), les formations pénitelliennes s'étalent sur une étendue de 150 km de l'Est à l'Ouest et sur 40 Km du Nord au Sud. Elles apparaissent de deux façons différentes :

Au Nord : en fenêtre sous les nappes Telliennes, comme au Djebel Hellel, Djebel Bou-cheref et Ouakissen, Massif d'Ahmed Rachedi et au Djebel El- Akhal.

Au Sud et à l'Est : en Klippe sur les massifs néritiques constantinois, cas du Djebel Grouz, Djebel Khenag et Djebel Chataba.

III. Géologie locale

La région concernant notre d'étude est situé le long de la RN43 débute d'El Aouana jusqu'à les Aftis.

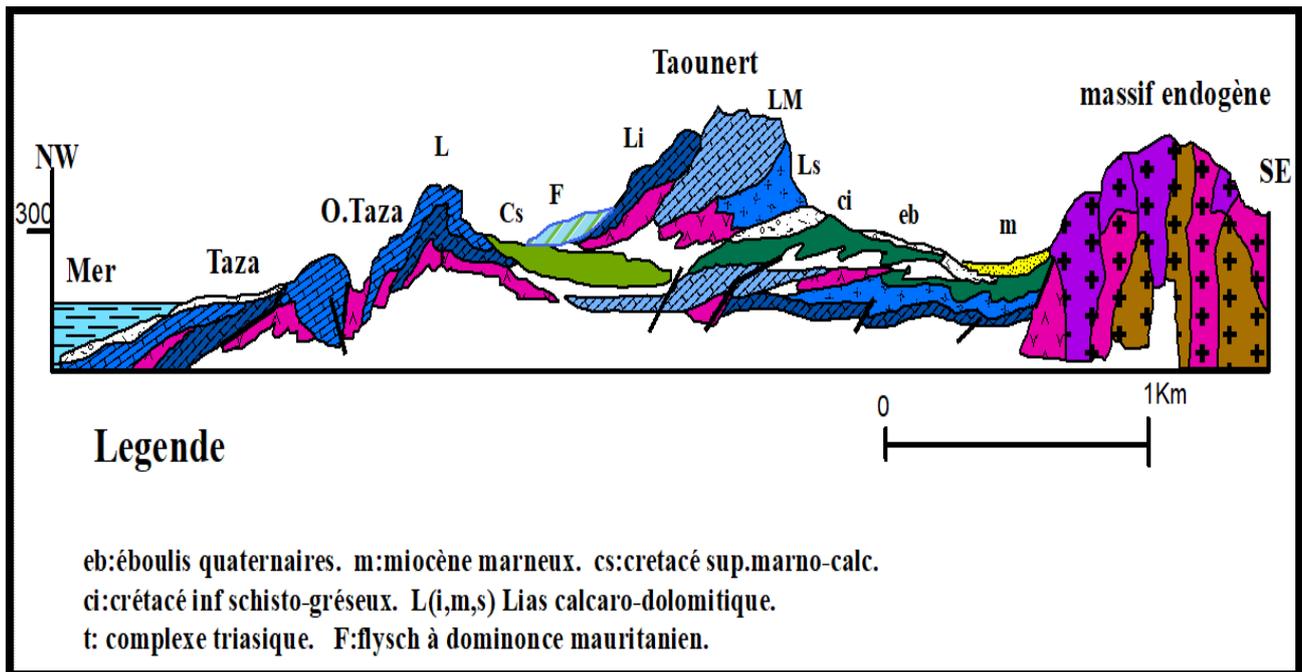


Figure. II.2. Coupe géologique montrant les structures baboriennes aux confins du complexe endogène

La coupe ci-dessus a été exécutée au sein des unités telliennes des Babors orientaux internes dans la partie orientale de l'unité tectonique de Brek-Gouraya fortement plissée et déplacée.

Le Djebel Taounert représente le flanc inverse d'un anticlinal à déversement –sud- faille et glissé sur le crétacé sup marneux.

La zone SE représente la forme syncline de la mégastructure effondrée et ayant reçu des dépôts tardifs du miocène transgressif.

Le complexe triasique souligne les grands accidents subverticaux, soulève et verticalise les lanières carbonatées liasique et sert de semelle de glissement des nappes.

III.1. Présentation de la chaîne des Babors

La chaîne des Babors est localisée dans la partie orientale de l'Atlas Tellien et fait suite, à l'est, à la chaîne du Djurdjura. Cette région est limitée à l'Ouest par la vallée de la Soummam, au Nord par le Golfe de Bejaïa, à l'Est par le massif ancien de la Petite Kabylie d'El Aouana et au Sud par les Hautes Plaines Sétifiennes.

Ses coordonnées géographiques sont : 36° 45' 20" à 36° 28' 40" de latitude Nord et 5°50' 40" à 5° 15' 10" de longitude Est.

La chaîne des Babors est une région montagneuse constituée de djebels organisés en chaînons sensiblement parallèles. Les vallées et les crêtes sont nombreuses particulièrement entre les djebels Taza (1121m), Takoucht (1869 m), Tababort (1969 m) et Babor (2004 m).

Le relief, très accidenté, est soumis à une érosion intense. Les oueds, à caractère torrentiel, ont creusé des vallées encaissées assez profondes, comme celle de l'Oued Bered et particulièrement celle de l'oued Agrioun avec les gorges de Chaabet el Akhra qui présentent, par endroits, un dénivelé de plus de 1000 m.

Les versants, d'exposition principale sud ou nord, comportent parfois des pentes très raides et même des falaises imposantes comme celle du versant sud du djebel Takoucht qui fait près de 300 m.

Le chaînon montagneux Dar el Djebel (480 m) orienté de l'ouest à l'est et séparé du djebel Taounart (700 m) par l'Oued Taza, Le versant sud du Djebel el Bel orienté également - d'ouest en est et culmine à 776 m d'altitude.

De point de vue géologique la chaîne des Babors se compose de trois ensembles structuraux (OBERT, 1974 ; VILA et OBERT, 1977)

- 1) Les formations carbonatées du Jurassique représentées essentiellement par le Lias qui reposent sur des argiles gypsifères attribuées au Trias.
- 2) Le deuxième niveau comporte essentiellement des pélites calcaires et des schistes constituant le Crétacé inférieur.
- 3) Le troisième niveau, le plus élevé, correspond au Crétacé supérieur marno-calcaire à la base (Cénomaniens) uniquement marneux ensuite.

La série stratigraphique de la chaîne des Babors, peut être résumée en trois ensembles selon leur différence d'âge :

-L'étage le plus élevé correspond au crétacé supérieur, marno-calcaire à la base (Cénomaniens), uniquement marneux partout ailleurs.

-Le deuxième niveau comporte essentiellement des calcaires et des schistes constituant le crétacé inférieur.

-A la base se trouvent les formations carbonatées du jurassique représentées essentiellement par le lias.

III.2. Site d'El Aouana

Cette zone comporte plusieurs faciès de roches magmatique, elle présente une morphologie différentielle selon le type d'altération et le degré de fracturation.



Figure. II.3. Roche magmatique qui caractérisé le site d'El Aouana



Figure.II.4. Différentes discontinuités dans le massif et l'intensité de fracturation (Yellas,2019)



Figure.II.5. Plan horizontal et vertical de discontinuité

(Yellas, 2019)

III.3. Site des Aftis

En examinant le site des Aftis, nous avons constaté qu'il existe deux types de roches différentes, le premier contenait des roches magmatiques par contre le deuxième était des roches sédimentaires.

- **Roches magmatique**

- ✓ **Micro diorite**

C'est une roche mésocrate, intermédiaire caractérisée par l'absence de feldspath et la présence de quartz, de texture micro grenue, sub volcanique composée par les amphiboles.



Figure.II.6. Photos illustrant la micro diorite au niveau des Aftis

✓ **Les enclaves**

Affleure dans les micros diorite de couleur foncée, basique, texture *vitreuse*, la roche mère : Andésite basaltique.

Les enclaves sont formées avant les micros diorite, et l'altération des amphiboles donne la couleur foncée de ce faciès.



Figure.II.7. Les enclaves au niveau des Aftis

- **Roche sédimentaire**
 - ✓ **Calcaire dolomitique**

L'intense déformation des série calcaro – dolomitiques du jurassique ayant induit un réseau de discontinuités très dense contrôlé pour la mobilité des blocs cristaux depuis la fin du jurassique et jusqu'à l'actuel.

Les ruptures de talus enregistrés le long du tronçon routier témoignent d'une activité sismique certaine.

Les dernières manifestations sismogènes datent du mois Janvier 2020 dont les épicentres ont été localisés à l'Est d'El Aouana.

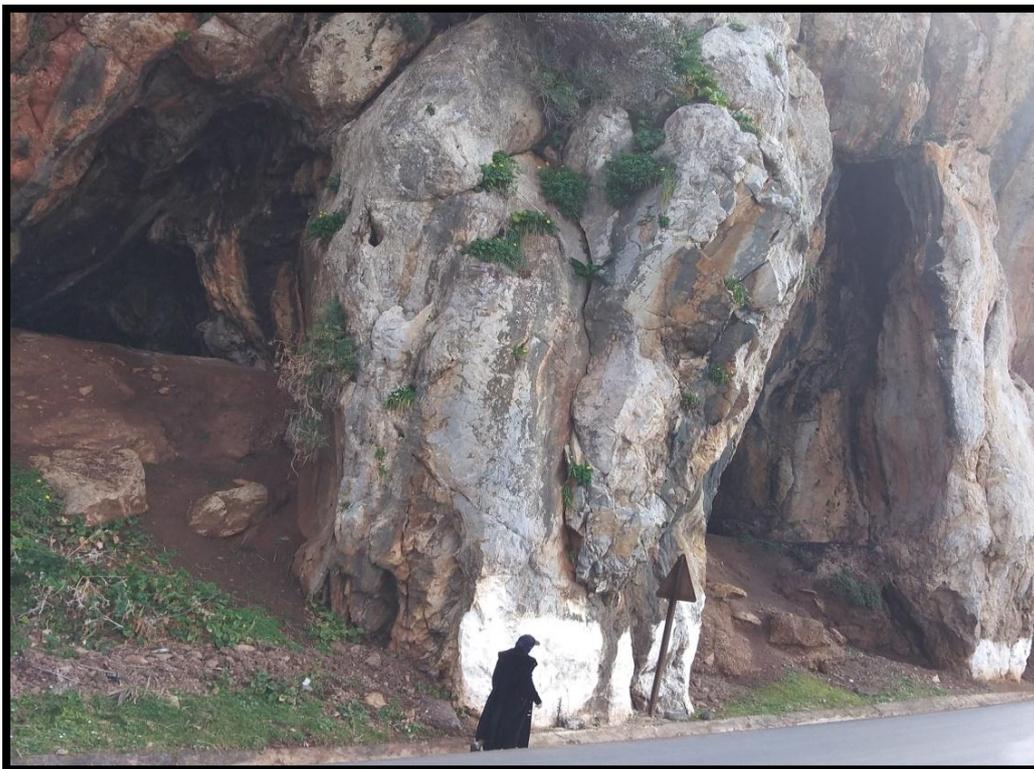


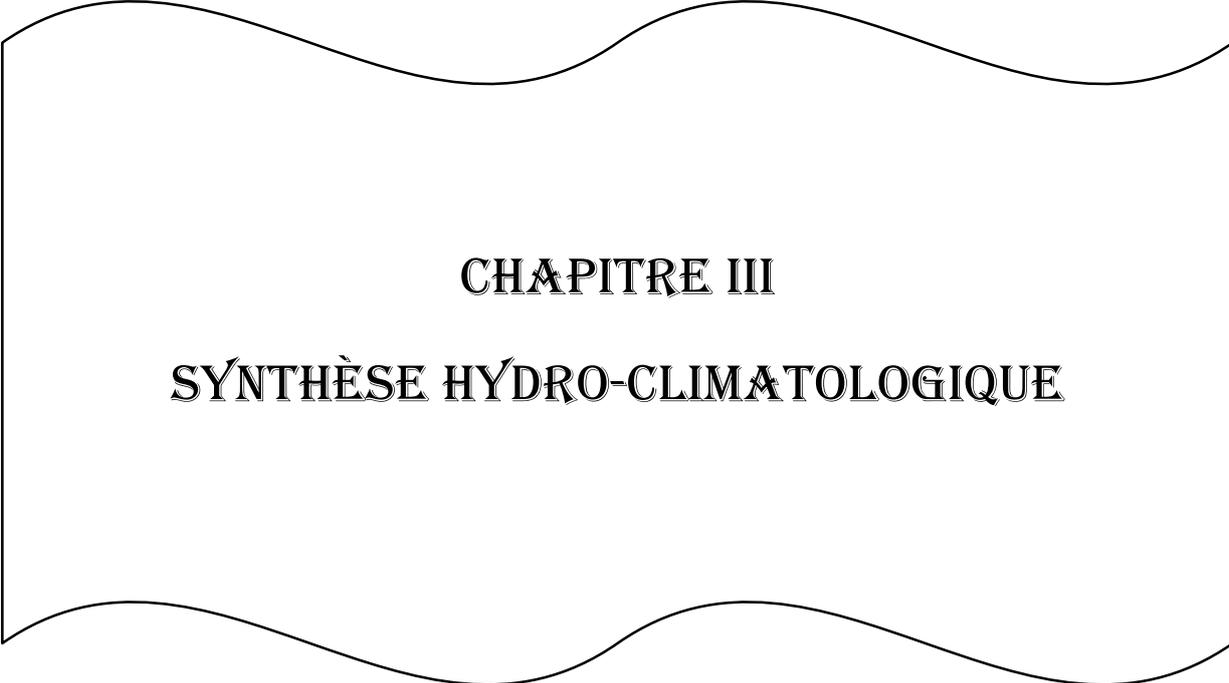
Figure.II.8. Calcaires de la région d'Aftis



Figure.II.9. Fracturation intense au niveau des Aftis

IV. Conclusion

Au terme de cette étude, portant sur la nature des terrains et leur structuration il nous a été très opportun d'apprécier l'ensemble des problèmes liés au comportement des massifs rocheux à travers sa nature et sa structure géologique.



CHAPITRE III
SYNTHÈSE HYDRO-CLIMATOLOGIQUE

I. Introduction

Toute étude hydrogéologique passe principalement par un traitement détaillé des mesures hydro climatique permettant d'établir le bilan hydrique et par conséquent de comprendre les mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux de surface et souterraines.

L'établissement d'un bilan hydrique nécessaire pour le fonctionnement d'un système hydraulique de surface, implique la connaissance des paramètres suivants : la précipitation, l'évaporation, l'infiltration et le ruissellement qui conditionnent ce bilan. Cette étude climatique débouchera sur un calcul du bilan en exploitation les données météorologiques disponibles et en utilisant la méthode adaptée à la région.

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.1.1. 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.

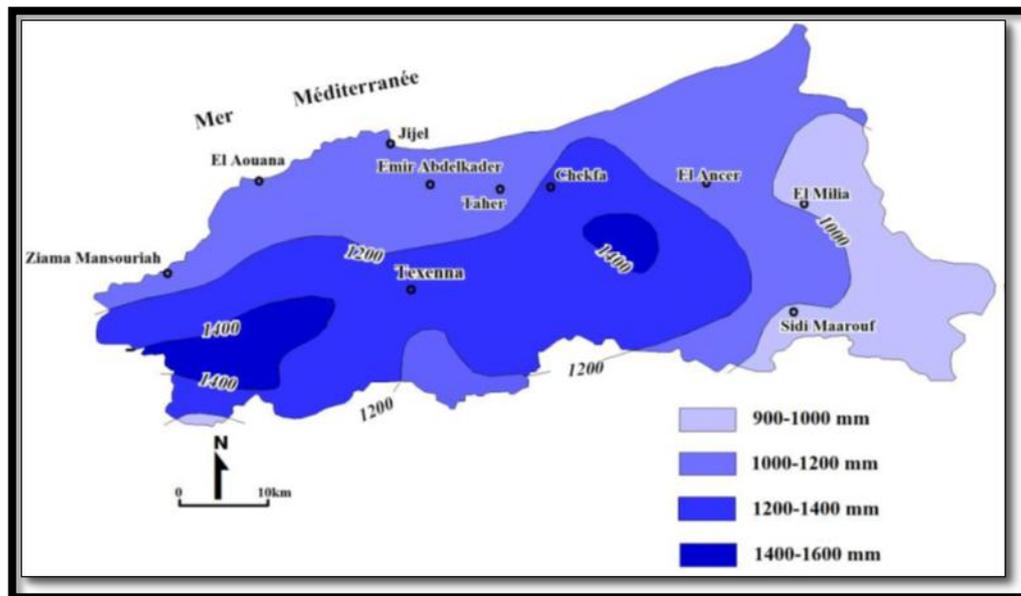


Figure III.1 Carte pluviométrique de la wilaya de Jijel (ANRH, 1996)

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. Précipitation

Apport d'eau parvenant au sol sous forme liquide (pluie ou rosée) ou solide (neige ou grêle) en provenance directe ou indirecte de la condensation de la vapeur d'eau atmosphérique.

Les précipitations (pluie ou neige) sont mesurées à la surface de la terre en millimètres. Le terme lame d'eau tombée est également employé pour quantifier les précipitations.

La pluviométrie, mesure de la pluie, représente les hauteurs d'eau tombées dans un intervalle de temps. C'est l'une des données climatiques les plus essentielles dans l'appréciation de l'évolution des ressources forestières.

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

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Été			Total
Moins	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	1079
P(mm)	72	95	142	198	161	150	113	82	42	14	1	9	
	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).

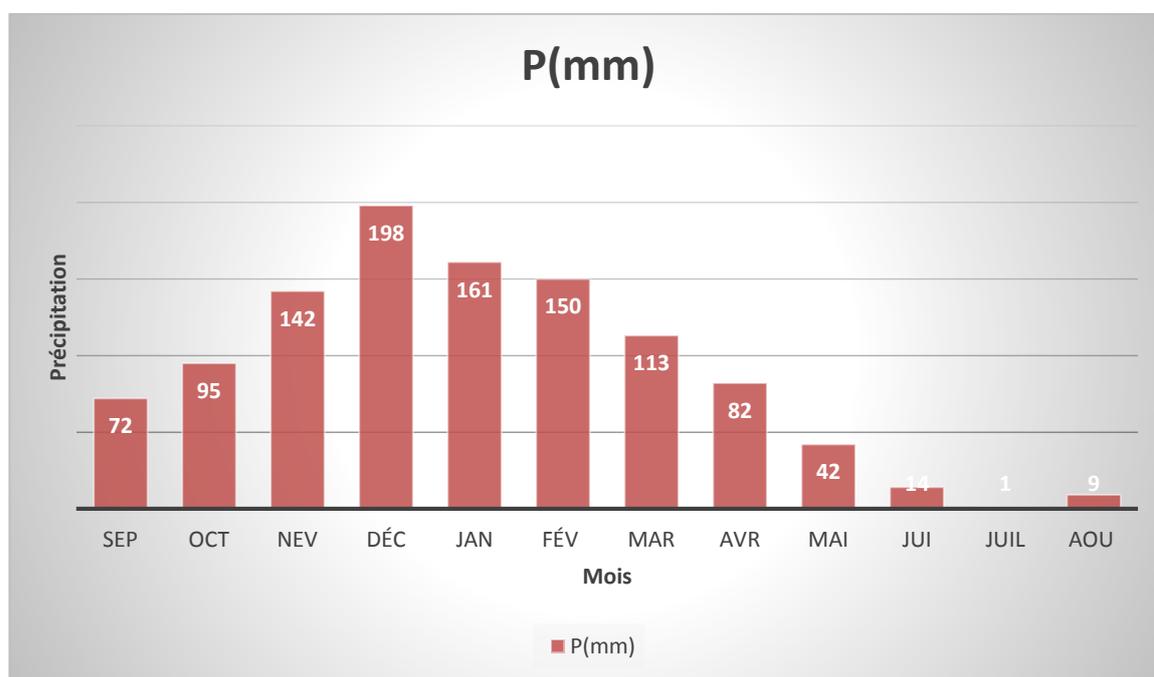


Figure III.2. Répartitions des précipitations moyennes mensuelles
(2002-2015, station EL-Agrem)

II.2.2. Température de l'air

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

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

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté			Moyenne
Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	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.

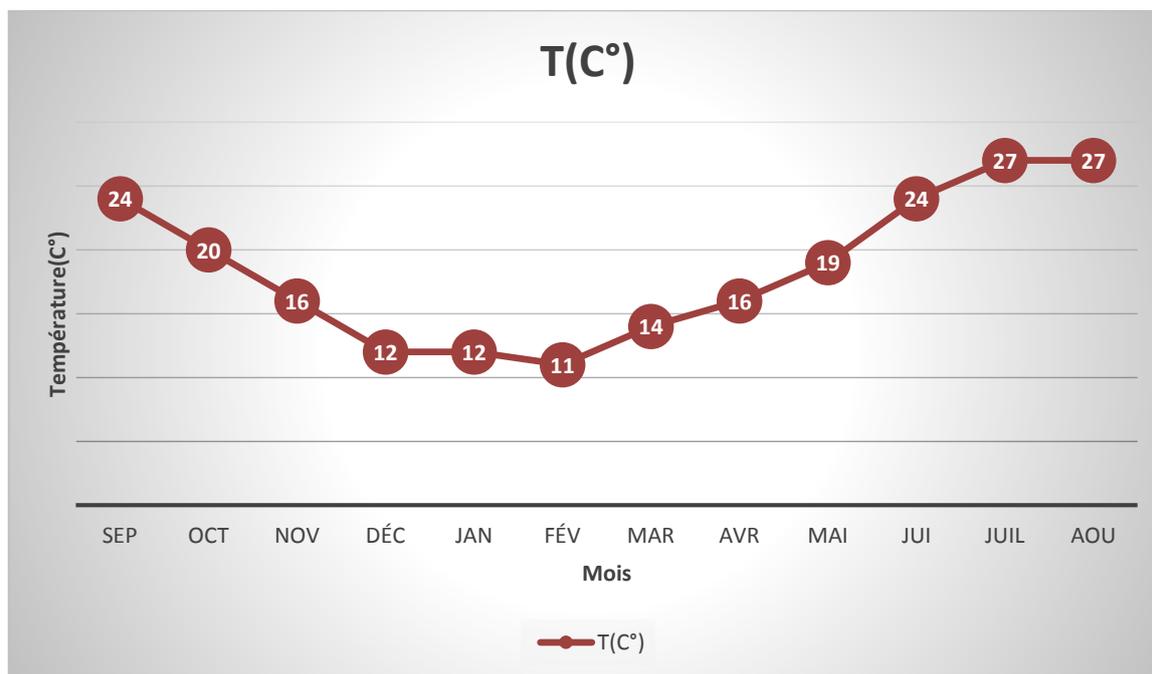


Figure III.3 Températures moyennes mensuelles (2002-2015, station EL-Agrem)

II.2.3. Diagramme ombro-thermique de BAGNOULS ET GAUSSEN

BAGNOUL et GAUSSEN ont établi des diagrammes ombro-thermiques pour évaluer la durée et l'intensité de la saison seche pendant l'année. Ils se sont basés sur la formule $P = 2T$ C° les mois secs sont définis, quand la courbe des précipitations est située au-dessous de la celle des températures moyenne.

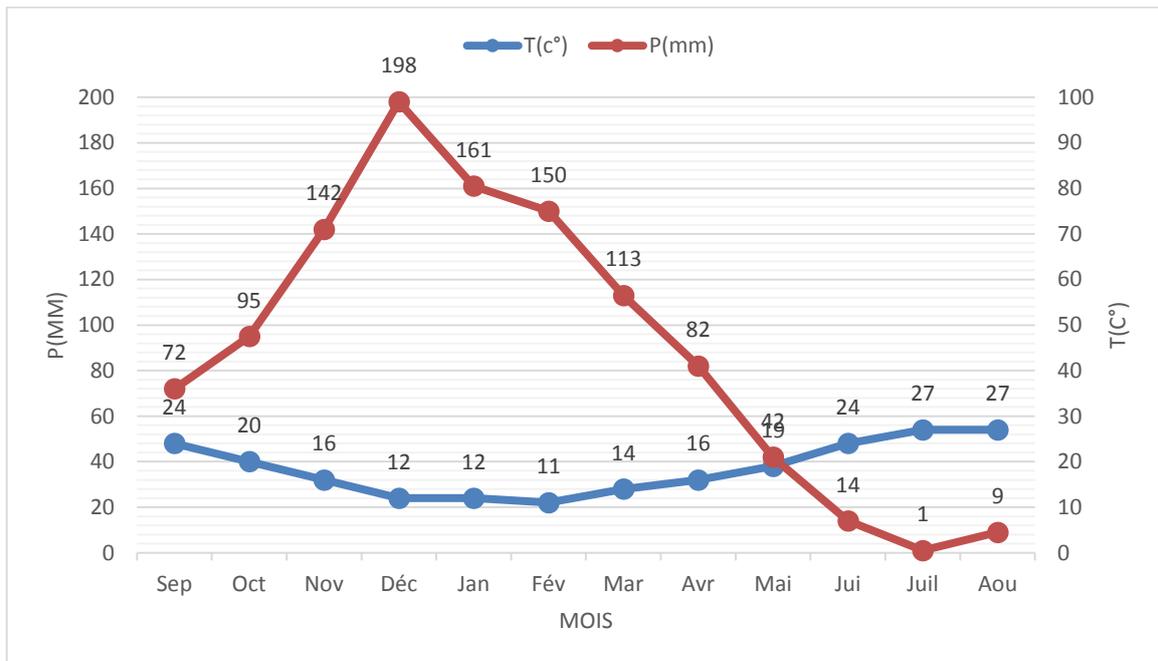


Figure III.4 Diagramme Ombrothermique durant la période 2002-2015 Station EL-Agrem

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 : $I = 89.324$

$$a = 1.929$$

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	Nev	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Année
P (mm)	72	94.98	141.84	197.51	161.01	149.77	113.38	82.09	41.66	13.74	1	9.28	1078.26
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	10.54	7.972	5.873	3.811	3.622	3.482	4.549	5.819	7.547	10.412	12.632	13.065	89.324
ETP (mm)	105.11	73.57	49.85	28.73	26.92	25.61	35.99	49.25	68.61	103.39	132.26	138.05	748.19
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)	108.26	71.36	42.87	24.13	23.42	21.76	37.06	54.17	83.01	126.13	164	160.13	812.89

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

L’Evapotranspiration réelle désigne la quantité d’eau réellement perdue sous forme de vapeur par évaporation du sol et du couvert végétal et transpiration des plantes (Thornthwaite, 1955). Elle est principalement dépendante des apports en précipitations, de la capacité du sol à stocker l’eau, du couvert végétal et de l’évaporation du 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.

$$ETR = ETP \dots\dots\dots III.4$$

- 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) : $ETR = \sum pi + RFU$; celle-ci est supposée mobilisée comme suit :

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

$$ETR = ETP \dots\dots\dots III.5$$

- b) Si la RFU est insuffisante pour satisfaire l'évapotranspiration potentielle, l'ETR reste inférieure à celle-ci est égale à 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 d'eau que l'on appelle parfois le déficit agricole égale à la différence entre l'évapotranspiration potentielle et l'évapotranspiration réelle.

$$Da = ETP - ETR \dots \dots \dots III.6$$

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 calculé par la méthode de Thornthwaite, sur une période de 14 ans (2002-2015), pour la station EL-Agrem :

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

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Année
P(mm)	72	94.98	141.84	197.51	161.01	149.77	113.38	82.09	41.66	13.74	1	9.28	1078.26
ETPc(mm)	108.26	71.36	42.87	24.13	23.42	21.76	37.06	54.17	83.01	126.13	164	160.13	812.89
P-ETPc(mm)	-36.26	23.62	98.97	173.38	137.59	128.01	76.31	27.92	-41.35	-112.39	-163	-150.85	/
ETR(mm)	72	71.36	42.87	24.13	23.42	21.76	37.06	54.17	41.66	13.74	1	9.28	412.45
Da(mm)	36.26	0	0	0	0	0	0	0	41.35	112.39	163	150.85	516.85
Ws	0	23.62	98.97	173.38	137.59	128.01	76.32	27.92	0	0	0	0	665.81
RFU(mm)	0	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	/

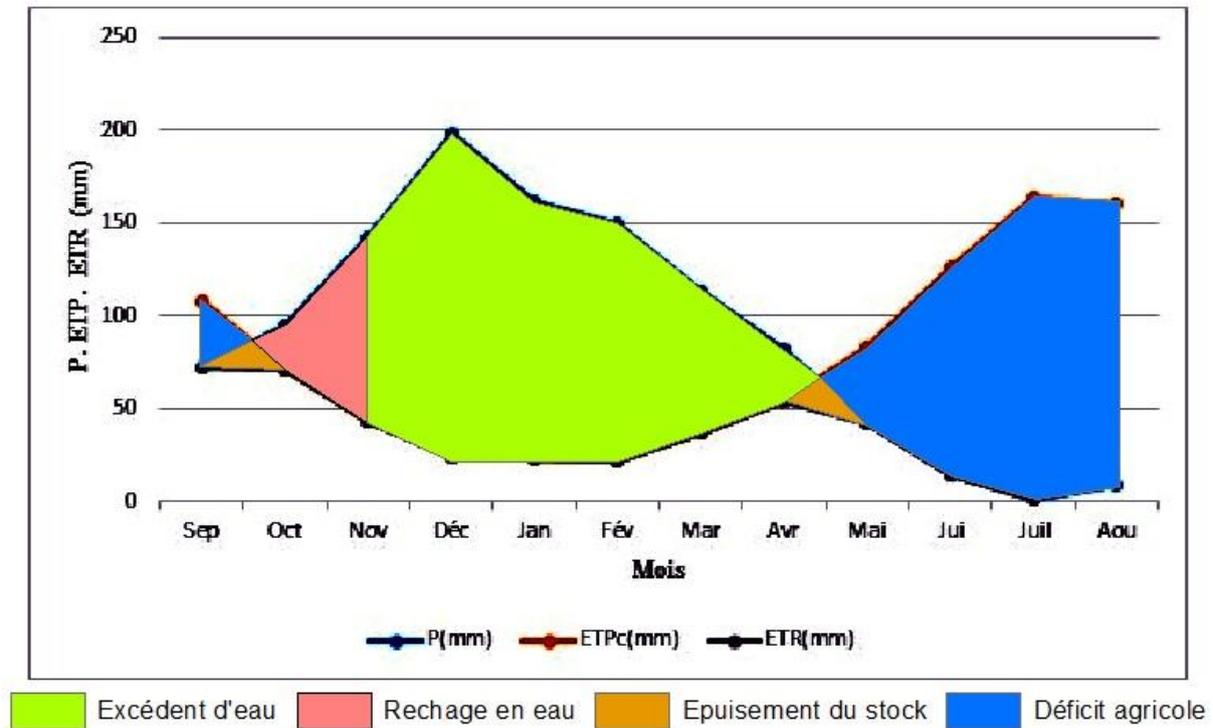


Figure III.5 Diagramme du bilan hydrique station EL-Agrem (2002-2015)

II.3.3. Interprétation du bilan hydrique de Thornthwaite

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 665.81 mm.

L'ETR est d'une valeur annuelle de 412.45 mm et le déficit agricole est de 516.85 mm avec un maximum constaté au mois de juillet de 163mm.

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.

II.3.4. Estimation du ruissellement et de l'infiltration

Pour le calcul des ruissellements et des infiltrations on utilise :

Evapotranspiration potentielle : $ETP = 812.89\text{mm}$

Précipitations totales annuelles : $P = 1078.26 \text{ mm}$

Lame évapotranspirée : $ETR = 412.45 \text{ mm}$

II.3.4.1. Ruissellement (R)

Les formules que nous donnons ci-après permettent d'évaluer le ruissellement comme suit :

Pour $R < 600 \text{ mm}$, on admet la formule de **Tixeront-Berkaloff, 1956** :

$$R = \frac{P^3}{3(ETP^2)} \dots \dots \dots \text{III.7}$$

Pour $R > 600 \text{ mm}$, ce qui est notre cas on admet la formule de **Romantchouk, 1974** :

$$R = \frac{P^3}{3} \dots \dots \dots \text{III.8}$$

$$R = \frac{(1,078)^3}{3} = 0,4174 \text{ m} \rightarrow R = 417,4 \text{ mm}$$

II.3.4.2. 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 :

$$P = ETR + R + I + Wa \dots \dots \dots \text{III.9}$$

Avec :

$$ETR = 412.45 \text{ mm}$$

$$R = 417.4 \text{ mm}$$

$$P = 1078 \text{ mm}$$

Considérons $Wa = 0$

L'application numérique de la formule donne :

$$1078 = 412.45 + (417,4 + I)$$

$$I = 1078 - 829.85 \rightarrow I = 248.15 \text{ m}$$

Soit $I = 23.01\%$ des précipitations.

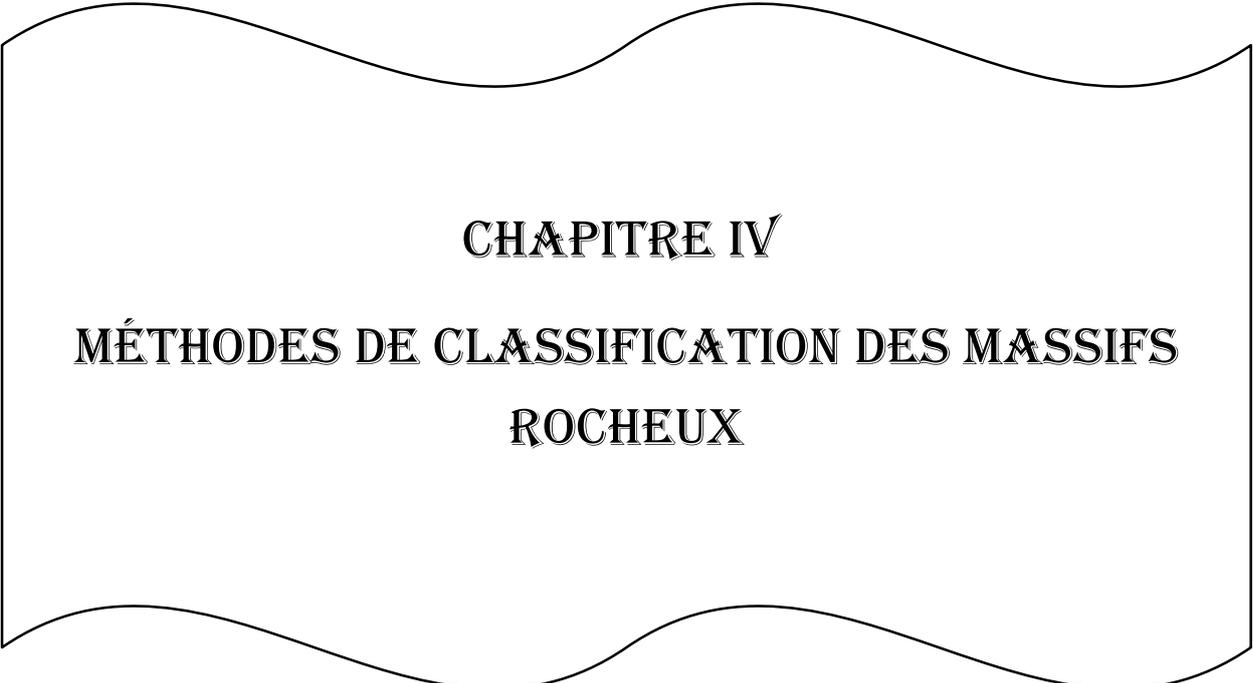
III. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté l'étude hydro climatologique de la station EL-Agrem durant la période (2002-2015) lorsque :

La précipitation annuelles moyennes de l'ordre 1079mm/an et la valeur maximale des précipitations est observé dépend l'hiver 169 mm et la valeur minimal est de 8mm en été.

La température annuelle moyenne de l'ordre 18.5C°, indique que la saison la plus chaude « été » avec une température de l'ordre 26C° est par contre la saison « hiver » plus froid avec une température de l'ordre 12C°.

Après le bilan hydrique de Thornthwait de cette zone étudié montre que l'évapotranspiration potentielle égal à 812.89mm, la Déficit agricole égal à 516.85mm, la Ruissellement égal à 417.4mm et l'Infiltration calculée est de l'ordre 248.15 est en pourcentage égal à 23.01 des précipitations moyenne.



CHAPITRE IV
MÉTHODES DE CLASSIFICATION DES MASSIFS
ROCHEUX

I. Introduction

Dans ce chapitre, nous abordons le sujet des caractérisations et méthodes de classification géomécaniques des massifs rocheux.

Nous présentons les types de classification existante, puis nous exposons quatre classifications géomécaniques largement utilisées dans le domaine de la Mécanique des Roches (RQD, RMR, Q système, GSI). Les avantages et les limitations de chacune de ces dernières sont ensuite détaillées.

Nous présentons ce chapitre dans l'objectif de faire apparaître les avantages que peuvent apporter les méthodes d'homogénéisation numériques par rapport aux méthodes d'identification des paramètres mécaniques que nous avons déjà mentionnées.

II. Caractérisation du massif rocheux

II.1. Structure géométrique des massifs rocheux

Les massifs rocheux, structures très complexes, sont formés d'une juxtaposition de matériaux hétérogènes. Ils sont assimilés à un assemblage de blocs appelés *matrice rocheuse* qui sont délimités par des *discontinuités* constituées de fissures, de fractures ou de failles ou encore de limites stratigraphiques (Figure. IV.1).



Figure IV. 1 Structure géométrique d'un massif rocheux

Le comportement mécanique des massifs rocheux est un facteur essentiel dans le dimensionnement des ouvrages qui y sont exécutés. Afin de comprendre, expliquer et modéliser ce comportement, il est nécessaire de connaître la structure géométrique ou plus précisément le modèle de distribution géométrique des fractures, ainsi que les propriétés mécaniques de chacune des composantes que sont la matrice rocheuse et les discontinuités.

II.2. Discontinuité du massif rocheux

II.2.1. Les type de discontinuité

- Les plans de stratification : entre strates dans les massifs sédimentaires. Leur extension peut être très grande.
- Les contacts lithologiques : entre deux matériaux différents.
- Les plans schistosité : débit des roches en feuillets parallèles. Origine liées aux contraintes tectoniques. Extension est plus ou moins grande.
- Les diaclases : discontinuités séparant deux compartiments sans mouvement relatif. Elles peuvent s'organiser en familles directionnelles.
- Les failles : mouvement relatif entre les deux compartiments : faille normale, inverse et de décrochement fonction du champ de contrainte. Leur extension est très variable (métrique à plurikilométrique)
- Les couloirs de fracturation : assemblage de petites discontinuités de faible extension et d'orientations variées formant une structure continue.

II.2.2. Paramètres caractérisent les discontinuités

- Orientation : position du plan de la discontinuité dans l'espace. Permet le classement en familles directionnelles.
- Espacement : distance entre deux discontinuités les plus proches d'une même famille mesurée perpendiculairement à celles-ci.
- Extension : l'extension ou taille des discontinuités correspond à la surface totale de la discontinuité dans l'espace.
- Rugosité et ondulation de la surface de discontinuité : a toutes les échelles, ces paramètres contrôlent la résistance au cisaillement de la discontinuité et la mobilisation ou non du phénomène de dilatance.
- Altération des épontes : agit sur la déformabilité, sur la possibilité de mobiliser de la dilatance et donc sur la résistance au cisaillement.

- Ouverture : distance entre épontes comptée perpendiculairement au plan de discontinuité.
- Remplissage
- Présence d'eau

II.3. Type géotechnique de la roche

Le type de la roche est indiscutablement le paramètre le plus important, qui définit toutes les autres caractéristiques de la matrice et du massif. Les propriétés les plus importantes de la matrice rocheuse d'un point de vue de la stabilité des talus sont :

- La dureté de la roche, qui peut s'exprimer par le paramètre de résistance à la Compression simple de l'échantillon
- Le caractère et le degré d'altération, de fracturation et la solubilité de la roche
- L'aptitude au gonflement, la plasticité, etc.

En fonction de ces paramètres, Fissenko (1965) propose de partager les roches en 5 classes :

- Les roches dures, avec R_c (résistance à la compression) > 80 MPa, peu altérables, non gonflantes : les roches magmatiques et métamorphiques et certains calcaires et grès, pas fracturés, pas ou peu altérés ;
- Les roches semi dures, avec $8 < R_c < 80$ MPa, fracturées, intensivement altérables, non gonflantes, non plastiques : roches magmatiques et métamorphiques altérées, grès argileux, schistes, argilites, pélites, marnes, conglomérats calcaires, calcaires détritiques, charbons ;
- Les roches faibles (argileuses), avec $R_c < 8$ MPa, gonflantes, plastiques, très fortement altérables : roches magmatiques et métamorphiques très fortement altérées ou complètement désintégrées, ainsi que les roches de la seconde classe altérées, toutes les argiles, lœss, sables argileux, les limons, craies, certaines alluvions et moraines ;
- Les roches non cohérentes, sans cohésion, l'angle de frottement et l'angle de talus naturel étant de $28-38^\circ$, non plastiques, non gonflantes : les zones caillouteuses au pied des talus des roches des deux premières classes, graviers et sables purs ;
- Les vases, les tourbes, et les sols mouvants, avec une cohésion < 20 KPa,

II.4. Propriétés physico-mécaniques des roches

La reconnaissance des massifs rocheux permet d'appréhender les problèmes qui peuvent se poser lors de l'étude d'un projet de construction ou lors de l'expertise de sinistres.

La reconnaissance des propriétés d'un terrain constitue le lien entre la cause d'un sinistre et les remèdes que l'on se propose de mettre en place.

Les propriétés physico-mécaniques des roches et des sols sont une source capitale dans la compréhension de son comportement dont la complexité est avérée. Ces dernières ont une grande influence sur la stabilité des talus et des pentes.

Parmi les propriétés physiques, les plus importantes sont : la masse volumique, la porosité, l'humidité et la dureté....

Les propriétés mécaniques sont : la résistance à la compression, la résistance à la traction et la résistance au cisaillement (l'angle de frottement interne et la cohésion).

III. Systèmes de classifications des massifs rocheux

III.1. Types des systèmes de classification

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. Les systèmes de classification prennent en considération plusieurs facteurs affectant la stabilité des massifs rocheux. Ces facteurs sont reliés notamment à la résistance de la matrice rocheuse, la présence de l'eau et la description des discontinuités (nombre de familles, espacement, rugosité, altération des épontes, matériau de remplissage...). Nous nous intéressons, dans ce qui suit, aux systèmes de classifications quantitatives, nommés également classifications géo mécaniques.

III.2. Buts des systèmes de classification

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 (standup time). C'est un indice très essentiel dans la détermination de la portée d'excavation.
- Donner des recommandations de soutènement des ouvrages.

III. 3. Différents systèmes de classifications

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 :

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

Deere (1964) propose un paramètre évaluant la qualité du roc de la masse rocheuse selon un index intitulé RQD (Rock Quality Designation). 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 est conservée et cette somme est divisée par la longueur de course de la carotte de forage. Ce paramètre est défini comme suit :

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

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.

La relation entre la valeur du RQD et la qualité du massif peut être établie selon la proposition de Deere (1968) et elle est présentée au Tableau ci-dessous.

Tableau IV.1 Corrélation entre l'indice RQD et la qualité du massif rocheux

RQD	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 l'espacement des joints ([joints/mètre]) déterminé à partir de mesure de surface du massif rocheux exposé et de l'indice RQD :

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

Lorsqu'aucun forage géologique n'est disponible, cette corrélation s'avère très utile.

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 (J_v) caractérisant la surface du massif rocheux :

$$\text{RQD} = 115 - 3,3J_v \dots \text{IV.3}$$

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 (Deere et Deere, 1988).

Ceci signifie que l'indice RQD est seulement capable d'évaluer la partie intacte du massif rocheux.

III .3 .2. Indice d'évaluation de la masse rocheuse (RMR), Bieniawski (1976)

Cette classification a été développée par Bieniawski [1973] au South African Council of Scientific and Industrial Research (SACSIR). 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.

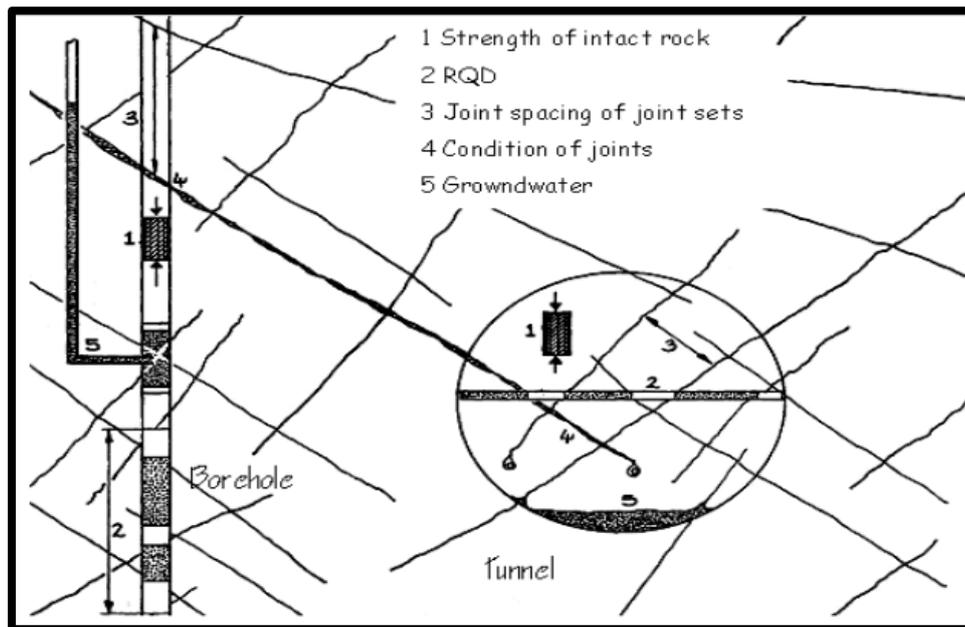


Figure.IV.2 Illustration graphique des paramètres de caractérisation du RMR

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*, ils sont définis 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 for joint orientation)** : 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).

Les 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 ***RMR89*** s'écrit alors :

$$\mathbf{RMR89 = A1 + A2 + A3 + A4 + A5 + B \dots\dots\dots IV.4}$$

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.

L'extension de cette classification a touché quelques problèmes pratiques de mines (*Mining Rock Mass Rating (MRMR)* : Laubscher et Jakubec [2000]), des fondations de barrages (*Dam Mass Rating* : Romana [2003-a]) et de pentes (*Slope Mass Rating* : Romana et al. [2003-b]).

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

Classification des paramètres et note									
Paramètre			coefficients						
1	Résistance de la roche	Indice Franklin	>10MPa	4-10MPa	2-4MPa	1-2MPa	Indice Franklin non utilisable		
		Résistance à la compression	>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	2-25 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	Espacement des discontinuités		>2 m	0.6-2 m	200-600 m	60-200 m	< 60 mm		
	Note		20	15	10	8	5		
4	Nature des discontinuités		Surface 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	Surface lustrées ou remplissage < 5mm ou joint ouvert 1à5 mm Joints continus	Remplissage mou >5 mm Joints ouverts > 5 mm Joint continu		
	Note		30	25	20	10	0		
5	Condition hydraulique	Débit sur 10m	Aucune venue d'eau	< 10	10-25	25-125	>125		
		Pression d'eau contrainte	0	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>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.3.3. Le Q-system (Barton, 1967)

Développée par le Norwegian Geotechnical Institute (NGI), cette classification a été établie pour prévoir le soutènement des excavations exécutées dans des terrains à contrainte horizontale élevée (Barton et al. [1974]). Elle est caractérisée par un indice de qualité *Q* variant entre 0.001 pour un massif très mauvais et 1000 pour un massif très bon. Dans la pratique, cet indice est réduit entre 0.005 et 50.

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

- RQD (Rock quality Designation, Deer [1964]) caractérise la qualité des carottes de sondage.
- Jn (Joint set number) représente le nombre de familles de discontinuités.
- Jr (Joint roughness number) représente la rugosité des épontes de la famille de discontinuité la plus défavorable en terme d'orientation.
- Ja (Joint alteration number) caractérise l'état d'altération des discontinuités.
- Jw (Joint water reduction) est un facteur de réduction dû à la présence de l'eau dans les joints.
- SRF (Stress Reduction Factor) est un facteur de réduction des contraintes dans le massif.

D'une façon globale, RQD/Jn représente l'effet de la taille des blocs, Jr/Ja caractérise la qualité mécanique de contact entre les blocs en cisaillement et Jw/SRF décrit l'état initial du massif par rapport à l'eau et aux contraintes. 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.

Tableau IV.4 classification de massif en fonction de la valeur Q

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

III.3.4. Indice de la résistance géologique (GSI Hoek-Brown, 1995)

Introduit par Hoek et al. [1995] puis amélioré par Hoek et Brown [1997], le Geological Strength Index 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'* et le *Q'* qui sont des valeurs modifiées de *RMR* et de *Q*. Le *RMR'* 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*).

$$RMR' = A1 + A2 + A3 + A4 + 15 \dots\dots\dots IV.6$$

De même, *Q* se ne calcule en ne tenant pas compte de l'état initial du massif par rapport à l'eau et aux contraintes (*Jw/SRF*).

$$Q' = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \dots\dots\dots IV.7$$

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

$$GSI = RMR'_{89} - 5 \text{ si } RMR'_{89} > 23$$

$$GSI = 9(\log Q' + 44) \text{ si } RMR'_{89} \leq 23$$

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* (Chelhoub, 2006)

Valeur de <i>GSI</i>	76-95	56-75	41-55	21-40	<20
Qualité de massif rocheux	Très bonne	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise

Le *GSI* représente une certaine estimation de la réduction de la résistance du massif rocheux suivant les conditions géologiques. Il est un paramètre essentiel dans le critère de Hoek et

Brown [1997]. Pour un massif rocheux, ce critère s'écrit dans le plan de contraintes principales (σ_1, σ_3) comme suit :

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_c \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_c} + s \right)^a \dots \dots \dots \text{IV.8}$$

$$m_b = m_i e^{[(GSI \times 100) / 28]}$$

$$m_i = \frac{\sigma_c}{\sigma_t}$$

Pour $GSI > 25$ (bon rocher) : $a=0.5$, $s = e^{\left(\frac{GSI-100}{9}\right)}$

Pour $GSI < 25$ (rocher de qualité médiocre) : $s=0$, $a = 0.65 \times \left(\frac{GSI}{100}\right)$

s , a et mb sont des constantes caractéristiques du massif. mi représente le rapport entre la résistance à la compression simple σ_c et la résistance à la traction simple σ_t de la roche intacte. mb / mi varie entre de faibles valeurs (< 0.1) pour des massifs fracturés et peu frottantes à des valeurs 0.4 à 0.6 pour des massifs de roches dures ne comportant que peu de fractures à rugosité élevée.

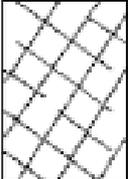
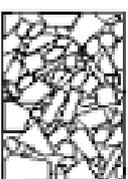
<p>CARACTERISTIQUES DE LA MASSE ROCHEUSE POUR L'ESTIMATION DE LA RESISTANCE</p> <p>A partir de l'apparence de la roche, choisir la catégorie qui donne, selon vous, la meilleure description des conditions moyennes de structure in situ. [...] Le critère de Hoek-Brown devrait uniquement être appliqué à des masses rocheuses dont la taille des blocs individuels est petite devant celle de l'excavation.</p>		<p>CONDITIONS DE SURFACE</p> <p>TRES BONNES Surfaces fraîches, non-altérées, très rugueuses</p> <p>BONNES Surfaces couleur de fer, rugueuses et légèrement altérées</p> <p>MOYENNES Surfaces lisses, altérées ou moyennement altérées</p> <p>PAUVRES Surfaces aux contours lisses, fortement altérées avec enduit ou remplissage compact de fragments anguleux</p> <p>TRES PAUVRES Surfaces aux contours lisses, fortement altérées avec enduit ou remplissage d'argile plastique</p>				
STRUCTURE	QUALITÉ DÉCROISSANTE					
 <p>FRACTURÉE – masse rocheuse non perturbée, très bien assemblée, constituée de blocs cubiques formés par trois familles de discontinuités orthogonales</p>	80	70				
 <p>TRÈS FRACTURÉE – masse rocheuse partiellement perturbée, bien assemblée, constituée de blocs anguleux à plusieurs facettes formés par au moins quatre familles de discontinuités orthogonales</p>		60	50			
 <p>FRACTURÉE/DESTRUCTURÉE – blocs anguleux formés par plusieurs familles de discontinuités entrecoupées, avec pliures et/ou failles</p>			40	30		
 <p>DESINTEGRÉE – masse rocheuse fortement broyée, mal assemblée, avec un mélange de blocs rocheux anguleux et arrondis</p>				20	10	

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

III.4. Les Limites des différents systèmes de classification

III.4.1. 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 :

- 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'elle est effectuée sur une carotte de forage, cette classification est en outre limitée par la qualité du forage.

Il existe dans la littérature de nombreux articles supplémentaires (e.g. Bieniawski 1974, 1984 ; Merritt, 1972 ; Palmström, 2005 ; L. Li et al. 2009) critiquant la représentation soit le calcul ou l'utilité de l'indice RQD.

Pour ces raisons, il est reconnu que le RQD est inapte à interpréter la complexité inhérente du massif rocheux et ne peut constituer adéquatement un outil exclusif de système de classification des roches. Néanmoins, le système RQD est utilisé dans d'autres classifications en tant que paramètre principalement en raison de sa force descriptive du système de discontinuités du massif.

III.4.2. 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 ou 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 (1973) juge les contraintes inutiles dans son système, car elles sont principalement considérées lors de la sélection du support de terrain. De plus, l'auteur estime le système RMR adéquat pour un projet civil jusqu'à une contrainte verticale de 25 MPa (Bieniawski, 1989). 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.4.3. Limitation du système Q

- L'utilisation de l'indice Q est spécifiquement développée pour des tunnels et des excavations en forme de voute, 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.
 - Etant donné que la cote Q a été développée presque exclusivement avec moins de 3 séries de discontinuités, 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.

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 Braton :

$$\text{RMR} = 9 \log Q + 44 \dots \text{IV.9}$$

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

$$\text{GSI} = \text{RMR}_{76}^* \dots \text{IV.10}$$

-Avec des conditions hydrauliques valeur de 10 (humide) et un ajustement pour l'orientation des discontinuités égale 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 :

$$\text{GSI} = \text{RMR}_{89} - 5^* \dots \text{IV.11}$$

-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

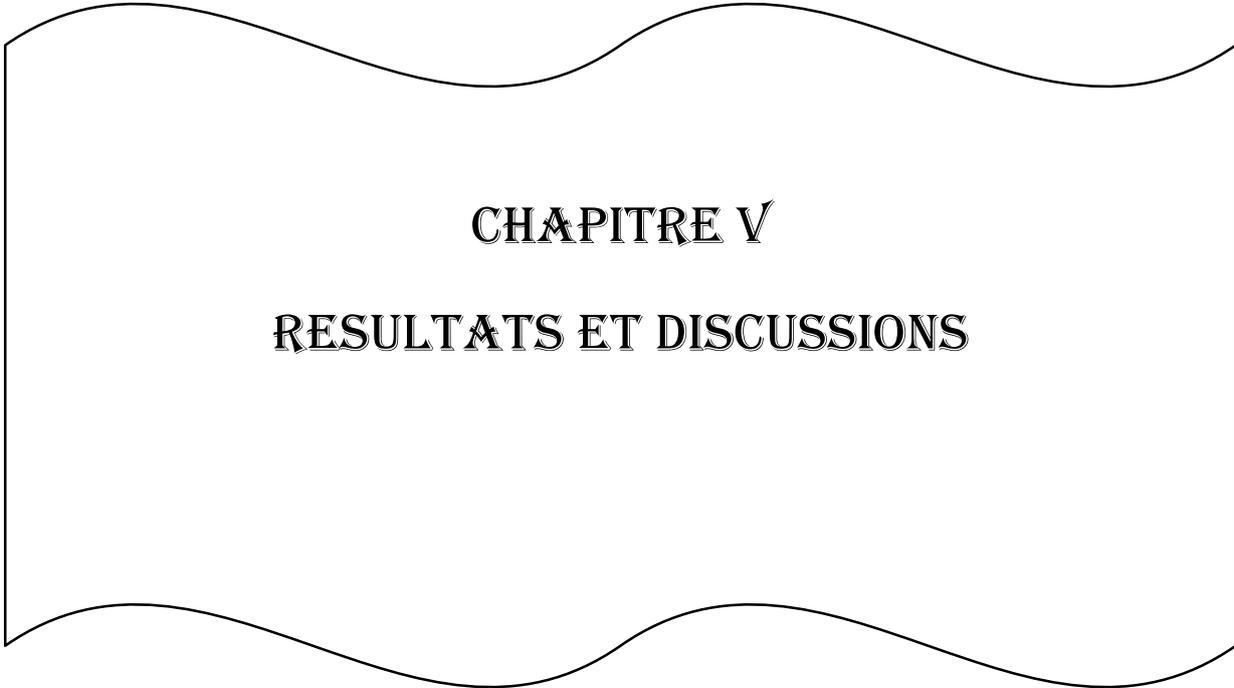
Les classifications quantitatives des massifs rocheux fracturés sont utilisées depuis plusieurs dizaines d'années pour la conception et la construction des ouvrages réalisés dans les massifs rocheux. Elles sont basées sur la connaissance des paramètres décrivant la qualité du massif rocheux et font la 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 *Q-system* ne sont pas adaptés au cas de roches tendres.

VI. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté plusieurs méthodes de classification semi-empiriques des massifs rocheux. Nous retenons quelques remarques essentielles : Vu leur simplicité, les systèmes de classification empiriques (RQD, RMR, Q système, GSI) sont fréquemment utilisés dans le calcul des ouvrages souterrains. Toutefois, leur emploi n'est pas suffisant pour la détermination ou le dimensionnement des soutènements et l'évaluation de la déformabilité et la stabilité des ouvrages. Le recours à ce type de classification doit être limité à la phase préliminaire de l'avant-projet.



CHAPITRE V
RESULTATS 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 : El Aouana, Aftis1 et Aftis2 .

Le travail est basé sur l'étude des discontinuités de chaque site pour cela, nous avons adopté le protocole suivant qui consiste prendre sept mesures des massifs rocheux choisies sur la RN43 (Les données appartiennent à Mme Yellas).

II. Exemple de calcul des différents paramètres géométriques

II.1. Calcul de RQD

RQD peut être corrélé à la fréquence des joints

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

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

$$\lambda = 120/20 = 6$$

Donc $RQD = 100(0,1 \times 6 + 1)e^{-0,1 \times 6} = 87,80$ (exemple du massif 01 des Aftis 1)

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 d'El-Aouana

Station	% classe de RQD	Valeur RQD (NOTE)	RQD %	RQD globale	Qualité du massif
El Aouana	75%-90%	17	86	87	Faible
	50%-75%	13	68		
	50%-75%	13	73		
	90%-100%	20	96		
	90%-100%	20	99		
	90%-100%	20	93		
	90%-100%	20	98		

A partir des résultats du tableau V .1, le RQD est compris entre le $75 < RQD < 90$ ce qui signifie que le site d'El Aouana est considéré comme un massif de faible qualité.

Tableau. V .2 classification RQD globale des sept massifs station des Aftis 1

station	%classe de RQD	Valeur RQD (note)	RQD %	RQD globale	Qualité du massif
Aftis 1	75%-90%	17	87	84	Faible
	25%-50%	8	47		
	90%-100%	20	97		
	90%-100%	20	93		
	75%-90%	17	86		
	75%-90%	17	89		
	90%-100%	20	90		

D'après les résultats des mesures effectuées sur le site des Aftis 1 résumés dans le tableau V .2 l'indice de qualités de la masse rocheuse est compris entre $75 < RQD < 90$ ce qui signifie que le massif des Aftis 1 est classé comme roches de faible qualité.

Tableau.V.3 classification RQD globale des sept massif station des Aftis 2

Station	%classe de RQD	Valeur RQD (note)	RQD %	RQD globale	Qualité du massif
Aftis 2	75%-90%	17	89	86	Faible
	90%-100%	20	93		
	90%-100%	20	97		
	75%-90%	17	86		
	50%-75%	13	73		
	90%-100%	20	90		
	75%-90%	17	80		

Les mesures effectuées sur le site des Aftis 2 représenté dans le tableau V.3 montrent que le massif est classé comme rocher de qualité faible après calcul du RQD qui comprit entre $75 < RQD < 90$.

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 de rocher.
- L'espace des discontinuités.
- La nature des discontinuités.
- Les conditions hydrauliques.

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

Les RMR est la somme des note $RMR=R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5$.

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

✓ Station d'El Aouana

Tableau.V.4 valeurs de RMR de la station d'El Aouana

	Paramètre	Description	Note	RMR
Massif 01	Résistance de la roche	50<Rc<100Mpa	7	49
	RQD	75%-90%	17	
	Espacement des joints	200-600mm	10	
	Nature de discontinuités	Remplissage mou >5mm joints ouverts >5mm joint continus	0	
	Condition hydraulique	Complètement sec	15	
Massif 02	Paramètre	Description	Note	RMR
	Résistance de la roche	50<Rc<100Mpa	7	45
	RQD	50%-75%	13	
	Espacement des joints	200-600mm	10	
	Nature de discontinuités	Remplissage mou >5mm joints ouverts >5mm joint continus	0	
	Condition hydraulique	Complètement sec	15	
Massif 03	Paramètre	Description	Note	RMR
	Résistance de la roche	50<Rc100Mpa	7	45
	RQD	50%-75%	13	
	Espacement des joints	200-600mm	10	
	Nature de discontinuités	Remplissage mou >5mm joints ouverts >5mm joint continus	0	
	Condition hydraulique	Complètement sec	15	
Massif 04	Paramètre	Description	Note	RMR
	Résistance de la roche	50<Rc100Mpa	7	77
	RQD	90%-100%	20	
	Espacement des joints	<60mm	5	
	Nature de discontinuités	Surface très rugueuse non continues, épontes en contact, épontes non altérées	30	
	Condition hydraulique	Complètement sec	15	
Massif 05	Paramètre	Description	Note	RMR
	Résistance de la roche	50<Rc100Mpa	7	
	RQD	90%-100%	20	
	Espacement des joints	200-600mm	10	

	Nature de discontinuités	Remplissage mou >5mm joints ouverts >5mm joint continus	0	52
	Condition hydraulique	Complètement sec	15	
Massif 06	Paramètre	Description	Note	RMR
	Résistance de la roche	50<Rc100Mpa	7	50
	RQD	90%-100%	20	
	Espacement des joints	60-200mm	8	
	Nature de discontinuités	Remplissage mou >5mm joints ouverts >5mm joint continus	0	
	Condition hydraulique	Complètement sec	15	
Massif 07	Paramètre	Description	Note	
	Résistance de la roche	50<Rc100Mpa	7	52
	RQD	90%-100%	20	
	Espacement des joints	200-600mm	10	
	Nature de discontinuités	Remplissage mou >5mm joints ouverts >5mm joint continus	0	
	Condition hydraulique	Complètement sec	15	

-Le RMR = 7+17+10+0+15=49 (station d'El Aouana, massif 01)

-Le RMR = 7+13+10+0+15=45 (station d'El Aouana massif 02)

-Le RMR =7+13+10+0+15=45 (station d'El Aouana massif 03)

-Le RMR =7+20+5+30+15=77 (station d'El Aouana massif 04)

-Le RMR =7+20+10+0+15=52 (station d'El Aouana massif 05)

-Le RMR =7+20+8+0+15=50 (station d'El Aouana massif 06)

-Le RMR =7+20+10+0+15=52 (station d'El Aouana massif 07)

Les résultats de RMR sont compris entre 41 et 60 ce qui implique que la station d'El Aouana est classée comme rocher moyen (classe III)

✓ Station des Aftis 01

Tableau.V.5 valeurs de RMR de la station des Aftis 01

	Paramètre	Description	Note	RMR
Massif 01	Résistance de la roche	100<Rc<250Mpa	12	52
	RQD	75%-90%	17	
	Espacement des joints	60-200mm	8	
	Nature de discontinuités	Remplissage mou >5mm joints ouverts >5mm joint continus	0	
	Condition hydraulique	Complètement sec	15	
Massif 02	Paramètre	Description	Note	RMR
	Résistance de la roche	100<Rc<250Mpa	12	45
	RQD	25%-50%	8	
	Espacement des joints	200-600mm	10	
	Nature de discontinuités	Remplissage mou >5mm joints ouverts >5mm joint continus	0	
	Condition hydraulique	Complètement sec	15	
Massif 03	Paramètre	Description	Note	RMR
	Résistance de la roche	100<Rc<250Mpa	12	82
	RQD	90%-100%	20	
	Espacement des joints	<60mm	5	
	Nature de discontinuités	Surface très rugueuse non continus épontes en contact épontes non altérés	30	
	Condition hydraulique	Complètement sec	15	
Massif 04	Paramètre	Description	Note	RMR
	Résistance de la roche	100<Rc<250Mpa	12	62
	RQD	90%-100%	20	
	Espacement des joints	<60mm	5	
	Nature de discontinuités	Surface lustrés ou remplissage <5mm ou joint ouvert 1à5mm joints continus	10	
	Condition hydraulique	Complètement sec	15	
Massif 05	Paramètre	Description	Note	RMR
	Résistance de la roche	100<Rc<250Mpa	12	79
	RQD	75%-90%	17	
	Espacement des joints	<60mm	5	
	Nature de discontinuités	Surface très rugueuse non continus épontes en contact épontes non altérés	30	
	Condition hydraulique	Complètement sec	15	
Massif 06	Paramètre	Description	Note	RMR
	Résistance de la roche	100<Rc<250Mpa	12	82
	RQD	75%-90%	17	
	Espacement des joints	60-200mm	8	
	Nature de discontinuités	Surface très rugueuse non continus épontes en contact épontes non altérés	30	

	Condition hydraulique	Complètement sec	15	
Massif 07	Paramètre	Description	Note	RMR
	Résistance de la roche	100<Rc<250Mpa	12	85
	RQD	90%-100%	20	
	Espacement des joints	60-200mm	8	
	Nature de discontinuités	Surface très rugueuse non continus épontes en contact épontes non altérés	30	
	Condition hydraulique	Complètement sec	15	

-Le RMR =12+17+8+0+15=52 (station des Aftis 01, massif 01)

-Le RMR =12+8+10+0+15=45 (station des Aftis 01, massif 02)

-Le RMR =12+20+5+30+15=82 (station des Aftis 01, massif 03)

-Le RMR =12+20+5+10+15=62 (station des Aftis 01, massif 04)

-Le RMR = 12+17+5+30+15=79 (station des Aftis 01, massif 05)

-Le RMR = 12+17+8+30+15=82 (station des Aftis 01, massif 06)

-Le RMR =12+20+8+30+15=85 (station des Aftis 01, massif 07)

D'après les résultats de nos mesures et calcul de RMR la station des Aftis appartient à la classe de roche de bonne qualité (classe II)

✓ **Station des Aftis 02**

Tableau. V .6 valeurs de RMR de la station des Aftis 02

Massif 01	Paramètre	Description	Note	RMR
	Résistance de la roche	25<Rc<50Mpa	4	56
	RQD	75%-90%	17	
	Espacement des joints	0,6-2m	15	
	Nature de discontinuités	Surface légèrement rugueuses épaisseur < 1mm épontes altérées	20	
	Condition hydraulique	Problème sérieux de venus d'eau	0	
Massif 02	Paramètre	Description	Note	
	Résistance de la roche	25<Rc<50Mpa	4	59
	RQD	90%-100%	20	
	Espacement des joints	200-600mm	10	

	Nature de discontinuités	Surface légèrement rugueuses épaisseur < 1mm épontes non altérées	25	
	Condition hydraulique	Problème sérieux de venus d'eau	0	
Massif 03	Paramètre	Description	Note	RMR
	Résistance de la roche	25<Rc<50Mpa	4	59
	RQD	90%-100%	20	
	Espacement des joints	0,6-2m	15	
	Nature de discontinuités	Surface légèrement rugueuses épaisseur < 1mm épontes altérées	20	
	Condition hydraulique	Problème sérieux de venus d'eau	0	
Massif 04	Paramètre	Description	Note	
	Résistance de la roche	25<Rc<50Mpa	4	46
	RQD	75%-90%	17	
	Espacement des joints	0,6-2m	15	
	Nature de discontinuités	Surface lustrées ou remplissage <5mm ou joints ouverts 1à5mm joint continus	10	
	Condition hydraulique	Problème sérieux de venus d'eau	0	
Massif 05	Paramètre	Description	Note	
	Résistance de la roche	25<Rc<50Mpa	4	42
	RQD	50%-75%	13	
	Espace ment des joints	0,6-2m	15	
	Nature de discontinuités	Surface lustrées ou remplissage <5mm ou joints ouverts 1à5mm joint continus	10	
	Condition hydraulique	Problème sérieux de venus d'eau	0	
Massif 06	Paramètre	Description	Note	
	Résistance de la roche	25<Rc<50Mpa	4	39
	RQD	90%-100%	20	
	Espacement des joints	0,6-2m	15	
	Nature de discontinuités	Remplissage mou >5mm joint ouvert > 5mm joint continus	0	
	Condition hydraulique	Problème sérieux de venus d'eau	0	
Massif 07	Paramètre	Description	Note	
	Résistance de la roche	25<Rc<50Mpa	4	36
	RQD	75%-90%	17	
	Espacement des joints	0,6-2m	15	
	Nature de discontinuités	Remplissage mou >5mm joint ouvert > 5mm joint continus	0	
	Condition hydraulique	Problème sérieux de venus d'eau	0	

-Le RMR =4+17+15+20+0=56 (station des Aftis 02, massif 01)

-Le RMR =4+20+10+25+0=59 (station des Aftis 02, massif 02)

-Le RMR =4+20+15+20+0=59 (station des Aftis 02, massif 03)

-Le RMR =4+17+15+10+0=46 (station des Aftis 02, massif 04)

-Le RMR =4+13+15+10+0=42 (station des Aftis 02, massif 05)

-Le RMR =4+20+15++0+0=39 (station des Aftis 02, massif 06)

-Le RMR =4+17+15+0+0=36 (station des Aftis 02, massif 07)

D'après les résultats de nos mesures et calcul de RMR la station des Aftis 2 est classé comme rocher moyen (classe III)

Tableau.V.7 récapitulatif des résultats de RMR

Stations	% classe de RMR	RMR (valeur)	RMR globale	Observation
El Aouana	41%-60%	49	52	rocher moyen
	41%-60%	45		
	41%-60%	45		
	61%-80%	77		
	41%-60%	52		
	41%-60%	50		
Aftis 01	41%-60%	52	69	Bon Rocher
	41%-60%	45		
	81%-100%	82		
	61%-80%	62		
	61%-80%	79		
	81%-100%	82		
Aftis 02	41%-60%	56	48	Rocher moyen
	41%-60%	59		
	41%-60%	59		
	41%-60%	46		
	41%-60%	42		
	21%-40%	39		
	21%-40%	36		

Le tableau V.7 montre que le massif rocheux des Aftis 01 est de bon qualité avec une valeur de RMR égale 69, alors que les deux autres stations sont de moyen qualités.

II.3. Calcul du système Q

✓ Station d’El Aouana

L’indice de système Q est calculé de la manière suivante :

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

$$Q = \frac{17}{15} \times \frac{3}{2} \times \frac{1}{5} = 0,34$$

Tableau. V .8 valeur du système Q de la station d’El Aouana

	Paramètre	Description	Note	Q
Massif 01	RQD	75%-90%	17	0,34
	Jn	Quatre (ou plus) famille et des discontinuités dispersées roche très densément fracturé en "morceaux de sucre"	15	
	Jr	Discontinuités rugueuse ou irrégulière et ondulée	3	
	Ja	Epointes largement altérés, enduit sans minéraux argileux, mais avec des parties sableuse	2	
	Jw	Excavation hors d’eau ou avec un débit très faible (5[l / mn]) localement	1	
	SRF	Discontinuités ouverts, roche fortement fracturée	5	
	Massif 02	Paramètre	Description	
RQD		50%-75%	13	0,26
Jn		Quatre (ou plus) famille et des discontinuités dispersées roche très densément fracturé en "morceaux de sucre"	15	
Jr		Discontinuités rugueuse ou irrégulière et ondulée	3	
Ja		Epointes largement altérés, enduit sans minéraux argileux, mais avec des parties sableuse	2	
Jw		Excavation hors d’eau ou avec un débit très faible (5[l / mn]) localement	1	
SRF		Discontinuités ouverts, roche fortement fracturée	5	
Massif 03	Paramètre	Description	Note	
	RQD	50%-75%	13	0,26
	Jn	Quatre (ou plus) famille et des discontinuités dispersées roche très densément fracturé en "morceaux de sucre"	15	
	Jr	Discontinuités rugueuse ou irrégulière et ondulée	3	
	Ja	Epointes largement altérés, enduit sans minéraux argileux, mais avec des parties sableuse	2	
	Jw	Excavation hors d’eau ou avec un débit très faible (5[l / mn]) localement	1	
	SRF	Discontinuités ouverts, roche fortement fracturée	5	
Mas sif	Paramètre	Description	Note	
	RQD	90%-100%	20	

	Jn	Quatre (ou plus) famille et des discontinuités dispersées roche très densément fracturé en "morceaux de sucre"	15	0,26
	Jr	Discontinuités rugueuse ou irrégulière et ondulée	3	
	Ja	Enduit silteux ou sableux faiblement argileux	3	
	Jw	Excavation hors d'eau ou avec un débit très faible (5[l / mn]) localement	1	
	SRF	Discontinuités ouverts, roche fortement fracturée	5	
Massif 05	Paramètre	Description	Note	Q
	RQD	90%-100%	20	0,4
	Jn	Quatre (ou plus) famille et des discontinuités dispersées roche très densément fracturé en "morceaux de sucre"	15	
	Jr	Discontinuités rugueuse ou irrégulière et ondulée	3	
	Ja	Epontes largement altérés, enduit sans minéraux argileux, mais avec des parties sableuse	2	
	Jw	Excavation hors d'eau ou avec un débit très faible (5[l / mn]) localement	1	
	SRF	Discontinuités ouverts, roche fortement fracturée	5	
Massif 06	Paramètre	Description	Note	Q
	RQD	90%-100%	20	0,4
	Jn	Quatre (ou plus) famille et des discontinuités dispersées roche très densément fracturé en "morceaux de sucre"	15	
	Jr	Discontinuités rugueuse ou irrégulière et ondulée	3	
	Ja	Epontes largement altérés, enduit sans minéraux argileux, mais avec des parties sableuse	2	
	Jw	Excavation hors d'eau ou avec un débit très faible (5[l / mn]) localement	1	
	SRF	Discontinuités ouverts, roche fortement fracturée	5	
Massif 07	Paramètre	Description	Note	Q
	RQD	90%-100%	20	0,4
	Jn	Quatre (ou plus) famille et des discontinuités dispersées roche très densément fracturé en "morceaux de sucre"	15	
	Jr	Discontinuités rugueuse ou irrégulière et ondulée	3	
	Ja	Epontes largement altérés, enduit sans minéraux argileux, mais avec des parties sableuse	2	
	Jw	Excavation hors d'eau ou avec un débit très faible (5[l / mn]) localement	1	
	SRF	Discontinuités ouverts, roche fortement fracturée	5	

Les résultats de calcul du système Q ($0,1 < Q < 1$) de la station d'El Aouana montre que le massif est de très mauvais rocher (classe E)

Tableau.V.9 Valeurs du système Q de la station des Aftis 1

	Paramètre	Description	Note	Q
	Massif 01	RQD	75%-90%	17
Jn		Trois familles de discontinuités	9	
Jr		Discontinuités 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 ($5[l / mn]$) localement	1	
SRF		Discontinuité ouverts, roche fortement fracturé	5	
Massif 02		Paramètre	Description	Note
	RQD	25%-50%	8	0,16
	Jn	Quatre (ou plus) famille et des discontinuités dispersées roche très densément fracturé en "morceaux de sucre"	15	
	Jr	Discontinuités 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 ($5[l / mn]$) localement	1	
	SRF	Discontinuité ouverts, roche fortement fracturé	5	
Massif 03	Paramètre	Description	Note	
	RQD	90%-100%	20	1,33
	Jn	Trois familles de discontinuités	9	
	Jr	Discontinuités rugueuse ou irrégulière et ondulée	3	
	Ja	Epontes non altérés, uniquement oxydées	1	
	Jw	Excavation hors d'eau ou avec un débit très faible ($5[l / mn]$) localement	1	
	SRF	Une zone d'altération isolée contenant des argiles ou du matériau chimiquement dégradé, à une profondeur <50 m	5	
Massif 04	Paramètre	Description	Note	
	RQD	90%-100%	20	0,66
	Jn	Trois familles de discontinuités	9	
	Jr	Discontinuités 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 ($5[l / mn]$) localement	1	
	SRF	Discontinuité ouverts, roche fortement	5	
Massif 05	Paramètre	Description	Note	Q
	RQD	75%-90%	17	1,36
	Jn	Quatre (ou plus) famille et des discontinuités dispersées roche très densément fracturé en "morceaux de sucre"	15	
	Jr	Discontinuités rugueuse ou irrégulière et ondulée	3	
	Ja	Epontes non altérés, uniquement oxydées	1	
	Jw	Excavation hors d'eau ou avec un débit très faible ($5[l / mn]$) localement	1	
	SRF	Idem mais profondeur >50 m	2,5	
Massif 06	Paramètre	Description	Note	
	RQD	75%-90%	17	2,26
	Jn	Trois familles de discontinuités	9	
	Jr	Discontinuités rugueuse ou irrégulière et ondulée	3	
	Ja	Epontes non altérés, uniquement oxydées	1	
	Jw	Excavation hors d'eau ou avec un débit très faible ($5[l / mn]$) localement	1	
	SRF	Idem mais profondeur >50 m	2,5	
Massif 07	Paramètre	Description	Note	
	RQD	90%-100%	20	1,33
	Jn	Trois familles de discontinuités	9	
	Jr	Discontinuités rugueuse ou irrégulière et ondulée	3	
	Ja	Epontes non altérés, uniquement oxydées	1	
	Jw	Excavation hors d'eau ou avec un débit très faible ($5[l / mn]$) localement	1	
	SRF	Une zone d'altération isolée contenant des argiles ou du matériau chimiquement dégradé, à une profondeur <50 m	5	

Les résultats de calcul du système Q ($1 < Q < 4$) de la station des Aftis 01 montre que le massif est de mauvais rocher (classe D)

Tableau.V.10 Valeurs du système Q de la station des Aftis 02

	Paramètre	Description	Note	Q
Massif 01	RQD	75%-90%	17	0,11
	Jn	Quatre (ou plus) famille et des discontinuités dispersées roche très densément fracturé en "morceaux de sucre"	15	
	Jr	Discontinuités lisse et ondulée	2	
	Ja	Epointes 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 fracturé	5	
	Massif 02	Paramètre	Description	
RQD		90%-100%	20	0,17
Jn		Quatre (ou plus) famille et des discontinuités dispersées roche très densément fracturé en "morceaux de sucre"	15	
Jr		Discontinuités lisse et ondulée	2	
Ja		Epointes non altérés, uniquement oxydées	1	
Jw		Pression ou débit important dans une roche compétente sans remplissage dans les discontinuités	0,5	
SRF		Multiple zones de cisaillement dans une roche compétente sans argile	7,5	
Massif 03	Paramètre	Description	Note	
	RQD	90%-100%	20	0,13
	Jn	Quatre (ou plus) famille et des discontinuités dispersées roche très densément fracturé en "morceaux de sucre"	15	
	Jr	Discontinuités lisse et ondulée	2	
	Ja	Epointes 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	Discontinuité ouvertes, roche fortement fracturé	5	
Massif 04	Paramètre	Description	Note	
	RQD	75%-90%	17	0,28
	Jn	Trois familles de discontinuité	9	
	Jr	Discontinuités rugueuse ou irrégulière et ondulée	3	
	Ja	Epointes 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	Discontinuité ouvertes, roche fortement fracturé	5	

	Paramètre	Description	Note	Q
	Massif 05	RQD	50%-75%	13
Jn		Quatre (ou plus) famille et des discontinuités dispersées roche très densément fracturé en "morceaux de sucre"	15	
Jr		Discontinuités lisse et ondulée	2	
Ja		Epontes non altérés, uniquement oxydées	1	
Jw		Pression ou débit important dans une roche compétente sans remplissage dans les discontinuités	0,5	
SRF		Multiple zones de cisaillement dans une roche compétente sans argile	7,5	
Massif 06		Paramètre	Description	Note
	RQD	90%-100%	20	0,33
	Jn	Trois familles de discontinuité	9	
	Jr	Discontinuités 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	Discontinuité ouvertes, roche fortement fracturé	5	
Massif 07	Paramètre	Description	Note	
	RQD	75%-90%	17	0,28
	Jn	Trois familles de discontinuité	9	
	Jr	Discontinuités 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	Discontinuité ouvertes, roche fortement fracturé	5	

Les résultats de calcul du système Q de la station des Aftis 02, montrent qu'il est compris entre $0,1 < Q < 1$ ce qui implique une très mauvaise roche (classe E).

Tableau.V.11 tableau récapitulatif des résultats des calculs du système Q des trois stations

Stations	Classe de Q	Q (valeurs)	Q moyen	Classification
El Aouana	0,1-1	0,3	0,3	Très mauvais
	0,1-1	0,2		
	0,1-1	0,2		
	0,1-1	0,2		
	0,1-1	0,4		
	0,1-1	0,4		
	0,1-1	0,4		
Aftis 01	0,1-1	0,5	1,04	Mauvais
	0,1-1	0,1		
	1-4	1,3		
	0,1-1	0,6		
	1-4	1,3		
	1-4	2,2		
	1-4	1,3		
Aftis 02	0,1-1	0,1	0,1	Très mauvais
	0,1-1	0,1		
	0,1-1	0,1		
	0,1-1	0,2		
	0,1-1	0,1		
	0,1-1	0,3		
	0,1-1	0,2		

A partir des valeurs de l'indice Q calculées qui varient entre 0,1 et 4 dans les trois stations, nous pouvons déduire que les stations d'El Aouana et celle des Aftis 02 présentent de très mauvaises qualités et appartiennent à la classe E, alors que la station des Aftis 01 présente une mauvaise qualité de classe D.

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

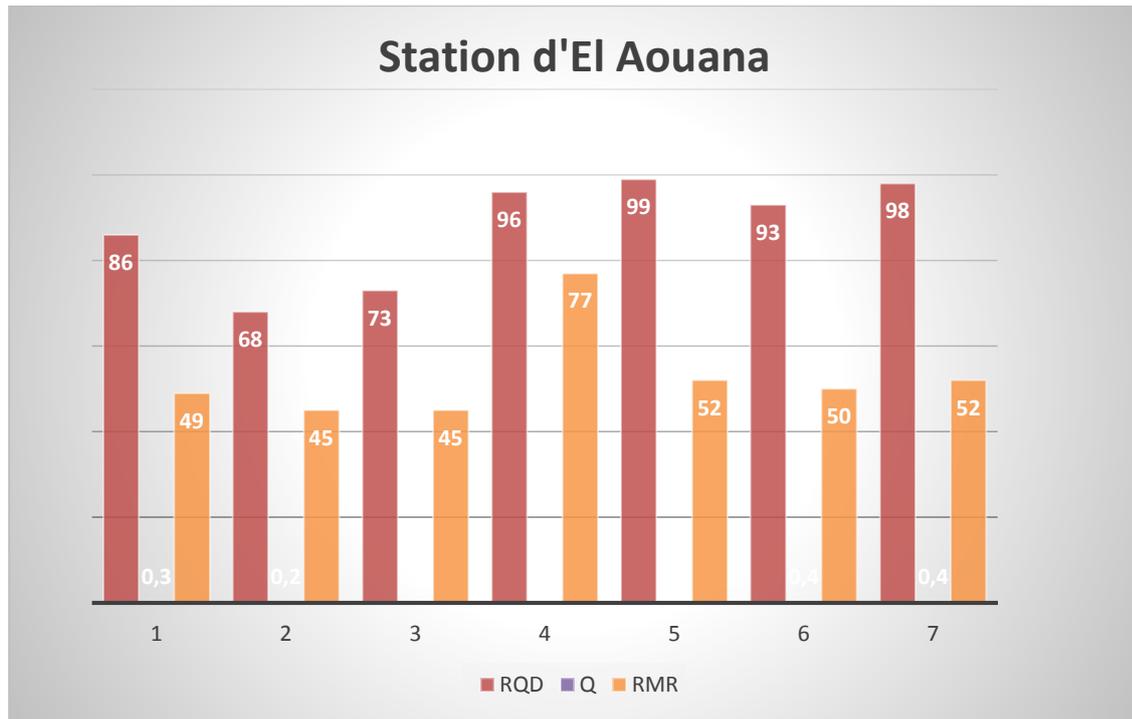


Figure.V.1 Comparaison entre RQD, RMR et Q des sept massifs
(Station d'El Aouana)

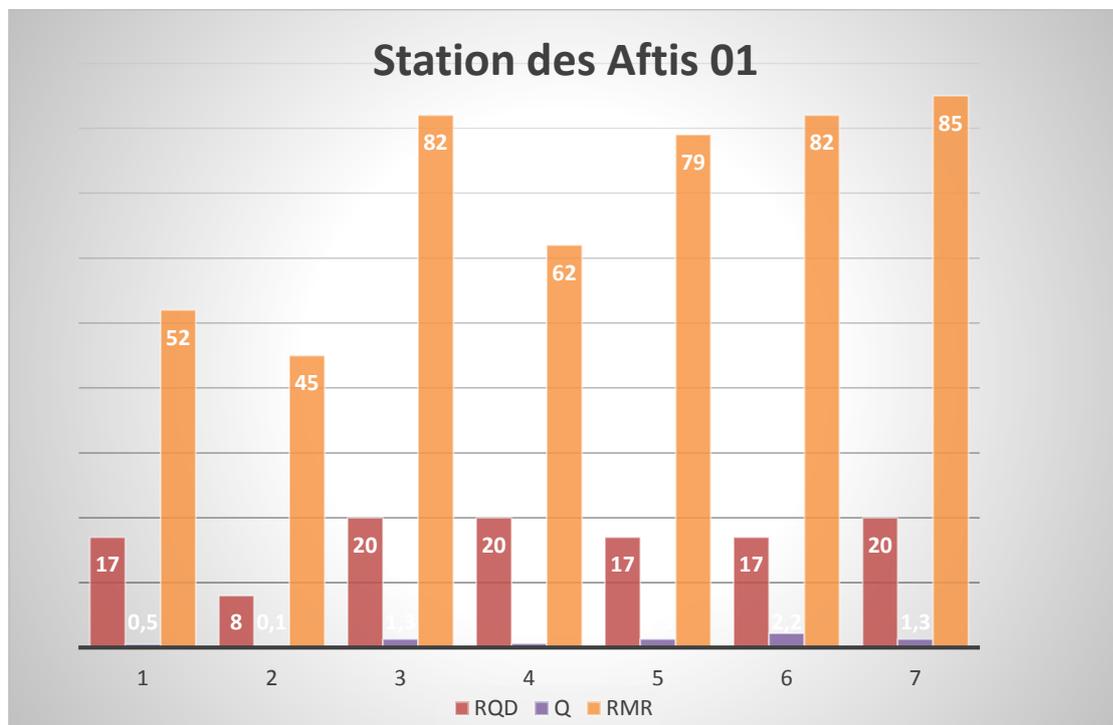


Figure.V.2 Comparaison entre RQD, RMR et Q des sept massifs
(Station Aftis 01)

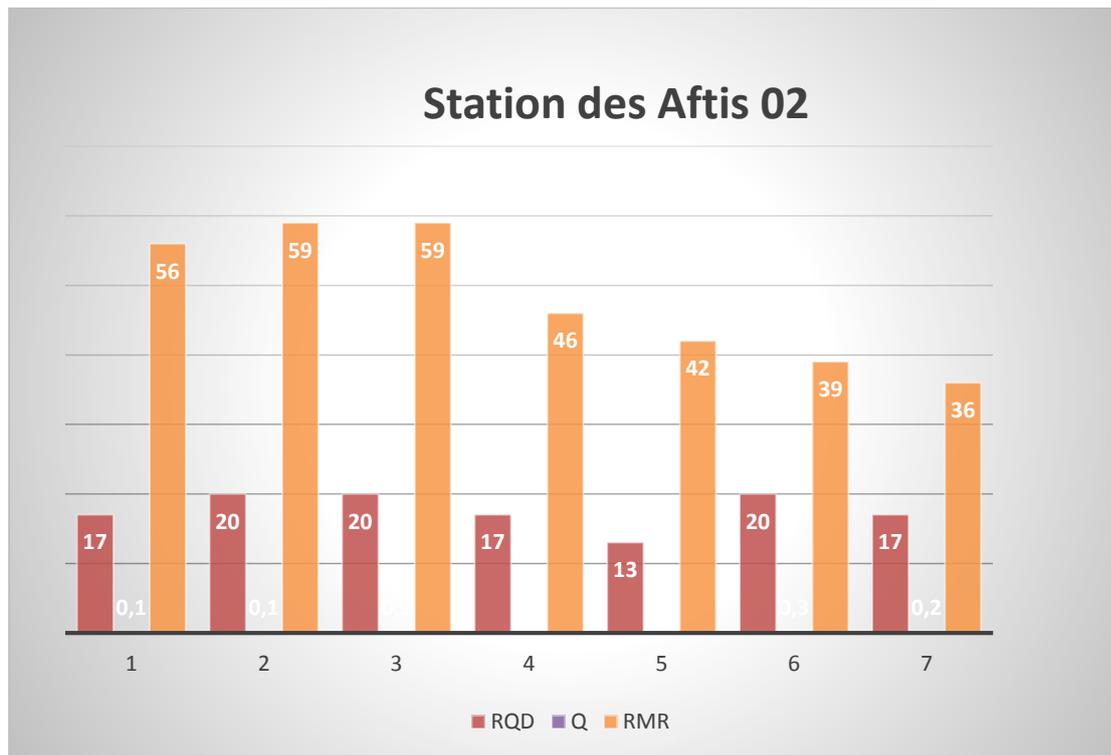


Figure.V.3 Comparaison entre RQD, RMR, et Q des sept massifs

(Station Aftis 02)

II.3. Estimation de GSI

A partir d'observation directes de la structure du massif rocheux, en se basant sur le critère de Hoek et Brown, en 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 de GSI de chaque site pour les différents faciès représentés sur les figures V.4, V.5 et V.6.

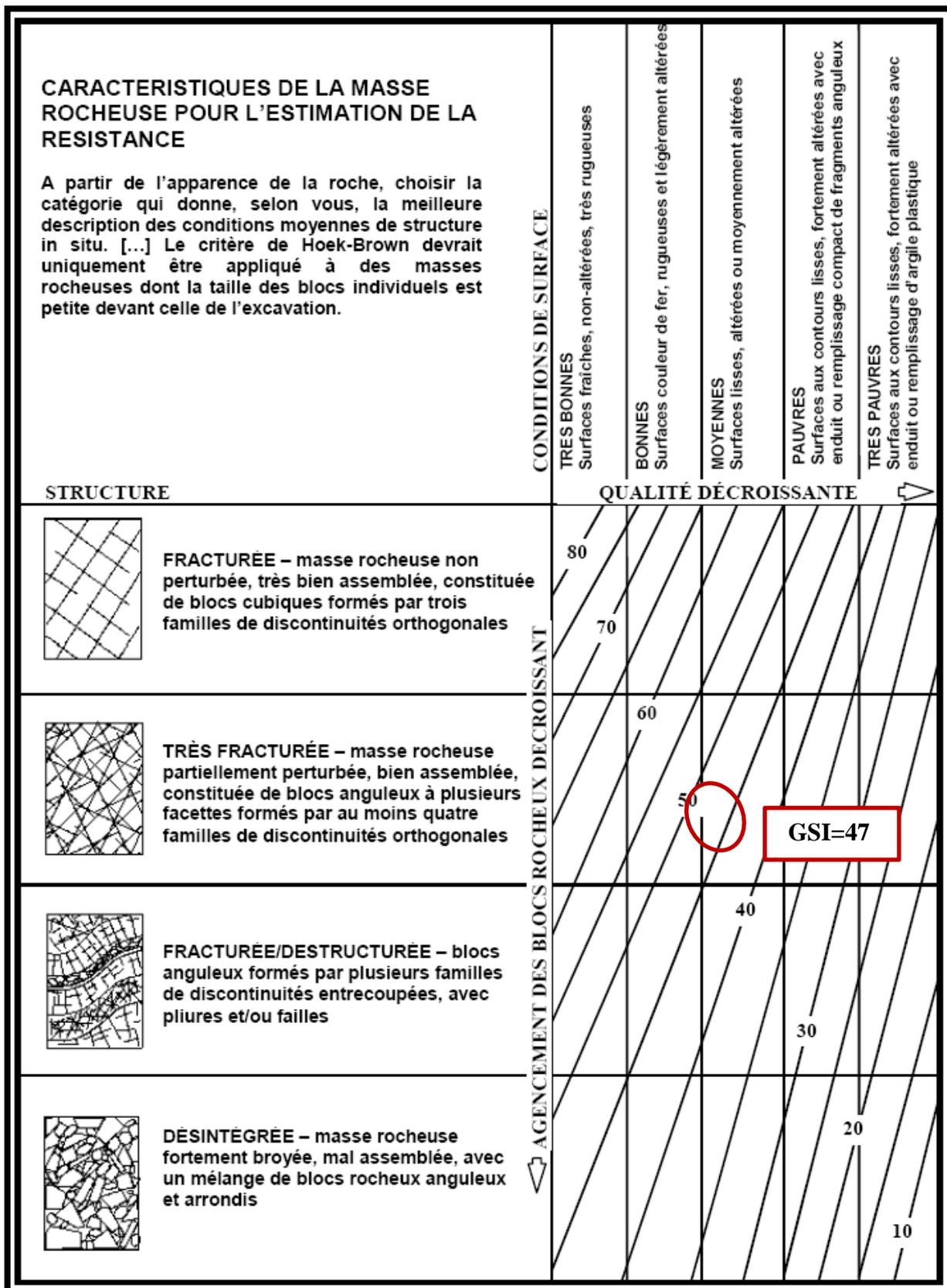


Figure.V.4 Charte GSI station d'El Aouana

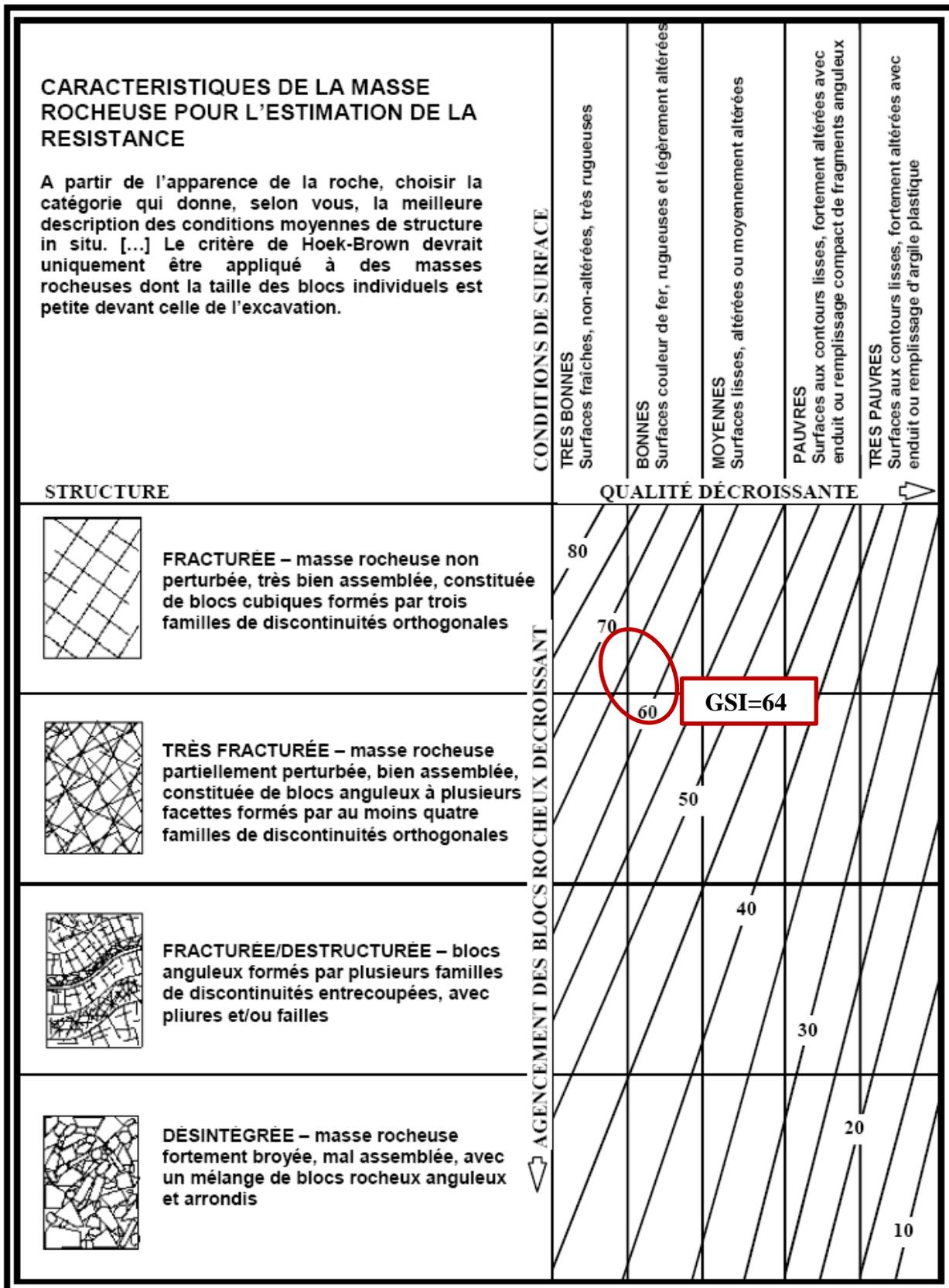


Figure.V.5 Charte GSI station des Aftis01

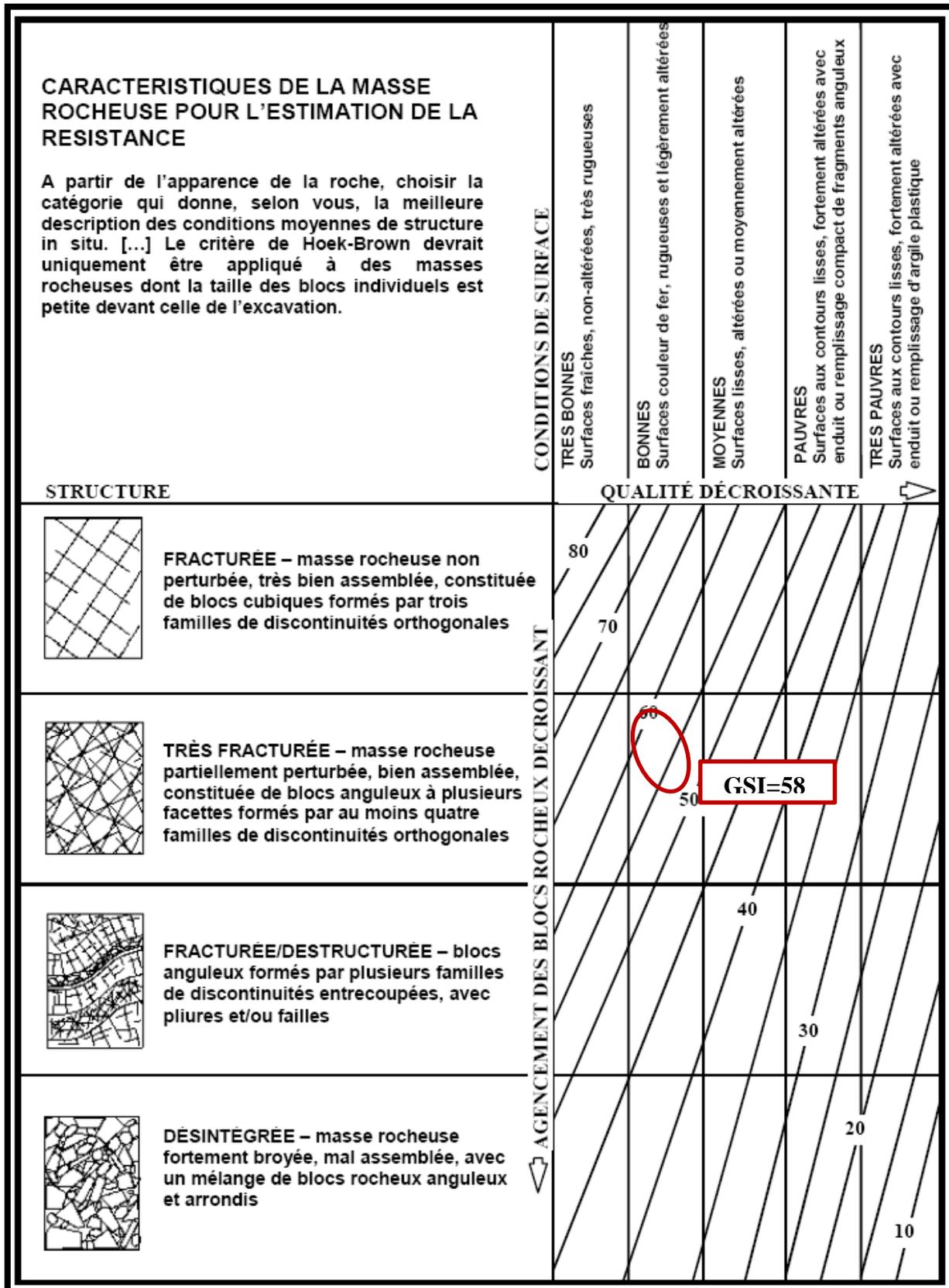


Figure.V.6 Charte GSI station des Aftis 02

D'après les chartes GSI des différents sites dans les figures V.4, V.5, et V.6, on observe que la valeur de GSI d'El Aouana est comprise entre 40 et 50, le massif est ainsi classé de moyenne qualité. Concernant les deux autres stations le GSI est comprise entre 50 et 70 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 El Aouana, Aftis 01 et Aftis 02 le long de la RN 43.

Les résultats obtenus montrent que le site des Aftis 01 est caractérisé par des massifs rocheux de mauvaise qualité, et les deux autres sites présentent un massif de qualité très mauvaise.

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 ne 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 d'El Aouana, Aftis 1 et Aftis 2.

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

- Chute de rochers
- Glissement de terrain le long d'une pente raide.
- Isolement de la population le long de la corniche

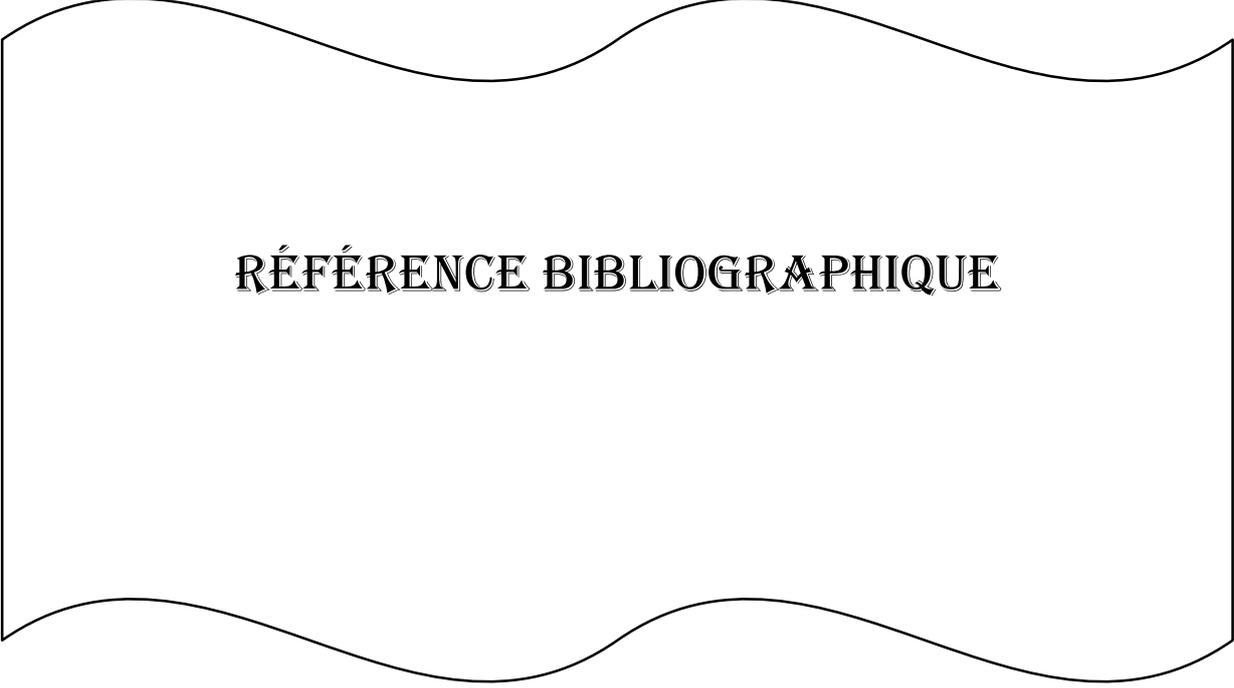
Grace aux systèmes de classification géomécanique (RQD, RMR, Q, GSI), on a pu estimer que la zone d'El Aouana est de moyenne qualité, tandis que les zones des Aftis 01 et Aftis 02 est de bonne qualité

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.



RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUE

Références bibliographique

Abacha,I , (2015) : « Etude de la sismicité de la région Nord-Est de l'Algérie », université Ferhat Abbas Sétif (Algérie).

Aftes (2003) : « recommandation relatives à la caractérisation des massifs rocheux utile à l'étude et à la réalisation des ouvrages souterrains », Tunnel et ouvrages souterraine, revue bimestrielle n°77.

B.Lamia,(2010) : « Etude de la flore adventice des cultures de la région de Jijel, mémoire de magistère », université Ferhat Abbas sétif

Barton, N, R. Lien, et al, (1974): « Engineering classification of rock masses for the design of rock support », Rock Mechanics.

Bencharef. M. H, (2016/2017) : « Inventaire des zones à risque de mouvement de terrain le long de la RN43 dans la Wilaya de Jijel », Université de Jijel.

Bieniawski, Z, T, (1973): « Engineering classification of jointed rock masses », Trans. S. Afr. Instn.Civil Engrs.

Bieniawski, Z. T. (1974): « Geomechanics classification of rock masses and its application in tunneling. Proc. Of the 3rd Int. Congress on Rock Mechanics ». Denver: 27-32.

Bieniawski Z.T (1976): « Engineering classification in rock engineering. In. Proceedings of the symposium on exploratoin for Rock Engineering », Johannesburg, pp. 97-106.

Bieniawski, Z. T. (1984): « Rock mechanics design in mining and tunneling, A.A. Balkema,Boston, MA ».

Bieniawski, Z, T, (1989): « Engineering rock mass classification: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering » New York John Wiley and Sons.

Boucenna, F. (2008/2009) : « cartographie par les différentes méthodes de vulnérabilité a la pollution d'une nappe côtière cas de la plaine alluviale de l'oued djendjen (Jijel, Nord-Est Algériens) », Université Badji Mokhtar–Annaba.

Bounar, R. (2014) : « Etude des potentialités biologiques, cartographie et aménagement de la chaîne des Babors dans la démarche du développement durable », Université Ferhat Abbas Sétif 01.

Bouternikh, R et Fegrou, I (2018/2019) : « Application des systèmes de classification des rocheuses : cas de la route nationale N°43-W. de Jijel », mémoire de master, université de Jijel.

Bouzahri, A et Aichour, S (2016) : « caractérisation du massif rocheux et l'étude de la stabilité de la flanc nord- ouestde Kef Essnoun », mémoire de master, université Abderrahmane Mira de Bejaia.

Bockel. M. (1972) : « Guide du forestier en Afrique du nord. Ed. Maison Rustique ». Paris.

Chekir, M et Mani, N (2016) : « caractérisation et classification géomécanique du massif rocheux d'Aokas Bejaia, Université Bejaia.

Chlhoub, M. (2006) :« Apport des méthodes d'homogénéisation numérique à la classification des massifs rocheux fracturés », thèse de doctorat 2006, Ecole Nationale des mines de paris, spécialité géologique de l'ingénieur.

Cours MDR, Mécanique des roches appliquée aux ouvrages souterrains.

Deere D.U. (1964): « Technical description of rock cores for engineering purposes ». Rock mechanics and rock engineering, vol1, pp,17-22.

Deer, D, U, (1968): « Geological consideration. Rock Mechanics in Engineering practice ». R. G. Stagg and D.C. Zienkiewicz. Wiley, New York.

Deer, D, U, A, J. Hendron, et al (1967): « Design of surface and near surface constructions in rock », proc, 8th U.S. Symp. Rock Mechanics. C. Fairhurst, Ney York.

Deere, D. U. and D. W. Deere (1988): « The Rock Quality Designation (RQD) index in practice. Proc. Symp. Rock Class. Engineering Purposes ». ASTM Special Technical Publications 984.

Durand, D. M. (1969) : « Mise au point sur la structure du Nord-Est de la BERBERIE ». Bull Serv Carte Géol Agérie NS.

Djellit (1987) : « géologique de la région de Jijel ».

Hebib, R, Alloul, B,Belhai,D. contribution de la ressource géologique locale dans le développement durable de l'infrastructure touristique des villes –cas de la région de jijel .

Hoek E, Brown ET, (1997): « Practical estimates of rock mass strength. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts ».

Hoek E, Kaiser PK, Bawden WF, (1995): « support of underground excavations in hard rock ». Rotterdam: A. A. Balkema.

Li. L. S. Ouellet, et al (2009): « An improved definition of rock quality designation, RQD. Proc of the 3rd CANUS Rock Mechanics symposium Toronto ».

Maciej, A (2012) : « Modification géomécanique pour les massifs rocheux schisteux », Université de Montréal.

Merritt. A. H (1972): « Géological predications for underground excavation proc. Of the North American Rapid Excav and Tunneling conf.1.

Messaad, S., & Ouaddah, A. (2017) : « Caractéristiques géologiques des indices minéralisées de la région de Guelma ».

Mohamed, M., Mohamed, A., & Saadali, B. (2017) : « Étude géologique et géotechnique du glissement de terrain de Texanna ».

Obert, D. (1974) : « Phases tectoniques mesozoiques d'age ante-cenomanien dans les Babors (Tell nord-setifien, Algerie) ». Bulletin de la Société géologique de France, 7(2).

Palmstrom, A. (1982) : « 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.

Palmstrom. A. (2005): « Measurements of and correlations between block size and rock quality designation (RQD) » Tunnelling and underground space Technology 21(6).

Priest, S. D. and J. A. Hudson (1976): « Discontinuity spacings in rock ». Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 13(5).

Vila, A. (1977) : « Analyse fonctionnelle et analyse morphotechnique. Dialektikê. Cahiers de Typologie Analytique Coarraze ».

Vila, J. M., & Obert, D. (1977) : Notice explicative de la carte géologique au 1/50.000. Feuille de Kherrata. Serv. De la carte géol. de l'Algérie.

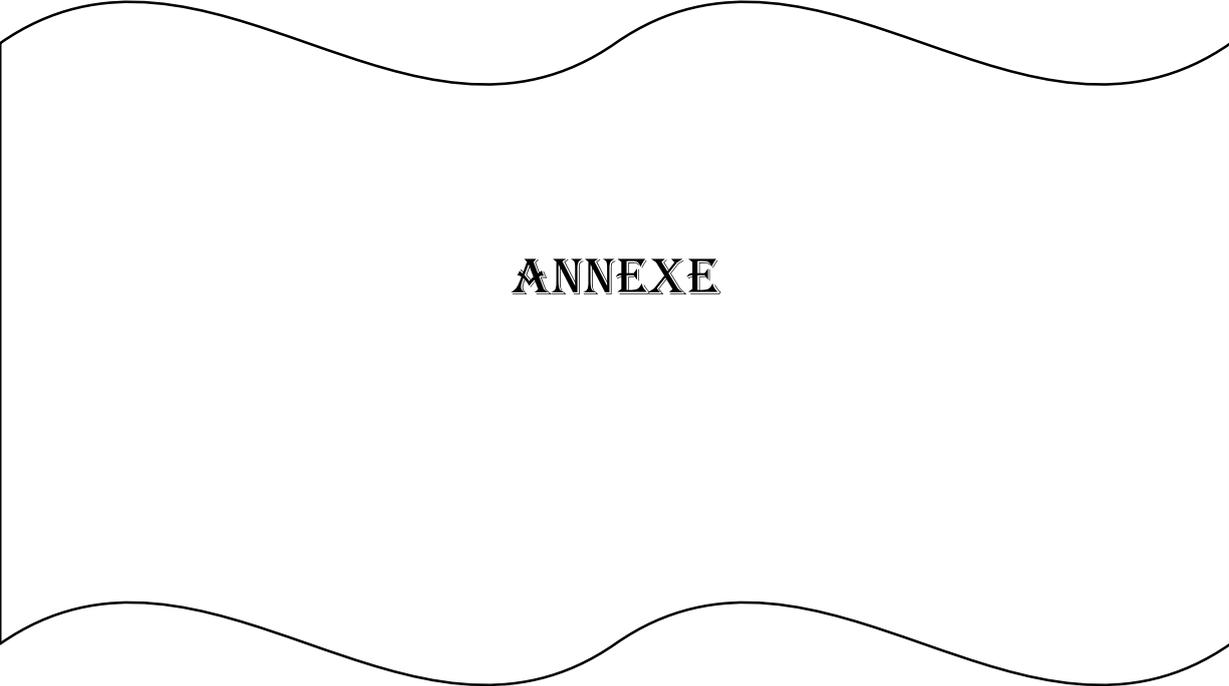
Yelles-Chaouche, A. K, Djellit. H, Beldjoudi. H, Bezzeghoud. M, and Boforn.F. (1999): « The Ain Temouchent (Algeria) earthquake of December 22nd, pure Appl. Geophys.

Yellas.C, (2008) : « Etude géologique et géotechnique du Tunnel de Oued Dar-El-Oued (Grottes Merveilleuses) Wilaya de Jijel », Mémoire de Magister, Université de Jijel- Algérie.

Yellas.C, Benzaid. R (2018): “Geological Context and Fracturing State of the Rock Massifs of the Jijelian Ledge (Northeast Algeria)”, Recent Advances in Geo-Environmental Engineering, Geomechanics and Geotechnics, and Geohazards, Proceedings of the 1st Springer Conference of the Arabian Journal of Geosciences (CAJG-1), pp 149-152.

DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-01665-4_35 (Indexed Scopus)

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



ANNEXE

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	0.5-1.0
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 de 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. Discontinuité non persistante	4
B. Discontinuités rugueuse ou irrégulière et ondulée	3
C. Discontinuités lisse et ondulée	2
D. Discontinuités lisse et ondulée 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
(c) les deux épontes ne sont pas en contact	
H. Discontinuité avec un remplissage argileux	1.0
I. Discontinuité avec un remplissage sableux graveleux ou de roche broyée	1.0

(4) Altération de la discontinuité	Ja	(ϕ) approximatif
(a) Contact 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	25°-30°
D. Enduit silteux ou sableux faiblement argileux	3	20°-25°
E. Enduit de minéraux faiblement frottant c'est-à-dire kaolinite, mica, gypse, chianite, talc, graphite... avec une petite quantité d'argiles gonflantes	4	8°-16°
(b) Epontes rocheuses restant en contact après un léger cisaillement (10 cm)		
F. Roche désintégrée, avec des parties sableuses mais sans argile	4	25°-30°
G. Remplissage argileux fortement sur-consolidé	6	16°-24°
H. Remplissage argileux faiblement à moyennement sur-consolidé	8	12°-16°
I. Remplissage argileux avec minéraux gonflants exemple : montmorillonite, la valeur de Ja dépend du pourcentage de minéraux expansifs et des conditions d'hydratation	8-12	6°-12°
(b) 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 8	6°-24
N. Zones ou bandes de matériau silteux, ou sableux avec une faible teneur en argile	5	//
O, P et R. Zones ou bandes de matériau argileux épaisses avec des conditions sur les minéraux argileux identique 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	1.1	$<9.8 \cdot 10^4$
B. Pression ou débit moyen, remplissage des discontinuités occasionnellement baigné	0.66	$9.8 \cdot 10^4 - 2.5 \cdot 10^5$
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 <50 m	.	.	5.2
C. Idem mais profondeur >50 m	.	.	2.5
D. Multiple zones de cisaillement dans une roche compétente sans argile	.	.	7.5
E. Zone de cisaillement isolée dans roche compétente, sans argile, profondeur < 50m	.	.	5.0
F. Idem mais profondeur >50m	.	.	2.5
G. Discontinuités ouvertes, roche fortement fracturée	.	.	5.0
(b) Roche 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 comprimé	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) Roche poussantes, déformations importantes			
M. Pression de déformation moyenne	.	.	5-11
N. Pression de déformation élevée	.	.	10-20
(d) Roches gonflantes			
M. Pression de gonflement moyenne	.	.	5-10
N. Pression de gonflement élevée	.	.	10-15

Vleur Q	400-1000	100-400	40-100	10-40	4-10	1-4	0.1-1	0.01-0.1	0.001-0.01
Classe du massif	A	A	A	B	C	D	E	F	G
Description	Except bon	Extre bon	Très bon	Bon	Moyen	Mauvais	Très mauvais	Extre mauvais	Except mauvais

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 des massifs rocheux influent directement sur le type de mouvement. Une étude géologique et géomécanique est nécessaire pour caractériser et classifier un massif rocheux.

Notre travail concerne une caractérisation et classification du massif rocheux et montagneux d'un tronçon de la RN43 reliant El Aouana, Aftis 1 et Aftis 2 (W.de Jijel) à Béjaia. 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 montrent que la zone d'El Aouana est classée de qualité moyenne ce qui implique une forte incidence des chutes de blocs et les dommages associés par contre les sites des Aftis 1 et Aftis 2 présentent des massifs rocheux plutôt de bonne qualité.

Mots clés : massifs 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 El Aouana, Aftis 1 and Aftis 2 (w.de Jijel) in Béjaia.

Geomechanical classification systems such as the RQD, RMR, Q system and the GSI were used to determine the rock quality of this massif, which represents problems and hazards that threaten the RN 43 highway.

The results obtained show that the El Aouana area is classified as average, which implies a high incidence of block falls and the associated damages. On the other hand, the sites of Aftis 1 and Aftis 2 have rock masses of rather good quality.

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

المخلص

معظم الانزلاقات الارضية ناتجة عن عدم استقرار الكتل الصخرية وهذه الظواهر الطبيعية تشكل خطر حقيقي على الاشخاص والممتلكات وبما ان الخصائص الجيوميكانيكية للصخور لها تأثير مباشر على طبيعة تركيب الارض ولهذا السبب يجب القيام بدراسة جيولوجية جيوتقنية نستطيع من خلالها تصنيف جميع الكتل الصخرية.

كما ان دراستنا هاته تابعة لهذا الإطار وتشمل الطريق الوطني رقم 43 الرابط بين العوانة وزيامة المنصورية بحيث خصصنا منها الصخور المطلة على الطريق في ثلاث اماكن: العوانة، افتيس 01 وافتيس 02

ان انظمة التصنيف RQD, RMR, Q, GSI تستعمل لضمان الخصائص الملائمة والمطابقة لسلامة واستقرار الكتل الصخرية، ان النتائج المتحصل عليها من خلال دراستنا هذه اثبتت ان صخور منطقة العوانة ذات نوعية متوسطة وهي معرضة لخطر الانهيار والخسائر الناتجة عنه على عكس ذلك فان منطقتي الافتيس 01 والافتيس 02 تصنف ضمن الصخور ذات النوعية الجيدة.

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