

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



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique



Département Génie Minier

**Mémoire de projet de fin d'études Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en
Génie Minier**

Les techniques et les processus technologiques d'extraction des blocs
granitiques adaptés aux conditions géologiques du gisement
Tesnou I – Cosider Carrières

Réalisé par :

Oussama BARKA

Sous la direction de :

Mr. Mohamed Aguid BACHAR ASSED

Mr. Larouci CHANANE

Présenté et soutenu publiquement le **10/11/2020**

Composition du Jury :

Président :	Dr. Malek OULD HAMOU	Maître de conférences A, ENP Alger
Promoteur :	Dr. Mohamed Aguid BACHAR ASSED	Professeur, ENP Alger
Co-promoteur :	M. Larouci CHANANE	Maitre-assistant A, ENP Alger
Examineurs :	Dr. Yahia AZRI	PDG, ORGM
	M. Abdelhakim BOUKHARI	PDG, COSIDER Carrière

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



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique



Département Génie Minier

**Mémoire de projet de fin d'études Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en
Génie Minier**

Les techniques et les processus technologiques d'extraction des blocs
granitiques adaptés aux conditions géologiques du gisement
Tesnou I – Cosider Carrières

Réalisé par :

Oussama BARKA

Sous la direction de :

Mr. Mohamed Aguid BACHAR ASSED

Mr. Larouci CHANANE

Présenté et soutenu publiquement le **10/11/2020**

Composition du Jury :

Président :	Dr. Malek OULD HAMOU	Maître de conférences A, ENP Alger
Promoteur :	Dr. Mohamed Aguid BACHAR ASSED	Professeur, ENP Alger
Co-promoteur :	M. Larouci CHANANE	Maitre-assistant A, ENP Alger
Examineurs :	Dr. Yahia AZRI	PDG, ORGM
	M. Abdelhakim BOUKHARI	PDG, COSIDER Carrière

ملخص

إن اختيار طريقة الاستغلال المنجمي هو أهم جزء في استخراج الموارد، لا سيما تلك المخصصة للاستخدامات الزخرفية مثل الجرانيت.

يجب على المهندس الذي يعمل في تخطيط وتشغيل محجر الجرانيت أن يكون دراية بتقنيات القطع و الفصل المختلفة، وأن يكون لديه فهم شامل للخصائص الجيولوجية والميكانيكوفيزيائية للمادة الخام المستخرجة. و ذلك من أجل تصميم طريقة تشغيل مثالية لهذا المحجر.

الهدف من هذا العمل هو دراسة واقتراح طريقة لاستغلال رواسب الجرانيت في تسنو 1 بتمنراست مع مراعاة الظروف الجيولوجية لهذا الرواسب.

كلمات مفتاحية : الجرانيت، محجر، الجيولوجيا، استخراج، حجر الزخرفية، حجر الزينة.

Abstract

The choice of mining method is the most important part in the extraction of mineral resources, especially those destined for decorative uses such as granite.

The engineer involved in the planning and operation of a granite quarry must be familiar with the various cutting and splitting techniques, and have a thorough understanding of the geology and physico-mechanical properties of the deposit he is extracting in order to design an optimal mining method for this quarry.

The objective of this work is to study and propose a mining method for the TESNOU-1 granitic deposit while taking into account the geological conditions of this deposit.

Keywords: granite, quarry, geology, extraction, dimension stone, decorative stone.

Résumé

Le choix de la méthode d'exploitation est la partie la plus importante dans l'extraction des ressources minérales, en particulier celles destinées aux usages décoratifs comme le granite.

L'ingénieur impliqué dans la planification et l'exploitation d'une carrière de granite doit être familiarisé avec les différentes techniques de coupe et de fendage, et avoir une compréhension approfondie de la géologie et des propriétés physico-mécaniques du gisement qu'il extrait afin de concevoir une méthode d'exploitation optimale pour cette carrière.

L'objectif de ce travail est d'étudier et de proposer une méthode d'exploitation du gisement granitique TESNOU-1 tout en tenant compte des conditions géologiques de ce gisement.

Mots-clés : granite, carrière, géologie, extraction, pierre de taille, pierre décorative

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

- ❖ Mes chers parents.
- ❖ Mes frères, ma sœur et ma grande famille
- ❖ Mes camarades de génie minier, du VIC, et ceux de l'Ecole nationale polytechnique.
- ❖ Mes amis et très spécialement : Abdou, El B, Fares, Ryad, Hamza et le groupe TINDER.
- ❖ Toutes les personnes qui ont aidé à la réalisation de ce mémoire de loin ou de près

Je tiens à leur témoigner mon affection. Que Dieu les protège et les bénisse.

Remerciement

En préambule au présent projet de fin d'études, Je remercie Dieu Tout Puissant de m'avoir donné la volonté et le courage de mener à bien ce mémoire.

Je remercie chaleureusement mon promoteur Docteur **Mohamed Aguid BACHAR ASSED**, pour son dévouement, sa générosité et ses conseils pertinents et avisés, sans son soutien ce travail n'aurait jamais vu le jour.

Je remercie profondément mon professeur Docteur **Malek Ould Hamou** qui a accepté de présider le jury de cette soutenance.

Je tiens à remercier aussi Mon Co-promoteur Mr. **Larouci CHANANE** pour son aide apportée ; pour tous ses conseils donnés, et pour toute l'attention qu'il a portée au travail, et pour sa grande contribution dans la réalisation de ce mémoire.

J'exprime aussi mes profondes reconnaissances à Monsieur le PDG de Cosider Carrière Mr. **BOUKHARI Abdelhakim**, pour sa proposition du présent sujet de fin d'études, pour son aide apportée et aussi d'avoir accepté d'évaluer ce travail.

Je tiens à remercier en particulier Monsieur le PDG de ORGM, Mr. **AZRI Yahia**, qui nous ont fait l'honneur d'examiner ce travail.

Je tiens à témoigner toute ma reconnaissance aux personnes suivantes, pour leur aide dans la réalisation de ce mémoire :

Mr. **Abdelhamid CHAIBLAINE**, Chef de projet pour son aide et d'avoir mis à nous disposition les moyens nécessaires pour l'accomplissement de ce projet.

Ainsi le personnel de COSIDER CARRIERE pour leur accueil et gentillesse, et spécialement Mr. **Bilal BENACER** et Mr. **Chabane YOUNSI** Pour leur serviabilité et leur disponibilité.

Je souhaite aussi témoigner ma gratitude à M. **Abdelkader BEKADA** et Mr. **Fares MELGANI** pour leurs soutien et précieuses aides qu'ils m'ont apporté.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs qui m'ont suivi durant ma formation universitaire. En particulier Dr. **OULD HAMOU Malek**, Mr. **GACEM Rachid** et Mme. **MERCHICHI Amira** qui par leurs paroles, leurs gestes, leurs écrits, leurs conseils ainsi que leurs critiques ont guidé mes réflexions et de répondre avec délicatesse mes questions durant mes recherches.

Finalement, je remercie ma famille, mes amis, pour leurs soutiens et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.

TABLE DES MATIERES

LISTE DES FIGURES	
LISTE DES TABLEAUX.....	
LISTE DES ABREVIATIONS.....	
Introduction	10
1 CADRE GEOGRAPHIQUE ET CONTEXTE GEOLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE.....	12
1.1 Localisation du cadre géographique	12
1.2 Contexte géologique régionale	13
1.2.1 PLAN STRUCTURAL.....	14
1.2.2 PLAN LITHOSTRATIGRAPHIQUE	16
1.2.3 TECTONIQUE.....	18
1.3 Caractéristiques de massif rocheux	19
1.3.1 Pétrographie du gisement.....	19
1.3.2 Travaux réalisés par l'ORGM.....	21
1.3.3 Travaux topographiques.....	23
1.3.4 Travaux de forage	23
1.3.5 Résultats obtenus par les travaux de l'ORGM	24
Conclusion.....	30
2 EXPLOITATION DE GRANITE	32
2.1 Extraction des blocs granitiques	32
2.1.1 TECHNIQUES DE FENDAGE.....	33
2.1.2 TECHNIQUES DE DECOUPAGE	38
2.2 Processus d'extraction	41
2.2.1 FORAGE :	41
2.2.2 DECOUPAGE/ ABATTAGE.....	42
2.2.3 DETACHEMENT ET DEGAGEMENT	42
2.2.4 CHARGEMENT.....	43
2.2.5 TRANSPORT DES FRONTS VERS LES DEPOTS	43
2.3 Aménagement de la carrière.....	44
2.4 Les pertes et gestion des déchets	45
2.4.1 CAUSES DES PERTES LORS DE L'EXTRACTION	45
2.4.2 REDUCTION DES PERTES.....	46
Conclusion.....	46
3 TRAVAUX D'OUVERTURE	48
3.1 piste d'accès au gisement	48
3.2 caractéristiques de la piste	48
3.3 méthode d'ouverture.....	50
3.4 Analyse de système d'exploitation	55
3.4.1 CONDITIONS TECHNICO MINIERES	56
3.4.2 SYSTEME D'EXPLOITATION	57
Conclusion.....	60

4	ANALYSE TECHNICO ECONOMIQUE.....	62
4.1	La méthode d'extraction.....	62
4.1.1	CHOIX DE LA METHODE D'EXTRACTION	62
4.1.2	METHODE D'EXTRACTION PAR SCIAGE A FIL DIAMANTE.....	62
4.2	extraction des blocs	64
4.2.1	TRAVAUX DE FORAGE.....	64
4.2.2	TRAVAUX DE SCIAGE	66
4.2.3	ECARTEMENT, BASCULEMENT DES BLOCS	68
4.2.4	RETAILLEMENT DES BLOCS.....	68
4.2.5	CHARGEMENT ET TRANSPORT.....	70
4.2.6	OPTIMISATION DES PROCEDES D'EXTRACTION DES BLOCS.....	72
4.2.7	FLOW CHART DES OPERATIONS	74
4.3	Capacité de l'entreprise	74
4.3.1	CAPACITE DE PRODUCTION :.....	74
4.3.2	PROGRAMMATION DES OPERATIONS :.....	77
4.4	Emplacement des fronts	80
4.5	Estimation de cout de revient l'extraction d'un m ³	80
4.5.1	DETERMINATION DES RESSOURCES.....	80
4.5.2	AMORTISSEMENT JOURNALIER D'UN ENGIN	83
4.5.3	CALCUL DE SALAIRE PAR JOUR.....	83
4.5.4	DEPENSES D'ENERGIE ET EAU PAR JOUR	83
4.5.5	CALCUL DE PRIX DE REVIENT D'1 M ³	86
	conclusion.....	87
5	Réutilisation des déchets de pierre dans le secteur industriel	89
5.1	Les problèmes posés par les déchets de granite.....	89
5.1.1	LES PROBLÈMES ENVIRONNEMENTAUX.....	89
5.1.2	LES PROBLÈMES DE SANTÉ.....	89
5.1.3	LES PROBLÈMES ÉCONOMIQUES	89
5.2	Les types de déchets provenant de l'exploitation des carrières de granite :	90
5.3	L'utilisation des déchets de granite et des boues de granite	90
5.3.1	Comme matériau de construction pour les routes et les remblais	90
5.3.2	Pour la fabrication de briques	91
5.3.3	Blocs creux et carreaux de mur.....	91
5.3.4	Résumés des différentes applications de la réutilisation des déchets	91
	Conclusion.....	92
	conclusion générale	94
	Bibliographie	96
	annexes	99

LISTE DES FIGURES

Figure 1-1 Situation géographique de la zone TESNOU-1, Google Earth 2018	12
Figure 1-2 : Localisation du la zone Tesnou-1 (Extrait de la carte topographique au 1/200 000 de Tesnou).	13
Figure 1-3 : Architecture du massif du Hoggar et localisation des granites tardifs, d'occurrences d'or et de minéralisations de métaux rares. Subdivisions de terrane	14
Figure 1-4 : coupe géologique selon les sondages St1/1 St1/2 St1/3 (10).....	22
Figure 1-5 Opération de prélèvement d'une saignée de surface. (10)	23
Figure 1-6 : Opération de réalisation du sondage ST1/6. (10).....	24
Figure 1-7 Esquisse de la carte géologique du site Tesnou-. (10)	25
Figure 1-8 : plan de fracturation et sens d'exploitation (10)	26
Figure 1-9 : Plan topographique du site de Tesnou-1. (10)	26
Figure 1-10 : résultats de polissage.....	29
Figure 2-1 fendage de la pierre par la technique de Plug-and-plumes.....	33
Figure 2-2 L'utilisation de plug-and-plumes pour le fendage de la pierre	33
Figure 2-3 Séparateur hydraulique de pierres et de roches S100 pour carrière	34
Figure 2-4 Fente médiocre due à une application trop rapide de la force de fente	34
Figure 2-5 Coupe transversale schématisée d'un trou chargé de cordeau détonant et rempli d'eau.	36
Figure 2-6 tir d'ouverture (15)	36
Figure 2-7 extraction de pierre ornementale par explosifs (15).....	37
Figure 2-8 découpage par haveuse (15).....	39
Figure 2-9 Schéma de forage pour l'extraction de la pierre de taille	40
Figure 2-10 Schéma des coupes horizontales et verticales (Rehman, 2010).	41
Figure 2-11 Installation de forage mobile (Verde Ubatuba, Brésil) et installation de forage sur chariot (Bluepearl, Norvège) (14).....	42
Figure 2-12 dégagement des blocs à l'aide des coussins (15)	43
Figure 2-13 chargement de blocs à l'aide d'une fourche sur un chargeur frontal (Rustenburg, RSA) (14).....	43
Figure 2-14 Vue isométrique de l'aménagement optimal de la carrière (14)	45
Figure 3-1 coupe transversale de la piste	49
Figure 3-2 présence des éboulis sur la partie nord de gisement.....	50
Figure 3-3 variante 1.....	50
Figure 3-4 variante 2 de l'ORGM (33).....	51
Figure 3-5 piste de variante 3	51
Figure 3-6 variante 4.....	52
Figure 3-7 partie nord de gisement.....	53
Figure 3-8 accès de la partie nord.....	53
Figure 3-9 accès de la partie sud.....	54
Figure 3-10 plateforme 930	54
Figure 3-11 extraction des blocs (15)	57
Figure 3-12: schématisation de la largeur utilisée par le fil diamanté	59
Figure 4-1 forme 'V' d'ouverture et profilage des trous	62
Figure 4-2 extraction de bloc complet (tranche) de granite	63
Figure 4-3 Sciage des petits blocs après dégagement	63
Figure 4-4 FLOW CHART DES OPERATIONS	74
Figure 4-5 schéma chronologique des opérations d'extraction	77
Figure 4-6 : cycle d'une tranche.....	77
Figure 4-7 : programmation des travaux.....	78
Figure 4-8 : temps de sciage (h) par vitesse de machine à fil diamanté.....	79
Figure 4-9 : temps de retaillage (h) par vitesse de machine à retaillage bloc.....	79

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1-1 : coordonnées des bornages de TESNOU1.....	12
Tableau 1-2 étude microscopies de granite TESNOU-1 (10).....	20
Tableau 1-3 : composition chimique des saignés de surface.....	27
Tableau 1-4 : composition chimique des échantillons de carottes.....	27
Tableau 1-5 : Résistance à la compression des échantillons de carottes.....	28
Tableau 1-6 : résultats des essais de porosité et bleu de méthylène.....	28
Tableau 1-7 : norme française de granite pour la pierre décorative.....	30
Tableau 2-1 méthodes d'extraction de la pierre de taille.....	32
Tableau 3-1 : avantages et désavantages des variantes d'ouverture.....	52
Tableau 4-1 : répartition des machines (en marche/en réserve).....	75
Tableau 4-2 : calcul de la consommation en énergie électrique.....	76
Tableau 4-3 calcul de la consommation en carburant.....	76
Tableau 4-4 ressources humaines.....	81
Tableau 4-5 : ressources matérielles.....	82
Tableau 4-6 calcul des amortissements.....	84
Tableau 4-7 calculs des salaires.....	85
Tableau 4-8 Dépenses d'Énergie et eau.....	85
Tableau 4-9 calculs de consommation en fil diamanté.....	86
Tableau 5-1: différentes applications de la réutilisation des déchets.....	91

LISTE DES ABBREVIATIONS

LATEA : Laouini-Azroun-Fad-Tef dest-Egere-Aleksod

ORGM : office national de recherche géologique et minière

Q_h : le rendement effectif horaire

V_{godet} : volume de godet

N_j : Nombre de jours ouvrable de travail par an est égale à 312 jours

N_p : Nombre de poste par jour est égale à 1 poste / jour

T_p : durée de poste prolongé est égale à 10 heures

P_m : production mensuelle

P_j : production journalière)

α_T :angle général du talus.

L_{pt} : la largeur de la plateforme de travail

K_u : Coefficient d'utilisation

T_f : Temps nécessaire pour la foration d'trou

N_f : nombre foreuses nécessaire

V_B : volume de bloc complet

T_s : Temps nécessaire pour le sciage d'un bloc.

N_s: nombre machines de sciages nécessaire

T_r : Temps nécessaire pour le retaillement des blocs.

N_r : nombre machines de retaillement nécessaire

N_{chargeuses}: nombre de chargeuse

C_{poste} : capacité d'un poste par un seul front

C_{an}: capacité d'un an par trois seuls fronts

C_{Tposte} : Capacité total par poste

C_{totale} : Capacité total annuel

S(m) : salaire mensuel, (DA)

q(eau) : la consommation d'eau par machine

p(eau) : prix d'un mètre cube d'eau

P(m³) :cout d'un mètre cube

INTRODUCTION

L'Algérie marque une nouvelle étape dans son existence, en se tournant vers l'industrie minière, dont les actions programmées et mises en œuvre nous donnent un espoir pour le renforcement futur de l'économie algérienne.

Cependant, l'exploitation de différentes richesses naturelles, sous tendant le développement et la maturation des projets miniers n'est pas facile. Plusieurs paramètres dont la méthode d'évaluation, le mode opératoire, les processus de traitement, la valorisation des déchets, la préservation de l'environnement et l'impact économique, doivent être scrupuleusement pris en compte.

Notre présent travail de projet de fin d'études, s'intéresse aux méthodes d'exploitation du gisement de granite jeune. Cas du site Tesnou-1, situé dans le massif du Hoggar, au nord de la wilaya de Tamanrasset, ce qui contribuerait pleinement au développement aussi bien de l'économie nationale que celle de grand sud.

L'objectif de notre étude, vise à analyser les différents paramètres des systèmes d'exploitation, tout en s'appuyant sur les techniques et les processus technologiques optimaux d'extraction des blocs granitiques adaptés aux conditions géologiques du gisement de Tesnou-1.

Dans ce contexte, nous avons structuré notre mémoire du Projet de Fin d'Etudes de la manière suivante,

Le premier chapitre, est consacré à la synthèse de l'étude bibliographique par la présentation des conditions naturelles et le contexte géologique de la région du site du gisement granitique de TESNOU1 ;

Le deuxième chapitre, s'intéresse aux différentes méthodes de l'extraction de granite à l'échelle mondiale ;

Le troisième chapitre traite le problème de l'ouverture ainsi que l'analyse du système d'exploitation, à savoir : les conditions technico minières, les paramètres de l'extraction, les pertes ainsi que les opérations de chargement et transport.

Le quatrième chapitre : sera consacré à l'étude de la méthode d'exploitation, matériels utilisés, calcul des paramètres les plus rentables ainsi que l'estimation de coût de l'extraction.

Le cinquième chapitre s'adresse à la gestion des déchets et ses utilisations dans le domaine industrielle.

CHAPITRE 1
CADRE GEOGRAPHIQUE ET
CONTEXTE GEOLOGIQUE
DE LA ZONE D'ETUDE

1 CADRE GEOGRAPHIQUE ET CONTEXTE GEOLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

1.1 LOCALISATION DU CADRE GEOGRAPHIQUE

Le périmètre d'étude est situé à 235 Km au Nord-Ouest de la ville de Tamanrasset, **entre la ville d'In-Amguel au Nord et la ville d'Abalessa au Sud**, et à 6 Km à l'Ouest de la Route Nationale 01.

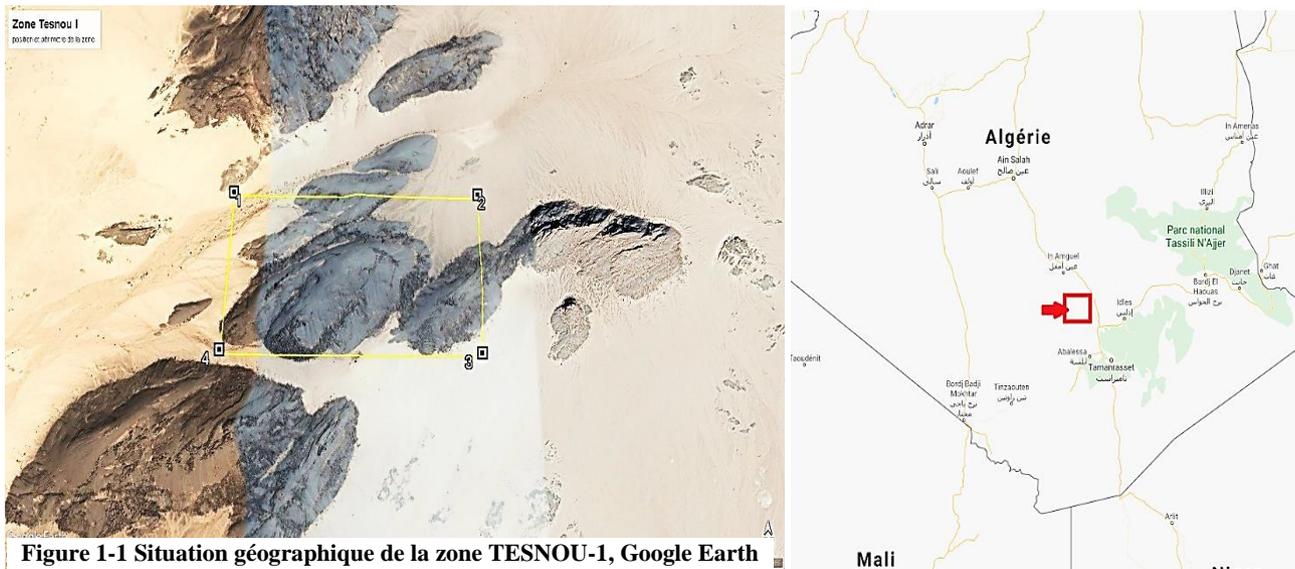


Figure 1-1 Situation géographique de la zone TESNOU-1, Google Earth 2018

Selon la projection UTM Nord SAHARA (zone 31), ce périmètre d'étude est délimité par les coordonnées suivantes :

Tableau 1-1 : coordonnées des bornages de TESNOU1

POINTS	X	Y
A	658100	2733100
B	659800	2733100
C	659800	2732200
D	658100	2732200

La région de Tesnou est **comprise entre** les coordonnées 4° et 5° de longitude **Est** et entre 24° et 25° de Latitude Nord.

D'un point vu orographique, l'altitude maximale atteinte culmine à **1731 m** (Adrar Tesnou). De même, plusieurs monts s'étirent du Sud au Nord le long de l'accident d'**orientation 4°50'**. La partie Ouest de la région, se caractérise par des **massifs** montagneux (Tafezrhit, Tin Inirt, Tin Taouafa, Tidjerenene) **dont** l'altitude maximale **est** de 1513m, **avec un** réseau hydrographique assez organisé à écoulement saisonnier.

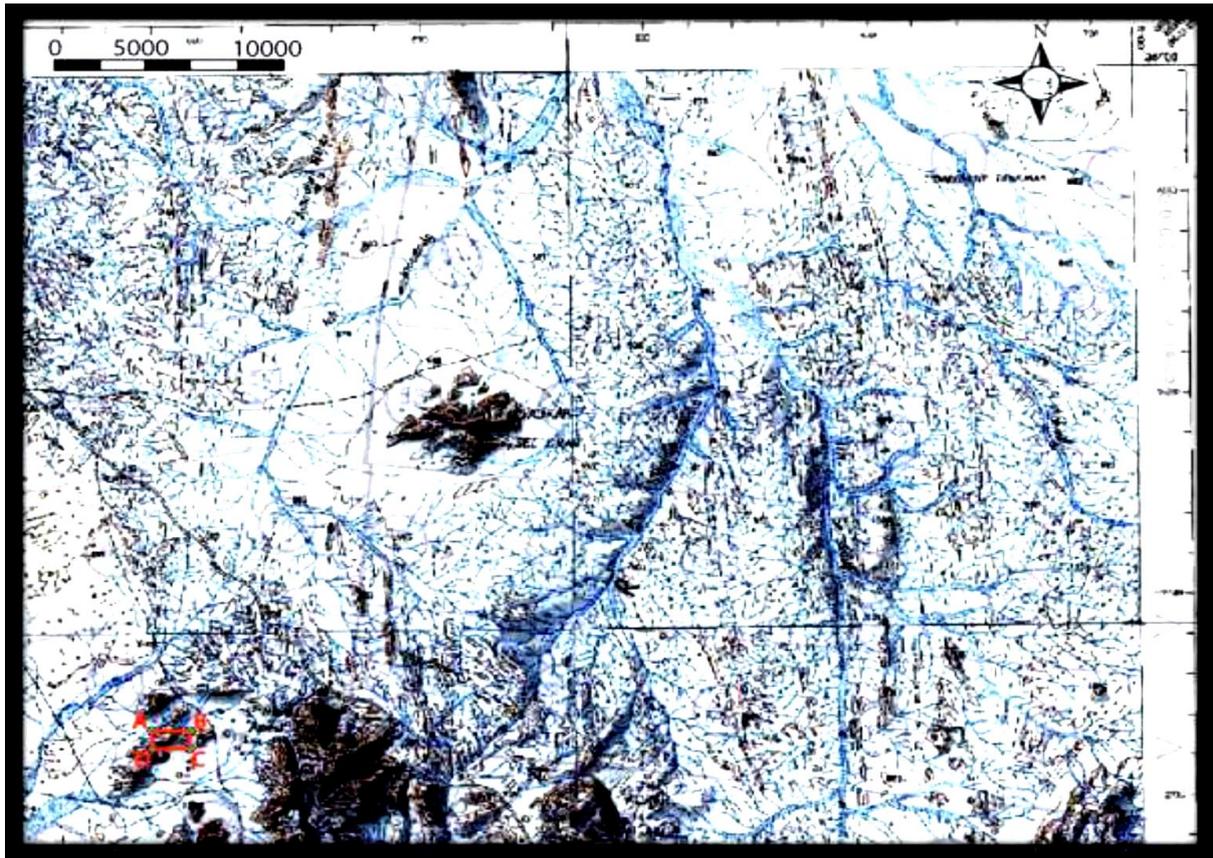


Figure 1-2 : Localisation de la zone Tesnou-1 (Extrait de la carte topographique au 1/200 000 de Tesnou).

1.2 CONTEXTE GEOLOGIQUE REGIONALE

La région du Hoggar, située dans le Sud du territoire Algérien, constitue l'un des deux massifs anciens du Sud Algérien, à l'instar du deuxième massif ancien du Réguibet, situé beaucoup plus à l'Ouest dont l'âge est plus ancien. Il est constitué de plusieurs blocs métamorphiques d'âge précambrien, l'Archéen, le Suggarien et le Pharusien, organisés en blocs occidental (*Adrar des Iforas*) central (bloc LATEA) et oriental (bloc *d'Aïr*).

Ce Massif comprend un collage panafricain de pas moins de 23 terranes, soit **juvéniles**, soit remaniés à partir de terranes plus anciens de l'Archéen ou du Paléoproterozoïque, ou des deux à la fois (1) (2).

Après l'événement panafricain, le **massif du Hoggar** a été recouvert par les **terrains sédimentaires** du Paléozoïque, **aussitôt assimilés au socle**, de manière non conforme. **Les terrains sédimentaires ont été érodés en deux étapes, la première étape d'âge fini-Jurassique et la deuxième d'âge fini-éocène (Environ 37 Ma)**, avec une récurrence modérée des affaissements suivis de dépôts sédimentaires (sédiments du Crétacé et de l'**Oligocène** jusqu'à 3 km de long, **sont** maintenant complètement érodés, (2).

L'exhumation finale a coïncidé avec un volcanisme cénozoïque, associé à une "houle du Hoggar" (2). (3). Le massif du Hoggar (500 000 km²) est actuellement un sommet

orographique culminant à plus de 2400 m au-dessus du niveau de la mer et entouré de roches sédimentaires tabulaires du Paléozoïque du plateau de Tassili.

Le massif du Hoggar est connu **géologiquement** pour ses minéralisations **métallifères, en l'occurrence les métaux précieux, énergétiques, terres rares et certains métaux communs tels que les stannifères (Sn) et les tungstates (W) liées aux roches acides telles les granites, (4).**

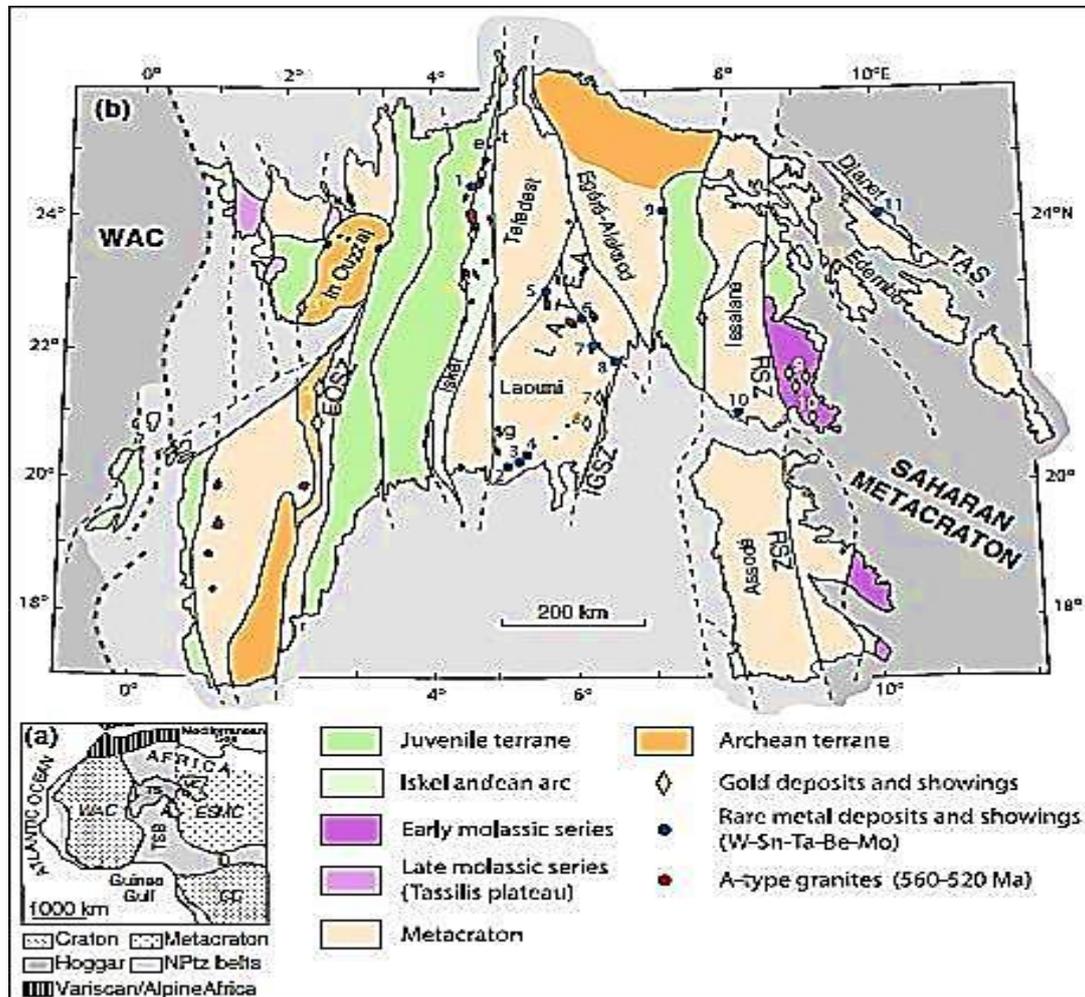


Figure 1-3 : Architecture du massif du Hoggar et localisation des granites tardifs, d'occurrences d'or et de minéralisations de métaux rares. Subdivisions de terrane (4)

1.2.1 PLAN STRUCTURAL

Le massif du Hoggar est subdivisé, **en trois blocs : Occidental, Central et Oriental, par des failles d'orientation 4° 50' et 8° 30'.**

1.2.1.1 LE DOMAINE OCCIDENTAL

Le domaine occidental (**situé à l'intérieur du métacraton d'Ouzzal**), comprend des roches métamorphiques bien préservées, **développées à très haute température (jusqu'à 1050 °C pour 11 kbars)** et à faciès granulitique, remontant à un âge de 2Ga (Ouzegane et al. 2003), et des terranes ignés apparentés qui se sont formés pendant la subduction de l'arc insulaire et de l'arc

continental à 730-630 Ma, suivis par des événements de collision et de post-collision *édiacariens* à 630-580 Ma (3); (5).

Il est subdivisé en deux rameaux par le *môle In Ouzzal*.

Il est représenté par un compartiment rigide de 400 Km de long et de 10 à 80 km de large. Le *môle In- Ouzzal* est constitué par les ensembles archéens suivants :

- L'ensemble des formations supracrustales avec des granulites alumino-magnésiennes, les cipolins à olivine, les quartzites, les quartzites à magnétite et les leptynites.
- Les formations orthodérivées : subdivisées en granites anté-plissement, avec des granulites basiques et des granites syn. à post-plissement.

1.2.1.2 LE DOMAINE CENTRAL

Ce domaine, désigné par l'acronyme **LATEA** (*Laouini-Azroun-Fad-Tef dest-Egere-Aleksod*), est composé de quatre blocs distincts (Black et al. 1994), qui faisaient à l'origine partie d'une seule marge **passive** pré-panafricaine (6)

Les blocs distincts sont principalement constitués de roches métamorphiques archéennes et Paléoprotérozoïque, accompagnées de la mise en place de roches intrusives d'âge environ 2,1 Ga dans le Sud-Est (7) et d'âge environ 1,9 Ga dans le Nord-Ouest (8).

Dans le Hoggar central, trois séries ont été définies parmi les associations lithologiques de haut degré de métamorphisme : La série de *l'Arechchoum*, La série de *l'Aleksod* et celle de *l'Arefessaest* :

- **La série de l'Arechchoum** : comprend essentiellement des gneiss quartzo-feldspathiques et quelques formations méta-sédimentaires. Elle montre les formations suivantes :
 1. Gneiss, granodiorites, tonalites et rares lentilles d'amphibolites.
 2. Marbres, pyroxénites, quartzites et gneiss plagioclasiques,
 3. Gneiss ocellés souvent amygdalaires.
- **La série de l'Aleksod** : comprend essentiellement des métasédiments. Elle montre (de bas en haut) des amphibolites massives, des gneiss parfois veinés plagioclasiques. Localement, cette formation débute par des quartzites à muscovite.
- **La série de l'Arefessaest** : est volcano-sédimentaire, caractérisée par des schistes épimétamorphiques.

Les études faites sur ces régions : *Tidjenouine, Aleksod, Amsinassène, la Tefedest et Gour Oumelalen* ont permis de définir une histoire polycyclique. Elle est marquée par une évolution majeure ancienne, **archéenne (vers 3000 Ma), suggarienne (vers 2000 Ma) et pharusienne (vers 1500 Ma)**, puis par la constitution, au cours du Précambrien supérieur, de rares bassins étroits et linéaires, formés de roches volcaniques et de schistes verts qui n'ont subi que la tectonique panafricaine (**vers 640 - 580 Ma**). Ces formations de bas-grade, sont séparées par d'omniprésents gneiss gris lités et de métasédiments de haut-grade par un contact tectonique majeur (9).

Selon (6), le microcontinent LATEA archéen, **suggarien** et **pharusien** a été démembré par des zones de méga-cisaillement et **infiltré** par des batholites granitiques lors de l'épisode principal de l'orogène panafricaine (640-580 Ma).

1.2.1.3 LE DOMAINE ORIENTAL

Ce domaine se caractérise par deux ensembles structuraux : la chaîne linéaire de Tiririne et le bloc Tafassasset-Djanet.

- La chaîne linéaire de *Tiririne*, a été développée sur un socle panafricain précoce, le long de l'accident majeur du 8°30'. Elle est constituée de dépôts détritiques épais de plus de 6000m. La sédimentation combine des caractères molassiques (arkoses et conglomérats) et des caractères plus nettement orogéniques (faciès flychoïdes).
- Le bloc *Tafassasset-Djanet* est caractérisé par des séries volcano-sédimentaires intrudées par des batholites de granites calco-alcalins syn. à tardi-tectonique panafricaine. Ces granites envahissent des séquences métasédimentaires de faible métamorphisme dont l'âge est encore inconnu. (10)

1.2.2 PLAN LITHOSTRATIGRAPHIQUE

1.2.2.1 SERIE VOLCANO-SEDIMENTAIRE

Elle se présente sous forme de lambeaux pseudo-linéaires, limitée à 4° 50' à l'Est et 4° 30' à l'Ouest ; Elle est composée essentiellement de métasédiments métapélites, métagrés, métaquartzites, marbres, métagravellites, microconglomérats intraformationnels et brèches ayant subi un métamorphisme de faible degré : type faciès schistes vert.

1.2.2.1.1 Protérozoïque Inférieur (PR1)

Est constitué d'assises, selon (11), on y distingue deux assises, essentiellement d'Amphibole et Gneiss, ces derniers sont composés par des Gneiss à Biotite et Biotite-amphibole, de Plagio-gneiss et des Amphibolites, et la partie supérieure de cet étage est formé essentiellement par des gneiss, des marbres et des amphibolites.

1.2.2.1.2 Protérozoïque supérieur (PR3)

Selon la lithologie, il est composé de 3 assises :

- La **partie basale** : est une assise volcano-sédimentaire, formée par des marbres, calcaire marmorisé parfois dolomitique, avec souvent de passage de faciès métamorphisé tel que les méta-grès, méta-pélites et les méta-basaltes.
- La **partie médiane** : de nature terrigène, formée par des méta-grès tufacés, de schistes carbonés et de lentilles de conglomérats.
- La **partie supérieure** : est typiquement volcanogène, se compose par des Rhyolites, Dacites et des Andésites.

En effet, à la fin du Protérozoïque Supérieur, une série terminale qui marque la fin de cet étage dite : **Série Terrigène** essentiellement conglomératique, parfois tufacés et polygénique, et aussi une forme de grès tufacés (pseudo-mollasse).

1.2.2.1.3 Ordovicien

Selon l'Age, il est composé de trois séries :

- Série des Ajjer, d'Age ordovicien inférieur, caractérisé par des grès quartzeux, Conglomérats et des graviers consolidés.
- Série d'In tahouite, d'Age Ordovicien moyen, correspond à un complexe de grès quartzeux Feldspathé.

- **Série de Tamdjert**, d'Age Ordovicien supérieur, se compose par des grès quartzeux hétérogènes et granuleux, et intercalations de conglomérats.

1.2.2.1.4 Silurien

Les grès du Silurien ne sont pas aussi spectaculaires que ceux de l'Ordovicien, de sorte qu'ils apparaissent sous la forme de grès argileux ou parfois de marnes et de calcaires argileux dans la partie orientale de **Tesnou**.

1.2.2.1.5 Dévonien

Il est bien développé dans la région Est avec des affleurements grés-argilitique-alourelits.

1.2.2.1.6 Quaternaire

Correspond aux dépôts alluvionnaires, limons, arènes et galets.

1.2.2.2 MAGMATISME

Le magmatisme d'âge panafricain couvre plus de 50% de la région, Il est subdivisé à grande échelle en trois complexes magmatiques :

- **Le complexe magmatique pré-orogénique type Afedafeda** (Tin tekadiouit-Taklet) :

C'est un magmatisme d'affinité calco-alkaline peu différencié, montrant une évolution des termes les plus mafiques vers les plus acides.

Les contacts de ces ensembles avec les roches encaissantes peuvent être intrusifs, concordants ou tectoniques.

Les filons de quartz aurifère affleurent préférentiellement à la bordure occidentale de cette intrusion, marquée ici par l'abondance des termes basiques et intermédiaires dont les minéraux ferromagnésiens sont largement chloritisés (12).

- **Le complexe magmatique syn-orogénique type Aderniba** (Imezzarene) :

Ce complexe orogénique est d'affinité calco-alkalines (11), et il recoupe les formations du Néoprotérozoïque engendrant un métamorphisme de contact à cordiérite, Sillimanite et grenat.

- **Le complexe magmatique post-orogénique type Taourirt** :

Ce sont des massifs circonscrits qui présentent des limites nettes avec l'encaissant métamorphique et granitiques. Ces complexes magmatiques sont remarquables par leurs structures et leurs dispositions en anneaux concentriques et par leur localisation qui semble être contrôlée par la mise en place du grand accident décrochant subméridien 4°50' (11).

1.2.3 TECTONIQUE

Deux phases principales affectant la structure de la région de Tesnou sont connues et identifiées (11)

1- Une tectonique ductile correspondant à un épisode compressif affectant toutes les formations du Hoggar qui a pour résultat :

- Une mise en place des plis isoclinaux droits à déversés à axes subhorizontaux,
- Une mise en place des intrusions granitiques pré. À syntectonique (*Afedafeda – Tintekadiouite-Taklet*) contrôlées par les décrochements dextre N30° (NNW SSE).

2- Un métamorphisme de contact à grenat-disthène-sillimanite.

Une déformation ultime correspondant à un coulissement, le long des couloirs mylonitiques subméridiens. Elle est accompagnée par la mise en place (11) :

- Des plis droits très serrés Nord-Sud.
- La mise en place des décrochements dextre (NNE-SSW).
- Le jeu tardif des accidents subméridiens accompagnés par la mise en place des plis d'entraînement à axes sub-verticaux.
- Mise en place des granites tardi à post-orogéniques de type "Taourirt".

La tectonique post-panafricaine est caractérisée par des accidents NE - SW et E - W recoupant nettement tous les accidents et structures panafricaines.

1.3 CARACTERISTIQUES DE MASSIF ROCHEUX

La connaissance et la détermination des propriétés pétrographiques, physico-chimiques et mécaniques du massif rocheux constituent un support fondamental pour les études :

1. **Technico-économique ;**
2. **Commerciale.**

En effet, l'estimation des réserves d'un gisement, l'étude de valorisation de la matière utile et la conduite des travaux miniers assurant la production en toute sécurité, imposent une bonne connaissance des propriétés physico-mécaniques et chimiques du produit à exploiter.

Ainsi l'étude commerciale exige le respect d'un certain nombre de normes qui, portent sur les propriétés diverses telles que : les caractéristiques intrinsèques chimiques, physico-mécaniques et dimensionnelles ; mesurées par des analyses chimiques et des essais géomécaniques conventionnels bien précis et définis par des modes opératoires normatifs. (Voir Tableau 1-7)

1.3.1 Pétrographie du gisement

1. Etude macroscopique

Les granites de **Tesnou-1** sont de couleur grisâtre et gris-rosâtre.

Composition

1. Quartz ;
2. Orthose ;
3. Microcline ;
4. Biotite ;
5. De rares petites traces d'hydroxydes de fer.

Texture : moyennement à grossièrement grenue ;

Structure : Massive

2. Etude microscopique

L'étude pétrographique effectuée sous microscope polarisant montre que ces granites sont alcalins, de texture grenue et de structure massive, et sont composés de quartz, orthose, plagioclases, biotite, minéraux opaques (probablement des hydroxydes de fer) et **tourmaline** *comme minéral accidentel témoignant de la présence d'une roche filonienne de pegmatite associée au massif granitique de type jeune de Taourirt de Tesnou 01*, le tableau 2 suivant, illustre clairement la composition minéralogique de ce gisement granitique.

Tableau 1-2 étude microscopies de granite TESNOU-1 (10)

<p>Quartz</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Le quartz occupe 40 à 46% du volume total de la roche, - Présente en cristaux de forme xénomorphe (très craquelés), - Taille des grains équigranulaires dépasse 03mm, - Ces grains contiennent parfois des inclusions vitreuses (reliquats magmatiques), - Intensément fissuré, - Associé avec les plagioclases et les feldspaths (<i>orthose</i>), ces derniers se présentent en cristaux de prismes rectangulaires de grande taille (pouvant atteindre 05mm) renfermant parfois des inclusions de ferromagnésiens.
<p>Orthose</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Représente 20 à 25% du volume total de la roche, - Identifié par des cristaux en forme de grandes plages avec une taille atteignant les 05mm, - Renferment par endroits, des ex-solutions de plagioclases (albite) formant ainsi une structure perthitique.
<p>Plagioclases</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Composent 15 à 20% du volume total de la roche, - Identifiés par des cristaux présentant des sections lamellaires, sous forme de prismes rectangulaires de grandes tailles (pouvant atteindre 05mm) renfermant parfois des inclusions de ferromagnésiens. - Certains présentent parfois une zonation.
<p>Biotite</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Représente 5 à 10% du volume total de la roche, - Présente sous forme de lamelles de dimension comprise entre 0.1 et 0.5mm.
<p>Tourmaline</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Compose 2 à 3% du volume total de la roche, - Présente en petites lamelles de 0.1 à 0.2mm de taille - Associée à la biotite.

Minéraux opaques	<ul style="list-style-type: none"> - Représentent 5 à 6% du volume total de la roche, - Ils sont soit disséminés à travers toute la roche ou bien se développent le long des fractures quartzieuses, sous forme de cristaux subautomorphes et de dimension variante entre 0.05 et 0.2mm. - Identifiés par les hydroxydes de fer : probablement de la goethite, visible au microscope en jaunâtre, (FeOOH), et l'Hématite, visible au microscope, brunâtre à rougeâtre (Fe₂O₃), dérivant probablement comme produit d'altération chimique de la biotite.
-------------------------	--

1.3.2 Travaux réalisés par l'ORGM

L'ensemble des Travaux ont pour objectif, la délimitation du site, caractérisation chimique et physico-mécanique, confirmation de la substance et estimation prévisionnelle des réserves.

Un ensemble de travaux a été réalisé par l'ORGM en 2019 comprenant :

- Travaux topographiques,
- Travaux géologiques,
- Travaux d'échantillonnages,
- Travaux de forage,
- Travaux de laboratoire.

1.3.2.1 Travaux géologiques

Consistent en la réalisation de :

1. Levé géologique au 1/5000

Ces travaux ont été réalisés essentiellement dans la partie centrale du secteur d'étude où affleurent les granites de couleur grise, légèrement rosâtre et gris-rosâtre, avec des phénocristaux de quartz, orthose et microcline, ainsi que de la biotite, ce secteur d'étude présente des caractères massifs, compacts et durs, non altérés, présentant de rares fissures, développant un affleurement de 153 ha.

2. Coupes géologiques au 1/5000

Selon les sondages (ST1/1, ST1/2 et ST1/3) de **Tesnou-1**, 03 coupes géologiques ont été réalisées.

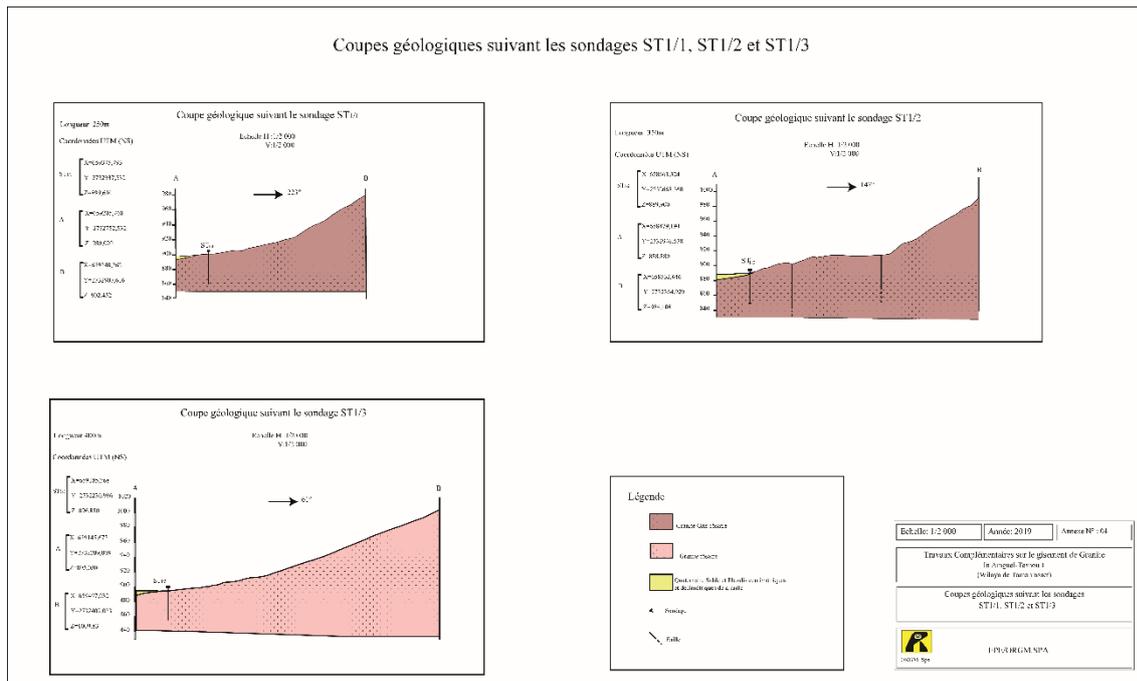


Figure 1-4 : coupe géologique selon les sondages St1/1 St1/2 St1/3 (10)

3. Etude de fracturation

Plus de 1700 prises de mesures ont été réalisées sur tous les trois blocs, en couvrant une superficie de plus de **90** ha.

4. Echantillonnage de saignée de surface

10 échantillons ont été prélevés suivant les lignes de coupes, passant par les sondages ST1/1, ST1/2 et ST1/3, sur une longueur de pas de 10 m chacun.

5. Echantillonnage de lame mince

5 échantillons de lames minces ont été prélevés sur les affleurements de granite et sur la carotte des sondages ST1/4, ST1/5 et ST1/6, afin de déterminer la composition pétrographique des granites de Tesnoul

6. Echantillonnage de carotte

9 échantillons ont été prélevés directement sur les carottes des trois sondages (ST1/4, ST1/5 et ST1/6) réalisés à Tesnoul, pour déterminer les caractéristiques chimiques des granites et leurs propriétés physico-mécaniques. (10)



Figure 1-5 Opération de prélèvement d'une saignée de surface. (10)

1.3.3 Travaux topographiques

Les travaux topographiques comprennent :

- Levé topographique au 1/5000 ;
- Nivellement ;
- Rattachement ;
- Matérialisation de points. (10)

1.3.4 Travaux de forage

Trois sondages ont été réalisés :

- Le sondage ST1/1, de coordonnées UTM (X : 659358 m Y : 2732944 m Z : 906 m), a atteint la profondeur de 40 m,
- Le sondage ST1/2, de coordonnées UTM (X : 658540 m Y : 2773051 m Z : 894 m), a atteint la profondeur de 40 m,
- Le sondage ST1/3, de coordonnées UTM (X : 659213 m Y : 2732262 m Z : 904 m), a atteint la profondeur de 40 m,
- Le sondage ST1/4, de coordonnées UTM (X : 658234 m Y : 2732495 m Z : 880 m), a atteint la profondeur de 30.2 m,
- Le sondage ST1/5, de coordonnées UTM (X : 658293 m Y : 2732839 m Z : 878 m), a atteint la profondeur de 30 m,
- Le sondage ST1/6, de coordonnées UTM (X : 659779 m Y : 2732845 m Z : 897 m), a atteint la profondeur de 30.1 m.



Figure 1-6 : Opération de réalisation du sondage ST1/6. (10)

1.3.4.1 Travaux de laboratoire

Les travaux de caractérisations réalisés consistent en :

- les analyses chimiques des échantillons prélevés à partir des saignées de surface et de carottes pour la détermination des éléments sous forme d'oxydes, 07 éléments **majeurs** : **SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, Na₂O, K₂O** et **TiO₂**, et 03 éléments **mineurs** : **MnO, P₂O₅ et Cr₂O₃**.
- les Essais physico-mécaniques sur 06 échantillons de carottes (02 échantillons de chaque sondage), ont consisté en la vérification de résistance à la compression, la porosité, essais de polissage et essais au bleu de méthylène.

1.3.5 Résultats obtenus par les travaux de l'ORGM

1.3.5.1 Travaux de géologie

Le massif granitique présente deux variétés suivant la couleur, la *première* variété qui est prépondérante est représentée par des granites de couleur gris légèrement rosâtre, la *deuxième* est caractérisée par des granites de couleur gris-rosâtre.

Ces granites sont affectés par des fracturations identifiées par un réseau de failles de direction généralement NNE –SSW.

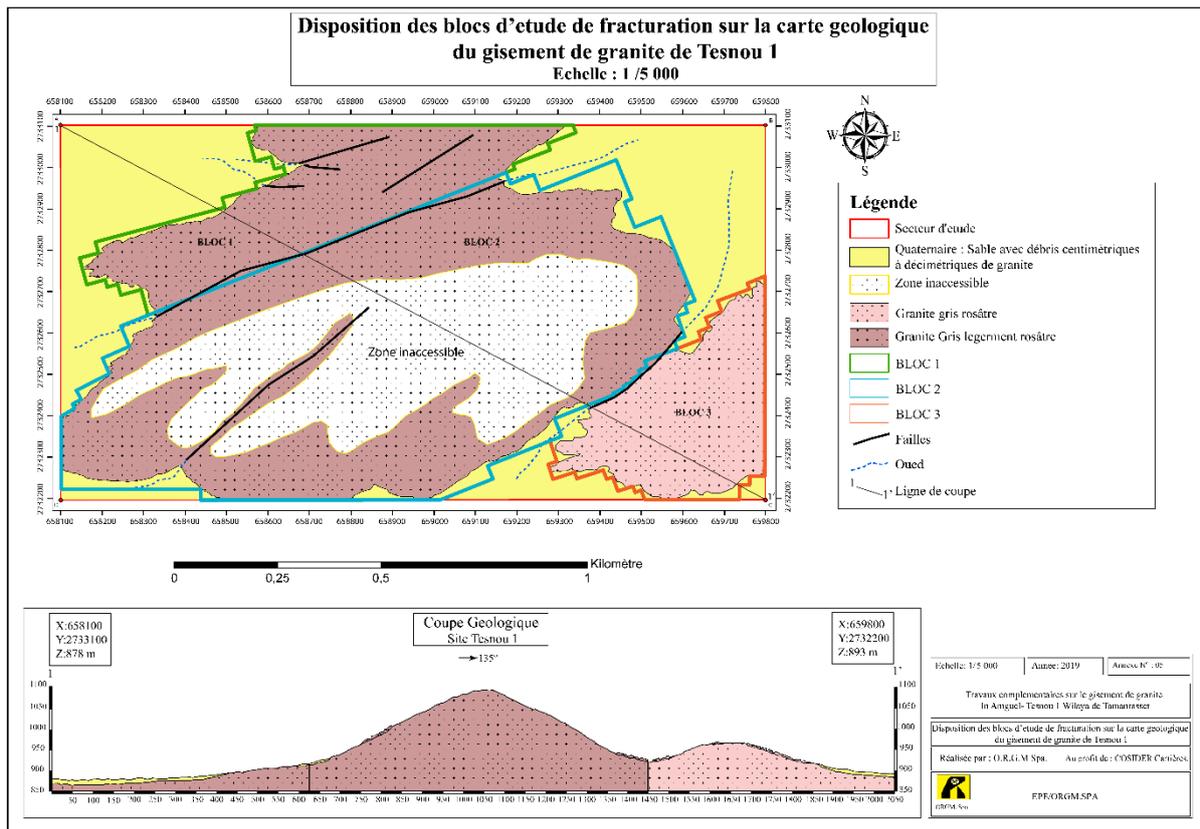


Figure 1-7 Esquisse de la carte géologique du site Tesnou-. (10)

Les résultats obtenus de l'analyse quantitative et qualitative de la fracturation dans le granite de Tesnou-1, ont démontré que la densité des fractures est beaucoup plus élevée dans le **bloc-1** qui se situe au Nord-Ouest du site avec 0.00305 fractures /m² et la direction préférentielle dominante dans ce dernier est orientée ENE-WSW. Par contre le **bloc-2**, qui se situe au centre, présente une densité moins intense par rapport au premier, elle est de 0.00117 fractures/m² et la direction préférentielle est orientée ENE-WSW. En ce qui concerne le **bloc-3**, la densité est de 0.00238 fractures/m² avec une direction prédominante E-W. A la lumière de ces données, notons en substance, de recommandation technique, qu'afin de minimiser les effets délétères de la fracturation, le sens de l'exploitation doit être parallèle au sens de la fracturation dominante. (10).

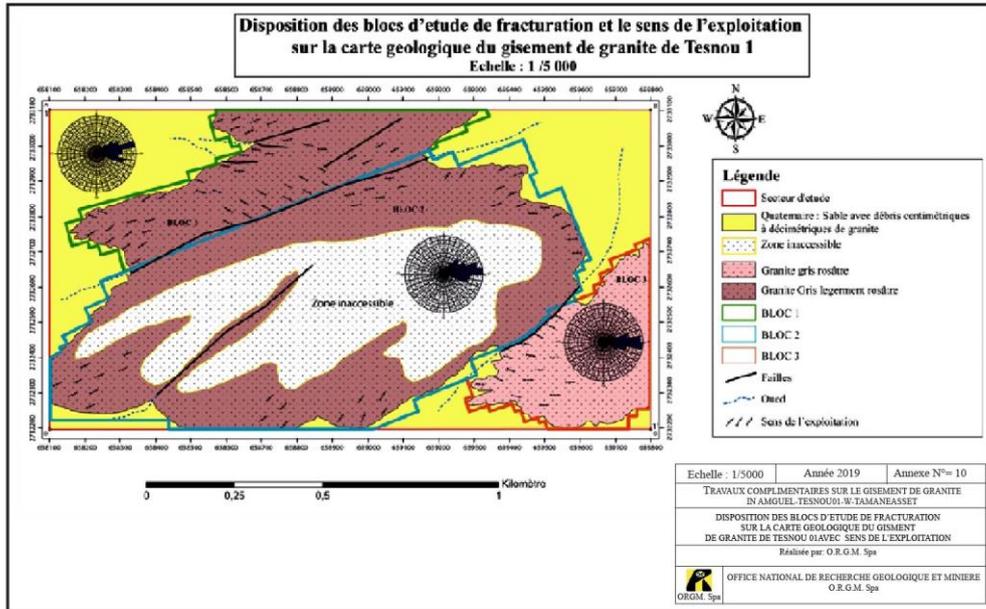


Figure 1-8 : plan de fracturation et sens d'exploitation (10)

1.3.5.2 Travaux topographiques

Un plan topographique a été élaboré à partir du levé réalisé sur le site :

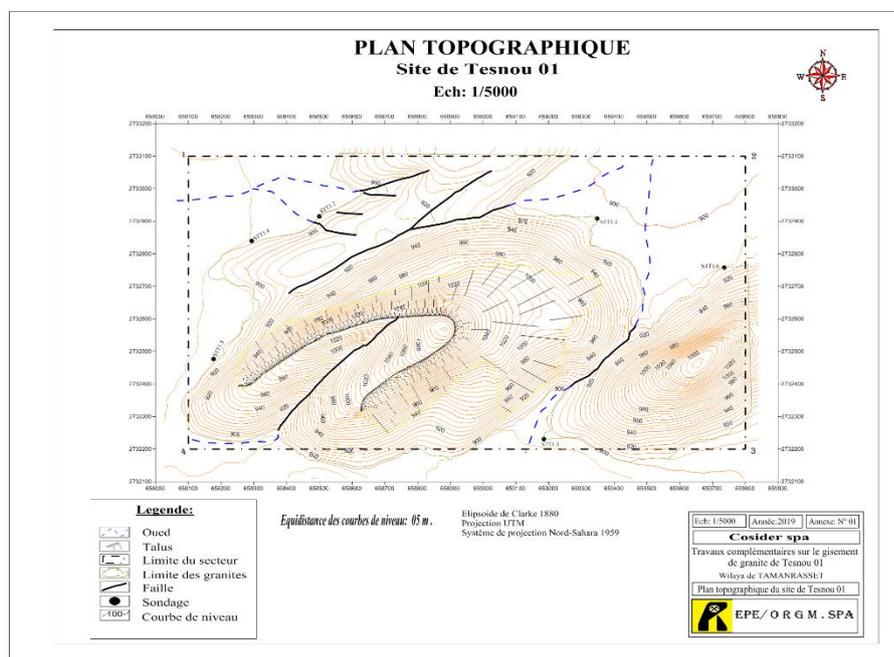


Figure 1-9 : Plan topographique du site de Tesnou-1. (10)

1.3.5.3 Travaux de laboratoire

1.3.5.3.1 Composition chimique

D'après la composition chimique, les granites de Tesnou-1 sont très saturés en **SiO₂** qui augmente avec la profondeur où la teneur moyenne en SiO₂ est de **77.80%**, et présentent des teneurs relativement faibles en oxydes de (Fe₂O₃, MnO, MgO et CaO).

1. Saignées de surface

Tableau 1-3 : composition chimique des saignés de surface

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cr ₂ O ₃	PAF
Teneur Min	70.60	10.21	2.13	1.26	0.15	3.60	0.17	0.22	<0,05	<0,05	<0,05	0.36
Teneur Max	72.92	11.36	2.79	2.60	0.32	4.37	0.35	0.32	0,07	0.05	<0,05	1.00
Teneur Moy.	71.85	10.74	2.52	1.64	0.29	4.07	0.22	0.27	0.05	<0,05	<0,05	0.68

2. Echantillons de carottes

Tableau 1-4 : composition chimique des échantillons de carottes

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cr ₂ O ₃	PAF
Teneur Min	77.11	10.64	2.08	1.20	0.21	3.97	0.08	0.22	<0,05	<0,05	<0,05	0.26
Teneur Max	79.01	12.10	2.86	1.78	0.35	5.36	0.23	0.31	0.08	0.05	<0,05	0.61
Teneur Moy	77.80	11.26	2.48	1.42	0.28	4.47	0.16	0.25	0.05	<0,05	<0,05	0.43

Notons en substance que les résultats des analyses chimiques présentés dans les deux tableaux 3 et 4 précédents, indiquent une certaine altération chimique affectant clairement les teneurs en silice qui sont moins élevées dans les échantillons des saignées de surface comparativement à celles des carottes, et cela est vérifié par les pourcentages de PAF qui sont relativement élevés par rapport à ceux des carottes.

1.3.5.3.2 Essais physico-mécaniques

1. Résistance à la compression

Tableau 1-5 : Résistance à la compression des échantillons de carottes

N° Ordre	N° Monolithe	Valeur moyenne de la résistance à la compression x (kgf/cm ²)	Observation
01	Ech-01	873.56	Conforme
02	Ech-02	951.73	Conforme
03	Ech-03	978.92	Conforme
04	Ech-04	921.14	Conforme
05	Ech-05	819.17	Conforme
06	Ech-06	972.12	Conforme

2. Porosité et bleu de méthylène

Tableau 1-6 : résultats des essais de porosité et bleu de méthylène

N° Ordre	N° Echantillon	Lieu de prélèvement	Porosité (%)	Valeur de bleu (MB)
01	EC-1	ST1/4	1.13	0.03
02	EC-2		0.39	0.04
03	EC-3	ST1/5	0.39	0.03
04	EC-4		0.38	0.03
05	EC-5	ST1/6	0.38	0.03
06	EC-6		0.38	0.03
Min			0.38	0.03
Max			1.13	0.04
Moy			0.75	0.035

1.3.5.3.3 Essai de polissage



Plaque polie de l' échantillon n°0 1



Plaque polie de l' échantillon 2



Plaque polie de l' échantillon n°03



Plaque polie de l' échantillon n°04



Plaque polie de l' échantillon n°05



Plaque polie de l' échantillon n°0 6

La norme française de granite pour les pierres décoratives **BN-63/9015-01** :

Tableau 1-7 : norme française de granite pour la pierre décorative

Résistance à la compression (Kgf/cm ²)	Abrasion sur disque Bohème (cm)	Absorption d'eau (%)
> 600	< 0.75	05

Les essais de résistance à la compression et l'absorption d'eau ont montré que tous les échantillons de carottes sont conformes à la norme Française :

1. **La Résistance à la compression** (Kgf/cm²) varie de **819.17** kgf/cm² à 978.92 kgf/cm²,
2. **La Porosité** (%) varie de **0.38%** à **1.13%**.
3. **Les Essais d'adsorption au bleu de méthylène** (propreté) :

Les essais de l'adsorption au bleu de méthylène des sables issus des échantillons de carottes ont montré que les sables sont propres non pollués. (Valeurs variant entre **0.03** à **0.04**).

CONCLUSION

Les différents travaux ont permis de mettre en évidence :

- Une grande richesse en réserves géologiques ;
- L'existence de deux variétés de granite :
 - Granites de couleur grise légèrement rosâtre ;
 - Granites gris-rosâtres.
- Ces granites sont caractérisés par :
 - Durs et résistants (dureté de 6 ou 7 sur l'échelle de Mohs) ;
 - Compacts et massifs ;
 - Présence de phénocristaux de quartz et d'orthose ;
 - Texture moyennement à grossièrement grenue.
 - Les granites recoupés en profondeur ne sont pas altérés et présentent rarement des fissures ;
- Les essais physico mécaniques indiquent que ces granites présentent une grande résistance à la compression, une très faible porosité, les sables issus des échantillons de carottes des sondages sont propres non pollués : d'après les normes françaises les granites de Tesnou- sont aptes à être utilisés comme pierre décorative ;
- Toutefois, les conditions topographiques du gisement sont difficiles, et l'ouverture du gisement constituera une problématique à régler.
- D'après la *Classification-cadre UNFC-2009*, les opérations de prospections, d'explorations et d'analyses des ressources en métaux énergétiques en uranium connues en l'Algérie, on retrouve des occurrences d'**URANIUM** à **AIT OKLAN Nord** situé à 40km du gisement de Tesnou-1 (13) ; c'est la raison pour laquelle, nous proposons de procéder à une analyse chimique d'élément traces dans l'objectif de détecter et déterminer la présence des éléments radioactifs tel l'Uranium afin de s'assurer que les blocs granitiques qui seront destinés aux pierres décoratives correspondent aux normes standard internationales inscrites dans les futurs plans d'exportation.

CHAPITRE 2
EXPLOITATION DE GRANITE

2 EXPLOITATION DE GRANITE

2.1 EXTRACTION DES BLOCS GRANITIQUES

Dans l'exploitation minière des granites, il est nécessaire de fendre ou de couper la masse en blocs successivement plus petits jusqu'à ce que la taille finale souhaitée du bloc soit atteinte et que des blocs commercialisables soient produits.

Les méthodes utilisées pour l'extraction des blocs granitiques vont de la technologie relativement simple et peu coûteuse à certaines méthodes assez avancées sur le plan technologique.

Dans la plupart des roches, l'extraction des blocs granitiques conforme à l'une des deux stratégies générales :

- 1- Des grands volumes de roches sont détachés (des milliers de mètres cubes) par des coupes primaires, puis découpés par étapes en blocs plus petits jusqu'à l'obtention de blocs commerciaux, tout en éliminant les déchets au fil du processus.
- 2- La deuxième stratégie est rarement utilisée pour les blocs granitiques, dans ce cadre les blocs commerciaux sont directement découpés de corps de la roche.

Un résumé des différentes méthodes d'extraction de granite et des technologies concernées :

Tableau 2-1 méthodes d'extraction de la pierre de taille

Méthode d'extraction	Découpage	Fendage	Tir prudent
Méthode de séparation	Blocs séparés par des entailles	Blocs séparés par des fractures induites dans des plans prédéterminés	Explosion avec fracture minimale – blocs choisis de bloc abattu
Technologie	<ul style="list-style-type: none"> • Fil de sable - fil hélicoïdal ; • Fil diamanté ; • Haveuse ; • Scie à disque ; • Scie à disque diamanté ; • Scie à ruban diamantée ; • Jet de flamme ; • Jet d'eau 	<ul style="list-style-type: none"> • Les explosifs : <ul style="list-style-type: none"> ➤ Cordeau détonant ➤ Explosifs à base de gaz naturel ➤ Poudre à canon • Mortier expansif • Plug & Feather (coins et les cales) • Cales hydrauliques 	Les explosifs
Produits	Blocs commerciaux	Blocs commerciaux	<ul style="list-style-type: none"> • Dalles naturelles • Trottoirs • Pavés • Éléments de base/Éléments constitutifs • Carreaux

2.1.1 TECHNIQUES DE FENDAGE

Les techniques de fendage sont les plus anciennes des techniques utilisées dans l'extraction de la pierre de taille.

Les premières techniques consistaient à creuser une rainure en forme de V dans la pierre avec des outils manuels, puis à remplir cette rainure avec des cales en bois qui se dilataient avec l'humidité. Dans les régions plus froides, cette rainure était remplie d'eau qui gelait en glace pendant la nuit et qui faisait fendre la pierre.

Aujourd'hui, toutes les techniques de fendage consistent à percer une série de trous coplanaires de petit diamètre dans la roche pour y introduire un agent de fendage (séparation). Dans la plupart des cas, les trous sont entaillés avec un outil de forage particulier à base de carbure de tungstène dans le but d'améliorer la direction de fissuration.

Dans les cas où la roche présente une ou plusieurs directions de clivage le long desquelles elle se fend de manière préférentielle, l'utilisation de technologies de fendage dans ces directions est généralement efficace et économique.

Bien qu'il soit possible, notamment avec l'utilisation d'explosifs à grande vitesse, de séparer dans deux ou plusieurs directions simultanément, les techniques de fendage reposent généralement sur le fait que la pierre est détachée et dégagée de massif, soit sous forme de blocs, soit à la suite de plans de litage détachés entre les couches, soit encore qu'elle ait été détachée de la formation solide par des techniques de coupe. (14)

2.1.1.1 PLUG AND FEATHER / PLUG AND PLUME

Plug - and - plume, également connu sous : les **bouchons et les coins**, **plumes et des coins**, les **coins et les cales**, les **repères et les plumes** et les **plumes et la tare**.

L'utilisation de coins et de cales consiste à percer une ligne de trous coplanaires dans la roche et à introduire dans ces deux plumes d'acier façonnées (bandes d'acier demi-rondes) un bouchon d'acier ou une cale entre elles. Celles-ci doivent être orientées dans le sens de la fente prévue, et les coins sont enfoncés à l'aide d'un marteau provoquant une force latérale dans le trou, qui provoque la fissuration de la pierre.

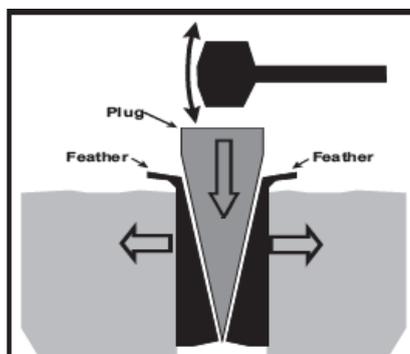


Figure 2-2 L'utilisation de plug-and-plumes pour le fendage de la pierre



Figure 2-1 fendage de la pierre par la technique de Plug-and-plumes

2.1.1.2 FENDAGE MECANIQUE

Pour le fendage mécanique on utilise les mêmes principes que pour la technique de Plug-and-plumes.

L'équipement consiste en un cylindre hydraulique qui force un bouchon d'acier entre deux plumes, provoquant la force latérale qui fend la pierre. Bien que des forces plus élevées puissent être générées, permettant des fissures beaucoup plus importantes, il faut faire attention à la vitesse à laquelle la force est appliquée, car une application trop rapide peut entraîner une fissure qui s'écoule dans la direction souhaitée.



Figure 2-3 Séparateur hydraulique de pierres et de roches S100 pour carrière

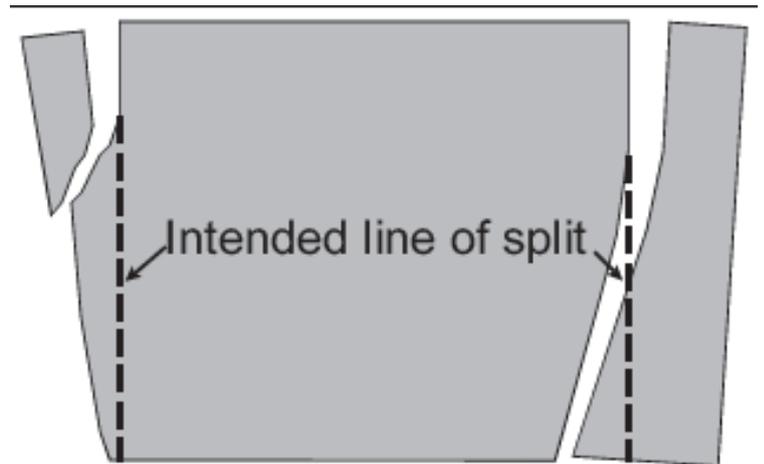


Figure 2-4 Fente médiocre due à une application trop rapide de la force de fente

2.1.1.3 MORTIER EXPANSIF

Les mortiers expansifs (composés à base de calcaire qui prennent et gonflent après avoir été mélangés avec de l'eau) existent depuis un certain temps. Dans le passé, ils présentaient l'inconvénient d'être coûteux et de nécessiter plusieurs jours de travail. Cependant, au cours des dernières années, ils sont devenus largement utilisés dans l'industrie de la pierre de taille, en particulier pour fendre les granits, car les prix sont devenus plus compétitifs et les temps de fendage ont été réduits à quelques heures.

En pratique, la chaleur générée par la réaction fait bouillir l'eau, la pression de vapeur qui en résulte éjecte du gaz du trou ou provoque un fendillement dû à la pression du gaz similaire à l'effet de la poudre à canon, ce qui annule souvent les avantages de l'utilisation du mortier expansif. Cela aura également un impact important sur la sécurité, car les matériaux éjectés sont à la fois très chauds et corrosifs, tandis que des fragments ou des plaques de mat de roche sont éjectés de force de manière inattendue, cela provoque la blessure des travailleurs.

Les mortiers expansifs ont pour effet de fendre la roche qui est presque de la même manière que la poudre à canon. L'effet de gonflement du mortier génère une pression qui est appliquée uniformément sur la circonférence et sur la longueur du trou. Lorsque plusieurs trous dans un plan sont chargés simultanément, la résolution des forces impliquées donne une force résultante

à angle droit par rapport à la ligne passant par les trous. Lorsque cette force dépasse la résistance à la traction du matériau, il se produit une fissuration.

En théorie, l'espacement des trous peut donc être déterminé par la formule suivante :

$$s = \frac{p \cdot h \cdot d}{\delta t \cdot h'}$$

s = espacement des trous

p = pression exercée (Mpa)

h = profondeur du trou (m)

δt = résistance à la traction (m)

h' = profondeur à couper (m)

L'avantage majeur du mortier expansif par rapport à la technique de plug-and-plume ou à la fente mécanique est que la force est appliquée uniformément sur toute la longueur du trou, plutôt que seulement au sommet du trou. Il en résulte un fendage plus régulier. En outre, il est également possible de fendre un morceau de pierre plus mince lors de la taille d'un bloc.

Le mortier expansif présente également des avantages par rapport aux explosifs dans la mesure où il n'y a généralement pas d'effet de choc sur la pierre qui entoure le trou, et lorsque la réaction n'est pas trop rapide (comme décrit ci-dessus), il n'y a pas de pression de gaz qui s'échappe dans les fractures existantes et les étend, de sorte qu'une meilleure récupération de matériau commercialisable est souvent obtenue dans les carrières qui présentent de nombreuses fractures ouvertes existantes. (14)

2.1.1.4 LA SÉPARATION PAR CORDON DÉTONANTEUR

Cette technique, généralement appelée "*Dynamic Splitting*", peut être considérée comme une application extrême des concepts de tir contrôlé et de la technique de forage de précision. Des charges linéaires très fines, représentées par des brins de cordeau détonant (6-15 g/m de PETN), sont placées dans des trous de forage parallèles et peu espacés (environ 32-34 mm de diamètre et 15-40 cm de distance entre les centres), remplis d'un matériau approprié absorbant les chocs, tel que de l'eau, et détonés simultanément par un cordeau maître. La rupture se produit en raison des contraintes de traction dans les trous de forage et l'excès d'énergie de l'explosion permet le petit déplacement nécessaire de la masse séparée. Lors d'opérations bien conduites, il ne se produit pas de fissures supplémentaires qui endommageraient le bloc de pierre.

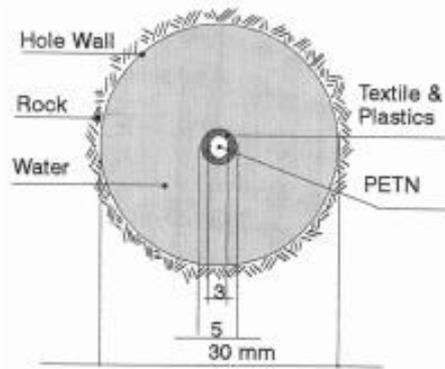


Figure 2-5 Coupe transversale schématique d'un trou chargé de cordeau détonant et rempli d'eau.

La partie la plus critique de l'opération est le système de forage, qui doit produire à grande vitesse des trous droits et parfaitement parallèles. La machinerie a évolué, passant des dispositifs centenaires de "barre de forage" à des unités diesel-hydrauliques modernes entièrement mécanisées.

En carrière de roche ornementale, les tirs de mines peuvent être utilisés pour effectuer une ouverture sur un front de taille, ou un "Tir de relève" de façon à désolidariser la masse du carreau.

Dans le cas d'un **tir d'ouverture**, les 2 côtés de la masse sont sciés au fil diamanté. Les forations sont effectuées horizontalement et verticalement.

Les cordeaux dérivés et les charges sont introduits dans chacune des forations. Le cordeau maître est ensuite installé et la ligne de tir installée et vérifiée. Le tir peut alors avoir lieu. A l'issue de ce tir, la masse se disloque selon les fissures naturelles préexistantes et tombe au pied du front de taille. Une chargeuse procède au tri de la roche et transporte les chutes au remblai. Des rochers les plus gros seront sortis les futurs blocs marchands.

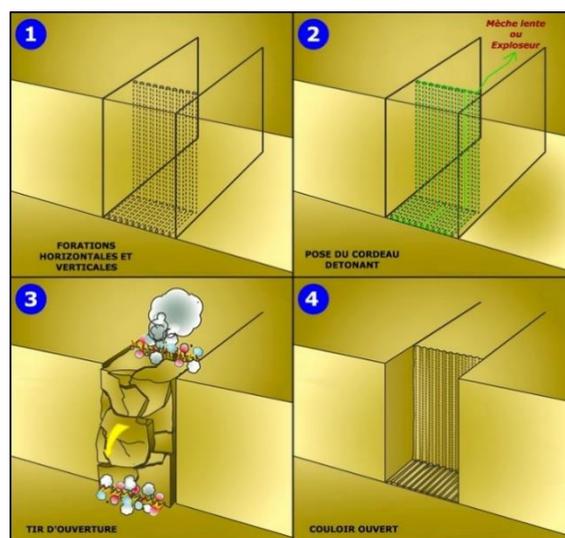


Figure 2-6 tir d'ouverture (15)

Dans le cas de désolidarisation de la masse du carreau. La masse serait sciée sur ses 3 côtés, mais est encore liée au carreau de la carrière.

Comme pour un tir d'ouverture, les cordons dérivés et les charges sont introduits dans chacune des forations et le cordon maître relié afin de procéder au tir. L'effet du tir provoque la coupure de la masse à son pied, elle est libre de toute contrainte et peut être maintenant versée sur le carreau.

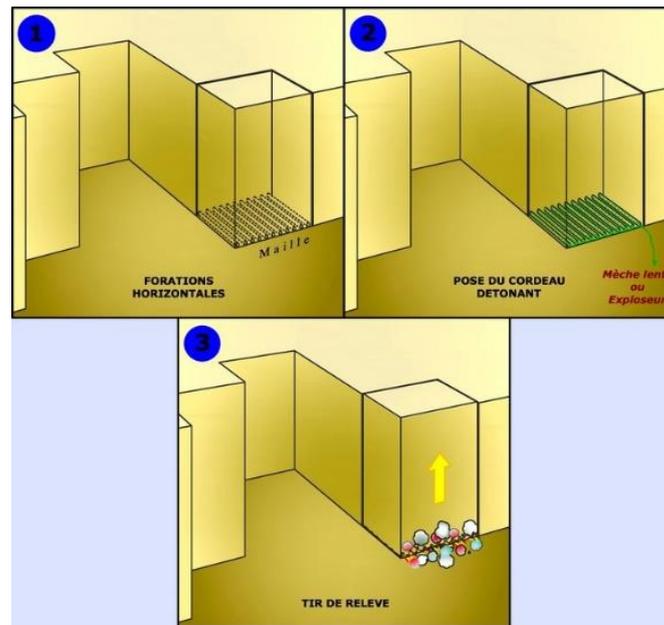


Figure 2-7 extraction de pierre ornementale par explosifs (15)

En théorie, les explosifs à grande vitesse de détonation fonctionnent grâce à leur énergie de choc pour produire un effet de fission dans la roche. Pour ce faire, on perce une série de trous coplanaires, qui sont ensuite chargés et mis à feu simultanément. Les ondes de choc de compression qui en résultent se superposent le long de la ligne entre les trous de forage, ce qui augmente les forces de compression générées le long de cette ligne. Les forces de compression induisent des forces de traction dans la roche à angle droit par rapport à leur direction d'action, et ainsi une fente est provoquée le long de la ligne entre les trous en raison du dépassement de la résistance à la traction de la roche. Le secret d'une fission réussie avec des explosifs à grande vitesse de détonation réside dans l'obtention d'un équilibre optimal entre l'espacement des trous et les facteurs de chargement qui font que la résistance à la traction de la roche n'est dépassée que là où il y a superposition des ondes de choc, c'est-à-dire sur la ligne entre les trous. La fissuration avec des explosifs à grande vitesse de détonation n'est pas une opération facile - un facteur de chargement trop élevé, et la fissuration se produira dans de nombreuses directions aléatoires en plus de la ligne de fissuration prévue ; un facteur de chargement trop faible, et la fissuration ne se produira pas parfaitement, une grande partie de l'énergie du gaz de détonation étant alors dissipée dans la roche environnante sous forme de fissuration.

Un autre problème lié aux tentatives de séparation avec des explosifs à grande vitesse de détonation est que leur énergie de choc est telle qu'ils pulvérisent la roche entourant immédiatement le trou de forage (zone de rupture en compression), suivie d'une zone de

fissuration radiale (zone de rupture en traction) où l'onde de compression est encore suffisamment forte (l'intensité diminue avec la distance parcourue) pour induire des forces de traction dépassant la résistance à la traction de la roche. Ces fissures sont ensuite prolongées par les pressions de gaz générées.

Ces effets sont partiellement surmontés par l'utilisation du découplage (en utilisant une charge de diamètre beaucoup plus petit que le trou de forage, permettant à un espace d'air ou d'eau d'absorber le pire de l'énergie de choc) et en ne bouchant pas les trous. Dans l'industrie de la pierre de taille, des explosifs spécialisés à faible énergie ont été mis au point pour compenser ces effets.

Une formule de facteur de poudre à trois termes qui tente de compenser les inconvénients a été développée (16) sur la base d'observations empiriques dans les carrières de granites italiennes :

$$C = a + b \cdot S/V + c \cdot s$$

C = facteur global de chargement (g/m³)

S = surface séparée (m²)

V = volume (m³)

s = déplacement (m)

a = facteur de chargement effectif minimum (10,52 g/m³)

b = consommation spécifique de surface d'explosif (26,47g/m²)

c = coefficient d'efficacité de déplacement (28,74 g/m⁴)

Le premier et le dernier terme de cette formule tiennent compte de l'effet de déplacement, tandis que le terme de milieu tient compte de l'effet de séparation. Cette formule a été développée pour le tir dans des blocs granitiques ayant une résistance à la traction d'environ 15 MPa, en utilisant un cordeau détonant.

Les facteurs et les coefficients déterminés par cette formule peuvent être adapter aux propriétés physico-mécaniques de massif TESNOU-1.

2.1.2 TECHNIQUES DE DECOUPAGE

2.1.2.1 DECOUPAGE AU JET DE FLAMME

Le découpage au jet de flamme implique l'utilisation de diesel ou de paraffine avec de l'air comprimé pour produire un jet de flamme brûlant (environ 2500°C) qui perce un trou dans la pierre. Cette technique a été développée dans les années 1950 et est particulièrement efficace pour les granits à forte teneur en silice, car ils ont tendance à se fracturer et à se fissurer à ces températures.

Dans les pierres à faible teneur en silice, la vitesse de coupe est beaucoup plus lente et la flamme a tendance à faire fondre les autres minéraux plutôt qu'à les écailler.

Le chalumeau à flamme est encore largement utilisé aux États-Unis, où le coût du carburant est considérablement moins élevé qu'ailleurs et où les opérateurs traditionnels acceptent plus difficilement le fil diamanté.

Cependant, la faible production (1 à 1,5 mètre carré par heure), la consommation élevée de carburant (40 à 50 litres par heure) et le niveau de bruit élevé (130 dB) jouent un rôle défavorable à son utilisation.

2.1.2.2 DECOUPAGE AU JET D'EAU

Des machines ont également été développées pour découper la pierre au moyen de jets d'eau à haute pression utilisant des agents abrasifs en suspens. Bien que ces machines soient techniquement réalisables, leur coût d'investissement élevé et leur longue durée d'installation les rendent économiquement non rentables dans la plupart des configurations de carrières.

Bien qu'aucun résultat récent n'ait pu être trouvé dans la littérature sur la découpe au jet d'eau, des résultats satisfaisants ont été rapportés en 1995 (16) pour la pierre plus tendre, mais des vitesses de coupe inférieures à 1m² par heure pour le gneiss.

2.1.2.3 LE HAVAGE

Les haveuses sont équipées de têtes rotatives ce qui leur permet d'effectuer à la fois le sciage horizontal (havage) et le sciage vertical (rouille)

Des outils (dents) sont fixés sur une chaîne rotative au :

- Carbure de tungstène, pour les pierres tendres et fermes
- Diamant synthétique pour les pierres dures et le marbre.

La longueur maximale du bras de chaîne, sur les haveuses est de 5 mètres.

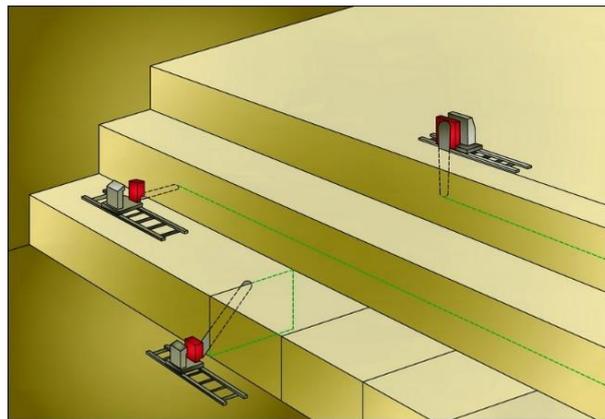


Figure 2-8 découpage par haveuse (15)

Le déplacement de la machine pendant la coupe est assuré par un chemin constitué de plusieurs tronçons de rails ancrés de niveau au carreau de la carrière.

Pendant le travail l'opérateur peut enlever le premier rail qui a été utilisé et le positionner vers l'avant, sans avoir à arrêter la machine. Elle peut ainsi travailler rentablement en continu sur de très grandes longueurs.

Les haveuses rouilleuses sont plus particulièrement adaptées pour le travail dans les carrières exploitées en gradins. Dès que le front de taille prend de la hauteur, la coupe au fil diamanté s'impose.

Cette méthode est préférable pour l'exploitation des carrières de pierres tendres. Sa production est d'environ 8 à 10 m² par heure en marbres carbonatés. L'analyse montre qu'environ 60 % de l'énergie est consommée en pertes par frottement. Par conséquent, une lubrification importante est nécessaire pour les machines, ce qui augmente encore le coût d'exploitation. La méthode de coupe à la chaîne est plus productive. Il n'est pas nécessaire de percer des trous horizontaux et verticaux. C'est une méthode qui permet de gagner du temps. Lorsque cette machine est combinée avec une machine de coupe à fil diamanté et des appareils de forage, sa productivité et son économie augmentent. Cette méthode nécessite de fortes compétences et n'est donc pas très répandue (17)

2.1.2.4 LA SCIE À FIL DIAMANTÉ

Dans cette technique, trois faces libres sont favorables à la découpe du bloc primaire par une machine à scier à fil diamanté. S'il y a deux faces, une coupe en forme de V est effectuée pour ouvrir une troisième face. Le bloc de pierre de taille est extrait par forage et découpe. Lors du forage, trois trous sont percés à un endroit approprié dans la roche mère. Pendant le forage, un trou est fait à la verticale tandis que les deux autres sont faits à l'horizontale. Les trois trous doivent se croiser en un seul point.

Le schéma de réalisation des trois trous pour qu'ils se rejoignent en un point est présenté dans la figure 6. Le diamètre de la foreuse est maintenu de telle sorte que même en cas de variation de l'alignement de forage, les trous se croisent en un seul et unique point. (17)

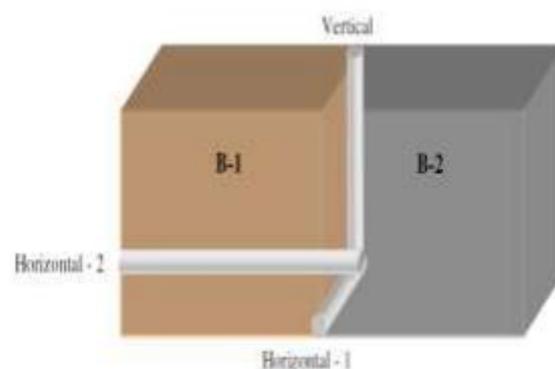


Figure 2-9 Schéma de forage pour l'extraction de la pierre de taille

L'étape suivante après le forage est le découpage du bloc primaire. La procédure de coupe est très importante pour que le processus se déroule sans problèmes. Tout d'abord, une coupe horizontale est effectuée. En effet, si l'on procède d'abord à une coupe verticale, la charge du

bloc risque d'étouffer le fil diamanté lors de la coupe horizontale et le fil diamanté peut être endommagé. La coupe horizontale dans le bloc est illustrée dans la figure 17a.

Après la coupe horizontale, deux coupes verticales sont effectuées progressivement, comme le montrent les figures 17b et 17c.

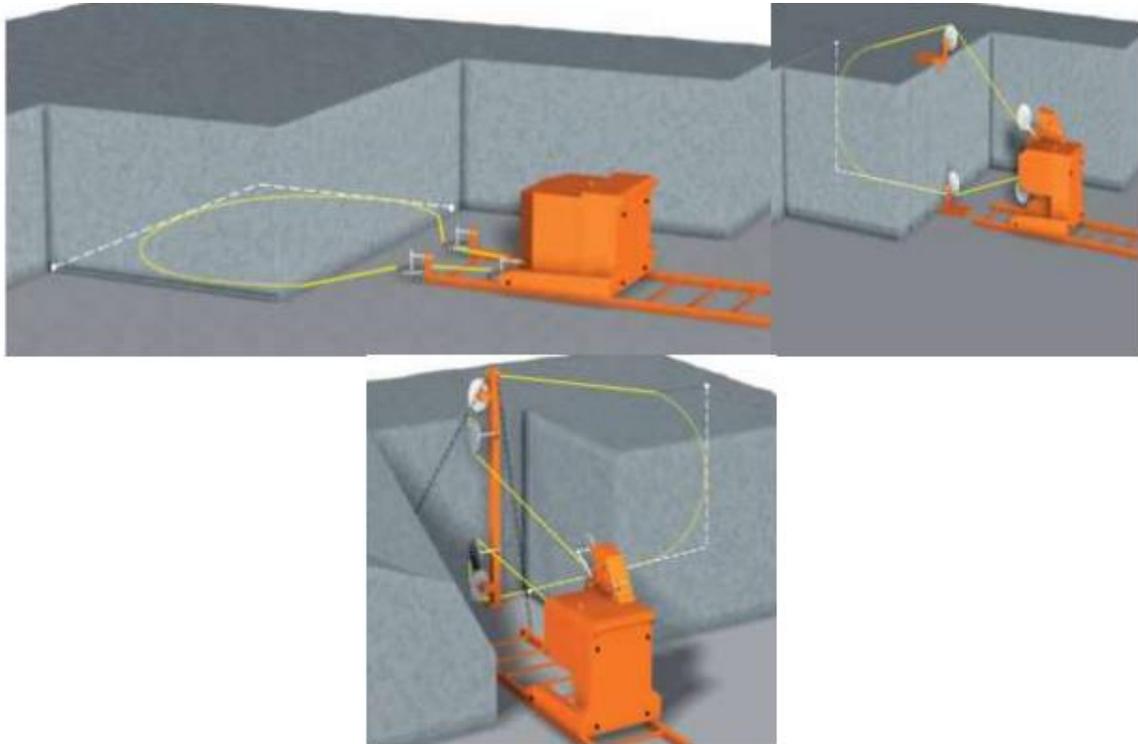


Figure 2-10 Schéma des coupes horizontales et verticales (Rehman, 2010).

En général, la longueur du fil diamanté est comprise entre 50 et 70 mètres. Le fil diamanté est assemblé selon une fréquence de 39 à 41 grains de diamant /mètre lorsqu'il est utilisé pour couper des granites. (18)

2.2 PROCESSUS D'EXTRACTION

2.2.1 FORAGE :

Il est clair, d'après les méthodes d'extraction de granite discuté ci-dessus, que le forage joue un rôle important dans ces méthodes. (En particulier les méthodes de fendage, où des densités de forage assez élevées sont nécessaires (les trous sont généralement espacés de 12 à 40 cm et sont généralement forés à 80-90 % de la profondeur de la fente)).

Alors que les foreuses de roche pneumatiques portatives ont traditionnellement été utilisées, au cours des 20 dernières années, on a assisté à une large adaptation des foreuses mécanisées utilisant à la fois des foreuses pneumatiques et hydrauliques. Il s'agit de foreuses montées sur palette qui peuvent être déplacées à la main ou à l'aide d'un équipement de chargement de blocs, ainsi que de foreuses automotrices entièrement mobiles (voir Figure 2-11). L'utilisation de ces appareils peut accroître considérablement la productivité.

Les forages manuels dans les carrières italiennes ont rapporté une productivité brute de 15 m par heure, tandis que les plates-formes pneumatiques montées sur patins atteindraient une productivité brute de 23 m par heure (16).

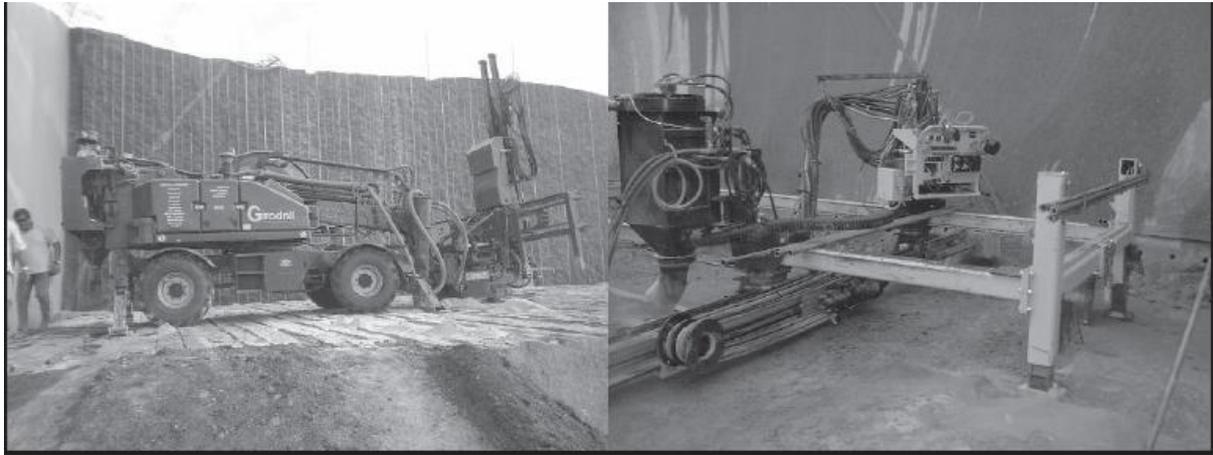


Figure 2-11 Installation de forage mobile (Verde Ubatuba, Brésil) et installation de forage sur chariot (Bluepearl, Norvège) (14)

2.2.2 DECOUPAGE/ ABATTAGE

Une fois les trous sont forés selon la méthode choisie pour l'extraction des blocs, on procède à l'abattage de bloc.

L'utilisation des méthodes conventionnelle impliquent l'utilisation d'explosifs pour fendre des blocs, Les dépôts de pierres de taille obtenus par les techniques d'extraction conventionnelles entraînent un énorme gaspillage pouvant atteindre 85 %, comme le montre la figure 2b. La méthode conventionnelle utilisée pour le tir à l'explosif sans discernement produit des blocs de forme de d'agrégats qui augmentent encore les coûts de transport et de traitement et n'ont aucune valeur sur le marché international (17)

L'exploitation minière mécanisée moderne (est également appelée technique sans explosifs), dans laquelle la pierre de taille est extraite sous forme de bloc conformément à la demande du marché par la technique de la scie à fil diamanté et de la scie à chaîne. Cette méthode est vaguement utilisée et permet une coupe de haute qualité et fiable selon la taille standard de la pierre de taille requise par le marché national et internationale (17)

Toutefois l'utilisation des deux différentes méthodes simultanément lors de l'extraction des blocs est possible, et peut être même favorable d'un point vu technico-économique (19)

2.2.3 DETACHEMENT ET DEGAGEMENT

Tout d'abord les opérateurs amoncellent au pied de la masse à verser un "tapis" constitué de déchets inertes de carrière. En s'écrasant au sol, la masse doit se fendre là où se trouvent les fissures naturelles existantes tout en préservant, autant que possible, les parties saines. Le tapis a donc pour but d'amortir les vibrations engendrées par le choc.

Après découpage, le bloc séparé est poussé à l'aide des pelles et versé vers le bas, ou bien en utilisant un ou plusieurs grands coussins en tissu polyester enduit de PVC et soudés (ou métallique). De faible épaisseur (~ 9mm), ils sont glissés dans le trait de sciage et maintenus au niveau voulu et ensuite gonflé.



Figure 2-12 dégagement des blocs à l'aide des coussins (15)

2.2.4 CHARGEMENT

Selon la géométrie de la carrière, la manutention des blocs se fait soit au moyen de grues à tour, soit au moyen de chargeurs frontaux.

Des engins de terrassement assez gros (Caterpillar 988 ou Komatsu WA600) sont généralement employés, notamment dans les pays producteurs du premier monde. Cependant, dans les pays plus pauvres, des machines plus petites (la Caterpillar 966 est la machine standard utilisée au Brésil) ou même des grilles de bois sont utilisées pour soulever et déplacer les blocs.

Les chargeurs frontaux sont généralement équipés d'une attache rapide qui permet de remplacer rapidement le godet par une fourche ou une pelle. Alors que le godet est généralement utilisé pour le chargement des débris et le déblayage de la carrière, la fourche est utilisée pour la manipulation des blocs et la pelle pour le déblayage des blocs. (14)



Figure 2-13 chargement de blocs à l'aide d'une fourche sur un chargeur frontal (Rustenburg, RSA) (14)

2.2.5 TRANSPORT DES FRONTS VERS LES DEPOTS

Les blocs de granite varient de dimension, pour les blocs de dimension 2x2x3 m (soit un volume de 12 mètres cubes), le poids serait donc environs 36 Tonnes.

Comme ces blocs sont trop massifs pour être soulevé, après avoir libéré le bloc, on propose l'utilisation des grues pour soulever les blocs, à l'aide de gros crochets sont placés dans des

trous percés à chaque extrémité du bloc sur un camion afin de le transporter vers les dépôts. Tandis que l'utilisation des chargeuses à fourche est aussi possible et les deux suggestions sont favorables pour le transport de front vers les dépôts.

Le transport des déchets vers la décharge se faisait généralement au moyen d'un chargeur frontal, mais de plus en plus de camions à benne sont utilisés dans l'industrie car les opérateurs se rendent compte du coût de cette utilisation abusive du chargeur par rapport aux coûts réalisés en utilisant des camions à benne pour le transport. Dans les carrières de blocs rocheux et les carrières en développement où il n'existe pas encore de routes permanentes, le camion à benne articulée est privilégié pour sa flexibilité. Cependant, dans les carrières bien développées où le coût de maintenance des routes permanentes est compensé, les camions à benne rigide hors route de la classe des 50 tonnes avec une benne coupée se montrent les plus efficaces étant donné les grandes dimensions des blocs de débris (15-25 tonnes), et la correspondance avec les chargeurs utilisés pour garantir que les débris ne tombent pas dans la benne en provoquant une charge de choc excessive sur le camion.

2.3 AMENAGEMENT DE LA CARRIERE

Une problématique importante dans le développement d'une carrière de ce type est la disposition des fronts et des surfaces.

Dans de nombreuses exploitations de blocs de roches ornementales, la disposition est rarement prise en compte, car une fois qu'un bloc de qualité supérieure a été exploité, l'exploitation se déplace vers un autre bloc de qualité supérieure situé ailleurs, jusqu'à ce que tous ces blocs soient épuisés et que le bloc de qualité inférieure suivant soit exploité. Cette pratique n'est pas viable, car elle conduit à une stérilisation des réserves sous-jacentes dans la formation solide et il est difficile d'obtenir une production de qualité et de quantité constantes. (20) .

Cependant, l'extraction de blocs libres est inévitable dans la plupart des gisements et, si elle est effectuée de manière bien planifiée et systématique, elle peut apporter une assistance financière initiale au projet sans porter préjudice au futur développement. (14)

La planification et l'aménagement de la carrière sur un ou plusieurs niveaux, avec une forme de face en dents de scie (voir figure 10) à chaque niveau, permet un accès suffisant pour toutes les activités de préparation au détachement des bancs sans interférence des blocs extraits et permet une production continue et un assemblage des rendements et des qualités.

Dans la mesure du possible, il est préférable de commencer par une extrémité de la colline, mais lorsque cela n'est pas faisable, les coupes clés peuvent être effectuées au milieu de la formation. Celles-ci ont toujours été difficiles et ont été évitées car elles nécessitaient un abattage à l'explosif dans les deux sens. Les progrès récents permettent maintenant de couper à l'aveugle la partie arrière. Il est également possible d'effectuer des coupes à clé vers le bas dans la roche massive, là où le gisement progresse au-dessous du niveau du sol avoisinant.

Un facteur important à prendre en compte pour la planification et le développement d'une carrière de pierre de taille, comme le montre la figure 21 est l'impact de la programmation des différentes opérations d'extraction et de dégagement des blocs, ainsi que la nécessité d'un espace suffisant entre les différents niveaux.

Si on considère que la distance minimale entre deux niveaux permettant la préparation des bancs sans interférer avec le déplacement des engins de terrain, est d'au moins 40 mètres (ou quatre fois la largeur de banc), il est évident qu'il faut aménager une surface assez importante pour soutenir la production. (14)

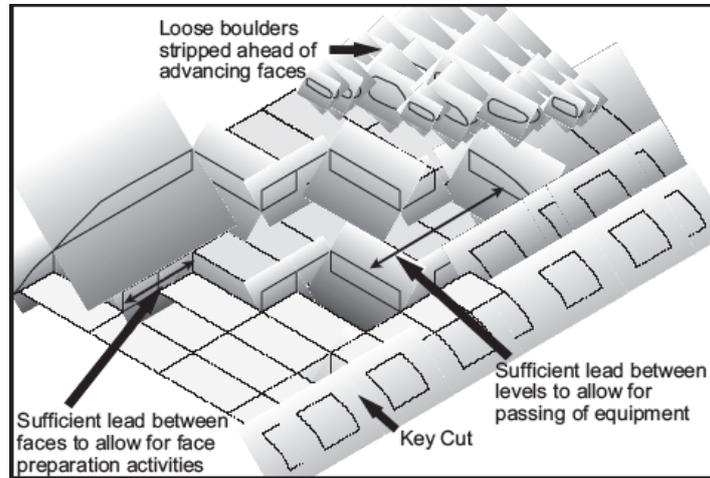


Figure 2-14 Vue isométrique de l'aménagement optimal de la carrière (14)

2.4 LES PERTES ET GESTION DES DECHETS

Les statistiques des pertes lors la production des blocs ornementales en Algérie sont actuellement indisponible.

D'après les statistiques de World data for 2003, Stone 2004 les pertes de l'extraction peuvent varier de 50% à 95%. (21)

Cependant, en 2006, une enquête sur l'industrie de la pierre naturelle menée par le Center for Clean Product (UT) de l'Université du Tennessee a indiqué que de 3 à 93 % de la matière totale extraite des carrières peut être gaspillée, tandis que d'autres études font état de valeurs allant de 15 à 78 % (22)

2.4.1 CAUSES DES PERTES LORS DE L'EXTRACTION

- Surfaces mal découpées corrigées avec les machines de retaillement des blocs
- Fissurations hasardeuses
- Fissurations survenues lors des opérations d'arrachage
- Taches de Xénolite non désirées qui détériorent le dessin des surfaces
- Les blocs présentant des défauts structurels les rendent impropres au sciage
- Blocs présentant une grande variation de couleur dans un même bloc.
- Petites masses fragmentées et débris de granite.

(23)

2.4.2 REDUCTION DES PERTES

- Utilisation de nouvelles technologies propres comme les outils diamantés, un système de rampes et de routes d'accès adéquat ;
- Adopter des méthodes d'exploitation spécifiques ;
- Renforcement des blocs mécaniquement instables ;
- Utilisation des outils de coupe plus fin ;
- Recyclage des boues avec décantation et compactage.

CONCLUSION

Alors que dans le passé, l'extraction de granite était effectuée par des méthodes traditionnelles mises au point au cours de nombreux siècles, elle devient de plus en plus complexe d'un point de vue technique, nécessitant des apports de la géologie et de nombreuses branches du génie minier, allant de la technologie du tir, à la fragmentation non explosive des roches, la mécanique des roches, la conception et la programmation des mines, la géostatistique et l'évaluation des réserves.

Par ailleurs il n'existe pas de méthode d'exploitation minière unique et universellement applicable, et l'ingénieur impliqué dans la planification et l'exploitation d'une carrière de granite doit bien connaître diverses techniques de coupe et de fendage, et avoir une compréhension approfondie de la géologie et les propriétés physico-mécanique du gisement qu'il extrait afin de concevoir une méthode d'exploitation optimale pour cette carrière.

CHAPITRE 3
TRAVAUX D'OUVERTURE

3 TRAVAUX D'OUVERTURE

Les voies de transport des mines ont été historiquement conçues de manière empirique, en s'appuyant fortement sur l'expérience locale ; la tendance à l'augmentation de la taille des camions rendra donc les systèmes de revêtement actuels inadéquats. Étant donné que les coûts de transport par camion peuvent représenter 10 à 50 % des coûts totaux d'une carrière à ciel ouvert, non seulement les coûts d'entretien des routes existantes de conception inadéquate augmenteraient, mais les coûts d'exploitation et d'entretien des engins augmenteraient également de manière prohibitive. Il est donc nécessaire d'améliorer les technologies de conception, y compris les techniques de construction et de gestion des routes de transport des mines, en fonction de la charge des véhicules actuellement utilisés.

3.1 PISTE D'ACCES AU GISEMENT

L'ouverture choisie doit assurer :

- La rentabilité et la productivité ;
- Un bon fonctionnement des engins ;
- Sécurité de travail

3.2 CARACTERISTIQUES DE LA PISTE

Largeur de la piste

La largeur de la piste dépend sur les paramètres techniques des engins circulants.

Piste à deux voies :

$$I=2(a+2c)+r$$

r : la largeur de la rigole d'évacuation d'eau .

Sois $r= 0.4$ m

a : la largeur de chargeuse a fourche

Sois $a= 3.5$ m

c : la largeur de la bande de sécurité = $0.5 + 0.005.v$

v : vitesse moyenne de déplacement des camions (km/h).

Sois : $v=20$ km/h

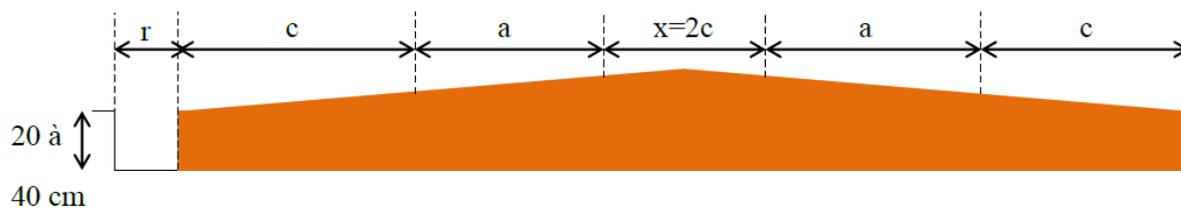


Figure 3-1 coupe transversale de la piste

$$l = 2(3.5+2*0.6)+0.4=10.2 \text{ m}$$

Par ailleurs pour la manutention des blocs on aura besoin d'une seule voie d'accès :

La largeur de la piste est alors L=5.1 m

La pente maximale de la piste :

La pente maximale atteignable par nos engins est de **10 %**.

Le devers de la route :

La pente transversale pour maintenir une pente minimale pour le drainage est **2%**

L'épaisseur de chaussée :

L'épaisseur choisie serait de 40 cm

Maintenance et entretien :

Les pistes de transport mal aménagés augmentent considérablement le taux et l'usure des équipements, ce qui augmente les coûts de maintenance.

Mesures visant à réduire la détérioration des routes de transport :

- Maintenir les fossés et les caniveaux libres de toute obstruction afin de minimiser les facteurs d'érosion potentiels ;
- Utiliser des zones différentes du chemin de transport pour éviter la formation d'ornières ;
- Charger les véhicules dans les normes pour éviter les déversements
- Minimiser les problèmes de poussière grâce à des camions citernes ou des arroseurs ;
- Utiliser du matériel de soutien (niveleuses, boteurs à roues, etc.) pour entretenir les pentes transversales, éliminer les déversements et remplir et lisser les surfaces dénivelées.

3.3 METHODE D'OUVERTURE

Après visite de terrain, on a rencontré deux problèmes essentiels :

- Impossibilité d'accès au niveau de front prévu ;
- Présence des éboulis tout autour de gisement.



Figure 3-2 présence des éboulis sur la partie nord de gisement

Lors de la visite de terrain, 4 variantes ont été étudié :

- Variante 1 : l'ouverture et l'exploitation de partie nord-ouest de gisement (autour de sondage ST1/2) ;

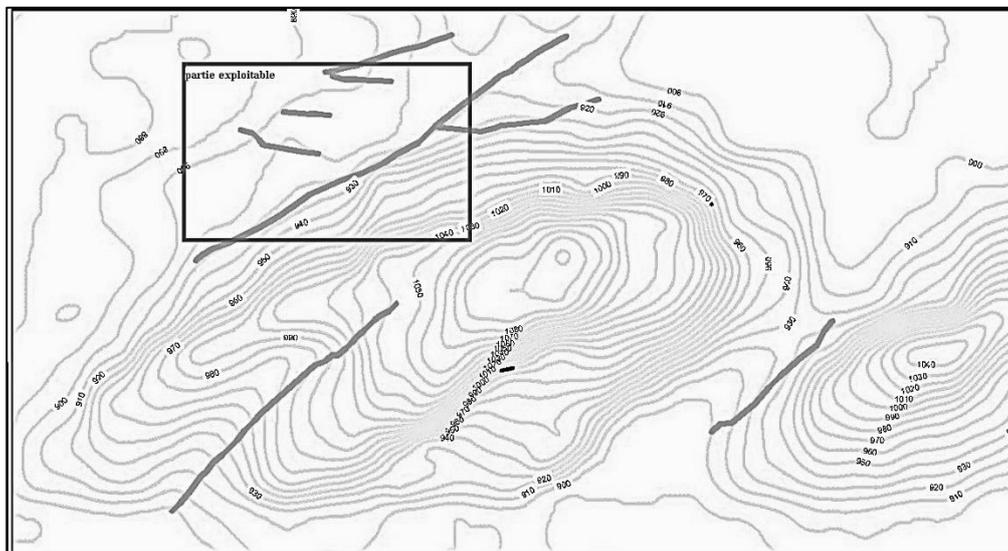


Figure 3-3 variante 1

- Variante 2 : l'ouverture de premier front et l'exploitation de partie nord de gisement (autour de sondage ST1/1) et l'avancement en gradin ;

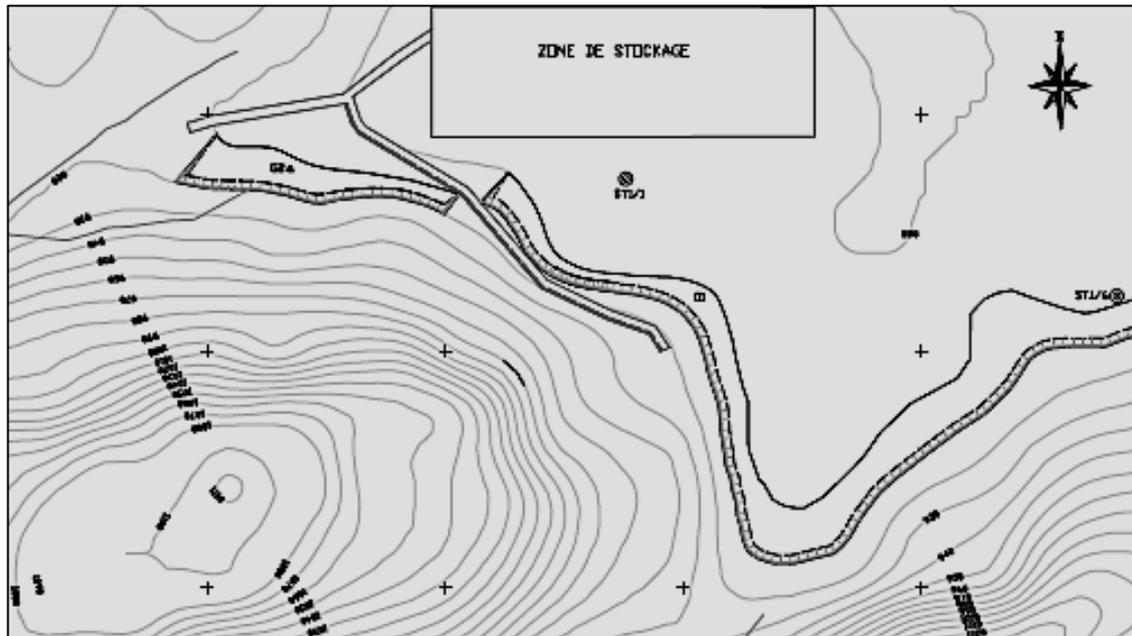


Figure 3-4 variante 2 de l'ORGM (33)

- Variante 3 : En tenant compte le plan topographique 1.5000 et la carte de fracturation, l'ouverture autour de sondage ST1/6 et le relier avec le sommet ;

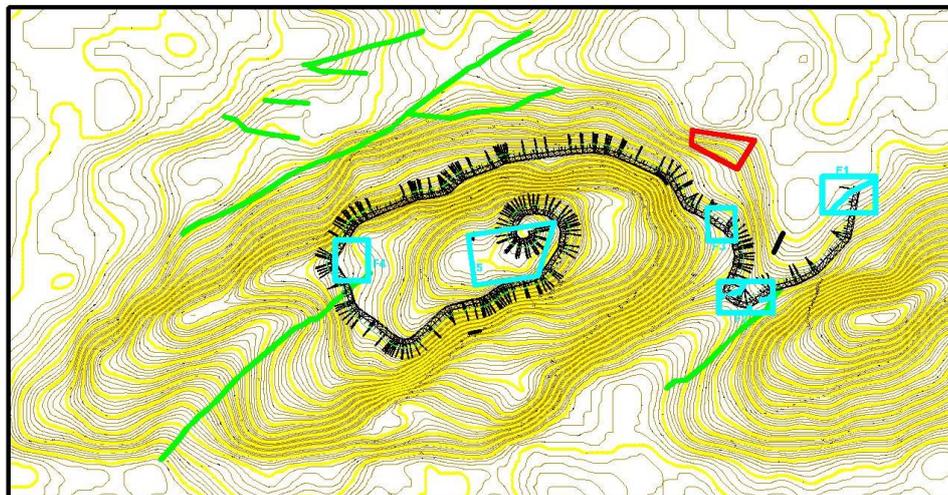


Figure 3-5 piste de variante 3

- Variante 4 : l'ouverture de partie sud, autour de sondage ST1/4 et l'avancement vers la partie nord.

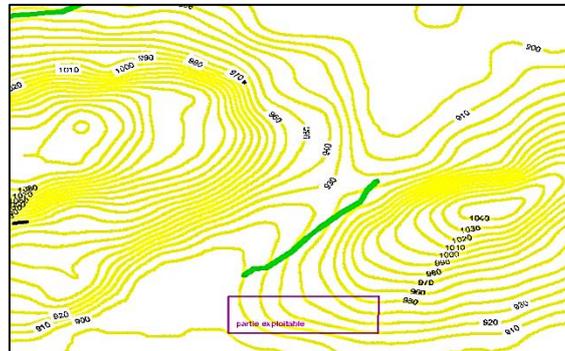


Figure 3-6 variante 4

Les avantages et les désavantages de chaque variante sont résumés dans ce tableau :

Tableau 3-1 : avantages et désavantages des variantes d'ouverture

Variante	Avantages	désavantages
Variante 1	<ul style="list-style-type: none"> - Facilité d'accès à la masse grisatre ; - Besoin seulement de quelques travaux pour l'accès ; 	<ul style="list-style-type: none"> - Eloigné de zone de stockage ; - Presque inaccessible pour la variété rosatre ;
Variante 2	<ul style="list-style-type: none"> - Accessible pour exploiter la masse grisatre ; - Facilité d'ouverture = cout d'ouverture minimal ; - Proche de zone de stockage 	<ul style="list-style-type: none"> - Inaccessible pour la deuxième variété ; - Besoin de peu d'aménagement et dégagement des éboulis ;
Variante 3	<ul style="list-style-type: none"> - Proche de zone de stockage ; - Sur le plan topographique : on peut accéder aux deux variétés ; 	<ul style="list-style-type: none"> - Inaccessible (réalisé sur le terrain) ;
Variante 4	<ul style="list-style-type: none"> - Très accessible 	<ul style="list-style-type: none"> - Piste inexistante

Pour les quatre variantes nous avons rencontré le problème de : sécurité et la présence des éboulis.

En tenant compte les variétés et les données de terrain nous avons choisir la méthode suivante :

I. OUVERTURE

1. Dégagement des éboulis : on propose le dégagement des éboulis à l'aide des explosifs, en tenant compte que les éboulis ne font pas partis de massif rocheux, un tir minimal ne provoquera pas les microfissures, et la blocométrie restera saine ;
2. Remblayage au niveau de point : (659594,2732958) situé à l'est de sondage ST1/1 afin d'y avoir un accès au niveau 920M de la masse grisâtre, le volume de remblai est : **16471.78 m³**.



Figure 3-7 partie nord de gisement

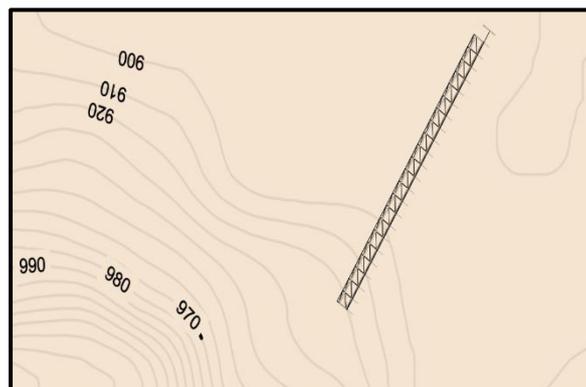


Figure 3-8 accès de la partie nord

3. Dégagement des éboulis suspendus sur ce niveau vers le bas à l'aide d'une pelle mécanique ;
4. Ouverture d'un autre front au niveau de point (659211,2732264) près de sondage ST1/3 jusqu'au niveau 920m de la masse rosâtre Volume de déblai : **17875.83 m³**, Volume de remblai : **3.77 m³**.

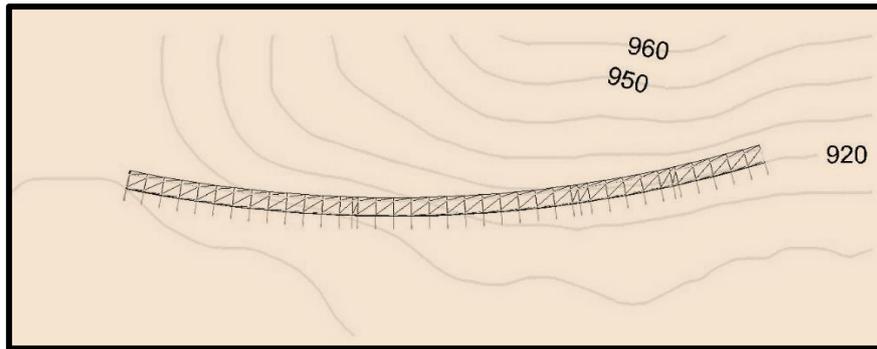


Figure 3-9 accès de la partie sud

5. Dégagement des éboulis suspendu sur ce niveau vers le bas ;
6. Après dégagement des éboulis on aura accès à une plateforme qui relie les deux masses sur le niveau 930M de (la jonction entre les deux masses grisâtre et rosâtre) ;

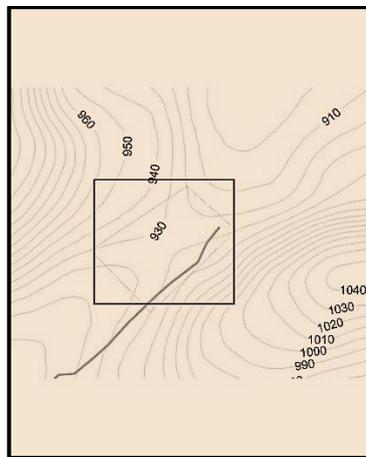


Figure 3-10 plateforme 930

- Cette plateforme va nous servir pour :
 - Mener les opérations d'exploitation dans les deux sens ;
 - Optimiser la durée de transport des blocs de masse rosâtre, à la zone de stockage ;
 - Se libérer de problème des éboulis et l'accès au gisement en assurant la diversité de produit.

II. EXPLOITATION

- Les travaux d'exploitation doivent se faire de haut vers le bas, à cause de la présence des éboulis suspendus et pour les raisons de sécurité, dans un aucun cas on exploite de bas vers le haut ;
- Une fois arrivé au niveau 920m l'extraction des blocs granitiques se fait parallèlement avec les travaux d'ouverture ;
- En premier lieu, le stockage des blocs, extraite de masse rosâtre, se fait séparément dans la partie sud de gisement jusqu'à l'ouverture de la plateforme de niveau 930m.

Calcul de rendement de la pelle hydraulique

Le rendement de la pelle hydraulique théorique est déterminé par la formule suivante :

$$Q_h = \frac{3600 * V_{godet}}{T_c} \quad m^3/h$$

Le rendement effectif horaire :

$$Q_h = \frac{3600 * V_{godet} * K_1 * C}{T_c * K_f}$$

- T_c La durée de cycle (22-55) secondes.
- V_{godet} Volume de godet
- K_1 Coefficient de remplissage du godet (0.75 - 0.90 pour les roches peu fragmentés)
- C Coefficient d'utilisation de l'excavateur : (0.8-0.95 lors de déchargement dans le terril ; 0.6-0.85 lors de déchargement dans les camions)
- K_f Coefficient de foisonnement des roches (1.9 pour les roches lourdes)

Calcul théorique

$$Q_h = \frac{3600 * V_{godet} * K_1 * C}{T_c * K_f}$$

$$Q_h = \frac{3600 * 3 * 0.75 * 0.8}{55 * 1.9}$$

$$Q_h = 62 \quad m^3/h$$

Le rendement de l'excavateur en un poste :

$$Q_p = \frac{3600 * V_{godet} * K_1 * C * n}{T_c * K_f}$$

n : est le nombre d'heures de travail de la pelle hydraulique pendant le poste.
 $n=10$ heures

$$Q_p = 620 \quad m^3/poste$$

3.4 ANALYSE DE SYSTEME D'EXPLOITATION

3.4.1 CONDITIONS TECHNICO MINIERES

3.4.1.1 REGIME DE TRAVAIL PENDANT UNE ANNEE (AU NIVEAU DE SITE)

Nj - Nombre de jours ouvrable de travail par an est égale à 312 jours

Np - Nombre de poste par jour est égale à 1 poste / jour

Tp - durée de poste prolongé est égale à 10 heures

3.4.1.2 CAPACITE DE PRODUCTION

- La **capacité annuelle** de l'extraction des blocs au niveau de la carrière est de **30 000 m3/an**.
- La **capacité mensuelle** de la production des blocs au niveau de la carrière est déterminée par la formule suivante :

$$pm(\text{production mensuelle}) = \frac{pa (\text{production annuelle})}{Nm (\text{nombre des mois ouvrables par an})}$$

$$pm = \frac{30\,000}{12} = 2500 \text{ m3/an}$$

La capacité mensuelle de la production est donc **2500 m3/an**.

- La **capacité journalière** de la production des blocs au niveau de la carrière est déterminée par la formule suivante :

$$pj(\text{production journalière}) = \frac{pa (\text{production annuelle})}{Nj (\text{nombre des jours ouvrables par an})}$$

$$pj = \frac{30\,000}{312} = 96.15 \text{ m3/jour}$$

La capacité journalière de la production est donc **96.15 m3/jour**.

3.4.2 SYSTEME D'EXPLOITATION

Le gisement de granite représente une masse saine sans gros défauts apparents donc il est préférable d'exploiter le gisement en gradins.

On appelle :

- Front de taille : les parements verticaux issus de l'abattage de la roche
- Carreau : Le fond de fosse horizontale formé par l'avancée progressive des fronts.

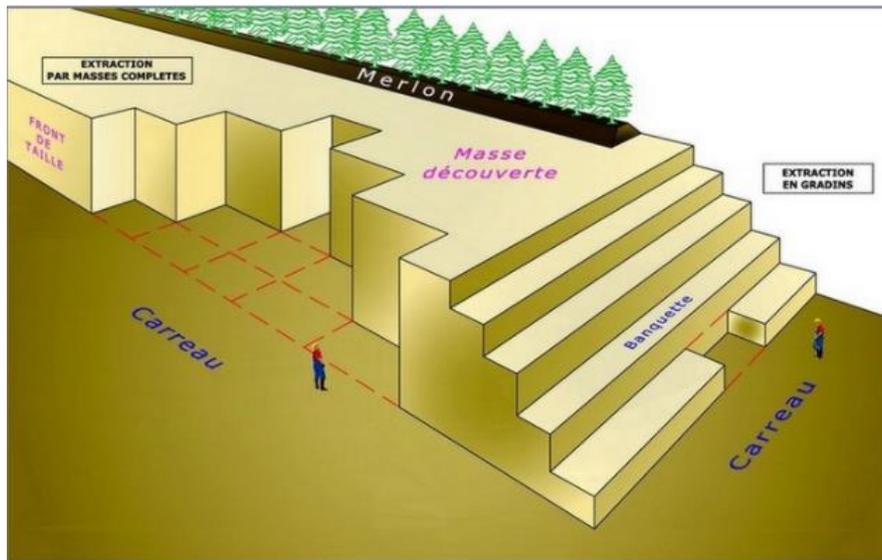


Figure 3-11 extraction des blocs (15)

La méthode d'exploitation dépend d'un certain nombre d'éléments dont les plus significatifs sont :

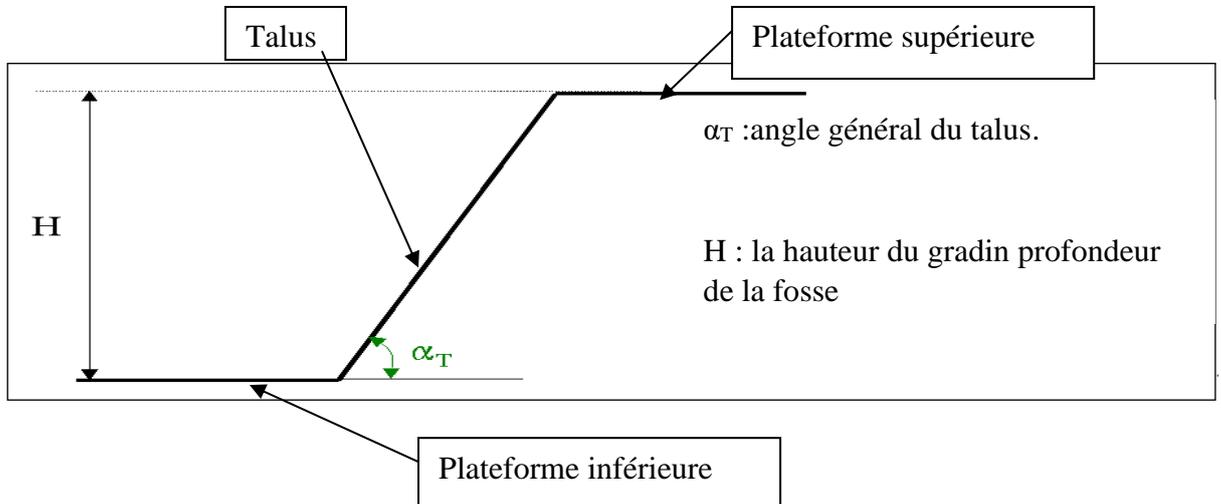
- La nature des (minerais) roches exploitables.
- La nature des roches encaissantes.
- Les conditions du gisement.
- Les conditions hydrogéologiques.
- Les conditions techniques.
- La valeur du minerai au marché. (24)

3.4.2.1 La hauteur du gradin :

- La hauteur du gradin dépend initialement des propriétés physico-mécaniques de la roche abattue, ainsi que les engins de chargement et de transport.
Pour une exploitation rentable et utilisation efficace de fil diamanté on propose des gradins de 8m qui nous permettra d'extraire un bloc complet (tranche) de dimension : 3.2x4x8 m.

3.4.2.2 L'angle du talus des gradins :

Pour les gradins de granite, l'angle de talus peut arriver jusqu'à 85%.



3.4.2.3 La plateforme de travail :

3.4.2.3.1 La largeur de la plateforme de travail :

La largeur de la plateforme de travail est déterminée par :

- Les engins de transport et de chargement ;
- Les machines utilisées pour le découpage des blocs ;
- La taille des blocs lors de basculement.

La largeur minimale de la plateforme permettre la circulation normale des engins, et assure la sécurité lors de l'abattage.

$$L_{pt} = X + C + T + S$$

- L_{pt} : la largeur de la plateforme de travail
- C : la distance entre l'arête inférieure du tas et la voie de transport (2→2,5 m) distance de sécurité.
- T : La largeur du chemin de transport (T) (5.1)
- S : la largeur de berme de sécurité, (1m) ;
- X : largeur utilisée par la machine à file diamanté

CALCUL :

Calcul de la largeur utilisée par la machine à fil diamanté

La valeur de X est donnée par

$$X = D + l_{\text{machine}}$$



Figure 3-12: schématisation de la largeur utilisée par le fil diamanté

D : distance entre la machine et le front

l_{machine} : longueur hors tout de la machine

Pour un meilleur rendement le fil, la distance entre la machine et le front est approximativement :
3.5 m (25)

Longueur hors tout maximale de la machine : 7m

$$X = D + l_{\text{machine}}$$

$$X = 10.5\text{m}$$

Calcul de la largeur minimale de la plateforme

$$L_{pt} = X + C + T + S$$

$$L_{pt} = 10.5 + 2.5 + 5.1 + 1$$

$$L_{pt} = 19.1 \text{ m}$$

La largeur de la plateforme est alors l=19.1 m

CONCLUSION

L'ouverture est l'opération principale lors de l'exploitation minière.

En tenant compte les conditions géologiques, topographiques et économiques, on a choisi d'ouvrir deux fronts à la fois et les relier au niveau de plateforme indiqué (au niveau 930m).

Notre travail a été basé sur les paramètres suivant :

- Les conditions de gisement ;
- La production annuelle demandé ;
- La longueur et la largeur de la piste d'accès ;
- La largeur de plate-forme de travail ;
- Le volume de déblais / remblais.

Par ailleurs, nous devons se libérer de problème des éboulis avant l'ouverture, et à cet effet on propose l'étude des paramètres de tir afin de dégager les éboulis et son effet sur la blocométrie.

CHAPITRE 4
ANALYSE TECHNIQUE
ECONOMIQUE

4 ANALYSE TECHNICO ECONOMIQUE

4.1 LA METHODE D'EXTRACTION

4.1.1 CHOIX DE LA METHODE D'EXTRACTION

Les différentes méthodes d'extraction de granite ont été évalué chaque par rapport aux critères correspondants, sur la base des expériences techniques et expérimentales ainsi que des avis des décideurs et des experts.

On a déterminé ainsi la méthode la plus approprié en comparant les caractéristiques spécifiques de la carrière et en considérant les conditions économiques.

La méthode choisie est : **Le Sciage au fil diamanté.**

Afin d'y avoir des blocs de 3.2mx2.2mx2m on propose le sciage et le dégagement des blocs complets (tranches) de large dimension : soit 3.2mx4.4mx8m, et le scier par suite en 8 blocs de petite dimension.

4.1.2 METHODE D'EXTRACTION PAR SCIAGE A FIL DIAMANTE

1- Ouverture :

- Préparation de champs minier ;
- Préparation des plateformes supérieures et inférieures (pour le forage et l'installation des machine à fil diamanté type rail/pont) ;
- Profilage de point d'ouverture selon : les conditions de gisement (sens d'exploitation, blocométrie) ;
- Forage d'un trou vertical (8 m) ;
- Forage de deux trous horizontaux perpendiculaires en formant un « V » (suffisamment large pour arriver à une hauteur de bloc massif : 8m et préparer la plateforme de travail soit 20m) ;
- Détachement de bloc.

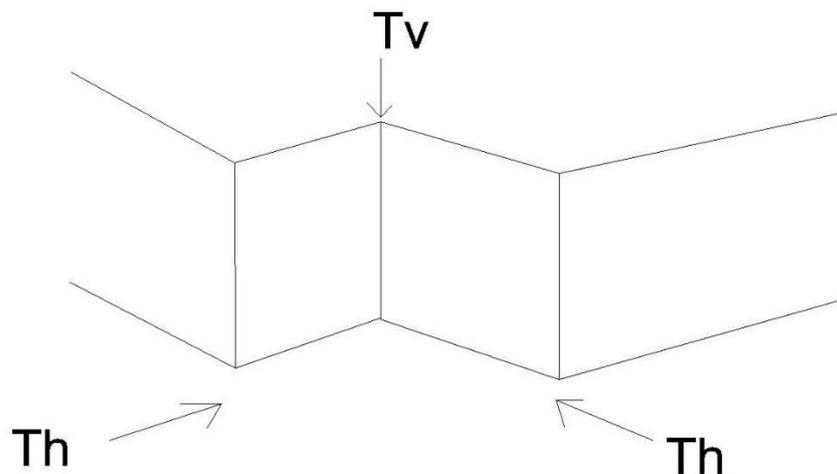


Figure 4-1 forme 'V' d'ouverture et profilage des trous

2- Extraction :

Pour l'extraction d'un bloc complet (tranche) de dimension 8x3.2x4.4 m :

- Forage d'un trou vertical (8m) ;
- Forage des deux trous horizontaux perpendiculaires formant un V (3.2 m ; 4.4 m) ;
- Formation des 3 surfaces à scier S1, S2, S3 respectivement bas, coté, arrière ;
- Sciage des surfaces par ordre : bas, coté, arrière ;
- Préparation de lit ;
- Renversement du tranché par des coussins métalliques, pelle hydraulique ;
- Équarrissage (retaillement des blocs) : retaillement (sciage secondaire) des blocs de petites dimensions 3.2x2x2.2, afin de les transporter vers la zone de stockage par suite à l'usine.

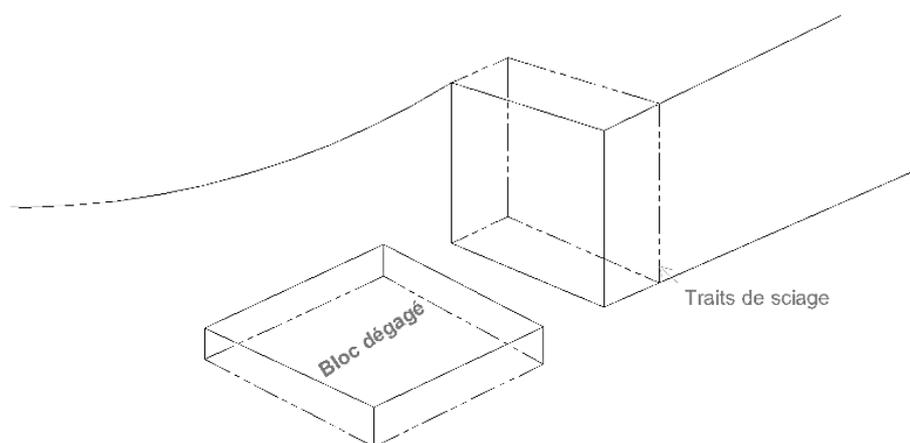


Figure 4-2 extraction de bloc complet (tranche) de granite

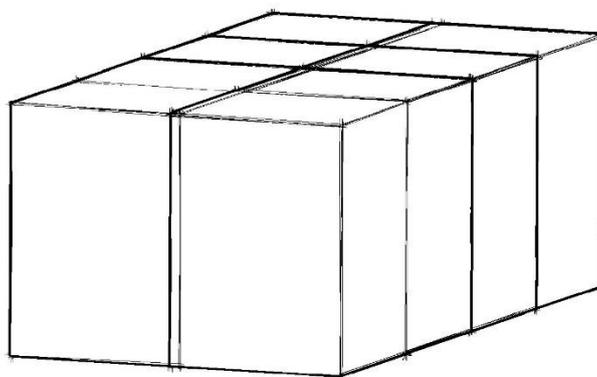


Figure 4-3 Sciage des petits blocs après dégagement

3- Chargement et Transport :

- Chargement des blocs ;
- Transport vers la zone de stockage ;
- Déchargement ;

4.2 EXTRACTION DES BLOCS

4.2.1 TRAVAUX DE FORAGE

4.2.1.1 Choix du matériel de forage

Le matériel de forage est généralement choisi en fonction de :

- Forabilité de la roche : résistance à la compression, dureté, abrasivité ;
- La structure du massif : fissurations, discontinuités ;
- Les caractéristiques générales d'exploitation : taille des blocs ;
- Objectif de production : L'environnement : présence d'habitations, vibrations, bruits, poussières.

Le choix technique de l'entreprise est : 3 perforateurs et 3 chariots de forage hydraulique.

4.2.1.2 Paramètres caractérisant l'engin de forage

Les caractéristiques des engins de forages sont résumées dans le tableau suivant :

Type	Perforateur	Chariot de forage / chenille
Diamètre de trou	90-100 mm	90-100 mm
Profondeur de forage	>20 m	>20 m
La vitesse de perforation	Min 10m/h	Min 10m/h
Type de marteau	Marteau pneumatique perforateur	Marteau pneumatique perforateur
Puissance de percussion	≥ 7.5 kW	≥ 7.5 kW
Direction de forage	0-90	0-90
Pression de service	6-10 bars	6-10 bars
Vitesse de déplacement	/	0-3 km/h
Consommation de l'air	50-80 l/s	50-80 l/s
Equipement	/	Hydraulique

4.2.1.3 Rendement de la foreuse

Le rendement de la foreuse durant un poste de travail est déterminé par la relation suivante :

$$R_{foration} = \frac{T * K_u}{T_f}$$

Où :

- T : Durée d'un poste de travail effectif (T= 9h=540 min) ;
- Ku : Coefficient d'utilisation de la foreuse (Ku=0.80) ;
- Tf : Temps nécessaire pour la foration d'trou.

$$T_f = \frac{L_{tr}}{V_a} + t(\text{fixation})$$

Pour le trou vertical : $T_{f1} = \frac{8}{10} = 0.8 \text{ h} = 48 \text{ min}$

Pour les trous horizontaux : $T_{f2} = \frac{3.2}{10} = 0.32 \text{ h} = 19.2 \text{ min}$

$$T_{f3} = \frac{4.4}{10} = 0.44 \text{ h} = 26.4 \text{ min}$$

Le temps de fixation : $t(\text{fixation}) = 15 \text{ min}$

Donc : le temps de foration nécessaire pour extraire un bloc complet de 3.2mx4.4mx8m et le scier en 8 blocs de 3.2mx2.2mx2m est :

$$T_f = T_{f1} + T_{f2} + T_{f3} + 3t(\text{fixation}) = 138.6 \text{ min}$$

Pour calculer le rendement de foreuse (blocs préparés par poste)

$$R_{foration} = \frac{T * K_u}{T_f}$$

$$R_{foration} = \frac{540 * 0.8}{138.6} = 3.11 \text{ tranches préparer par poste}$$

Pour calculer le nombre des machines nécessaires pour avoir la production annuelle :

$$N_s = \frac{\text{production annuelle}}{R_{foration} * V_B * \text{nombre de poste par jour} * \text{nombre de jours ouvrable}}$$

Nf: nombre foreuses nécessaire

V_B: volume de bloc complet

$$N_f = \frac{30000}{4.16 * 112.64 * 312} = 0.20$$

Donc dans le but d'arriver à la production annuelle prévu de 30000 m³ par an, on aura besoin d'une seule foreuse.

4.2.2 TRAVAUX DE SCIAGE

Le matériel de sciage est choisi en fonction de plusieurs caractéristique dont (26) :

- Efficacité des opérations
- Qualité des blocs de pierre
- Sécurité
- Taille du bloc
- Accès aux machines
- Investissement initial
- Prix de vente
- Coûts de fonctionnement
- Exigence d'un opérateur qualifié
- Besoin en électricité
- Exigence relative à l'eau
- Production de stériles

L'entreprise a favorisé l'utilisation des machine à fil diamanté, on a donc acquis : 12 machine à fil diamanté type pont, et 3 machine à fil diamanté type rail.

4.2.2.1 Paramètres caractérisant les machines à fil diamanté

Les caractéristiques des machines acquises sont résumées dans le tableau suivant :

Type	Machine à fil diamanté type pont	Machine à fil diamanté type rail
Type de travail	Automatique	Automatique
Angle de travail	0°-270°	360°
Rendement minimal	5m ² /h	5m ² /h
Longueur de fil	Min 150m	Min 100 m
Puissance moteur	50 à 75 KW	50 à 75 KW
Vitesse de rotation	1000 tours/min (+/- 20 tours/min)	1500 tours/min
Déplacement sur pont/longueur de rail	4000-5000 mm	2x3000 mm
Type de translation	Sur roues dentées motrices	Sur roues dentées motrices
Longueur de la machine	7000 mm	2500 mm
Largeur de la machine	2000 mm	2000 mm
Hauteur de la machine	2200 mm	1500 mm

4.2.2.2 Rendement de sciage

Pour dégager le bloc complet, on doit tout d'abord scier les trois surfaces respectivement :

- Surface de bas : $3.2 \times 4.4 \text{ m}^2$
- Surface de côté : $3.2 \times 8 \text{ m}^2$
- Surface de derrière : $4.4 \times 8 \text{ m}^2$

$$R_{sciage} = \frac{T * K_u}{T_s}$$

Où :

- T : Durée d'un poste de travail effectif (T= 9h) ;
- Ku : Coefficient d'utilisation d'une machine (Ku=0.70) ;
- Ts : Temps nécessaire pour le sciage d'un bloc.

$$T_s = \frac{S_{sciage}}{V_a}$$

$$S_{sciage} = (3.2 * 4.4) + (3.2 * 8) + (4.4 * 8)$$

$$S_{sciage} = 74.88 \text{ m}^2$$

$$T_s = 14.976 \text{ h}$$

$$R_{sciage} = \frac{9 * 0.7}{14.97}$$

$$R_{sciage} = 0.42 \text{ bloc_complet/poste}$$

Pour calculer le nombre des machines nécessaires pour avoir la production annuelle :

$$N_s = \frac{\text{production annuelle}}{R_{sciage} * V_B * \text{nombre de poste par jour} * \text{nombre de jours ouvrable}}$$

N_s: nombre machines de sciages nécessaire

V_B: volume de bloc complet

$$N_s = \frac{30000}{0.42 * 112.64 * 312} = 2.03$$

Donc dans le but d'arriver à la production annuelle prévu de 30000 m³ par an, on aura besoin de 3 machines à fil diamanté.

4.2.3 ECARTEMENT, BASCULEMENT DES BLOCS

Pour dégager les blocs une fois sciés, un ou plusieurs grands coussins de métal gonflable, de faible épaisseur (9mm), sont glissés dans le trait de sciage (ou après écartement en utilisant la pelle) et maintenu au niveau voulu par les manœuvres, un autre opérateur chargé de gonfler les coussins à l'aide des pompes à eaux haute pression. Une fois le bloc écarté, on procède au basculement à l'aide de la pelle mécanique.

T1 : la préparation du lit par la pelle, T1 = 10 min

T2 : l'élargissement préliminaire de la fonte, T2 = 15 min

T3 : l'écartement de la masse par la pelle, T3 = 5 min

T4 : placement des coussins T4 = 10 min

T5 : gonflage des coussins T5 = 10 min

T6 : basculement de la masse par la pelle, T6 = 5 min

Le cycle de culbutage de la masse est donc : $T = T1 + T2 + T3 + T4 + T5 + T6 = 55 \text{ min}$

4.2.4 RETAILLEMENT DES BLOCS

Une fois le bloc complet est dégagé on procède au retaillement des blocs, c'est le sciage de bloc complet en 8 autres blocs de petite dimension ; sois : 3.2x2.2x2.

A cet effet, l'entreprise à décider d'acquérir 21 machines à retaille bloc châssis mobiles sur roue à tête fixe et 9 machines à retaille bloc châssis mobiles sur roue à tête mobile.

4.2.4.1 Paramètres caractérisant les machines à retaille blocs

Les caractéristiques des machines acquises sont résumées dans le tableau suivant :

Type	Machines à retaille bloc châssis mobiles sur roue à tête fixe	Machines à retaille bloc châssis mobiles sur roue à tête mobile.
Type de travail	Automatique	Automatique
Rendement minimal	4 m ² /h	5m ² /h
Longueur de fil	Min 35 m	Min 35 m
Puissance moteur	22 à 30KW	22 à 30 KW
Vitesse de rotation	1500 tours/min	1500 tours/min
Course minimale de déplacement sur rail	3000 mm	3000 mm
Longueur de la machine	4000 mm	4500 mm
Largeur de la machine	1500 mm	1500 mm
Hauteur de la machine	1500 mm	1500 mm

4.2.4.2 Rendement des machines à retaille bloc

Pour scier un seul bloc de petite dimension, on doit Scier les deux faces respectivement :

- Surface de côté 1 : $3.2 * 2.2 \text{ m}^2$
- Surface de côté 2 : $3.2 * 2 \text{ m}^2$

$$R_{\text{retaillement}} = \frac{T * K_u}{T_r}$$

Où :

- T : Durée d'un poste de travail effectif (T= 9h) ;
- Ku : Coefficient d'utilisation d'une machine (Ku=0.80) ;
- Tr : Temps nécessaire pour le retaillement des blocs.

$$T_r = \frac{S_{\text{retaillement}}}{V_a}$$

- $S_{\text{retaillement}}$: surface de retaillement

$$S_{\text{retaillement}} = (3.2 * 2.2) + (3.2 * 2)$$

$$S_r = 13.44 \text{ m}^2$$

$$T_r = 3.36 \text{ h}$$

$$R_r = \frac{9 * 0.7}{3.36}$$

$$R_r = 1.875 \text{ blocs/poste}$$

On calcule le nombre des machines nécessaires pour avoir la production annuelle :

$$Nr = \frac{\text{production annuelle}}{R_{\text{retaillement}} * \text{volume de bloc} * n \text{ de poste par jour} * n \text{ de jours ouvrable}}$$

$$Nr = \frac{30000}{1.875 * 14.08 * 312} = 3.64$$

Donc pour réaliser la production annuelle prévu de 30000 m³ par an, on aura besoin de 4 machines à retaille bloc.

4.2.5 CHARGEMENT ET TRANSPORT

Après extraction, dégagement, retaillement des blocs ; on procède au chargement et transport, le chargement se fait en utilisant des chargeuses sur pneus a godet et fourche adaptable à la manutention de granite.

4.2.5.1 Paramètres caractérisant les chargeuses à pneu

Les caractéristiques des machines acquises sont résumées dans le tableau suivant :

Désignation	Valeur spécifié
Type de châssis	Articulé (conçu pour l'adapter à la manutention de bloc de granite à 36 T)
Puissance minimale nette au volant	500 à 600 cv (1800Tr/min)
Charge en équilibre statique	>35 tonnes
Poids en ordre de marche	50 à 55 tonnes
Refroidissement	Eau
Rayon minimum de braquage intérieur	< 9m
Capacité de réservoir carburant	>700L

4.2.5.2 Rendement des chargeuses à pneu

Temps de cycle :

$$T_{cycle} = T_{chargement} + T_{vide} + T_{manoeuvre} + T_{chargé} + T_{déchargement}$$

Où :

$T_{chargé}$: temps de transport de gisement vers zone de stockage ($\frac{D}{vc}$, $vc = 5 \text{ km/h}$)

T_{vide} : temps de transport de zone de stockage vers le gisement($\frac{D}{Vv}$, $Vv = 10 \text{ km/h}$)

$T_{manoeuvre}$: temps nécessaire aux manoeuvre (3 Min)

$T_{chargement}$: temps de chargement des blocs

$T_{déchargement}$: temps de déchargement des blocs dans la zone de stockage

Le temps de chargement et transport

➤ Chargé :

V : vitesse de chargeuse, sois : 5 km/h

Pour la partie grisâtre

D1 : longueur de la piste vers la zone de stockage 260 m

$$T_{chargé1} = \frac{0.260}{5} = 3.12 \text{ Min}$$

Pour la partie rosâtre

D2 : 180 m

$$T_{chargé2} = \frac{0.180}{5} = 2.16 \text{ Min}$$

➤ A vide :

Vitesse de chargeuse 10 km/h

Pour la partie grisâtre

$$T_{vide1} = \frac{0.260}{10} = 1.56 \text{ Min}$$

Pour la partie rosâtre

$$T_{vide2} = \frac{0.180}{10} = 1.80 \text{ Min}$$

Le temps de chargement et déchargement est estimé à 20 minutes chacun.

Alors les résultats obtenus sont :

$$T_{cycle1} = 47.68 \text{ Min}$$

$$T_{cycle2} = 46.96 \text{ Min}$$

Rendement

$$R_{chargeuse} = \frac{Cc * Ku * Vb * T}{Tc}$$

Cc : capacité chargeuse (Nbr bloc par chargeuse)

Vb : volume bloc

T : durée d'un poste effectif

Tc : temps de cycle (on prend la moyenne des deux)

Ku : coefficient d'utilisation (0.75)

$$R_{chargeuse} = \frac{1 * 14.08 * 9 * 0.75}{0.73}$$

$R_{chargeuse} = 130.19 \text{ m}^3/\text{poste}$ (9 blocs par jour)

Nombre de chargeuse nécessaire pour réaliser la production annuelle

$$N_{chargeuses} = \frac{\text{production annuelle}}{R_{char} * n \text{ de poste par jour} * n \text{ de jours ouvrable}}$$

$$N_{chargeuses} = \frac{30000}{130.19 * 1 * 312}$$

$$N_{chargeuses} = 0.73$$

Donc on aura besoin d'une seule chargeuse pour réaliser la production annuelle.

4.2.6 OPTIMISATION DES PROCÉDES D'EXTRACTION DES BLOCS

I. Les travaux de forage, de sciage et retaillement des blocs doivent se faire parallèlement

II. Travaux de forage

Contrairement aux carrières des agrégats, le forage dans les carrières de bloc de dimensions doit être en continu, c'est pour cela que les machines de forage ne doivent pas s'arrêter lors de l'exploitation, et les plateformes de forages doivent être prêtes tout au long de processus.

III. Travaux de sciage

Il est bien clair que les travaux de sciages constituent la partie la plus importante de l'exploitation des granites, c'est pourquoi il doit être optimisé :

- On coupe la surface de bas (3,2 x 4.4) ;
 - Une fois la surface est coupée ; on procède à la coupe de derrière, dès qu'on avance, suffisamment pour garantir la sécurité (1.2 m), on utilise la machine à fil diamanté et commencer la coupe de l'autre cot é ;
- Le temps nécessaire pour couper un bloc sera alors :

$$T_s = \frac{S_{sciage}}{V_a}$$

$$T_s = \frac{(3.2 * 4.4) + (1.2 * 8) + (3.2 * 8)}{5}$$

$$T_s = 9.85 \text{ h}$$

- De cette façon on accélère le rendement de sciage et on aura un temps de sciage de 9.85 h, et ainsi on aura besoin seulement de 2 machines à fil diamanté pour réaliser la production annuelle.

IV. Retaillement des blocs

Lors de retaillement des blocs, et afin d'optimiser le rendement de ces machines, on propose l'utilisation de 4 machines pour le sciage de bloc complet en blocs de petite dimension :

- La première machine coupe le bloc en transversale, une surface de $8 \times 3.2 = 25.6 \text{ m}^2$;
- Perpendiculairement à la première coupe, trois machines coupent trois surfaces parallèles ; pour une surface de $3.2 \times 4.4 = 14.08 \text{ m}^2$ chacune ;
- Les coupes perpendiculaires peuvent commencer au moment où la première coupe transversale termine ou au moment qu'un espace garantissant la sécurité a été libéré (1.5 m) et dans ce cas la durée de coupe sera : 523 minutes au lieu de 595 minutes.
- Ainsi on peut avoir la production journalière prévu en utilisant 4 machines.

V. Chargement et Transport

- L'utilisation de la pelle hydraulique lors de chargement des blocs, facilite le rendement de chargement, et on aura moins que 20 min lors de cette opération ;
- Le chargement de bloc se fait dès que le premier bloc de petite dimension est retaillé et l'opération doit être en continu ;
- Les pistes d'accès doivent être entretenues et arrosées ainsi que la maintenance de ces dernières soit journalière.

4.2.7 FLOW CHART DES OPERATIONS

Afin d'atteindre la production annuelle de 30 000 m³ par an (8 blocs par jour) et pour une utilisation optimale des machines, un diagramme de flux des opérations a été établi à l'échelle macro, les opérations devant se faire en continu et en simultané.

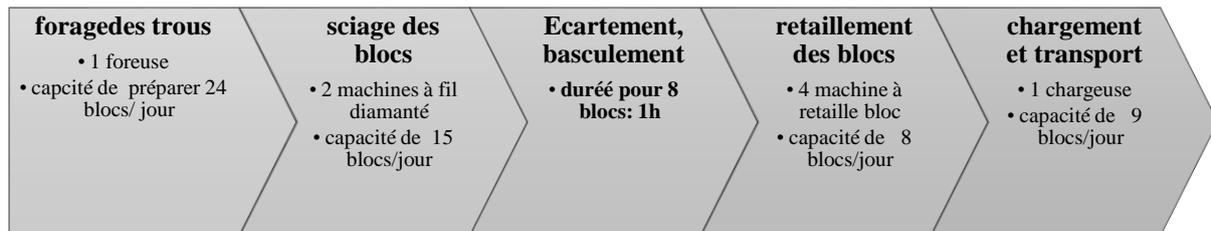


Figure 4-4 FLOW CHART DES OPERATIONS

4.3 CAPACITE DE L'ENTREPRISE

L'entreprise à décider d'acquérir le matériel suivant pour trois gisements :

Type de machine	Nombre
Machine à fil diamanté	15
Machine à retaille bloc	30
Foreuse	6
Chargeuse	3

Malgré la planification des trois gisements à l'exploitation il est avéré d'essayer l'exploitation d'abord sur un gisement.

4.3.1 CAPACITE DE PRODUCTION :

Pour calculer la capacité actuelle, on calcul tout d'abord la capacité de sciage d'une tranche :

Conformément à ce qu'était dit au 4.2.2.2 nous avons : **2** machines à fil diamanté scient **une tranche** par poste.

Pour aménager les travaux de sciage pour 15 machines à fil diamanté, on propose ceci :

- Ouverture de trois fronts ;
- L'utilisation de 5 machines par front, dont : **4 en marche et 1 en réserve ;**

La capacité d'un **groupe** de deux machines est 8 blocs par jour, pour 4 machines (2 groupes) en marche la capacité de production pour un front est :

$$C_{poste} = 16 \text{ blocs/poste}$$

$$C_{an} = 312 * C_{poste} = 4992 \text{ blocs/an}$$

On approxime cette capacité à **4800 blocs/an**, avec un coefficient de réserve **4%**.

Pour 3 fronts, la capacité sera alors :

$$C_{Tposte} = 48 \text{ blocs/poste}$$

$$C_{totale} = 14400 \text{ blocs/an}$$

Pour un nombre de **15 machines à fil diamanté** on a la capacité de :

- Ouvrir 3 fronts : 2 chantiers sur chaque front ;
- Sur chaque chantier un groupe de 2 machines travaillent pour réaliser 8 blocs/poste ;
- Le total des machines en marche est 12, et en réserve 3.
- Ainsi on aura la capacité de réaliser un total de 14400 *blocs/an*.

Pour les autres opérations, la réalisation de 14400 blocs/an sur 3 fronts nécessite ce nombre d'engin :

Machine à retaille bloc	24
Foreuse	3
Chargeuse	6

En comparant le nombre des engins nécessaires et le nombre d'engins acquis on remarque que :

- **6** machines retaille blocs sont en réserve (deux par front) ;
- **3** foreuses sont en réserve (une par front) ;
- **La nécessité d'acquérir 4 chargeuses** en plus (trois pour mettre en chantier et une réserve).

Ce tableau résume les machines en marche et en réserve pour chaque opération :

Type de machine	Nombre chantier	en	Nombre réserve	en
Machine à fil diamanté	12		3	
Machine à retaille blocs	24		6	
Foreuse	3		3	
Chargeuse	6		1	

Tableau 4-1 : répartition des machines (en marche/en réserve)

Par ailleurs l'utilisation de ces engins simultanément, augmentent la consommation d'énergie et la consommation en eau.

1- Consommation en énergie électrique

Pour 12 machines à fil diamanté et 24 machines à retaille en bloc en marche, la consommation en énergie électrique est résumée dans ce tableau :

Tableau 4-2 : calcul de la consommation en énergie électrique

Type machine	Puissance moteur (kW)	Nombre machine	Coef d'utilisation	Consommation (kW)
Machine à fil diamanté	75	12	0.70	630
Machine à retaille bloc	30	24	0.70	504
Consommation totale :				1134

Pour cette consommation, on aura besoin de 3 groupes électrogènes avec une puissance de **500 KVA** et un facteur de puissance de 0.8.

L'entreprise a déjà acquis 5 groupes électrogènes, don on aura : 3 en marche et 2 en réserve.

2- Consommation en carburant

Pour la mise en marche de : 3 groupes électrogènes, 3 foreuses et 6 chargeuses, la consommation en carburant est résumé dans le tableau suivant :

Type machine	Puissance moteur (kW)	Nombre machine	Consommation moteur (l/kWh)	Coef d'utilisation	Consommation (L/h)
Groupe électrogène	440	3	0.4	0.75	396
Chargeuse	441.299	6	0.2	0.8	423.64704
Foreuse	73.5499	3	0.2	0.8	35.303952
Consommation totale :					854.950992

Tableau 4-3 calcul de la consommation en carburant

La consommation en carburant est : 854.95 L par jour.

3- Consommation en eau :

La consommation en eau est estimée à 150 000 mètres cubes par jour.

En général les consommations en énergies et en eau sont égales aux consommations de 3 gisements.

4.3.2 PROGRAMMATION DES OPERATIONS :

Les opérations sont résumées sur ce schéma chronologique :

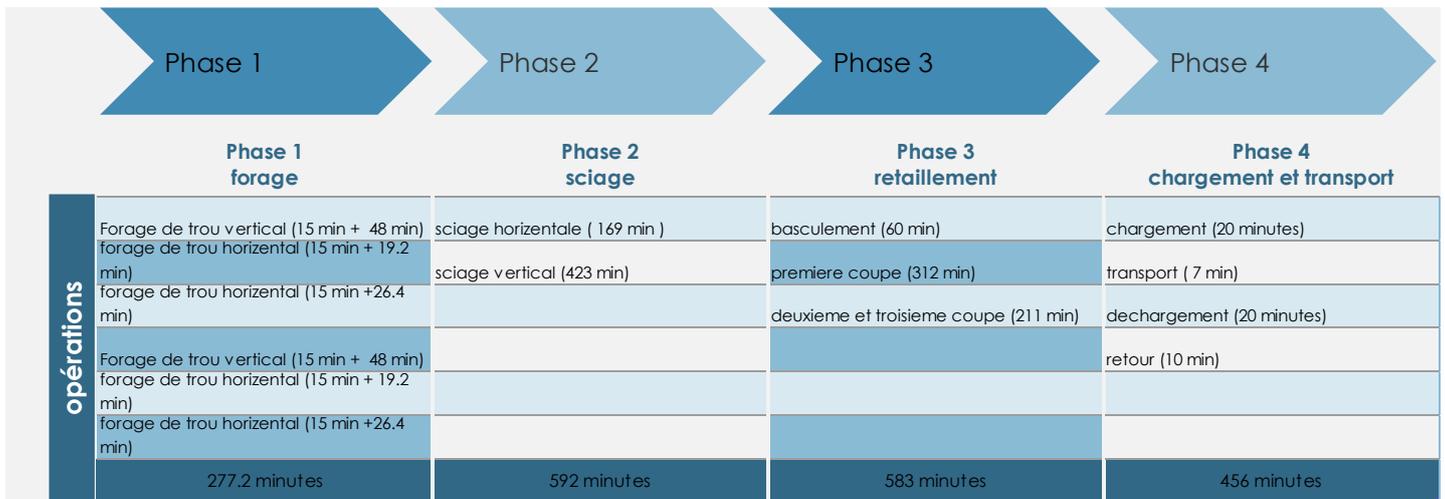


Figure 4-5 schéma chronologique des opérations d'extraction

Les opérations se font parallèlement dans les chantiers, ça veut dire que lorsque la machine à fil diamanté scie les tranches, la foreuse prépare les trous pour le sciage de lendemain.

La tranche reste suspendue jusqu'au jour suivant, ou on fait le basculement et on commence le retaillage des blocs pour avoir 8 blocs de petites dimensions qui seront par la suite transporté aux dépôts.

Le cycle pour d'un tranché pour avoir 8 blocs est alors comme suit :

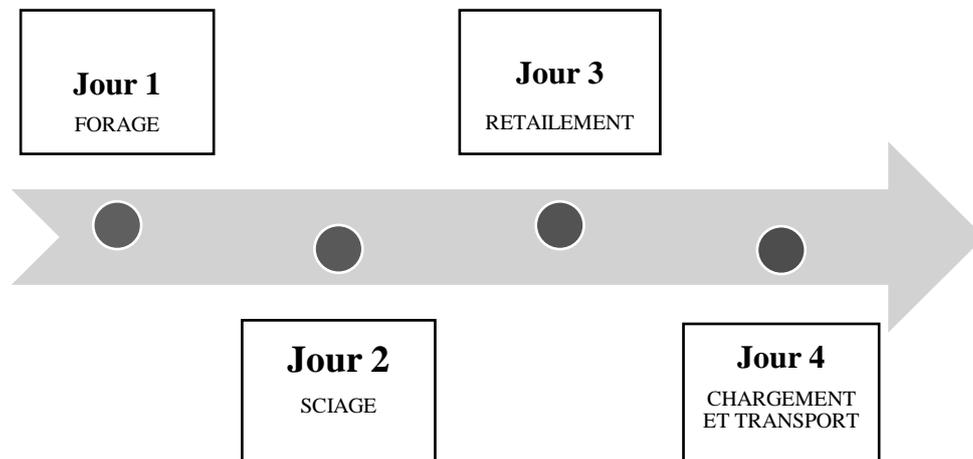


Figure 4-6 : cycle d'une tranche

Le schéma ci-dessous décrit mieux la programmation des travaux

	tranche 1	tranche 2	tranche 3	tranche 4
jour 1	forage			
jour 2	sciage	forage		
jour 3	retaillement	sciage	forage	
jour 4	transport	retaillement	sciage	forage

Figure 4-7 : programmation des travaux

La cadence de production est 6 fois plus grande que celle de la production prévue, et à cet effet on propose deux chronologies différentes :

Chronologie 1

- Deux mois de production par 3 fronts (totale de 6 chantiers) cela nous donne une production de 30000 m³ dans cette période ;
- Une fois cette période est terminée, on déplace les engins de front 3 vers un autre gisement et on procède ensuite à : Trois mois de production par 2 fronts (4 chantiers) cela nous donne une production de 30000 m³ dans cette période ;
- Une fois cette période est terminée, on déplace les engins d'un des fronts vers un autre gisement.
- On aura alors un stock de 60000m³, et on peut ainsi réduire le taux de production pour accélérer l'ouverture des niveaux supérieurs.

Chronologie 2

- Deux mois de production par 3 fronts (totale de 6 chantiers) cela nous donne une production de 30000 m³ dans cette période ;
- Une fois cette période est terminée, on déplace les engins de front 3 vers l'ouverture des accès aux niveaux supérieurs.
- Trois mois des travaux d'ouverture et d'extraction par 2 fronts (4 chantiers) cela nous donne une production de 30000 m³ dans cette période ;
- Une fois cette période est terminée, on déplace les engins d'un des fronts pour accélérer la cadence des travaux d'ouverture.
- On aura alors un stock de 60000m³, et on peut ainsi réduire le taux de production pour accélérer encore l'ouverture des niveaux supérieurs ou déplacer des groupes d'engins pour l'ouverture des autres gisements.

En effet, nous pouvons combiner les variétés en fonction des besoins du marché et l'avis des décideurs.

Remarque

Les rendements et la production étaient calculés en tenant compte des vitesses minimales des machines de sciage et de retaillement, soit 5 m²/h et 4 m²/h respectivement.

Cependant l'augmentation de ces vitesses, peut augmenter les rendements et on peut ainsi faire le calcul pour un poste normale de 8 heures.

Les graphiques suivants montrent la variance des temps de sciage et de retaillement en fonction de la vitesse des engins de ces derniers :

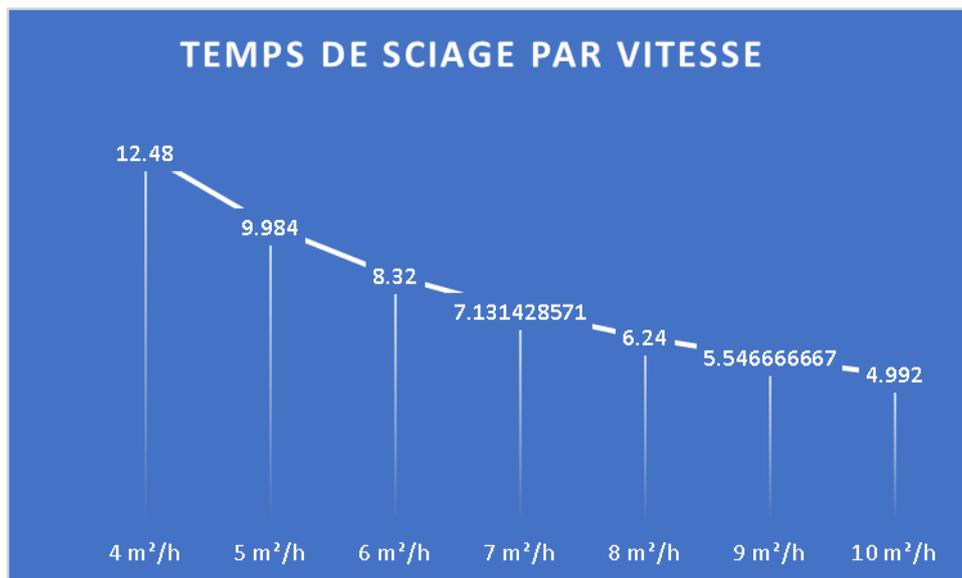


Figure 4-8 : temps de sciage (h) par vitesse de machine à fil diamanté

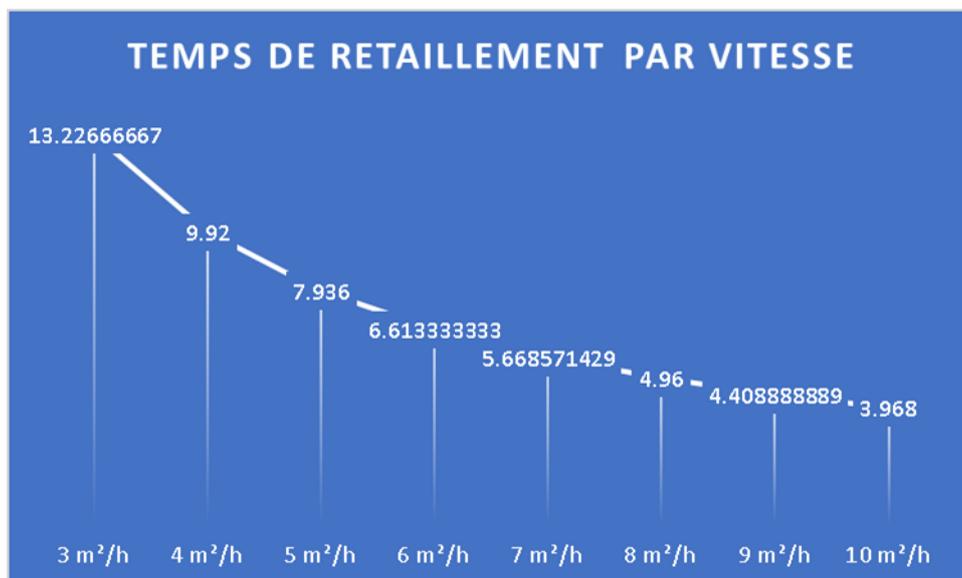


Figure 4-9 : temps de retaillement (h) par vitesse de machine à retaille bloc

Depuis les deux figures précédentes, on remarque qu'une machine à fil diamanté avec une vitesse de 7m²/h et une machine à retaille bloc avec une vitesse de 5m²/h peuvent nous réduire le temps de ces opérations à moins que 8h et on peut appliquer alors une durée de poste de 8 heures.

La diminution de durée de poste va nous servir à

- Réduire les charges personnelles,
- Réduire la consommation des engins,
- Un cout de production minimale, ce que veut dire des prix de ventes concurrentiels.

4.4 EMBLACEMENT DES FRONTS

On propose d'ouvrir les fronts comme suit :

- Front 1 : le premier front comme a été discuté dans le chapitre 3, au niveau de point (659594,2732958) situé à l'est de sondage ST1/1 afin d'y avoir un accès au niveau 920M de la masse grisâtre ;
- Front 2 : au niveau de point (659211,2732264) près de sondage ST1/3, pour avoir accès à la masse rosâtre ;
- Front 3 : situé dans la partie nord-ouest de gisement (autour de sondage ST1/2) ;

4.5 ESTIMATION DE COUT DE REVIENT L'EXTRACTION D'UN M³

Pour réaliser cette étude qui se représente de calculer le prix de revient d'un bloc granitique ;

On doit calculer :

- L'amortissement.
- Les salaires.
- La consommation énergétique
- Les matériaux utilisée « FD et l'eau ».

4.5.1 DETERMINATION DES RESSOURCES

La détermination des ressources matérielle et humaines mobilisés lors de chaque opération est nécessaire.

A- Ressources humaines :

Les ressources humaines sont résumées dans ce tableau :

Tableau 4-4 ressources humaines

Fonction	Nombre	Catégorie
Responsable carrières	1	Cadre
Chef carrières	3	Cadre
Ingénieur matériel	2	Cadre
Ingénieur d'exploitation	3	Cadre
Ingénieur HSE	1	Cadre
Cadre HSE	3	Cadre
Total des cadres	13	
Electromécanicien	2	Maitrise
Electricien	2	Maitrise
Mécanicien	2	Maitrise
Soudeur	2	Maitrise
Magasinier	2	Maitrise
Topographe	2	Maitrise
Conducteur d'engins	6	Maitrise
Operateur sciage	15	Maitrise
Operateur chariots de foration	4	Maitrise
Total des maitrises	37	
Manœuvre	6	Exécution
Agent d'entretien	3	Exécution
Chauffeur PL	5	Exécution
Gardien	18	Exécution
Chauffeur VL	2	Exécution
Total de l'exécution	34	
Total général	84	

B- Ressources matérielles

Les ressources matérielles sont citées dans ce tableau :

Tableau 4-5 : ressources matérielles

Ressource	Origine	Qté
Machine à fil diamanté type pont	Import	12
Machine à fil diamanté type rail	Import	3
Chariot de foration hydraulique	Import	4
Chariot de foration mécanique	Import	3
Scie pour la retaille des blocs	Import	30
Camion porte-engin 80T	Import	6
Chargeur à fourche 50 T	Import	3
Groupe électrogène 500 kva	Local	5
Pelle excavatrice de 50T	Import	4
Camion-citerne à eau 18000 L	Local	3
Citerne d'eau fixe 50000 L	Local	3
Camion-citerne à gasoil fixe 18000 L	Local	2
Citerne à gasoil fixe 50000 L	Local	3
VTT 4*4	Local	5
Mini bus	Local	3
Camion station de graissage	Local	2

4.5.2 AMORTISSEMENT JOURNALIER D'UN ENGIN

$$A(j) = \frac{P(a) * N}{100 * N(j)}, DA/jour$$

P(a) : Prix d'acquisition de l'engin (DA)

N : Norme d'amortissement annuelle de l'engin.

N(j) : nombre de jours ouvrables, N(j) = 312 (jours)

Les amortissements journaliers sont calculés dans le Tableau 4-6 calcul des amortissements

4.5.3 CALCUL DE SALAIRE PAR JOUR

$$S(j) = \frac{S(m) * 12}{N(j)}, (DA/h)$$

Tel que : S(m) : salaire mensuel, (DA)

Le calcul de salaire est résumé dans le Tableau 4-7 calculs des salaires

4.5.4 DEPENSES D'ENERGIE ET EAU PAR JOUR

Les dépenses d'Energie se répartissent en :

Energie électrique

$$D(ele) = P(m) * P(él) * K(u) * N(h), DA/j$$

Avec :

- K(u) : coefficient d'utilisation de l'engin.
- P(el) : prix d'un (01) (KWh) de la consommation électrique, P(el) = 4.179 (DA/KW*h)
- P(m) : puissance du moteur.
- N(h) : nombre d'heure par jour

Dépense du carburant

$$D_C = P * Q * K(u) * P1 * N(h), (DA/j)$$

Avec :

- P : puissance du moteur.
- Q : la consommation du moteur.
- P1 : prix d'un litre du carburant, P1 = 29.010, (DA/l)

Consommation de l'eau

Le cout de la consommation en eau se calcul par la formule suivante :

$$C(eau) = q(eau) * p(eau)$$

Q(eau) : la consommation d'eau par machine par litre

P(eau) : prix d'un mètre cube d'eau, p(eau) = 40.95 (DA/m³)

La consommation d'énergie est résumée dans Tableau 4-8 Dépenses d'Energie et eau

Tableau 4-6 calcul des amortissements

DESIGNATION	Origine	Qt é	PRIX. U (DA)	PRIX TOTAL HT (DA)	PRIX TOTAL HT (DA)	Durée d'utilisation	amortissement annuelle	amortissement jour (DA)
Pistes d'accès	local	1	150,000,000	150,000,000	150,000,000	10	15000000	48,076.92 DA
Machine à fil diamanté type pont	import	12	2,800,000	33,600,000	33,600,000	10	3360000	10,769.23 DA
Machine à fil diamanté type rail	import	3	1,680,000	5,040,000	5,040,000	10	504000	1,615.38 DA
Chariot de foration hydraulique	import	4	20,000,000	80,000,000	80,000,000	10	8000000	25,641.03 DA
Chariot de foration mécanique	import	3	15,000,000	45,000,000	45,000,000	10	4500000	14,423.08 DA
Scie pour la retaille des blocs	import	30	840,000	25,200,000	25,200,000	10	2520000	8,076.92 DA
Camion porte-engin 80T	import	6	25,000,000	150,000,000	150,000,000	10	15000000	48,076.92 DA
Chargeur à fourche 50 T	import	3	35,000,000	105,000,000	105,000,000	10	10500000	33,653.85 DA
Groupe électrogène 500 kva	local	5	8,500,000	42,500,000	42,500,000	10	4250000	13,621.79 DA
Pelle excavatrice de 50T	import	4	35,000,000	140,000,000	140,000,000	10	14000000	44,871.79 DA
Camion-citerne à eau 18000 L	local	3	20,000,000	60,000,000	60,000,000	10	6000000	19,230.77 DA
Citerne d'eau fixe 50000 L	local	3	600,000	1,800,000	1,800,000	10	180000	576.92 DA
Camion-citerne à gasoil fixe 18000 L	local	2	25,000,000	50,000,000	50,000,000	10	5000000	16,025.64 DA
Citerne à gasoil fixe 50000 L	local	3	600,000	1,800,000	1,800,000	10	180000	576.92 DA
VTT 4*4	local	5	6,000,000	30,000,000	30,000,000	5	6000000	19,230.77 DA
Mini bus	local	3	10,000,000	30,000,000	30,000,000	5	6000000	19,230.77 DA
Camion station de graissage	local	2	8,000,000	16,000,000	16,000,000	5	3200000	10,256.41 DA
TOTAUX								333,955.13 DA

Tableau 4-7 calculs des salaires

Fonction	Nombre	salaire net mensuel	salaire mensuel total	salaire journalier
Responsable carrières	1	DZD 180,000.00	DZD 180,000.00	DZD 6,923.08
Chef carrières	3	DZD 130,000.00	DZD 390,000.00	DZD 15,000.00
Ingénieur matériel	2	DZD 100,000.00	DZD 200,000.00	DZD 7,692.31
Ingénieur d'exploitation	3	DZD 100,000.00	DZD 300,000.00	DZD 11,538.46
Ingénieur HSE	1	DZD 100,000.00	DZD 100,000.00	DZD 3,846.15
Cadre HSE	3	DZD 100,000.00	DZD 300,000.00	DZD 11,538.46
Electromécanicien	2	DZD 90,000.00	DZD 180,000.00	DZD 6,923.08
Electricien	2	DZD 90,000.00	DZD 180,000.00	DZD 6,923.08
Mécanicien	2	DZD 90,000.00	DZD 180,000.00	DZD 6,923.08
Soudeur	2	DZD 90,000.00	DZD 180,000.00	DZD 6,923.08
Magasinier	2	DZD 90,000.00	DZD 180,000.00	DZD 6,923.08
Topographe	2	DZD 90,000.00	DZD 180,000.00	DZD 6,923.08
Conducteur d'engins	6	DZD 90,000.00	DZD 540,000.00	DZD 20,769.23
Operateur sciage	15	DZD 90,000.00	DZD 1,350,000.00	DZD 51,923.08
Operateur chariots de foration	4	DZD 90,000.00	DZD 360,000.00	DZD 13,846.15
Manceuvre	6	DZD 70,000.00	DZD 420,000.00	DZD 16,153.85
Agent d'entretien	3	DZD 70,000.00	DZD 210,000.00	DZD 8,076.92
Chauffeur PL	5	DZD 70,000.00	DZD 350,000.00	DZD 13,461.54
Gardien	18	DZD 70,000.00	DZD 1,260,000.00	DZD 48,461.54
Chauffeur VL	2	DZD 70,000.00	DZD 140,000.00	DZD 5,384.62
total				DZD 276,153.85

Tableau 4-8 Dépenses d'Énergie et eau

Énergie électrique	Type machine	Puissance moteur (kW)	Nombre machine		Coef d'utilisation	Consommation journalière (kWh)	Prix unitaire	Dépenses
	Machine à fil diamanté	75	12		0.75	6750		
	Machine à retaille bloc	30	18		0.75	4050		
Consommation totale (kWh) :		10800					4.18 DA	45,133.20 DA
Carburant	Type machine	Puissance moteur (kW)	Nombre machine	Consommation moteur (l/kWh)	Coef d'utilisation	Consommation jour (L)		
	Groupe électrogène	440	3	0.4	0.75	3960		
	Chargeuse	441.299	6	0.2	0.8	4236.4704		
	Foreuse	73.5499	3	0.2	0.8	353.03952		
Consommation totale (L/h)		8549.50992					29.01 DA	248,021.28 DA
Eau						Consommation journalière (L)		
						150 000	40.95 DA	6,142.5 DA

Consommation en fil diamanté

Le cout de consommation en fil diamanté se calcul par la formule suivante :

$$C(fd) = V_s * C_{fu} * p(u) * n(h)$$

V_s : vitesse de sciage

C_{fu} : consommation unitaire de fil diamanté

$p(u)$: prix unitaire

$n(h)$: nombre d'heure par jour

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 4-9 calculs de consommation en fil diamanté

Consommation en fil diamanté								
Equipement	Vitesse (m ² /h)	Consommation m par m ²	Consommation par heure	Prix 1m	Nombre machine	Cout horaire	Nombre d'heure	Total
Machine à fil diamanté	5	0.1	0.5	3,600	12	21600	10	216000
Machine à retaille des blocs	4	0.1	0.4	3,600	18	25920	10	259200

Total	475200.00 DA
-------	---------------------

4.5.5 CALCUL DE PRIX DE REVIENT D'1 M³

Dans le calcul de prix de revient, on suppose que toutes les opérations fonctionnent en même temps, et que la production journalière est **48 blocs** est donc : 675.84 m³

Les couts dans une heure est le total de :

- Des amortissements ;
- Des salaires ;
- De consommation en énergie ;
- De consommation des matériaux ;

Depuis les calculs faites le total des coûts journalier est de 1384605.96 DA

Le coût d'1m³ est alors :

$$P(m3) = \frac{\text{couts journaliers}}{\text{production journaliere}}$$

$$P(m3) = \frac{1384605.96}{675.84}$$

$$\mathbf{P(m3) = 2048.719 DA}$$

CONCLUSION

Les résultats obtenus nous ont permis d'estimer le coût moyen de l'extraction d'1 m³, et ainsi on aura le cout d'extraction d'un bloc qui est 28845.9575 DA ; par ailleurs on propose un calcul plus profond des couts de tout le processus : de l'ouverture à l'emballage des plaques, en tenant compte toutes les étapes de production.

On propose aussi, une comparaison entre les différentes méthodes d'extraction de bloc granitiques en tenant compte les conditions techniques et économiques de chaque méthode, ceci sera une base pour l'ouverture d'autres projets.

CHAPITRE 5
**REUTILISATION DES
DECHETS DE PIERRE DANS
LE SECTEUR INDUSTRIEL**

5 REUTILISATION DES DECHETS DE PIERRE DANS LE SECTEUR INDUSTRIEL

Les grands volumes de déchets générés par les carrières de granite ornemental constituent un danger potentiel autant sur le plan de l'environnement que sur celui de la santé publique.

Ces déchets sont classés sous différentes catégories, telles que les poussières ou les fines, les agrégats, les gros morceaux de pierre et les pavés, les blocs ou les dalles endommagés et les boues de pierre. La boue de pierre est une substance semi-liquide composée de particules provenant des processus de sciage et d'eau utilisée pour refroidir et lubrifier les machines de cette opération (27).

5.1 LES PROBLEMES POSES PAR LES DECHETS DE GRANITE

5.1.1 LES PROBLÈMES ENVIRONNEMENTAUX

Lorsque la boue de pierre déposée dans des décharges, sa teneur en eau est considérablement réduite et la poussière de pierre qui en résulte, représente de nombreux risques pour l'environnement.

En d'autres termes, pendant la saison sèche, la poudre de pierre est suspendue dans l'air, se déplace et se dépose sur la végétation et les cultures. Tous ces facteurs ont un impact significatif sur l'environnement. Dans certains cas, la poussière de pierre déposée sur les berges et autour des installations de production entraîne une réduction de la porosité et de la perméabilité de la surface de la terre et provoque une rétention d'eau. En outre, les particules fines entraînent une mauvaise fertilité du sol en raison de l'augmentation de son alcalinité. De plus, la destruction du couvert végétal, les changements topographiques régionaux, l'érosion des sols et le désordre du paysage sont d'autres impacts environnementaux négatifs. D'autre part, les déchets provenant des opérations d'extraction et de fabrication peuvent être dangereux et nuisibles pour l'environnement. Le ruissellement des terrils peut causer des problèmes d'érosion, et les fines introduites dans les cours d'eau naturels peuvent étouffer les écosystèmes locaux. Les autres types de déchets de fabrication, comme les produits antigel et les lubrifiants, peuvent créer des problèmes environnementaux s'ils s'écoulent sur le sol ou dans les cours d'eau. (28).

5.1.2 LES PROBLÈMES DE SANTÉ

Les débris de granite peuvent créer un mauvais aspect visuel ainsi que des conditions de travail très dangereuses s'ils sont mal organisés ou si l'on laisse les tas s'empiler sans précaution. Les poussières en suspension dans l'air provenant de stocks non couverts ou d'équipements de filtrage en mauvais état de marche peuvent provoquer des irritations respiratoires, oculaires ou dermiques chez les employés et représenter une nuisance visuelle ou même respiratoire pour les communautés locales. La silicose, une maladie pulmonaire provoquant des difficultés respiratoires et parfois la mort, pourrait potentiellement affecter les employés si la pierre contient de la silice, comme le cas de granite (28) .

5.1.3 LES PROBLÈMES ÉCONOMIQUES

D'un autre point de vue, en raison des énormes quantités de déchets de granite générés dans les usines et les sources de production, des sommes considérables sont dépensés pour leur transport vers les décharges.

En outre, l'accumulation des déchets dans les sites de décharge est également une problématique préoccupante pour de nombreuses entreprises, sur le plan économique. De plus, si les déchets doivent être évacués hors du site, les frais de mise en décharge peuvent créer des coûts supplémentaires pour l'entreprise. (29)

5.2 LES TYPES DE DECHETS PROVENANT DE L'EXPLOITATION DES CARRIERES DE GRANITE :

L'objectif principal de la méthode d'exploitation dans le cadre strict actuel des lois et directives concernant les impacts environnementaux devrait être la minimisation de la production de déchets.

Le produit de l'exploitation de la carrière est un bloc de taille commerciale d'environ 3.2x 2.2 x 2 m. Lors de l'extraction, d'énormes quantités de déchets sont produites en raison de la cassure des blocs pour diverses raisons telles que les caractéristiques physico-mécaniques du matériau, le degré de discontinuité du gisement, etc.

Les types de déchets générés par les activités d'extraction de pierres naturelles peuvent être classés en quatre grandes catégories en fonction de leurs caractéristiques qui conditionnent la possibilité de récupération :

- a) Blocs défauts ou "troisième choix" de dimensions régulières mais soit dont les propriétés technico-esthétiques sont médiocres ou non conformes aux normes pour le processus de traitement suivant.
- b) Grands blocs irréguliers (>0,2 m³) qui présentent une trop forte anomalie. Géométrique et ne peuvent pas être sciés en dalles.
- c) Les petits blocs malformés (=0,2 m³ ou dimension < 0,5 m) qui sont extraites des parties fracturées du gisement ou dérivées du bloc équerrage.
- d) Les petites et fines particules de roches (fragments), les poussières et les boues provenant les opérations de forage et de coupe. (30)

5.3 L'UTILISATION DES DECHETS DE GRANITE ET DES BOUES DE GRANITE

5.3.1 Comme matériau de construction pour les routes et les remblais

La poudre de pierre est un matériau inerte, elle peut être mélangée à certains types de sols pour la préparation/le rehaussement des remblais, etc.

Le *Central Road search Institute* (CRRI) de l'INDE a mené des recherches préliminaires sur l'utilisation de la poudre de pierre dans le secteur routier. Une étude de la résistance à la compression monoaxiale (UCS) a été effectuée pour déterminer la résistance des mélanges avec les sols et il a été observé que, dans un sol limoneux, il y a une augmentation de 12 % de l'UCS avec 10 % de poudre de déchets de pierre - Il y a une augmentation de 20 % de l'UCS avec 30% de poudre de déchets de pierre - Il n'y a pas d'amélioration dans les sols argileux. Dans les mélanges de béton, il y a une augmentation de 15 % de la résistance à la compression lorsque Le sable est mélangé à 35 % de poudre de déchets de pierre. Il y a une amélioration dans la densité du béton également. Les tests préliminaires montrent que la pierre de la poudre de rejets peut être facilement mélangée à des sols limoneux et sableux et le compactage du

mélange se traduirait alors en une meilleure rigidité des couches de fondation sur laquelle Le système de « Macadam lié à l'eau »¹ peut être installé. (30) .

En tenant compte les projets routiers dans la zone de sud algérien, le concassage des déchets de l'exploitation de granite et son utilisation comme agrégats est une proposition avantageuse et favorable.

5.3.2 Pour la fabrication de briques

Les déchets de granite sont utilisés comme agrégat fin dans la fabrication de briques en utilisant du ciment ou de la chaux comme liant. Les résultats des recherches sur cet aspect sont très encourageants et les propriétés physiques des briques produites par ce procédé dépassent celles des briques ordinaires.

Les briques de ciment à base de déchets de granite ont été fabriquées à partir de la boue de débris de granite, de sable et de ciment Portland dans différentes proportions et moulées par la technique de vibro-compactage ; durcies dans un courant à pression normale. Elles ont atteint une résistance à la compression de l'ordre de 80 à 120 kg / cm². Le durcissement par voie humide permet d'obtenir des briques ayant une résistance à la compression de 100 kg /cm². Les briques ainsi produites ont une géométrie parfaite, facilitant les joints minces, ce qui se traduit par un rapport élevé entre la résistance de la maçonnerie et la résistance unitaire et une faible consommation de mortier. (30).

5.3.3 Blocs creux et carreaux de mur

Les déchets de pierre, les boues et autres produits argileux peuvent être utilisés dans la production de blocs creux préfabriqués pour les bâtiments s'ils sont utilisés dans les bonnes proportions.

5.3.4 Résumés des différentes applications de la réutilisation des déchets

Tableau 5-1: différentes applications de la réutilisation des déchets

Formes de déchets	Différentes applications de la réutilisation des déchets					
	Production d'asphalte et de béton	Fabrication de briques	Remblai de construction	Supports pour la biofiltration	Systèmes ou remédiation Des terrains.	Production d'agrégats synthétiques
Fines	Production d'asphalte et de béton	Fabrication de briques	Remblai de construction	Supports pour la biofiltration	Systèmes ou remédiation Des terrains.	Production d'agrégats synthétiques
Agrégats	Remblai de construction	Ingrédient du mélange de construction	Aménagement du paysage et usages décoratifs	Supports pour systèmes de biofiltration	Aménagement des voies d'accès résidentielles	Matériaux de construction de la chaussée
Les grandes pierres et les pavés	Remblai pour les murs de soutènement en gabions	Jetée rocheuse	Aménagement paysager et usages décoratifs	Cordon d'enrochement	-	-
Blocs ou dalles endommagés	Agrégat	Carreaux de pierre taillée	Pavés de pierre	Placage (Veneer)	-	-

¹ Le macadam est une technique de revêtement des chaussées.

CONCLUSION

Aujourd'hui, de grandes quantités de substances artificielles et naturelles Des déchets sous différentes formes sont générés tout autour du globe. En ce qui concerne les méthodes de gestion des déchets, ces types de déchets doivent être traités par des solutions rationnelles telles que réutiliser, réduire et recycler au lieu d'être accumulés dans des décharges à ciel ouvert ou éliminés dans les voies fluviales et autour des installations de production, provoquant les problèmes environnementaux et sanitaires.

La ressource en granite doit être utilisée de manière rentable. De plus, les autres ressources, telles que l'eau, qui est également très rare et difficilement accessible au Sahara, devraient également être utilisées très efficacement, y compris les possibilités de réutilisation, de recyclage et de traitement des eaux usées. En plus, l'énergie à employer dans cette industrie pour le transport et pour faire fonctionner les machines et les outils de coupe et de façonnage est très coûteuse et si elle n'est pas utilisée efficacement, elle entraînera des coûts beaucoup plus élevés qui rendent cette industrie non compétitive, surtout pour l'exportation de biens.

A cet effet on propose une étude de valorisation de rejets d'exploitation de granite, ainsi des études sur le recyclage et le traitement des eaux usés au niveau de gisement TESNOU1.

Conclusion Générale

CONCLUSION GENERALE

La présente étude a porté sur le choix de la méthode d'exploitation de blocs granitique en tenant compte les conditions géologiques de gisement TESNOU-1.

En se basant sur les données géologiques de gisement nous avons conclu que :

- Les ressources géologiques sont estimées à 154978717 m³ ;
- Le gisement présente deux variétés : rosâtre et grisâtre ;
- Ces granites sont durs, compacts et massifs avec une texture moyennement à grossièrement grenue.
- Les granites en profondeur ne sont pas altérés et présente rarement les fissures.
- Les granits de Tesnou1 sont appropriés pour être utilisés comme pierres décoratives.

En tenant compte les paramètres géologiques de chapitre 1, les conditions technico-économiques et les méthodes et les techniques d'extraction de bloc granitique désigné à l'usage comme pierre décorative nous avons pu identifier :

- La méthode d'ouverture de gisement granitique TESNOU-1 ;
- La méthode d'extraction adéquate et la cadence annuelle de production des blocs granitiques ;
- L'effectif de la carrière et les équipements nécessaires ;
- La planification des opérations et le calendrier de la carrière ;
- Le coût d'extraction d'un bloc de dimension 3.2mx2.2mx2m soit 28845.95 DA ;
- Les différentes applications de la réutilisation des déchets.

Tenant compte les résultats de notre étude nous recommandons :

- Une analyse d'élément trace et de radioactivité sur le granite de TESNOU1 ;
- L'étude des paramètres de tir afin de dégager les éboulis et son effet sur la blocométrie ;
- Une comparaison entre les différentes méthodes d'extraction de bloc granitiques en tenant compte les conditions techniques et économiques de chaque méthode, ceci sera une base pour l'ouverture d'autres projets.
- Un calcul plus approfondi des coûts de l'ensemble du processus : de l'ouverture à l'emballage des plaques, en tenant compte de toutes les étapes de production.
- Une étude sur la valorisation des rejets des carrières de granites, ainsi que des études sur le recyclage et le traitement des eaux usées du gisement de TESNOU1

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

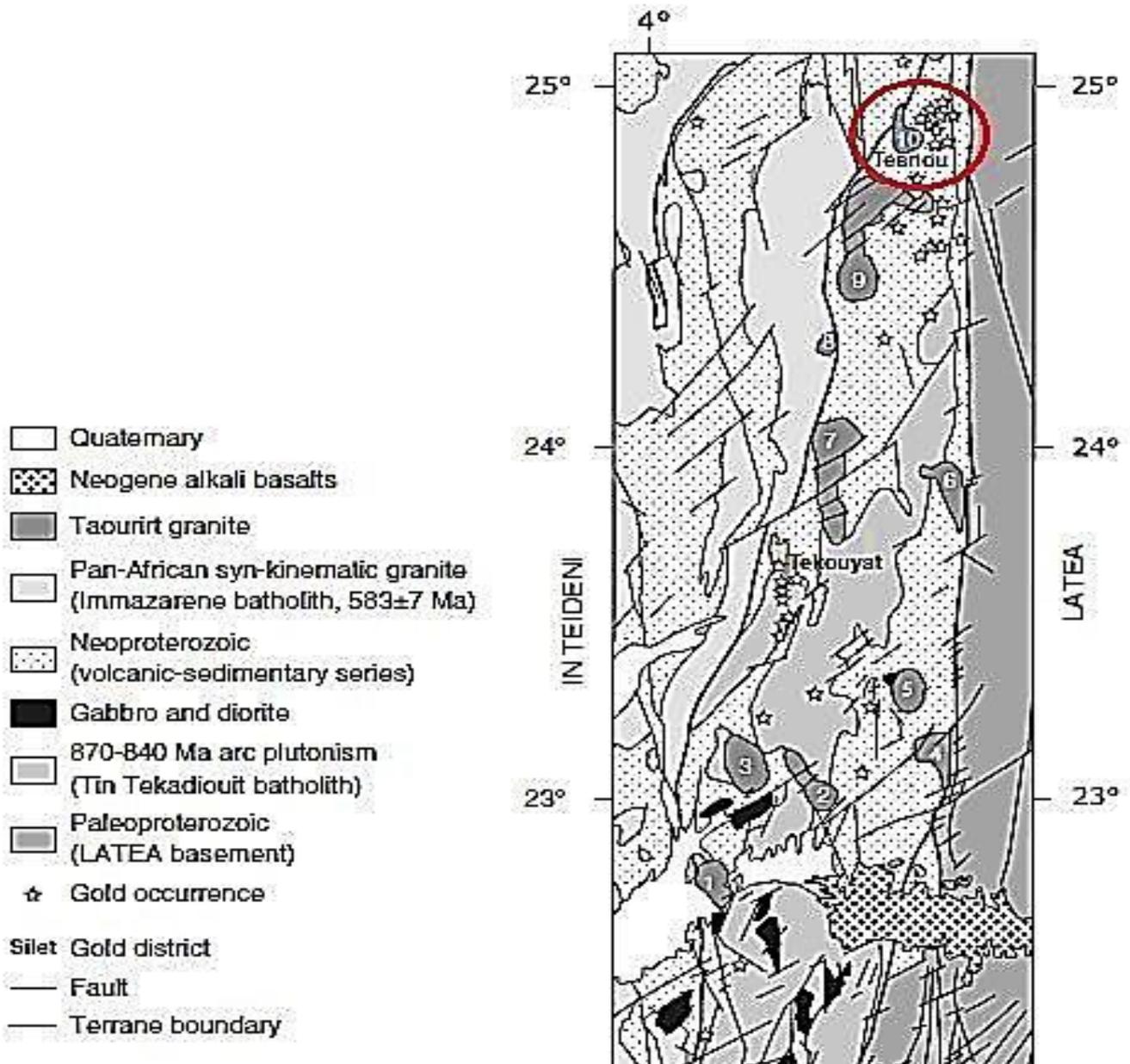
1. **Black, R, et al.** *Pan-African displaced terranes in the Targui Shield (central sahara)*. 1994.
2. **Rougier, S, et al.** *Eocene exhumation of the Tuareg shield* . 2013.
3. **Caby, R.** *Terrane assembly and geodynamic evolution of central–western Hoggar: a synthesis*. s.l. : J African Earth Sci, 2003. 37:133–159.
4. **Bouabdellah, Mohammed and slack, john.** *Mineral Deposits of North Africa*. Reston, VA, USA : Springer, 2016.
5. **Liégeois, J-P, et al.** *Metacraton: nature, genesis and behavior*. 2013.
6. **Liégeois, J-P, et al.** *The LATEA metacraton (central Hoggar, Tuareg Shield, Algeria): behaviour of an old passive margin during the Pan-African orogeny.*. s.l. : J African Earth Sci, 2003. 37:161–190.
7. **Bendaoud, A, et al.** *Geochronology and metamorphic P–T–X evolution of the Eburnean granulite-facies metapelites of Tidjenouine (central Hoggar, Algeria): witness of the LATEA metacratonic evolution*. s.l. : Ennih N, Liégeois J-P (eds) *The boundaries of the West African craton ; Geological Soc London Spec*, 2008.
8. **Peucat, JJ, et al.** *U-Pb zircon (TIMS and SIMS) and Sm–Nd whole-rock geochronology of the Gour Oumelalen granulitic basement, Hoggar massif, Tuareg shield, Algeria*. s.l. : J African Earth Sci , 2003. 37:229–239.
9. **Briedj, Moussa et Leterrier, Jacques.** *Etude géologique de la région de Tahifet (Hoggar central, Algérie)*. 1993.
10. **ORGM.** *RÉSULTATS DES TRAVAUX COMPLEMENTAIRES SUR LE GISEMENT DE GRANITE DE TESNOU 1 WILAYA DE TAMANRASSET*. s.l. : ORGM, 2019.
11. **Blinnikov, v et Popov, v.** *Rapport sur les résultat de travaux de recherche systématiques et les levés géologiques à l'échelle 1/200000 sur les feuilles de Tesnou et Iftesséne. Rapport inédit ORGM*. Boumerdes : ORGM, 1991. 322,p.
12. **Semiani, A., Bellal, M. et Bennouh, A.** *La métallogénie de l'or liée à l'évolution de la chaîne Panafricaine du massif du Hoggar (Sud de l'Algérie) : Influence des socles Anté-Panafricains dans le processus de mise en place des minéralisations aurifères*. s.l. : Bull. Serv. Geol. Algérie,, 2004. 215-540.
13. **UNFC-2009 Framework Classification Assay of Algeria known uranium resources.** **J.Nacer et A.Khaldi.** Johannesburg, South Africa : INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA), 2014. Regional Workshop on “Application of United Nations Framework Classification-2009” .

14. Ashmole, I. et Motloug, M. DIMENSION STONE: THE LATEST TRENDS IN EXPLORATION AND PRODUCTION TECHNOLOGY. [auteur du livre] The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. *Surface Mining* . 2008.
15. pierre infos. [En ligne] <https://www.pierres-info.fr/>.
16. Mancini, R. , Cardu, M. et Fornaro, M. *Hard dimension stone production by splitting and cutting methods in italian quarries*. Balkema, Rotterdam : Proceedings of the 4th mine planning and equipment selection conference , Singhal,R.K. et al , 1995.
17. Rehman, Z. U. . *B.Sc thesis, Mining techniques for dimension stone*. Peshawar : University of Engineering and Technology, 2010.
18. Costa., I. C. M. da. *Aspectos relacionais às lavras de granitos ornamentais com fio diamantado no norte do estado do Espírito Santo*. São Carlos : Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2006.
19. M. Cardu, M. Patrucco et E. Lovera, E. Michelotti. *Quarrying by explosive and diamond wire in hard dimension stones* . s.l. : European Federation of Explosives Engineer, 2005.
20. "Worldwide quarrying techniques in dimension stone", Paper presented at the African Stone Indaba. Nelles, PL., Johannesburg : s.n., 1996.
21. Papantonopoulos, G., et al. *A study on best available techniques for the management of stone wastes*. Milos islan, Greece : 3rd International Conference on Sustainable Development Indicators in the Minerals Industry, 2007.
22. Products, The University of Tennessee Center for Clean. "Best Practices of the Natural Stone Industry". April 1, 2009, revised May 25, 2011.
23. RE-USE OF GRANITE SLUDGE IN PRODUCING GREEN CONCRETE. E., Allam M., S, Bakhoum E. et L, Garas G. 12, Egypt : ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 2014, Vol. 9. 1819-6608.
24. Aguid, Bechar el Assed Mohamed. *NOTIONS FONDAMENTALES D'EXPLOITATION DES GISEMENTS DES MINERAIS UTILES (G.M.U.)* .
25. Khademian, Amir, Almasi, S. Najmedin et Bagherpour, Raheb. Optimum distance between cutting machine and working face in travertine exploitation with diamond wire cutting method. *24th International Mining Congress and Exhibition of Turkey-Antalya, Turkey*,. 2015, IMCET'15.
26. *The selection of appropriate mining method for the Deh Gheybi Granite Quarry Mine using the FTOPSIS method*. Safari, Mohsen, Taheri, Mohsen et Javanshirgiv, Mohammad. s.l. : International Journal of Mining and Mineral Engineering, 2017, Vol. 8.
27. *High-performance concrete with recycled stone slurry*. Almeida, N., et al. s.l. : Cement concrete Res, 2007, Vol. 37. 0008-8846.

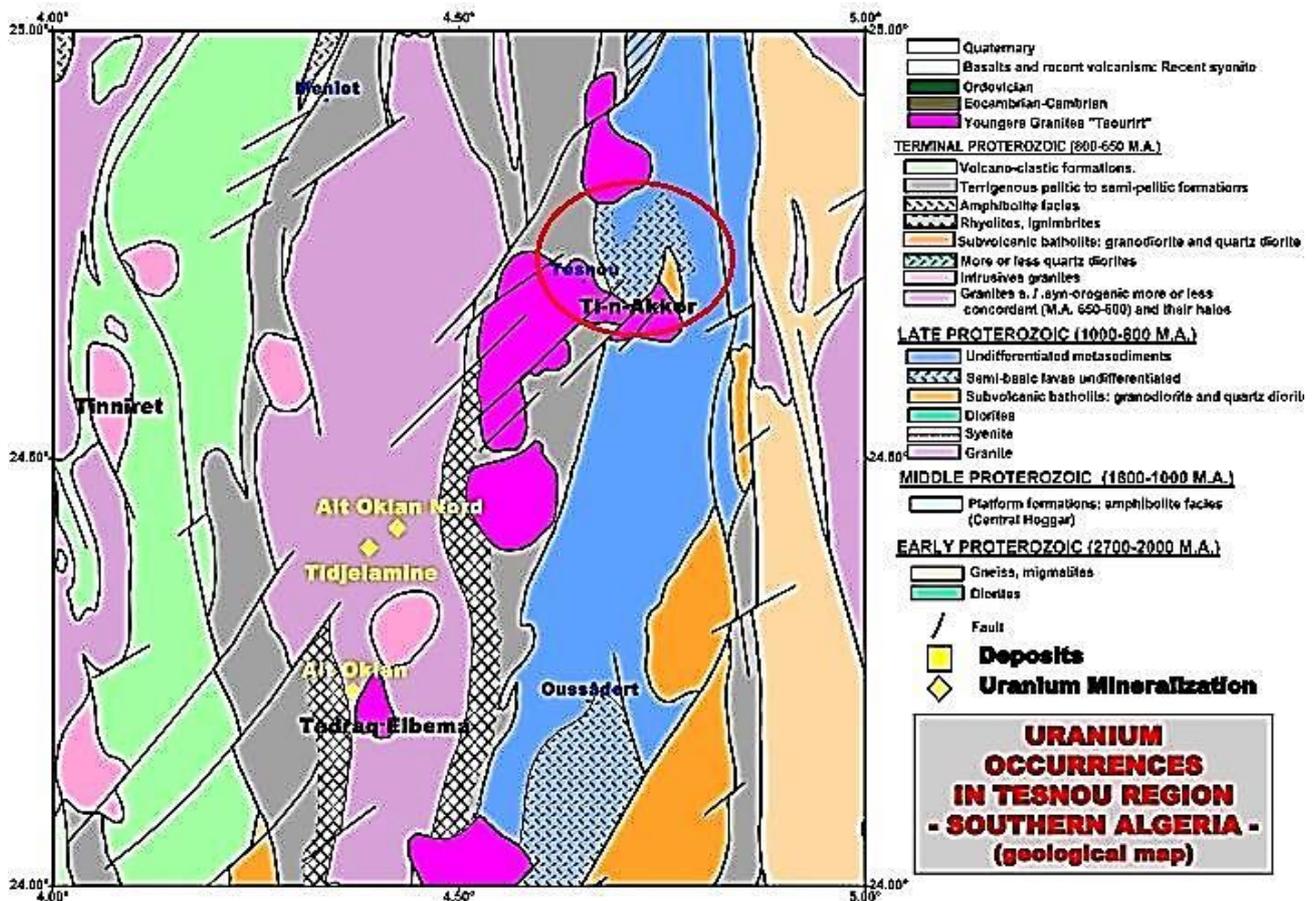
- 28. *Reusing of stone waste in various industrial activities.* Shirazi, Elham Khalilzadeh. IACSIT Press, Singapore : 2011 2nd International Conference on Environmental Science and Development, 2011. IPCBEE vol.4.**
- 29. Miletic, S., et al. *Building materials based on waste stone sludge .* san sebastian : WASCON, 2003.**
- 30. *A Study of Utilization Aspect of Stone Waste in Indian context.* Rajgor, Mamta B. et Jayeshkumar, Dr. 1, s.l. : Global research analysis, 2012, Vol. 2. 2277 - 8160.**
- 31. *Marble and Granite Waste: Characterization and Utilization in Concrete Bricks.* A, Rania, et al. 2011. International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics,.**
- 32. R, Ciccu, et al. *Strategic Study on the Egyptian Marble and Granite Sector.* s.l. : Industrial Modernisation Centre, 2005. REF-PS_1.**
- 33. ORGM. *PLAN D'EXPLOITATION DU GISEMENT DE GRANITE DE TESNOU 1.* WILAYA DE TAMANRASSET : ORGM, 2020.**

ANNEXES

Cadre géologique des occurrences d'or (12)



Les occurrences d'uranium dans la région de Tesnou (13)



La partie nord de gisement (masse grisâtre)



La partie nord de gisement (masse grisâtre)



La partie sud de gisement (masse rosâtre)



La partie sud de gisement (masse rosâtre)



Profil en long : ouverture partie sud



Profil dessiné par Covadis

Profil n° : 1

Echelle en X : 1/1000
Echelle en Y : 1/1000

