



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULoud MAMMERI DE TIZI OUZOU
FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET SCIENCES AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT DES SCIENCES GEOLOGIQUES



Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master
Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers
Filière : Géologie
Spécialité : Ressources Minérales et Environnement

THEME

*« Etude géologique et valorisation du gisement de bentonite des
carrières ROUSSEL I et DAR M'BAREK I, (Hammam Boughrara,
Maghnia, Tlemcen) »*

Réalisé par
Mr. IGIRANEZA ARISTIDE

Encadré par :
Mr. AHMED HAMIS

Soutenue publiquement le ...13... /...07.../ 2017

Devant le jury composé de :

Mme IZRI DEHBIA; Maître Assistante A	FSBSA/UMMTO : Président
Mr. LOUNIS SAMI ; Maître de Conférence A	FSBSA/UMMTO : Examineur
Mr. HAMIS AHMED ; Maître Assistant A	FSBSA/UMMTO : Rapporteur

Année académique 2016/2017

DEDICACE

Je dédie ce travail de Master :

A mes chers parents BATAKANWA Elie et NSHIMIRIMANA Béatrice pour tant d'affection et de souffrances endurées ;

Aux gouvernements du Burundi et de l'Algérie qui m'ont donné cette opportunité pour faire ma formation en Algérie

A mes frères et sœurs pour tout l'amour fraternel et la solidarité familiale inconditionnels.
A ma chère Tente BIKORINDAVYI Marie Rose pour son affection, son soutien matériel et moral ;

A toute ma famille élargie et tous ceux qui ont contribué à mon éducation dès le bas âge ;

A la famille COYIREMEYE Saturnin et Perpétue qui m'ont accueilli chez eux et m'ont traité comme leur propre enfant, Je tiens à leur exprimer toute ma reconnaissance, ainsi qu'à leurs enfants Banana, Gildas, Bella et Florian pour tout l'amour fraternel inconditionnel.

A ma grand-mère paternelle KABARAGASA Quitéria que je ne reverrai plus. Tes bienveillances, surtout tes précieux conseils sont gravés dans ma mémoire et ont beaucoup contribué à vaincre certains de mes obstacles de la vie humaine.

A tous les professeurs du département des sciences de la Terre et de l'Univers et tous les cadres de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou qui ont contribué à ma formation académique et mon épanouissement intellectuel;

A tous ces hommes et femmes de cette belle terre d'Algérie qui m'ont témoigné d'une très grande hospitalité et soutien, en particulier Pr AHMED ZAID, Mr ALI SAHEL et Mr. BOURBALA BRAHIM ;

A tous mes camarades de la promotion 2017

A tous mes camarades étudiants et stagiaires Burundais et autres étudiants étrangers en Algérie avec qui j'ai partagé énormément de bons moments et qui ont rendu mon séjour très agréable.

REMERCIEMENTS

A l'issue de ce présent travail, Je tiens à exprimer ma gratitude à tous ceux et celles ayant contribué à sa réalisation.

Je suis particulièrement très reconnaissant au gouvernement du Burundi et celui de l'Algérie qui m'ont donné cette opportunité de poursuivre mes études universitaires en Algérie et faire cette formation.

Mes sincères remerciements vont à mon encadreur Mr. HAMIS AHMED, pour son soutien tout au long de mon travail ainsi que son aide documentaire, ses encouragements, et surtout sa patience.

Je tiens aussi à remercier les membres de jury ayant acceptés d'évaluer ce travail, en l'occurrence Madame IZRI DEHBIA, présidente du jury, et Mr SAMI LOUNIS l'Examineur de ce Mémoire.

Je ne saurais oublier toutes les personnes qui ont contribué d'une façon très particulière à la réalisation et réussite de ce travail :

- Le professeur DRARENI de la FSTGAT/USTHB pour son inestimable aide pour la réalisation des lames minces ;
- Le professeur BOUTALEB de la FSTGAT/USTHB pour ses conseils et orientations ;
- Le Directeur Général de l'Entreprise Nationale des produits miniers non ferreux et des substances utiles (ENOF) ; le coordinateur du Projet des Bentonite de Maghnia au sein de la filiale BENTAL, Mr. BOURBALA BRAHIM ; et le Directeur de l'unité ENOF Maghnia, Mr ZADJAOUI Abdellatif pour m'avoir accordé un stage au sein l'unité de Maghnia ;
- Les personnels de l'unité de l'ENOF Maghnia qui ont assuré mon encadrement sur le en particulier :
 1. Mr SEMMACHE MED FOUAD ingénieur des mines à l'unité ENOF Maghnia
 2. Mr ABDERRAHMAN NADIR, topographe à l'unité ENOF Maghnia
 3. Mr SAIDANI SLIMANE, Ingénieur géologue à l'unité ENOF Maghnia
 4. Mr LATBI ABDELHAFID, Chef de projet à l'unité ENOF Maghnia
 5. Mr M.N. TABAHRITI, Chef de service exploitation à l'unité ENOF Maghnia
- Le Directeur Général du *Centre d'Etudes et de Services Technologiques de l'Industrie des Matériaux de Construction* (CETIM) Boumerdès
- Les personnels de CETIM Boumerdès qui m'ont aidé à réaliser les analyses aux rayons X, en particulier :
 1. Mr. BELAL AHMED, Directeur de Laboratoire à CETIM Boumerdès:
 2. Mlle. BELHADI BAHIA, chef de service Minéralogie et Pétrographie
 3. Mme BENSEGHIER MOUNIA, Assistante de laboratoire

RESUME

Les gisements des bentonites du district de Hammam Boughrara sont des gisements exogènes résultant de la transformation des rhyolites, perlites et des tufs pyroclastiques, sous l'action d'un phénomène Hydrothermal. Cette bentonitisation est fonction de facteurs géologiques, relatifs à la tectonique cassante, au faciès et à la dynamique du volcanisme.

Selon les résultats de plusieurs analyses (DRX, etc), les argiles bentonitiques des gisements Roussel I et Dar M'Barek sont de très bonne qualité et peuvent être utilisées comme boues de forage, Terres décolorantes, Bentonite de fonderie, Bentonite de charge, et bentonite pour Bouletage de fer. Les réserves globales de ces gisements sont au tour de 5 Millions de tonnes pour Dar M'Barek I et 3.9 Millions de tonnes pour Roussel I. Cependant, d'autres travaux d'exploration sont nécessaires pour augmenter les réserves minérales déjà découvertes et exploitées.

La rentabilité de ces carrières est intimement liée à l'optimisation des réserves exploitables, à une bonne planification minière à court terme comme sur le moyen et le long terme et à une exécution rigoureuse et flexible des plans établis, conformément aux différentes lois minières et environnementales en vigueur. Une étude d'impact environnemental très poussé devant aboutir à l'établissement des plans de réhabilitation des sites Roussel I et Dar M'Barek qui pourraient être transformé en Centres d'Enfouissement Technique (CET) ou barrages d'eau destinés à l'irrigation. Un reboisement adéquat pour atténuer l'effet de l'évasion est aussi une solution à envisager.

Mots clés : Bentonite, Argiles, minerai industriel, gisement, exploration, exploitation, ressources, réserves, rentabilité

TABLE DES MATIERES

DEDICACE	I
REMERCIEMENTS	II
RÉSUMÉ	III
TABLE DES MATIERES.....	IV
LISTE DES FIGURES	VIII
LISTE DES TABLEAUX.....	X
ACRONYMES	1
CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE	2
I.1 : PROBLEMATIQUE, OBJECTIF ET BUT DU TRAVAIL.....	3
I.2 : CONDITION DE TRAVAIL, METHODOLOGIE ET PLAN DE TRAVAIL	4
I.3 : CADRE GEOGRAPHIQUE.....	5
I.4 : PRESENTATION DE L'ENTREPRISE ENOF ET L'UNITE DE MAGHNA	7
I.5 : HISTORIQUE DES TRAVAUX SUR L'ORANIE ET LE GISEMENT DE HAMMAM BOUHRARA.....	7
I.5.1 : travaux antérieurs réalisés sur l'Oranie.	7
I.5.2 : Travaux antérieurs réalisés sur le gisement de Hammam Bouhrara	8
I.5.3 : Les résultats des différents travaux de recherche.....	14
CHAPITRE II : GENERALITES SUR LES SUBSTANCES MINERALES INDUSTRIELLES ET LES ARGILES BENTONITIQUES	17
II.1. GENERALITES SUR LES SUBSTANCES MINERALES INDUSTRIELLES	18
II.1.1 Définitions	18
II.1.2 Classification des substances minérales industrielles	18
II.2 : GENERALITES SUR LES ARGILES.....	20
II.2.1 Définition.....	20
II.2.2 Agencement des Couches	20
II.2.3 Structure cristalline des minéraux argileux.....	20
II.2.4 Propriétés physico-chimiques des argiles	21
II.2.5 Classification des minéraux argileux	22
II.3 : LA BENTONITE	25
II.3.1 Définition.....	25
II.3.2 Origine	25

II.3.3 Les conditions de formation de la bentonite	25
II.3.4 Structure de la bentonite.....	26
II.3.5 Types de bentonites	26
II.3.6 Les propriétés de la bentonite industrielle.	27
II.3.7 Principaux usages de la bentonite.	28
II.3.9 La bentonite en Algérie.....	29
II.4 : LES CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES ET QUALITES DE LA BENTONITE BRUTES DE HAMMAM BOUGHRARA	29
II.4.1 Composition chimiques de la bentonite de Maghnia.....	29
II.4.2 Propriétés physico-chimique	30
II.4.3 Qualité de la bentonite.....	30
II.6 : CONCLUSION	33
CHAPITRE III : GENERALITES SUR LA VALORISATION DES MINRAUX.....	34
III.1 : INTRODUCTION	35
III.2 : CYCLE DE MISE EN VALEUR DES MINERAUX	35
III.2.1: LA PROSPECTION ET L'EXPLORATION DES SUBSTANCES MINERALES UTILES	35
III.2.2 : AMENAGEMENT ET DEVELOPPEMENT D'UNE MINE OU CARRIERE.....	38
III.2.3 : EXPLOITATION ET TRAITEMENT	39
III.2.4 : REHABILITATION DES SITES.....	42
III.3 : EXPLOITATION DE LA BENTONITE	43
III.4 : TRAITEMENT DE LA BENTONITE DE MAGHNIA	44
III.4.1 : Critères de sélection	44
III.4.2 : Méthode de traitement de la bentonite	44
III.4.3 : Production de l'unité de Maghnia :.....	45
CHAPITRE IV : CADRE GEOLOGIQUE REGIONALE	46
IV.1 : INTRODUCTION	47
IV.2 : GEOLOGIE REGIONALE DE L'ORANIE (ALGERIE NORD OCCIDENTALE)	48
IV.2.1 : Cadre géologique et structural de l'Oranie	48
IV.2.2 : Evolution géodynamique de l'Oranie et du bassin de la moyenne Tafna	49
IV.2.3 : Lithostratigraphie	50
IV.2.4 : Le volcanisme Mio-plio-quaternaire	51
IV.3 : CADRE GEOLOGIQUE ET STRUCTURAL DE LA REGION DE MAGHNIA	54
IV.3.1 : Lithostratigraphie	54
IV.3.2 : Cadre structurel	56

IV.3.3 : Le volcanisme et roches magmatiques	56
IV.3.4 : La bentonitisation dans la région de Maghnia	58
IV.4 : CONCLUSION	59
CHAPITRE V : ETUDE GITOLOGIQUE DU GISEMENT DE ROUSSEL 1 ET DAR M'BAREK 1	60
V.1. INTRODUCTION	61
V.2: CADRE STRUCTURAL ET LITHOLOGIQUE DES GISEMENTS.....	61
V.2.1 : Géologie détaillée du gisement de Roussel I	62
V.2.2 : Géologie détaillée du gisement de Dar M'Barek	75
IV.3.3 : Etude Minéralogique des bentonites par Diffraction des rayons X (DRX)	84
IV. 3 : CONCLUSION	93
CHAPITRE VI : EXPLORATION ET REEVALUATION DES RESERVES GEOLOGIQUES DE ROUSSEL I ET DAR M'BAREK I.....	94
VI.1 : NOTION DE RESERVES, LEUR CLASSIFICATION ET METHODES D'ESTIMATION ;.....	95
VI.1.1 : Rappel de la notion de réserves et leur classification	95
V.1.2 : Méthode de calcul des réserves	96
V.2 : CALCULS D'OPTIMISATION ET REEVALUATION DES RESERVES DU GISEMENT.....	97
V.2.1 : Réserves géologiques du gisement Dar M'Barek I	97
V.3.2 : Réserves géologiques du gisement ROUSSEL I.....	100
V.3.3 : Interprétation des résultats.....	104
V.4 : CONCLUSION.....	105
CHAPITRE VII : PLANIFICATION MINIERE ET EXPLOITATION DES GISEMENTS ROUSSEL I ET DAR M'BAREK I	106
VII.1. INTRODUCTION	107
VII.2 : SITUATION GENERALE DES CARRIERES ROUSSEL I ET DAR M'BAREK I.....	109
VII.3 : PLANIFICATION MINIERE ET RENTABILITE DU CARRIERE DAR M'BAREK I.....	110
VII.3 .1 : Les conditions technico-minières.....	110
VII.3.2 : Planning et ordre d'exécution des travaux miniers pour Dar M'Barek	112
VII.3.3: Organisation des opérations minières	115
VII.3.4 : Moyens de réalisation des travaux miniers	120
VII.3.5 : Cout de réalisation des travaux miniers	121
VII.3.6 : cout de traitement	122
VII.4: CONCLUSION	122

CHAPITRE VIII : EVENTUELS IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT DES CARRIERES ROUSSEL (I) ET DAR M'BAREK (I)	123
VIII.1: GENERALITES SUR LES IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT DE L'EXPLOITATION DES CARRIERES A CIEL OUVERT	124
VIII.1.1 : Généralités	124
VIII.1.2 : Principaux impacts d'exploitation des carrières sur l'environnement	124
VIII.2 : REGLEMENTATION ALGERIENNE SUR L'EXPLOITATION MINIERE, SON IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT ET LA REHABILITATION DES CARRIERES.....	127
VIII.3 : LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX LIES AUX OPERATIONS MINIERES DES CARRIERES ROUSSEL I ET DAR M'BAREK I	132
VIII.4 : DISPOSITIONS ENVIRONNEMENTALES ET SECURITAIRES PRISES PAR L'UNITE ENOF MAGHNIA.....	135
VIII.4.1 : Au niveau de la carrière.....	135
VIII.4.2 : Au niveau de l'usine de traitement	136
VIII.5 : OBSERVATIONS MARQUANTES	137
VIII.6 : PLAN DE GESTION ENVIRONNEMENTAL RECOMMANDE.....	138
VIII.7 : CONCLUSION ET PROPOSITIONS POUR LA REHABILITATION DES CARRIERES.....	138
CHAPITRE IX : CONCLUSION GENERAL ET RECOMMANDATIONS.....	139
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	141

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Esquisse géographique et image satellitaire de la région d'étude et les Gisements de Bentonite	5
Figure 2 : Courbe de température (a) et le diagramme climatique (b) de Hammam Boughrara	6
Figure 3 : Localisation des sondages effectués sur le gisement de ROUSSEL I.....	11
Figure 4 : Localisation des sondages effectués sur le gisement de Dar M'Barek	12
Figure 5 : Sondages réalisés sur le gisement de Hammam Boughrara	13
Figure 6: Emplacement des sondages (ENOF Maghnia).....	16
Figure 7 : Agencements des tétraèdres et des octaèdres (Moore & Reynolds, 1989).	21
Figure 8 : Agencements des tétraèdres et des octaèdres en feuillets 1/1	23
Figure 9 : Structure de la montmorillonite.	26
Figure 10 : Carte de qualité des argiles bentonitiques de ROUSSEL I (travaux de BUMIGEME, campagne 2008).....	31
Figure 11 : Carte de qualité des argiles bentonitiques de DAR M'BAREK I (travaux de BUMIGEME, campagne 2008).....	32
Figure 12: Formes des gradins au cours de l'avancement de l'exploitation	40
Figure 13 : largeur de la plateforme de travail (gradin stérile) ; (ENOF Maghnia)	41
Figure 14 : production de l'unité de Maghnia en 2016 (ENOF Maghnia)	45
Figure 15 : Evolution de la production de la bentonite (ENOF Maghnia)	45
Figure 16 : Esquisse géographique du Nord de l'Algérie.....	48
Figure 17 : Esquisse géographique Bassin Miocène syncro-nappes (d'après Guardia 1975) ..	50
Figure 18 : le magmatisme néogène du pourtour de la méditerranée occidentale, d'après N.Laridhi Ouzaâ (1994) ; source de l'image : BOUKHEDIMI(2008)	53
Figure 19 : Carte géologique schématique de la région du gisement de Hammam Boughrara; échelle initiale 1/50.000 ; (ORGM 1992)	55
Figure 20 : Carte Géologique de Hammam Boughrara; (source : BOUKHEDIMI 2008)	56
Figure 21 : Coupe Géologique de Hammam Boughrara; BOUKHEDIMI 2003 (source : BOUKHEDIMI 2008).....	57
Figure 22 : Photo qui montre un petit filon basaltique dans la carrière de Roussel I.....	57
Figure 23: modèle de bentonitisation proposé par BOUKHEDIMI (2008).....	59
Figure 24 : Carte de répartition des gisements de bentonites de Hammam Boughrara ; échelle initiale 1/1000 ; (BUMIGEME 2008)	61
Figure 25: Carte Géologique schématique du site ROUSSEL I, échelle initiale 1/1000 (ENOF Maghnia 2016).....	62
Figure 26 : Photo de la carrière Roussel I (juin 2017) :	63
Figure 27 : photo des argiles bentonitiques d'origine rhyolitique de la carrière Roussel I	64
Figure 28 : une photo du dôme rhyolitique d'Aïn Torba (Roussel I) qui montre les différentes structures de la rhyolite.....	66
Figure 29 : Deux échantillons qui montrent la texture fluidale rubanée des rhyolithes de Roussel I	66
Figure 30: Microphotographie des phénocristaux de Quartz isolés dans la mésostase d'une rhyolite à texture hyaline porphyrique à tendance Cryptocristalline (LPA, Gx10)	68

Figure 31 : Microphotographie d'un phénocrystal de Quartz associé à un phénocrystal de Feldspath dans une mésostase d'une rhyolite à texture hyaline porphyrique fluidale (LPA, Gx10)	69
Figure 32 : Microphotographie montrant une rhyolite perlitique à texture hyaline porphyrique perlitique à tendance microlitique (LPA, Gx10)	69
Figure 33 : Microphotographie montrant une rhyolite perlitique à texture hyaline porphyrique perlitique à tendance microlitique (LPNA, Gx10)	69
Figure 34: Microphotographie montrant la fluidalité de la rhyolite perlitique à texture hyaline porphyrique fluidale (LPNA, Gx10)	70
Figure 35 : Microphotographie montrant un quartz arrondi fissuré et l'altération de la rhyolite en argiles selon des fissures de la mésostase (LPNA, Gx10)	70
Figure 36 : une photo d'une perlite massive avec des vacuoles de dégazage (1) ; une patine d'altération jaune sale (2) et une partie où l'état de la bentonitisation est très avancé (3).	71
Figure 37: Microphotographie montrant une perlite à texture sphéroïde (LPNA, Gx10)	72
Figure 38 : Microphotographie montrant une perlite à texture sphéroïde (LPA, Gx10)	72
Figure 39: Microphotographie montrant une perlite à texture sphéroïde (LPNA, Gx10)	73
Figure 40 : une photo qui montre une Pyroclastite au niveau de Roussel I	73
Figure 41: une photo qui montre des formations très friables issues de l'altération des basaltes et un fragment de basalte non altéré au niveau de Roussel I.	74
Figure 42: une photo qui montre des formations très friables issues de l'altération des basaltes au niveau de Roussel I.	74
Figure 43 : Photo montrant la forme tabulaire et la variation des pendages et direction des couches bentonitisées.	75
Figure 44: Une faille Normale qui affecte les pyroclastites de Dar M'Barek.....	76
Figure 45 : Photo de la carrière Dar M'Barek montrant les différentes couleurs des argiles bentonitiques (en juin 2017)	76
Figure 46 : Photo montrant des éléments grossiers contenus dans la bentonite de Dar M'Barek	78
Figure 47: photo montrant des formations sédimentaires conglomératiques du Plio-quatenaire	78
Figure 48: photo montrant la fluidalité, l'aspect chaotique et hétérogénique et le degré d'altération des pyroclastites de Dar M'Barek 1.....	79
Figure 49: photo montrant les tufs pyroclastiques de Dar M'Barek 1.....	80
Figure 50 : Microphotographie montrant un tuf pyroclastique altérée (LPA, Gx10).....	81
Figure 51 : photo montrant l'affleurement des basaltes massives de Dar M'Barek.....	81
Figure 52 : Photos montrant des formations argileuses issues de l'altération des basaltes cristaux de gypse	82
Figure 53 : Microphotographie d'une Basalte de Dar M'Barek	83
Figure 54 : Les RX dans le spectre électromagnétique.....	84
Figure 55 : Principe de la DRX	85
Figure 56 : 1 ^{ère} échantillon de Bentonite blanche (ROUSSEL I).....	85
Figure 57 : 2 ^{ème} échantillon de Bentonite gris verdâtre (DAR M'BAREK I).....	86
Figure 58 : 3 ^{ème} échantillon : Bentonite rougeâtre (DAR M'BAREK I).....	86
Figure 59 : Diffractogramme du 1 ^{er} échantillon (Bentonite blanche).....	87
Figure 60 : Diffractogramme du 2 ^{ème} échantillon (Bentonite gris verdâtre à tendance jaunâtre)	89

Figure 61 : Diffractogramme du 3 ^{ème} échantillon : Bentonite rougeâtre à l'état sèche (couleur rose sur l'affleurement hydraté)	91
Figure 62 : carte montrant la position des coupes géologiques utilisés pour Dar M'Barek I ; échelle initiale 1/1000 (ENOF Maghnia)	97
Figure 63: Coupe géologique I-I' du gisement de Dar M'Barek ; échelle initiale 1/1000 (ENOF Maghnia)	98
Figure 64: Coupe géologique II-II' du gisement de Dar M'Barek ; échelle initiale 1/1000 (ENOF Maghnia, 2016).....	98
Figure 65: Coupe géologique III-III' du gisement de Dar M'Barek, échelle initiale 1/1000 (ENOF Maghnia, 2016).....	98
Figure 66: Coupe géologique IV-IV' du gisement de Dar M'Barek, échelle initiale 1/1000 (ENOF Maghnia, 2016).....	98
Figure 67 : Carte montrant la position de coupes géologiques utilisées pour Roussel I, échelle initiale 1/1000 ; (ENOF Maghnia, 2015).....	100
Figure 68 : Coupe géologique I-I' du gisement de Roussel I ; échelle initiale 1/1000 (ENOF Maghnia, 2015)	101
Figure 69 : Coupe géologique II-II' du gisement de Roussel I ; échelle initiale 1/1000 (ENOF Maghnia, 2015)	101
Figure 70 : Coupe géologique III-III' du gisement de Roussel I; échelle initiale 1/1000 (ENOF Maghnia, 2015)	101
Figure 71 : Coupe géologique IV-IV' du gisement de Roussel I ; échelle initiale :1/1000 ;(ENOF Maghnia, 2015).....	101
Figure 72 : Coupe géologique V-V' du gisement de Roussel I, échelle initiale 1/1000 (ENOF Maghnia, 2015)	101
Figure 73 : Dimensions optimales de la fosse et calcul des réserves exploitables, échelle initiale 1/1000 (ENOF Maghnia, 2016)	111
Figure 74: Phases d'exploitation de la carrière de Dar M'Barek.....	114
Figure 75: Phases d'exploitation de la carrière de Dar M'Barek (ENOF Maghnia, 2016).....	114
Figure 76 : Photo montrant le paysage très pauvre autour de la carrière Dar M'Barek	132
Figure 77 : Photo d'un champ de blé autour de la carrière Dar M'Barek I	132
Figure 78 : représentation des pistes d'accès, de roulage et de la bese de vie	133
Figure 79 : photo montrant les poussières de poussière	133
Figure 80: Phases d'exploitation de la carrière de Dar M'Barek et tailles de la fosse (ENOF Maghnia)	134
Figure 81 : Une photo montrant l'exploitation anarchique de la carrière Roussel I	137

LISTE DES TABLEAUX

Tab 1 : Évaluation des réserves des gisements de Hammam Boughrara – Maghnia (ENOF Maghnia)	14
Tab 2 : Calculs de réserves ENOF Maghnia pour la carrière Roussel I en 1993 (ENOF Maghnia)	14
Tab 3 : Réserve des gisements de Hammam Boughrara – Arrêtées au 31/12/2007 (ENOF Maghnia)	14
Tab 4 : Réserve des gisements de Hammam Boughrara – Arrêtées au 31/12/2011 (ENOF Maghnia) (Quantités calculées par le bureau d'étude BUMIGEME)	15

Tab 5 : Réserve des gisements de Hammam Boughrara – Actualisé au 31/12/2015 pour ROUSSEL I et au 31/12/16 pour Dar M'Barek (ENOF Maghnia).....	15
Tab 6: sondages nécessaires pour le transfert des réserves de catégorie C2 en C1 (ENOF Maghnia).....	15
Tab 7: Réserves exploitable attendues après les travaux complémentaire (ENOF Maghnia) .	16
Tab 8: Classification des substances minérales industrielles en fonction de leur nature et de leur origine (source : Dominique WETSHONDO OSOMBA 2012).....	19
Tab 9: Classification sommaire des minéraux argileux. (source : SEGHIR Hichem 2010).....	24
Tab 10: bentonite, spécification minimales requis pour chaque application	27
Tab 11: Composition chimique de la bentonite naturelle de Hammam Boughrara (ENOF, 1993).....	29
Tab 12 : Composition minéralogique des Bentonites de Dar M'Barek I et Roussel I.....	29
Tab 13 : Critères de sélections des bentonites brutes (ENOF Maghnia).....	44
Tab 14 : lithologie de la Carrière Roussel ; Sondage tarière ST7 (BUMIGEME 2008), (X= 620 770; Y= 3 863 120 ; Z= 367,86 ; Profondeur : 30m).....	65
Tab 15: lithologie de la Carrière Roussel ; Sondage tarière ST9 (BUMIGEME 2008), (X= 620 839; Y= 3 863 038; Z= 365,72; Profondeur : 25m)	65
Tab 16: lithologie de la Carrière Dar. M; Sondage tarière ST (BUMIGEME 2008), (X= 621 707,93; Y= 3 863 076,43; Z= 356,37; Profondeur : 30m).....	77
Tab 17 : lithologie de la Carrière Dar. M; Sondage tarière ST5 (BUMIGEME 2008), (X= 621 689,75; Y= 3 863 216,21; Z= 357,62; Profondeur : 20m).....	77
Tab 18: Les différentes composantes minéralogique de la Bentonite Blanchâtre	88
Tab 19: Autres différentes composantes minéralogique de la Bentonite gris verdâtre.....	90
Tab 20: Autres différentes composantes minéralogique de la Bentonite rougeâtre de Dar M'Barek.....	92
Tab 21: résultats des calculs d'optimisation des réserves géologiques du gisement de Dar M'Barek 1	99
Tab 26 (suite de Tab 24) : résultats des calculs d'optimisation des réserves géologiques du gisement ROUSSEL I (selon l'évaluation du 31/12/2015)	103
Tab 27: Tableau comparatif des résultats des Réserves géologiques du gisement de Dar M'Barek réévalué	104
Tab 28 : Tableau comparatif des résultats Réserves géologiques du gisement de Roussel I .	104
Tab 29: comparaison entre la carrière de Roussel I et de Dar M'Barek I.....	109
Tab 30 : Principaux éléments de l'exploitation de la carrière Dar M'Barek (ENOF Maghnia)	110
Tab 31: Déglobalisation des objectifs de production de la carrière de Dar M'Barek	112
Tab 32: Cadences d'exploitation de la carrière de Dar M'Barek I (ENOF Maghnia,2016)	113
Tab 33: Camions nécessaires pour le transport de minerai et de stérile.....	119
Tab 34 : Moyens humains.....	120
Tab 35 : Moyens matériels.....	120
Tab 36 : Cout des matériels de découverte (BENTAL):	121
Tab 37 : Les charges liées à la découverte (BENTAL)	121
Tab 38 : Cout des matériels d'extraction du minerai de Bentonite (Tout venant) (BENTAL)	121
Tab 39 : Les charges liées à l'extraction du minerai de bentonite (BENTAL)	121
Tab 40 : Plan de gestion environnemental recommandé	138

ACRONYMES

BENTAL:	Société des Bentonitisés d'Algérie (spa)
BUMIGEME :	Bureau de Mines, Géologie et Métallurgie
CETIM :	Centre d'Etudes et de Services Technologiques de l'Industrie des Matériaux de Construction
DRX:	Diffraction des Rayon X
ENOF:	Entreprise Nationale des produits miniers non ferreux et des substances utiles
FSTGAT:	Faculté des sciences de la Terre et de l'aménagement du territoire
Gx:	Grossissement
LPA :	Lumière polarisée et analysée
LPnA :	Lumière polarisée non analysée
MEB :	Microsonde Electronique à balayage
MT :	Millions de tonnes
NE :	Nord Est
NNE	Nord-Nord-Est
NW :	Nord-Ouest
ORGM :	Office Nationale de la Recherche Géologique et Minière
RM:	Rouge maison (gisement)
RX :	Rayon X
SONAREM :	Société Nationale de Recherche minière
UMMTO :	Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
USTHB:	Université de la science et de la Technologie Houari Boumediene

CHAPITRE I :

INTRODUCTION GENERALE

I.1 : PROBLEMATIQUE, OBJECTIF ET BUT DU TRAVAIL

Les Ressources minérales, autrement dit les minerais métalliques et non-métalliques ou substances utiles incluant les matériaux de construction et les roches et minéraux industriels, sont à la base du fonctionnement de l'économie mondiale, et les besoins en matières premières minérales des pays ne cessent de croître avec le lancement des grands projets de développement. Afin de permettre de solutionner différentes problématiques liées à l'approvisionnement en matières premières minérales et énergétiques du secteur industriel très demandeur, la recherche et l'exploration de nouvelles ressources minérales ainsi qu'une exploitation des ressources existantes de façon rationnelle, optimale et responsable sur le plan environnemental et social sont devenus des enjeux primordiaux pour le développement socioéconomique et durable de plusieurs pays africains dont l'Algérie. Pour cela, il convient de former des cadres universitaires dans le domaine des sciences des ressources naturelles et des géomatériaux aptes à s'intégrer dans le secteur minier et accompagner le développement du secteur des géomatériaux et substances utiles déjà très prometteur.

Ce travail est effectué dans le cadre de la préparation d'un Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du Diplôme de Master en Géologie minière, spécialité Ressources Minérales et Environnement. Le thème de ce mémoire est ainsi formulé « *Etude géologique et valorisation du gisement de bentonite des carrières ROUSSEL I et DAR M'BAREK I, (Hammam Boughrara, Maghnia, Tlemcen)* »

En effet, dans la partie Nord-Occidental de l'Algérie (Oranie), la plaine de Maghnia, précisément au niveau de la localité de Hammam Boughrara, regorge d'importants gisements d'argiles bentonitiques, des substances minérales industrielles issus en grande partie de l'altération hydrothermales des produits volcaniques (Rhyolites et dépôts pyroclastiques d'âge Cénozoïque) projetées par des centres d'émissions volcaniques répartis de part et d'autre de l'Oued Tafna sur plus de 200Km² (BOUKHEDIMI 2008).

Le gisement de Hammam Boughrara a fait objet de plusieurs études pour la caractérisation et l'évaluation des réserves du district mais la connaissance de ces gisements reste toujours très loin d'être parfaite. Les carrières de Roussel 1 et Dar M'Barek 1 sont les mieux définis et contiennent des ressources plus importantes que les autres gisements. Actuellement, la carrière Roussel 1, est en exploitation. Dans le cadre de développement industriel du groupe BENTAL détenant le titre d'exploitation de ces gisements, la carrière Dar M'Barek, pour ses réserves très importantes, est à la phase de développement pour une exploitation de grande envergure.

Le gisement de Hammam Boughrara est en exploitation depuis 1930, et en certain moment, les activités minières étaient conduites sans le respect des règles de l'art minier, ni accorder une grande considération à l'Aspect environnement. Cette exploitation ne ciblait que les endroits riches en bentonites de meilleure qualité (SEGHIR Hichem 2010).

Pour que ces gisements soient exploités dans de bonnes conditions, de façon rationnelle, optimale, rentable et responsable sur le plan environnemental, ils doivent être connu en détail, du point de vue géologique, géologique, géométrique, quantitatif et qualitatif, et les travaux d'exploitation doivent être conduites selon des plans d'exploitation conformément aux règles de l'art minier, aux exigences de la loi minière et environnementale, et qui doivent être exécuté à la rigueur.

L'objectif principal de ce travail consiste à l'étude géologique, la caractérisation et la réévaluation des réserves du gisement bentonitique de Hammam Boughrara, précisément

Roussel I et Dar M'Barek I, dans le but de contribuer à la connaissance de ces gisements, leur milieu géologique au sens large, leur genèse, les conditions et paramètres pour une exploitation rationnelle, optimale, rentable et responsable sur le plan environnemental, conformément aux différentes lois minières et environnementales en vigueur.

Le choix de ce sujet est motivé par les soucis de mieux connaître :

- La méthodologie de recherche en sciences des ressources minérales et environnement;
- Les méthodes et techniques utilisées pour l'exploration, l'évaluation et l'exploitation des ressources minérales, en particulier les substances utiles ou minerais industriels;
- Les facteurs géologiques et technico-économiques permettant une exploitation rationnelle, optimale et économiquement rentable d'un gisement ;
- Le cycle de valorisation des minerais et les différentes étapes de la planification d'un projet minier économiquement rentable ;
- Les impacts sur le plan environnemental de l'exploitation des géomatériaux et substances utiles;
- La législation du domaine minier en rapport avec l'exploitation des carrières et la préservation de l'environnement.

I.2 : CONDITION DE TRAVAIL, METHODOLOGIE ET PLAN DE TRAVAIL

L'étude a commencé par une sortie sur le terrain au cours de laquelle nous avons procédé à un échantillonnage minutieux et détaillé au niveau des carrières de **Roussel I et Dar M'Barek I** pour l'étude pétrographique, minéralogique et géologique.

Ensuite, nous avons mené une recherche bibliographique qui nous a permis de réaliser une synthèse de tous les travaux antérieurs qui ont été réalisés sur l'Oranie et le gisement de Hammam Boughrara. La réalisation et l'analyse des lames minces ont été réalisées au niveau des laboratoires de l'UMMTO et de la FSTGAT/USTHB.

Les analyses DRX ont été réalisées au niveau du laboratoire du Centre d'Etudes et des services technologiques de l'industrie des matériaux de construction (CETIM Boumerdès).

Nous avons aussi effectué un stage pratique de **05 jours** auprès du service exploitation de l'unité de l'ENOF Maghnia au cours duquel nous avons effectué une visite des carrières de Roussel I & Dar M'Barek I et effectués les calculs des réserves géologiques.

Ce travail sera présenté en huit (8) chapitres.

Le premier chapitre consiste à l'introduction générale ;

Le deuxième chapitre est consacré aux généralités substances minérales industrielles et argiles bentonitiques ;

Le troisième chapitre sera consacré aux généralités sur le cycle de valorisation des minéraux;

Le quatrième chapitre traitera du cadre géologique régionale du gisement;

Le cinquième chapitre traite la géologie locale des gisements Roussel I et Dar M'Barek I;

Le sixième chapitre traite de l'exploration et la réévaluation des réserves géologiques de ces deux gisements ;

Le septième chapitre traite la planification minière et l'exploitation des gisements Roussel I et Dar M'Barek I ;

Le huitième chapitre est consacré sur les impacts sur l'environnement liés à la mise en valeur du gisement;

Et le dernier chapitre est consacré à une conclusion générale et recommandations.

I.3 : CADRE GEOGRAPHIQUE

Le secteur d'étude se situe près du village de Hammam Boughrara, au Nord de la plaine de Maghnia, dans la Wilaya de Tlemcen. Les gisements d'argiles bentonitiques du district de Hammam Boughrara sont situés à 40 Km à l'Ouest de la wilaya de Tlemcen (chef-lieu de la Wilaya), à 15 Km au Nord Est de la ville de Maghnia, et à 14 km de la frontière Algéro-marocaine sur une latitude de $34^{\circ}54'N$ et une longitude de $1^{\circ}38'W$. Cette région est limitée au Nord et à l'Ouest par la chaîne de Fillaouissène et au Sud par la plaine de Maghnia et les Monts de Tlemcen. L'accès se fait par une route qui traverse le village de Hammam Boughrara, puis par des chemins de terre secondaires qui mènent aux différents gisements, situés entre 2 et 4 km au Nord-Ouest du village.

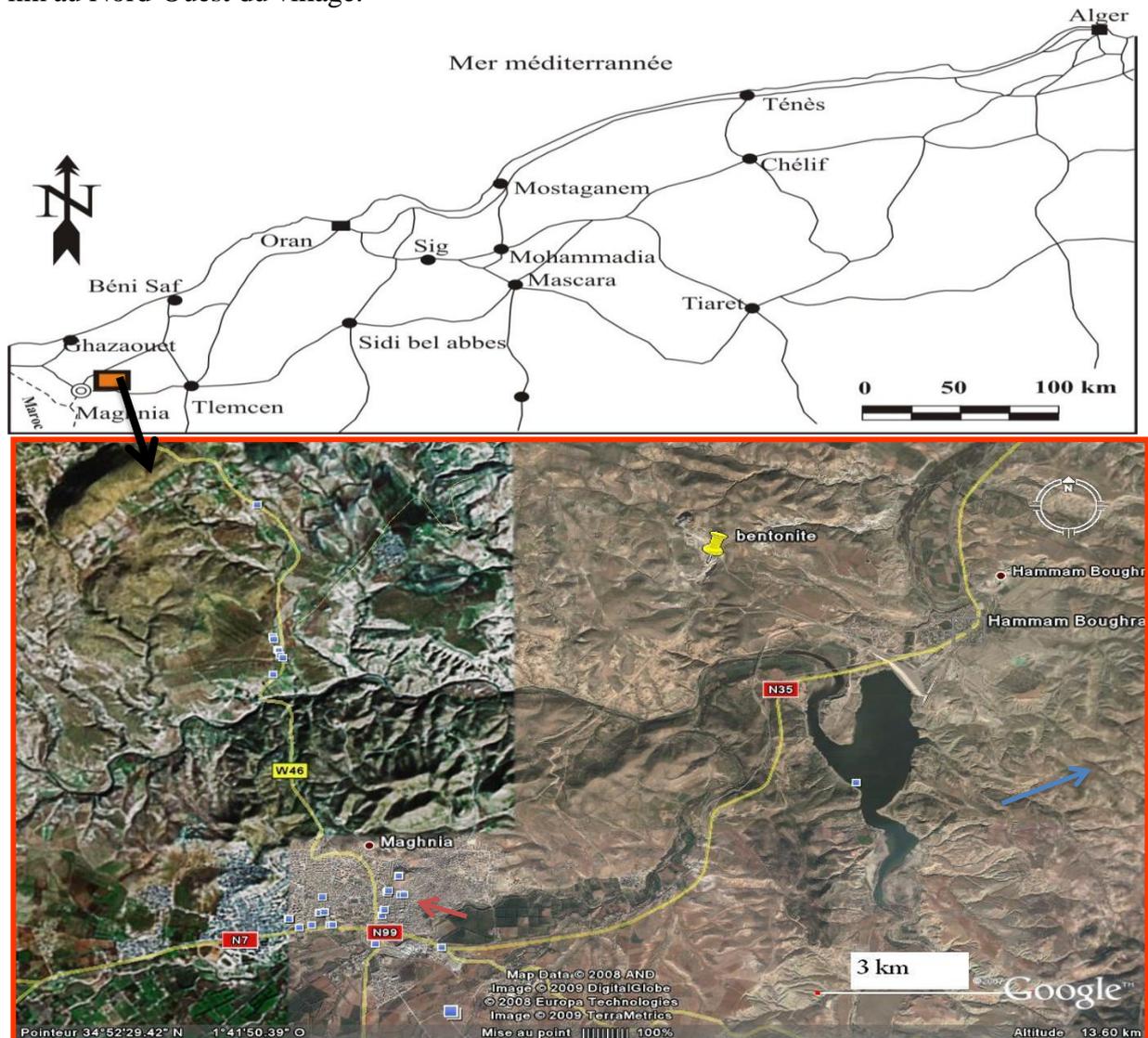


Figure 1 : Esquisse géographique et image satellitaire de la région d'étude et les Gisements de Bentonite

Le relief : Les grands traits orographiques de cette partie de l'Oranie sont marqués par les alignements atlasiques SW-NE des reliefs, qui sont séparés par des dépressions de même orientation. La plaine de Maghnia Elle se situe entre deux massifs montagneux atlasiques qui dépassent souvent 1000m d'altitude: *le massif Hercynien des Traras* avec son prolongement

méridional et *la chaîne de Fillaouissène* au Nord ; et *les monts de Tlemcen* Au Sud. La plaine de Maghnia s’allonge sur la bordure Nord des hauts plateaux avec une altitude qui ne dépassent pas 500m d’altitude

Le climat : Le secteur de Hammam Boughrara est soumis à un climat méditerranéen, avec des étés chauds et secs et des hivers doux et pluvieux. La classification de Köppen-Geiger est de type **Csa** (**C** : climat tempéré, **s** : Saison sèche en été, **a** : été chaud, Température moyenne du mois le plus chaud > 22 °C). Les précipitations annuelles varient entre 400 et 1000mm d’eau ; Il tombe en moyenne 409 mm de pluie par an, ce qui fait cette région soit l’une des zones les plus humides de l’Algérie. Les températures moyennes en été et en hivers sont respectivement 25°C et 11°C. La température moyenne annuelle à Hammam Boughrara est de 17°C. En été, le Sirocco, un vent sec et très chaud, qu’on appelle localement le Chehili, souffle depuis le Sahara en direction du Nord et balaie en passage la région.

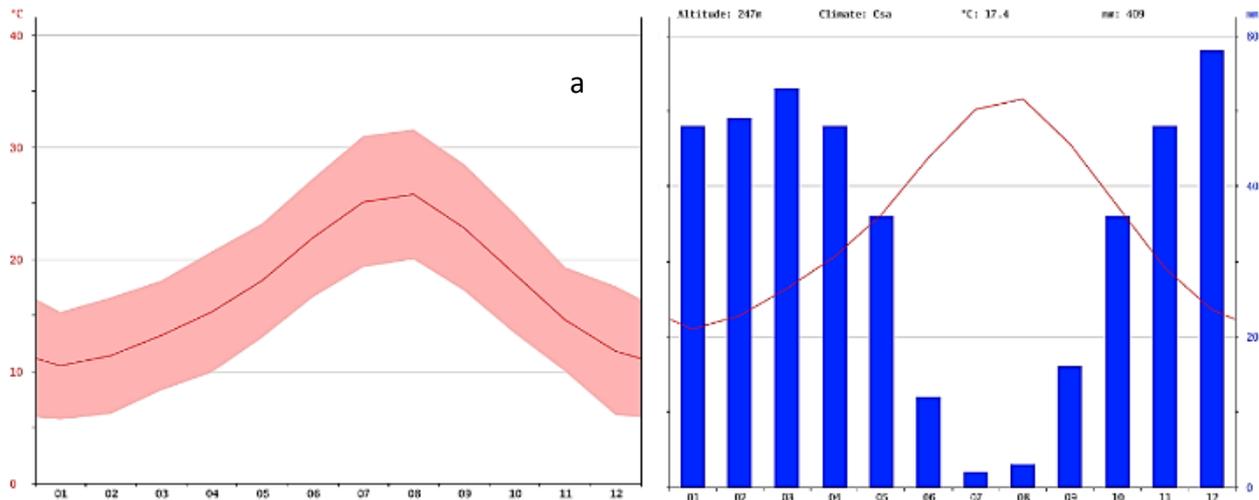


Figure 2 : Courbe de température (a) et le diagramme climatique (b) de Hammam Boughrara
Source : climate-data.org

Aout est le mois le plus chaud de l'année avec une température moyenne de 25.8 °C. Janvier est le mois le plus froid de l'année avec une température moyenne de 10.5°C. Le mois le plus sec est celui de Juillet avec seulement 2mm. Le mois de Décembre, avec une moyenne de 58 mm, affiche les précipitations les plus importantes (données météorologiques recueillies entre 1982 et 2012).

L’hydrographie: Le réseau hydrographique dans la est très développé et suit le découpage tectonostructurale de la région. Il est dense et très développé, avec des vallées souvent courtes et étroites. De nombreux Oueds sillonnent la vallée en ravins encaissés au profil caractéristique de vallées torrentielles, sont alimentés quelques jours par an par des eaux de ruissellement superficiels. Ces Oueds rejoignent l’Oued Tafna presque permanent, de 177km de long, et qui prend sa source dans les monts de Tlemcen. La région présente aussi plusieurs sources thermales dont les plus célèbres sont les sources de Hammam Boughrara.

I.4 : PRESENTATION DE L'ENTREPRISE ENOF ET L'UNITE DE MAGHNIA

L'entreprise ENOF, créé en 1983, est une Entreprise minière des métaux non ferreux , qui dispose des gisements de : Baryte, Bentonite, Kieselguhr, Kaolin, Dolomie, Feldspath, plomb et zinc, Carbonate de calcium et Calcaire.

- **Statut juridique** : Société par action (Spa)
- **Activité** : Développement, production et commercialisation des produits miniers non ferreux et des substances utiles.
- **Siege social**: 31, Rue Med Hattab Hacem Badie El Harrach Alger

En 2001 l'ENOF s'est érigée en groupe avec la création en son sein de cinq filiales :

- SOMIBAR : Société des Mines de Baryte d'Algérie
- BENTAL : Société des Bentonites d'Algérie
- DIATAL : Société des Diatomites d'Algérie
- SOALKA : Société Algérienne des Kaolins
- ALGRAN : Société Algérienne des Granulats

L'unité de Maghnia est en activité depuis plus de 50ans. A l'origine, l'unité de Maghnia était dotée de deux chaînes de production :

- une chaîne pour la production de **bentonite**.
- une chaîne pour la production de **la terre décolorante**

La chaîne de terre décolorante a été arrêtée en mai 2005, aussi sa referme a été prononcée début 2009 et démantelée 3 mois après.

Actuellement l'unité produit de la Bentonite dans ses différents types (forage, fonderie, charge).

I.5 : HISTORIQUE DES TRAVAUX SUR L'ORANIE ET LE GISEMENT DE HAMMAM BOUGHRARA

I.5.1 : travaux antérieurs réalisés sur l'Oranie.

L'Oranie a fait l'objet de plusieurs études géologiques et géologiques (stratigraphiques, paléontologique, pétrographique)

- Les premiers travaux remontent de 1846 où M. RENOU étudie les formations nummulitiques de Tessalla. Ces travaux furent suivis par ceux de L.VILLE et M. BAYLE (1854) qui apportent des précisions stratigraphiques, puis en 1856 L. VILLE édite la carte minéralogique et géologique de la province d'Oran. Cette période de reconnaissance s'achève avec la publication d'un mémoire de A.POMEL en 1871.
- Les premières études concernant les gisements éruptifs sont attribués à G.VELAIN (1874) donnant une description pétrographique succincte des roches éruptives des îles Habibas.
- POUYANNE (1877) signela la présence des basaltes dans la moyenne Tafna, ce qui est confirmé par les travaux de CURIE et FLAMAND (1890-1899). Ces derniers donnèrent aussi une aperçue pétrographique sur la région de Tifaraouine et les îles Habibas.

- L.GENTIL (1903) dans ses travaux sur les bassins de la Tafna a publié une étude plus détaillée sur les massifs de la moyenne et la basse Tafna, reconnu Tifaraouine, les îles Habibas et la région de Ain Temouchent. Cette étude est complétée par la publication d'une dizaine de cartes géologiques sur la région d'Oran, levées à 1/50 000 et 1/20 000.
- A.LACROIX (1893-1927) dans ses ouvrages « La Minéralogie de la France et ses Colonies » et « Les enclaves des roches volcaniques », a apporté des nouvelles connaissances minéralogiques et chimiques des roches volcaniques de l'Oranie.
- J.DE LA PARENT (1945) et G.MILLOT (1953) reprennent et complètent l'étude géologique et minéralogique de la région.
- G. SADRAN a étudié le volcanisme récent de la région et publié diverses analyses chimiques des roches éruptives.
- B.FENET (1975) et P.GUARDIA (1975) actualisent les données structurales et géodynamiques de l'Oranie
- H.BELLON et R.BROUSSE (1977), et BELLON et GUARDIA (1980) publient des résultats de datation radiométrique (K/Ar) et attribuent au volcanisme oranais un âge mio-quadernaire (9-4.5-1Ma)
- M.BENEST a étudié la tectonique et la microtectonique des monts de Tlemcen.
- G.THOMAS (1984) consacre ses travaux à l'analyse géodynamique du bassin intramontagnard du bas Chéelif et l'extrême oriental de la moyenne Tafna.
- M.MEGARTSI (1985) précise les données volcanologiques et pétrologiques du volcanisme de l'Oranie Nord occidentale. Il étudie notamment le volcanisme calco-alcalin du miocène situé dans la zone Tifaraouine –Bouzedjar, et le volcanisme alcalin mio-plio-quadernaire de la basse Tafna, le Souhaita, et de Ain Temouchent.
- LEMOU et KOUDIL (1993) ont montré l'appartenance des laves miocène des secteurs de Ain Roumana et Hadjrat El Kahla (moyenne Tafna) à la série calco-alcaline à tendance alcaline.
- ABAD (1993) dans son étude des laves quadernaires de la région de Ghazaouet établie une carte géologique à 1/25 000 et confirme le caractère alcalin des laves émises dans ce secteur.
- M.GUINDOUZI (1994) consacre ses travaux à l'étude de l'évolution géomorphologique et géodynamique des monts des Traras.
- A.LOUNI-HACINI et Al (1995) complètent les datations (K/Ar), actualisent et calculent le passage du volcanisme calco-alcalin au volcanisme alcalin de l'Oranie
- A.LOUNI (2002) a mis en évidence le passage du volcanisme calco-alcalin au volcanisme alcalin par des analyses géochimiques.

I.5.2 : Travaux antérieurs réalisés sur le gisement de Hammam Boughrara

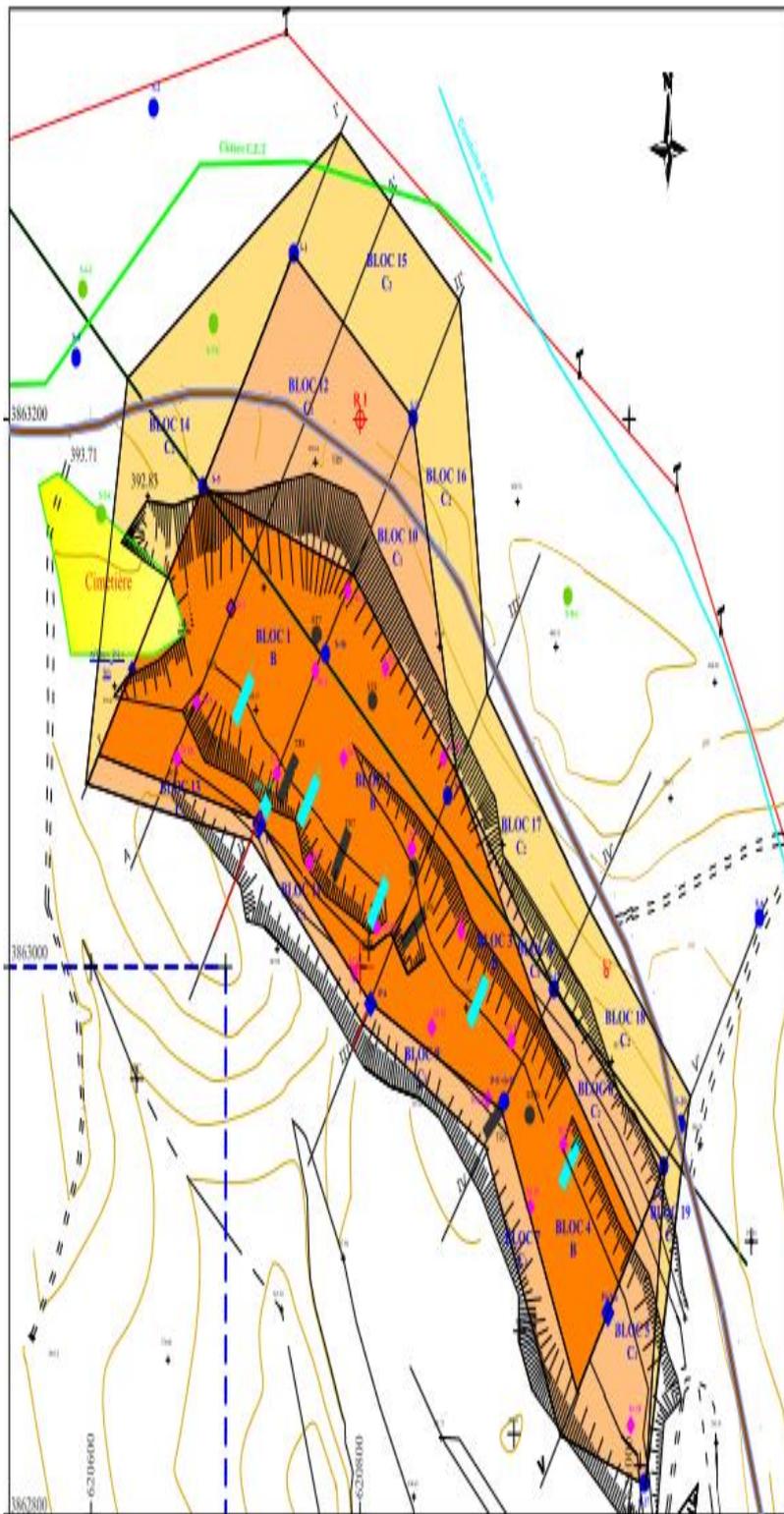
Les argiles Bentonitiques sont connues dans la région de Hammam Boughrara (Maghnia) de la wilaya de Tlemcen depuis le début du 20^{ème} siècle.

Gentil (1903) a communiqué les premières informations sur les argiles bentonitiques de Hammam Boughrara. Dans son mémoire, il a mentionné les types et variétés des argiles et les a attribuées à la nomenclature des Smectites. Plus tard ce sont Millot (1958), Boniface (1959) et G.Sadram (1964) qui se sont penchés sur la géologie de cette région. Dans son ouvrage SADRAN (1958) a interprété en détail le volcanisme de la région, la pétrographie du matériel argileux, la genèse des bentonites et les phénomènes qui l'ont accompagné.

L'exploitation en carrière a débuté dans les années 30. Durant les années 50, l'exploitation artisanale a été menée par des concessionnaires étrangers à l'aide des puits et des galeries. Cette exploitation a ciblé les endroits riches en bentonites de meilleure qualité ; elle fut interrompue pendant la guerre entre 1954 et 1962 pour reprendre dès 1963 par la société CECA Algérie dans les carrières Roussel, RM, Torba. Dans le cadre de la mise en valeur du gisement des argiles bentonitiques apparus dans les milieux volcanogènes de Hammam Boughrara, plusieurs campagnes d'exploration des gisements de Hammam Boughrara (Roussel I, Roussel II, Dar M'Barek I, Dar M'Barek II, Bab, Torba et R.M) ont été effectuées par plusieurs sociétés industrielles, et les plus importants des travaux sont ceux de sondages avec 95 sondages pour 4320m.

- **1970-1972:** Durant cette période les travaux de recherches et de prospection sur les argiles bentonitiques de la carrière Roussel et Dar M'Barek ont été menés par des spécialistes Hongrois de l'Ex SONAREM, unité de Sidi Bel Abbas. Par la suite la tâche a été confiée à un groupe de géologues soviétiques pour entreprendre les travaux de recherche et prospection pour vérifier les potentialités du gisement de bentonite de Hammam Boughrara. Lors de cette campagne des travaux de recherche et exploration sur les gisements de Roussel I et Dar M'Barek I lancé par l'Ex-SONAREM entre Décembre 1970 et Avril 1971, Il a été procédé à deux levés géologiques, l'un au 1/5000 et l'autre au 1/2000, les coupes géologiques sont à 1/1000. Les travaux de reconnaissance réalisés comprennent 29 sondages (24 sondages de 4 à 50 m de profondeur et 5 sondages entre 60 et 110m), des tranchées, des fouilles, des puits, et 424 échantillons de sondages et de surfaces ont été prélevés.
- **1971 et 1978 :** SONAREM a effectué une estimation économique des bentonites de Hammam Boughrara, les travaux réalisés dans le cadre de cette opération ont permis d'étudier 4 gisements de bentonite (Roussel, Bab, Torba, Dar Mbarek), il faut seulement noter que ces bentonites ont été étudiées pour être utilisées comme boue de forage ainsi que comme matière première pour raffinage des huiles végétales et minérales.
- **En 1972,** SONAREM a entamé un projet de recherche et de prospection des bentonites du site Roussel, soldé par le calcul des réserves géologiques en catégorie C1 + C2 (C1 : réserves probables ; C2 : réserves possibles).
- **1976-1978 :** les travaux de recherche et de prospection sur Roussel 2 et Dar M'Barek 2.
- **1978 :** les travaux de recherches et de prospection ont été exécutés sur le site Dar M'Barek.
- **1979 - 1981 :** SIDAM (société industrielle canadienne) expertise et réévalue les réserves d'argiles bentonitique de la région de Maghnia et publia des rapports sur les qualités (dans le cadre d'une étude de développement de l'industrie algérienne de bentonite, kieselguhr, argiles activées et perlite expansée).
- **1991 - 1992 :** l'EREM (une société espagnole) a réalisé, sur le gisement de Dar M'Barek, 24 sondages de profondeurs variant de 9 à 60 m environ. La maille de sondage est de 20 à 50 m pour la catégorie B, et 40 à 100 m pour les catégories C1 et C2. A l'issue de ces travaux, l'ORGM (division de Sidi Bel Abbas) rédige un rapport sur les travaux de révision des réserves des argiles bentonitique de Hammam Boughrara et évaluation des réserves de Dar M'Barek I pour une utilisation en fonderie.

- **1994** : SIDAM réalise des cartes de distribution des paramètres chimiques et physique des bentonites de Hammam Boughrara et réévalue les réserves de Roussel I dans le cadre d'une étude de faisabilité préliminaire.
- Dans la même année : SIDAM "Experts conseils" a fait des cartes de distribution des paramètres chimiques et physiques des bentonites de la région de Maghnia.
- Khadîdja GRAINE (2000) met en évidence les différents facteurs conduisant à la bentonitisation dans les terrains volcanogènes de Hammam Boughrara
- **2000 - 2001** : Réalisation d'une carte qualité pour la partie en exploitation de la carrière Roussel I, qui est maintenant l'outil principal de la gestion des réserves.
- **En 2002**, BENTAL, groupe de l'ENOF publie « le projet de développement des argiles bentonitiques de Maghnia et Mostaganem »
- **Janvier 2005** : BENTAL 2005 : Projet de forage par tarière de carrière Roussel I
- **2005** : BENTAL 2005 Projet de découverte de carrière Roussel I.
- **En juin 2008** : Dans le cadre du développement et de la valorisation des gisements de bentonite de Hammam Boughrara ENOF a confié à BUMIGEME (Bureau d'étude Canadien) l'élaboration d'une **étude technique et économique** qui vise à la réalisation d'une usine de traitement sur le site du gisement de Hammam Boughrara pour la production de bentonite toute catégorie et de la terre décolorante. Le volume des travaux d'exploration autour de ces gisements réalisés par BUMIGEME comprend 16 sondages (ST-1 à ST16) totalisant 503 mètres répartis sur les quatre sites (Dar M'Barek, Roussel I, R.M. et Roussel 2) et de 14 saignées (TR-1 à TR-14).
- **BOUKHEDMI 2008** : Dans ses travaux sur l'origine du processus de bentonitisation des terrains volcanogènes rhyolitiques de la région de Hammam Boughrara, BOUKHEDIMI (2008) a mis en évidence des relations existantes entre la bentonitisation et la tectonique cassante, la dynamique volcanique et les faciès rhyolitiques, ainsi que les changements chimiques majeurs affectant les faciès rhyolitiques bentonitisées.
- **Septembre 2008** : BUMIGEME publie le rapport « Diagnostic des Usines, Actions de Mise à Niveau et Reconnaissance des gisements »
- En 2011, BUMIGEME a effectué des sondages géotechniques, et en 2012, la société BENTAL a réalisé 2 sondages et 9 tranchées.
- **2015** : Finalisation de l'étude de BUMIGEME.
- **2016** : Dans le cadre de la réouverture de la carrière de Dar M'Barek, ENOF Maghnia réévalua les réserves de Dar M'Barek I et élaborera un plan de développement et d'exploitation du gisement d'argiles bentonitique de Dar M'Barek 01 (Hammam Boughrara, Maghnia).



- LEGENDE**
- Réserves géologique à la catégorie B
 - Réserves géologique à la catégorie C₁
 - Réserves géologique à la catégorie C₂
 - Formation continentale (argiles, conglomérats)
 - Rhyolites
 - RI-1-11 Sondage réalisé (BENTAL 2012)
 - A Tranché Réalisée (BENTAL 2012)
 - R-1 Sondage géotechnique réalisé (BUMIGEME 2011)
 - TR Tranché Réalisée (BUMIGEME 2008)
 - ST Sondage Réalisé (BUMIGEME 2008)

Figure 3 : Localisation des sondages effectués sur le gisement de ROUSSEL I

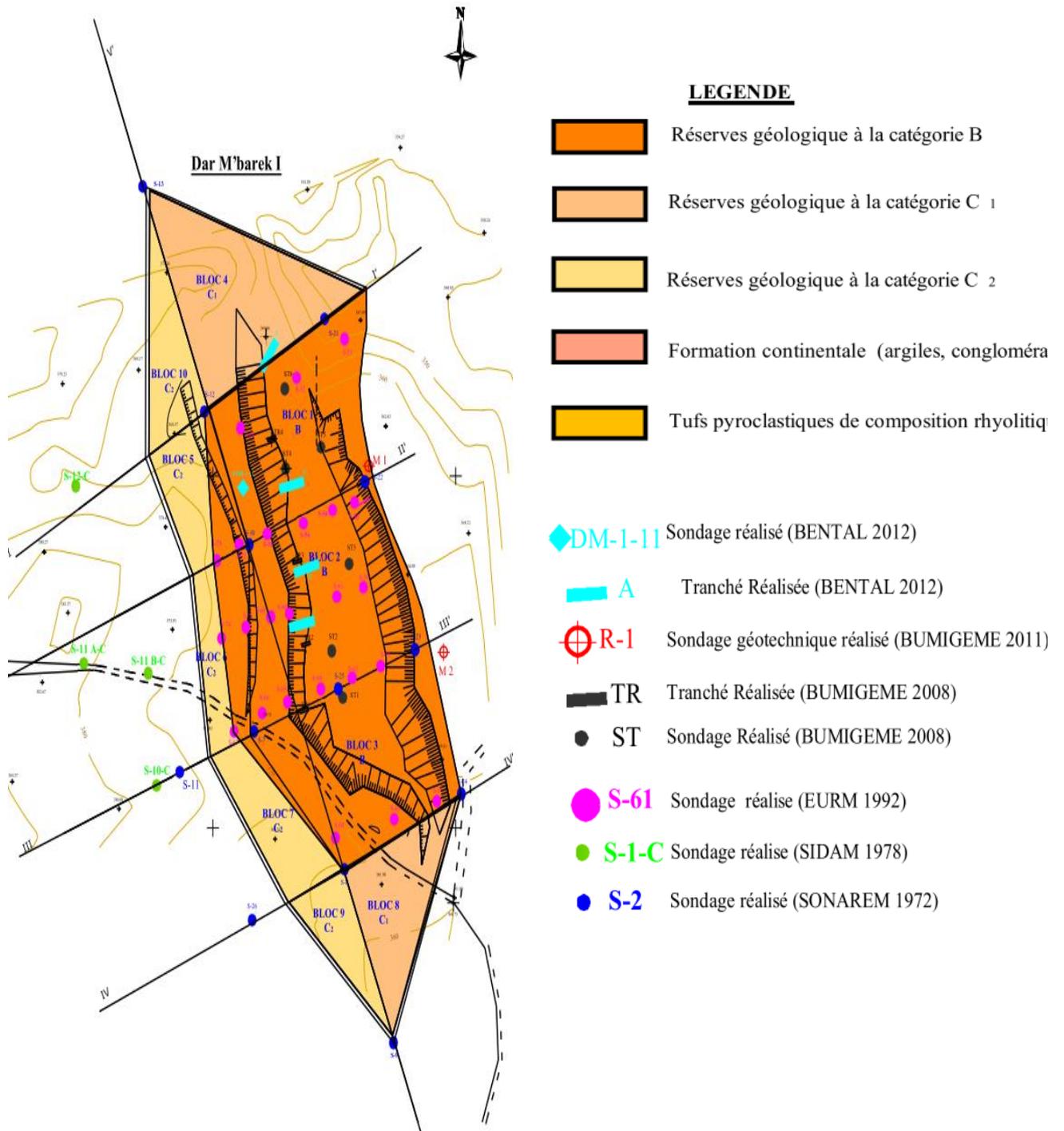


Figure 4 : Localisation des sondages effectués sur le gisement de Dar M'Barek



Figure 5 : Sondages réalisés sur le gisement de Hammam Boughrara

I.5.3 : Les résultats des différents travaux de recherche

Tab 1 : Évaluation des réserves des gisements de Hammam Boughrara – Maghnia (ENOF Maghnia)

Années	Gisements	C1	C2	B	Total
1972	Roussel I	1 839 400	1 623 800	-	3 463 200
	Dar Embarek I	1 855 500	2 860 600	-	4 716 100
	Total A	3 694 900	4 484 400	-	8 179 300
1978	Roussel II	1 636 900	743 500	-	2 380 400
	Dar Embarek II	-	663 200	-	663 200
	Total B	1 636 900	1 406 700	-	3 043 600
1992	Dar embarek I	929 150	206 053	649 092	1 784 295
Total A + B		5 331 800	5 891 100	-	11 222 900

Tab 2 : Calculs de réserves ENOF Maghnia pour la carrière Roussel I en 1993 (ENOF Maghnia)

Gisements	C1 (Tonnes)	C2 (Tonnes)	B (Tonnes)	Total (Tonnes)
Roussel I	804 700	428 700	-	1 233 400
Total des Réserves géologiques de Roussel I	1 634 680	1 507 760	-	3 142 440

480 000 Tonnes en C2 sont exclues des réserves. Elles se trouvent sous le dôme de rhyolite qui nécessite des travaux de tirs à l'explosif.

Tab 3 : Réserve des gisements de Hammam Boughrara – Arrêtées au 31/12/2007 (ENOF Maghnia)

Gisements	Réserves Géologiques (tonnes)	Réserves exploitable (tonnes)
Roussel I	2 940 720	902 030
Roussel II	2 380 400	Non évaluées
Dar M'Barek I	4 716 100	Non évaluées
Dar M'Barek II	663 200	Non évaluées
Total	10 700 420	902 030

Tab 4 : Réserve des gisements de Hammam Boughrara – Arrêtées au 31/12/2011 (ENOF Maghnia) (Quantités calculées par le bureau d'étude BUMIGEME)

Carrières	Réserve /Catégorie			Total
	B	C1	C2	
Dar M'Barek	3 633 771	311 428	607 200	4 552 399
Roussel I	1 560 328	556 444		2 116 772
RM	-	-	1 861 228	1 861 228
Roussel II	-	-	2 380 048	2 380 048
Total	5 194 099	867 872	4 848 476	10 910 447

Tab 5 : Réserve des gisements de Hammam Boughrara – Actualisé au 31/12/2015 pour ROUSSEL I et au 31/12/16 pour Dar M'Barek (ENOF Maghnia)

Carrières	Réserve /Catégorie			Total
	B	C1	C2	
Dar M'Barek	2 302 867,26	618 157,31	1 921 821,12	4 842 845,69
Roussel I	1 677 722,89	1284327,11	955577,92	3917627,92
Total	3 980 590, 15	1902484,42	2877399,04	8760473,61

Dans le cadre de transfert des réserves de la catégorie C2 vers C1, il a été recommandé d'effectuer des travaux de reconnaissance supplémentaire dans le gisement de Dar M'Barek afin d'assurer que les réserves exploitables sont suffisantes pour alimenter l'usine de traitement que sera implanté à Bab El Assa. Le programme des travaux complémentaire prévus comprend 04 sondages carottant. Le tableau suivant indique l'emplacement de ces sondages ainsi que le métrage.

Tab 6: sondages nécessaires pour le transfert des réserves de catégorie C2 en C1 (ENOF Maghnia)

Gisement	Sondage	Emplacement de sondage		Métrage (m)
		X	Y	
Dar M'Barek 01	01	621 520	3 863 210	100
	02	621 560	3 863 140	120
	03	621 570	3 863 040	120
	04	621 635	3 862 955	110
Total				550

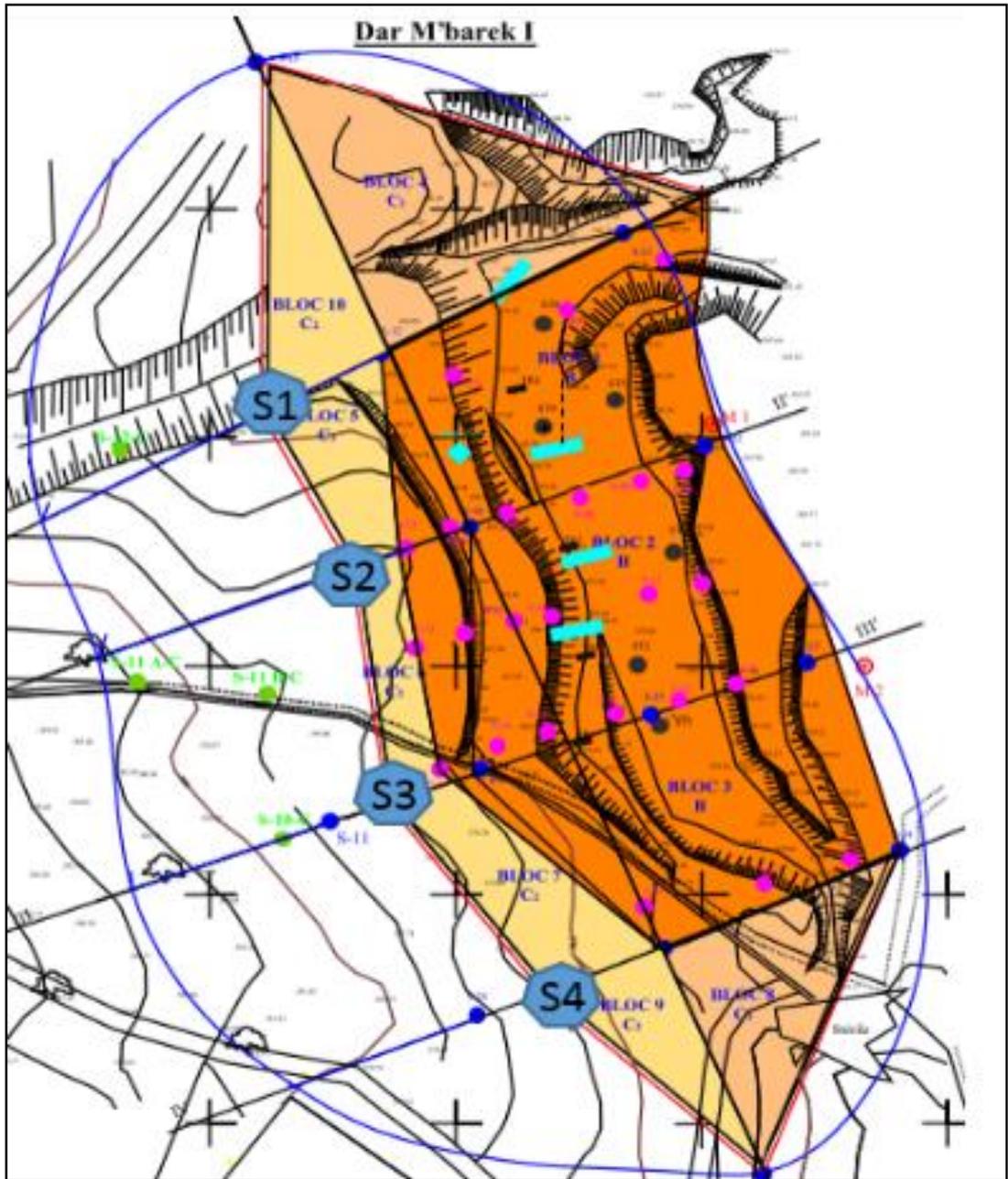


Figure 6: Emplacement des sondages (ENOF Maghnia)

Si ces travaux complémentaires sont réalisés, les réserves exploitables attendues seront comme suit :

Tab 7: Réserves exploitables attendues après les travaux complémentaires (ENOF Maghnia)

Carrière	Réserve/Catégorie (Tonnes)			Total
	B	C1	C2	
Dar M'barek	2 270 081	2 505 201.7	-	4 775 298

CHAPATITRE II :
GENERALITES SUR LES
SUBSTANCES MINERALES
INDUSTRIELLES ET LES ARGILES
BENTONITIQUES

II.1. GENERALITES SUR LES SUBSTANCES MINERALES INDUSTRIELLES

II.1.1 Définitions

Communément appelées « **minéraux industriels** », les substances minérales industrielles sont des minéraux et des roches qui présentent une valeur économique et qui sont différents des minéraux métalliques, des pierres précieuses ou des combustibles. De par leurs diverses propriétés physico-chimiques intéressantes, elles peuvent être utilisées, directement ou moyennant quelques traitements, dans l'industrie après leur extraction. Ces substances englobent les matériaux de construction (argiles, sables, graviers, agrégats des roches) et les minéraux et les roches industriels au sens strict qui sont des matériaux spécifiques (kaolin, feldspath, carbonates, bentonites ...) utilisés comme matières premières principales ou adjuvants essentiels dans diverses industries (HIGHLEY D.E., 1994).

II.1.2 Classification des substances minérales industrielles

Les ressources minérales naturelles sont généralement classées en trois catégories : **l'eau minérale, les géomatériaux et les minerais**. On appelle minerai, toute substance se trouvant dans l'écorce terrestre utile pour l'homme et qui peut être exploité avec profit.

Ces derniers sont, à leur tour, classés en trois catégories distinctes :

- 1) **les substances énergétiques** : Charbon, Lignite, Hydrocarbures liquides et gazeux
- 2) **les métaux et roches métalliques** :
 - métaux sidérurgiques : Fe, Mn, Cr, Ni, Co, W, V, Nb, Ta
 - métaux de base : Cu, Sn, Pb, Zn, Al, Mg, Ti
 - métaux précieux : Au, Ag, Pt, Pd, Rh, Ir
 - métaux spéciaux (nucléaires ou électroniques) : U, Pu, Ce, Cs, Hg, In, Re, Cd, Se, Zr, Hf, Be, Rb, Ga, Ge, Te, Ta
- 3) **les minéraux industriels ou substances utiles**:
 - **les argiles** : Kaolin, Bentonite, vermiculite, etc.
 - **minéraux de l'industrie chimique** : soufre, pyrite, sel gemme, baryte, fluorite, gypse, anhydrite, ...
 - **engrais** : phosphates, nitrates, sel de potasse, ...
 - **isolants et réfractaires** : amiantes, magnésite, graphite, andalousite, Feldspaths, micas, cordiérite, kaolin,...
 - **les pierres industrielles** : calcaire, dolomie, marbre, silice ;
 - **les pierres gemmes** : diamant, corindon, béryl, saphir et rubis, émeraudes;
 - **la plupart des minéraux non métalliques**;
 - **certains minéraux métalliques utilisés sous forme de composés chimiques** : chromite, ilménite, magnétite, hématite

A cause de leurs propriétés ou de leurs utilisations, certains matériaux sont classés parmi les minerais ou les minéraux industriels.

Tab 8: Classification des substances minérales industrielles en fonction de leur nature et de leur origine (source : Dominique WETSHONDO OSOMBA 2012)

Origine	Type de roche ou minéral	Quelques applications industrielles	
Sédimentaire	Carbonates	Calcaires	Ciment, chaux, agroalimentaire, agriculture, raffinage, céramique
		Dolomie, Magnésite	Agriculture, céramique, produits chimiques, plastiques
	Argiles	Kaolin	Papiers, céramique, peinture
		Bentonite Smectites	Métallurgie, cosmétiques, peinture, pharmacologie, protection de l'environnement
		Vermiculite	Isolant, céramique technique
		Argile banale Argile sableuse	Céramique, construction
	Sable Gravier	Sable quartzeux	Céramique et verre, réfractaires Abrasifs
		Gravier	Construction, ballastes
	Evaporites	Gypse, halite Apatite, phosphate	Engrais, produits chimiques, diététiques
	Magmatique	Roches intrusives	Granite, diorite Gabbros
Syénite, syénite à Néphéline			Céramique et verre, construction, décoration
Feldspaths			Céramique et verre, produits chimiques
Quartz			Céramique et verre, réfractaire abrasif, construction, filtrage
Micas			Isolant, matériaux imperméables, lubrifiants, réfractaires, décoration
Roches volcaniques		Basalte, rhyolite, Trachytes	Construction, engrais
		Pouzzolane	Cimenterie, construction, engrais
		Pierre ponce, perlite, pumice	Engrais, insecticide, isolation, agrégats légers, abrasifs
Métamorphique	Gneiss	Construction, pierre de taille	
	Micaschiste, micas	Construction, briques spéciales	
	Marbre	Construction, cimenterie, agriculture, céramique et verre	
	Graphite	Réfractaires, peinture, creusets	
	Talc	Cosmétiques, céramique, peinture, papier, fertilisant, lubrifiant à HT	
	Andalousite, Sillimanité, Disthène, staurotide	Industrie d'aluminium	
Gisements hydrothermaux et diagénétiques	Barytine	Produits chimiques	
	Fluorites	Métallurgie, dentifrices	
	Zéolites	Assainissement et protection de l'environnement	

II.2 : GENERALITES SUR LES ARGILES

Après le silex et la pierre taillée, l'argile fut, pendant la préhistoire, le matériau le plus anciennement utilisé par les hommes (Mohammad Koneshloo 2007). Les argiles constituent une matière première depuis la plus haute antiquité dans toutes les civilisations et les plus anciennes céramiques du monde ont été découvertes sur les berges du fleuve Amour en Russie orientale (Hyland et al.). De nos jours, l'utilisation des argiles, notamment celles qui sont riches en SiO_2 et Al_2O_3 , connaît un nouvel essor dans la construction, la céramique industrielle et artisanale, l'industrie pharmaceutique, la poterie et dans divers autres applications (Hubert, 2009).

II.2.1 Définition

Étymologiquement, le terme Argile trouve son origine dans le mot grec Argilos dont la racine « Argos » signifie « **blanc** » ou du latin "argua"; c'est la couleur du matériau utilisé en céramique qui a conduit les anciens à lui donner ce nom.

Selon le Dictionnaire Le petit Larousse 1997, l'argile est une roche sédimentaire meuble, imperméable, grasse au toucher, imbibée d'eau et qui peut être façonnée.

Du point de vue géologique, l'argile est une roche sédimentaire, composée pour une large part de minéraux spécifiques, aluminosilicates plus ou moins hydratés, eux-mêmes nommés argiles. Les constituants des argiles sont des minéraux, qui sont extrêmement petits (Meunier 2006).

II.2.2 Agencement des Couches

Il existe deux sortes de couche, selon que les oxygènes ou hydroxyles sont associés en tétraèdres ou en octaèdres.

- Dans la couche tétraédrique la cavité des tétraèdres est occupée par le cation silicium, qui peut être substitué par de l'aluminium.
- Dans la couche octaédrique la cavité octaédrique est occupée par des petits cations de (Al^{3+} , Fe^{3+} , Mg^{2+}).

Au cas où les charges positives et négatives ne s'équilibrent pas, il en résulte une charge du feuillet et d'autres cations viennent se loger entre les feuillets pour équilibrer l'édifice. Ici résident les capacités d'échange des argiles et leur pouvoir adsorbant.

II.2.3 Structure cristalline des minéraux argileux

Du point de vue structural, les minéraux argileux sont constitués d'un agencement de **tétraèdres siliciques** (SiO_4^{4-}) et/ou éventuellement (AlO_4^{5-}), et **d'octaèdres aluminiques ou magnésiques**. Ces tétraèdres et ces octaèdres résultent de la superposition de trois types de plans anioniques (X, Y, Z) disposés parallèlement et contenant des anions oxygène et des groupements hydroxyles. Ils sont séparés par un espace interfoliaire (ou interfeuillet) qui peut être occupé par des cations.

L'ensemble feuillets-espace interfeuillet forme une unité structurale et l'épaisseur de celle-ci est appelée **distance basale** qui est une des caractéristiques essentielles des minéraux argileux.

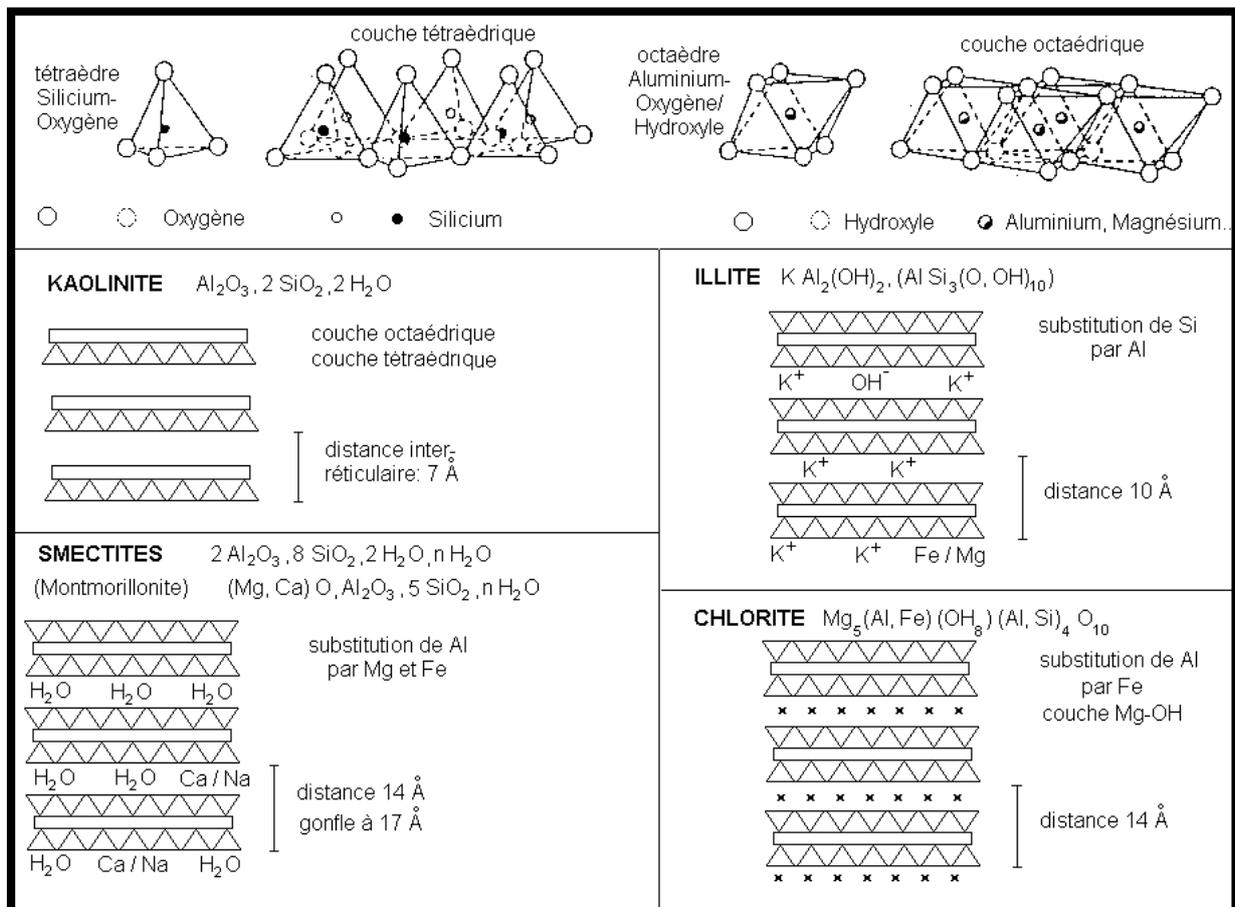


Figure 7 : Agencements des tétraèdres et des octaèdres (Moore & Reynolds, 1989).

II.2.4 Propriétés physico-chimiques des argiles

Les roches argileuses possèdent les propriétés suivantes:

- Elles sont fragiles, elles cassent et raient facilement.
- Elles sont colorées, leur couleur varie selon les minéraux dont elles sont constituées.
- Elles sont transformables, on peut les cuire pour obtenir des céramiques.
- Elles miscibles à l'eau, elles ne se dissolvent pas mais gonflent pour former une pâte.

Les argiles se différencient par leurs propriétés absorbantes et adsorbantes : **les argiles à structure fibreuse** ont un pouvoir absorbant élevé. Elles peuvent absorber jusqu'à 40 % de leur poids en liquide. Elles ont donc des vertus nettoyantes qui leur permettent d'adsorber les impuretés ou éliminer les mauvaises odeurs.

Les argiles à structure en feuillets ont un pouvoir adsorbant élevé. Elles ont un intérêt important pour traiter les problèmes intestinaux. Grâce à ce pouvoir d'adsorption, elles désintoxiquent en captant les virus, les bactéries et les pesticides et autres molécules indésirables.

Les propriétés bien particulières des minéraux argileux sont dues à la petite taille, la structure en feuillets et la charge négative des particules. Elles forment avec l'eau des solutions colloïdales qui flocculent lorsque les charges de surface des particules sont neutralisées par des ions. Ce phénomène est réversible: les particules retrouvent l'état dispersé lorsque les ions sont éliminés par rinçage.

II.2.4.1 Capacité d'échange cationique (CEC)

Les atomes de valence « n » substitués dans les couches octaédriques ou tétraédriques par d'autres atomes de valence inférieure, créent dans le feuillet une charge globale négative.

La compensation de cette charge est assurée par des cations échangeables, localisés dans l'espace interfoliaire. Ce sont généralement des cations Na, Ca etc... Le nombre et la nature du cation échangeable caractérisent l'argile

L'ensemble de ces charges mobiles peut être estimé et son calcul donne ce qu'on appelle la capacité d'échange cationique (C.E.C). La mesure de la C.E.C. se fait par remplacement de ces cations internes par des cations externes et est exprimée en milliéquivalents grammes/cents grammes d'argiles. Pour évaluer la C.E.C. de la bentonite, il existe plusieurs méthodes d'analyses la méthode au bleu de méthylène (HANG et BRINDLEY,1970), la méthode au cobalt (ROHDES et BROWN, 1995) et la méthode conductimétrique. D'autres méthodes sont aussi précises et rapides.

II.2.4.2 Gonflement

Les argiles fixent l'eau par adsorption à leur surface et augmentent de volume par gonflement. Elles constituent ainsi une réserve d'eau. L'argile sèche développe une tension de succion importante pour l'eau qui peut s'opposer à celle des racines des plantes. Avec adjonction croissante d'eau, la tension de succion diminue, l'ensemble eau-argile devient plastique, puis visqueux et finalement les particules d'argile se dispersent dans l'eau en formant une solution colloïdale. L'argile imprégnée d'eau qui se dessèche se rétracte et se casse par des fentes de retrait. (ABDELOUAHAB C., AIT AMAR H., 1987).

II.2.5 Classification des minéraux argileux

La classification des argiles est basée sur quatre paramètres principaux :

- La combinaison des feuillets de type tétraèdre (T) et octaèdre (O) : T-O ; T-O-T et T-O-T-O.
- Le type de cations dans l'octaèdre qui peuvent être bivalents, ou trivalents, permettant de distinguer les phyllosilicates di- et tri- octaédriques.
- La charge interfoliaire.
- Le type de matériel dans l'espace interfoliaire (nature des cations, couche octaédrique,...).

Les principaux critères de classification des phyllosilicates sont basés sur la combinaison des feuillets, le type de cations dans l'octaèdre, la charge de la couche et le type de matériel dans l'espace interfoliaire.

Selon le nombre de couches octaédriques (O) et tétraédriques (T), on distingue trois types principaux de minéraux argileux :

II.2.5.1 Les minéraux 1/1

Les minéraux argileux de ce type sont caractérisés par (BERGAYA F. et al., 2006):

- une distance basale comprise entre 7,1 et 7,4Å ;
- un motif élémentaire formé par un empilement de trois plans anioniques : X (atomes d'oxygène, base des tétraèdres (SiO₄)⁴⁻), Y (atomes d'oxygène et hydroxyles internes) et Z (hydroxyles externes) et de deux plans cationiques

Parmi les minéraux 1/1, on retrouve le groupe des kaolinite-serpentine qui d'après la morphologie, l'état d'hydratation et le degré de cristallinité comprennent plusieurs minéraux dont la kaolinite et ses deux polytypes, dickite et nacrite, et l'halloysite: Phylliteux, les minéraux du groupe des kaolinite-serpentine sont blancs ou blanchâtres ; mais suivant la nature des impuretés qu'ils contiennent, leur couleur peut devenir rouge, grise ou bleutée.

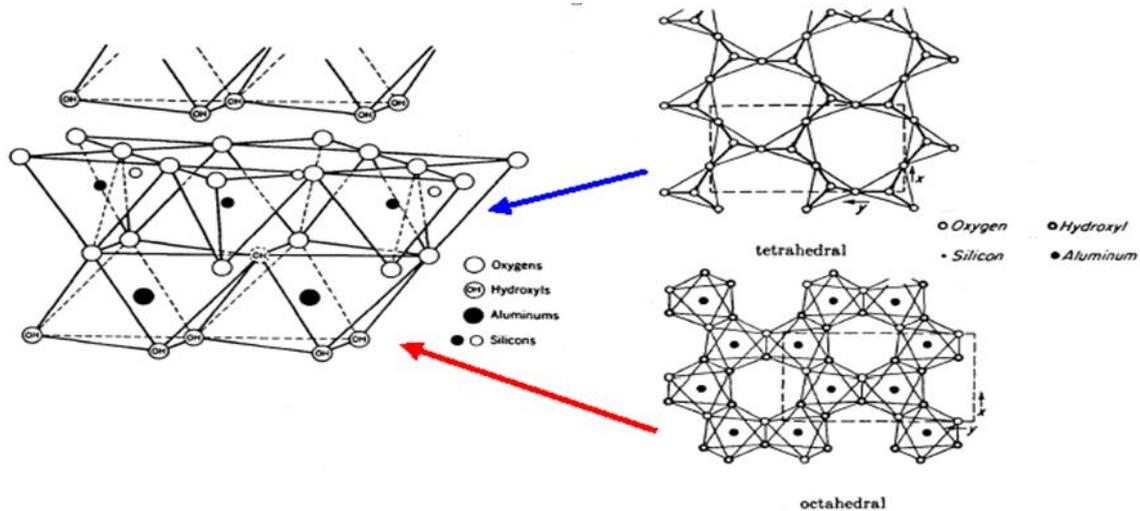


Figure 8 : Agencements des tétraèdres et des octaèdres en feuillets 1/1

II.2.5.2 Les minéraux 2/1

Les feuillets de ces minéraux sont formés par **deux couches tétraédriques encadrant une couche octaédrique**. Le minéral représentatif de ce groupe est la **muscovite**.

Des substitutions cationiques sont observables au sein de ces minéraux 2/1 :

- les ions Si^{4+} peuvent être remplacés par Al^{3+} et/ou Fe^{3+} dans les couches tétraédriques ;
- les ions Fe^{2+} , Mg^{2+} ou Mn^{2+} peuvent se substituer aux ions Al^{3+} dans les couches octaédriques ;
- dans les sites octaédriques, Li^{+} peut aussi remplacer Fe^{2+} ou Mg^{2+} .

Ces substitutions engendrent un déficit de charge compensé par l'intercalation de cations comme Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} , K^{+} dans l'espace inter-foliaire qui peut accueillir des quantités variables d'eau pour hydrater ces cations.

-Les Smectites : Uniquement présent dans fraction fine des roches, les minéraux du groupe des Smectites comprenant des cations Mg^{2+} ou Ca^{2+} contiennent deux couches d'eau dans l'inter-foliaire ; les Smectites ayant des cations monovalents comme le Na^{+} n'en contiennent qu'une seule. Les Smectites sont tri-octaédriques si le site Y est occupé par Al^{3+} ou plus rarement Fe^{3+} (exemples : talc, saponite, hectorite, sauconite, stevensite) ou di-octaédriques si elles renferment Mg^{2+} ou Zn^{2+} dans le site Y (exemples : montmorillonite, pyrophyllite, beidellite, nontronite).

II.2.5.3 Les minéraux 2/1/1 et les minéraux fibreux

Les chlorites sont des minéraux 2/1/1 ou T.O.T.O de formule générale : $[Si_{4-x} Al_x O_{10} Mg_3 (OH)_2] [Mg_{3-x} Al_x (OH)_6]$ dont les couches tétraédriques sont formées de tétraèdres SiO_4 où Si est souvent substitué par Al^{3+} , plus rarement par Fe^{3+} . Le déficit de charge qui en résulte est compensé par un excès de charge octaédrique, soit dans le feuillet T.O.T., soit dans la couche brucitique (octaèdre : $(Mg, Fe)(OH)_6$). Dans les cas des chlorites les plus communes, les octaèdres sont garnis de cations divalents ($3R^{2+}$), ce qui confère aux chlorites un caractère tri-octaédrique bien que toutes les combinaisons soient possibles (tri-dioctaédrique, di-tri-octaédrique, di-dioctaédrique). Les chlorites sont stables à haute température ; leur stabilité accrue par rapport aux vermiculites s'explique par la liaison forte existant entre les hydroxyles.

Les minéraux argileux fibreux se distinguent des autres par leur structure en "pseudo-feuillets ou en briques creuses". Dans ces conditions, les feuillets T.O.T. sont discontinus dans une direction parallèle à l'allongement, déterminant ainsi des rubans dont la croissance est limitée à une dimension. Ces rubans ne sont pas superposés, mais sont disposés alternativement, d'un pseudo-feuillet à l'autre. Cette structure crée des espaces vides qui sont remplis par de l'eau liée ou non (zéolithique) et par de cations échangeables (CAILLERE S. et al., 1982 ; BERGAYA F. et al., 2006).

II.2.5.6 Les minéraux inter-stratifiés

Cette catégorie regroupe les minéraux argileux formés par l'empilement ou l'alternance régulière ou non de feuillets de minéraux argileux simples différents. Leur comportement aux rayons X est donc intermédiaire entre celui des différents feuillets qui le composent.

Parmi les inter-stratifiés réguliers, on peut citer : **la corrensite** (chlorite-smectite), **l'allévardite** et **rectorite** (illite-vermiculite). Sont classés parmi les interstratifiés irréguliers, les minéraux suivants : kaolinite-Smectite, chlorite-chlorite gonflante (14c – 14g) et vermiculite-smectite (14v – 14s).

Tab 9: Classification sommaire des minéraux argileux. (source : SEGHIR Hichem 2010)

principales familles		Espèces minérales				
		Composants dominants				
		Si et Al	Si, Al, Fe et Mg	Si, Al et Mg	Si et Mg	Si, et Fe
Minéraux à 2 couches		Kaolinite halloysite	Berthiérine (chamosite)	Amosite	Serpentine (antigorite) (chrysolite)	Greenalite cronstedite
Minéraux à 3 couches	Illites et vermiculite	Illites vermiculite	Illites vermiculite	Vermiculite		Glauconite (céladonite)
	Smectites	Montmorillonite	Beidellite	Saponite	hectorite Stevensite	Nontronite
	Chlorite	Chlorite	Chlorite (clinochlore)	Chlorite	Chlorite (pennine)	
	Pyrophyllite et Talc	Pyrophyllite			Talc	
Minéraux en lattes				Attapulgite	Sépiolite	

II.3 : LA BENTONITE

II.3.1 Définition

Le terme bentonite a été proposé en 1898 pour désigner une argile au toucher savonneux appartenant à la formation "Benton shale" et affleurant dans la région de Rock River (Wyoming, Etats Unies) où la première exploitation de bentonite aurait été découverte en 1890. Cette formation tire son nom de Fort-Benton situé à 650 km environ au Nord de Rock River.

La bentonite est une roche argileuse, friable, tendre et onctueuse au toucher, sa teinte dépend des composés minéraux et impuretés qui lui sont étroitement associés. Elle est blanche, grise ou légèrement jaune, et se caractérise par une capacité élevée d'adsorption, d'échange ionique et de gonflement.

Les bentonites sont par définition, des matériaux argileux (silicates d'alumine hydratés) composés essentiellement de montmorillonite. Ces minéraux argileux sont constitués par la superposition de feuillets élémentaires, entre ces feuillets se trouvent des cations échangeable essentiellement du Ca ou Na. Les bentonites sont des argiles qui présentent les propriétés d'hydratation les plus développées, d'où leur qualificatif **d'argiles gonflantes**

Formule chimique générale : $(\text{Na}, \text{Ca}) (\text{Al}, \text{Mg})_6 (\text{Si}_4\text{O}_{10})_3 (\text{OH})_6 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

On en trouve de nombreuses variétés chimiques où le Mg est remplacé par différents cation divalent, Fe, Mn, Cr.

II.3.2 Origine

Les bentonites sont des argiles d'origine volcanique, constituées principalement de montmorillonite; l'altération et la transformation hydrothermale de cendres des tufs volcaniques riches en verre entraînent la néoformation des minéraux argileux, qui font partie principalement du groupe des Smectites. Les roches argileuses ainsi formées portent le nom de bentonite, d'après le gisement situé près de Fort Benton (Wyoming, Etats-Unis).

Elle contient plus de 75 % de montmorillonite ; cette dernière fut découverte pour la première fois en 1847 près de Montmorillon, dans le département de la Vienne (France). La bentonite est une dénomination de la montmorillonite. Cette dernière a été découverte dans des gisements argileux situés près de montmorillonite dans la vienne, en France. Contiennent au moins 75% de montmorillonite. Elle provient de la dévitrification des couches volcaniques sous l'influence des eaux à réaction alcaline ou acide. En plus de la montmorillonite, cette terre peut contenir d'autres minéraux argileux (kaolinite, illite, ...) ainsi que des impuretés sous forme de gypses, de carbonates, etc. (BOUGDAH, 2007).

II.3.3 Les conditions de formation de la bentonite

La Montmorillonite est rencontrée :

- ✓ Dans les milieux sédimentaires, riches en magnésium et à PH légèrement ou nettement alcalin, un excès en potassium dans ces milieux, laisserait apparaître les micas.
- ✓ Aux niveaux des sols (chernozines, rendzines).
- ✓ Comme produit d'altération :
- ✓ Des roches éruptives acides (pegmatites....).

- ✓ Des cendres volcaniques (fort Benton, USA).
- ✓ Des rhyolites (Maghnia, Algérie).
- ✓ Des roches acides vitreuses (Smectite du Sud de l'Espagne).

L'altération hydrothermale peut conduire à la formation de la Montmorillonite, localisée sur les bords du gisement alors que la kaolinite se forme à l'intérieur. Elle est aussi le produit de la synthèse hydrothermale (en présence de Magnésium, ainsi qu'un pH relativement élevé).

II.3.4 Structure de la bentonite

La montmorillonite est le constituant principal de la bentonite. C'est un phyllosilicates 2 : 1 (famille de Smectites caractérisés par un feuillet qui Comporte une couche octaédrique comprise entre deux couches tétraédrique) dans lequel la charge négative de la couche est électriquement équilibrée par une charge égale, des cations échangeables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , H^+ , K^+ , NH_4^+ et Na^+) situés principalement entre ces couches silicates ; ces cations ne font pas partie de la structure et garde une certaine mobilité.

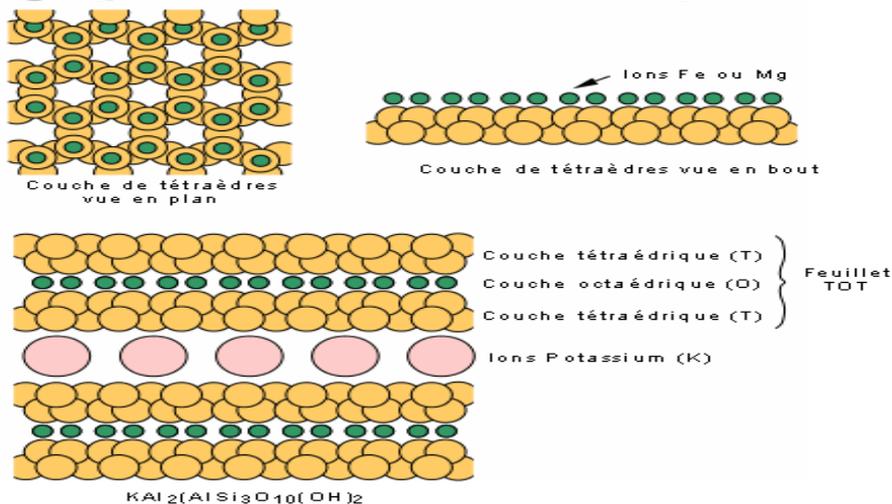


Figure 9 : Structure de la montmorillonite.

II.3.5 Types de bentonites

On distingue trois types de bentonites commercialisées :

- **Bentonites calciques** : Elles constituent la plus grande part de gisements exploités dans le monde. Elles contiennent essentiellement des ions (Ca^{2+}) en position interfoliaire. Ces argiles présentent un taux de gonflement de 3 à 7 fois le volume initial (BOUGDAH, 2007).
- **Bentonites sodiques** : Ce sont des argiles rares. Leur ion interfoliaire ou échangeable est Na^+ . Elles ont un pouvoir de gonflement très élevé (12 à 18 fois) (BOUGDAH, 2007)
- **Les bentonites sodiques artificielles** commercialisées sont obtenues par ajout de Na_2CO_3 .

II.3.6 Les propriétés de la bentonite industrielle.

Pour qu'une bentonite soit orientée vers un secteur industriel bien défini il faut qu'elle y ait les propriétés physico-chimiques convenables pour ce secteur.

Tab 10: bentonite, spécification minimales requis pour chaque application

Qualité	Propriétés	Le marché	Production
Bentonite de 1^{ère} qualité			
Q1	-Na ₂ O supérieur à 2% -Indice de Gonflement (IG) supérieur à 20 -Al ₂ O ₃ Inférieur à 2% -SiO ₂ entre 55-65% -Ca O supérieur à 2%	-Pelletisation du minerai de fer. -Boue de forage -Fonderie. -Génie civile	-séchage à 10% d'humidité pour bouletage, vendu en Vrac ; -séchage à moins de 5% d'humidité et pulvérisation à 90% -Moins de 74µm, pour forage, fonderie et génie civil
Bentonite de 2^{ème} qualité			
Q2	-IG supérieure à 15 -Na ₂ O supérieur à 1% -Al ₂ O ₃ Inférieur à 20% -MgO inférieure 3% -Ca O inférieure à 4%	-Fonderie. -Génie civile -Bentonite de charge	- séchage à 10% d'humidité -maximum pulvérisation à 85-90% - Moins de 74µm en séchage
Bentonite de 3^{ème} qualité			
Q3	-IG entre 10 à 15 -Propriétés chimiques ne répondent pas aux classes 1 et 2 et aux terres décolorantes	-traitement des eaux -bentonite de charge -Génie civil -applications modérées -Fonderie 2 ^{ème} qualité	- séchage à 10% d'humidité -maximum pulvérisation à 85-90% - Moins de 74µm en séchage
Bentonite 4^{ème} qualité : Terres décolorantes, huiles végétales			
Q4	-MgO Supérieure à 4% -IG supérieure à 8 -SiO ₂ Entre 55-65% -Al ₂ O ₃ inférieure à 18-21% -Fe inférieure à 4%	-Décoloration des huiles végétales. -Catalyseurs. -Milieu d'absorption d'insecticides	-séchage à 10% d'humidité -Classification ; -Digestion à l'acide sulfurique 44% en poids, -matières solubles, moins de 1% à l'état sec, -aires de surface 200 minimum
Bentonite de 3^{ème} qualité : Terres décolorantes, huiles minérales			
Q5	-MgO Supérieure à 3%. -IG supérieure à 10. -SiO ₂ Entre 55-65%. -Al ₂ O ₃ inférieure à 8-20%. -Fe inférieure à 2%.	Décoloration des huiles minérales. Milieu d'absorption d'insecticides. Désodorisant.	-séchage à 10% d'humidité -Classification ; -Digestion à l'acide sulfurique 28% en poids, -matières solubles, moins de 1% à l'état sec, -aires de surface 100 minimum

La bentonite est rangée parmi les adsorbants inorganiques et les minéraux dispersants grâce à ses propriétés physico-chimiques. Une capacité élevée de gonflement qui est facilitée par l'existence des liaisons libres, ainsi que par la capacité d'extension des espaces entre les couches dues à la fixation d'eau. La distance des couches dans la montmorillonite sèche est de 9.5 Å. Dans le milieu avec 99 % d'humidité relative, elle croît à 20 Å environ (ABISMAIL, 1998).

II.3.7 Principaux usages de la bentonite.

Les bentonites ont de larges applications dans différents domaines. La majeure partie de la bentonite exploitée dans le monde est utilisée comme liant du sable de moulage, dans l'industrie de la fonderie et aussi pour épaissir les fluides de forage.

- ✓ **Forage** : La bentonite rentre dans la composition des boues de forage. Elle a pour but de lubrifier et refroidir l'appareil, de consolider les parois du forage, de remonter à jour les débris (cuttings).
- ✓ **Les céramiques** : Dans le monde des céramiques, il est nécessaire de connaître les propriétés rhéologiques des argiles utilisées (mélanges d'argile, de quartz et de feldspath) pour permettre l'écoulement et la conservation de la forme acquise. La bentonite permet également de maintenir des mélanges de différentes particules assez grossières en suspension dans les émaux (couvercle céramique ou couche mince de verre).
- ✓ **Terres décolorantes** : Les bentonites trouvent également des débouchés pour la décoloration des huiles et comme support de catalyse (bentonites activées à l'acide).
- ✓ **Bentonite de fonderie** : La grande consommation mondiale est faite pratiquement dans cette industrie. La bentonite est utilisée comme liant des sables de moulage dans la préparation des granules de minerai de fer.
- ✓ **Les peintures** : Dans l'industrie de la peinture, la bentonite est utilisée pour épaissir les liquides. L'écoulement de la peinture doit être suffisant pour permettre une bonne couverture.
- ✓ **La pharmacie et la cosmétique** : Les Smectites sont largement utilisées en dermopharmacie et dermocosmétique pour leurs propriétés de gonflement, ainsi que leurs propriétés mécaniques. Leur usage permet d'éviter l'utilisation de corps gras dans les shampooings, les crèmes et les pâtes dentifrices
- ✓ **L'agroalimentaire** : Dans ce domaine, la bentonite est utilisée pour ses propriétés structurantes en vue d'épaissir les aliments pour animaux.
- ✓ **Décoloration des huiles** : L'autre mode d'utilisation de cette argile, c'est la décoloration des huiles animales et végétales. Les argiles activées ou argiles décolorantes possèdent la capacité d'adsorber les matières colorantes des huiles.
- ✓ **Génie civil** : Pour la création de voile d'étanchéité d'excavations, l'injection de coulis de ciment (la présence de bentonite permettant le maintien en suspension du ciment).
- ✓ **Protection environnementale** : Actuellement, plusieurs études ont été réalisées sur l'utilisation de la bentonite pour la protection des terrains sensibles (Mebarki et Tabahriti, 2011)
- ✓ D'autres utilisations reposent sur la propriété d'absorption de la bentonite: Raffinage du pétrole, Additif dans la fabrication du papier, Traitement des eaux usées. La bentonite est un nano-composite recherché comme charge minérale dans les insecticides et pesticides, les engrais, les polymères et des applications de pointe etc.

II.3.9 La bentonite en Algérie

En Algérie, les gisements de bentonite les plus importants économiquement se trouvent dans l'Oranie (ouest algérien). On relève en particulier la carrière de Maghnia (Hammam Boughrara) et de celle de Mostaganem (M'zila) (BOUGDAH, 2007)

II.4 : LES CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES ET QUALITES DE LA BENTONITE BRUTES DE HAMMAM BOUGHRARA

Les résultats des analyses chimiques et des propriétés physiques effectués sur les échantillons prélevés lors des campagnes d'exploration de la SONAREM (rapports de 1972 et 1978) et de SIDAM (rapports de 1979 et 1981) permettent d'établir les principales caractéristiques de la bentonite du gisement de Hammam Boughrara.

II.4.1 Composition chimiques de la bentonite de Maghnia

Tab 11: Composition chimique de la bentonite naturelle de Hammam Boughrara (ENOF, 1993)

élément	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	MnO	BaO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
Teneur %	60.2	18.5	3.45	4.14	0.28	0.06	0.10	1.07	0.94	1.50

Les données rapportées montrent que la teneur en SiO₂ est très importante (60.2%), suivi de Al₂O₃ (18.5%). Les autres éléments sont présents en très faible quantité.

L'ensemble des résultats des analyses chimiques et minéralogiques ont confirmé la nature argileuse des échantillons de la bentonite de Maghnia, avec présence de montmorillonite comme minéral essentiel, la teneur de SiO₂ qui varie entre 60 et 65.50% avec prédominance de Al₂O₃ par rapport aux autres éléments (SIDAM, 1994).

D'après leur composition chimique, les bentonites de Maghnia sont intermédiaires : La teneur en Na₂O est trop faible pour une orientation vers une bentonite de forage de haute qualité par contre sa teneur en MgO est suffisamment élevée et celle du fer assez faible pour une orientation vers les terres décolorantes. L'utilisation dans les boues de forages est possible après activation au carbonate à la soude.

Tab 12 : Composition minéralogique des Bentonites de Dar M'Barek I et Roussel I

Minéraux en %	Dar M'Barek		Roussel
	Nord (I)	Sud (II)	
Montmorillonite	55-60	65-70	40-45
Quartz	25-30	15-20	25-28
Feldspaths	5-10	5-10	5-10
Carbonate	2-3	1-2	2-4
Biotite	1-2	1-2	1-2
Verre volcanique	2-3	<1	10-13
Fragments de roches	1-2	2-3	2-3
Pyroxènes	<1
Séricite/illite	commun	mineur	mineur

Le Minéraux autres que la montmorillonite totalise 44 à 59% de la roche, le gisement de Dar M'Barek non exploité actuellement est de meilleure qualité par rapport à Roussel I (en phase d'exploitation actuellement)

II.4.2 Propriétés physico-chimique

Selon les analyses physico-chimiques effectuées par Abderrahim MELKI 2012 :

- Indice de gonflement : 10.37
- Humidité : 8.627%
- Viscosité (L600) : 27.95 centipoises
- Perte au filtrat (ml) : 19.5
- Refus (%) : 13.37%
- pH : 7.57

II.4.3 Qualité de la bentonite

Les qualités des bentonites du gisement de Hammam Boughrara varient en fonction des carrières et des profondeurs ce qui permet leurs utilisations dans plusieurs domaines (Mebarki et Tabahriti, 2011).

Selon les résultats des essais physico-chimiques faits par BUMIGEME (société canadienne), la répartition qualitative du minerai de bentonite dans les carrières de Roussel I et Dar M'Barek est la suivante :

Carrière Roussel I (réserves de 2.65Mt de minerai) :

- 40% pour boues de forage (BF) et Terres décolorantes (TD)
- 30% pour Fonderie (FD) et boues de forage (TD)
- 30% pour Boulettage de fer (BL)

Carrière de Dar M'Barek (réserves de 5.20 Mt de minerai)

- 60% pour boues de forage/terre décolorante et
- 40% pour fonderie

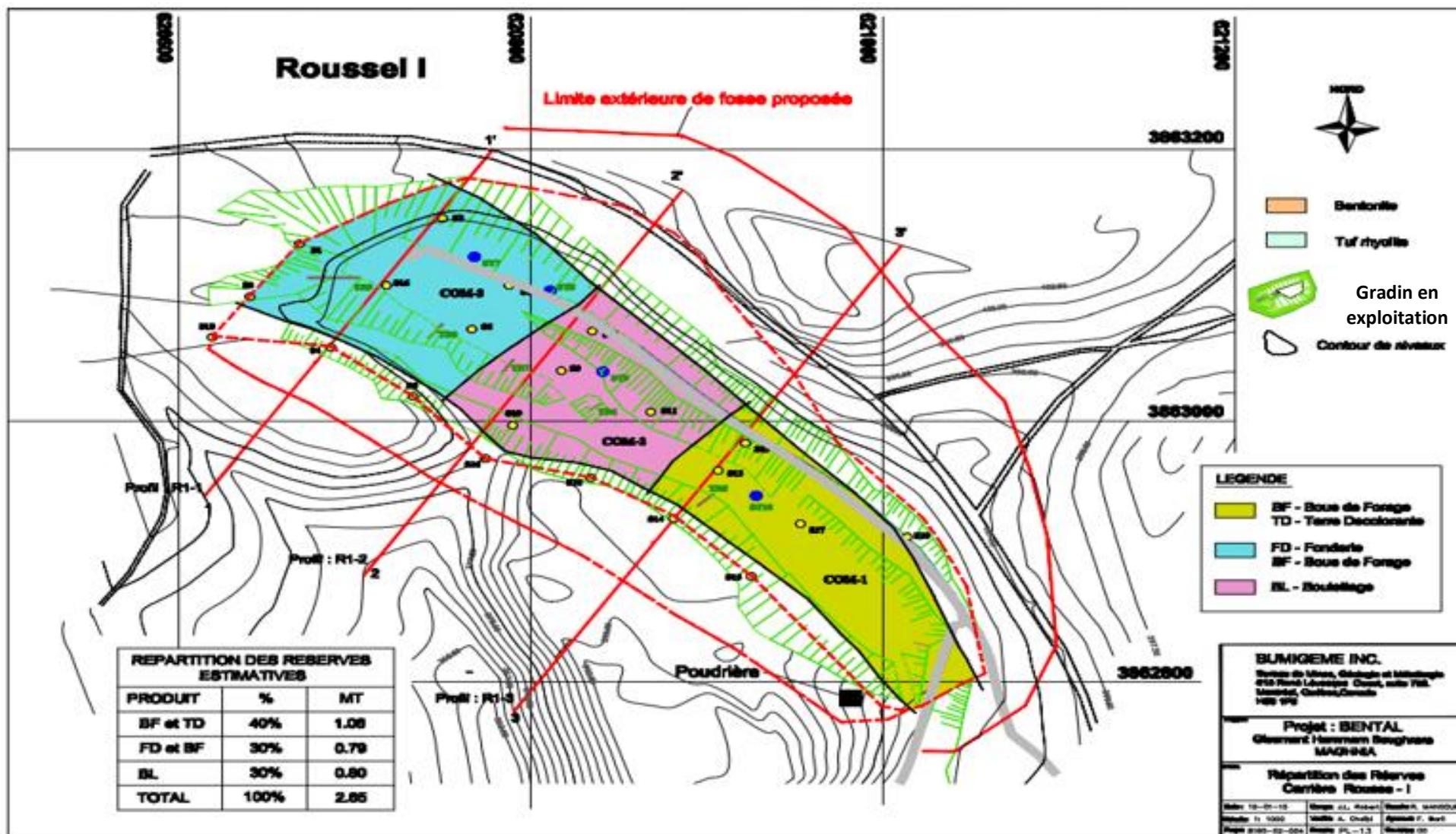


Figure 10 : Carte de qualité des argiles bentonitiques de ROUSSEL I (travaux de BUMIGEME, campagne 2008)

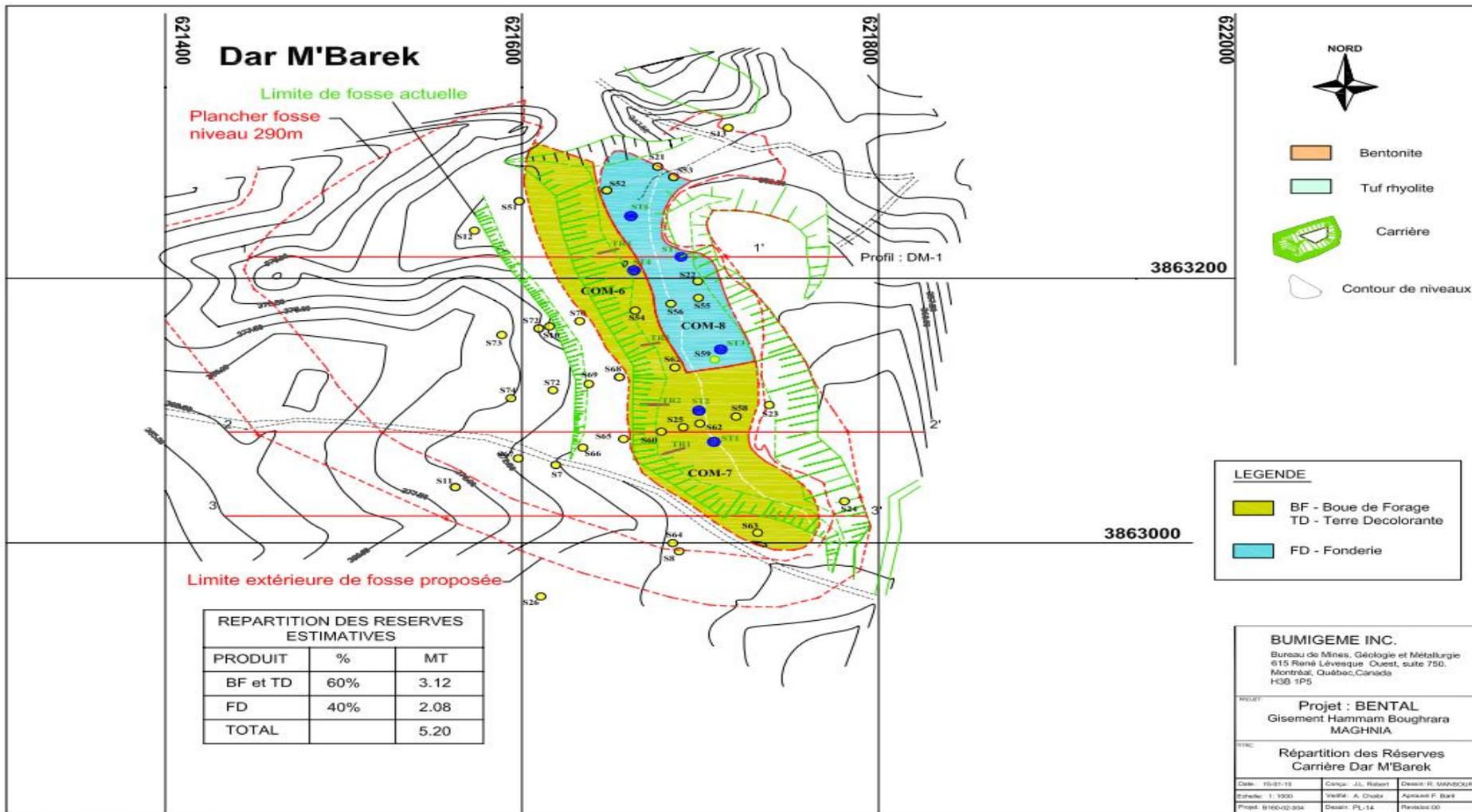


Figure 11 : Carte de qualité des argiles bentonitiques de DAR M'BAREK I (travaux de BUMIGEME, campagne 2008)

II.6 : CONCLUSION

La bentonite est une argile noble du fait de sa rareté et de sa convoitise par les industries. Les propriétés physico- chimiques (gonflement, plasticité, échange d'ions...etc.) de la bentonite lui ont valu sa noblesse et sa convoitise. Les domaines d'utilisation de la bentonite sont variées, stratégiques et sensibles donc il faut toujours assurée la qualité et la quantité suffisante du produit. Les argiles bentonitiques des gisements Roussel I et Dar M'Barek sont de très bonne qualité et peuvent être utilisées comme boues de forage, Terres décolorantes, Bentonite de fonderie, Bentonite de charge, et bentonite pour Bouletage de fer.

CHAPITRE III :
GENERALITES SUR LA
VALORISATION DES MINRAUX

III.1 : INTRODUCTION

On appelle minerais ou **substance utile**, toute substance se trouvant dans l'écorce terrestre qui est utile pour l'homme et pouvant être utilisée soit à l'état naturel ou après un traitement. Le dépôt naturel d'une substance utile dans l'écorce terrestre pouvant être exploité avec intérêt s'appelle « **gisement** » et les roches encaissant les minerais ou bien incluses dedans sont appelées « **stériles** ».

Pour être exploité dans de bonnes conditions, un gisement doit être connu en détail, du point de vue géologique, géologique, géométrique, quantitatif et qualitatif. Ceci est réalisé, lors de la prospection, par une série de « trous », excavations (tranchées ou puits ou sondages) destinés à prélever des échantillons pour examens, analyses et tests.

Les gisements sont liés, pour les différents types de substances, à des contextes géologiques particuliers : les bentonites par exemple sont généralement cantonnées dans les dépôts d'argiles résultant de l'altération de roches volcaniques meubles. Il existe donc des guides géologiques et géologiques qui doivent orienter la recherche vers les zones à priori les plus favorables. L'utilisation de ces guides suppose une connaissance générale de la géologie dans la région susceptible d'intérêt. On appelle « **indice** », un échantillon trouvé sur un terrain quelconque pouvant indiquer la présence d'un gisement du minerai en question.

L'activité minière qui consiste à valoriser des ressources minérales naturelles dans un sol donné est par définition une activité non durable où l'exploitation est soumise aux limites quantitatives d'un gisement non renouvelable à l'échelle d'une vie humaine. Il est donc possible de décrire le cycle de vie type d'une mine (généralement étalé sur plusieurs décennies).

III.2 : CYCLE DE MISE EN VALEUR DES MINERAUX

Le cycle de mise en valeur des minéraux (cycle de vie d'une mine) peut être découpé en quatre phases distinctes avec un début et une fin bien définis :

- La prospection et l'exploration ;
- Le développement ;
- L'exploitation ;
- La réhabilitation et la fermeture

III.2.1: LA PROSPECTION ET L'EXPLORATION DES SUBSTANCES MINERALES UTILES

III.2 .1.1 : Définition

La prospection et l'exploration constituent la première étape du cycle de mise en valeur des minéraux. La prospection consiste à la recherche et mise en évidence de nouveaux gîtes minéraux, tandis que l'exploration consiste à l'étude détaillée des gîtes mise en évidence pour

déterminer la quantité des réserves et les paramètres technico-minières et économique pour une exploitation rentable.

Il faut plusieurs phases de travaux de prospection et d'exploration fructueux impliquant des investissements croissants, pour découvrir un gîte minéral et en faire une mine. L'exploration peut se faire dans des endroits très différents. Il peut aussi s'agir d'un secteur où on n'a pas encore découvert de minéraux (exploration primaire ou préliminaire) ou d'une zone à proximité d'une mine en exploitation ou d'une mine fermée. L'exploration peut être menée sur une propriété minière en exploitation pour augmenter les réserves minérales déjà découvertes et exploitées ou sur des propriétés déjà explorées, mais en utilisant de nouvelles approches et technologies. L'étape de l'exploration commence par la localisation de vastes étendues pouvant receler un type particulier de gîte minéral exploitable. Cette étape initiale consiste à étudier les cartes (p. ex. les cartes géologiques), les levés, les rapports et les dossiers d'évaluation produits par des universités ou les commissions géologiques

III.2.1.2 Objectifs de la prospection

L'objectif de la prospection est la mise en évidence de gisements de matériaux économiquement exploitables. Elle doit permettre de déterminer la situation, la forme, les dimensions et les réserves des gisements, leurs conditions géologiques et hydrogéologiques, les caractéristiques du matériau exploitable dans les diverses parties du gisement.

Les données obtenues doivent permettre l'établissement du projet d'exploitation du gisement et de remise en état des sols après exploitation ainsi que l'élaboration d'une unité de traitement adéquate des matériaux bruts.

Pour la prospection de chaque substance, on doit répondre aux questions suivantes:

- Où chercher ?
- Que chercher ?
- Quelles sont les principales utilisations de la substance ?
- Quels sont les critères de sélection applicables au matériau considéré ?
- Quelles sont les méthodes de prospection habituellement utilisées ?

III.2.1.3 Méthodes de prospection des matériaux de carrière

La prospection des matériaux doit prendre en compte **les données géologiques** connues sur la région à étudier: **cartes géologiques**. Elle doit toujours comporter **une reconnaissance géologique détaillée sur le terrain** (observations sur affleurements, prélèvements d'échantillons en vue d'analyses). Elle est complétée grâce à **certaines techniques permettant une appréhension plus complète des données**. Ce sont :

- **la photogéologie** (l'interprétation en termes géologiques des éléments morphologiques observés)
- **les méthodes géophysiques :**
 - ✓ **Prospection électrique** : sondage électrique, Trainé de résistivité, Méthode magnétotellurique artificielle,
 - ✓ **Sismique réfraction,**
 - ✓ **Sismique réflexion,**

- ✓ **Gravimétrie**
- **les sondages mécaniques ou Techniques de forage**
 - ✓ **Sondages en terrain meuble**
 - ✚ Tarières à main
 - ✚ Tarières mécanisées
 - ✚ Sondage à la pelle hydraulique équipée en « benne puisatier »
 - ✚ Sondage à la benne preneuse (type Benoto)
 - ✚ Sondage au carottier battu
 - ✚ Sondage en vibro-fonçage.
 - ✚ Sondage à la « soupape »
 - ✓ **Sondages en roche massive** : Sondage carotté ou Sondage destructif
- **Diagraphies** : Mesure de la radioactivité naturelle (RAN) ou Mesure de la résistivité

III.2.1.4 : Démarche générale de la prospection

La démarche de prospection est normalement la suivante :

- 1) choix des zones à prospector : L'étape de l'exploration commence par **la localisation de vastes étendues pouvant receler un type particulier de gîte minéral exploitable**. Cette étape initiale consiste à étudier les cartes (p. ex. les cartes géologiques), les levés, les rapports, etc.
- 2) recherche des gisements possibles (prospection stratégique) ;
- 3) étude préliminaire d'un ou plusieurs gisements possibles et détermination d'un ou plusieurs gisements probables (prospection tactique) ;
- 4) sur le gisement probable qui apparaît le plus intéressant, étude détaillée du gisement;
- 5) étude de faisabilité pour confirmer avec les éléments techniques recueillis que le gisement étudié peut être exploitée avec profit.

III.2.1.5 : Exploration et Prospection de la Bentonite

Les études d'un gisement de bentonite se font par la Prospection géophysique et sondages mécaniques (4 sondage/ Ha).et par prélèvement des échantillons (1/ Mètre de sondage). En cas d'une couverture faible, on fait le sondage à la tarière mécanique et dans le cas contraire (couverture importante) on fait recours au sondage par carottage (couverture tendre) ou par rotopercussion (couverture dure).

a) **Méthodes de prospections :**

- ❖ Prélèvement d'échantillons sur affleurements à la tarière à main.
- ❖ Analyses et tests : la calcimétrie, l'essai au bleu de méthylène, la diffractions des rayons X pour caler les essais au bleu de méthylène, gonflement, teneur en colloïdes..... etc.

b) La reconnaissance de la bentonite sur affleurement :

La bentonite forme rapidement par dessiccation d'importantes fissures de retrait. Absence de ravinement que l'on observe par le jeu de d'hydratation et de dessiccation. Sur le talus constitué de petits grains d'argile, ces grains gonflent et forme une mince et imperméable couverture sur laquelle l'eau ruisselle.

c) La reconnaissance de la bentonite sur le MEB :

Elle se présente sous forme d'agrégats de plaquette très minces dont les bords peuvent présenter des enroulements. On peut aussi exceptionnellement observer des particules présentant des formes définies avec des combinaisons d'arrêts rectilignes faisant entre elles des angles de 60°-120°.

III.2.2 : AMENAGEMENT ET DEVELOPPEMENT D'UNE MINE OU CARRIERE

Si l'exploration donne des résultats positifs, le projet passe à la phase d'aménagement d'une mine. Cette étape importante consiste à établir avec précision la valeur potentielle d'un gîte minéral découvert durant la phase d'exploration afin de déterminer la rentabilité de son exploitation et, si tel est le cas, de construire la mine. L'aménagement d'une mine n'est entrepris que si le gîte est suffisamment grand et son exploitation assez rentable pour permettre le remboursement des coûts de construction (coûts en capital) et des coûts de production (ou d'exploitation).

Cela passe par la conception et la réalisation de l'ensemble des infrastructures nécessaires à l'exploitation du minerai (routes, chemins de fer, lignes électriques, etc.). L'importance de cette phase dépend de la situation géographique du gisement (notamment de son isolement), de son importance et des stratégies d'exploitation retenues (méthode d'extraction, lieu de la transformation du minerai, etc.).

Divers facteurs influent sur la rentabilité d'un gîte, dont les suivants :

- emplacement de la ressource;
- accessibilité de la ressource;
- volume de la ressource;
- valeur de la ressource;
- type de minéral;
- accès aux infrastructures (routes, pistes d'atterrissage);
- prix des minéraux et des métaux sur le marché;
- distance par rapport aux marchés et aux points de ravitaillement;
- possibilité d'exploiter la ressource en respectant l'environnement et de manière socialement responsable;
- régime de réglementation (p. ex. taxes et paiement de redevances);
- présence d'une main-d'œuvre qualifiée.

L'évaluation comporte toute une série d'études géologiques, techniques et économiques détaillées et l'analyse des données pour approfondir les connaissances de la société minière sur les ressources (c.-à-d. la forme et la taille du gîte minéral ainsi que la quantité de métaux ou de minéraux).

Coûts

Les coûts d'aménagement d'une mine dépendent des facteurs suivants :

- type de mine;
- taille de la mine (les coûts sont proportionnels aux dimensions de la mine), mine de surface/à ciel ouvert versus mine souterraine;
- endroit (plus l'endroit est éloigné, plus les coûts sont élevés);
- ampleur des travaux et temps requis pour exécuter les essais, recueillir les données, mener les études environnementales et obtenir les permis.

III.2.3 : EXPLOITATION ET TRAITEMENT

III.2.3.1 : Définition et Généralités

L'exploitation d'une mine, qui représente *la troisième étape du cycle de mise en valeur des minéraux*, consiste à extraire des minéraux ayant une valeur économique, donnant un produit vendable à la sortie de l'usine de traitement. Il existe deux principaux types d'exploitation minière : **la mine souterraine et la mine à ciel ouvert**.

On utilise **une mine à ciel ouvert** lorsque la ressource minérale se trouve à la surface ou près de la surface du sol. **Une mine souterraine** est construite lorsque la ressource minérale se situe trop loin en profondeur. Les mines souterraines requièrent des puits artificiels et des rampes inclinées pour accéder au minerai et l'extraire. Toute mine comporte quatre zones principales de travail consacrées respectivement à l'excavation, au traitement des minerais, au confinement des déchets et aux services auxiliaires.

L'enlèvement de la terre et de la roche contenant les minéraux se fait dans les zones d'excavation. Dans l'usine de traitement ou de concentration, on concentre la roche contenant les matières vendables. Certaines mines ne comportent aucune usine de traitement, leur minerai est expédié hors du site minier pour être traité ailleurs. Les installations de confinement des déchets comprennent des aires destinées aux stériles et aux matériaux rejetés par l'usine de traitement (résidus). Enfin, les services auxiliaires englobent notamment les ateliers de réparations, les laboratoires d'analyse où est déterminée la qualité du minerai, les vestiaires, les quartiers d'habitation, les entrepôts et les bureaux de l'administration.

III.2.3.2 EXPLOITATION A CIEL OUVERT DES GISEMENTS

III.2.3.2.1. Définition

L'exploitation à ciel ouvert consiste à enlever les stériles de recouvrement et à accéder au gisement à partir du jour. On l'appelle également découverte. Selon le pendage ; les gisements en découvertes se classent de la façon suivante :

- Gisements plats de 0 à 10°,
- Gisements inclinés de 10 à 30°,
- Gisements dressants plus de 30°.

III 2.3.2.2. Différents types d'exploitation à ciel ouvert

Selon les propriétés physiques du matériau brut et les contraintes imposées par la nature du site, il existe différents types d'exploitation de mines à ciel ouvert :

L'extraction à sec : Elle caractérise les substances tendres ou dures. Si les matériaux sont trop durs pour pouvoir être excavés directement, ceux-ci doivent d'abord être abattus. Ils sont ensuite chargés mécaniquement et transportés vers les ateliers de préparation mécanique. Les exploitations de surface pratiquant l'extraction à sec nécessitent des dispositifs d'exhaure évacuant les infiltrations d'eau.

Le dragage : Il caractérise les gisements alluvionnaires, où les matériaux non consolidés sont récupérés par voie mécanique ou hydraulique, puis transportés vers la phase de préparation. L'ensemble de l'équipement du dragage se trouve généralement dans l'eau. Il s'agit souvent d'installations flottantes travaillant sur des cours d'eau ou des lacs artificiels.

L'exploitation marine : C'est la récupération de matériaux non consolidés sur le plateau continental, c'est-à-dire à proximité de la côte (gisements alluvionnaires marins), les travaux se faisant aussi par voie mécanique ou hydraulique, et d'autre part les exploitations dans les régions abyssales, où les matériaux sont remontés des fonds marins.

III. 2.3.2.3 Éléments fondamentaux de l'exploitation à ciel ouvert

L'exploitation des gisements à ciel ouvert consiste à des travaux dans des formations se trouvant à l'intérieur des limites du contour de la carrière qui sont soit des couches horizontales ou des couches inclinées. Chaque couche supérieure est exploitée avec un avancement par rapport à la couche inférieure pour obtenir une forme de gradin.

Chaque gradin a deux banquettes, un talus et deux arrêtes. La banquette du gradin ou bien la plate-forme, est la surface qui limite la hauteur du gradin. Il existe deux plates-formes inférieure et supérieure. Le talus du gradin est la surface inclinée du côté attaqué. L'angle entre le talus et le plan horizontal s'appelle **angle du talus du gradin**.

Le gradin est exploité par des zones parallèles que l'on appelle enlevures. La division d'enlevure en blocs permet d'attaquer le gradin simultanément avec plusieurs chantiers. La plate-forme sur laquelle sont installés les engins d'excavation porte le nom de plate-forme de travail du gradin.

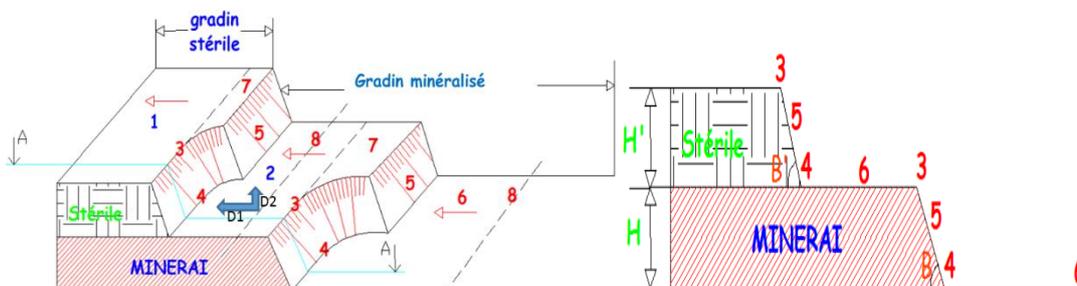


Figure 12: Formes des gradins au cours de l'avancement de l'exploitation

1 : gradin de stérile ; 2 : gradin minéralisé ; 3 : arête supérieur ; 4 : arête inférieur ; 5 : talus ; 6 : plate-forme ; 7 : tranche d'enlevure ; 8 : Axe de la tranchée ou piste d'accès au gradin ; D1 : direction de déplacement du front des travaux ; D2 : direction de déplacement du front du gradin 40

La nature du gisement ainsi que les engins mis en œuvre pour l'extraction et le transport du minerai et stériles prédéterminent les principaux éléments du système d'exploitation :

- **Hauteur des gradins** : Elle est choisie en fonction des paramètres de travail d'excavateur, de l'organisation des travaux, de la sécurité de travail et d'autres facteurs. Dans les roches tendres exploitées sans foisonnement préalable, la hauteur du gradin ne doit pas dépasser la hauteur du creusement maximum de l'excavateur.
- **Angle du talus du gradin** : Il est en fonction des propriétés physico mécaniques de la roche, de la stabilité des talus et des engins miniers.
- **Talus général de la carrière**
- **Plate-forme de travail** : C'est la plate-forme sur laquelle sont disposés les engins principaux et secondaires d'exécution des travaux miniers. Elle est déterminée par les dimensions des engins de chargement; du transport; ainsi que la technique d'abattage (largeur du tas des roches abattues en dehors de l'enlevure); les paramètres de ce dernier dépendent des propriétés physico-mécaniques des roches et des éléments du système d'exploitation. La largeur minimale de plate-forme doit permettre un déplacement libre des engins. En terrains tendres, la largeur de la plate-forme de travail se détermine par analogie.

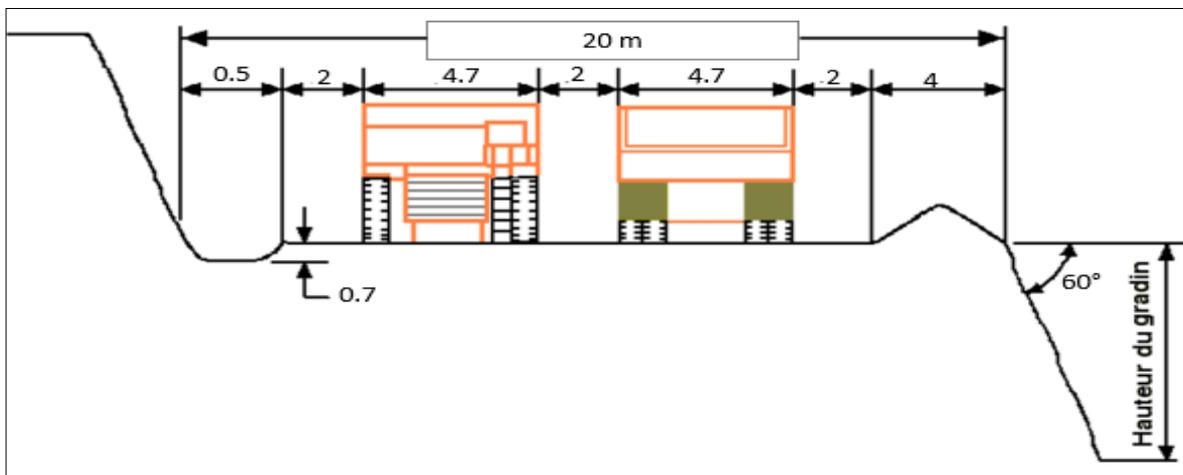


Figure 13 : largeur de la plateforme de travail (gradin stérile) ; (ENOF Maghnia)

III.2.3.2.4. Paramètres et techniques d'exploitation d'une carrière

Les paramètres principaux de l'exploitation de la carrière sont :

- Hauteur du gradin,
- Largeur de la plateforme de travail,
- Longueur du bloc,
- Longueur et sens de marche du front de travail.

Le front de travail peut se déplacer parallèlement, en éventail ou radialement. Dans le premier cas, la progression de tous les points du front se fait avec une même vitesse. Les gradins sont exploités par enlevures de même largeur. Le déplacement parallèle est pratiqué dans les gisements d'étendue considérable.

III.2.3.2.5. Les méthodes d'exploitation à ciel ouvert

Selon le type de matériau à exploiter, il existe trois méthodes d'extraction ou d'abattage d'une mine à ciel ouvert :

- **Méthode à l'explosif** : C'est la méthode la plus usitée.
- **Méthode du sciage par le câble diamanté** : La méthode est utilisée pour le découpage de blocs de forme bien définis dans un matériau non fissuré tel que le marbre ou les calcaires durs (les calcaires coralliens).
- **Méthode du ripage** : Cette méthode consiste à déplacer, à enlever ce qui gêne à l'aide d'une ripe (griffe ou engin plus puissant).

III.2.4 : REHABILITATION DES SITES

III.2.4.1 : Généralités

Cette étape est la dernière du cycle de mise en valeur des minéraux.

L'exploitation d'un gisement minéral a une durée de vie limitée en raison de la nature même de cette ressource. Certains gisements sont très grands et leur exploitation peut durer plus de 50 ans, alors que d'autres ne demeurent en exploitation que quelques années seulement.

Les mines ferment pour différentes raisons, mais les deux raisons les plus communes sont :

- l'épuisement des réserves de minerai;
- la faiblesse du prix des minéraux ou des métaux, ce qui rend la mine non rentable.

Le processus de fermeture d'une mine est la conversion d'une mine en exploitation à une mine fermée, de manière ordonnée, sûre et respectueuse de l'environnement. Les écosystèmes des zones perturbées par les activités de la mine doivent être remis dans un état correspondant à un environnement sain qui se prête à l'activité humaine.

III.2.4.2 : Plan de fermeture et de restauration

La planification de la fermeture est entreprise au moment de la planification initiale de la mine. Quant au plan final, son élaboration peut nécessiter des années d'étude et de travaux techniques détaillés.

Le plan de fermeture et de restauration est toujours élaboré en fonction d'un site minier donné. La société y explique comment elle fermera le site et le remettra autant que possible dans son état antérieur à l'exploitation. Les activités de fermeture et de restauration tiennent compte des décisions prises quant à chacun des composants prévus et mis en place pendant l'aménagement de la mine, entre autres :

- bâtiments et autres ouvrages;
- routes et pistes d'atterrissage;
- installations d'évacuation des résidus;
- installations de gestion des stériles, carrières et mines à ciel ouvert;
- installations et aires d'entreposage de produits pétroliers et chimiques;
- pipelines et lignes de transport d'électricité;
- installations et aires d'élimination des eaux usées et des déchets;
- systèmes de drainage de la mine et du site minier;
- chantiers de la mine;
- puits de la mine, galeries d'accès (passages) et descenderies;
- qualité de l'eau sur le site, dont celle des effluents de la mine;
- recyclage des matériaux;
- revégétalisation du site.

Un plan de fermeture d'une mine et de restauration du site doit également :

- indiquer comment la restauration progressive du site minier sera réalisée pendant l'exploitation de la mine;
- contenir une estimation des coûts pour la fermeture de la mine et la restauration du site;
- inclure un plan de fermeture temporaire de la mine;
- comprendre un plan de surveillance du site après la fermeture de la mine;
- garantir que le site sera laissé dans un état qui nécessitera peu ou pas d'entretien et de maintenance à long terme.

Un plan de fermeture doit être souple pour permettre l'emploi de nouvelles techniques scientifiquement éprouvées dans les méthodes de protection et de réduction des risques pour l'environnement, tout en assurant le respect des obligations. Les meilleurs plans résultent d'une bonne communication et de consultations entre les gouvernements, les sociétés et les communautés concernés.

III.3 : EXPLOITATION DE LA BENTONITE

La bentonite peut être exploitée dans des carrières à ciel ouvert (par exemple le gisement de hammam bouhrara) ou avec une exploitation en sous terrain.

Conditions d'exploitation : Dans le cas d'une exploitation à ciel ouvert, il faut que le rapport Découverte/Extraction (D/E) ne dépasse pas 10. La taille minimale du gisement exploitable est de l'ordre de 200 000 Tonnes. La distance entre le gisement et le lieu de consommation peut atteindre plusieurs milliers Kms.

III.4 : TRAITEMENT DE LA BENTONITE DE MAGHNA

La bentonite extraite du gisement de Roussel I est actuellement utilisé pour la production de la bentonite de forage, bentonite de charge, bentonite de fonderie et terres décolorantes.

III.4.1 : Critères de sélection

Tab 13 : Critères de sélections des bentonites brutes (ENOF Maghnia)

Catégorie		Bentonite de forage	Bentonite de fonderie	Terres décolorantes	Bentonite de Bouletage
SiO₂	%	50 à 65%	50 à 65%	50 à 65%	50 à 65%
Al₂O₃	%	15 à 25%	15 à 25%	15 à 25%	15 à 25%
MgO	%	2-3%	2-3%	3-5%	2-3%
Na₂O	%	>2%	Na	na	>1%
CaO	%	<1%	Na	<1%	na
Plate test	-	na	Na	na	600%
Viscosité	-	> = 30	*na	na	na
Perte de filtrat	-	< 16	Na	na	na

III.4.2 : Méthode de traitement de la bentonite

Avant d'être commercialisé, le matériau argileux subit un traitement physico-chimique approprié qui le rend apte à une utilisation donnée.

D'une façon générale, les principaux stades de la chaîne de traitement de la bentonite sont les suivants :

- **STADE 1** : Transport et stockage de matières premières
- **STADE 2** : Alimentation et concassage de la matière première tout venant
- **STADE 3** : activation au carbonate de soude
- **STADE 4** : séchage
- **STADE 5** : broyage et activation à la Magnésie
- **STADE 6** : Ensachage

Seule l'activation c'est-à-dire l'adjonction d'un produit chimique, conférant à l'argile des propriétés particulières, diffère selon la qualité du matériau brut et l'usage auquel il est destiné (forage, fonderie, injection, géni-civil. . .).

La méthode la plus largement pratiquée est l'activation au carbonate de sodium qui permet de transformer une bentonite calcique en une bentonite sodique artificielle améliorant les qualités de l'argile pour une utilisation en fonderie et forage en particulier. Il est évident qu'une bentonite sodique naturelle n'aura pas besoin d'être activée.

Le principe de fonctionnement de l'installation est le suivant :

L'argile bentonitique après concassage dans le concasseur à cylindres est mélangée avec le carbonate de soude (3%) par l'intermédiaire du malaxeur à vis avec arrosage à l'eau. Le mélange est introduit dans le séchoir qui a pour but de sécher le mélange mais également de permettre à la réaction entre la bentonite et le carbonate de soude d'être complètement réalisée. A la sortie du séchoir, la bentonite est introduite dans la boucle de broyage qui va broyer le produit à une granulométrie 97,5% < 75µm, cette boucle doit être mise en dépression afin d'éviter toute fuite de produit. Une fraction fine du produit < 2µm est évacuée vers le cyclone des fines. La poudre sera ensachée dans des sacs ou big bags selon la commande du client. Les mêmes étapes sont applicables pour toutes les catégories de bentonite sauf pour la bentonite de charge qui est **un produit non activé**.

III.4.3 : Production de l'unité de Maghnia :

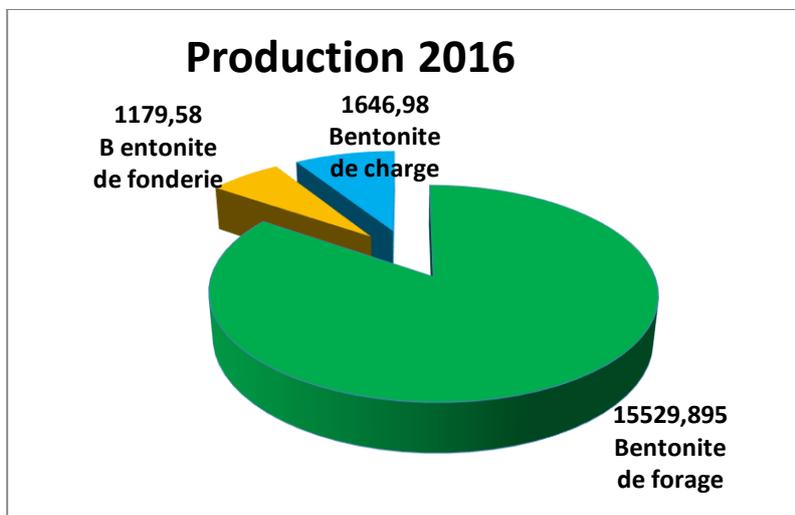


Figure 14 : production de l'unité de Maghnia en 2016 (ENOF Maghnia)

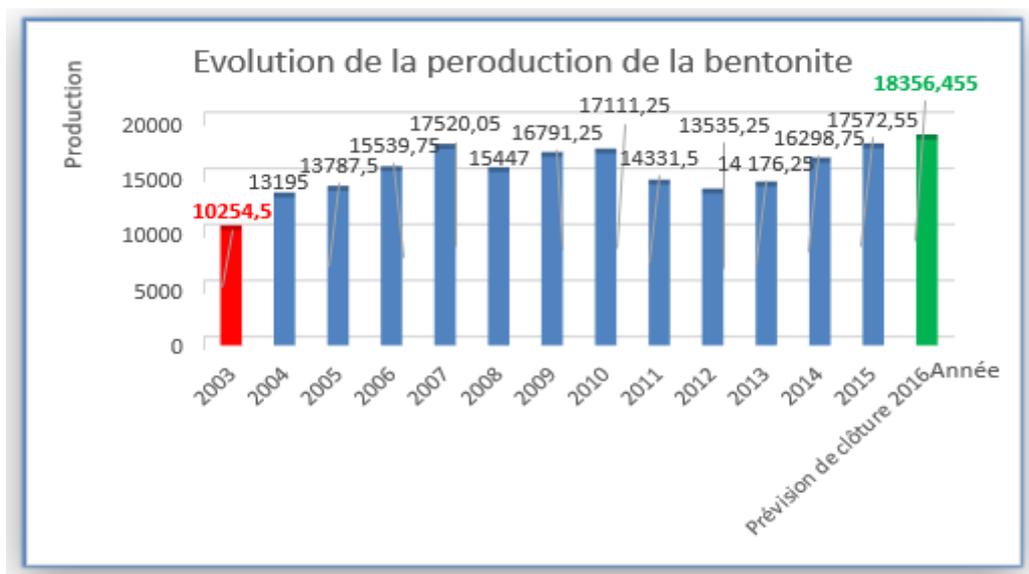


Figure 15 : Evolution de la production de la bentonite (ENOF Maghnia)

CHAPITRE IV :

CADRE GEOLOGIQUE REGIONALE

IV.1 : INTRODUCTION

L'Algérie, située au Nord-Ouest du continent Africain sur la rive sud de la méditerranée, de par sa position géographique et son immense superficie (2 381 741 Km²) elle englobe plusieurs régions naturelles variées qui sont autant de domaines géologiques différents par leurs âges, leurs structures, leurs contenus lithologiques et leurs étendues.

Du Nord vers le Sud on distingue 7 grands domaines géologiques suivants:

- **L'Atlas Tellien (chaîne des Maghrébides ou chaîne alpine)** qui comprend le tell méridional (Monts des Bibans et de l'Ouarsenis) et le tell septentrional (massif de petite et grande Kabylie, du Chenoua et le Djurdjura). Ses équivalents au Maroc sont le Rif et le pré Rif, en Tunisie c'est le Kroumirie.

- **Les Hautes plaines** (Meseta Oranaise et môle de Constantine) dont la Meseta marocaine est leur équivalent à l'Ouest.

- **L'Atlas Saharien** (Monts des Aurès, Monts des Ouled Naïl, Djebel Amour et Monts des Ksour). Qui se prolonge jusqu'au Maroc par le Haut Atlas et En Tunisie son équivalent est l'Atlas Tunisien.

- **La plate-forme saharienne** (Grands Ergs Occidental et Oriental, plateaux de Tademaït et de Tihert).

- **L'Ougarta** qui forme la limite occidentale de la plate-forme constituée de deux faisceaux montagneux (Monts de la Saoura et de la Daoura).

- **Les massifs montagneux des Eglab** qui sont séparés du **bouclier touareg** par l'Erg Chech et le Tanezrouft et constituent la limite sud-ouest de la plate-forme saharienne.

- **Le bouclier du Hoggar** constitue la limite méridionale de la plate-forme saharienne, c'est la région où affleurent les terrains les plus anciens de l'Algérie.

Le gisement de Bentonite de Hammam Boughrara se situe dans la plaine de Maghnia, partie intégrante du bassin de la moyenne Tafna, qui à son tour fait partie de l'Oranie (Algérie nord occidentale) appartenant au domaine externe de la chaîne alpine.

Le but de ce chapitre est de décrire le milieu géologique du gisement de Bentonite de Hammam Boughrara au sens large et de mettre en évidence les phénomènes géologiques (tectonique régionale et locale, volcanisme) qui ont conduit à la mise en place du gisement.

IV.2 : GEOLOGIE REGIONALE DE L'ORANIE (ALGERIE NORD OCCIDENTALE)

IV.2.1 : Cadre géologique et structural de l'Oranie

En rappel, la région ibéro-maghrébine appartient à l'orogène périméditerranéen. Dans sa partie la plus occidentale, cet orogène est représenté par les cordillères bétiques en Espagne et les Maghrébides qui forment une chaîne littorale allongée sur plus de 2000 kilomètres, allant du Rif au Maroc jusqu'au Tell en Algérie et en Tunisie. Il se poursuit plus à l'Est jusqu'aux Apennins, formant l'arc calabro-sicilien (Durand-Delga, 1971)

Cet orogène représente la partie septentrionale de l'Algérie et forme les domaines de l'Atlas tellien où des zones internes et externes ont été reconnues :

- Des zones internes comprenant le massif paléozoïques avec leur bordure méridionale les éléments de la chaîne calcaire ;
- Des zones externes où sont représentées des nappes de glissements. Vers le sud, ces nappes ont glissé dans un bassin miocène, alors qu'au Nord elles recouvrent des zones autochtones ou para-autochtones plus ou moins métamorphiques.
- Des unités de flysch situées entre ces deux domaines structuraux, les recouvrent également par endroit (planche 3-fig.b)

Le Nord-Ouest de l'Algérie (Oranie) appartient au domaine externe de la chaîne alpine.

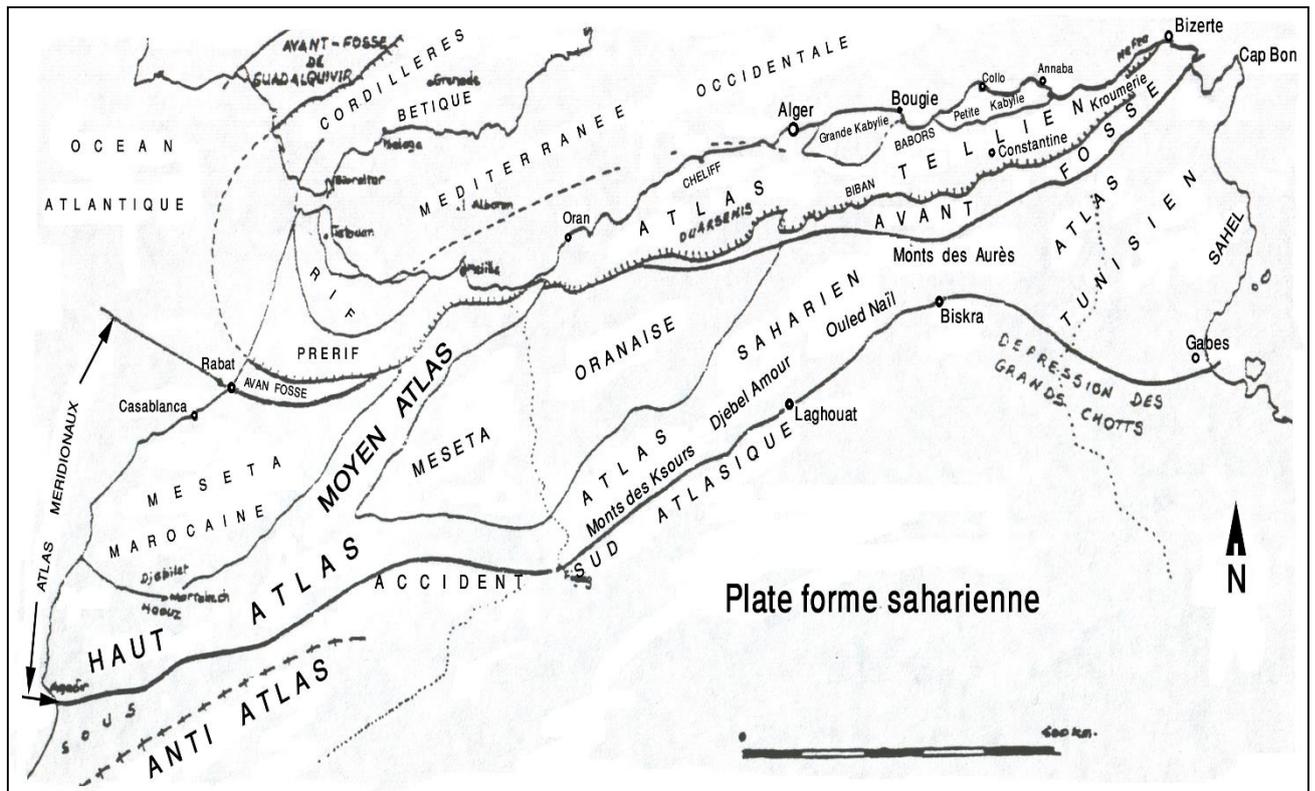


Figure 16 : Esquisse géographique du Nord de l'Algérie

Guardia (1975) distingue dans cette région deux zones structurellement différenciées : **une zone tellienne et une zone atlasique.**

La première est constituée de terrains néogènes sublittoraux qui s'allongent parallèlement à la côte méditerranéenne depuis la frontière Algéro-Marocaine à l'Ouest jusqu'au méridien d'Alger. Ces terrains constituent le Tell.

Dans cette zone de l'Oranie dite tellienne s'individualisent des chaînes de montagnes constituées de *terrains autochtones* montrant une couverture secondaire plissée ; c'est *la chaîne de Fillaouissène* et *le massif de Traras*, qui sont le prolongement du moyen Atlas. Ils constituent la zone dite atlasique. Ils forment, en première approximation les zones élevées par rapport aux zones telliennes qui les entourent.

Le magmatisme qui affecte la région Oranaise est représenté par le granite hercynien de Nedroma qui intrude le massif des Traras et par une intense activité volcanique d'âge Moi-Plio-Quaternaire qui recouvre d'importantes surfaces. Pour comprendre ces manifestations qui débutent au miocène, mais aussi la structure actuelle de l'Oranie, il est nécessaire de revenir sur l'histoire géodynamique et structurale de la région.

IV.2.2 : Evolution géodynamique de l'Oranie et du bassin de la moyenne Tafna

La structure actuelle de la région commence à se dessiner à l'ère tertiaire. L'Afrique, bloquée dans son mouvement de translation vers l'Est qui a débuté au Jurassique avec l'ouverture de l'Atlantique central, effectue une rotation autour d'un pôle situé vers la pointe sud de l'Espagne. Le plancher océanique téthysien s'en trouve en partie résorbé par subduction ; les microplaques comprises entre l'Europe et l'Afrique entrent en collision. Ainsi, suivant des lignes de contact capricieuses, les systèmes montagneux alpins se structurent et s'élèvent (dont les structures atlasiques), en plusieurs étapes inégalement réparties dans l'espace et dans le temps.

Au Miocène, la méditerranée (ex-océan téthysien) commence à s'individualiser, mais le dessin des rivages est extrêmement complexe, avec une multitude d'îles ; la tranche d'eau est toujours très faible, avec bien souvent dépôt de calcarénites et de conglomérats traduisant l'incessant remodelage tectonique qui marque la fin de la paléogéographie alpine proprement dite (abaissement de son régime)

C'est dans cette paléogéographie reconstituée par les différentes études micropaléontologiques et stratigraphiques, mais aussi structurales, que Guardia (1975) va mettre en évidence dans l'Oranie le terme de bassin dit « synchronappes », (figur ...) ; en effet le contexte de compression tertiaire va donner naissance à des nappes de charriage dans un tell oranais immergé sous une faible tranche d'eau au miocène constituant un bassin sédimentaire où seules les chaînes Atlasiques étaient émergées (îles).

Les unités allactones vont, alors, se mettre en place frontalement dans une avant-fosse miocène qui est nommée « *Bassin synchro-nappes* » ce qui va donner lieu à une accumulation de sédiments dont la nature va dépendre de l'endroit de dépôt. Si dans la plupart des secteurs il est constitué par une importante épaisseur de marnes vertes entrecoupées par des bancs gréseux, il peut également, dans certains endroits, être conglomératique ou représenté par des affleurements transgressés et démantelés.

Après la mise en place des nappes, un deuxième cycle miocène est reconnu. C'est *le miocène post-nappes*. Il comporte le plus souvent des argilites, des conglomérats et les marnes (voir stratigraphie). Il commence au Tortonien selon Fenet (1975). (BOUKHEDIMI, 2008)

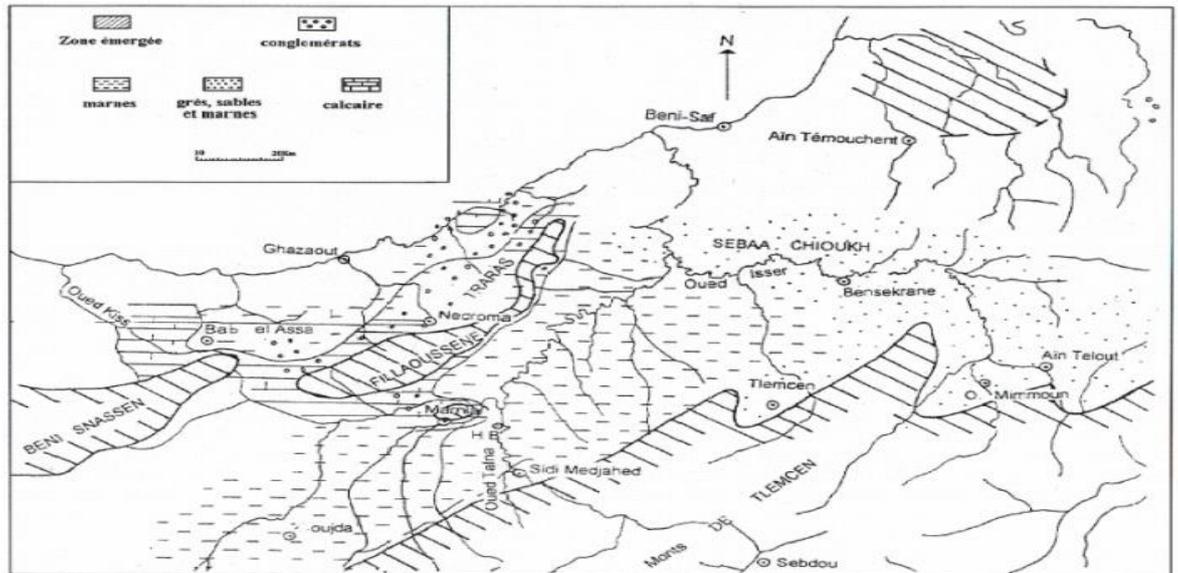


Figure 17 : Esquisse géographique Bassin Miocène syncro-nappes (d'après Guardia 1975)

IV.2.3 : Lithostratigraphie

La stratigraphie de l'Oranie occidentale est représentée par d'importantes séries mésozoïques à dominante marno-calcaire ou gréseuse. Sa structure tectonique en nappes décollées au-dessus du Trias gypso-argileux, montre une progression vers le sud où les unités allochtones chevauchent l'autochtone présaharien des hautes plaines (principalement les monts de Sebâa Chioukh, les Traras, les Béni Snassen et les monts de tlemcen).

IV.2.3.1 : Le Miocène

Le Miocène synchronappes constitue une formation importante surtout au sud d'Ain Temouchent (Sebâa chioukh) où il est marno-gréseux ; dans la vallée de la Tafna où il est marneux et dans les Traras où il est marno-carbonatés (voir fig.g). Il se développe vers l'Est dans les Tessala. Les études micropaléontologiques les plus fines (Guardia 1975 ; Bellon et al 1984), conduisent à attribuer un âge Serravalien à ces formations du Miocène synchronappes. Dans la région d'Oran et d'Arzew, les niveaux stratigraphiques les plus bas du Miocène synchronappes ont fourni un âge plus ancien : Langhien (Selon Fenet 1975)

Un premier cycle Miocène post-nappes est mis en évidence dans les Sebâa Chiouk, la vallée de la Tafna et la région de Beni Saf, avec des formations continentales argileuses vertes, puis lie-de-vin, associées à des grès et poudingues de même couleur. Ces formations sont comprises entre le matériel des nappes et les séries du Miocène terminal marin. Vers l'Est, le premier cycle post-nappes regroupe selon Fenet (1975) les argiles rubéfiées, les conglomérats et les marnes marines, qu'il considère appartenant au Tortonien. Ces formations du premier cycle miocène post-nappes auraient pu se déposer au même moment que le Miocène synchronappes qui affleure plus au sud (Megartsi 1985).

Un cycle miocène terminal, comportant deux bassins, l'un oriental, comprenant les affleurements situés dans la moyenne et la basse Tafna et dans les Sebâa chioukh, et l'autre occidental, limité à la région des M'Sirda. Le massif des Traras, ainsi que toute la zone située

au sud de la moyenne Tafna, vers Tlemcen, sont émergés (îles). Dans le bassin oriental, la série sédimentaire comprend trois formations :

- La formation rouge continentale à saumâtre, qui affleure très largement, surtout dans la moyenne Tafna où elle atteint les contreforts du Fillaoussène. Dans ces niveaux sont intercalés, près de Hammam Boughrara, des lits blanchâtres de tufs rhyolitiques remaniés, bien visibles dans le paysage.
- La formation marine des marnes bleues fait suite à la région des Sebâa Chioukh ;
- Enfin une formation calcaire couronne cette série, également vers le Nord. Dans le secteur Bouzedjar-Tifaraouine, ce cycle miocène terminal comprend essentiellement des marnes à la base, surmontées par des niveaux calcaires à algues ; la sédimentation dans ce secteur se recordant bien à la suite du Bassin oriental de la Tafna. Dans le bassin occidental des M'Sirda, il existe une formation marine, essentiellement marneuse se terminant par une dalle calcaire.

IV.2.3.2 : Le Pliocène

Le Pliocène comprend deux ensembles :

- L'ensemble inférieur auquel sont associées les marnes à *Globorotalia Margaritae bolli* (Bellon et al 1984) ;
- L'ensemble supérieur formé de calcaire à clypeasters ou à Pectinides (bellon et al 1984), de grés dunaires ocre et de sable rubéfié à Hélix.

IV.2.3.3 : Le Quaternaire

Il est représenté par des formations continentales où la sédimentation est marquée par des alluvions argilo-sableux et des conglomérats. Les terrasses quaternaires sont bien visibles dans toute l'Oranie.

IV.2.4 : Le volcanisme Mio-plio-quaternaire

D'après les travaux de Guardia (1984) et MEGARTSI (1985), l'Oranie (Algérie Nord occidentale) a été le siège d'importantes activités volcaniques depuis le Miocène jusqu'au Plio-quaternaire. Les formations volcaniques de l'Oranie recouvrent de très grandes surfaces géographiques depuis la région de Tifallouine Bouzedjar jusqu'à la frontière Algéro-Marocaine.

MEGARTSI (1985) distingue deux épisodes volcaniques :

- L'épisode volcanique d'âge Miocène supérieur (14.97 – 7.2 Ma) de nature calco-alcaline (Louni et al, 1995)
- L'épisode volcanique d'âge Plio-quaternaire (4 Ma) de nature basaltique-alcaline (Louni et al, 1995)

IV.2.4.1 : Le volcanisme Miocène

Le Miocène est caractérisé par le début des manifestations volcaniques qui vont se poursuivre jusqu'au quaternaire et affecter toute la région Oranaise. La nature de ce volcanisme va dépendre de l'endroit et du moment (du temps) de sa manifestation. Selon MEGARTSI 1985, les émissions du miocène supérieur se répartissent en trois centres importants qui sont d'Est en Ouest: le centre du Sahel d'Oran, de la moyenne Tafna, et celui de M'sirda.

Le volcanisme débute dans la moyenne Tafna (environ 15MA) par l'émission de rhyolite, il se poursuit dans le sahel d'Oran entre 11.7 et 9MA par l'émission d'andésites, de dacites et de rhyolites, et il se termine dans le M'Sirda (7.5MA) par des émissions basaltiques et andésitiques. Ces émissions du miocène supérieur correspondent à une série calco-alcali potassique. C'est la réponse au contexte tectonique compressif du miocène (l'orogénèse alpine proprement dite).

IV.2.4.2 : Le volcanisme Plio-Quaternaire

Au plio-Quaternaire, c'est un volcanisme basaltique qui est manifesté et qui se distingue des phases éruptives miocènes par son caractère essentiellement basique et alcalin, et par la grande étendue des surfaces couvertes. Les laves à caractères alcalins, s'installent dans les massifs de Ghazaout, et dans la basse et moyenne Tafna, à M'Sirda et autour d'Ain Temouchent.

Les émissions basaltiques à caractères transitionnel sont mises en évidence dans la moyenne Tafna. Cette transition du volcanisme calco-alcalin au volcanisme alcalin s'est faite au Tortonien (Louni-Hacini 2002). Cette transition est la réponse de la fin de l'orogène alpine proprement dite (l'abaissement du régime de l'orogène alpine).

En effet, bien que l'orogénèse alpine se poursuit jusqu'à présent, les données de la sismicité notamment celles de la paléo-sismicité de la région montrent clairement une activité tectonique beaucoup plus intenses jusqu'au Tortonien. Il est donc tentant de rattacher ce changement dans la nature du volcanisme en Oranie à celui du changement du régime de l'orogénèse alpine. (BOUKHEDIMI, 2008)

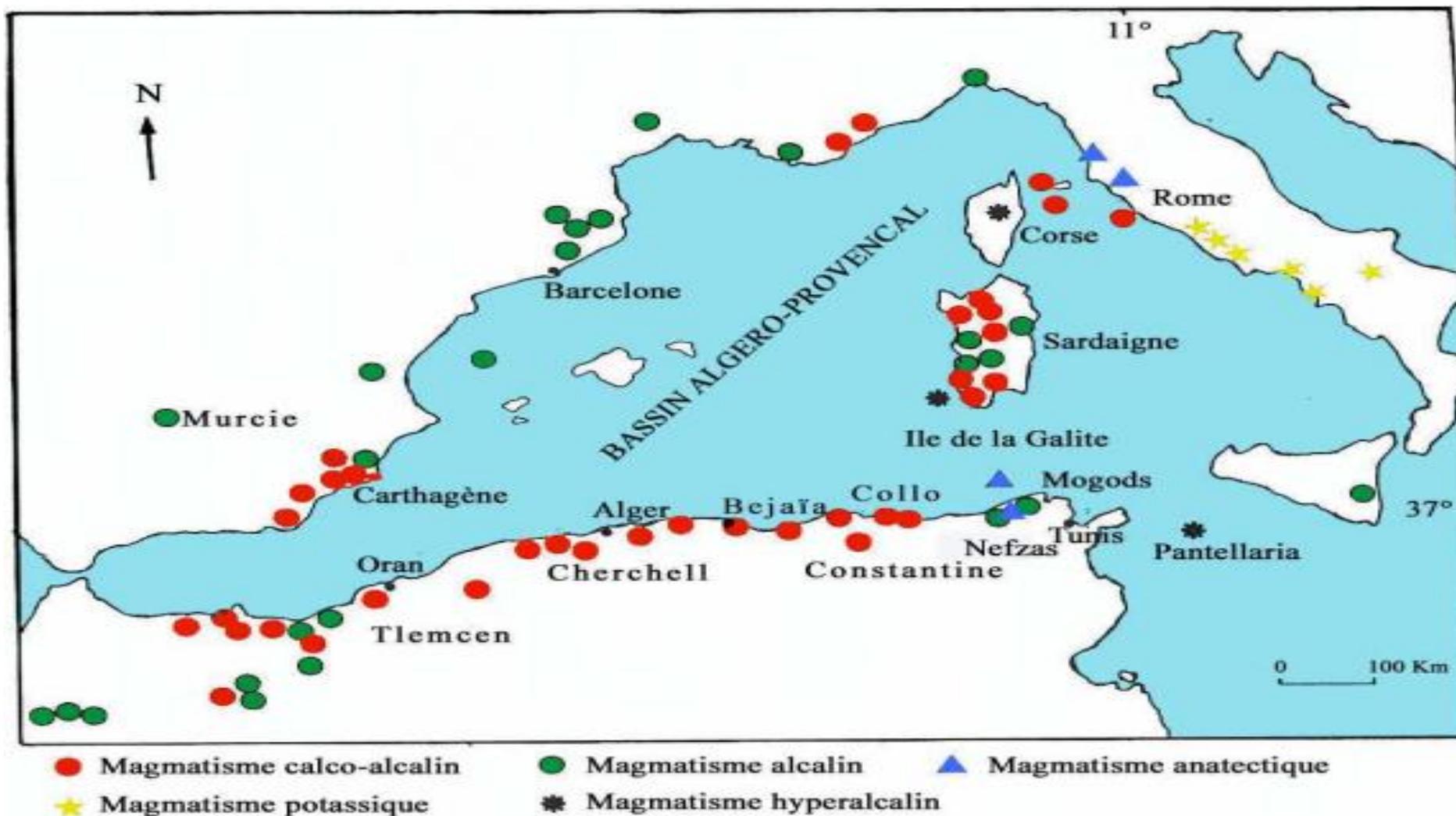


Figure 18 : le magmatisme néogène du pourtour de la méditerranée occidentale, d'après N.Laridhi Ouzaâ (1994) ; source de l'image : BOUKHEDIMI(2008)

IV. 3 : CADRE GEOLOGIQUE ET STRUCTURAL DE LA REGION DE MAGHNA

IV.3.1 : Lithostratigraphie

La région de Maghnia est caractérisée par des formations sédimentaires du Miocène, pliocène et quaternaire. Dans la structure géologique, le miocène, le pliocène constituent les formations essentielles de la région et reposant en discordance sur les grès du jurassique supérieur.

IV.3.1.1 : Le Miocène

Les formations du miocène affleurent le long de l'oued TAFNA. Ce sont des formations sédimentaires qui reposent en discordance angulaire sur des grés du Jurassique Supérieur.

Le Miocène inférieur débute à sa base par des grès carbonatés massifs et des conglomérats, qui passe plus haut suivant la coupe à une puissante assise d'argiles carbonatées et des marnes avec des passés de grès de faible puissance. La partie supérieure de la coupe est constituée par des argiles carbonatées, sub-bentonitiques grises avec une teinte verdâtre.

Les formations du miocène supérieur se développent largement sur les carrières d'argiles bentonitiques de Hammam Boughrara. La base de la coupe est représentée par une assise de poudingues et de conglomérats et plus haut suivant la coupe des pyroclastites fin.

IV.3.1.2 : Le Pliocène

Dans la plaine de Maghnia, les formations du Pliocène reposent en discordance angulaire sur celles du miocène et consistent en des formations continentales composées des argiles, silstones, des grès et des matériaux argilo gréseux avec des lentilles de poudingues et conglomérats compacts. La puissance varie de quelques mètres jusqu'à 50 - 60 m dans la partie Nord-Ouest, et atteint parfois 80-100 m dans la partie Sud-Est de la carrière Roussel1. Les terrains continentaux recouvrent en discordance les terrains pyroclastiques du miocène supérieur.

IV.3.1.3 : Le Quaternaire

Le Quaternaire est représenté par des formations alluviales qui englobent de puissants dépôts à gros galets et blocs plus ou moins consolidés, provenant de l'ancienne terrasse de l'oued Tafna. Il est recoupé par des necks (petites cheminées) de basaltes. Leur épaisseur atteint 30 à 40 m. Les basaltes du quaternaire qui recoupent les formations du miocène et le pliocène se rencontrent sous forme de petites nappes dans les carrières Dar M'Barek, Roussel 1 et Roussel 2.

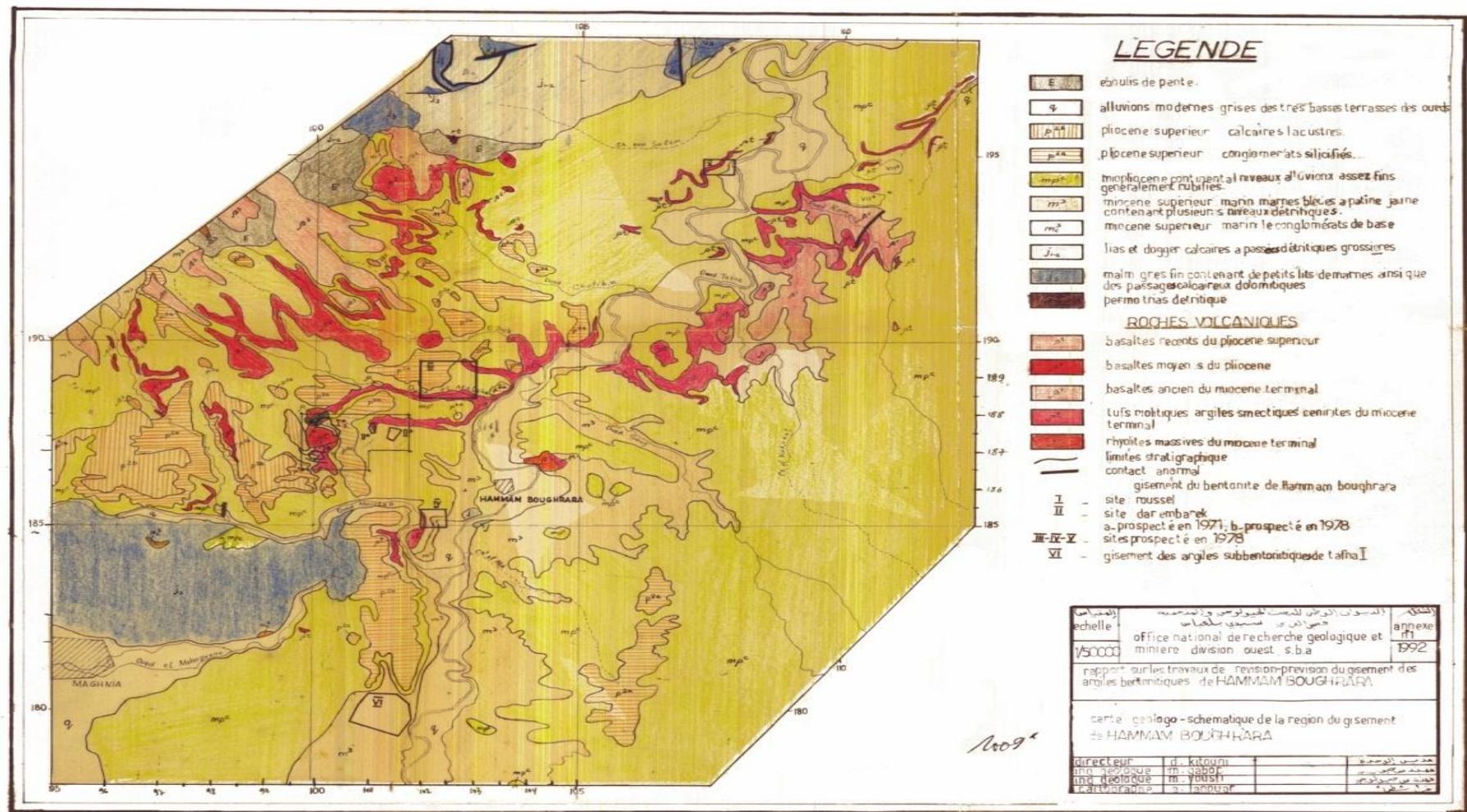


Figure 19 : Carte géologique schématique de la région du gisement de Hammam Boughrara; échelle initiale 1/50.000 ; (ORGM 1992)

IV.3.2 : Cadre structurel

Le massif de Maghnia, est une dépression qui forme un profond graben entre deux horsts, le bassin est caractérisé par une déformation cassante. Cette déformation correspond aux rejets des failles anciennes qui ont rejouées au cours des phases miocènes et pliocène, et dont certains ont été empruntés par les émissions volcaniques. Ce qui nous emmène à dire que le massif de Maghnia appartient aux domaines des hauts plateaux, il est constitué par des formations d'âge Miocène à Plio-Quaternaire qui repose sur un substratum à faciès sédimentaire d'âge Jurassique.

La région de Maghnia est affectée par une tectonique souple marquée par un pli synclinal et une tectonique cassante peut intense représentée essentiellement par les failles du type atlasique. Les gisements de Hammam Boughrara sont affectés par une tectonique cassante. Ce sont des failles de directions NW-SE et NNE-SSW, contrôlent l'emplacement des gisements après avoir joué en drains pour la remontée des solutions hydrothermales (BOUKHEDIMI 2008). La plus connue est celle de Hammam Boughrara.

IV.3.3 : Le volcanisme et roches magmatiques

IV.3.3.1 : Le Volcanisme

Les formations volcaniques de la région sont représentées par des Rhyolites et des Basaltes. Sadran (1958) distingue dans cette région quatre pitons rhyolitiques indépendants qui coupent les sédiments du Miocène synchro-nappe. Ces pitons sont les suivants : **Ain Torba, Hammam Boughrara, Oued el Malcha et Bled er Rekiza.** (Figure 15)

Ces pitons rhyolitiques sont souvent associés à des argiles smectiques (dépôts pyroclastiques) et à des matériaux rhyolitiques remaniés. Parmi ces 04 pitons cités par Sadran (1958), les pitons d'Ain Torba et de Hammam Boughrara sont les plus importants par leur taille. Ils affleurent sous forme de massifs érodés assez bien développés et bien visibles dans le paysage (et sur les cartes géologiques).

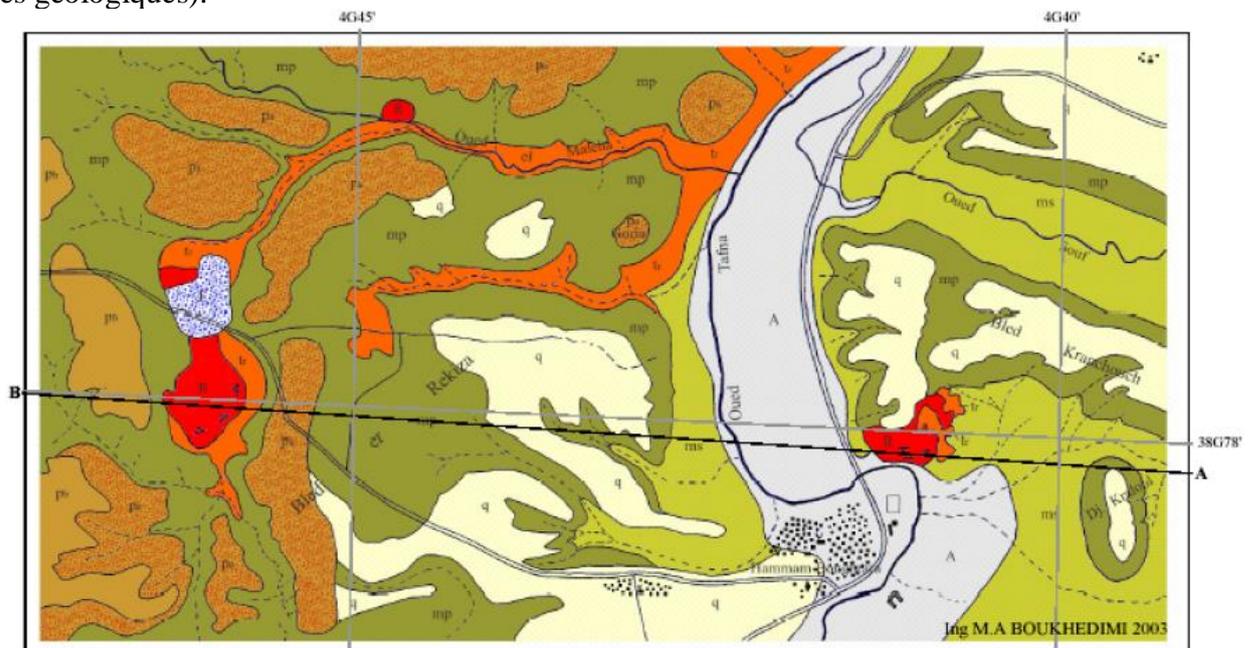


Figure 20 : Carte Géologique de Hammam Boughrara; (source : BOUKHEDIMI 2008)

(L'échelle originelle de cette carte était e=1/20 000, elle avait été réduite à e=1/24 200 auparavant pour sa mise en page, et actuellement avec toutes les modifications subies, la notion d'échelle ne peut pas être applicable)

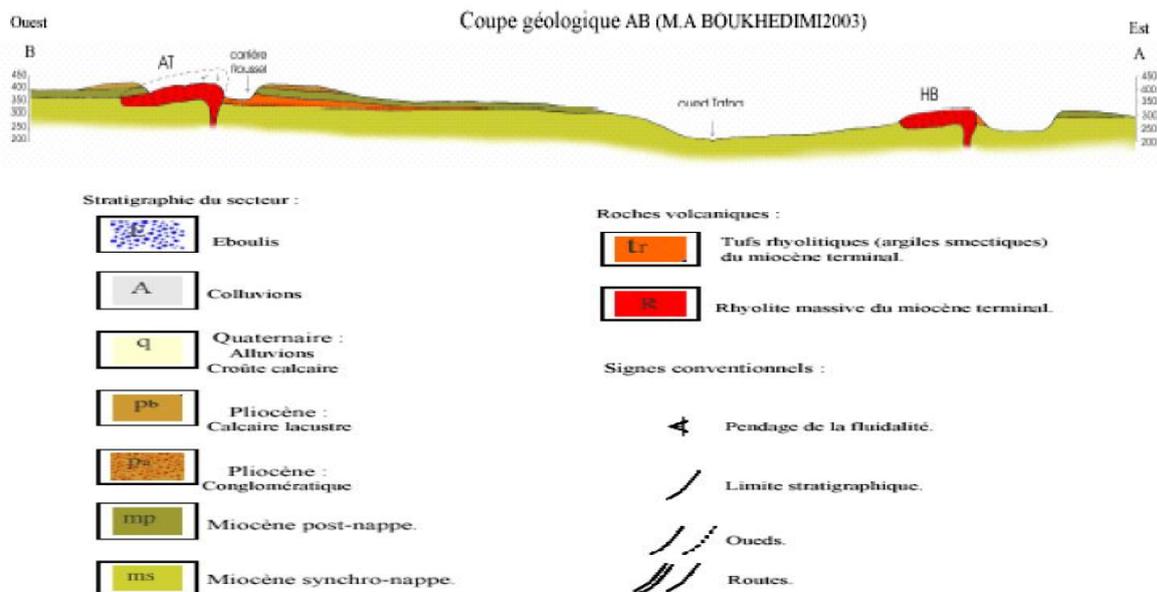


Figure 21 : Coupe Géologique de Hammam Boughrara; BOUKHEDIMI 2003
(source : BOUKHEDIMI 2008)

Le piton d'Ain Torba est associé au gisement de Bentonite exploitée dans la région. Ce dernier dôme est également traversé par 2 petits filons basaltiques de faible extension (entre 2 et 6 m d'épaisseur). Enfin, une coulée basaltique de faible épaisseur (1 à 1.5m) d'âge Plio-Quaternaire vient clôturer ce cycle volcanique.



Petit filon basaltique

Figure 22 : Photo qui montre un petit filon basaltique dans la carrière de Roussel I

IV.3.3.2 : Les roches magmatiques

Les roches magmatiques de la région sont représentées par des rhyolites et des basaltes, Dans la région de Hammam Boughrara, les formations du miocène englobent des rhyolites qui forment deux petits massifs érodés en forme de coupole, l'un des massifs est associé au gisement de bentonite, l'autre situé à l'extrémité SE du village.

Les basaltes, dans la région du point de vue chronologique se divisent en formations miocènes et quaternaires. Les basaltes du quaternaire se retrouvent sous forme de petites nappes dans la région du gisement. Les basaltes du miocène se retrouvent sous forme de petits corps inter stratifiés sur la rive de l'oued Tafna.

IV.3.4 : La bentonitisation dans la région de Maghnia

Plusieurs études ont été menées sur le gisement des argiles bentonitiques Roussel I et Dar M'Barek I. Les travaux les plus illustres sont ceux de BOUKHEDIMI (2008).

Dans ses travaux sur l'origine du processus de bentonitisation des terrains volcanogènes rhyolitiques de la région de Hammam Bouhrara, BOUKHEDIMI (2008) a mis en évidence des relations existantes entre la bentonitisation et la tectonique cassante, la dynamique volcanique et les faciès rhyolitiques, ainsi que les changements chimiques majeurs affectant les faciès rhyolitiques bentonitisés.

En effet :

- **L'étude morpho-tectonique** lui a permis de mettre en évidence des accidents N40 (orientés selon une Direction atlasique : NE-SW) expliquant l'alignement géographique du volcanisme de la moyenne Tafna et d'observer aussi que les carrières d'argiles bentonitiques se localisent dans l'immédiat des failles relevées.
- **L'étude volcanologique** a révélé que la dynamique volcanique à Hammam Bouhrara a permis d'avoir une zonalité lithologique favorisant la bentonitisation dans certains endroits et que cette dernière se développe dans l'immédiat des centres d'émissions volcaniques (l'appareil volcanique de Aïn Torba étant le plus grand, il a généré l'essentiel des gisements de Bentonites).
- **L'étude pétrographique** a montré que la bentonitisation est fonction de la lithologie des faciès rhyolitiques (car elle se développe dans ces dernières à partir des minéraux ou matrices argileuses, microfissurations, microfracturations, points de porosités, plan de fluidalité et perlites) et qu'elle se développe essentiellement dans les faciès rhyolitiques meubles (tufs rhyolitiques). Ainsi, les rhyolites perlitiques et fluidales fragilisées par leur structure (plans de fluidalité et perlites) sont beaucoup plus vulnérables à la bentonitisation que les rhyolites compactes ne présentant aucune fluidalité ni perlites. De même, les pyroclastites et les tufs pyroclastiques sont plus vulnérables à la bentonitisation de par leur matrice argileuse.
- **L'Etude géochimique** a démontré des variations chimiques plus significatives affectant les faciès rhyolitiques bentonitisés : une diminution très importante en silice (SiO_2) (environ 10% en moins que dans les rhyolites saines) due au lessivage hydrothermale, accompagnée d'une augmentation en Al_2O_3 , CaO , MgO . Les éléments en trace montrent une diminution en Ni accompagnée d'une augmentation en Sn, Pb et Th dans les terrains bentonitisés.
- **L'étude des rapports isotopiques d'hydrogène σD** (D : eau lourde ^2H) a montré que les terrains bentonitisés présentent des σD élevés par rapport aux terrains non bentonitisés. Cela peut être expliqué par un échange d'isotopes avec les eaux superficielles (ayant un σD supérieur à celui des eaux juvéniles) reprises par l'appareil volcanique dans le phénomène hydrothermal à l'origine de la bentonitisation.

Tous ces résultats, notamment le fait que les terrains bentonitisés se localisent dans l'immédiat des appareils volcaniques et qu'ils présentent des signatures isotopiques σD différentes des terrains rhyolitiques non bentonitisés lui a mené à la conclusion suivante :

« La dynamique du volcanisme rhyolitique de Hammam Boughrara qui s'est poursuivie par un recyclage (reprise) des eaux superficielles a permis une différenciation chimique des faciès rhyolitique, donnant ainsi naissance aux gisements d'argiles bentonitiques. Cette bentonitisation est fonction de facteurs géologiques, relatifs à la tectonique cassante, au faciès et à la dynamique du volcanisme. Ces facteurs contrôlent directement la localisation, la répartition (tonnages) et le degré de bentonitisation. »

Ces résultats lui ont permis de proposer le modèle de bentonitisation suivant :

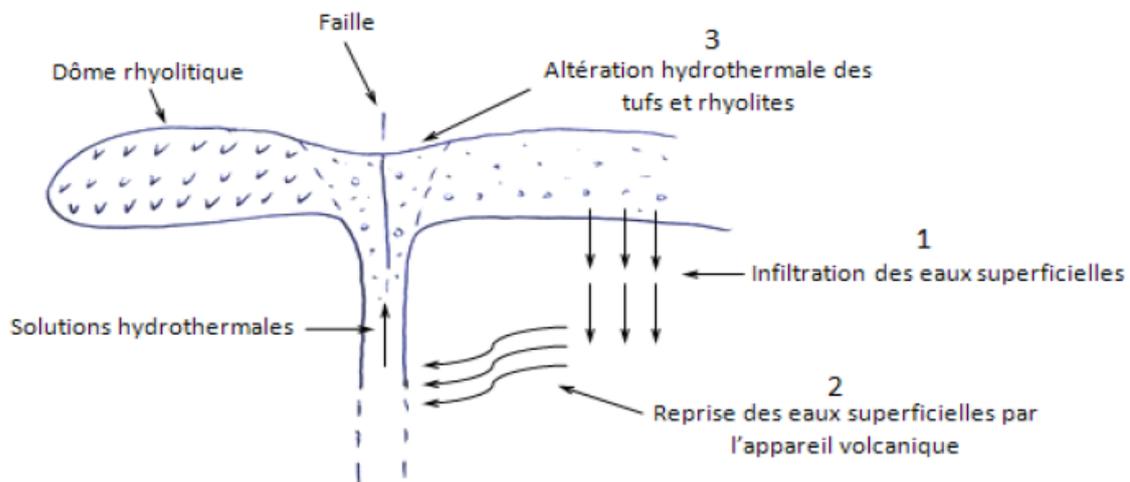


Figure 23: modèle de bentonitisation proposé par BOUKHEDIMI (2008)

« Les failles de direction NW-SE et NNE-SSW contrôlent l'emplacement des gisements de bentonites après avoir joué en drains pour la remontée des solutions hydrothermales issues des eaux superficielles (ayant un σD différent) reprise par l'appareil volcanique. Le long des failles, ces solutions altèrent intensément les pyroclastites et imposent leur signature isotopique σD . loin de celles-ci (failles), la bentonitisation est atténuée, voire même absente. »

IV.4 : CONCLUSION

Les gisements des bentonites du district de Hammam Boughrara sont directement liés aux phénomènes tectoniques et volcaniques qui ont affectés l'Algérie Nord occidental et la région de Maghnia. Les émissions volcaniques mio-plio-quatérnaires et les failles de direction NO-SE et NNE-SSO qui contrôlent l'emplacement des gisements de bentonites constituent la réponse au contexte tectonique compressif du miocène (l'orogénèse alpine proprement dite). Ces gisements résultent de la transformation des rhyolites, perlites et des tufs pyroclastiques, sous l'action d'un phénomène Hydrothermal, mise en place à la faveur des failles et des cassures. Le processus de transformation consiste dans l'évacuation de la silice, ce qui aboutit à l'enrichissement de la roche en alumine. L'altération des roches mères résulte de l'action des solutions hydrothermales, de petites cheminées de basalte qui ont percé les rhyolites et les formations pyroclastiques ont pu servir de voies nourricières à ces solutions. Les failles de direction NO-SE et NNE-SSO constituent des métallectes qui pourraient conduire à la découverte des nouveaux gisements dans le bassin de la moyenne Tafna.

CHAPITRE V :
ETUDE GITOLOGIQUE DU
GISEMENT DE ROUSSEL 1 ET DAR
M'BAREK 1

V.1. INTRODUCTION

Le but de ce chapitre est de contribuer à la connaissance géologique du gisement :

- En décrivant les formations géologiques du gisement du point de vue macroscopique et microscopique, le cadre structural local et la forme du gisement ;
- En complétant les travaux de BOUKHEDIMI (2008) par des analyses aux rayons X (DRX) des échantillons de bentonite dans le but d'identifier les phases minérales argileuses du processus d'altération (bentonitisation) qui est à l'origine du gisement et la composition minéralogique des argiles bentonitiques de Roussel I et Dar M'Barek I.

V.2: CADRE STRUCTURAL ET LITHOLOGIQUE DES GISEMENTS

Les gisements d'argile bentonitique de Hammam Bouhrara sont associés à des volcanites du Miocène supérieur. Beaucoup de bentonites dérivent de l'altération in situ des cendres volcaniques (Grim, 1967). L'ensemble volcanique est recoupé par des formations rhyolitiques altérées et transformées en argiles bentonitiques. Dans la région immédiate des gisements, les formations les plus anciennes sont les roches volcano-sédimentaires composant la partie supérieure du miocène. Ces roches sont plissées en un synclinal très ouvert dont le plan axial montre une direction NNW- SSE (SONAREM, 1972). Le flanc ouest de ce synclinal est composé de couches de volcanoclastites rhyolitiques plus ou moins bentonitisées, de direction NW-SE avec un faible pendage vers l'est (10 à 20°). Ce flanc ouest de la séquence est recoupé par un dôme de rhyolite de dimension importante (environ 265 000 m² de section). Autour de ce dôme, et d'un autre plus petit situé au nord, se distribuent les carrières Bab, R-M, Roussel et Torba. L'intrusion de ce dôme de rhyolite aurait eu une influence déterminée sur le processus de bentonitisation, puisque la meilleure qualité de bentonite se trouve à proximité du dôme et diminue ensuite à mesure qu'on s'en éloigne. Le flanc Est est composé essentiellement du gisement de Dar M'Barek.

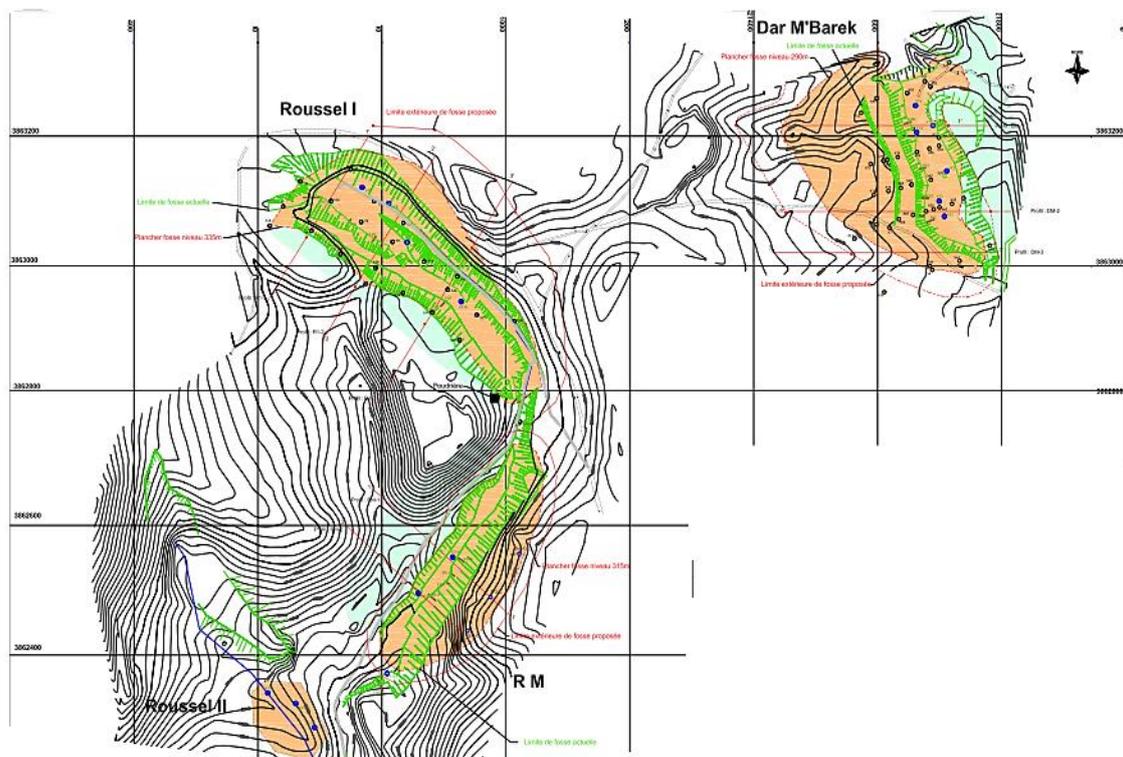


Figure 24 : Carte de répartition des gisements de bentonites de Hammam Bouhrara ; échelle initiale 1/1000 ; (BUMIGEME 2008)

V.2.1 : Géologie détaillée du gisement de Roussel I

V.2.1.1 : Cadre structural et forme du gisement

Dans la région du gisement de Roussel I, les terrains sédimentaires du miocène supérieur sont recoupés par des rhyolithes qui forment un massif extrudé à l'aspect d'un dôme dont le diamètre atteint 550 à 600 m. Les gîtes d'argile bentonitiques forment le contour externe de la principale extrusion de rhyolite et sont le produit de l'altération hydrothermale de roches intrusives et extrusive (tuf, pyroclastique) situés sur le pourtour du dôme.

Les argiles bentonitiques se placent le long du contact externe du massif extrudé et leur extension atteint 500m. La largeur des gîtes est de 100 à 120 m pour la partie Nord-ouest et de 60 à 70m pour la partie Sud Est de la carrière. L'épaisseur de la couche varie de 10 à 40m et diminue progressivement au fur et à mesure que l'on s'éloigne du contact externe, jusqu'à ce qu'elles disparaissent complètement. La couche de bentonite est de direction NO-SE, avec un faible pendage vers le NE (10° à 20°). Suivant le contact externe du massif rhyolitique, s'est formé une bande étroite de perlite, perlites obsidiennes.

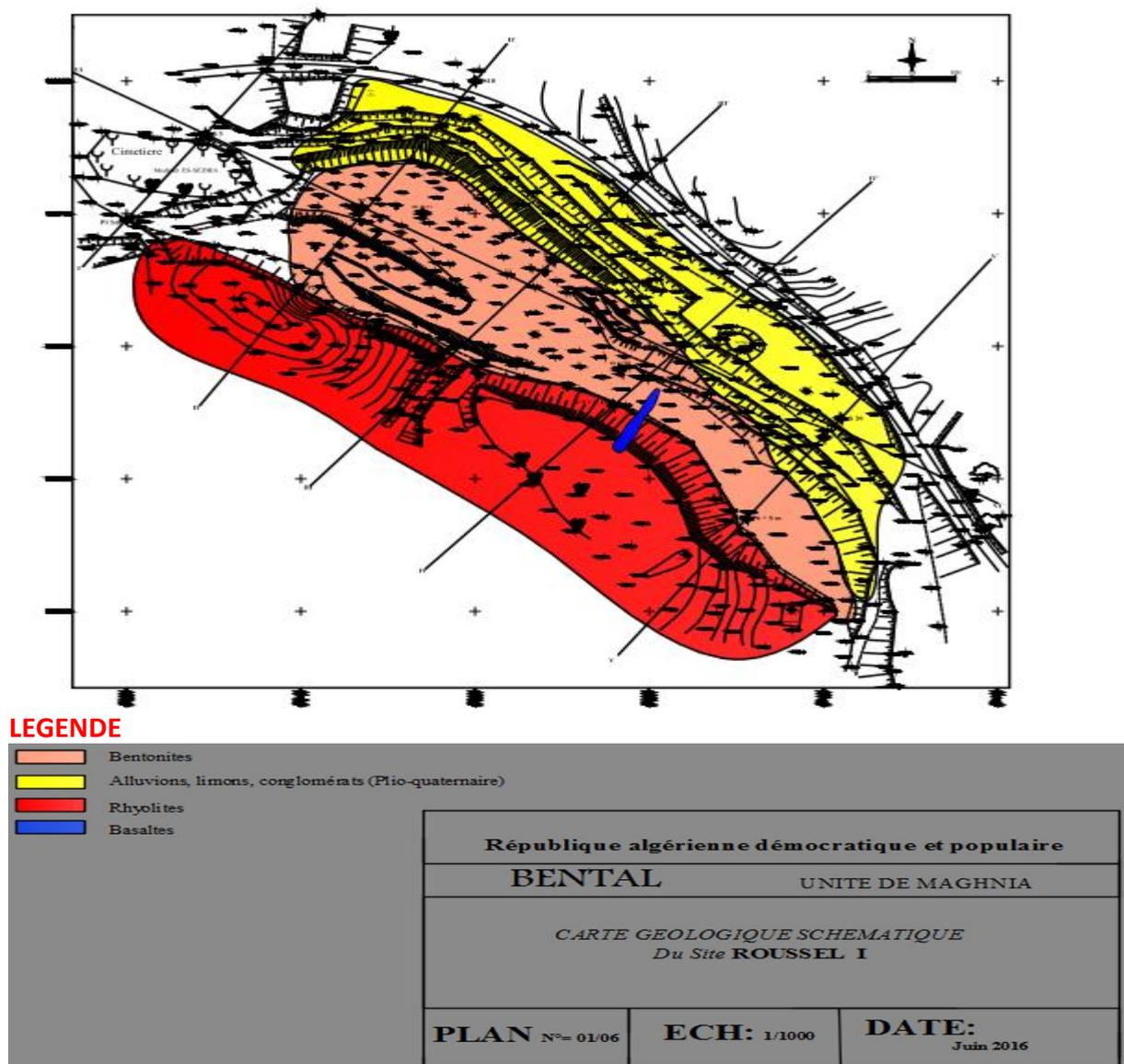


Figure 25: Carte Géologique schématique du site ROUSSEL I, échelle initiale 1/1000 (ENOF Maghnia 2016)

V.2.1.2 : Lithologie du gisement

Au niveau de la carrière Roussel 1, l'enceinte (couverture) est essentiellement constituée par des formations sédimentaires du Plio-quaternaire. Une autre partie du gisement se trouve sous le dôme rhyolitique.

Les argiles bentonitiques du gisement se divisent selon son origine en trois types :

- a) Argiles bentonitiques d'origine rhyolitique.
- b) Argiles bentonitiques d'origine tuf pyroclastique fin.
- c) Argiles bentonitiques d'origine tuf pyroclastique grossier.

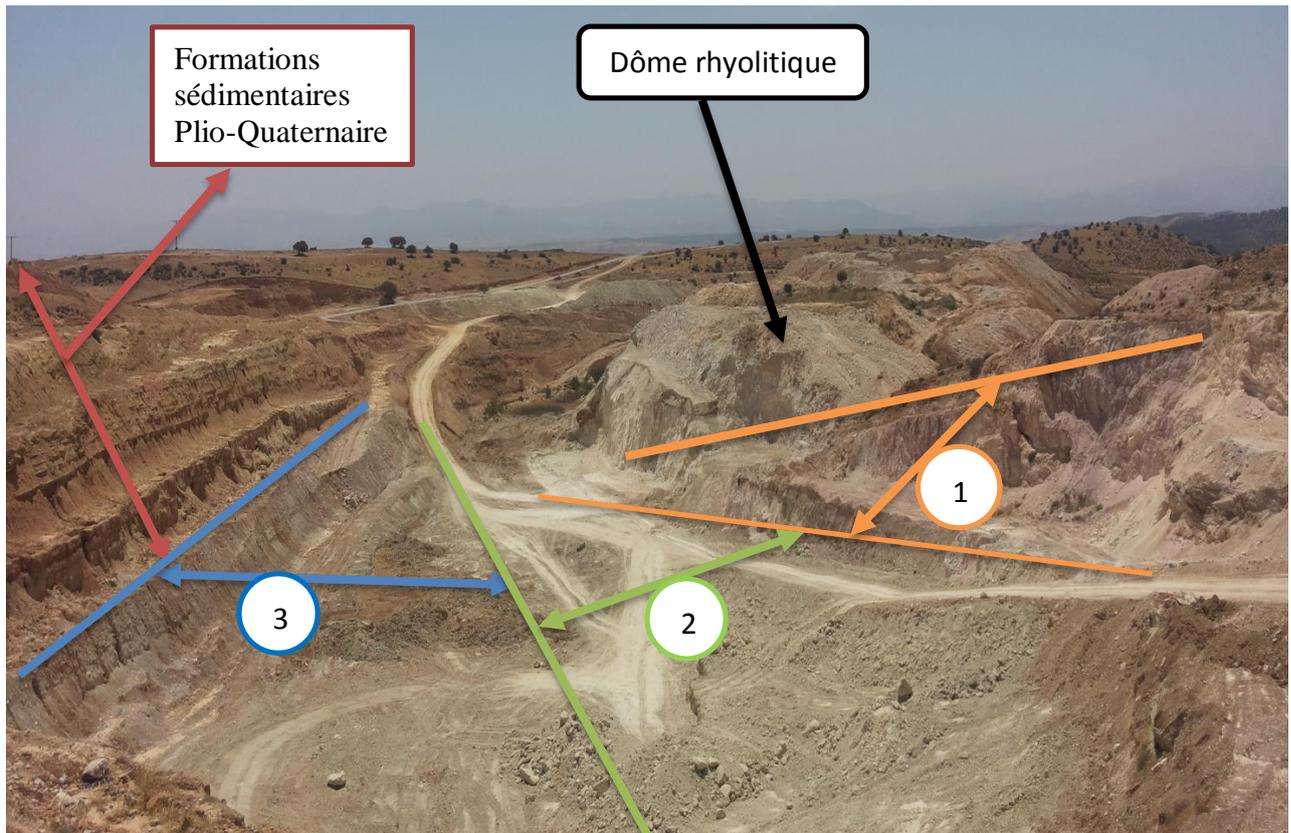


Figure 26 : Photo de la carrière Roussel 1 (juin 2017) :

1. *Argiles bentonitiques d'origine rhyolitique ;*
2. *Argiles bentonitiques d'origine tuf pyroclastique fin ;*
3. *Argiles bentonitiques d'origine tuf pyroclastique grossier*

V.2.1.2.1 : Les argiles bentonitiques

a) Argiles bentonitiques d'origine rhyolitique :

La bentonite s'est formée à partir de la roche mère rhyolite, perlite, obsidienne. Elle est de couleur blanchâtre, rosâtre, parfois verdâtre, onctueuse au toucher, savonneuse et conservant la texture fluidale primaire. La teneur en sable est faible. Parmi ces bentonites on observe de petits lambeaux de perlites. Cette variété de bentonite est la meilleure qualité. On la rencontre le long du contact externe du massif rhyolitique.



Figure 27 : photo des argiles bentonitiques d'origine rhyolitique de la carrière Roussel I

b) Argiles bentonitiques d'origine tufs pyroclastiques fins :

La bentonite s'est formée à partir des tufs pyroclastiques gréseux. Le matériel détritique est mal classé et consolidé par un ciment tufier. On rencontre des éléments anguleux dont la taille varie entre plusieurs millimètres et 5cm, les fragments de roche et le ciment ont une composition rhyolitique, le toucher est rugueux, en terme de sable élevé supérieur à 22%. Avec la profondeur, la roche devient onctueuse. La teneur en sable est faible ce qui indique que la bentonitisation est plus intense en profondeur. On la rencontre au milieu de la carrière entre la zone faillée F1 et F2.

c) Argile bentonitique d'origine tuf pyroclastique grossier :

La bentonite s'est formée à partir des tufs pyroclastiques grossiers, des blocs centimétriques emballés dans les argiles bentonitiques blanc-grisâtres. Les fragments de rhyolite sont complètement transformés en bentonite le long de la zone faillée. C'est une roche blanchâtre à grisâtre, onctueuse, savonneuse. La teneur en sable est faible, viscosité supérieure à 15cp, cette variété de bentonite répond aux qualités d'utilisation de bentonite de forage. Au fur et mesure qu'on s'éloigne de la zone faillée qui passe par le milieu de la carrière vers le nord-est, la bentonitisation est incomplète et cela est due à la présence de blocs de rhyolite, des filons de gypse.

ST	N° DES ÉCHANT	INTERVAL ÉCHANT M		COLONNE LITHOLOGIQUE	DESCRIPTION DES ROCHES	Résultat d'analyses			
		De	A			RT75µ	Perte au Filtra	L 600 imm.	L600 16H
Sondage Tarière ST 7	1	0	3		Argiles bentonitiques de couleur blanchâtre à grisâtre savonneuse à la touche, contient des débris de rhyolithes.	27,90	19	26	30
	2	3	6			15,74	22	18	23
	3	6	9			18,58	21	21	26
	4	9	12			18,53	21	23	27
	5	12	15		Argiles bentonitiques la couleur devient plus sombre que la précédente, contient des débris de rhyolite de couleur blanchâtre de taille mm.	12,90	19	29	37
	6	15	18			12,48	15	34	45
	7	18	21			18,59	20	22	28
	8	21	24			22,70	22	19	23
	9	24	27		Argiles bentonitiques de couleur marron contient des débris de rhyolite de couleur blanchâtre de taille mm.	10,56	18	33	38
	10	27	30			13,24	16	30	41

Tab 14 : lithologie de la Carrière Roussel ; Sondage tarière ST7 (BUMIGEME 2008), (X= 620 770; Y= 3 863 120 ; Z= 367,86 ; Profondeur : 30m)

ST	N° DES ÉCHANT	INTERVAL ÉCHANT M		COLONNE LITHOLOGIQUE	DESCRIPTION DES ROCHES	Résultat d'analyses			
		De	A			RT75µ	Perte au Filtra	L 600 imm.	L600 16H
Sondage Tarière ST 9	1	0	3		Argiles bentonitiques de couleur verdâtre, aspect savonneux à la touche, contient des débris de rhyolithes de taille mm.	11,71	22	20	26
	2	3	6			31,75	26	15	20
	3	6	9			24,00	Ind.	9	Ind.
	4	9	12			47,56	Ind.	8	Ind.
	5	12	15		Argiles bentonitiques de couleur verdâtre, savonneux à la touche, contient des débris de rhyolithes et de perlite de taille mm, en profondeur il y a des argiles rouges.	34,59	Ind.	8	Ind.
	6	15	18			23,80	Ind.	8	Ind.
	7	18	21			47,18	Ind.	7	Ind.
	8	21	25			43,88	Ind.	6	Ind.

Tab 15: lithologie de la Carrière Roussel ; Sondage tarière ST9 (BUMIGEME 2008), (X= 620 839; Y= 3 863 038; Z= 365,72; Profondeur : 25m)

V.2.1.2.2 : Les rhyolithes

1. Description Macroscopique

Les rhyolithes constituent l'essentiel des dômes. Généralement, il s'agit des roches compactes assez dures, de couleur gris claire, souvent vitreuses ou localement, très finement cristallisées. Par certains endroits, elles donnent l'impression d'une disposition sous forme de bancs (ou fausse stratification), ce qui s'explique par le débit provoqué par le refroidissement progressive du dôme (BOUKHEDIMI 2008). Par d'autres endroits, elles se présentent sous forme massive. En générale, ces rhyolithes présentent une texture fluidale, et parfois rubanée. Dans la partie Sud Est du chantier, le massif rhyolitique est affecté par un réseau de fractures de direction (NO-SE, NE-SO).

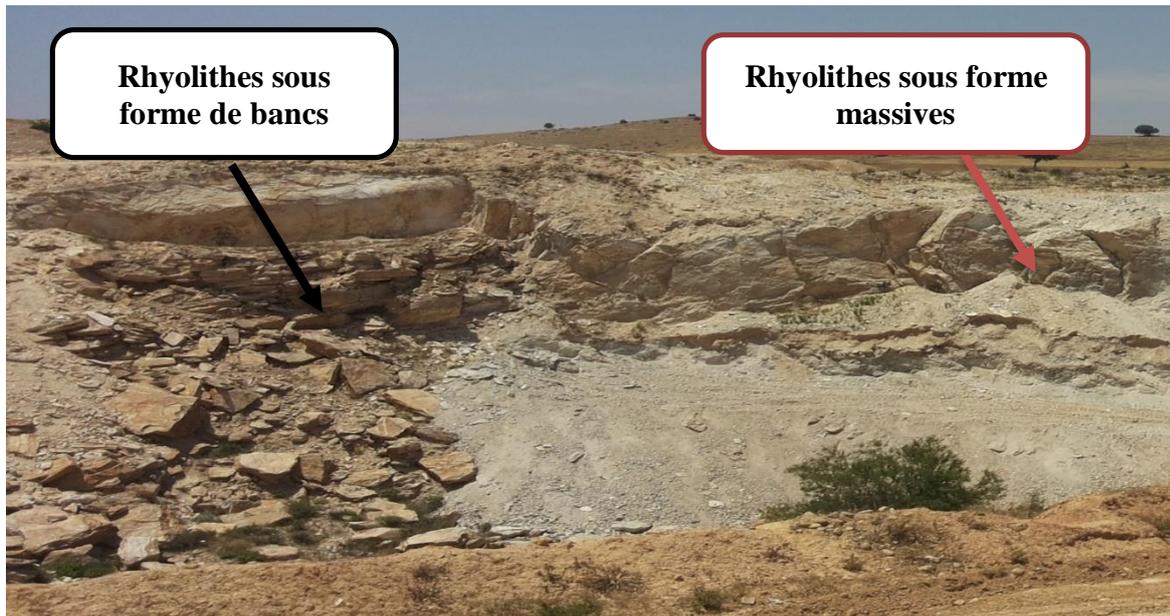


Figure 28 : une photo du dôme rhyolitique d'Aïn Torba (Roussel I) qui montre les différentes structures de la rhyolite.



Figure 29 : Deux échantillons qui montrent la texture fluidale rubanée des rhyolithes de Roussel I

2. Description microscopique

Au microscope, les rhyolites montrent des phénocristaux, la mésostase et la texture.

a) Les phénocristaux :

Il s'agit du Quartz ; des Feldspaths (plagioclase, feldspaths potassique, Sanidine) ; Biotites et Minéraux opaques.

- **Le quartz** : Il se présente en cristaux prismatique automorphe à subautomorphe bien visible et offre une forme bipyramidée et des aspects typiques de corrosion et de croissance irrégulière (Quartz rhyolitique). Généralement, on trouve le quartz sous forme d'individu isolé dans la mésostase, mais il se trouve également associé à d'autres individus de quartz ou de plagioclase ou plus rarement aux biotites.
- **Feldspaths** : on observe deux types de feldspaths :

Les plagioclases : ils apparaissent sous forme d'individu isolé dans la mésostase ou associé à d'autres individus de plagioclases, de quartz ou plus rarement aux biotites. Ils sont généralement automorphes à macles régulières et fines, et renferment souvent des inclusions de nature diverse, essentiellement des minéraux opaques, et parfois même d'autres plagioclases.

Les feldspaths potassiques (Sanidine) : La Sanidine est beaucoup moins abondant. Les phénocristaux rencontrés sont généralement automorphes, à bords réguliers et apparaissent sous-forme de cristaux isolés ou bien associés à des plagioclases, ou parfois on peut rencontrer des inclusions de Quartz.

- **Les biotites** : Elles sont les seules représentants des minéraux ferromagnésiens et sont généralement représentées par de fines baguettes isolées dans la mésostase. Leur forme allongée marque très bien la fluidalité de la roche et donne davantage de renseignements sur le sens de l'écoulement de la lave.
- **Les minéraux opaques** : ils sont rares et se présentent généralement sous forme de granulations (grains arrondis ou pigments) ; mais apparaissent également sous forme de sections automorphes prismatiques ou en plages déchiquetées. On peut également dans la mésostase sous forme de microcristaux.

b) Mésostase

La mésostase dans les rhyolites représente la quasi-totalité des roches. Les phénocristaux de tailles différentes baignent dans une pâte d'aspect variable, soit vitreuse, soit à tendance microlitique ou très finement cristallisée (microcristalline), d'où l'existence de plusieurs textures. Elle englobe aussi de nombreux microlites de même nature que les phénocristaux existant dans la mésostase.

c) Les textures :

Observé à l'aide du microscope, les rhyolites montrent une texture hyaline porphyrique caractérisée par une phase vitreuse abondante et des phénocristaux baignant dans une mésostase constituée surtout de verre volcanique. Cette texture se diversifie en 4 catégories distinctes :

- ✓ **Texture hyaline porphyrique fluidale** : l'orientation des microlites et leur agacement autour des phénocristaux donne parfois à la roche un aspect fluidale. (**Figure 25**)
- ✓ **Texture hyaline porphyrique perlitique à tendance fluidale** : Dans ce cas, le verre rhyolitique est sillonné par des fissures de trait courbes dont l'intersection délimite des perles approximativement sphériques. La fluidalité est marquée par un soulèvement régulier des microlites (**Figure 27**)
- ✓ **Texture hyaline porphyrique à tendance Cryptocristalline** : Dans ce cas, la mésostase est partiellement envahie par une fine mosaïque de Quartz cryptocristallin et de feldspath. (**Figure24**)
- ✓ **Texture hyaline porphyrique à tendance microlitique** : Dans ce cas, l'abondance des microlites dans la phase vitreuse donne un aspect microlitique par endroit et cela parfois au sein d'une même lame. (**Figure 26**)

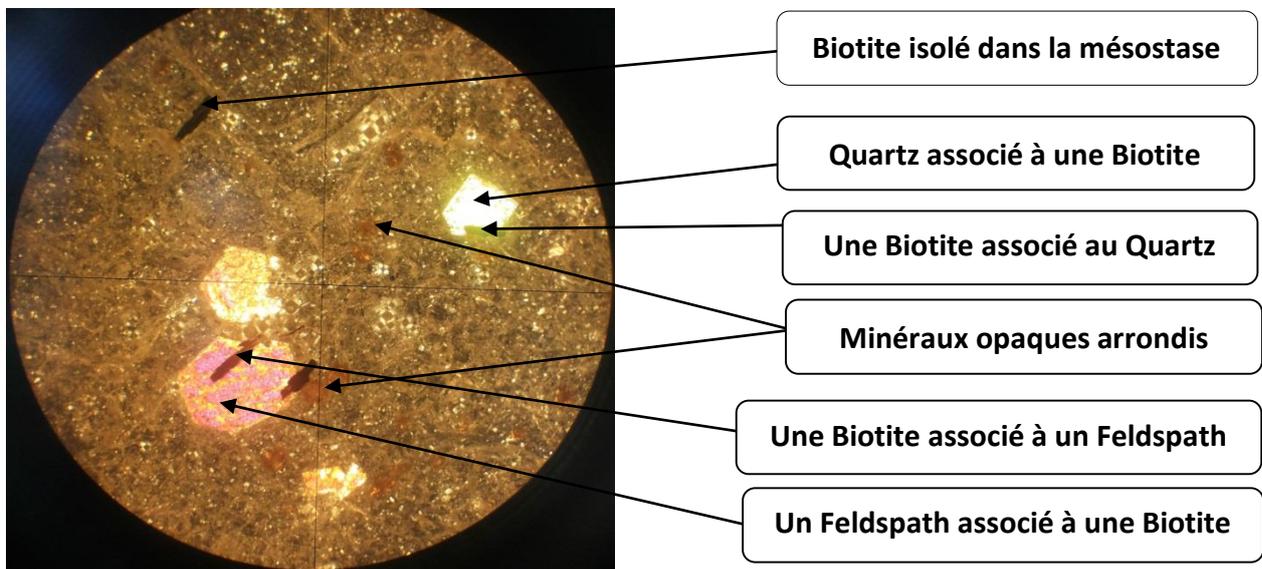


Figure 30: Microphotographie des phénocristaux de Quartz isolés dans la mésostase d'une rhyolite à texture hyaline porphyrique à tendance Cryptocristalline (LPA, Gx10)

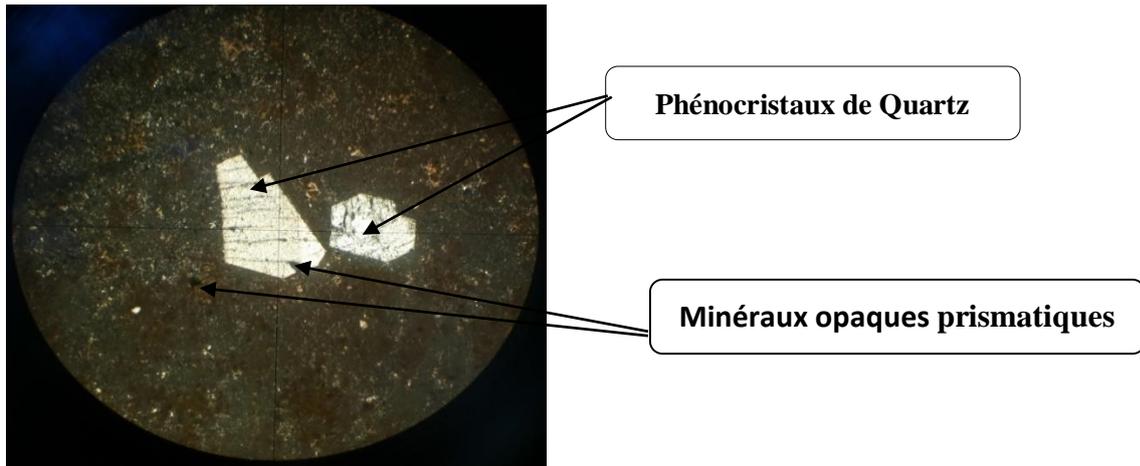


Figure 31 : Microphotographie d'un phénocrystal de Quartz associé à un phénocrystal de Feldspath dans une mésostase d'une rhyolite à texture hyaline porphyrique fluidale (LPA, Gx10)

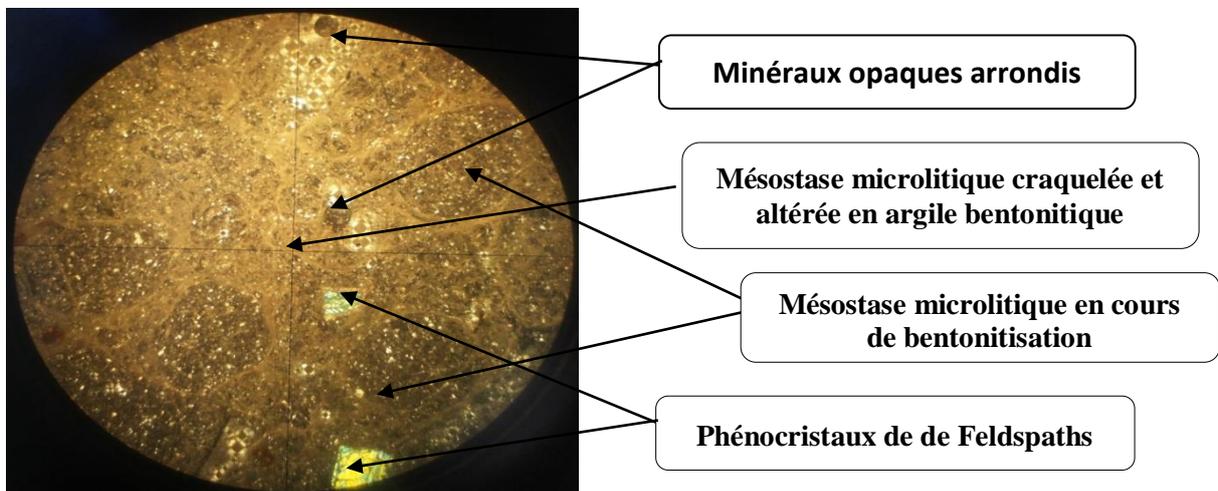


Figure 32 : Microphotographie montrant une rhyolite perlitique à texture hyaline porphyrique perlitique à tendance microlitique (LPA, Gx10)

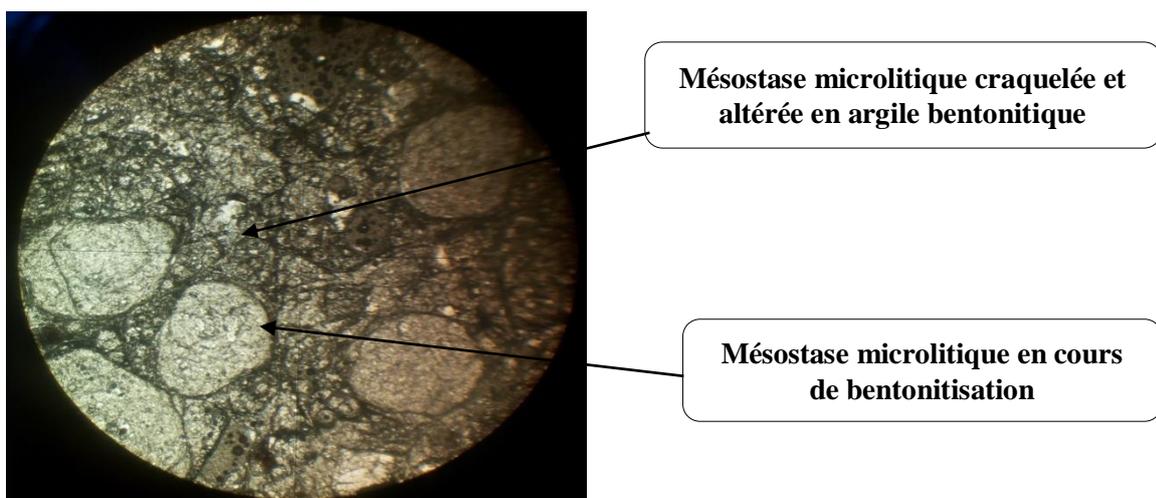


Figure 33 : Microphotographie montrant une rhyolite perlitique à texture hyaline porphyrique perlitique à tendance microlitique (LPNA, Gx10)

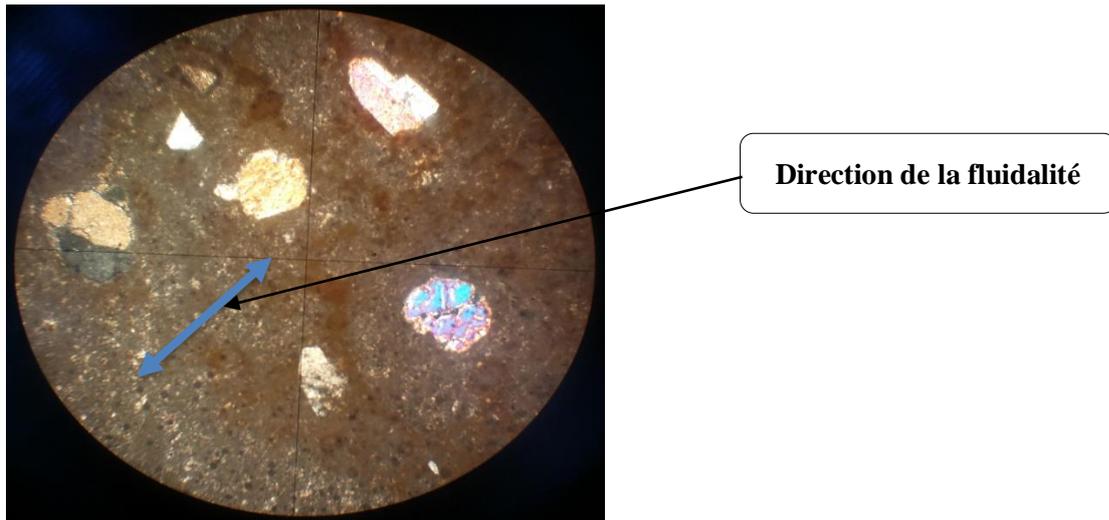


Figure 34: Microphotographie montrant la fluidalité de la rhyolite perlitique à texture hyaline porphyrique fluidale (LPNA, Gx10)

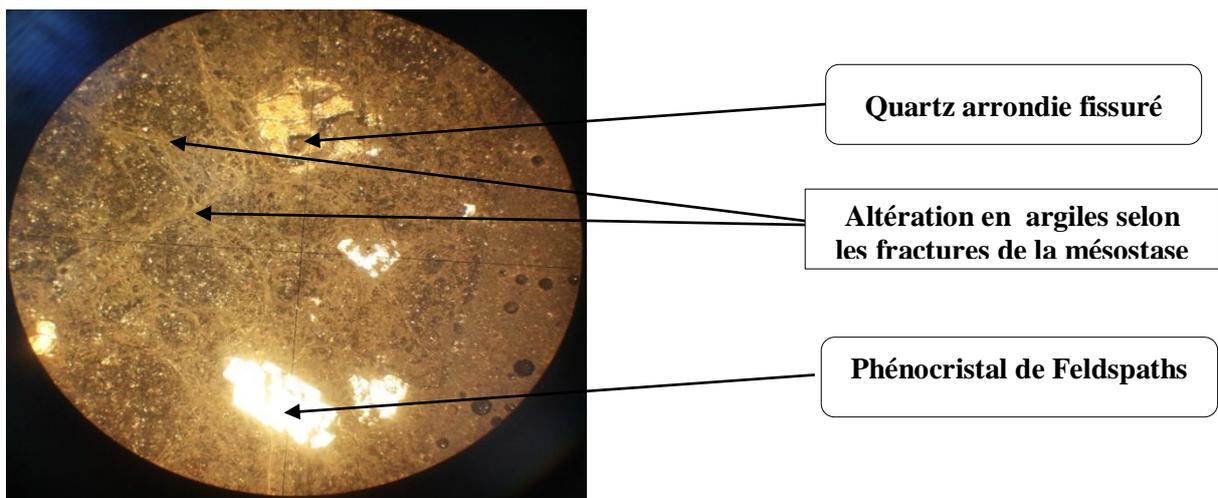


Figure 35 : Microphotographie montrant un quartz arrondi fissuré et l'altération de la rhyolite en argiles selon des fissures de la mésostase (LPNA, Gx10)

V.2.1.2.3 : Les perlites :

1. Description Macroscopique

A l’affleurement, les perlites sont des roches gris-claires, dures, massives, avec un éclat cireux et vitreux, des rares petites vacuoles dues au lessivage, et une pâte vitreuse où l’on observe des microlithes de feldspath et de quartz transparent. Les perlites se trouvent généralement à la périphérie du dôme rhyolitique et apparaissent généralement sous forme massive, avec une patine d’altération jaune sale. Elles aussi montrent une fluidalité bien nette par endroit mais peuvent présenter des structures prismatique ou mamelonnées ; leur couleur sale et leur état friable témoignent leurs degré d’altération (bentonitisation) très avancé localement. L’encadrement perlitique a un caractère discontinu. On note le développement de la bentonitisation dans les fissures de cette bande de perlite. On trouve aussi des perlites massives avec des vacuoles de dégazage, témoignant ainsi la teneur très riche du magma en gaz.

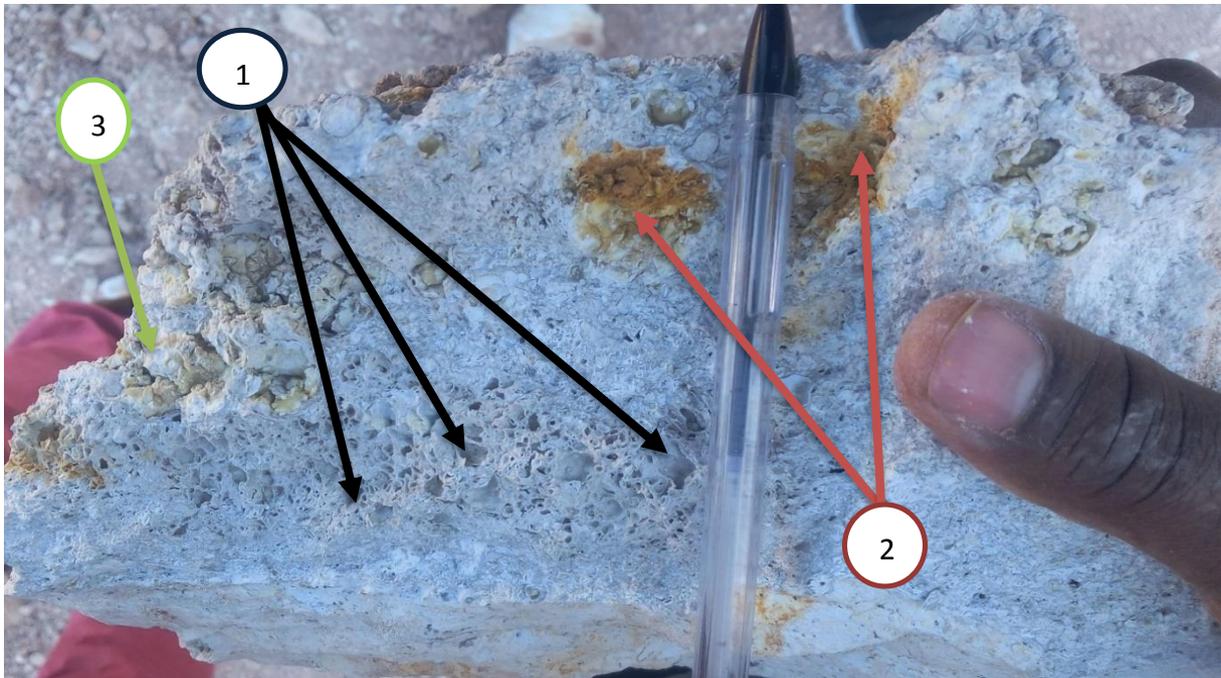


Figure 36 : une photo d'une perlite massive avec des vacuoles de dégazage (1) ; une patine d'altération jaune sale (2) et une partie où l'état de la bentonitisation est très avancé (3).

2. Description microscopique

L'observation microscopique d'une perlite nous a permis d'observer les phénocristaux, la mésostase et la texture

a) La mésostase

La mésostase des perlites est pigmentée par de rares granulations opaques et englobe en partie d'abondantes microlites et microcristaux de Quartz. Elle présente aussi des fractures à partir desquelles se fait l'altération en argiles.

b) **Les phénocristaux** : Les phénocristaux sont représentés par le Quartz, les Feldspaths (plagioclases), des baguettes de biotite et minéraux opaques arrondis ou prismatiques, tous présentant les mêmes aspects que dans les rhyolites.

c) **La texture** : La texture des perlites se présente en deux catégories distinctes :

- ✓ **La texture sphéroïdique** : dans ce cas précis, la mésostase est marquée par des structures perlitiques sphériques avec des contours de couleur brun-sombre en lumière naturelle. Cette mésostase est traversée par des veinules de recristallisations courbées de couleur brune séparant les perles vitreuses.
- ✓ **La texture hyaline porphyrique perlitique à tendance fluidale** : dans ce cas précis, le verre rhyolitique est sillonné par des fissures, et la fluidalité étant marquée par un soulignement régulier des microlites.

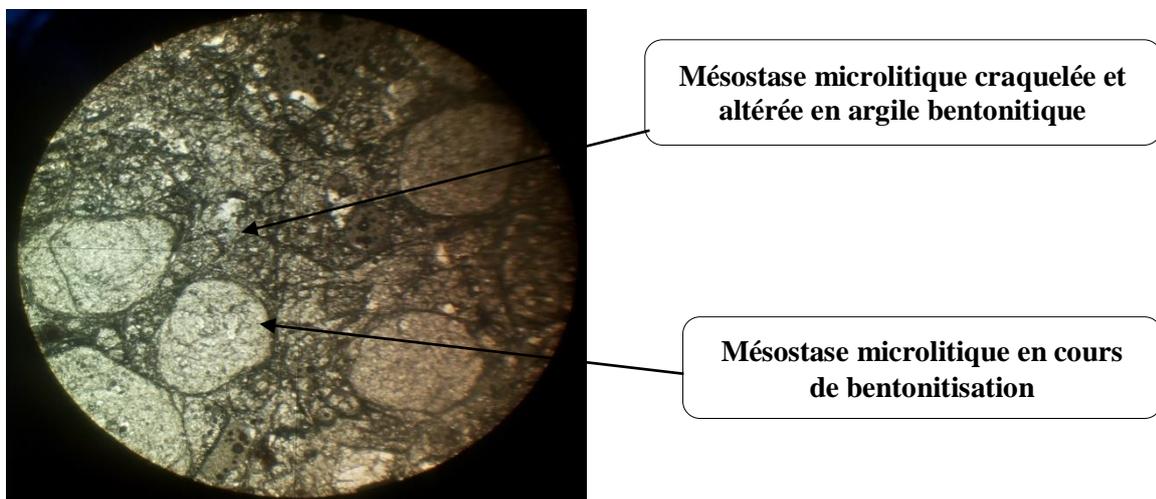


Figure 37 Figure : Microphotographie montrant une perlite à texture sphéroïde (LPNA, Gx10)

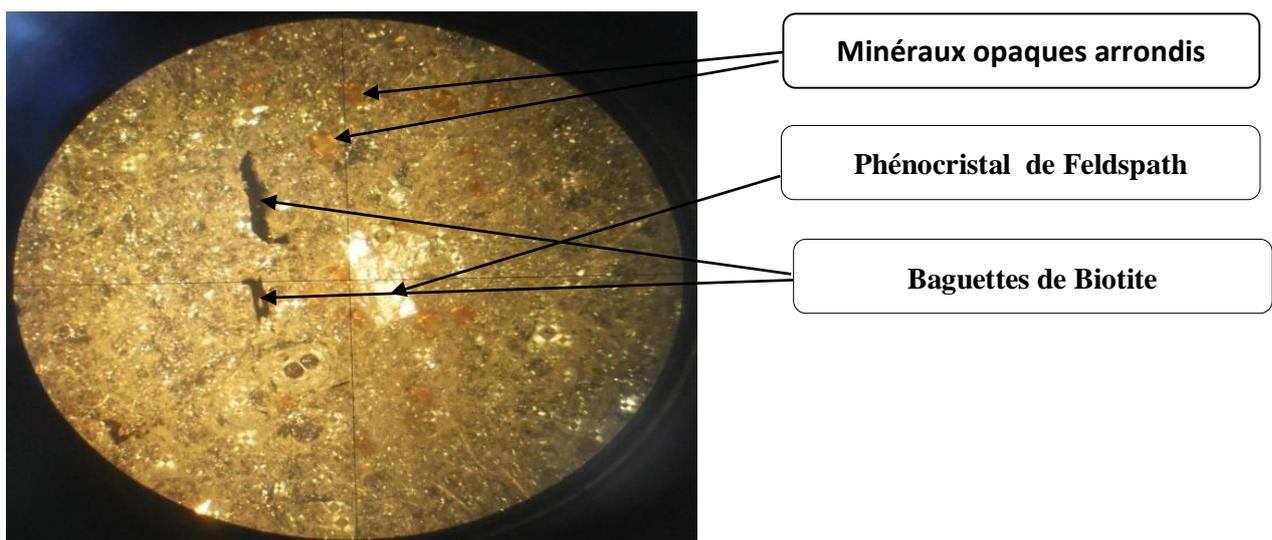


Figure 38 : Microphotographie montrant une perlite à texture sphéroïde (LPA, Gx10)

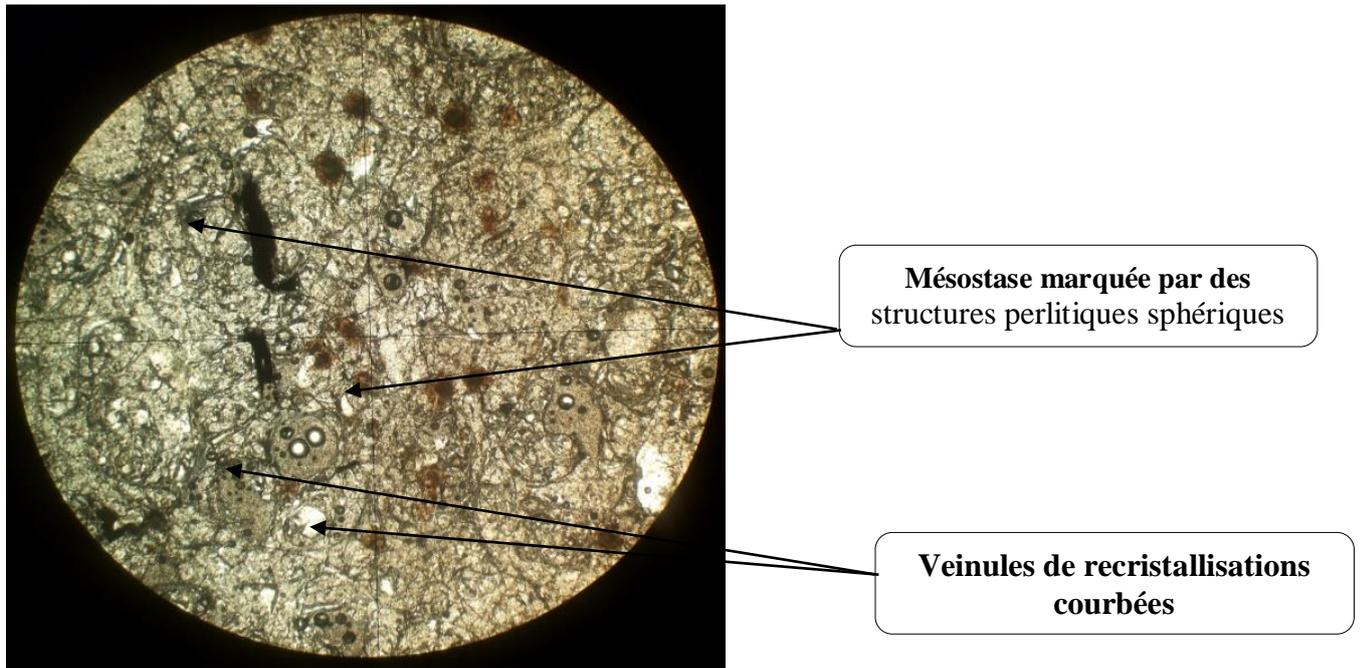


Figure 39: Microphotographie montrant une perlite à texture sphéroïde (LPNA, Gx10)

V.2.1.2.4 : Les pyroclastites

Les pyroclastites apparaissent au niveau de la carrière Roussel 1 sous forme de brèche, pyroclastiques, de tufs de lapilli et des tufs de cendres volcaniques de couleur blanchâtre à verdâtre formées essentiellement de fragments de roches volcaniques plus ou moins anguleux de taille centimétrique à millimétrique, et de grains de quartz, de feldspaths et d'opacues, tous emballés dans une matrice très fine de couleur gris blanchâtre, plus ou moins altérées en argiles. Elles ont un aspect chaotique, monogénique (origine volcanique) et hétérogénique ; et sont localement bentonitisées. On les rencontre souvent à la base du dôme et elles ont une structure pseudo-fluidale marquée notamment par des flammes (lambeaux de roches étirées) de taille millimétrique à centimétrique, ce qui indique qu'elles ont été soudées à chaud.



Figure 40 : une photo qui montre une Pyroclastite au niveau de Roussel I

V.2.1.2.5 : Les basaltes

Au niveau de la carrière Roussel 1, les dykes de basaltes sont littéralement altérés, laissant place à des formations très friables dans lesquelles sont inclus des fragments de basalte non altérés.

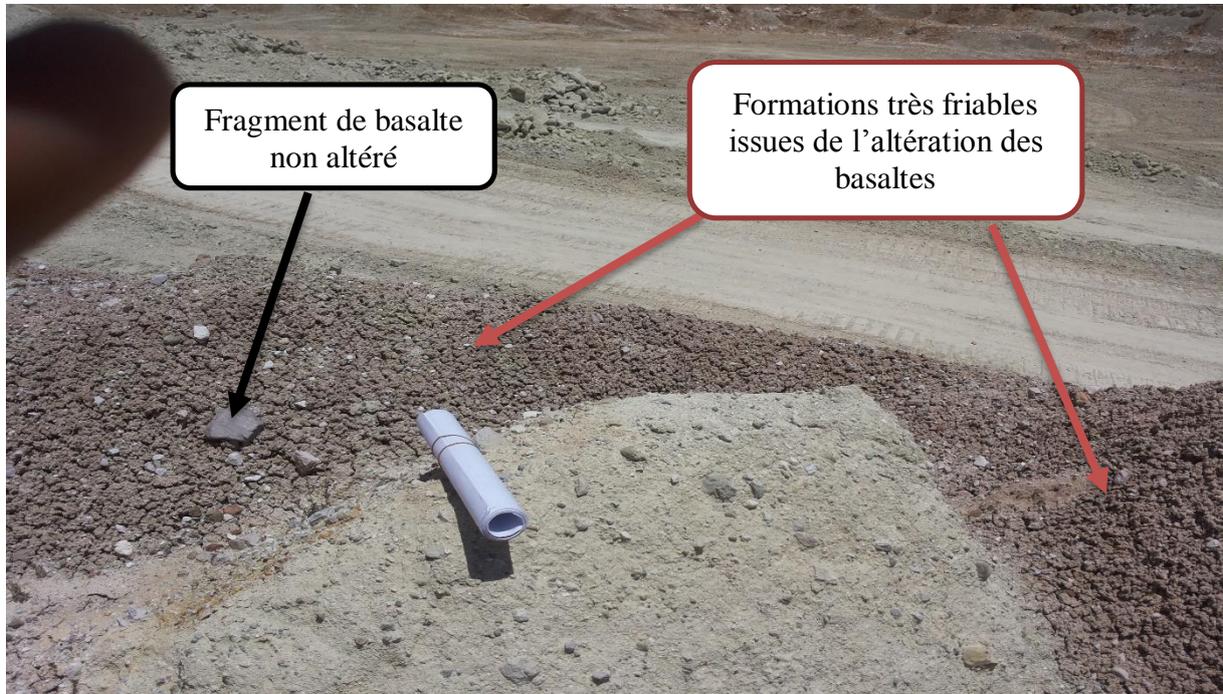


Figure 41: une photo qui montre des formations très friables issues de l'altération des basaltes et un fragment de basalte non altéré au niveau de Roussel I.



Figure 42: une photo qui montre des formations très friables issues de l'altération des basaltes au niveau de Roussel I.

V.2.2 : Géologie détaillée du gisement de Dar M'Barek

V.2.2.1 : Cadre structural et forme du gisement de Dar M'Barek

Le gisement est localisé dans les formations du Miocène supérieur, constituées de tufs rhyolitiques, gréseux et conglomératiques, de couleur gris clair à verdâtre. Les couches utiles rayonnent autour du dôme rhyolitique avec des pendages variant de 5 à 20°. A Dar M'Barek 1, ce sont les tufs rhyolitiques qui sont répandus, ils sont en position périclinale. Au sud du secteur, une nappe basaltique surmonte ces tufs et au sud-ouest ces derniers sont recoupés par une faille d'orientation NO-SE à rejet important (50 à 60 m) où s'est mise en place une extrusion rhyolitique.

Le gisement est de forme tabulaire, ouvert en plongé. Les tufs, localement altérés en bentonite, forment un amas lenticulaire épais de 76m, allongé en direction sub-méridionale sur une distance de 500m environ avec une largeur de quelques dizaines de mètres à 200-300m. Le contour de l'amas avec les tufs rhyolitiques encaissants est irrégulier, en forme de poche. L'amas se biseaute progressivement du nord vers le sud, il a un pendage OSO de 10 à 15°.

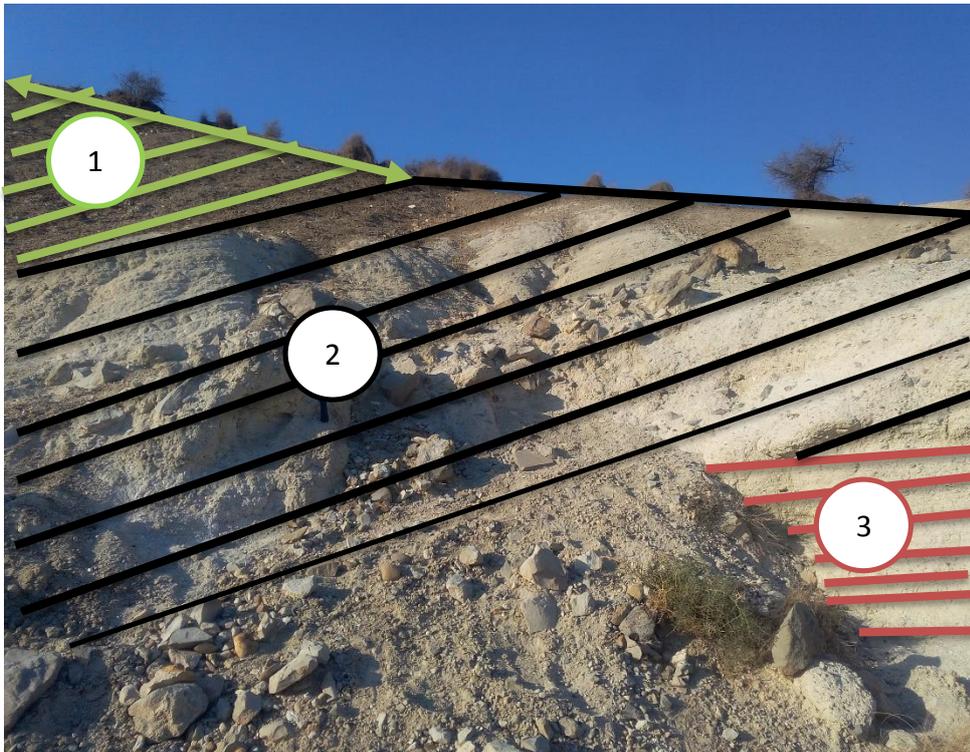


Figure 43 : Photo montrant la forme tabulaire et la variation des pendages et direction des couches bentonitisées.

- (1) L'encaissante issue de l'altération des coulées Basaltiques
- (2) Pyroclastites hétérométriques bentonitisées en parie (issues de la deuxième explosion volcanique, avec des blocs de rhyolites) ; Direction N110° Pendage 30°NW
- (3) Couche de bentonite de pendage N60° et Direction N60° issue de l'altération des tufs pyroclastites



Figure 44: Une faille Normale qui affecte les pyroclastites de Dar M'Barek

V.2.2.2 : Lithologie du gisement

V.2.2.2.1 : Les argiles bentonitiques

La bentonitisation des tufs est irrégulière, ce qui influe sur la qualité de l'argile brute. A côté des bentonites pures de couleur blanche, on trouve des bentonites gris verdâtres à texture bréchique (jusqu'à 30% de débris rhyolitiques) et des tufs bentonitisés en lits et lentilles de faible épaisseur et à des débris et blocs rhyolitiques.



Figure 45 : Photo de la carrière Dar M'Barek montrant les différentes couleurs des argiles bentonitiques (en juin 2017)

ST	N° DES ÉCHANT	INTERVAL ÉCHANT M		COLONNE LITHOLOGIQUE	DESCRIPTION DES ROCHES	Résultat d'analyses			
		De	A			RT75µ	Perte au Filtra	L 600 imm.	L600 16H
Sondage Tarière ST 1	1	0	3		Argiles bentonitiques de couleur jaunâtre à verdâtre, aspect savonneux à la touche, contient des débris de rhyolithes de taille mm.	20,40	20	21	28
	2	3	6			08,60	18	23	32
	3	6	9			07,00	17	30	34
	4	9	12			04,55	20	25	30
	5	12	15		Argiles bentonitiques de couleur verdâtre à grisâtre, contient des débris de rhyolithes de taille mm.	11,19	19	21	31
	6	15	18			10,67	28	16	20
	7	18	21			12,00	23	16	21
	8	21	24			17,50	21	19	26
	9	24	27			14,32	20	24	30
	10	27	30			16,50	21	21	26

Tab 16: lithologie de la Carrière Dar. M; Sondage tarière ST (BUMIGEME 2008), (X= 621 707,93; Y= 3 863 076,43; Z= 356,37; Profondeur : 30m)

	N° DES ÉCHANT	INTERVAL ÉCHANT M		COLONNE LITHOLOGIQUE	DESCRIPTION DES ROCHES	Résultat d'analyses			
		De	A			RT75µ	Perte au Filtra	L 600 imm.	L600 16H
;Sondage Tarière ST 5	1	0	3		Argiles bentonitiques de couleur blanchâtre, contient des débris de rhyolithes de taille cm	21,66	20	16	24
	2	3	6			26,19	22	14	20
	3	6	9		Argiles bentonitiques de couleur verdâtre, aspect savonneux à la touche, contient des débris de rhyolithes de taille cm	39,80	25	12	16
	4	9	12			41,19	ind	10	14
	5	12	15			34,31	ind	10	13
	6	15	18		Argiles bentonitiques de couleur verdâtre à marron, aspect savonneux à la touche, contient des débris de rhyolithes de taille cm	26,64	ind	11	14
	7	18	20			32,15	ind	11	14

Tab 17 : lithologie de la Carrière Dar. M; Sondage tarière ST5 (BUMIGEME 2008), (X= 621 689,75; Y= 3 863 216,21; Z= 357,62; Profondeur : 20m)



Figure 46 : Photo montrant des éléments grossiers contenus dans la bentonite de Dar M'Barek

L'encaissante du gisement bentonitique est essentiellement constitué par des formations sédimentaires conglomératiques du Plio-quaternaire ainsi que les formations issues de l'altération des basaltes.



Figure 47: photo montrant des formations sédimentaires conglomératiques du Plio-quaternaire

V.2.2.2.2 : Les pyroclastites et tufs pyroclastiques

1. Description Macroscopique

Les pyroclastites et tufs pyroclastiques apparaissent au niveau de la carrière Dar M'Barek 1 sous forme de tufs volcaniques de couleur jaunâtre et blanchâtre à verdâtre formées essentiellement de fragments de roches volcaniques plus ou moins anguleux de taille centimétrique à millimétrique, et de grains de quartz, de feldspaths et d'opales, tous emballés dans une matrice très fine de couleur gris blanchâtre, plus ou moins altérées en argiles.

Les pyroclastites ont un aspect chaotique, monogénique (origine volcanique) et hétérogénique plus ou moins classées mais elles montrent une tendance générale vers une séquence à granoclassement normal (aspect stratifié); et sont localement bentonitisées.

Les tufs pyroclastiques sont des roches à texture chaotique prédominés par une matrice argileuse constituée essentiellement de cendres et poussières volcaniques. Elles ont une structure pseudo-fluidale marquée notamment par des flammes (lambeaux de roches étirées) de taille millimétrique à centimétrique, ce qui indique qu'elles ont été soudées à chaud. La phase clastique de ces roches est essentiellement constituée de minéraux et fragment de minéraux ou des débris (surtout des quartzs et des feldspaths), des fragments de verre volcanique et des roches rhyolitiques.

Les pyroclastites et tufs pyroclastiques sont localement bentonitisées et acquiert une couleur jaunâtre en général et un touché savonneux.

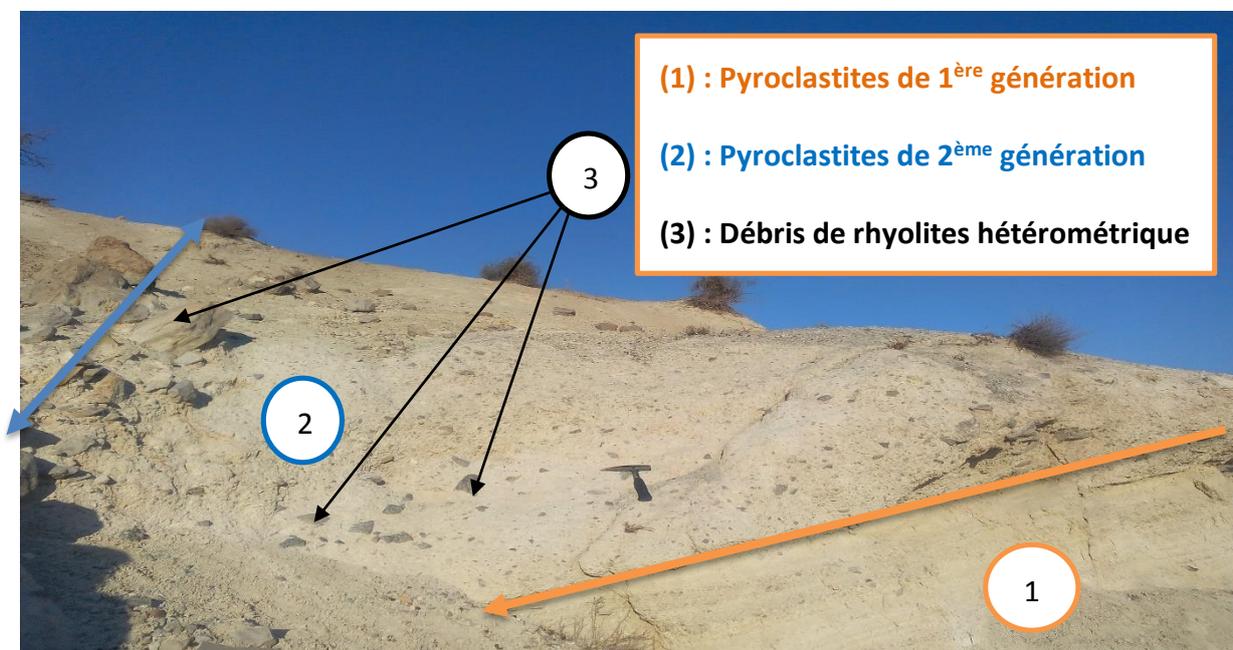


Figure 48: photo montrant la fluidité, l'aspect chaotique et hétérogénique et le degré d'altération des pyroclastites de Dar M'Barek 1.



Figure 49: photo montrant les tufs pyroclastiques de Dar M'Barek 1.

2. Description microscopique tufs pyroclastiques

Au microscope tufs pyroclastiques consolidés montrent une matrice altérée en argile renfermant des phénocristaux de quartz, de Feldspaths, et des baguettes de Biotite.

Les Feldspaths : ils apparaissent sous formes de cristaux automorphes, parfois à bords subarrondis isolé dans la roche pyroclastique.

Le Quartz : Il constitue la phase minéralogique dominante et existe partout dans la roche. La proportion y est nettement forte d'où le nom de la roche « tuf pyroclastique » = cendres grossiers à Quartz. En général, il se présente sous forme de cristaux prismatiques, xénomorphe, mais aussi sous forme de cristaux isolés dans la mésostase ou associé à d'autres individus comme les oxydes.

La Biotite : Les fragments de Biotite sont rares.

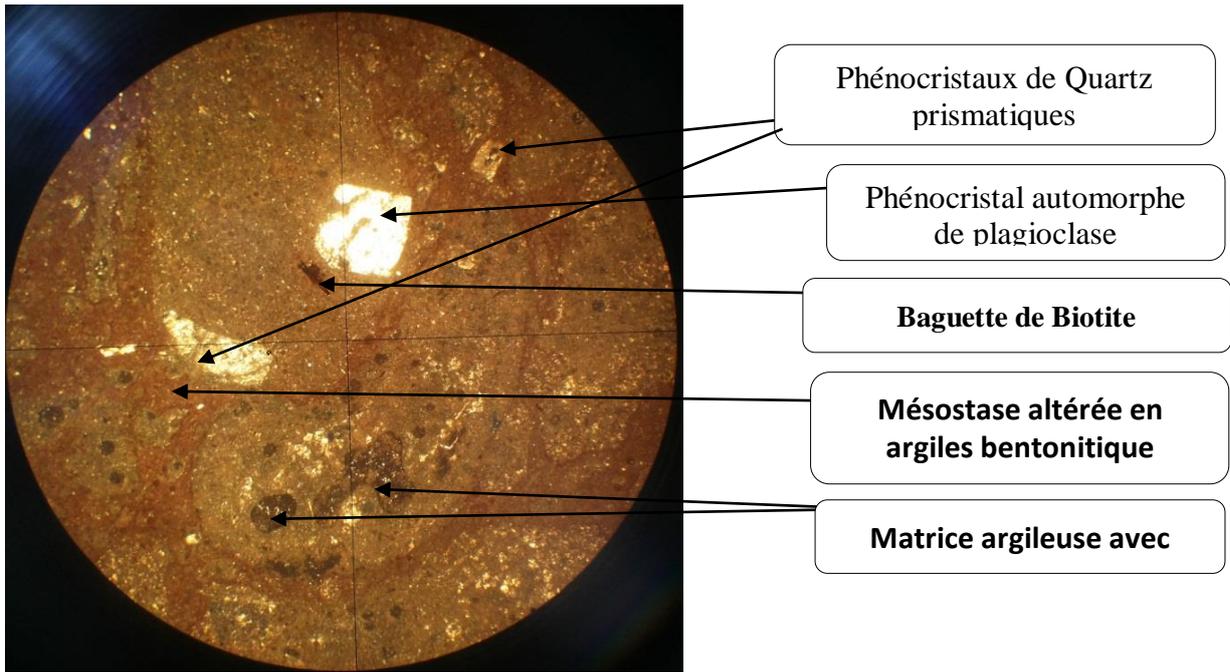


Figure 50 : Microphotographie montrant un tuf pyroclastique altérée (LPA, Gx10)

V.2.2.2.3 : Les basaltes

1. Description Macroscopique

Du point de vue macroscopique, les basaltes de Dar M'Barek apparaissent sous forme massive, avec une altération en boules et des petits filons de quartz. Elles sont affectées par l'altération argileuse de couleur jaune verdâtre qui se développe sous forme de filons.

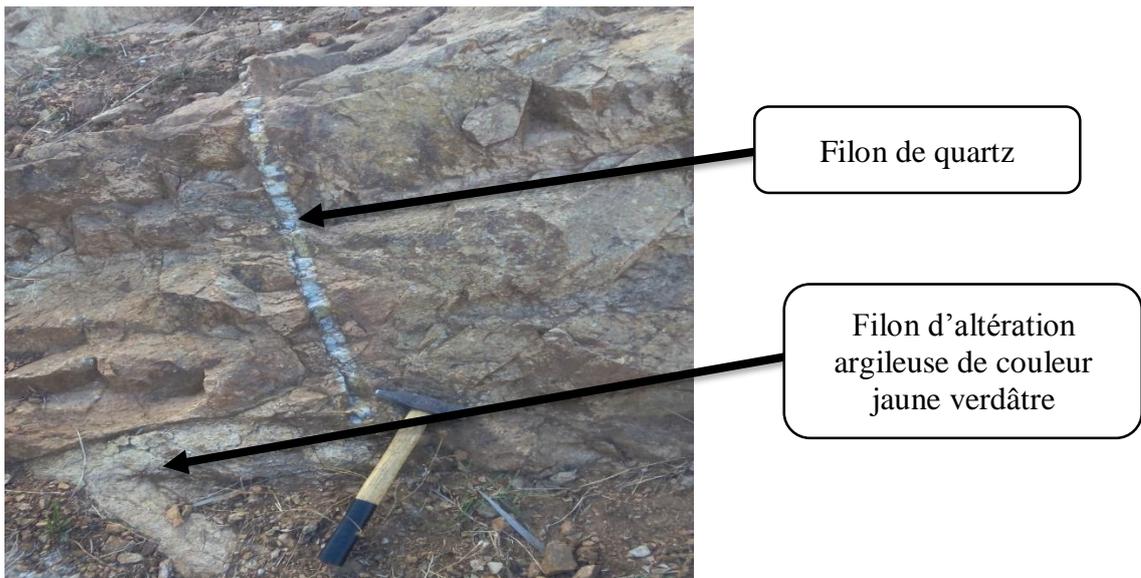


Figure 51 : photo montrant l'affleurement des basaltes massives de Dar M'Barek

L'altération de ces basaltes donne naissance à des formations argileuses très friables dans lesquelles on trouve des cristaux de gypse de taille millimétrique à centimétrique.

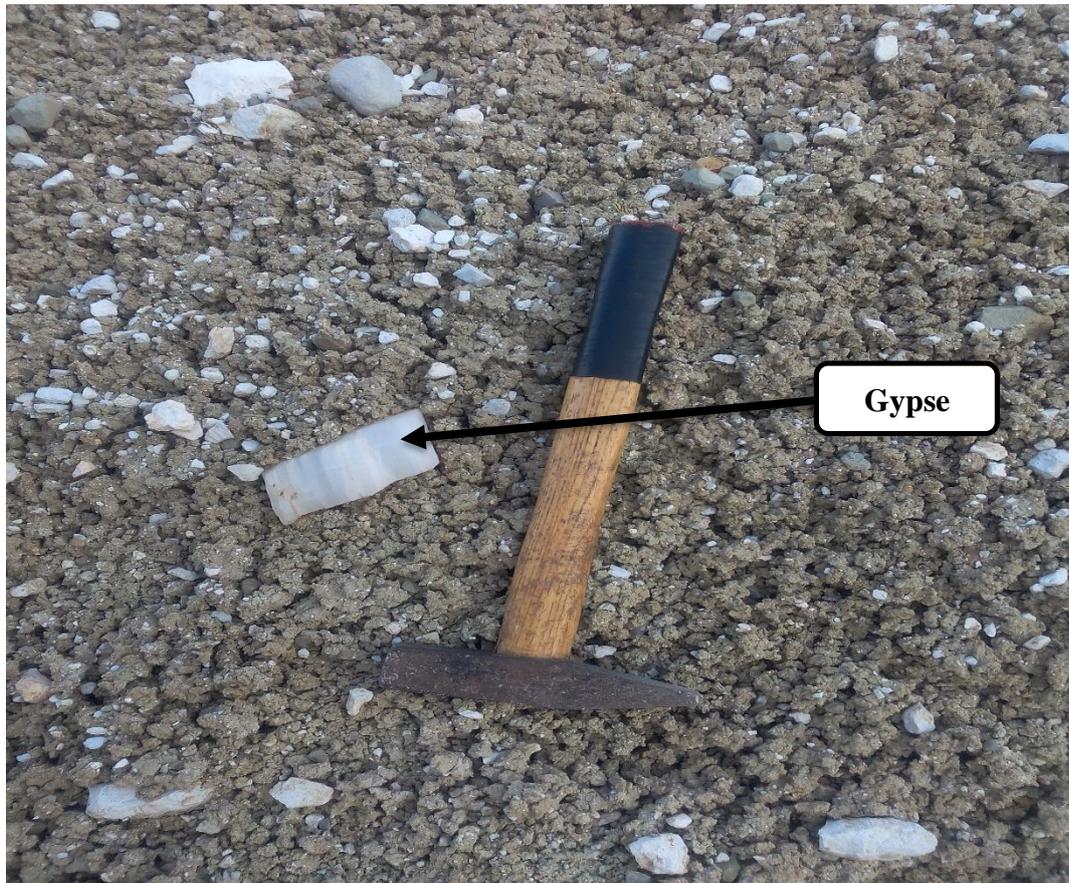


Figure 52 : Photos montrant des formations argileuses issues de l'altération des basaltes cristaux de gypse

2. Description microscopique

- a) **La mésostase** : elle présente le plus souvent une couleur brune claire et parfois sombre due aux hydroxydes de fer rougeâtre. La mésostase hyaline est constamment pigmentée par de nombreuses granulations d'opakes et d'hydroxydes à section arrondie. Elle englobe en partie d'abondants microlites de plagioclases dispersées et orientées d'une façon quelconque. On observe aussi des veinules à remplissage secondaire qui sillonnent la mésostase.
- b) **Les phénocristaux** : ils sont constitués de Feldspaths et xénolites de Quartz

Xénolites de Quartz : on les rencontre rarement et se présente généralement sous forme de cristaux xénomorphes avec des golfes de corrosion ou arrondie. La présence du Quartz est toujours marquée par l'apparition de deux auréoles bien distinguées, la première étant de couleur brune et entourée par une deuxième de teinte jaune orangé.

Feldspaths : on trouve essentiellement des plagioclases automorphes et à bords nets qui sont très dominantes. Ils apparaissent sous forme de cristaux isolés dans la mésostase. Le zonage, fréquent, est l'une des caractéristiques essentielles de ce minéral. Il s'agit le plus souvent d'inclusions nuageuses de fines particules généralement disposées en forme d'auréoles le long du zonage.

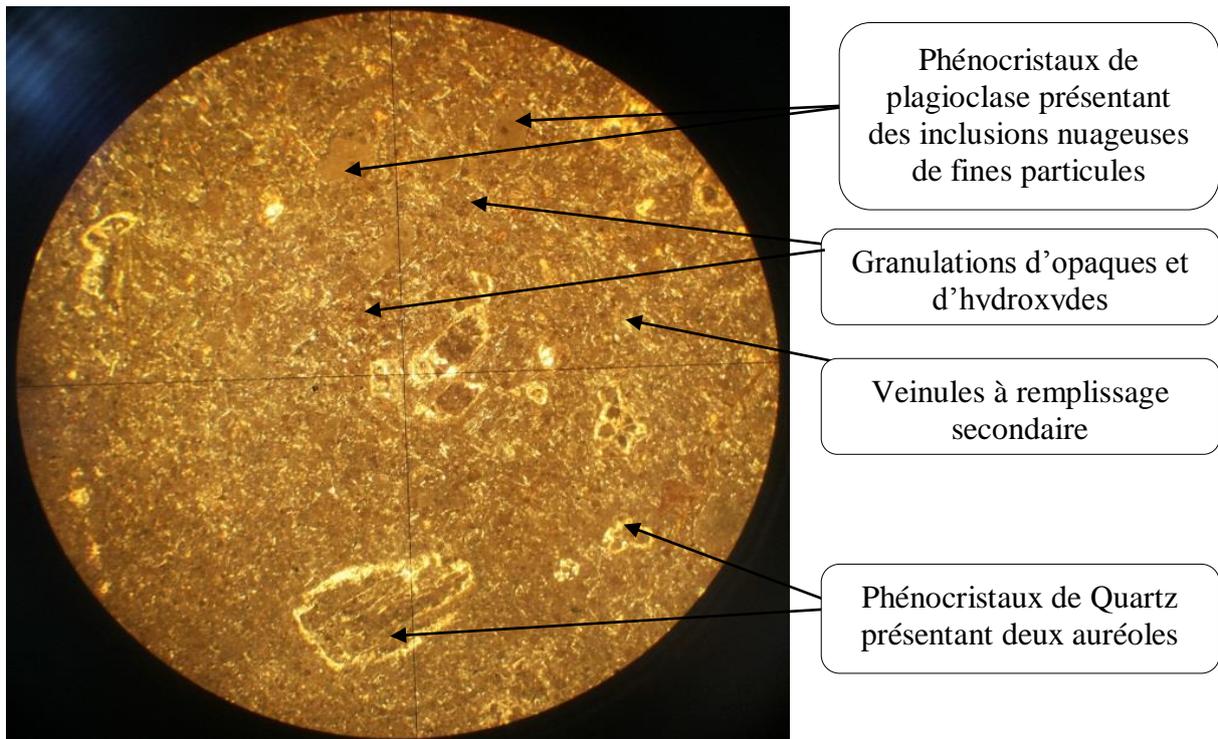


Figure 53 : Microphotographie d'une Basalte de Dar M'Barek

IV.3.3 : Etude Minéralogique des bentonites par Diffraction des rayons X (DRX)

IV.3.3.1 : But de l'Analyse

Cette analyse a été effectuée dans le but d'identifier les phases minérales argileuses et la composition minéralogique des argiles bentonitiques de Roussel I et Dar M'Barek I. Trois échantillons ont fait objet de cette analyse : Un échantillon prélevé au niveau du site de Roussel I et deux autres échantillons prélevés au niveau du site Dar M'Barek I.

IV.3.3.2 : Définition et Principe de la méthode DRX

Les RX sont un rayonnement électromagnétique invisible à l'œil nu et dont les longueurs d'onde sont comprises entre 0.1Å et 100Å (1Å = 10⁻¹⁰m). Dans le spectre électromagnétique ils sont compris entre les rayons gamma et les UV.

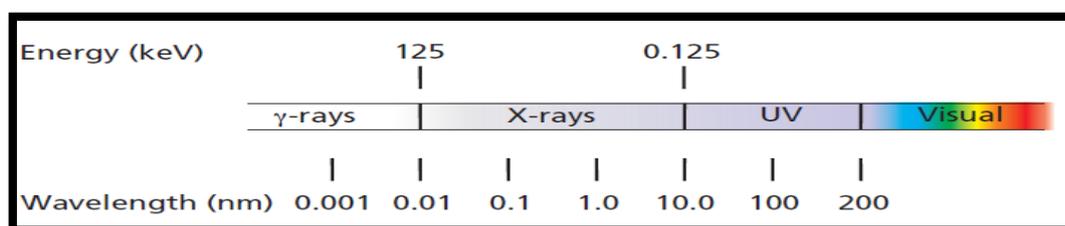


Figure 54 : Les RX dans le spectre électromagnétique

La DRX, également appelée radiocristallographie est définie comme la diffraction d'un faisceau monochromatique de RX par la matière cristalline. La technique consiste à envoyer un faisceau monochromatique de RX sur un échantillon, en poudre ou en plaquette solide et un détecteur fait le tour pour mesurer l'intensité des rayons X réfléchis selon la direction. Elle utilise les RX dont $0.5 \text{ \AA} \leq \lambda \leq 2.5 \text{ \AA}$ et n'est pas utilisable sur la matière amorphe, (Pierre G., 2012).

En rappel, un cristal est un agencement périodique tridimensionnel d'atomes ou de molécules disposés selon les plans réticulaires. Ces derniers se regroupent en familles repérée chacune par son indice de Miller (hkl).

Lorsqu'un échantillon est bombardé par un faisceau de RX, on obtient une diffraction lorsque la condition de Bragg est satisfaite : $2d\sin\theta=n\lambda$,

Où : θ est l'angle d'incidence ; n est un nombre entier appelé «ordre de diffraction» ; λ est la longueur d'onde des rayons X, et d distance inter-réticulaire séparant deux plans réticulaires d'une même famille

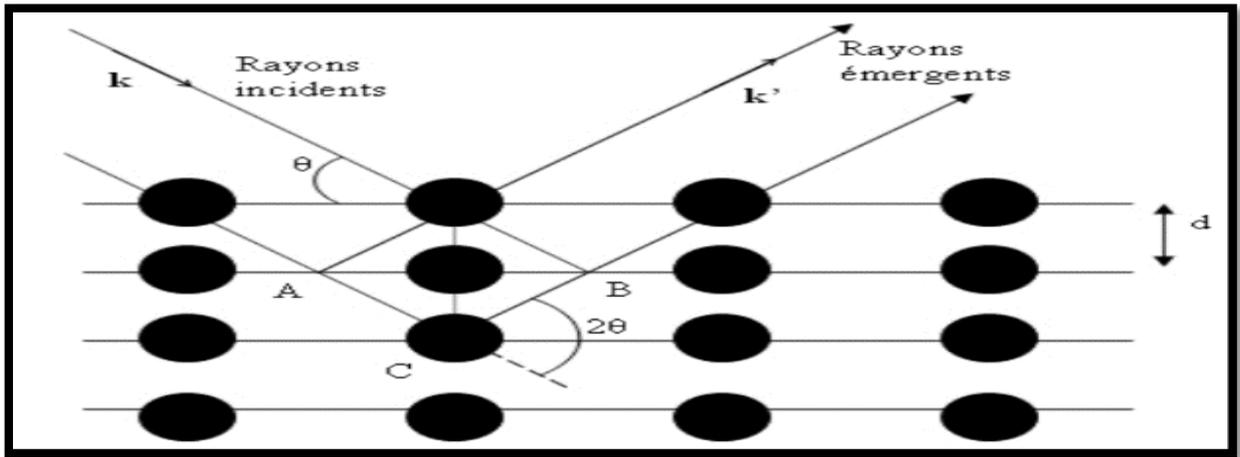


Figure 55 : Principe de la DRX

A l'angle 2θ , chaque plan réticulaire, selon son orientation, réfléchit le rayonnement avec une intensité qui lui est propre et constitue alors sa signature spectrale. La DRX consiste donc à enregistrer les différentes signatures spectrales des plans réticulaires d'un échantillon et à l'aide de l'équation de Bragg à calculer les distances inter-réticulaires et ainsi de déterminer les familles de plans présentes dans l'échantillon.

IV.3.3.3 : Analyse des échantillons et résultats

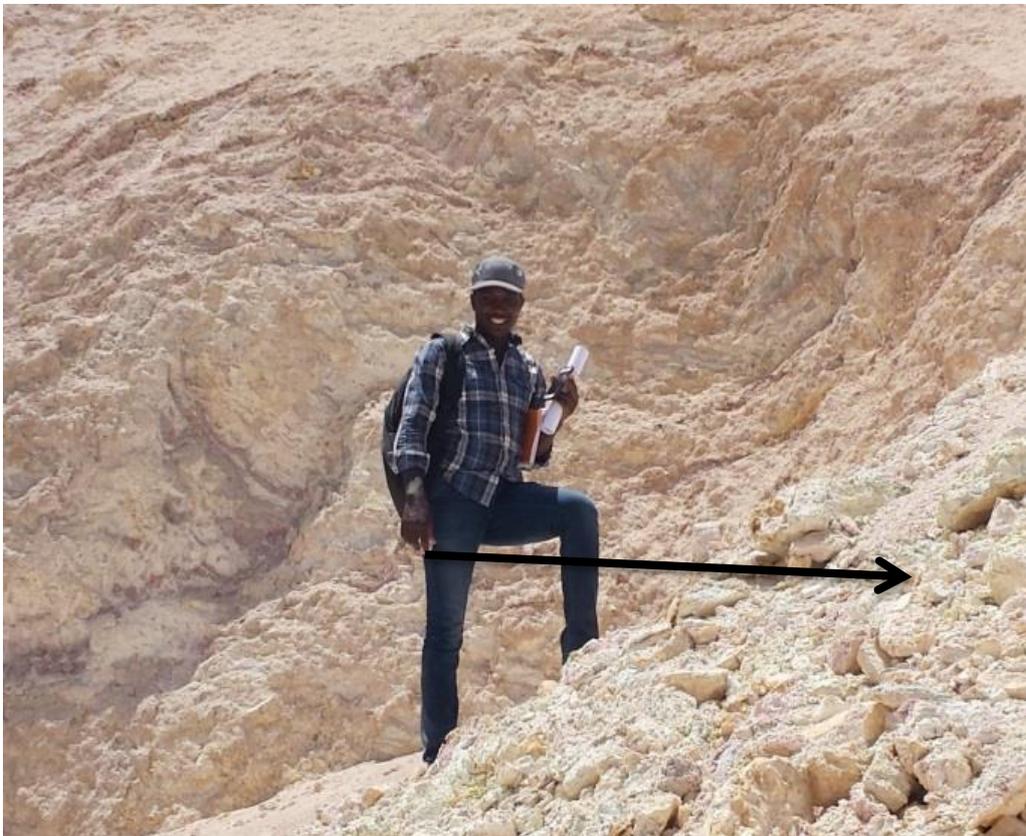
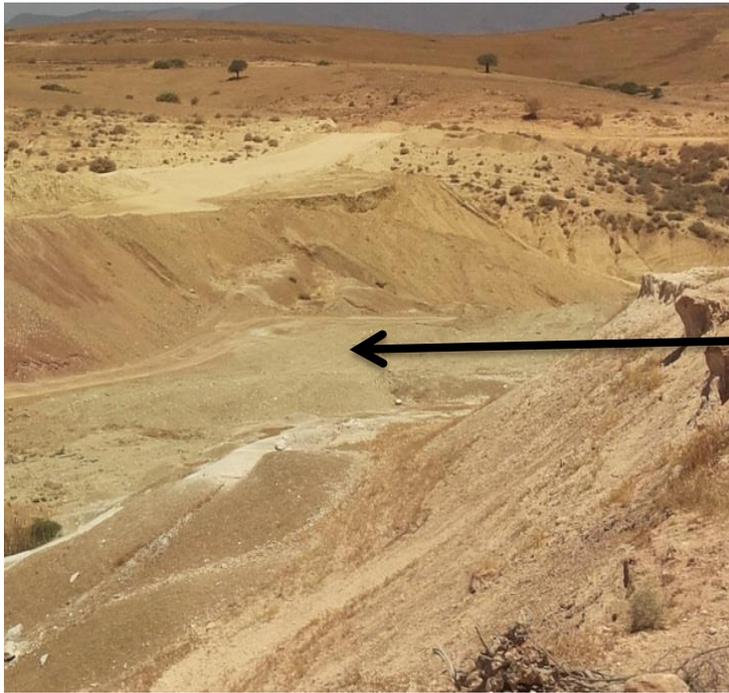


Figure 56 : 1^{ère} échantillon de Bentonite blanche (ROUSSEL I)



Zone de l'échantillonnage

Figure 57 : 2^{ème} échantillon de Bentonite gris verdâtre (DAR M'BAREK I)



Zone de l'échantillonnage

Figure 58 : 3^{ème} échantillon : Bentonite rougeâtre (DAR M'BAREK I)

Counts

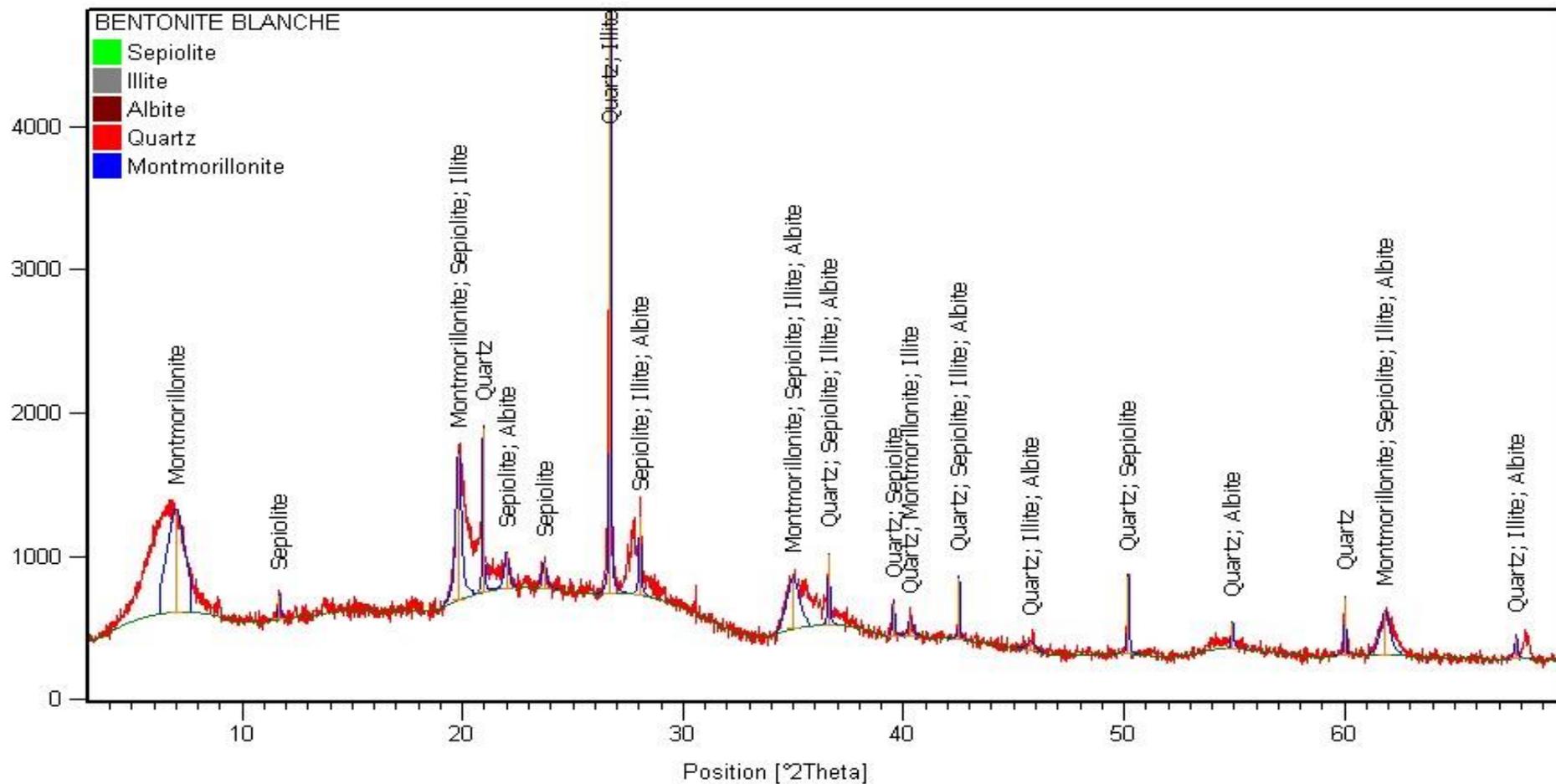


Figure 59 : Diffractogramme du 1^{er} échantillon (Bentonite blanche)

Le 1^{er} échantillon est constitué essentiellement de :

- Sépiolite: $Mg_8 Si_{12} O_{30} (OH)_4 (OHH^+)_4 .8H_2 O$
- Illite: $(K, H_3 O) Al_2 Si_3 Al O_{10} (OH)_2$
- Albite : $(Na, Ca) (Si, Al)_4 O_8$
- Quartz : SiO_2
- Montmorillonite : $(Na, Ca)_{(0,3)} (Al, Mg)_2 Si_4 O_{10} (OH)_2 .x H_2 O$

No.	Ref. Code	Score	Compound Name	Chemical Fo...	Scal...	Displa...	ML	NML	IL	RIR
1	00-013-0259	26	Montmorillonit...	Na0.3 (Al, ...	0,160	0,000	6	1	7	0,000
2	00-029-1498	21	Montmorillonit...	Na0.3 (Al, ...	0,160	0,000	4	1	6	0,000
3	00-003-0019	21	Bentonite	Na - Al - Si ...	0,066	0,000	7	3	9	0,000
4	00-003-0015	19	Montmorillonit...	(Na, Ca)0....	0,124	0,000	5	2	9	0,000
5	00-002-0219	19	Nontronite	Fe2 O3 !4 Si...	0,052	0,000	5	2	6	0,000
6	00-002-0017	18	Nontronite	Na0.33 Fe2 ...	0,142	0,000	7	1	17	0,000
7	00-042-0619	18	Volkonskoite	Ca0.3 (Cr, ...	0,116	0,000	5	2	8	0,000
8	00-029-1497	17	Nontronite-15A	Na0.3 Fe2 S...	0,092	0,000	4	1	8	0,000
9	00-002-0018	17	Attapulgit	Mg Al Si4 O...	0,161	0,000	6	2	7	0,000
10	00-051-1504	17	Ibiscumite	(Ca0.12 Na...	0,045	0,000	10	3	14	0,000
11	00-003-0010	15	Montmorillonite	(Na, Ca)0....	0,103	0,000	7	2	11	0,000
12	00-018-0877	15	Iaenite	(Fe, Ni)	0,096	0,000	8	1	17	0,000
13	01-073-1407	13	Silicon carbide - ...	Si C	0,053	0,000	20	5	80	0,890
14	00-050-1589	13	Surite	Pb (Pb, Ca ...	0,053	0,000	7	1	26	0,000
15	00-022-0956	13	Iosudite	Na0.3 Al6 (...	0,132	0,000	6	2	19	0,000
16	01-072-1625	12	Moissanite 24V...	Si C	0,055	0,000	8	1	34	1,040
17	00-003-0180	12	Nontronite clay	Fe2 Si4 O10...	0,037	0,000	5	1	6	0,000
18	00-002-0014	12	Montmorillonit...	Na Mg Al Si...	0,077	0,000	7	3	16	0,000
19	00-017-0515	11	Bertrandite	Be4 (O H)...	0,113	0,000	7	3	27	0,000
20	00-050-1684	11	Meixnerite	[Mg5 Al3 (...	0,080	0,000	5	2	14	7,000
21	00-022-0022	11	Ahmogen, syn	Al2 (S O4)...	0,185	0,000	12	5	42	0,000
22	00-002-0031	10	Nontronite (Stil...	Na0.3 Fe2 S...	0,174	0,000	6	2	14	0,000
23	00-029-1495	10	allevardite	K1.2 Al4 Si...	0,064	0,000	8	1	15	0,000
24	00-002-1053	10	Cobaltite	Co As S	0,039	0,000	4	2	14	0,000
25	00-003-0195	10	Olivine	Mg Fe Si O4	0,069	0,000	8	1	23	0,000
26	00-029-1426	9	Petscheckite, h...	U +4 Fe +2 ...	0,063	0,000	4	2	10	0,000
27	00-039-1196	9	Moissanite-15V...	Si C	0,049	0,000	5	2	15	0,000
28	00-046-1396	9	Ishernichite	(Ca, Na) S...	0,206	0,000	10	3	48	0,000
29	00-042-1360	9	Moissanite-SVI I...	Si C	0,069	0,000	5	1	16	0,000
30	00-014-0280	8	Pyrargyrite	Ag3 Sb S3	0,077	0,000	7	1	22	0,000

Tab 18: Les différentes composantes minéralogique de la Bentonite Blanchâtre

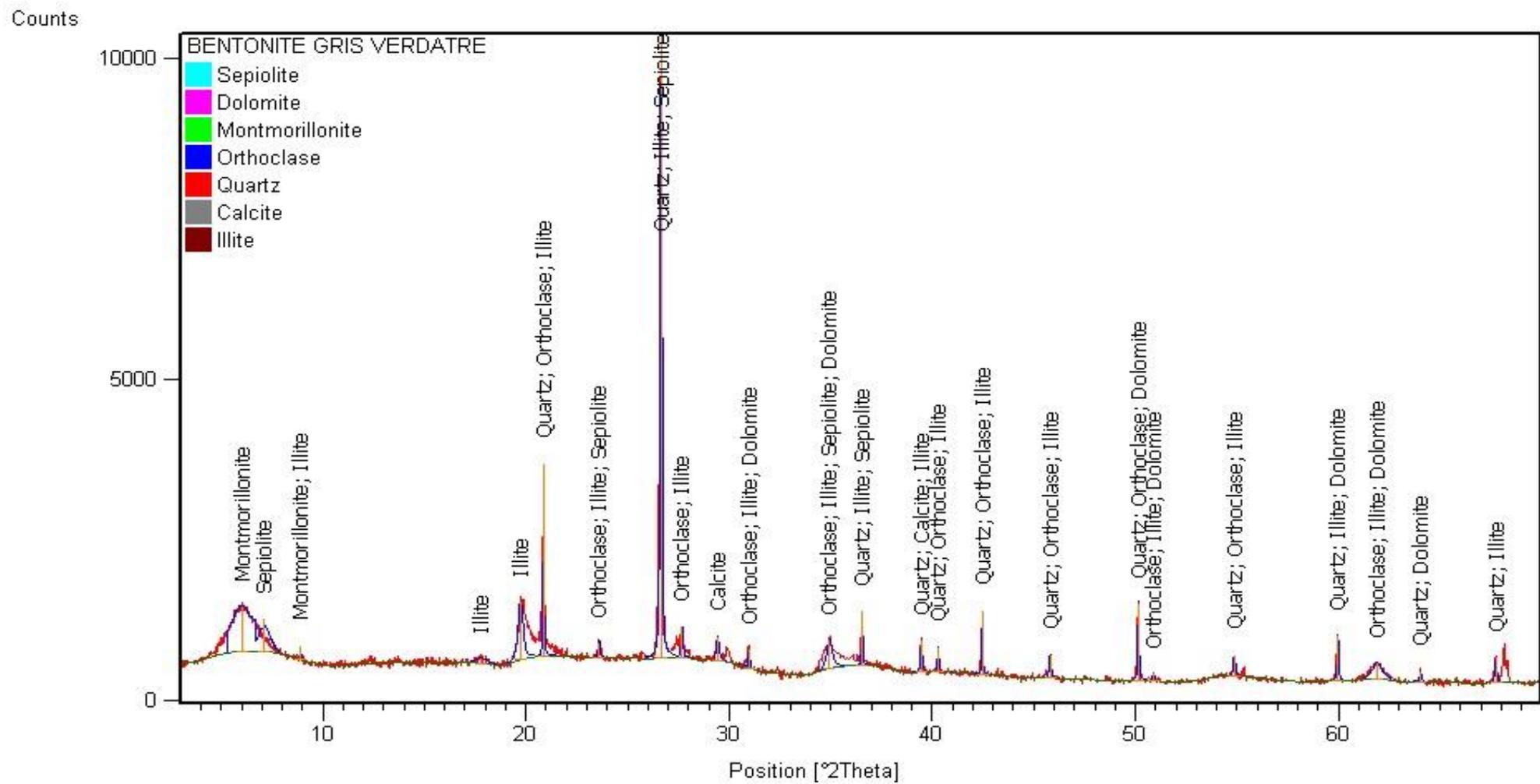


Figure 60 : Diffractogramme du 2^{ème} échantillon (Bentonite gris verdâtre à tendance jaunâtre)

Le 2^{ème} échantillon est constitué essentiellement de :

- Sépiolite: $Mg_8 Si_{12} O_{30} (OH)_4 (OHH^+)_4 \cdot 8H_2O$
- Illite: $(K, H_3O) Al_2 Si_3 Al O_{10} (OH)_2$
- Montmorillonite : $(Na, Ca)_{(0.3)} (Al, Mg)_2 Si_4 O_{10} (OH)_2 \cdot x H_2O$
- Orthoclase: $K_{(0.58)} Na_{(0.42)} Al Si_3 O_8$
- Quartz : SiO_2
- Calcite: $Ca CO_3$
- Dolomite: $(Ca, Mg) CO_3$

No.	Ref. Code	Score	Compound Name	Chemical Fo...	Scal...	Displa...	ML	NML	IL	RIR
1	00-013-0259	24	Montmorillonit...	Na0.3 (Al, ...	0,050	0,000	6	1	7	0,000
2	00-005-0068	23	Saponite	Ca0.5 (Mg, ...	0,064	0,000	5	1	13	0,000
3	00-041-1447	20	Yakhontovite	Ca0.3 (Cu1 ...	0,061	0,000	4	1	5	0,000
4	00-029-1498	18	Montmorillonit...	Na0.3 (Al, ...	0,050	0,000	4	1	6	0,000
5	00-029-1500	18	Sauconite-15A	Na0.3 Zn3 (...	0,060	0,000	4	1	6	0,000
6	00-022-0022	17	Ahnogen, syn	Al2 (S O4) ...	0,046	0,000	12	1	42	0,000
7	00-046-1321	11	Maricopaite	Pb7 Ca2 (Si ...	0,053	0,000	10	1	40	0,000
8	00-012-0219	10	Montmorillonit...	Na0.3 (Al ...	0,019	0,000	6	1	11	0,000
9	00-033-1279	10	Revdite	Na2 Si2 O5 ...	0,058	0,000	14	1	47	0,000
10	01-085-1405	7	Potassium mang...	K2.16 Mn1 ...	0,405	0,000	23	1	141	9,170
11	00-012-0216	7	Sericite [NR]	K Al2 (Si3 ...	0,188	0,000	9	1	24	0,000
12	00-029-1410	5	Chantalite	Ca Al2 Si O...	0,018	0,000	9	1	28	0,000
13	00-026-1226	4	Sepiolite	Mg4 Si6 O1...	0,043	0,000	9	1	31	0,000
14	01-086-0677	4	Yuanfuliite	(Fe , Al , Ii...	0,037	0,000	12	1	65	1,530
15	00-013-0585	4	Vanadinite	Pb5 (V O4 ...	0,019	0,000	11	1	39	0,000
16	01-085-1821	3	Joesmithite	(Pb0.93 KO...	0,013	0,000	27	1	148	0,930
17	00-031-0261	2	Scawtite	Ca7 (Si6 O...	0,092	0,000	17	1	65	0,000
18	01-076-0847	1	Vermiculite 2V...	Mg3.41 Si2....	7,598	0,000	27	1	137	8,600
19	01-084-0768	1	Magnesium ger...	Mg Ge O3	0,879	0,000	25	1	118	1,350
20	01-080-2298	1	I titanite alumin...	Ca.984 (Ii...	0,523	0,000	13	1	66	1,350
21	01-089-6455	0	Clinocllore IIb-...	Mg3 (Mg2 ...	1,000	0,000	19	0	102	3,630
22	01-088-0834	0	Augite	(Mg , Fe , ...	1,000	0,000	19	0	71	1,200
23	01-088-0832	0	Augite	(Mg , Fe , ...	1,000	0,000	18	0	73	1,190
24	01-089-0832	0	Calcium magnes...	Ca1.003 (...	1,000	0,000	21	0	75	1,300
25	01-088-0853	0	Augite	(Mg , Fe , ...	1,000	0,000	19	0	72	1,200
26	01-072-0396	0	pentalead tris(v...	Pb5 (V O4 ...	1,000	0,000	14	0	70	6,000
27	01-089-0835	0	Calcium magnes...	Ca1.007 (...	1,000	0,000	16	0	67	1,380
28	01-089-6519	0	Cholalite	(Cu2.79 Sb...	1,000	0,000	18	0	72	3,840
29	01-072-1446	0	calcium mangan...	Ca1.05 Mn0...	1,000	0,000	29	0	141	1,040
30	01-076-0237	0	Calcium magnes...	Ca0.8 Mg1 ...	1,000	0,000	22	0	73	1,120

Tab 19: Autres différentes composantes minéralogique de la Bentonite gris verdâtre

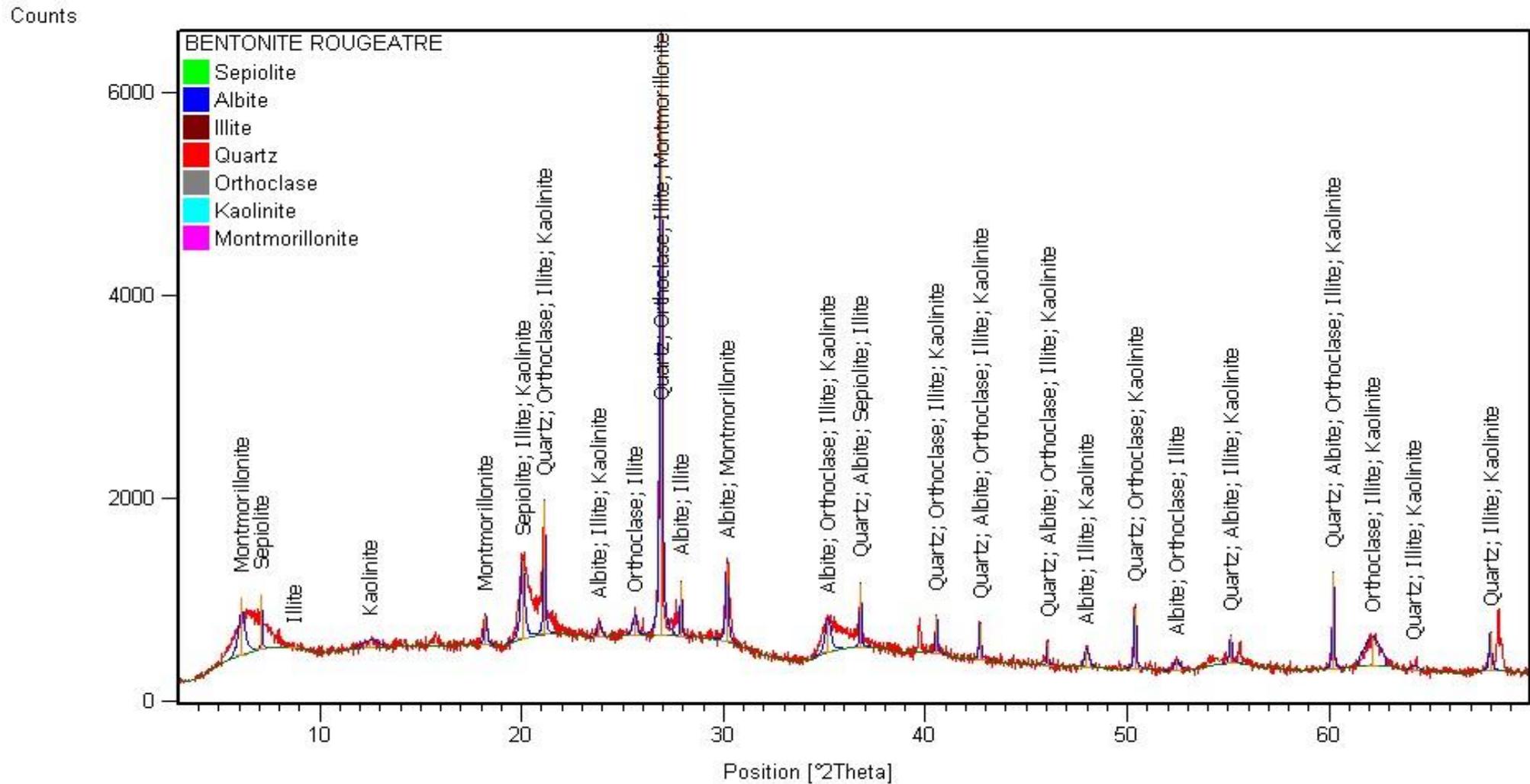


Figure 61 : Diffractogramme du 3^{ème} échantillon : Bentonite rougeâtre à l'état sèche (couleur rose sur l'affleurement hydraté)

Le 3^{ème} échantillon est constitué essentiellement de :

Montmorillonite : $(\text{Na}, \text{Ca})_{(0,3)} (\text{Al}, \text{Mg})_2 \text{Si}_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2 \cdot x \text{H}_2 \text{O}$

Sépiolite: $\text{Mg}_8 \text{Si}_{12} \text{O}_{30} (\text{OH})_4 (\text{OHH}^+)_4 \cdot 8\text{H}_2 \text{O}$

Illite: $(\text{K}, \text{H}_3 \text{O}) \text{Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al} \text{O}_{10} (\text{OH})_2$

Kaolinite : $\text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_5 (\text{OH})_4$

Albite : $(\text{Na}, \text{Ca}) (\text{Si}, \text{Al})_4 \text{O}_8$

Orthoclase: $\text{K}_{(0,58)} \text{Na}_{(0,42)} \text{AlSi}_3 \text{O}_8$

Quartz : SiO_2

No.	Ref. Code	Score	Compound Name	Chemical Fo...	Scal...	Displa...	ML	NML	IL	RIR
1	01-073-2312	29	Faujasite (Al red...	H7.7 Al42.S...	0,064	0,000	22	1	102	11,150
2	01-089-6454	28	Clinocllore Ib-...	Mg3 (Mg2 ...	0,056	0,000	22	1	119	3,670
3	00-013-0259	21	Montmorillonit...	Na0.3 (Al, ...	0,067	0,000	5	1	7	0,000
4	00-029-1498	19	Montmorillonit...	Na0.3 (Al, ...	0,067	0,000	4	1	6	0,000
5	00-029-1433	17	Falcondoite	(Ni, Mg)4 ...	0,037	0,000	7	1	19	0,000
6	01-085-1729	17	Mixite	Bi.66 Ca.34 ...	0,032	0,000	13	1	57	10,000
7	01-072-1759	16	Cryptohalite	(N H4)2 Si...	0,025	0,000	5	1	13	3,320
8	01-089-0844	16	Kalifersite	K5 Fe7 Si20...	0,022	0,000	32	1	127	2,930
9	01-075-1597	15	Octamagnesium...	Mg8 (O H)...	0,038	0,000	22	3	126	5,070
10	00-022-0022	15	Ahnogen, syn	Al2 (S O4)...	0,054	0,000	15	1	42	0,000
11	00-002-0037	14	Montmorillonite	Al Si2 O6 (...	0,037	0,000	6	1	8	0,000
12	00-029-1495	12	allewardite	K1.2 Al4 Si...	0,092	0,000	6	1	15	0,000
13	01-087-0678	10	Sodium potassi...	(Na4 K2 Cl...	0,027	0,000	14	1	66	1,060
14	00-002-0027	10	Nontronite	(Fe, Al) (...	0,070	0,000	7	1	14	0,000
15	00-035-0556	9	Petersite-(Y)	Cu6 Y (P O...	0,019	0,000	10	1	32	0,000
16	00-016-0360	9	Ahnogen	Al2 (S O4)...	0,093	0,000	15	1	39	0,000
17	00-007-0077	8	Clinocllore	Mg - Fe - Al...	0,093	0,000	8	1	23	0,000
18	00-029-1187	8	Liottite	(Ca, Na)4 ...	0,073	0,000	9	1	56	0,000
19	00-013-0595	8	Sepiolite	Mg4 Si6 O1...	0,037	0,000	8	1	39	0,000
20	00-007-0165	8	Clinocllore-1V...	(Mg, Al, F...	0,080	0,000	8	1	25	0,000
21	00-007-0160	8	kotschubeite	(Mg, Cr)6 ...	0,080	0,000	9	1	22	0,000
22	00-041-1486	7	Anorthite, orde...	Ca Al2 Si2 O8	0,010	0,000	16	1	69	0,410
23	01-074-2068	7	Bavenite	Ca4 Be2.5 ...	0,053	0,000	35	1	144	0,460
24	00-033-0868	6	Hematolite	(Mn +2, M...	0,102	0,000	12	1	49	4,260
25	00-047-1844	6	Sahiotite	Li0.5 Na0.5...	0,043	0,000	9	1	26	0,000
26	01-086-0942	5	Pigeonite	Mg1.13 Fe0...	0,008	0,000	32	1	122	0,540
27	00-003-0195	5	Olivine	Mg Fe Si O4	0,074	0,000	10	1	23	0,000
28	01-086-0163	5	Iron magnesium...	(Fe0.232 M...	0,008	0,000	32	1	122	0,540
29	01-088-1916	5	Enstatite, ferroan	(Mg1.014 F...	0,008	0,000	30	1	122	0,530
30	01-088-1915	5	Enstatite, ferroan	(Mg1.01 Fe...	0,008	0,000	32	1	125	0,530

Tab 20: Autres différentes composantes minéralogique de la Bentonite rougeâtre de Dar M'Barek

IV.3.3.4 : Interprétation des résultats

Les résultats des analyses DRX montrent que la composition minéralogique des argiles bentonitiques (en d'autre terme la qualité) diffère d'un point à l'autre de l'échantillonnage, et mettent en évidence les différentes phases argileuses et les minéraux secondaires issues de l'altération.

Les minéraux argileux :

- Montmorillonite : $(\text{Na}, \text{Ca})_{(0.3)} (\text{Al}, \text{Mg})_2 \text{Si}_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2 \cdot x \text{H}_2 \text{O}$
- Sépiolite: $\text{Mg}_8 \text{Si}_{12} \text{O}_{30} (\text{OH})_4 (\text{OHH}^+)_4 \cdot 8\text{H}_2 \text{O}$
- Illite: $(\text{K}, \text{H}_3\text{O}) \text{Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al} \text{O}_{10} (\text{OH})_2$
- Kaolinite : $\text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_5 (\text{OH})_4$

Autres minéraux :

- Albite : $(\text{Na}, \text{Ca}) (\text{Si}, \text{Al})_4 \text{O}_8$
- Orthoclase: $\text{K}_{(0.58)} \text{Na}_{(0.42)} \text{AlSi}_3 \text{O}_8$
- Quartz : SiO_2

Les carbonates et sulfates :

- Calcite: CaCO_3
- Dolomite: $(\text{Ca}, \text{Mg}) \text{CO}_3$
- Gypse: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

IV. 3 : CONCLUSION

Les gisements d'argile bentonitique de Roussel I et Dar Barek I sont des gisements exogènes dérivant de l'altération in situ des cendres volcaniques (tufs pyroclastiques) et des formations rhyolitiques altérées et transformées en argiles bentonitiques.

Au microscope, les rhyolites montrent des phénocristaux (Quartz ; des Feldspaths (plagioclase, feldspaths potassique, Sanadine) ; Biotites et Minéraux opaques, une mésostase et une texture hyaline porphyrique. Les tufs pyroclastiques consolidés, quant à eux, montrent une matrice altérée en argile renfermant des phénocristaux de quartz, de Feldspaths, et des baguettes de Biotite. Les études macroscopiques et microscopiques des roches montrent aussi que l'altération se fait préférentiellement à partir des fractures et axes de fluidalité pour les rhyolites (d'où les rhyolites compacts ne sont pas altérées) et à partir de la matrice argileuse pour les tufs pyroclastiques. Les analyses des échantillons aux DRX montrent les phases argileuses de cette altération et la variation de la composition minéralogique des argiles bentonitiques en fonction des points d'échantillonnage, en d'autre terme la variation de la qualité.

Les paramètres géologiques qui régissent directement sur la qualité et la quantité de bentonite sont :

- Les failles.
- Nature de la roche mère à partir de laquelle se développent les argiles bentonitiques.
- Phénomène d'altération (bentonitisation) qui régit sur les tufs pyroclastiques dont il délimite de couche de gisement.

CHAPITRE VI :
EXPLORATION ET
REEVALUATION DES RESERVES
GEOLOGIQUES DE ROUSSEL I ET
DAR M'BAREK I

VI.1 : NOTION DE RESERVES, LEUR CLASSIFICATION ET METHODES D'ESTIMATION ;

VI.1.1 : Rappel de la notion de réserves et leur classification

Les ressources minérales sont des concentrations ou indices minéralisés d'une substance naturelle solide organique ou inorganique présente au sein ou sur de la croûte terrestre, dont la forme, la quantité et la teneur ou qualité sont telles qu'elles présentent des perspectives raisonnables d'extraction rentable.

Les réserves minières sont une portion des ressources minières qui peuvent être exploitées légalement et à profit. Les recettes dégagées doivent couvrir la totalité des coûts opératoires y compris les amortissements des investissements à venir en équipements et en infrastructures liés à leur exploitation.

En général, on distingue quatre grandes catégories de réserves :

- **Réserves géologiques** : Ensemble des réserves tout confondues en éléments utiles d'un gisement ;
- **Réserves exploitables** : Ensemble des réserves géologiques qui peuvent être exploitées avec profit. Celles qui ne peuvent être exploitées pour de multiples raisons (conditions d'exploitation défavorable, traitement du minerai trop coûteux, etc) sont appelées **Réserves inexploitable**.
- **Réserves industrielles** : les réserves exploitables ne sont jamais extraites à 100%, la partie des réserves laissée sur place s'appelle **perte en projet**. Les réserves industrielles constituent donc à la soustraction des pertes en projet aux réserves exploitables.
- **Réserves récupérables** : les réserves industrielles ne sont jamais récupérées à 100%, il y a toujours une partie des réserves qu'on appelle **perte d'exploitation** laissée sur place à cause de la mauvaise conduite des travaux, d'erreurs techniques ou accidents géologiques. Les réserves récupérables constituent donc celles récupérées à la fin du processus d'exploitation.

Selon le degré de prospection et d'étude, les réserves géologiques se classent en trois catégories :

- **Réserves Prouvées ou certaines (B)** : Une réserve de minerai « prouvée » est l'estimation de la masse (tonnage) et de la teneur/qualité de la ressource minérale « mesurée » qui peut être extraite légalement et à profit, selon le plan minier choisi. Compte tenu de la faible marge d'erreur qui caractérise cette catégorie répond aux exigences de la planification et de la faisabilité de la production .
- **Réserves Probables (C1)** : Une réserve de minerai « probable » est l'estimation de la masse (tonnage) et de la teneur/qualité de la ressource minérale « indiquée », qui pourrait être extraite selon un plan minier. En conséquence de la marge d'erreur typique de cette catégorie de ressource, la faisabilité technique, la planification minière et les estimations des coûts et revenus, ne peuvent être établis que d'une façon préliminaire ou conceptuelle. Cette catégorie ne répond donc pas à toutes les exigences de la faisabilité de la production.

- **Réserves possibles (C2):** ces sont des réserves très peu connus, qui sont établis par des méthodes indirectes au cours de l'étude géologique.

V.1.2 : Méthode de calcul des réserves

Plusieurs méthodes permettent de mettre en évidence et de calculer les réserves géologiques d'un gisement quelconque.

Le calcul des réserves géologiques des carrières de Roussel I et Dar M' Barek I a été effectué par **la méthode géométrique des sections ou méthode des profils géologiques sériés** qui consiste à tracer une suite de sections (habituellement parallèles) à travers un gisement, à déterminer les zones de minerais et de stérile dans chaque section et à compiler le volume total en utilisant les distances entre chaque section. Les surface ont été dessinées et calculées **avec le logiciel AutoCard 2017**

Démarche général de l'estimation des réserves par de la méthode des sections

Cette méthode consiste à un travail sur le terrain et un travail numérique :

a) Travail sur le terrain

- Mise à jour topographique (coordonnées X, Y, Z) ;
- Réalisation des sondages par forage et interprétation des carottes de sondage.

b) Travail numérique (généralement avec le logiciel AutoCard, complémenté par COVADIS)

- Implantation des sondages sur le plan topographique ;
- Réalisation des coupes géologiques avec indication des catégories de réserves (B, C1 ou C2) et obtenir ainsi une série de sections parallèles avec les forages projetés sur les sections ;
- Mise à jour des coupes géologiques : ajustement des modifications dues à l'extraction du minerai si il y a lieu ;
- Identifier à partir des forages les intersections de minerai et dessiner la forme présumée du gisement sur chaque section
- Estimer la superficie de chaque section et la distance moyenne entre deux coupes géologiques successives ;
- Se donner une règle pour combiner 2 sections consécutives et ainsi définir un volume minéralisé en utilisant soit la formule mathématique de calcul du volume de prisme ou celle de cône.

Pour le présent travail, pour des raisons essentiellement technico-financières (les sondages réalisés par EX-SONAREM qui n'ont pas des Z bien connu actuellement, l'absence des cartes géologiques, et d'autres matériels nécessaires) et de temps du stage qui a duré, les coupes géologiques sont empruntés à l'unité de l'ENOF de Maghnia et les surface ont été dessinée par AUTOCAD 2008. Ces coupes géologiques résultent de l'actualisation de celles réalisées par SONAREM en 1978.

La formule utilisée pour le calcul des volumes étant :

- **La Formule de prisme :** Dans les conditions de $\Delta S/S \leq 0,40\%$:
$$V_i = \frac{S_1 + S_2}{2} \times D$$

Dans le cas contraire la formule utilisée est celle du prisme tronqué où le volume est égal :

$$V_i = \left(\frac{S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 S_2}}{3} \right) \times D$$

- La Formule de cône : $V = \left(\frac{S}{3} \right) \times D$

D : distance entre deux coupes successives

Le volume total des réserves est obtenu en sommant les volumes partiels.

V.2 : CALCULS D'OPTIMISATION ET REEVALUATION DES RESERVES DU GISEMENT.

V.2.1 : Réserves géologiques du gisement Dar M'Barek I

Pour réévaluer réserves de Dar M'Barek, nous avons emprunté quatre coupes géologiques (I-I', II-II', III-III', IV-IV') qui ont été réalisées dans la direction E-W.

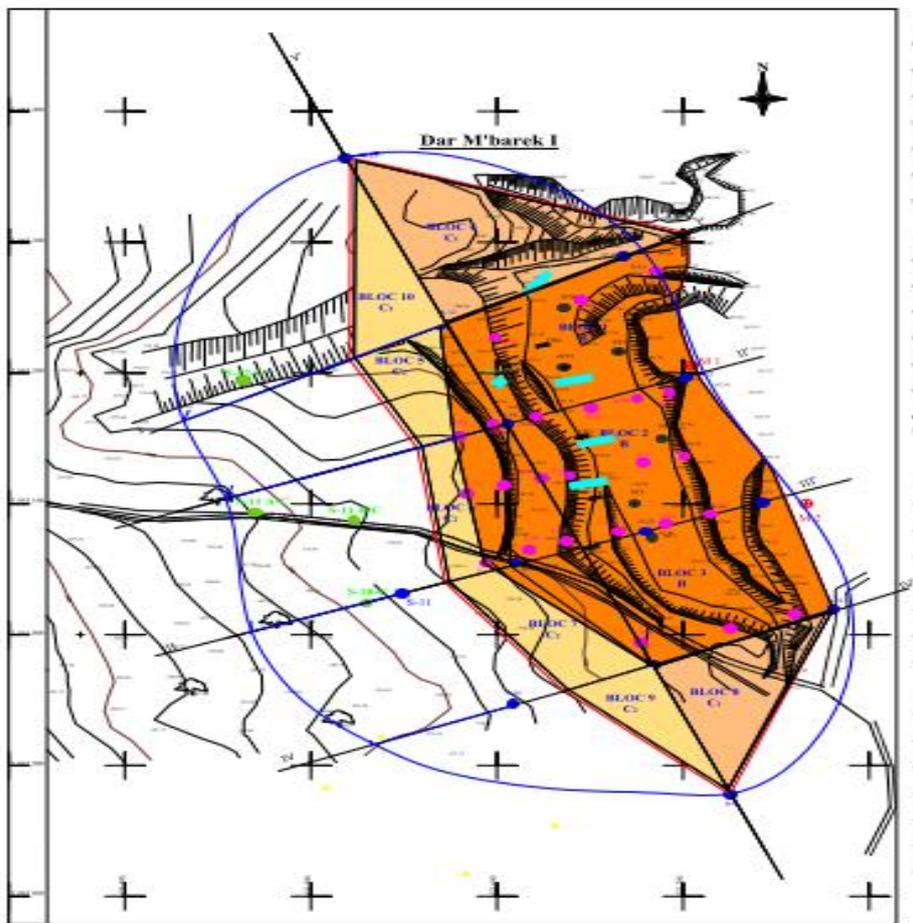


Figure 62 : carte montrant la position des coupes géologiques utilisés pour Dar M'Barek I ; échelle initiale 1/1000 (ENOF Maghnia)

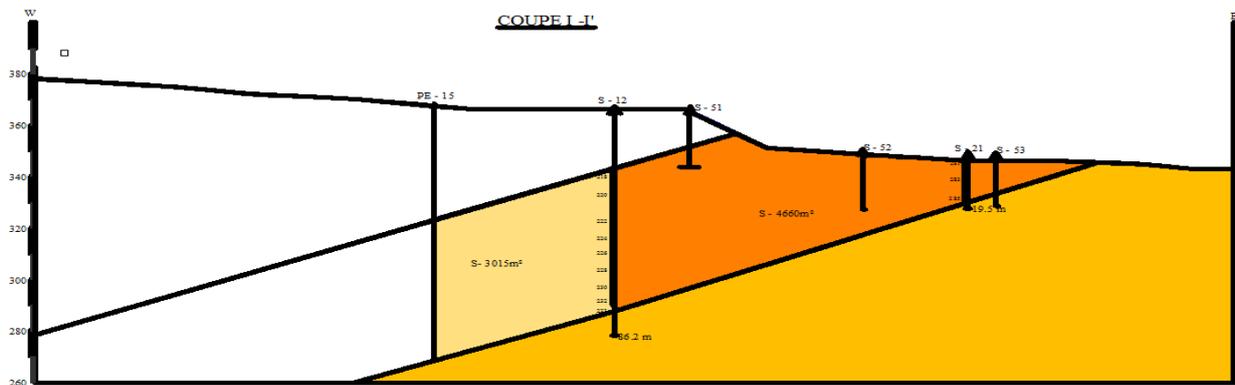


Figure 63: Coupe géologique I-I' du gisement de Dar M'Barek ; échelle initiale 1/1000 (ENOF Maghnia)

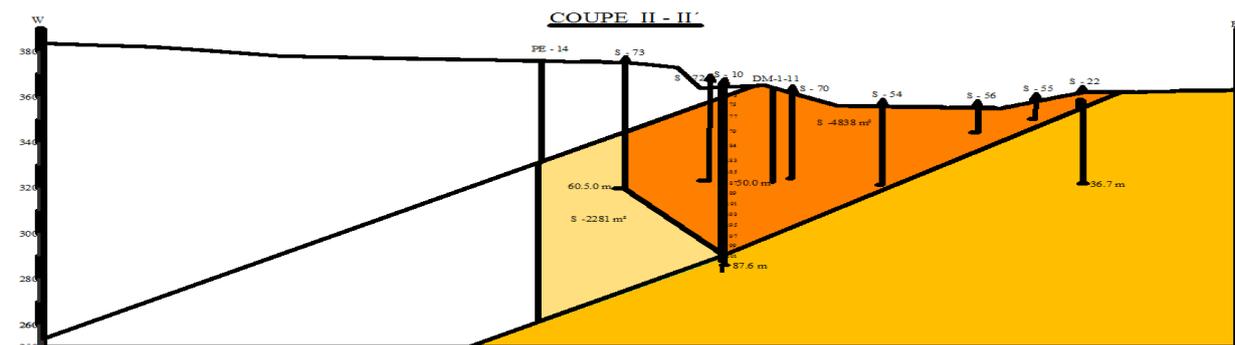


Figure 64: Coupe géologique II-II' du gisement de Dar M'Barek ; échelle initiale 1/1000 (ENOF Maghnia, 2016)

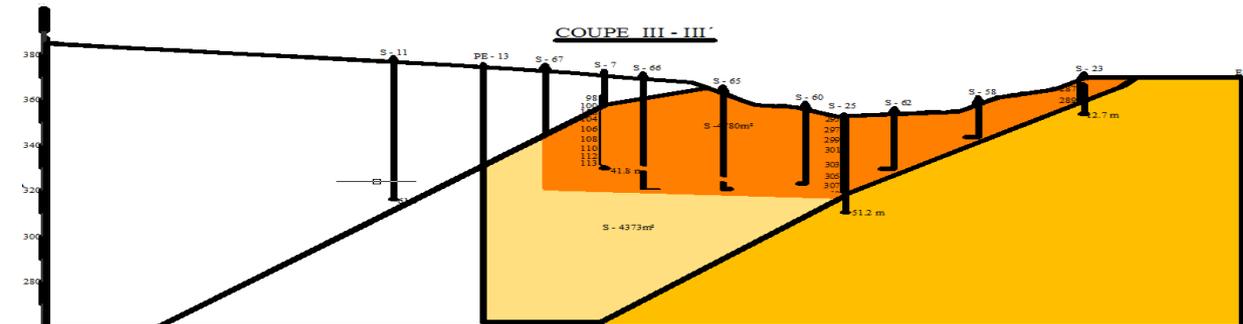


Figure 65: Coupe géologique III-III' du gisement de Dar M'Barek, échelle initiale 1/1000 (ENOF Maghnia, 2016)

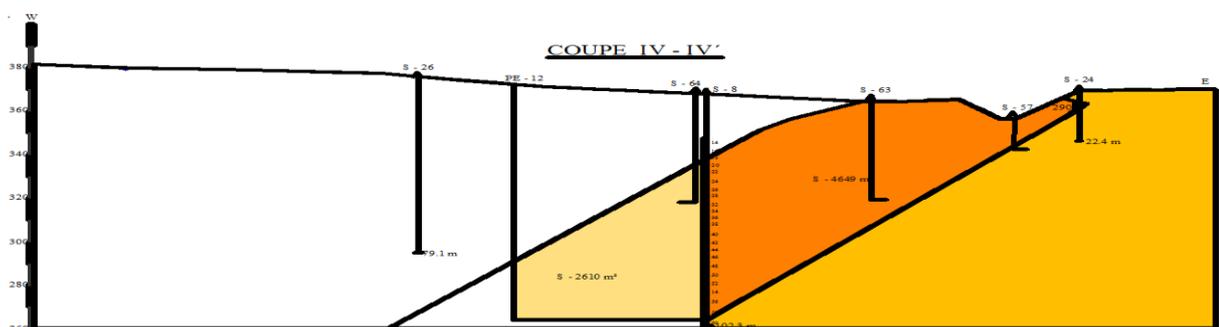


Figure 66: Coupe géologique IV-IV' du gisement de Dar M'Barek, échelle initiale 1/1000 (ENOF Maghnia, 2016)

Légende :

- Réserves géologique à la catégorie B
- Réserves géologique à la catégorie C1
- Réserves géologique à la catégorie C2
- Formation continentale (argiles, conglomérats)
- Tufs pyroclastiques de composition rhyolitique

	Blocs	Cat. Des réserves	N° des coupes	Surface des sections	Surface moyenne	distance moyenne	formule de calcul	volume	Densité	Réserve en tonnes
	Bloc 1	B	I-I' II-II'	4 660,75 4 836,58	4 748,67	83,31	prisme	395 611,70	1,71	676 496,00
	Bloc 2	B	II-II' III-III'	4 836,58 4 788,89	4 812,74	102,88	prisme	495 134,69	1,71	846 680,32
	Bloc 3	B	III-III' IV-IV'	4 788,89 4 649,37	4 719,13	99,14	prisme	467 854,55	1,71	800 031,28
Total		B						1 358 600,94	1,71	2 323 207,60
	Bloc 4	C1	I-I'	4 660,75	1 553,58	138,46	Cône	215 108,69	1,71	367 835,85
	Bloc 8	C1	IV-IV'	4 649,37	1 549,79	101,36	Cône	157 086,71	1,71	268 618,28
Total		C1						372 195,40	1,71	636 454,14
	Bloc 5	C2	I-I' II-II'	3 015,74 2 280,97	2 648,35	78,84	prisme	208 795,91	1,71	357 041,01
	Bloc 6	C2	II-II' III-III'	2 280,97 4 403,29	3 342,13	104,27	prisme	348 483,90	1,71	595 907,46
	Bloc 7	C2	III-III' IV-IV'	4 403,29 2 610,93	3 507,11	100,20	prisme	351 412,42	1,71	600 915,24
	Bloc 10		I-I'	3 015,74	1 005,25	138,46	cône	139 186,92	1,71	238 009,62
	Bloc 9		IV-IV'	2 610,93	870,31	101,36	cône	88 214,62	1,71	150 847,00
Total		C2						1 136 093,77	1,71	1 942 720,34
TOTAL	B+C1+C2								1,71	4 902 382,08

Tab 21: résultats des calculs d'optimisation des réserves géologiques du gisement de Dar M'Barek 1

V.3.2 : Réserves géologiques du gisement ROUSSEL I

Pour réévaluer réserves de Roussel 1, nous avons emprunté cinq coupes géologiques (I-I', II-II', III-III', IV-IV' et V-V') qui ont été réalisées dans la direction Nord-Est.

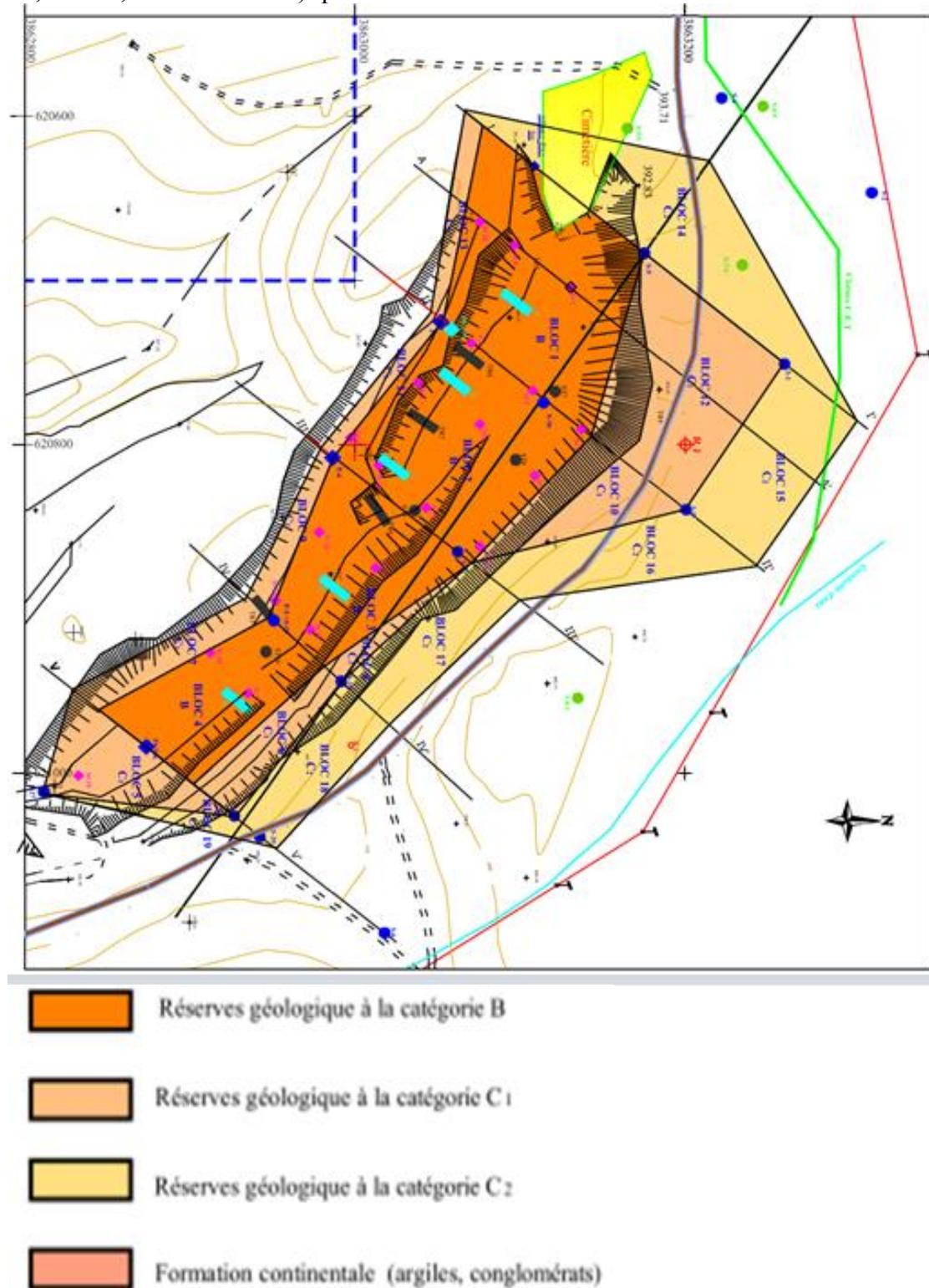


Figure 67 : Carte montrant la position de coupes géologiques utilisées pour Roussel I, échelle initiale 1/1000 ; (ENOF Maghnia, 2015)

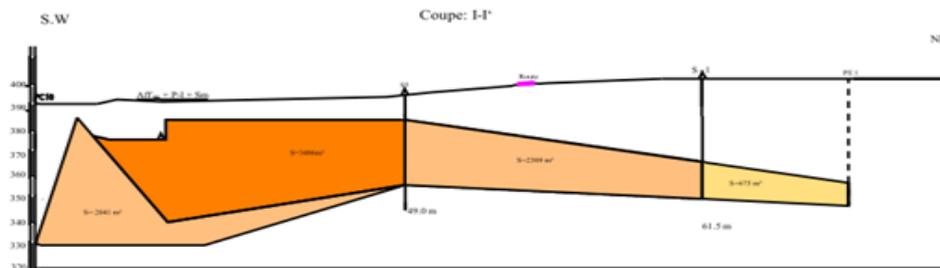


Figure 68 : Coupe géologique I-I' du gisement de Roussel I ; échelle initiale 1/1000 (ENOF Maghnia, 2015)

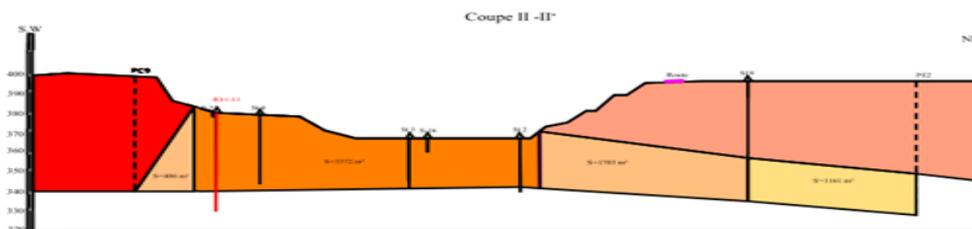


Figure 69 : Coupe géologique II-II' du gisement de Roussel I ; échelle initiale 1/1000 (ENOF Maghnia, 2015)

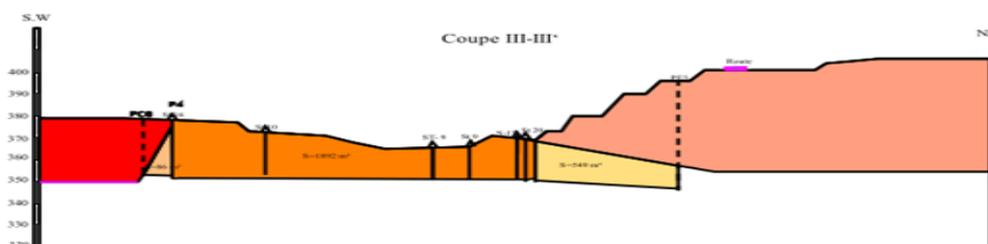


Figure 70 : Coupe géologique III-III' du gisement de Roussel I ; échelle initiale 1/1000 (ENOF Maghnia, 2015)

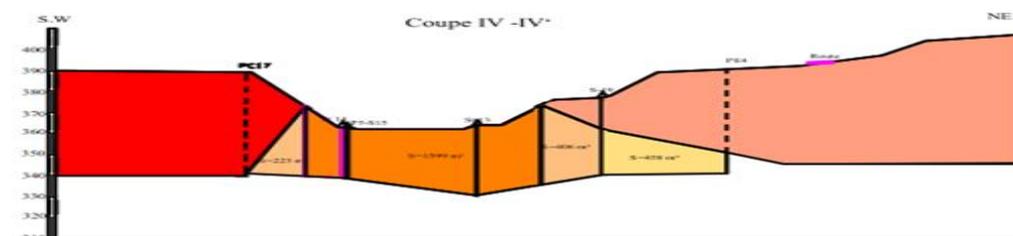


Figure 71 : Coupe géologique IV-IV' du gisement de Roussel I ; échelle initiale :1/1000 ;(ENOF Maghnia, 2015)

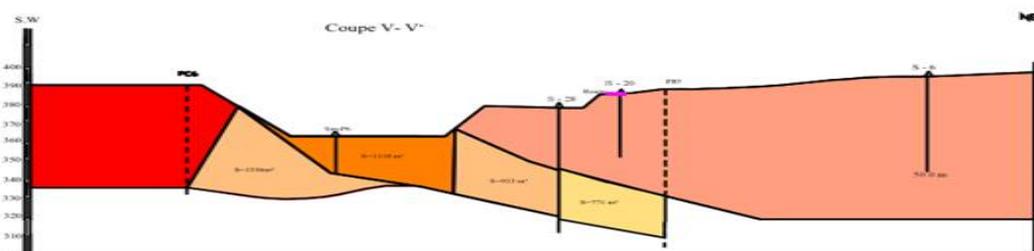
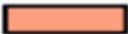


Figure 72 : Coupe géologique V-V' du gisement de Roussel I, échelle initiale 1/1000 (ENOF Maghnia, 2015)

Légende :

-  Réserves géologique à la catégorie B
-  Réserves géologique à la catégorie C1
-  Réserves géologique à la catégorie C2
-  Formation continentale (argiles, conglomérats)
-  Rhyolites

	Blocs	Cat. Des réserves	N° des coupes	Surface des sections	Surface moyenne	Distance moyenne entre les coupes	formule de calcul	volume	Densité	Réserve en tonnes
	Bloc 1	B	I-I' II-II'	3 486,32 3 372,30	3 429,31	112,00	prisme	384 082,72	1,71	656 781,45
	Bloc 2	B	II-II' III-III'	3 372,30 1 892,16	2 632,23	106,00	prisme	279 016,38	1,71	477 118,01
	Bloc 3	B	III-III' IV-IV'	1 892,16 1 110,93	1 501,55	104,00	prisme	156 160,68	1,71	267 034,76
	Bloc 4	B	IV-IV' V-V'	1 110,93 1 599,89	1 355,41	108,00	prisme	146 384,28	1,71	250 317,12
Total	B							965 644,06	1,71	1 651 251,34
	Bloc 5	C1	V-V'	2 230,03 0,00	743,343333	73	Cône	54 264,06	1,71	92 791,55
	Bloc 6	C1	IV-IV' V-V'	913,62 406,68	660,15	105,00	prisme	69 315,75	1,71	118 529,93
	Bloc 7	C1	IV-IV' V-V'	1 336,96 223,45	780,21	119,00	prisme	92 844,40	1,71	158 763,92
	Bloc 8	C1	III-III' IV-IV'	0,00 913,62	304,54	107,00	Cône	32 585,78	1,71	55 721,68
	Bloc 9	C1	III-III' IV-IV'	86,44 1 336,96	711,70	103,00	prisme	73 305,10	1,71	125 351,72
	Bloc 10	C1	II-II' III-III'	1 703,29 0,00	567,76	110,00	Cône	62 453,97	1,71	106 796,28
	Bloc 11	C1	II-II' III-III'	406,97 86,44	246,71	106,00	prisme	26 150,73	1,71	44 717,75
	Bloc 12	C1	I-I' II-II'	2 309,53 1 703,29	2 006,41	109,00	prisme	218 698,69	1,71	373 974,76
	Bloc 13	C1	I-I' II-II'	2 041,63 406,97	1 224,30	122,00	prisme	149 364,60	1,71	255 413,47
Total	C1							778 983,08	1,71	1 332 061,06

Tab 24 : résultats des calculs d'optimisation des réserves géologiques du gisement ROUSSEL I
(selon l'évaluation du 31/12/2015)

	Blocs	Cat. Des réserves	N° des coupes	Surface des sections	Surface moyenne	Distance moyenne entre les coupes	formule de calcul	volume	Densité	Réserve en tonnes
	Bloc 14	C2	I-I'	8 513,09	2 837,70	69,00	Cône	195 801,07	1,71	334 819,83
	Bloc 15	C2	I-I'	675,61	918,71	107,00	prisme	98 301,44	1,71	168 095,45
			II-II'	1 161,80						
	Bloc 16	C2	II-II'	1 161,80	855,73	137,00	prisme	117 235,01	1,71	200 471,87
			III-III'	549,66						
	Bloc 17	C2	III-III'	549,66	660,76	108,00	prisme	71 361,54	1,71	122 028,23
			IV-IV'	771,85						
	Bloc 18	C2	IV-IV'	771,85	615,33	103,00	prisme	63 378,99	1,71	108 378,07
			V-V'	458,81						
	Bloc 19	C2	V-V'	458,81	152,94	128,00	Cône	19 575,89	1,71	33 474,78
Total	C2							565 653,94	1,71	967 268,23
TOTAL	B+C1+C2							2 310 281,07	1,71	3 950 580,64

Tab 26 (suite de Tab 24) : résultats des calculs d'optimisation des réserves géologiques du gisement ROUSSEL I l'évaluation du 31/12/2015)

(selon

V.3.3 : Interprétation des résultats

Tab 27: Tableau comparatif des résultats des Réserves géologiques du gisement de Dar M'Barek réévalué

	catégorie des réserves	Résultats ENOF	Résultats de la réévaluation	Différence de résultats (t)	Différence de résultat (%)
	B	2302867,26	2 323 207,60	20 340,34	0,41
	C1	618157,31	636 454,14	18 296,83	0,37
	C2	1921821,12	1 942 720,34	20 899,22	0,43
TOTAL	B+C1+C2	4842845,69	4 902 382,08	59 536,39	1,21

Tab 28 : Tableau comparatif des résultats Réserves géologiques du gisement de Roussel I

	catégorie des réserves	Résultats ENOF (en tonne)	Résultats de la réévaluation (en tonne)	Différence de résultats (en tonne)	Différence de résultats (%)
	B	1677722,89	1 651 251,34	-26 471,55	0,67006726
	C1	1284327,11	1 332 061,06	47 733,95	1,20827677
	C2	955577,92	967 268,23	11 690,31	0,29591383
TOTAL	B+C1+C2	3917627,92	3 950 580,64	32 952,72	0,83412335

La différence entre les résultats de nos calculs et les résultats des calculs effectués par l'ENOF n'est pas très significative, surtout qu'on a utilisés les mêmes coupes géologiques. L'estimation des réserves est toujours approximative (estimation des distances et surface, variation de la densité du minerai due à l'hétérogénéité de la composition minéralogique, etc), ce qui fait que le risque de faire des erreurs est toujours présent, mais on peut les minimiser.

Cependant, on a remarqué des erreurs de calcul qui ont fossé les résultats des calculs effectués par l'unité ENOF de Maghnia. Mais cela montre qu'il faut effectuer les calculs de façon très minutieuse pour minimiser les erreurs.

V.4 : CONCLUSION.

Dans le développement d'un projet minier, l'estimation des réserves est l'étape la plus cruciale pour la réussite du projet car c'est en fonction des réserves mise en évidence que se décide le sort de la mine surtout en termes d'investissements. Cette étape mérite donc une attention très particulière pour éviter soit la surestimation ou la sous-estimation qui peuvent avoir des conséquences désastreuses sur le projet. Il est toujours préférable de chercher à tendre vers une connaissance parfaite du gisement en termes de réserves globales et celles exploitables.

Les gisements de Roussel I et Dar M'Barek I sont les mieux connus par rapport aux autres gisements et les réserves globales sont au tour de 5 Millions de tonnes pour Dar M'Barek I et 3.9 Millions de tonnes pour Roussel I. Cependant, en plus des réserves de catégorie C2 dont le passage vers les réserves de catégorie C1 ou B exige d'autres forages de sondage, on remarque des variations des résultats dans les calculs des réserves qui ont été effectués par les différentes parties.

Pour une meilleure connaissance des réserves des gisements de Roussel I et Dar M'Barek I (qui conduira à une exploitation optimale des réserves), il est nécessaire de faire d'autres travaux d'exploration (sondages par forages, du gisement) pour augmenter les réserves minérales déjà découvertes et exploitées, et surtout en utilisant de nouvelles approches et technologies (autres méthodes de sondages, surtout les méthodes géophysiques, une modélisation en 3D), tout en tenant compte de la rentabilité des investissements

CHAPITRE VII :
PLANIFICATION MINIERE ET
EXPLOITATION DES GISEMENTS
ROUSSEL I ET DAR M'BAREK I

VII.1. INTRODUCTION

Une fois les réserves géologiques d'un gisement mises en évidence, la prochaine étape de sa valorisation consiste à la réalisation d'une étude technico-économique à base de la quantité des réserves exploitables et différents paramètres d'exploitation et traitement du minerai, dans le but de déterminer la faisabilité, la viabilité et la rentabilité de la carrière ou la mine. En général, pour une carrière, les réserves exploitables doivent justifier 10 ans d'exploitation, avec une production annuelle de 50 000 à 100 000 tonne/an, selon la nature et prix du minerai.

Ensuite, on procède à l'élaboration d'un plan de développement et d'exploitation qui doit déterminer avec beaucoup de précision la quantité des réserves exploitables, la méthode et techniques d'exploitation, la séquence des travaux et les moyens nécessaires pour leur réalisation.

Pour aboutir à une exploitation optimale, rentable et conforme aux normes d'exploitation et d'environnement, les plans de développement et d'exploitation préétablis initialement doivent être exécutés avec rigueur. La rentabilité d'une carrière est intimement liée à l'optimisation des réserves exploitables, à une bonne planification minière à court terme comme sur le moyen et le long terme et à une exécution rigoureuse et flexible du plan établi.

Pour assurer une exploitation optimale et rentable d'une carrière, on procède alors par :

- 1) L'optimisation des réserves exploitables et industrielles à travers :
 - L'optimisation de la fosse d'exploitation tout en tenant compte des paramètres techniques dont le but principal est la sécurisation de la mine et travailleurs;
 - Limitation des pertes en projet et pertes d'exploitation (souvent liées à la mauvaise conduite des travaux, non-respect des règles de l'art minier);
- 2) L'optimisation économique des opérations minières :
 - maîtrise des différentes étapes du projet du début à la fin (phasage de la fosse, séquençement des travaux) et optimiser la réalisation de ces travaux dans le temps ;
 - maîtrise des coûts alloués à ces derniers : ressources matérielles et humaines nécessaires ;
 - maîtrise des obstacles et les menaces potentiels qui sont souvent liés à la demande et la variation du coût d'extraction, coût de traitement et prix du produit.
 - Tester différents scénarios d'exploitation de la fosse optimale calculée et trouver les points d'attaque qui généreront la meilleure Valeur Actualisée Nette (VAN).

En effet, les différentes variantes du calcul de la rentabilité d'une carrière sont le cash-flow, le taux de rentabilité interne (TRI) et la Valeur actuelle nette (VAN).

Le cash-flow est défini comme le bénéfice brut moins les coûts opératoires, les taxes et frais de capital. **La valeur actuelle nette (VAN)** est une méthode d'évaluation financière d'un projet minier en estimant la valeur actuelle des cash-flows futurs liés à un projet. La règle de base est que tout projet avec une VAN supérieure à zéro (valorisée au coût du capital) est financièrement viable et doit être menée à terme. Cette méthode de la VAN est extrêmement utile pour choisir entre plusieurs alternatives d'un projet.

Cependant, la méthode traditionnelle (VAN) ne permet pas de refléter la valeur de la gestion managériale et son impact sur la valeur de tels projets (Dimitrakopoulos & Abdel Sabour, 2007). Le calcul de la valeur actualisée nette (VAN) est limité quant à la prise

en compte des options stratégiques rattachées aux décisions d'investissement. Dans cette perspective, il peut s'avérer intéressant d'opter pour un processus de prise de décision qui est flexible afin de mieux se positionner dans un contexte d'incertitude, c'est-à-dire de profiter d'éventuelles opportunités tout en limitant l'impact de risques potentiels alors associés à des impacts négatifs sur le projet. Il s'agit donc d'une flexibilité non improvisée, mais délibérément planifiée et circonscrite dans la gestion et la planification du projet. C'est ce que propose l'approche des options réelles (Paul NOBERT, 2014).

Une option réelle donne le droit et non l'obligation d'effectuer une action à un coût déterminé à l'avance à un moment précis ou durant une période donnée. Cet énoncé résulte d'une analogie avec les options financières à partir desquelles les options réelles tirent leur définition. Comme les options financières, les options réelles possèdent un caractère asymétrique, c'est-à-dire qu'elles permettent de maximiser les gains qui y sont associés tout en limitant les pertes. L'approche des options réelles permet d'identifier et d'évaluer des plans d'exploitation où la gestion managériale constitue une réponse à l'évolution incertaine de l'environnement propre à l'exploitation (Paul NOBERT, 2014).

La législation minière peut aussi jouer sur la rentabilité d'une carrière ou mine en offrant quelques avantages surtout fiscaux.

Les avantages offerts par la loi minière algérienne qui permettraient d'augmenter la rentabilité des carrières Roussel I et Dar M'Barek sont les suivants :

- Abattement de 30% de la redevance d'extraction (Article 161).
- Complément de 20 % de réduction du taux de la redevance d'extraction. Le cumul de toutes les réductions ne doit en aucun cas dépasser 50 % (Article 10 du décret exécutif N°02-472, les critères sont fixés à l'article 11).
- L'exemption de la TVA et droit de douane pour les équipements importés pour la prospection et l'exploitation (Article 173).
- Les produits biens d'équipement, matières et produits destinés à être utilisés pour les activités de prospection et d'exploration minières sont exemptés des droits, taxes et redevances de douanes. (Article 173, les équipements définis dans le décret exécutif 03-265).
- Exonération de la taxe sur l'activité professionnelle. (Article 171).
- Exemption des impôts et taxes grevant la propriété bâtie (Article 172).

L'objectif de ce chapitre n'est pas de faire une aune audit des travaux d'exploitation réalisés par l'unité ENOF Maghnia, plutôt une analyse des plans de développement et d'exploitation des gisements Roussel I et Dar M'Barek I dans le but de déterminer l'influence de la quantité des réserves, la conduite des travaux d'exploitation et la planification minière sur la rentabilité de ces gisement. L'étude vise à contribuer à la connaissance des conditions technico-économiques pour garantir une exploitation optimale et rentable de ces deux carrières.

VII.2 : SITUATION GENERALE DES CARRIERES ROUSSEL I ET DAR M'BAREK I

L'exploitation des carrières Roussel I et Dar M'Barek se fait par la méthode à ciel ouvert et la situation générale des carrières est présentée dans le tableau comparatif ci-dessous

Tab 29: comparaison entre la carrière de Roussel I et de Dar M'Barek I

paramètres	Carrière Roussel I	Carrière Dar M'Barek I
Réserves géologiques	3.9 MT	5.2M T
Réserves exploitables	2.65 MT	3MT
stérile	4 186 644 T	6 339 685 T
Contrainte	<ul style="list-style-type: none"> ▪ L'agrandissement de la fosse nécessitera le déplacement de la route goudronnée d'une longueur de 1700 m vers le NE ; ▪ Le dôme rhyolitique nécessitera de l'abattage à l'explosif ; ▪ La présence d'un cimetière dans la partie NO de la carrière. 	Néant
Découverte	<ul style="list-style-type: none"> • Une partie des réserves existe sous le dôme Rhyolitique qui nécessite un abattage à l'explosif. • La découverte projetée pour atteindre le minerai : <ul style="list-style-type: none"> - roches rhyolitiques 357 000 m³, - terrains sédimentaires 1,3 Million de m³, soit un volume total de 1,657 million de m³ 	<ul style="list-style-type: none"> • Les terrains de découverte sont constitués essentiellement par des argiles et des conglomérats qui nécessitent un abattage au Bulldozer. • La découverte projetée pour atteindre le minerai est formée par des terrains sédimentaires : 3.9 Million de m³ en place.
taux de découverte	1,5	1.2
Qualité	<ul style="list-style-type: none"> ▪ D'après le rapport SONAREM 1972, 45% des réserves géologiques prises au total conviennent à leur utilisation pour bentonite de forage, et 92% des réserves géologiques prises au total sont utilisés pour la décoloration des huiles végétales (P D V Lin). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ D'après le rapport SONAREM 1972, 84% des réserves géologiques d'argiles bentonitiques prises au total conviennent à leur utilisation pour bentonite de forage, et 57% des réserves géologiques d'argiles bentonitiques prises au Total sont utilisables pour la décoloration des produits huiles végétales
Etat des carrières	<ul style="list-style-type: none"> ▪ En cours d'exploitation (mauvaise conduite des travaux) ▪ Absence d'un plan de développement et d'exploitation à cours ou à moyen terme conforme aux règles de l'art minier ▪ Durée de vie méconnue ▪ Exploitation optimal inenvisageable dans de telles conditions 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Début des travaux d'ouverture et découverte : Aménagement des pistes d'accès et de transport, installation des annexes et la préparation des aires de stockage de minerai et de stérile. ▪ Existence d'un plan de développement et d'exploitation à cours, moyen et long terme conformes aux règles de l'art minier ▪ Exploitation optimale possible

En l'absence d'un plan de développement et d'exploitation de la carrière Roussel I, la suite de notre étude portera sur le plan de développement et d'exploitation de la carrière Dar M'Barek I

VII.3 : PLANIFICATION MINIERE ET RENTABILITE DU CARRIERE DAR M'BAREK I

VII.3 .1 : Les conditions technico-minières

VII.3 .1 .1 : Réserves exploitables

Les réserves des argiles bentonitiques exploitables de la carrière de Dar M'Barek sont limitées entre le niveau 370 m et 260 m. Ces réserves comprises dans cette partie du gisement ont été estimées par la méthode des niveaux d'exploitation. Le totale toutes catégories des réserves calculées s'établi à **4 775 298.97 T** dont **2 853 478 T** de réserves exploitables de catégorie B+C1 et **1 921 821 T** de réserves de catégorie C2 (ENOF, Maghnia).

VII.3 .1 .2 : Durée de vie de la carrière de Dar M'Barek

La durée d'exploitation est déterminée par l'expression suivante : $T=Q/P_a$

Où : Q : les réserves exploitables du gisement, Q= 4 775 298,97 T dont 2 853 478 T de catégorie B+C1,

P_a : la production annuelle de la carrière, $P_a = 220\ 000$ tonnes/an.

Les réserves exploitables des argiles sont limitées entre le niveau 370 – 260 m et qui sont de l'ordre de **4 775 298.97 T** pour une durée de vie de 21.5.

$$T = 21,5 \text{ ans}$$

Ce calcul reste valable si et seulement si les réserves en catégorie C2 seront certifiées en réserves de catégorie C1 ou B, sinon le cadrage de la fosse d'exploitation dans le nouveau modèle géologique est nécessaire, et une nouvelle évaluation des ressources exploitables doit être établie.

VII.3 .1 .3 : Les paramètres d'exploitation et dimension optimale de la fosse

Le plan de l'exploitation de la carrière de Dar M'Barek est représenté par 24 gradins (24 niveau d'exploitation), situés entre les niveaux 380 m et 260 m. les principaux éléments fondamentaux de l'exploitation du gisement sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tab 30 : Principaux éléments de l'exploitation de la carrière Dar M'Barek (ENOF Maghnia)

Paramètre	Unité	Valeur
hauteur de gradin	m	5
Nombre de gradin	-	24
Profondeur fosse ultime	m	120
largueur minimum de la plate-forme de travail		20
angle de talus du gradin (bord exploitable)	Degré (°)	45
Angle générale du talus (bord exploitable)		38
angle de talus du gradin (bord inexploitable)		60
Angle générale du talus (bord inexploitable)		48
banquettes de sécurité	m	1,5
Pente de la piste d'accès	%	10
Largeur de la piste d'accès	m	12

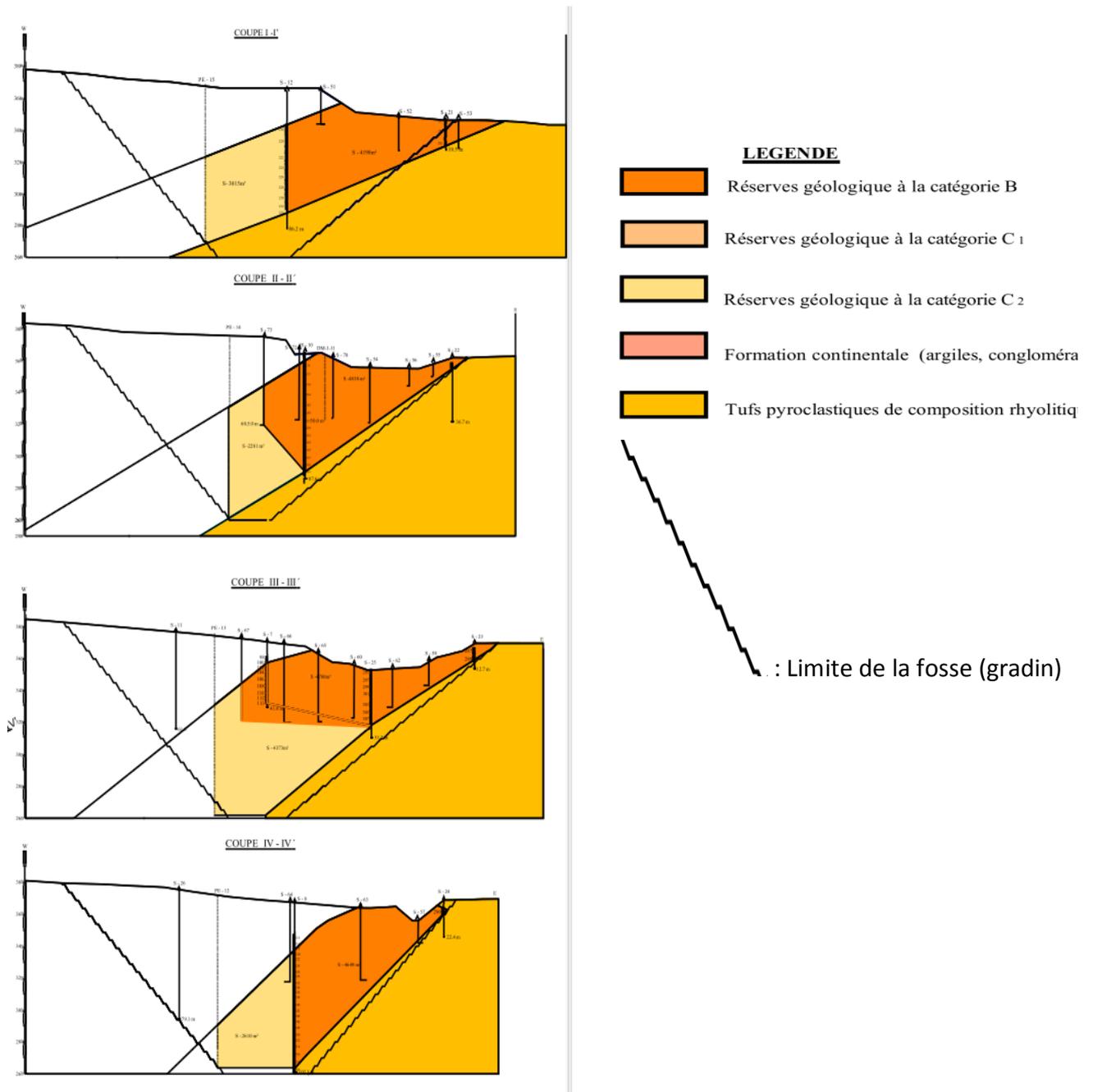


Figure 73 : Dimensions optimales de la fosse et calcul des réserves exploitables, échelle initiale 1/1000 (ENOF Maghnia, 2016)

VII.3.2 : Planning et ordre d'exécution des travaux miniers pour Dar M'Barek

VII.3.2.1 : Régime de fonctionnement de la carrière

Le régime de fonctionnement de la carrière sera comme suit :

- Nombre de jours ouvrables par an : **230 J/an**
N_{JO/an}= 365 –congé Week-End (104 J) – Jours férié (10 J)- Jours intempérie prévu (21 J)
- Nombre de poste par jour : - **02** postes pour l'extraction et l'évacuation de stérile ;
- **01** poste prolongé pour le transport de minerai.
- Nombre d'heures ouvrables par poste : - **7H** pour l'extraction et l'évacuation de stérile;
- **10 H** pour le transport de minerai.

Remarque : le nombre de journées d'intempéries prévisible représente la valeur moyenne de trois dernière années (2014, 2015 et 2016).

VII.3.2.2 : Objectifs de découverte et d'extraction de minerai

Les objectifs prévisionnels annuels, mensuel, postière et horaire de découverte et d'extraction de minerai au niveau de la carrière de Dar M'Barek pour chaque phase d'exploitation sont présentés dans le tableau suivant :

Tab 31: Déglobalisation des objectifs de production de la carrière de Dar M'Barek

Phase	Matière	Unité de Mesure	Capacité de production de la carrière				Horaire
			Annuelle	Mensuel	Postière	Journalière	
Phase 01	Stérile	M ³	510 000	42 500	1 109	2 218	159
	Minerai	Tonne	0	0	0	0	0
Phase 02	Stérile	M ³	170 000	14 167	370	740	53
	Minerai	Tonne	220 000	18 333	957		95.7
Phase 03	Stérile	M ³	117 000	9 750	255	510	36
	Minerai	Tonne	220 000	18 333	957		95.7

VII.3.2.3 : Déglobalisation des objectifs de découverte et d'extraction de minerai

La production prévisionnelle (extraction de bentonite et la découverte) de la carrière de Dar M'Barek pour les trois phases d'exploitation sera répartie comme suit à la page suivante (Tab 32) :

Tab 32: Cadences d'exploitation de la carrière de Dar M'Barek I (ENOF Maghnia,2016)

Phase	Année	Désignation	Objectif	Janvier	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	
		Nbre. Jours ouvrables	230,0	17,0	17,0	18,0	18,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	17,0	17,0
1ère Phase	1	Découvertur e (m³)	510 000	37 706	37 706	39 924	39 924	46 578	46 578	46 578	46 578	46 578	46 578	46 578	37 706	37 706
		Minerai (T)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	2	Découvertur e (m³)	510 000	37 706	37 706	39 924	39 924	46 578	46 578	46 578	46 578	46 578	46 578	46 578	37 706	37 706
		Minerai (T)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2ème Phase	3-14	Découvertur e (m³)	170 000	12 580	12 580	13 320	13 320	15 540	15 540	15 540	15 540	15 540	15 540	15 540	12 580	12 580
		Minerai (T)	220 000,0	16 269	16 269	17 226	17 226	20 097	20 097	20 097	20 097	20 097	20 097	20 097	16 269	16 269
3ème Phase	14-24	Découvertur e (m³)	117 000	8 653	8 653	9 162	9 162	10 689	10 689	10 689	10 689	10 689	10 689	10 689	8 653	8 653
		Minerai (T)	220 000,0	16 269	16 269	17 226	17 226	20 097	20 097	20 097	20 097	20 097	20 097	20 097	16 269	16 269

Dans les conditions normales de réalisation de ces opérations, la durée de vie de l'exploitation est d'environ 21.5 ans avec le même rythme de production ; mais la durée de vie de cette carrière peut être réduite comme elle peut-être étalée proportionnellement en dépendance avec les équipements qui seront déployés à cet effet.

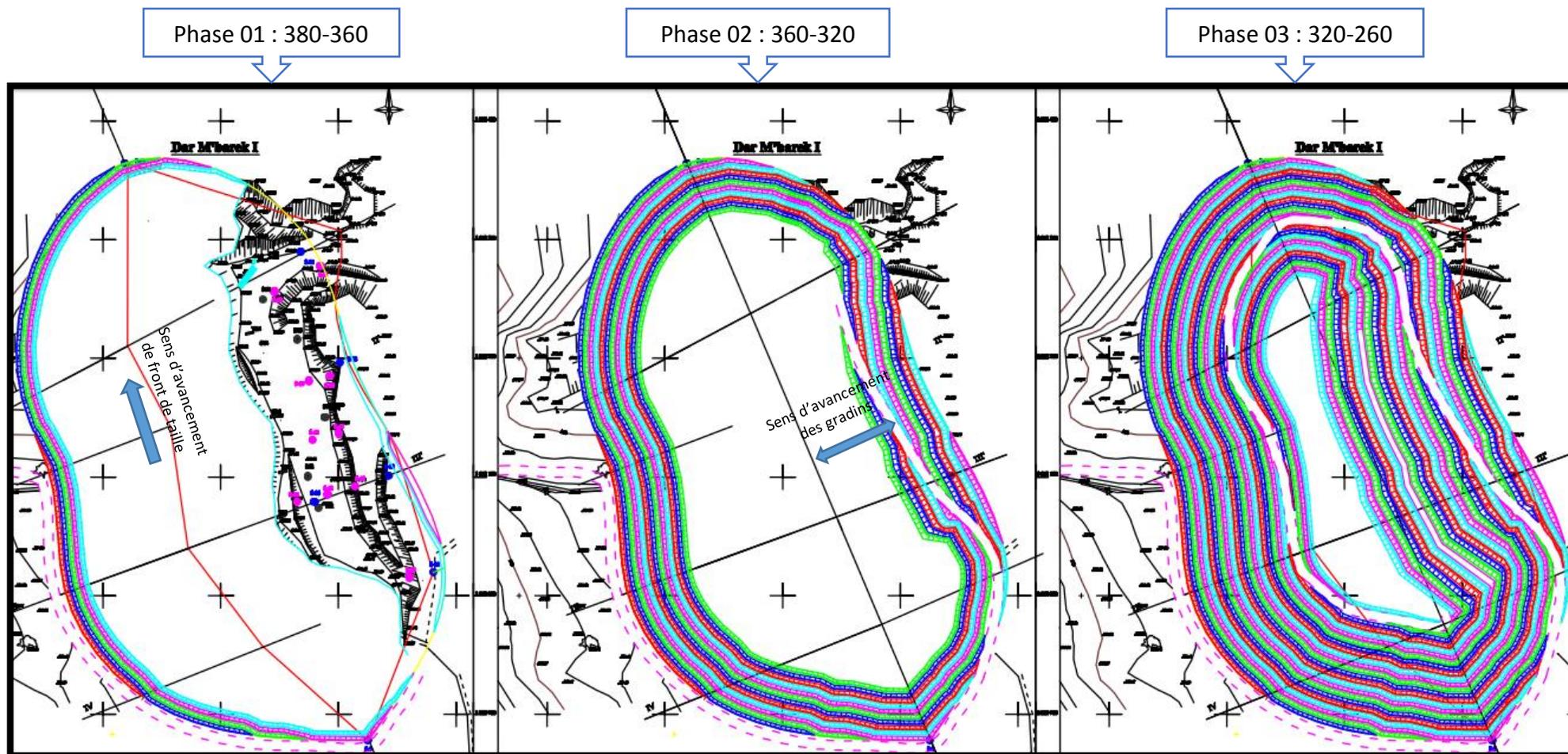


Figure 75: Phases d'exploitation de la carrière de Dar M'Barek (ENOF Maghnia, 2016)

L'accès au fond de la fosse de Dar M'Barek sera assuré par une route en spirale qui résulte du passage graduel d'un gradin au suivant, d'un chemin dont la pente ne dépasse pas 10%. Lorsque la limite ultime de la mine est atteinte cette route aura une longueur dans les environs de 1 500 m.

VII.3.3: Organisation des opérations minières

VII.3.3.1 : Travaux d'extraction

La méthode d'exploitation à ciel ouvert est une succession de réalisation des travaux de creusement, de découverte et d'extraction de la substance dans un cadre bien déterminé, en d'autres termes, un système d'exploitation caractérise le développement dans l'espace et dans le temps, les travaux de préparation, de découverte, d'extraction, de déplacement et la transformation des roches utiles et le stockage des roches stériles.

a) Travaux d'abatage

L'abatage de la roche fait partie de la chaîne technologique de l'exploitation. Il est divisé en plusieurs méthodes, on peut citer :

- L'abatage par émottage mécanique : à l'aide d'un ripper monté sur Bulldozer.
- L'abatage par travaux de forage et de tir : à l'aide d'un chariot de forage pour le forage des trous de mine et leurs chargements par explosifs et en fin le tir.
- L'abatage par engin d'extraction : à l'aide d'un excavateur pour la destruction des substances tendres.
- L'abatage par havage : à l'aide des haveuses dans le cas de l'extraction des blocs de marbre.

A noter que chaque méthode d'abatage de la roche doit être conçue en fonction des propriétés physico-mécaniques de la roche.

Dans notre de la carrière de Dar M' Barek, la technique d'abatage utilisé est l'abatage par émottage mécanique (à l'aide de Bulldozer).

b) Rendement de refoulement du Bulldozer

Le rendement du bulldozer est calculé à partir de la capacité de sa lame ($C_l \approx 8.9 \text{ m}^3$) et de son temps de cycle par la formule ci-dessous :

$$R_{bull} = C_l \times \frac{3600}{t_{cbull}} \times K_{dbull} \times K_{ubull}$$

Où :

K_{dbull} et K_{ubull} : sont respectivement la disponibilité et le coefficient d'utilisation du bulldozer.
 t_{cbull} : temps de cycle du bulldozer.

On prend : $K_{dbull} = 0.8$
 $K_{ubull} = 0.8$

- **Temps de cycle du bulldozer :**

Le temps de cycle du Bulldozer (t_{cbull}) est composé de 4 temps :

- Le temps de refoulement : c'est le rapport de la distance à parcourir (D_p) par la vitesse d'avancement (V_a) qui doit être techniquement choisie entre 3 et 5 Km/h.

- Deux temps d'inversion de marche ($t_{inv}=10$ s).
- Le temps de recul : qui est le rapport de la distance à parcourir par la vitesse de recul (V_r) incluse entre 5 et 7 Km/h.
- D_p : La distance à parcourir (entre 20 à 25m)

$$t_{cbull} = 2 \times t_{inv} + 3600 \times \frac{D_p}{V_a} + 3600 \times \frac{D_p}{V_r}$$

$$t_{cbull} = 2 \times 10 + 3600 \times \frac{20}{4} + 3600 \times \frac{20}{6}$$

$$t_{cbull} = 70 \text{ s}$$

Pour le cas de la carrière de Dar M'Barek le rendement horaire du bulldozer est égal :

$$R_{bull_h} = 8.9 \times \frac{3600}{70} \times 0.8 \times 0.8$$

$$R_{bull_h} \approx 293 \text{ m}^3/\text{h} \text{ Soit } 2\,051 \text{ m}^3/\text{poste}$$

Donc pour une année le rendement de bull est calculé comme suit :

$$R_{bull/an} = R_{bull_h} \times N_h \times N_p \times N_j ; [m^3/an]$$

$$R_{bull} = 293 \times 7 \times 1 \times 230 = 471\,730 \text{ m}^3/an$$

- **Nombre de bulls nécessaires**

$$N_b = \frac{P_p}{R_{bull}}$$

Où : P_p : Production par poste

Les bulls nécessaires pour chaque phase d'exploitation est de 03 bulls, deux pour les travaux d'abattage et un autre pour les travaux auxiliaires (refoulement de stérile vers Chaaba, le nettoyage des aires de travail, l'entretien des voies de circulation, terrassement, ouverture des pistes d'accès, etc...).

VII.3.3.2 : Le chargement

Le chargement de la substance utile après l'abattage, constituer un processus très important, parmi les engins de chargement on distingue deux types à action continue (excavateur à godets multiples...) ; à action cyclique (pelles mécanique, chargeur).

Dans la carrière de Dar M'Barek, le chargement de stériles et des argiles bentonitiques abattu s'effectue par une pelle hydraulique qui a une capacité du godet de 3 m^3 .

- **Rendement annuel de la pelle excavatrice**

Le rendement d'une chargeuse est le volume de la roche qu'elle peut charger par unité de temps.

Il dépend des facteurs suivants :

- ✚ Type de la pelle excavatrice ;
- ✚ Capacité du godet ;
- ✚ Propriétés physico-mécaniques de la roche exploitée ;

- ✚ Granulométrie des roches chargées ;
- ✚ Schéma technologique du travail de la pelle excavatrice ;
- ✚ Type d'engin de transport et sa capacité de charge ;
- ✚ L'organisation des travaux de chargement et de transport dans le chantier.

Pour calculer le rendement effectif de la pelle, on peut utiliser la formule suivante:

$$R_{A_{pelle}} = \frac{N_{sec} \times E_G \times N_J \times N_H \times N_P \times K_U \times K_R}{T_C \times K_f} ; \left[\frac{m^3}{an} \right]$$

- $R_{A_{pelle}}$: Rendement annuel de la pelle excavatrice (m^3/an).
- N_{sec} : Nombre de seconde par heure.
- E_G : capacité du godet de la pelle excavatrice = $3 m^3$.
- N_J : nombre de jours ouvrables par an = 230 j /an.
- N_H : nombre d'heures par poste = $\left\{ \begin{array}{l} \text{chargement Stérile: 07} \\ \text{chargement minerais: 10} \end{array} \right\}$
- N_P : nombre de poste par jour = $\left\{ \begin{array}{l} \text{Stérile: 02} \\ \text{minerais: 01} \end{array} \right\}$
- K_U : coefficient d'utilisation de la pelle excavatrice = 0,9.
- K_R : coefficient de remplissage du godet de la pelle excavatrice = 0,9.
- T_C : durée d'un cycle de la pelle excavatrice = 40 secondes.
- K_f : coefficient de foisonnement = 1,2

■ Rendement de chargement de stérile :

$$R_{A_{pelle(stérile)}} = \frac{3600 \times 3 \times 230 \times 7 \times 2 \times 0.9 \times 0.9}{40 \times 1.2}$$

$$R_{A_{pelle(stérile)}} = \mathbf{586\ 845\ m^3/an\ soit\ 1\ 276\ m^3 / poste}$$

■ Rendement de chargement de minerais :

$$R_{A_{pelle(minerais)}} = \frac{3600 \times 3 \times 230 \times 10 \times 1 \times 0.9 \times 0.9}{40 \times 1.2}$$

$$R_{A_{pelle(minerais)}} = \mathbf{419\ 175\ m^3/an\ soit\ 1\ 822\ m^3 / poste}$$

• **Nombre de pelles nécessaires pour la carrière**

Il est déterminé selon la formule suivante :

$$N_{pelle} = \frac{P_P}{R_{pelle/P}} ;$$

- Où :
- N_{pelle} : nombre de pelles nécessaires pour la production de la carrière.
 - $R_{pelle/P}$ = Production de la pelle par poste de travail
 - P_P : production de la carrière par poste.

$$P_p = \frac{P_A}{N_j}$$

Où : N_j : nombre de jours ouvrables par an = 230 j /an.
 P_A : production annuel de la carrière.

VII.3.3.3 : Le Transport

Le transport de la matière première et de stérile dans la carrière Dar M'Barek est assuré par des camions:

- Pour le transport de stérile, des camions dumper (marque TEREX ou CAT) de **60 T**, soit une capacité de benne de **30 m³** ;
- Pour le transport de minerai, des camions à benne de **15 m³** et qui ont une capacité de charge de **25 T**.

• **Rendement annuel des camions :** $R_{Acamion} = \frac{N_{sec} \times E_b \times N_j \times N_H \times N_P \times K_U \times K_R}{T_C}$

- $R_{Acamion}$: Rendement annuel d'un camion (m³/an).
- N_{sec} : Nombre de seconde par heure.
- E_b : capacité de la benne du camion = 30 m³
- N_j : nombre de jours ouvrables par an = 230 j /an.
- N_p : nombre de postes par jour = $\begin{cases} \text{Transport Stérile: 02} \\ \text{Transport minerai: 01} \end{cases}$
- N_H : nombre d'heures par poste = $\begin{cases} \text{Transport Stérile: 07} \\ \text{Transport minerai: 10} \end{cases}$
- K_U : coefficient d'utilisation du camion = 0,85.
- K_R : coefficient de remplissage de la benne du camion = 0,9.
- T_C : durée d'un cycle de transport = $\begin{cases} \text{Stérile: 1 080 s} \\ \text{Minerai: 8 520 s} \end{cases}$

L'estimation de la durée de cycle a été faite sur la base des essais de transport réalisés sur terrain.

Donc :

❖ Le Rendement annuel du camion lors de transport de stérile est :

$$R_{Acamion} = \frac{3600 \times 30 \times 230 \times 7 \times 2 \times 0.85 \times 0.9}{1080} ; \left[\frac{m^3}{an} \right]$$

$$R_{Acamion} = \mathbf{61\ 582.5} ; \left[\frac{m^3}{an} \right]$$

❖ Le Rendement annuel du camion lors de transport de Tout-venant est :

$$R_{Acamion} = \frac{3600 \times 25 \times 230 \times 10 \times 1 \times 0.85 \times 0.9}{8\ 520} ; \left[\frac{T}{an} \right]$$

$$R_{Acamion} = \mathbf{18\ 586} ; \left[\frac{T}{an} \right]$$

• **Calcul du nombre de cycles effectués par le camion par poste**

Il est déterminé comme suit :

$$N_{cy} = \frac{N_H \times K_U}{T_C}$$

Où : N_H : Durée d'un poste de travail = $\left\{ \begin{array}{l} \text{Transport Stérile: 7 h soit 420 min} \\ \text{Transport minerais: 10 h soit 600 min} \end{array} \right\}$

K_U : Coefficient d'utilisation du camion = 0,85.

Donc :

❖ Le Nombre de cycles effectués par camion par poste lors de transport de stérile est :

$$N_{cy} = \frac{420 \times 0.85}{18} = 19.83$$

$$N_{cy} \approx 19$$

Pour deux postes de travail le nombre de voyage est de l'ordre de **38**.

❖ Le Nombre de cycles effectués par camion par poste lors de transport de tout-venant est :

$$N_{cy} = \frac{420 \times 0.85}{142} = 3.59$$

$$N_{cy} \approx 3$$

• Calcul du rendement du camion par poste

Il est déterminé d'après la formule suivante :

$$R_{C/poste} = N_{cy} \times E_b; \left[\frac{m^3}{poste} \right]$$

Donc :

❖ Le rendement du camion par poste lors de transport de stérile est :

$$R_{C/poste} = 19 \times 30 = 570 \left[\frac{m^3}{poste} \right] \text{ soit } 1\,140 \text{ m}^3/\text{journée}$$

❖ Le rendement du camion par poste lors de transport de tout-venant est :

$$R_{C/poste} = 3 \times 25 = 75 \left[\frac{T}{poste} \right]$$

• Nombre de camions nécessaires : $N_C = \frac{P_P}{R_C}$

Où : P_P : Production de la carrière par poste

R_C : Rendement de camion par poste

Le nombre de camions nécessaires pour transporté la bentonite à Bâb El Assa et le stérile vers les zones de dépôt (mise en terril), sont donnés dans le tableau suivant :

Tab 33: Camions nécessaires pour le transport de minerai et de stérile

Opération	Capacité de Camion	Durée de poste (H)	Nombre de poste	Total camions	Camions réserve (15%)	Total Globale
Transport Minerai	25 T	10	01	13	2	15
Transport Stérile	Dumper 60 T (30 m ³)	07	02	2	---	02

VII.3.4 : Moyens de réalisation des travaux miniers

Les moyens matériels et humains nécessaires pour la réalisation des travaux miniers au niveau de la carrière Dar M'Barek sont présentés dans les tableaux ci-dessous (Tab 34) et (Tab 35)

Tab 34 : Moyens humains

Moyens Humains	Effectif Nécessaires
Cadre	Chef Projet + Ingénieur Des Mines+ Géologue + Chef Carrière+ Topographe
Chauffeurs de camions	15
Conducteur Pelle	3
Conducteur Bulldozer	3
Conducteur Chargeur	1
Conducteur Niveleuse	1
Conducteur Tracteur	1
Mécanicien d'entretien	1
Gardien	6
Total	36

Tab 35 : Moyens matériels

Moyens Matériels	Equipements Nécessaires
Camion	17
Pelle excavatrice	3
Bulldozer sur chenilles	3
Chargeur sur pneu	1
Niveleuse	1
Camion d'entretien	1
Tracteur sur pneus avec citerne à eau	1
Citerne à gasoil (10 000 l) avec Pompe volumétrique	1
Citerne à gasoil Mobile (3000 l)	1
Compresseur d'air	1
Groupe électrogène	1
Véhicule 4*4	2

VII.3.5 : Cout de réalisation des travaux miniers

Tab 36 : Cout des matériels de découverte (BENTAL):

Désignation	Prix unitaire (KDA)	Nombre	Coût (KDA)
Dumper 40 tonnes	37 000	03	111 000
Bulldozer	40 000	01	40 000
Pell chargeuse sur chenille 30-35 tonnes	17 000	01	17 000
Camion d'entretien	6 080	01	6 080
Camion-citerne	4 940	01	4 940
Chargeur	15 323	01	15 323
Véhicule VTT	2 090	02	4 180
Total			198 523

Tab 37 : Les charges liées à la découverte (BENTAL)

Désignation	Coût (KDA)
Frais personnel	8 579
Consommable	13 000
Service	-
Frais financiers	-
Impôt et taxes	-
Total des charges	21 579
Amortissement	27 695
Total des charges	49 275

Tab 38 : Cout des matériels d'extraction du minerai de Bentonite (Tout venant) (BENTAL)

Désignation	Prix unitaire (KDA)	Nombre	Coût (KDA)
Dumper 40 tonnes	37 000	01	37 000
Bulldozer	40 000	01	40 000
Pell chargeuse sur chenille 30-35 tonnes	17 000	01	17 000
Total			94 000

Tab 39 : Les charges liées à l'extraction du minerai de bentonite (BENTAL)

Désignation	Coût (KDA)
Frais personnel	7 691
Consommable	8 000
Service	-
Frais financiers	-
Total des charges	15 691
Amortissement	14 825
Total des charges	30 516
Le cout opératoire de tout venant	290 DA/T
Le cout opératoire de la découverte	246 DA/T
Prix de revient de la tonne extraite	536 DA/Tonne

Les quantités à enlever en stérile avant l'entrée en production, sont de 400 000 m³. Le cout d'opération du mètre cube de la découverte: 124 DA/m³ soit 246 DA/T. Les quantités à extraire en tout venant sont de 75 000 tonnes de bentonite, et 30 000 tonnes de terres décolorantes, soit un total de 105 000 tonnes. Le cout d'opération de la tonne extraite: 536 DA / Tonne.

VII.3.6 : cout de traitement

Les coûts liés au traitement sont :

- Cout des produits chimiques
- Cout de la fourniture en eau, gaz naturel et électricité ;
- Cout de l'emballage
- Cout de la main d'œuvre

Le coût moyen de production de la bentonite toute catégorie est de **3 366Da/tonne**, et celui de production des terres décolorantes est de **31 093 Da/tonne** et la quantité de bentonite nécessaires pour produire 1tonne de terre Décolorante est de 2 tonnes (BENTAL).

VII.4: CONCLUSION

Les réserves exploitables des gisements Roussel I et Dar M'Barek I sont largement suffisante pour une activité industrielle viable et très rentable. L'exploitation du gisement d'argiles bentonitiques de Roussel I, en plus des contraintes multiples empêchant l'exploitation optimale du gisement, elle n'est pas conforme aux règles de l'art minier et laisse beaucoup de pertes d'exploitation. Une élaboration d'un plan de développement et d'exploitation à cours, moyen et long terme de la carrière Roussel I est très cruciale pour garantir une exploitation optimale et rentable de la carrière.

L'exploitation du gisement d'argiles bentonitiques de Dar M'Barek se fait selon un plan de développement et d'exploitation à cours, moyen et long terme préétabli. Ce gisement englobe des réserves géologiques de l'ordre de 4.8 MT dont 4.7 MT sont exploitable avec un taux de découverte moyen de 1.21. Les réserves effectivement exploitables donnent une durée de vie de 21,5 ans pour une cadence d'extraction de 220 000 T/an. La quantité de minerai extraite annuellement de la carrière de Dar M'Barek assure une production de 120 000 T/an de bentonite toute catégorie et 20 000T/an de terre décolorante. Le cout d'opération de la tonne extraite est de 536 DA / Tonne, et le coût moyen de production de la bentonite toute catégorie est de 3 366Da/Tonne, et celui de production des terres décolorantes est de 31 093 Da/Tonne. L'exploitation de cette carrière s'avère viable et très rentable.

Afin d'augmenter la rentabilité de la carrière Dar M'Barek, il est recommandé de tester différents scénarios d'exploitation de la fosse optimale calculée et trouver les points d'attaque qui généreront la meilleure Valeur Actualisée Nette (VAN). Cependant, sachant que la méthode traditionnelle (VAN) ne permette pas de refléter la valeur de la gestion managériale et son impact sur la valeur de tels projet, il s'avère intéressant d'opter pour un processus de prise de décision qui est flexible afin de mieux se positionner dans un contexte d'incertitude, c'est-à-dire de profiter d'éventuelles opportunités tout en limitant l'impact de risques potentiels alors associés à des impacts négatifs sur le projet. Il s'agit donc d'une flexibilité non improvisée, mais délibérément planifiée et circonscrite dans la gestion et la planification du projet. Cela consiste à adopter l'approche des options réelles qui permettent d'identifier et d'évaluer des plans d'exploitation où la gestion managériale constitue une réponse à l'évolution incertaine de l'environnement propre à l'exploitation.

CHAPITRE VIII :
EVENTUELS IMPACTS SUR
L'ENVIRONNEMENT DES
CARRIERES
ROUSSEL (I) ET DAR M'BAREK (I)

VIII.1: GENERALITES SUR LES IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT DE L'EXPLOITATION DES CARRIERES A CIEL OUVERT

VIII.1.1 : Généralités

Les activités exercées par l'homme, entre autres l'exploitation minière laissent des empreintes (souvent irréversibles) sur l'environnement qu'on appelle des impacts. Les activités extractives des carrières à ciel ouvert ont des répercussions notables sur l'environnement. Elles bouleversent la topographie et les équilibres naturels; d'où une réhabilitation par l'exploitant s'impose.

Comme toute activité industrielle, l'industrie des carrières génère des impacts sur le milieu environnant. Les impacts d'une carrière sur l'environnement avoisinant sont très variables en fonction du type de matériau, du type d'exploitation et de l'environnement du site. Ces effets peuvent être directs ou indirects, temporaires ou permanents, négatifs ou positifs. Il est possible de séparer ces nombreux impacts en fonction de l'environnement touché :

- 1) physique (sol, eaux, air),
- 2) biologique (végétation, faune et flore...etc.),
- 3) humain (paysage, qualité de vie, économie...etc.).

En outre, les pressions exercées vont être de nature et d'importances variables en fonction du type d'exploitation, de sa configuration et de son environnement de proximité. Ces impacts on peut les caractériser en fonction de quatre principaux paramètres :

- l'étendue (ponctuelle, locale, régionale, nationale...etc.),
- la durée (temporaire, discontinue, permanente...etc.),
- l'intensité de l'impact (degré de modification du milieu),
- la probabilité (faible, moyenne, importante).

L'évaluation des impacts est imposée aux différentes exploitations par voie réglementaire pour permettre aux autorités compétentes de porter une appréciation sur l'impact et les conséquences dues aux activités projetées sur l'environnement. Cette procédure s'inscrit dans le cadre du développement de la protection de l'environnement et la conservation des ressources naturelle.

VIII.1.2 : Principaux impacts d'exploitation des carrières sur l'environnement

VIII.1.2.1 : Impact socio-économique

Les activités d'exploitation des carrières ont un impact social tel que les répercussions sur la santé des personnes employées et des habitants au voisinage, des modifications induites dans l'environnement et dans les conditions de vie des populations locales. Un impact économique tel que ; l'aménagement de nouvelles voies de transport et de communication, l'occupation des sols, notamment lorsque le site fait déjà l'objet d'une mise en valeur agricole ou forestière.

VIII.1.2.2 : Impacts sur les ressources en eau (Impacts hydrogéologiques)

Du fait de l'excavation engendrée, une carrière peut avoir un impact direct non négligeable sur l'écoulement souterrain des eaux. Les effets sur la qualité de l'eau et de la disponibilité des ressources en eau dans la zone du projet constituent peut-être l'impact le plus important d'un projet d'exploitation minière. Ainsi, si l'exploitation se poursuit dans une nappe phréatique ou à proximité de celle-ci, le rabattement engendré pourrait, selon les cas, provoquer l'assèchement des puits ou cours d'eaux environnants, donc il peut résulter une modification de la piézométrie et un abaissement du niveau de la nappe phréatique, ainsi qu'une altération de la qualité des eaux souterraines.

VIII.1.2.3 : Impact hydrologique

Il est très fréquent qu'une carrière engendre des rejets d'eau au milieu naturel. On distingue deux origines à ces eaux :

- L'eau d'exhaure qui n'est présente que si l'excavation a rencontré un réservoir souterrain.
- L'eau météorique qui peut s'accumuler en fond de fouille après avoir ruisselé sur les pistes, les fronts de taille ou les stocks de matériaux.

L'impact produit est :

- La déviation des cours d'eaux,
- La modification des éléments constitutifs,
- La pollution par des eaux usées contaminées et la pollution due au renforcement de l'érosion

VIII.1.2.4 : Impact biologique (Impact sur la faune et la flore)

L'effet des polluants poussiéreux sur les végétaux est très mal connu, mais il a été constaté quelques manifestations physiologiques ou parasitaires, dues certainement à des polluants chimiques, sur certaines plantations situées à proximité des sources de pollution. L'effet des poussières sur la flore est caractérisé par la dégradation avec le temps des plantes, le ralentissement du processus de photosynthèse (après constitution d'un écran), la diminution de leur durée de vie, etc., créant ainsi une gêne ou une déstabilisation réelle pour l'agriculture et pour l'aspect paysager.

La pollution par les poussières de l'atmosphère joue aussi un rôle non négligeable en faveur du déplacement et de l'émigration des espèces animales. Donc par conséquence, le développement de l'activité d'extraction des matériaux dans une région est de nature à détruire la flore et écarter (faire migrer) la faune.

VIII.1.2.5 : Impact sur l'atmosphère

La composition de l'atmosphère est stable, l'ajout de certain élément peut engendrer un déséquilibre dans ce système. Les activités humaines sont les facteurs essentiels pour son exhortation.

Dans le cas des carrières à ciel ouvert, la précarité de l'atmosphère est due aux :

- Dégagements de poussières par les tirs à l'explosif et le trafic routier,

- Dégagements des gaz nocifs et des effluents gazeux suite à l'ignition spontanée de terrils et les échappements des engins et des automoteurs.

VIII.1.2.6 : Impact sur le paysage

Il est évident que l'extraction de la carrière entraînerait une transformation du paysage et un impact négatif de la surélévation naturelle des reliefs (altération de la morphologie et l'apparition des surfaces dévastées), produisant des impacts visuels tel que :

- La forme de l'excavation,
- L'aspect des fronts de taille,
- Le stockage des remblais en particulier laisse des cicatrices dans le paysage,
- Les contrastes de forme et de couleur,
- La position de l'installation de traitement,
- Le déboisement.

VIII.1.2.7 : Impact sur les infrastructures

L'exploitation de la carrière entraîne à long terme l'effet d'usure permanent des infrastructures routières par l'usage des convois et le risque de dégâts aux constructions voisines par les vibrations introduites. Le transport des matériaux endommage les voiries. La circulation des engins entraîne la dégradation des chaussées et aggrave les risques de dérapage sur les routes par suite de l'épandage des boues.

VIII.1.2. 8 : Bruits et vibrations

Les sources de bruit dans une carrière à ciel ouvert sont différentes:

- Foration des trous de mines ;
- Déversement et chargement des matériaux extraits dans les bennes des dumpers ;
- Traitement des matériaux (broyage, concassage) ;
- Circulation des engins (klaxon de recul...).

Les vibrations sont associées à de nombreux types d'équipements utilisés dans l'exploitation d'une carrière, mais l'abattage par explosion est considéré comme la source la plus importante. La vibration affecte la stabilité des infrastructures, les bâtiments et les maisons des personnes vivant à proximité de la carrière.

Les ondes de vibrations affecte la stabilité des infrastructures, les bâtiments et les maisons, et peuvent être ressenties comme une gêne pour les personnes et causer des dommages si l'intensité est trop forte.

VIII.1.2. 9 : Impact sur l'atmosphère

La composition de l'atmosphère est stable, l'ajout de certain élément peut engendrer un déséquilibre dans ce système. Les activités humaines sont les facteurs essentiels pour son exhortation. Dans le cas des carrières à ciel ouvert, Les émissions atmosphériques se produisent à chaque étape du cycle de la carrière, mais surtout pendant les travaux de foration des trous, lors de transport des matériaux, dans les ateliers de traitement, et autre. L'émission et la dispersion des poussières dans l'environnement peuvent influencer sur la santé publique de la population vivant près de la carrière. Tenant compte du rôle du vent, qui peut transporter les

poussières sur une longue distance, les habitants des villages miniers sont en général exposés (surtout lorsqu'ils sont situés dans la même direction que celle du vent) aux maladies dues aux émissions de poussières. Le degré de perturbation est bien sûr plus fort pour les personnes travaillant aux postes sensibles (sources d'émission de poussières).

L'utilisation de machinerie et de véhicules à moteur a également un effet sur l'atmosphère par les émissions des gaz nocifs provenant de la combustion de carburants. Le niveau d'émissions de polluants provenant de ces sources dépend du carburant et de l'état de fonctionnement de l'équipement. Bien que les émissions individuelles puissent être relativement faibles, collectivement ces émissions peuvent provoquer des effets graves sur la santé humaine et sur l'environnement

VIII.2 : REGLEMENTATION ALGERIENNE SUR L'EXPLOITATION MINIERE, SON IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT ET LA REHABILITATION DES CARRIERES

En Algérie, la réglementation des exploitations minières à ciel ouvert est soumise aux lois et décrets suivants:

- 1. La Loi minière n° 14-05 du 24 Rabie Ethani 1435 correspondant au 24 février 2014 qui exige qu'une étude d'impact soit à la demande de titre minier qui doit inclure aussi les effets relatifs à la protection de l'environnement (article 126, article 127).**

Article 04 :

- **étude d'impact sur l'environnement** : document élaboré dans les conditions prévues par les dispositions législatives relatives à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable ;
- **gestion de l'après-mine** : actions et responsabilités pour la restauration et la remise en état des sites miniers après la fin du permis minier, tenant compte de la santé des populations riveraines et de la sécurité du public, du respect de l'intégrité écologique et des principes du développement durable ;
- **plan de gestion de l'environnement** : document élaboré dans les conditions prévues par les dispositions législatives relatives à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable ;
- **plan de restauration et de remise en état des lieux** : document, sans préjudice des dispositions législatives relatives à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable, élaboré par le demandeur du permis d'exploitation de mines ou de carrières, et faisant partie de l'étude d'impact sur l'environnement. Ce plan comporte les opérations, les actions et les travaux à exécuter par le titulaire du permis d'exploitation de mines ou de carrières pour la restauration et la remise en état des lieux exploités durant l'exploitation et après la fin du permis minier ;
- **règles de l'art minier** : conditions techniques et méthodes d'exploitation pour mieux valoriser le potentiel du gisement ainsi que pour optimiser la productivité et les

conditions de sécurité, tant industrielle que publique, et de protection de l'environnement ;

Article 123.

- Tout demandeur d'un permis d'exploitation de mines ou de carrières doit joindre à sa demande l'étude de faisabilité intégrant un plan de développement, d'exploitation du gisement, l'analyse économique et financière du projet, le chronogramme détaillé des travaux à réaliser, le plan de restauration et de remise en état des lieux et les mesures se rapportant à la phase de l'après-mine.
- Le plan de restauration et de remise en état des lieux, qui doit être révisé tous les cinq (5) ans, comporte toutes les actions et travaux de restauration et de remise en état des lieux et évalue les coûts correspondants.
- L'autorité administrative compétente peut, à l'occasion de l'approbation de l'étude de faisabilité, exiger du demandeur du permis minier de fournir une garantie financière dont le montant ne peut dépasser les coûts estimés pour couvrir les opérations, actions et travaux de l'après-mine.
- Le contenu et les modalités pour l'élaboration du plan de restauration et de remise en état des lieux sont précisés par voie réglementaire.

Article 124 : Outre les obligations définies par la législation et la réglementation en vigueur, le titulaire d'un permis minier est tenu notamment :

- de respecter les conditions techniques et réglementaires édictées en matière :
 - 1) d'emploi des explosifs,
 - 2) de sécurité, et d'hygiène,
 - 3) de protection de l'environnement,
 - 4) de protection du patrimoine végétal et animal,
 - 5) de protection du patrimoine culturel,
 - 6) d'écoulements d'eau et d'alimentation en eau potable, d'irrigation ou pour les besoins de l'industrie,
 - 7) de périmètres de protection,
- de procéder à la remise en état des lieux, et le cas échéant, arrêter avec l'autorité administrative compétente le coût estimé pour assurer les missions de contrôle et de prévention de l'après-mine, conformément aux dispositions des articles 48 et 123 ci-dessus ;

Article 126 : Tout demandeur d'un permis d'exploitation de mines ou de carrières, doit joindre à sa demande les études d'impact et de danger de l'activité minière sur l'environnement, accompagnées du plan de gestion de l'environnement et du plan de restauration et de remise en état des lieux.

Ces études sont soumises à l'examen et à l'approbation des autorités compétentes conformément à la réglementation en vigueur.

Article 127 : Le contenu de l'étude d'impact doit comporter, outre les dispositions législatives relatives à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable, ce qui suit :

- les raisons pour lesquelles, notamment du point de vue des préoccupations relatives à la protection de l'environnement, l'option a été retenue dans le projet minier adopté, parmi celles envisagées.
- la procédure pour le choix du mode d'exploitation.
- les conditions techniques d'exploitation qui garantissent la stabilité et l'équilibre du milieu naturel,
- les mesures prises pour la remise en état graduelle des lieux pendant et après l'activité minière, ainsi que pour la prévention des risques miniers dans le cadre de l'après-mine, tenant compte de la santé et de la sécurité du public, du respect de l'intégrité écologique et des principes de développement durable.

L'étude d'impact sur l'environnement, réalisée par des bureaux d'études, des bureaux d'expertise ou des bureaux de consultations agréés, est soumise au ministre chargé de l'environnement, pour approbation.

Article 128: Tout demandeur d'un permis d'exploration minière, d'un permis d'exploitation minière artisanale, ou d'un permis de ramassage, de collecte et/ou de récolte de substances minérales relevant du régime des carrières, doit joindre à sa demande une notice d'impact de l'activité minière sur l'environnement.

2. Le décret exécutif n° 02-65 du 06 Février 2002 définissant les modalités et procédures d'attribution des titres miniers stipule les exigences en matière de gestion environnementales pour les différents types de permis et autorisations (articles 13, 22 et 31)

Les points essentiels de ces articles qui concernent l'étude d'impact sont comme suit :

- préparation d'une mémoire sur l'impact des travaux sur l'environnement et des mesures envisagées pour atténuer cet impact et remettre en état les lieux après achèvement des travaux.
- Une étude d'impact sur l'environnement et le plan de gestion environnementale.

3. La loi n° 03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable :

La présente loi a pour objet de définir les règles de protection de l'environnement dans le cadre du développement durable. □ Décret exécutif n°07-145 du 19 mai 2007 déterminant le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études et des notices d'impact sur l'environnement, notamment son article 6 qui a précisé le contenu de l'étude ci-après:

- la présentation du Promoteur du projet et du Bureau d'études ;
- la délimitation de la zone d'étude ;
- l'analyse de l'état initial du site et de son environnement portant notamment sur les richesses naturelles et les espaces agricoles, forestiers, maritimes, hydrauliques ou de loisirs affectés par les travaux, aménagements ou ouvrages ;
- la description détaillée des différentes phases du projet ;

- l'estimation des catégories et des quantités des rejets ;
- l'évaluation des impacts prévisibles ;
- les mesures envisagées pour supprimer, réduire et compenser les conséquences dommageables du projet sur l'environnement, ainsi que l'estimation des dépenses correspondantes ;
- le plan de gestion environnemental ;
- les incidences financières allouées aux mesures préconisées.

4. Le Décret exécutif n° 04-95 du 11 safar 1452 correspondant au 1 avril 2004 fixant les règles de l'art minier (Articles 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 et 15)

Article. 1 : En application de l'article 56 de la loi n° 01-10 du 11 Rabie Ethani 1421 correspondant au 3 juillet 2001 portant loi minière, le présent décret a pour objet de fixer les règles de l'art minier applicables aux travaux d'exploitation des substances minérales qu'ils soient réalisés à ciel ouvert ou en souterrain ainsi qu'aux dépendances légales de ces exploitations.

Article. 2 : Les règles de l'art minier consistent en des règles techniques et des méthodes d'exploitation à respecter dans l'exercice de toute activité minière réalisée à ciel ouvert ou en souterrain pour valoriser le potentiel du gisement et relatives aux conditions d'hygiène et de sécurité publique et industrielle et de protection de l'environnement immédiat et riverain.

Article. 3 : Le projet de développement et d'exploitation à ciel ouvert du gisement que le titulaire du titre minier ou de l'autorisation fournit dans le dossier de demande doit être élaboré par un expert en études géologiques et minières agréé par l'agence nationale de la géologie et du contrôle minier et comprendre les paramètres suivants :

- Les caractéristiques géologiques et hydrogéologiques du gisement ;
- Les méthodes d'exploitation utilisées ;
- Les caractéristiques géométriques des ouvrages miniers : gradins, bermes, talus d'exploitation, pistes déroulage, décharges et déblais ;
- Les installations d'électricité, d'eau et d'air comprimé ;
- L'organisation des opérations d'extraction (abattage, chargement, transport);
- Les effectifs et la qualification du personnel ;
- La nature et les caractéristiques des équipements principaux ;
- Les mesures de sécurité et d'hygiène envisagées. Le projet de développement et d'exploitation sera soutenu par les plans ci-après :
- Un levé géologique du gisement à l'échelle appropriée matérialisant les travaux d'exploration effectués ;
- Un plan d'exploitation à une échelle appropriée matérialisant la disposition des fronts d'exploitation, leurs directions, les pistes d'accès, la disposition des engins et le réseau d'utilité installé.

Article. 4 : Dans les cas d'une exploitation industrielle ou d'une petite ou moyenne exploitation minière, le projet visé ci-dessus sera complété par :

- Les études relatives à la stabilité des sols,
- Les dispositions pour l'évacuation des eaux,
- La nature, l'importance, la disposition des charges d'explosifs et plus généralement les conditions de tir,
- Les techniques de purge âge,
- Le programme de soutènement additionnel du front,
- Le programme de contrôle du front.

Article. 5 : Les conditions et les règles techniques relatives aux paramètres spécifiques miniers liés à la conduite de l'exploitation à ciel ouvert seront fixées par des arrêtés du ministre chargé des mines. Celles relatives aux autres paramètres seront fixées par des arrêtés conjoints entre le ministre chargé des mines et le ministre concerné.

Article. 6 : Dans le cadre de la préservation de la sécurité dans le travail, tout titulaire d'un titre minier d'exploitation à ciel ouvert est tenu de déposer avant le démarrage de son exploitation, auprès de l'agence nationale de la géologie et du contrôle minier, les consignes d'exploitation relatives aux éléments ci-après :

- La disposition des engins d'abattage ou de chargement par rapport au front et les conditions de leur déplacement,
- La nature, l'importance, la disposition des charges d'explosifs et, plus généralement, les conditions de tir,
- Les conditions de circulation des engins servant à l'évacuation des produits,
- Les conditions de circulation du personnel,
- Les conditions de mise en œuvre d'un plan de secours d'urgence.

Les agents chargés de la police des mines veilleront à la conformité de ces consignes avec les dispositions réglementaires prévues à cet effet, et contrôleront leur application.

Article. 7 : Pour la conduite de l'exploitation en conformité avec les règles de l'art minier, telles que définies dans le présent décret et les arrêtés pris pour son application, le titulaire du titre minier doit désigner un agent responsable qualifié, dont le nom, porté dans la convention ou le cahier des charges, sera communiqué à l'agence nationale de la géologie et du contrôle minier et au(x) wali(s) territorialement compétent(s).

A défaut, l'exploitant est réputé être chargé de la conduite des travaux et responsable de l'application de la présente réglementation.

Article. 15 : Tout exploitant de substances minérales doit tenir à jour les registres et les plans d'exploitation et notamment :

- Le registre des entrées et sorties des substances explosives ;
- Le registre d'extraction des matériaux ;
- Les plans actualisés des avancements des fronts.

VIII.3 : LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX LIES AUX OPERATIONS MINIERES DES CARRIERES ROUSSEL I ET DAR M'BAREK I

Les carrières de ROUSSEL I et DAR M'BAREK I se trouvent dans un milieu sans une couverture végétale importante.

- L'impact sur la faune et la flore reste moins importante.



Figure 76 : Photo montrant le paysage très pauvre autour de la carrière Dar M'Barek

- Concernant les bruits et vibrations, les sites sont très isolés, les habitations se trouvent à partir de 2 km.
- L'impact sur les sols lié aux travaux d'ouverture (l'aménagement des pistes d'accès et de transport) et aux stériles de découverte sera aussi minime. Sels quelques champs de blé seront affectés.



Figure 77 : Photo d'un champ de blé autour de la carrière Dar M'Barek I

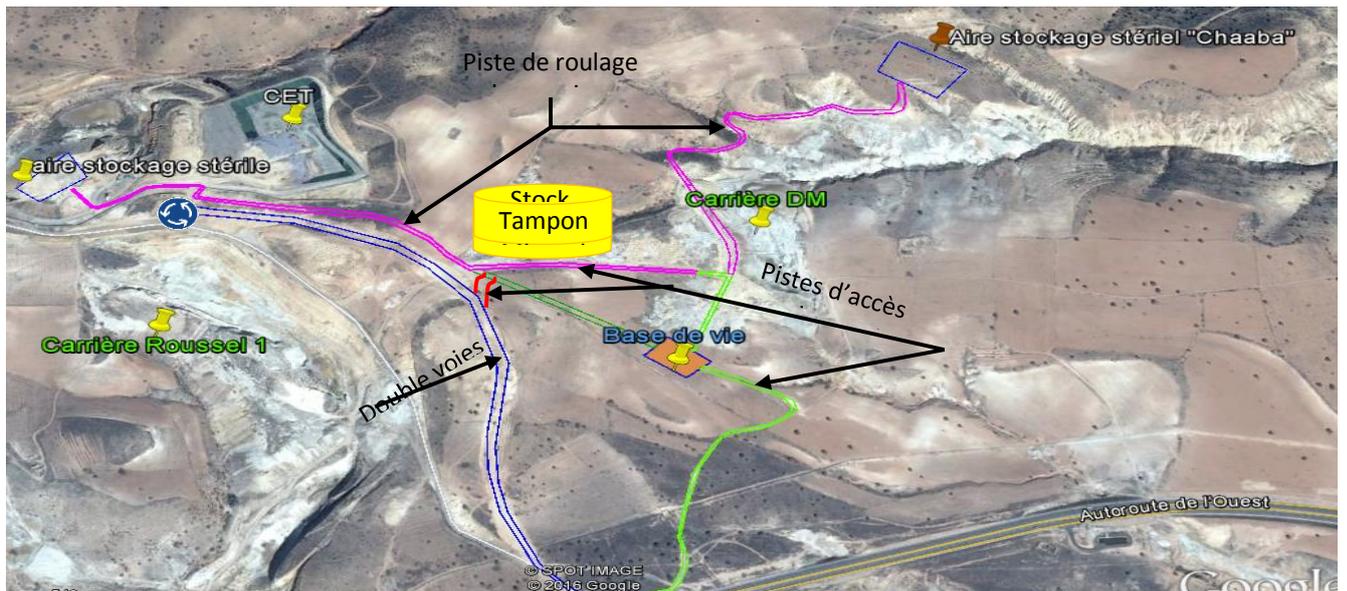


Figure 78 : représentation des pistes d'accès, de roulage et de la base de vie

- Concernant l'Impact sur l'hydrologie et Hydrogéologie, la carrière de DAR M'BAREK, à une certaine profondeur de la fosse d'exploitation, on sera obligé de dévier les de ruissellement pour éviter le problème de l'eau d'exhaure qui paralyse souvent les travaux d'exploitation de la carrière ROUSEL 1.

Les plus grands impacts qu'auront les travaux de mise en valeur de ces gisements sont :

- a- Impact sur l'air par les poussières : l'émission des poussières est principalement liée :
 - ✓ Aux opérations d'abattage et chargement du minerai
 - ✓ La circulation des engins

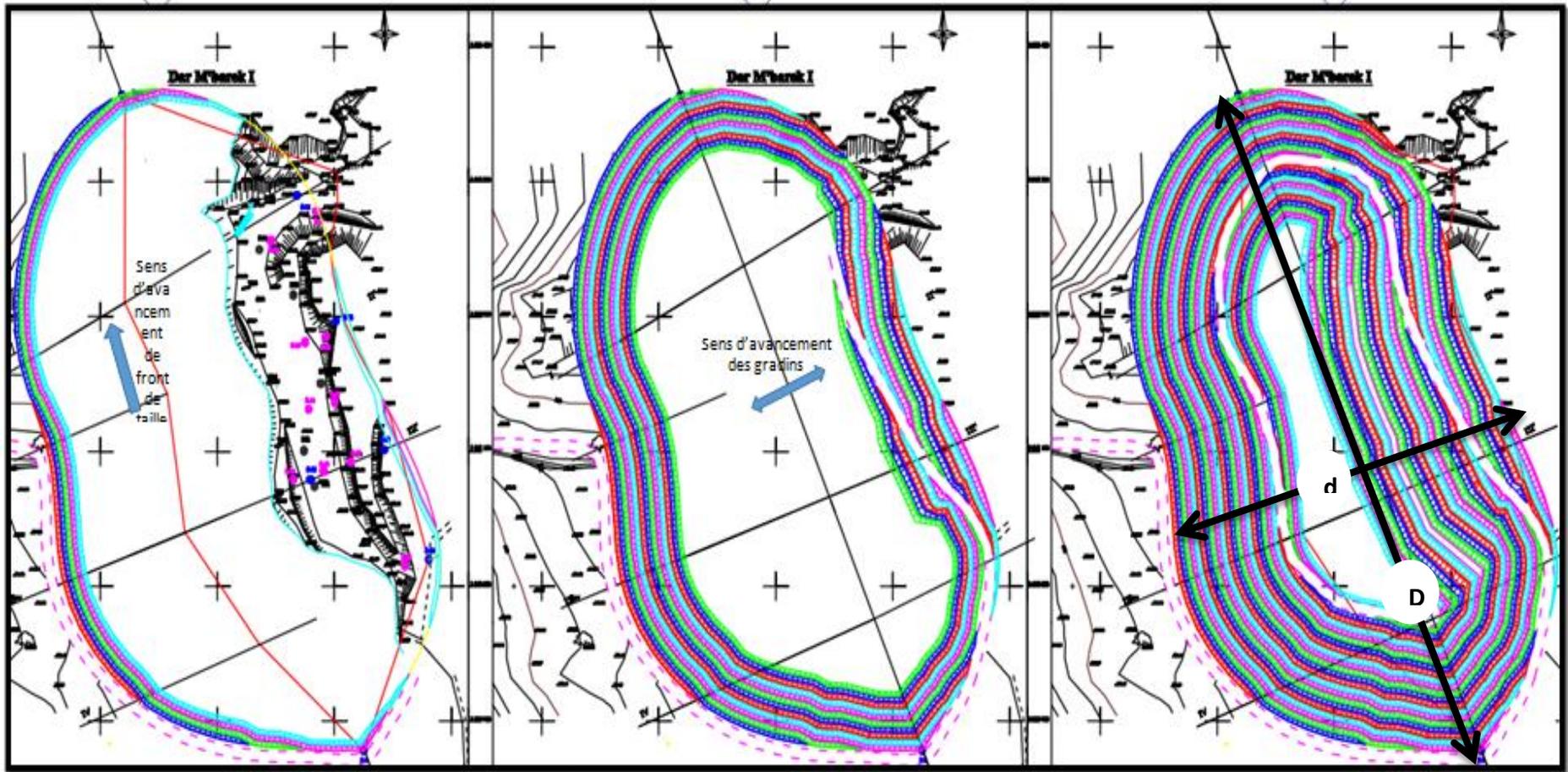


Figure 79 : photo montrant les poussières de poussière

- b- l'impact sur le paysage lié aux fosses d'exploitation

Les dimensions de la fosse finale

- Longueur: environ 540m
- largeur : environ 300m
- Profondeur : environ 120m



LEGENDE

- Limite du gisement
- ▄▄▄▄▄ Gradin projeté

D : Longueur de la fosse (environ 540m)
d : largeur de la fosse (environ 300m)

Figure 80: Phases d'exploitation de la carrière de Dar M'Barek et tailles de la fosse (ENOF Maghnia)

VIII.4 : DISPOSITIONS ENVIRONNEMENTALES ET SECURITAIRES PRISES PAR L'UNITE ENOF MAGHNIA

VIII.4.1 : Au niveau de la carrière

VIII.4.1.1 Consignes de sécurité

a) Sécurité individuelle

Au niveau de la carrière, les moyens de sécurité individuelle prévus sont :

- Tenues de travail adéquates au poste de travail (bleu de travail, combinaison de travail, tablier, etc. ...).
- Souliers de sécurité.
- Masques anti-poussières.
- Paires de gants adéquates au poste de travail.
- Casques de sécurité.

Il est interdit au personnel de s'approcher des bords des gradins et d'abandonner les engins avec moteur en marche lors des travaux de réparation et d'entretien. Les engins doivent être bien freinés. Il est interdit au personnel de se livrer à toute opération sous lame, godet ou benne sans que les précautions indispensables soient prises au préalable. Les équipements de production doivent être équipés individuellement d'extincteurs adéquats et contrôler périodiquement leur efficacité.

La disponibilité au niveau de la carrière des moyens de secours d'urgence et d'un véhicule d'évacuation d'urgence en cas d'accident. Les visites médicales et les contrôles périodiques de la santé des travailleurs au sein des organismes de la médecine de travail pour prévenir contre les maladies professionnelles du personnel.

b) Sécurité collective

Les travaux de chargement et déchargement doivent se faire sur une aire horizontale. Les conducteurs d'engins devront agir aux consignes.

- Un coup de klaxon pourrait signifier « arrêt ».
- Deux coups de klaxon pourraient signifier « départ ».
- Eviter le décapage de la découverte durant les périodes de forte pluie.

c) Sécurité des travaux de transport

Les nuisances liées au transport sont les émissions de poussière, le bruit, les risques et gênes de circulation. Pour remédier aux influences du transport sur le trafic routier et sur l'environnement, il est recommandé de respecter les règles suivantes :

- Le respect du tonnage de chargement des camions ainsi que les horaires de travail.
- Signalisation de la carrière sur la route Wilayale qui passe à proximité de la carrière pour éviter les accidents lors des sorties des camions.
- L'obligation de bien recouvrir les matériaux à l'aide d'une bâche au cours du transport.

d) Sécurité des travaux de chargement

Lors des travaux de manutention, l'opérateur de l'engin est obligé de klaxonner chaque fois un signal de fin de chargement de la matière. La plate-forme de chargement doit être assez spacieuse pour permettre aux engins des manœuvres faciles et une plus longue durée de vie de ces derniers.

VIII.4.1.2 : Lutte contre la poussière

Les moyens préconisés pour la lutte contre la poussière:

- L'arrosage de voies de transport.
- Dans les endroits où la concentration des poussières est grande, une protection individuelle s'impose à l'aide des masques anti-poussière.

VIII.4.1.3 : Gestion de déchets solide et liquide: (Torba)

L'unité dispose d'un site de rejet des déchets ci-dessous :

1. Stérile de découverte
2. Sable de classification
3. Rejet des sous-produits de neutralisation
4. Rejet des liquides issus de la station de neutralisation

VIII.4.2 : Au niveau de l'usine de traitement

L'unité veille sur un bon environnement :

- a) **Sous-produits** : Il n'y a pas de sous-produits dans le processus de fabrication.
- b) **Déchets solides et liquides** (résidus, boues, etc.) :
 - **Pertes et rejets de fabrication** : Il s'agit de pertes théoriques de séchage, principalement de l'humidité, et au dépoussiérage, de l'ordre de 15%. Cependant, on note des améliorations enregistrées avec les colmatages des fuites du produit, un gain d'énergie avec un bon calorifugeage du système de ventilation du séchage. Au niveau du dépoussiérage, il y a certes des améliorations visibles mais il est nécessaire d'acquiescer un contrôleur du taux de poussières.
 - **Gestion des déchets solides** : Les déchets solides sont caractérisés notamment par les pneumatiques usagés, les fûts vides des huiles et graisses.

Ces déchets solides font l'objet de :

- ✓ La pneumatique et les batteries usagées qui sont stockées dans un endroit réservé.
- ✓ Les ordures et stériles seront dégagées à la carrière de Hammam Boughrara dans le centre d'enfouissement technique (CET).
- ✓ Les fûts vides sont cédés au personnel à titre domestique.
- ✓ La ferraille est stockée dans un endroit isolé pour être vendue aux enchères publiques.
- ✓ Les batteries usagées font l'objet de procédures de réformes pour des ventes aux enchères.

- **Gestion des matières dangereuses** : Les matières dangereuses sont constituées notamment par les batteries et les huiles usagées. Les huiles usagées sont réutilisées pour le graissage des équipements et restituée en fûts à NAFTAL.
- **Déchets liquides** (résidus, boues, etc.) : Il n'y a pas de déchets liquides dans le processus de fabrication.
- c) **Effluents liquides** : Il n'y a pas d'effluents liquides dans le processus de fabrication.
- d) **Emissions gazeuses** :

Il n'y a pas d'émissions gazeuses.

Nous enregistrons un dégagement des poussières non nocifs mais très gênantes pour le personnel équipés des moyens de protection au niveau de la station BP10, suite à la vétusté de l'installation de traitement.

- e) **Emission de bruit à l'extérieur de l'unité** : On ne note pas de problème d'émission de bruit.
- f) **Site contaminé** : Il n'y a pas de site contaminé au niveau du périmètre d'exploitation, ni dans l'usine de traitement.
- g) **Maladies professionnelles** : Il n'est signalé aucun cas de maladies professionnelles.

VIII.5 : OBSERVATIONS MARQUANTES

- L'absence des plans de réhabilitation pour les carrières de Roussel I et Dar M'Barek I
- Conduite anarchique des travaux au niveau de la carrière Roussel I, ce qui rendra très difficile la tâche de réhabilitation



Figure 81 : Une photo montrant l'exploitation anarchique de la carrière Roussel I

VIII.6 : PLAN DE GESTION ENVIRONNEMENTAL RECOMMANDE

Tab 40 : Plan de gestion environnemental recommandé

Paramètres	Effets	Mesures
Aspect paysager	Dégradation du paysage immédiat	Remise en état du site après les travaux d'exploitation
Sol	Disparition des terres cultivables	- Décapage sélective et limiter la digue à stérils - Suivre toujours les pistes tracées
Faune et flore	Disparition de la faune et la flore	La remise en état des lieux peut favoriser le développement de la faune et flore.
Ressources hydriques (eaux du barrage de Hammam B)	Pollution des eaux par les poussières	-La direction et la force des vents ont peu d'impact dans le transport des poussières. -Arrosage des pistes et de la plate-forme.
Poussières	Emanations de poussières de la zone de travail	-Arrosage des pistes et de la plate-forme. -Installation d'un système de dépoussiérage.
Sécurité publiques Et sécurité du travail	Accidents divers	-Mise en place des panneaux indicateurs aux abords de la carrière. -Doter le personnel de la station et de la carrière de moyens de protection individuelle.
Bruits	Niveaux de bruit, plus au moins faibles (suivant l'activité)	-Entretien du matériel -Protection individuelle du personnel
Déchets / Rejets	Huiles usagées, ferrailles...etc.	Concevoir et réaliser une zone de lavage des véhicules et de vidanges des moteurs.

VIII.7 : CONCLUSION ET PROPOSITIONS POUR LA REHABILITATION DES CARRIERES

L'activité minière joue un rôle capital dans le développement du pays, mais comme toute activité, elle a des répercussions plus ou moins néfastes sur l'environnement, caractérisées par des bouleversements topographiques, la pollution et la diminution ou la disparition de la faune et de la flore. La remise en état du lieu du site exploité par la carrière, est une opération d'ordre primordial pour protéger l'aspect naturel de la région, c'est pour cela qu'il est recommandé de prévoir soit au fur et à mesure de l'avancement d'exploitation, soit à la fin de l'exploitation. Selon la loi minière algérienne, le titulaire de permis minier est tenu d'exécuter la restauration et de la remise en état des lieux de manière à réinsérer le plus possible le site dans son contexte initial, ou tout au moins à lui donner une nouvelle vocation pouvant s'intégrer dans son contexte ou à le réaménager à d'autres fins dans les mesures du possible.

Généralement la remise en état comprend une revitalisation du secteur par une plantation d'essence forestières. La remise en état du site est une obligation de la loi minière, et est calculée sur la base de 2.5 % du chiffre d'affaires annuel. Dans le cas des carrières Roussel I et Dar M'Barek, au vue des conditions climatiques, environnementales et l'isolement du site par rapport aux habitations, nous proposons la transformation de ces sites en Centres d'Enfouissement Technique (CET) ou un barrage d'eau destiné à l'irrigation. Un reboisement adéquat pour atténuer l'effet de l'évasion est aussi une solution à envisager. Nous recommandons une étude d'impact environnemental très poussé devant aboutir à l'établissement des plans de réhabilitation des sites Roussel I et Dar M'Barek. Au vue des difficultés rencontré un partout pour la remise en état, nous recommandons aussi le dépôt de 2.5% du chiffre d'affaire destiné à la réhabilitation de la carrière après l'exploitation.

CHAPITRE IX : CONCLUSION GENERAL ET RECOMMANDATIONS

Les gisements des bentonites du district de Hammam Boughrara sont directement liés aux phénomènes tectoniques et volcaniques qui ont affectés l'Algérie Nord occidental et la région de Maghnia. Ces gisements résultent de la transformation des rhyolites, perlites et des tufs pyroclastiques, sous l'action d'un phénomène Hydrothermal, mise en place à la faveur des failles et des cassures. Les argiles bentonitiques des gisements Roussel I et Dar M'Barek sont de très bonne qualité et peuvent être utilisées comme boues de forage, Terres décolorantes, Bentonite de fonderie, Bentonite de charge, et bentonite pour Bouletage de fer.

Les paramètres géologiques qui régissent directement sur la qualité et la quantité de bentonite sont les failles, la nature de la roche mère à partir de laquelle se développent les argiles bentonitiques et le phénomène d'altération (bentonitisation) qui régit sur les tufs pyroclastiques dont il délimite de couche de gisement. Les gisements de Roussel I et Dar M'Barek I sont les mieux connus par rapport aux autres gisements et les réserves globales sont au tour de 5 Millions de tonnes pour Dar M'Barek I et 3.9 Millions de tonnes pour Roussel I.

Au terme du présent travail, nous proposons d'autres recommandations nécessaires et indispensables afin de faire une exploitation optimale, rationnelle, rentable et conformes aux normes de l'exploitation minière et environnementaux :

- Pour une meilleure connaissance des réserves des gisements de Roussel I et Dar M'Barek I (qui conduira à une exploitation optimale des réserves), il est nécessaire de faire d'autres travaux d'exploration (sondages par forages, du gisement) pour augmenter les réserves minérales déjà découvertes et exploitées, et surtout en utilisant de nouvelles approches et technologies (autres méthodes de sondages, surtout les méthodes géophysiques, une modélisation en 3D), tout en tenant compte de la rentabilité des investissements.
- Afin d'augmenter la rentabilité des carrières Roussel I et Dar M'Barek, il est recommandé d'élaborer un plan de développement et d'exploitation à cours, moyen et long terme de la carrière Roussel I, de tester différents scénarios d'exploitation des fosses optimales calculées pour deux carrières et trouver les points d'attaque qui généreront les meilleures Valeurs Actualisées Nettes (VAN). Cependant, sachant que la méthode traditionnelle (VAN) ne permette pas de refléter la valeur de la gestion managériale et son impact sur la valeur de tels projet, il s'avère intéressant d'opter pour un processus de prise de décision qui est flexible afin de mieux se positionner dans un contexte d'incertitude, c'est-à-dire de profiter d'éventuelles opportunités tout en limitant l'impact de risques potentiels alors associés à des impacts négatifs sur le projet. Il s'agit donc d'une flexibilité non improvisée, mais délibérément planifiée et circonscrite dans la gestion et la planification du projet. Cela consiste à adopter l'approche des options réelles qui permettent d'identifier et d'évaluer des plans d'exploitation où la gestion managériale constitue une réponse à l'évolution incertaine de l'environnement propre à l'exploitation.
- Dans le cas des carrières Roussel I et Dar M'Barek, au vue des conditions climatiques, environnementales et l'isolement du site par rapport aux habitations, nous proposons la transformation de ces sites en Centres d'Enfouissement Technique (CET) ou un barrage d'eau destiné à l'irrigation. Un reboisement adéquat pour atténuer l'effet de l'évasion est aussi une solution à envisager. Nous recommandons une étude d'impact environnemental

très poussé devant aboutir à l'établissement des plans de réhabilitation des sites Roussel I et Dar M'Barek. Au vue des difficultés rencontré un partout pour la remise en état, nous recommandons aussi le dépôt de 2.5% du chiffre d'affaire destiné à la réhabilitation de la carrière après l'exploitation.

Bref, la gestion et l'exploitation de ces gisements doivent se faire conformément aux différentes lois minières et environnementales en vigueur. Le respect de la législation contribuerait à une exploitation économiquement rentable et saine d'un point de vue environnemental.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Abderrahim MELKI (2012)** : « *Etude analytique des caractères physico-chimiques et hydriques de deux types de bentonite (exemple de la bentonite de Maghnia et de la bentonite de Mostaganem)* » Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master ACADEMIQUE, Option Géo-Ressources ; UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID-TLEMCCEN,
- **AKEB Rym et MEZOUAR Aouda (2000)** : *Contribution à l'étude des Bentonites de Hammam Boughrara (Maghnia-Tlemcen)* Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Géologie, Option Géologie Minière ; IST/USTHB, 89p.
- **AOUNE-SEGHIR F. et BACHOUCHE S. (2011)** : « *Contribution à l'étude géologique du gisement de bentonite des carrières Roussel, RM, Bab et Dar-Embarek (Hammam Boughrara, Maghnia, Tlemcen)* » ; Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Géologie, Option Géologie Minière ; IST/USTHB, 83p
- **ALIOUCHE MOHAMED (2008)** : *Exploitation des substances utiles à ciel ouvert et impact sur l'environnement ; Etude de cas dans l'Est Algérien (Les gisements de Djebel Salah, Région de Constantine)* ; Mémoire de magister en géologie, Option : géologie des substances utiles, 113p ;
- **BENTAL spa** « *Approche technico-économique pour le projet 50.000T/an de Bentonite et 10.000T/an de Terres décolorantes* » ;
- **BENTAL spa (2014)** : «*Rapport géologique biannuel 2012-2013*», Unité de Maghnia ;
- **BUMIGEME INC (Janvier 2010)** : *étude technique et économique des gisements de bentonite de M'Zila (Mostaganem) et de hammam boughrara (Maghnia) : Évaluation et caractérisation des réserves, VOLUME II.*
- **BOUKHEDIMI (2008)** : *Origine du processus de bentonitisation des terrains volcanogènes rhyolitiques de Hammam Boughrara (Maghnia, Algérie Nord occidentale)* ; Thèse de Magistère en géologie (Structurologie-Pétrologie-Géochimie), Université d'Oran, 102p ;
- **BRAHIMI S. et HADJ MAHAMMED Y. (2016)** : « *pollution induite par l'effet de pontage des Terres Décolorantes (Hammam Boughrara, Maghnia, Tlemcen)* » ; Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master en géologie, Option : Ressources Minérales et Environnement, IST/USTHB
- **CHAA HALIMA (2011)** : *Contribution à l'étude géologique du processus de Bentonitisation des argiles des carrières de Dar M'Barek et Torba (Hammam Boughrara- Maghnia-Tlemcen)* ; Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master en geologie, Option : Ressources Minérales et Environnement, IST/USTHB

- **CHIKHI Khalid** : *Adsorption du zinc sur la bentonite de Maghnia*
Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master ACADEMIQUE,
Option Génie de l'environnement, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA,
30p.
- **Damien Goetz**: « *Techniques d'exploitation et économie de projets miniers* », Cours à
l'Ecole Thématique Ressources minérales, Février 2012 ; Centre de Géosciences,
MINES ParisTech
- **ENOF Maghnia (Mars 2017)** : *Plan de développement et d'exploitation de la carrière
d'argiles bentonitiques de Dar M'Barek 01, Hammam Boughrara (W. Tlemcen),*
- **ENOF Maghnia (Juin 2016)** : *Plan de d'exploitation globale de 2017 (pour la
carrière Roussel I)*
- **Eric Marcoux (2012)** : « *Introduction aux ressources minérales* », cours à l'Université
d'Orléans 2011/2012.
- **Exploration minière : Rapport sur les activités minières au Québec – 2014**, 36p.
- **FRANÇOISE ELSASS (2005)** : « *Minéralogie des argiles de sols : structure,
altération, réactivité* » ; Mémoire en vue d'obtenir l'Habilitation à Diriger des
Recherches, Université Louis Pasteur de Strasbourg, Ecole Doctorale des Sciences de
la Terre, de l'Univers et de l'Environnement, 137p.
- **Grâce Méлина MENGUE EDOH AFIYO (2011)** : *impacts de l'exploitation minière
sur l'environnement et les collectivités locales dans la province du haut-Ogooué : cas
de la COMILOG a Moanda (Gabon)*. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du
master spécialisé ; option : gestion durable des mines ; Institut International
d'ingénierie de l'eau et de l'environnement, 61p.
- « *Guide sur l'exploration et l'exploitation minières pour les communautés
autochtones* », ACPE : www.pdac.ca; No de cat. M37-54/2012F-PDF ; ISBN 978-1-
100-99928-9
- « *Guide de l'exploration minière : minerais métalliques* », Centre pour le
Développement de l'entreprise ACP-UE, série technologies No15.
- **K. Benyounes & al. (2010)** : « *Caractérisation rhéologique de la bentonite de
Maghnia en suspension aqueuse sans et avec additifs anioniques* », revue Courrier du
Savoir – N°10, Avril 2010, pp.51-57.
- **LE MEUR P.-Y., COCHONAT P., DAVID C., GERONIMI V., SAMADI S.
(coord.), 2016** : « *Les ressources minérales profondes en Polynésie française* ».
Marseille, IRD Éditions, coll. Expertise collégiale, bilingue français-anglais + tahitien,
288 p
- **MANAGEM** : « *Processus d'estimation des ressources et des réserves à Managem* »

- **M. Larakeb et al. (2014)** : « *Etude comparative de l'élimination du zinc par adsorption sur la goethite et sur la bentonite de Maghnia* », revue Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°19, Septembre 2014, pp. 87-100.
- **MOHAMMAD KONESHLOO (2007)** : *Caractérisation, estimation et valorisation de gisements d'argiles kaoliniques du bassin des Charentes* ;
- **MOKHTARI MUSTAPHA et DJELLOULI ASMAA (2013)** : *Valorisation de la Bentonite Algérienne: Extraction de la silice et l'aluminium*. Mémoire de licence, Spécialité Chimie Option : Chimie Minérale, Université Dr. Moulay Tahar de SAIDA
- **Nicholas T.Arndt et Clément Ganino (2010)** : « *Ressources Minérales : Origine, nature et exploitation* », Dunod, Paris, 2010, 173p.
- **Nunavut Geoscience.ca (2014)** : « *NUNAVUT: aperçu de l'exploration minérale, de l'exploitation minière et des sciences de la terre* » ; www.aadnc-aandc.gc.ca, QS-Y397-000-FF-A1 ; N o de catalogue : R71-39/2014F-PDF ; ISSN : 2292-776X,
- **PAUL NOBERT (2014)** : « *La flexibilité managériale dans la gestion de projets miniers : une analyse qualitative par l'approche des options réelles* » ; Mémoire présenté comme exigence partielle de la maîtrise en gestion de projets, Université du Québec à Montréal.
- **SEGHIR Hichem (2010)** : « *Critique et réorganisation des travaux d'exploitation de la mine à ciel ouvert de Bentonite de Hammam Boughrara (Maghnia)* », Projet de Fin d'Études en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'État en Génie Minier, École Nationale Polytechnique d'Alger.
- **SID AHMED HAMMOUDA ET ABDELHAK MEHDID, 2011** : *Contribution à l'étude des ressources minérales dans les monts des TRARAS (calcaire, sable et argile) : état actuel, perspectives et impact sur l'environnement* : Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master, Option Géo-ressources, UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID-TLEMCEN, 53p.