

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Abderrahmane Mira de Bejaia
Faculté de Technologie
Département des Mines e géologie

Memoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du Diplôme de Master
Filière : Génie Minier
Option : Exploitation des Mines

Présenté par : - Mr.Hamitri Tarik
- Mr.Khedimallah abdeljalil

Thème

***Etude comparative entre des courbes granulométriques
obtenues à partir de la méthode de tamisage et traitement
d'image : Cas d'Adrar Oufernou***

Soutenu le 29/09/2022 devant le jury composé de :

Président	Mme. Azizou zahia	MCB	U.A.M.Bejaia
Encadrant	Fredj Mohamed	MCA	U.A.M.Bejaia
Co-encadrant	Mme.Sadouki Samia	MCA	U.A.M.Bejaia
Examineur	Boukarm Riadh	MCB	U.A.M.Bejaia

Promotion : 2021-2022

TABLE DES MATIERES
INTRODUCTION GENERALE
CHAPITRE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. Introduction	1
I.2. Définitions d'une distribution granulométrique.....	1
I.3. But de la granulométrie.....	1
I.4. Les méthodes classiques de mesure de la granulométrie des roches abattues	1
I.4.1. Taille et calcul des proportions granulométriques par tamisage	2
I.5. Fonction de répartition granulométrique usuelle	4
I.5.1. Fonction ROSIN-RAMMLER	4
I.5.2. Fonction de SWEBREC	4
I.5.3. Equation de KUZNETSOV	5
I.6. Méthode empirique.....	5
I.6.1 Modèle de KUZ-RAM.....	5
I.6.2 Taille moyenne des fragments.....	6
I.7. Granulométrie des roches par analyse d'image.....	8
I.7.1. Concept de taille pour l'analyse d'image.....	8
I.7.2. Etapes de mesure par analyse d'image	8
I.8. Généralité sur les programmes de traitement par images.....	9
I.8.1. system TUCIPS	9
I.8.2. Logiciel FRAGSCAN	9
I.8.3. Logiciel SPLIT DESKTOP	10
I.8.4. WIPFRAG	11
I.9. Erreurs de mesure liées à l'analyse d'image.....	12
I.9.1. Erreur due a l'échantillonnage.....	12
I.9.2. Problème due a la présence des particules fines.....	13
I.9.3. Erreurs dues à la technique employée pour l'extraction de l'information 2D	13
I.10. Avantages de l'analyse numérique de la granulométrie des roches..	14
I.11. Conclusion.....	14

CHAPITRE II: INTRODUCTIONS SUR LES LIEUX

II.1. Introduction	15
II.2. Présentation générale de l'unité	15
II.2.1. Situation géographique	15
II.2.2. Situation administrative	16
II.2.3. Superficie du gisement et de la zone d'exploitation	16
II.3. Géologie du gisement	17
II.4. Structure du gisement	17
II.5. Stratigraphie du gisement	17
II.6. Tectonique	19
II.7. Les réserve du gisement	20
II.7.1. Calculs de réserves	20
II.8. Mode d'exploitation	24
II.8.1. Travaux préparatoires	24
II.8.2. Les Travaux de forage et du tir	24
II.8.3. le chargement	26
II.8.4. Le transport	26
II.8.5. Station de traitement mécanique	26
II.8.6. Régimes de travail et productivités	27
II.9. Conclusion	28

CHAPITRE III: TRAVAIL EXPERIMENTAL

III.1. Introduction	29
III.2.Manipulation	31
III.2.1. Echantillon A (TAMISAGE)	31
III.2.2. Analyse d'images par "WIPFRAG"	37
III.3. Comparaison des résultats pour l'échantillon A	40
III.3.1. Comparaison des résultats sur la partie des fins.....	40
III.3.2.Comparaison des résultats sur la partie des gravillons	41
III.3.3.Comparaison des résultats sur la partie des cailloux	42
III.3.4. Echantillon B (TAMISAGE).....	42
III.3.5. WIPFRAG	47

III.4. Comparaison des résultats pour l'échantillon B.....48

III.5. Conclusion.....50

CONCLUSION GENERALE

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

INTRODUCTION GÉNÉRAL

Dans l'industrie minière, le contrôle de la granulométrie des roches abattues est d'un intérêt majeur pour le bon fonctionnement des différentes opérations inscrites dans les processus technologiques.

Parmi les processus à suivre est l'analyse granulométrique des roches fragmentées, L'analyse granulométrique est l'art qui nous permet d'étudier la répartition des éléments d'une roche, d'un gravier, d'un sable selon leur taille. C'est la détermination des dimensions des particules agrégées et de leurs pourcentages respectifs avec analyse de la taille avec étude de distribution de la taille des grains.

La méthode la plus utilisée dans les carrières par l'homme depuis toujours est la méthode traditionnelle qu'on appelle tamisage. Cependant avec le temps cette dernière s'est avérée être coûteuse. Dans ce contexte et avec le développement de la technologie, de nombreuses études ont été menées pour tenter de mesurer la granulométrie des roches abattues par analyse numérique. L'objectif est de procéder à une mesure granulométrique précise, continue et moins coûteuse, tout en s'adaptant aux exigences de la production minière.

Plan de travail

L'étude menée est découpée en trois principaux chapitres, l'objectif du premier est d'introduire les différentes méthodes utilisées afin de réaliser une analyse granulométrique en ordre chronologique en commençant par la méthode traditionnelle qui est le tamisage puis la méthode empirique de modèle KUZ-RAM et ensuite les méthodes numériques comme FRAGSCAN, split desktop et WIPFRAG.

Le deuxième chapitre est consacré à l'introduction de lieux de travail. Une introduction à la mine d'Adrar-Oufernou, la géologie et réserve du gisement ainsi que le mode d'exploitation utilisé. Leur moyen de chargement et de transport, etc....

L'extraction des échantillons dans la mine d'Adrar-Oufernou nous permet donc d'aborder le troisième chapitre, est de faire notre étude afin d'analyser les résultats obtenus lors d'une analyse granulométrique en utilisant deux méthodes. Le tamisage et l'analyse numérique des images en utilisant WIPFRAG est de faire une comparaison afin de déterminer qui est la méthode la plus précise à l'aide des résultats de tamisât cumulé et citer les inconvénients ou les facteurs qui influencent la manipulation de la méthode avec laquelle on a eu des résultats non fiables.

I.1. Introduction

Dans ce qui suit, on va faire une étude générale sur quelques modèles classiques de l'analyse granulométrique des roches abattues, et les nouvelles méthodes qui s'inscrivent dans le cadre d'analyse numérique de la distribution granulométrique des roches abattues, dont on va s'intéresser plus particulièrement dans notre travail sur un logiciel nommé 'WIPFRAG', en mettant en évidence son principe de fonctionnement.

I.2. Définitions d'une distribution granulométrique

L'analyse granulométrique est l'opération consistant à étudier la répartition des différents grains d'un échantillon, en fonction de leurs caractéristiques (poids, taille, ...) Habituellement, l'analyse granulométrique fournit les proportions de grains de différents diamètres. [1]

La distribution granulométrique d'un matériau non consolidé fait référence aux tailles de fragments en présence et à leurs proportions dans un volume de matériau donné. Cette information ne comporte pas de donnée qualitative sur la forme des fragments, qui varient d'un matériau à l'autre. [1]

I.3. But de la granulométrie

L'essai d'analyse granulométrique permet essentiellement de déterminer et répartir la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles des grains d'un échantillon. Le but de l'essai se matérialise par :

- Le dimensionnement des particules qui varie entre 10-6mm à 1000mm.
- La classification utilisée pour caractériser les grains de différentes dimensions.
- L'établissement de la courbe granulométrique qui donne des informations très précises sur le granulats étudiés. [1]

I.4. Les méthodes classiques de mesure de la granulométrie des roches abattues

Le terme granulométrie désigne l'opération qui consiste à décrire selon un critère donné, la distribution des tailles d'un ensemble d'objets.

En ce qui concerne les applications minières, l'estimation de la distribution des tailles par criblage s'inscrit dans un objectif global de contrôle de qualité et de réduction du coût de l'exploitation [2].

CHAPITRE I: GENERALITES SUR LES ANALYSES GRANULOMETRIQUES

Elle répond principalement aux nécessités suivantes :

-L'évaluation du rendement du tir, ce dernier étant caractérisé par les paramètres liés à l'énergie employée et par le schéma utilisé,

- La régulation du concassage et broyage,

- L'évaluation du rendement de ces deux opérations. [3]

En fonction de la taille des fragments manipulés et des moyens mis en œuvre pour la mesure de la granulométrie, le criblage peut se diviser en trois principales opérations :

-Le Tamisage de granulats : qui consiste à faire passer les fragments de roche dans des tamis de plus en plus fins et opérer une mesure sur le contenu de chacun d'eux, est limitée à des tailles d'environ 125mm,

-L'étude des « enrochements » : où l'on utilise des tables de criblage dont la taille des mailles varie entre 100 et 200 mm,

-La blocométrie : où il s'agit de modèles volumiques pour la mesure des tailles (tel que celui des cubes). Les fragments mis en jeu sont de taille supérieure à 200 mm. [4]

I.4.1. Taille et calcul des proportions granulométriques par tamisage

La mesure de la distribution des tailles des roches peut se faire en masse ou en nombre. Pour le cas des roches abattues, l'intérêt est porté essentiellement sur l'analyse granulométrique en masse. [4]

De façon générale, il s'agit de peser l'ensemble des grains retenus dans chaque tamis, donnant lieu à différentes proportions. Ces dernières sont triées, suivant des classes, selon un concept de taille bien précis. En ce qui concerne le tamisage, la taille des fragments est prise comme étant le côté du plus grand tamis pouvant les contenir. En termes de classe, cette taille correspond à la plus petite maille des deux tamis qui représentent la classe. [4]

Etant donné un ensemble de m tamis, la proportion de masse (ou passant cumulé) P_i équivalent au tamis i est donnée par :

$$P_i = 100 - \left(1 - \frac{\sum_i R_\kappa}{R_T}\right) ; [\%] \quad (1.1)$$

Où R_κ est le refus équivalent au tamis κ et R_T le refus total (masse total tamisée).

La représentation graphique de ces proportions cumulées donne la courbe Granulométrique (Figure I.1). [4]

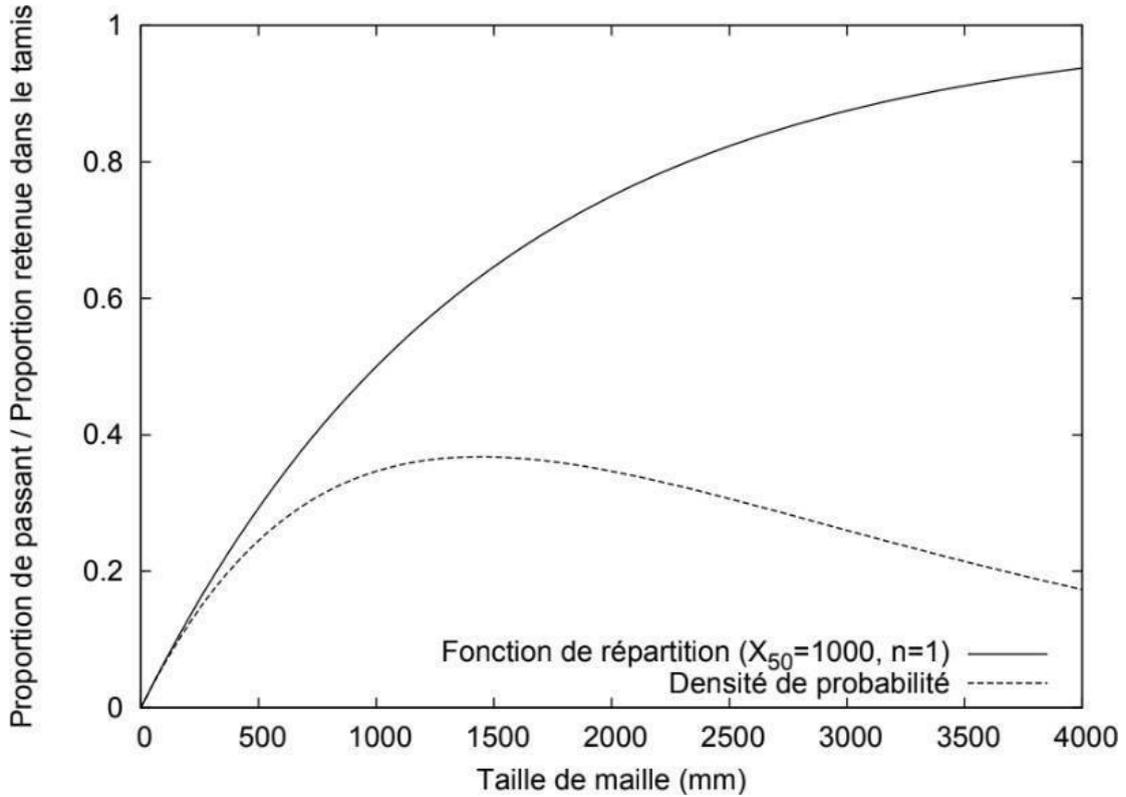


Figure I.1 : Exemple de distribution granulométrique théorique (Fonction de ROSIN-RAMMLER). [5]

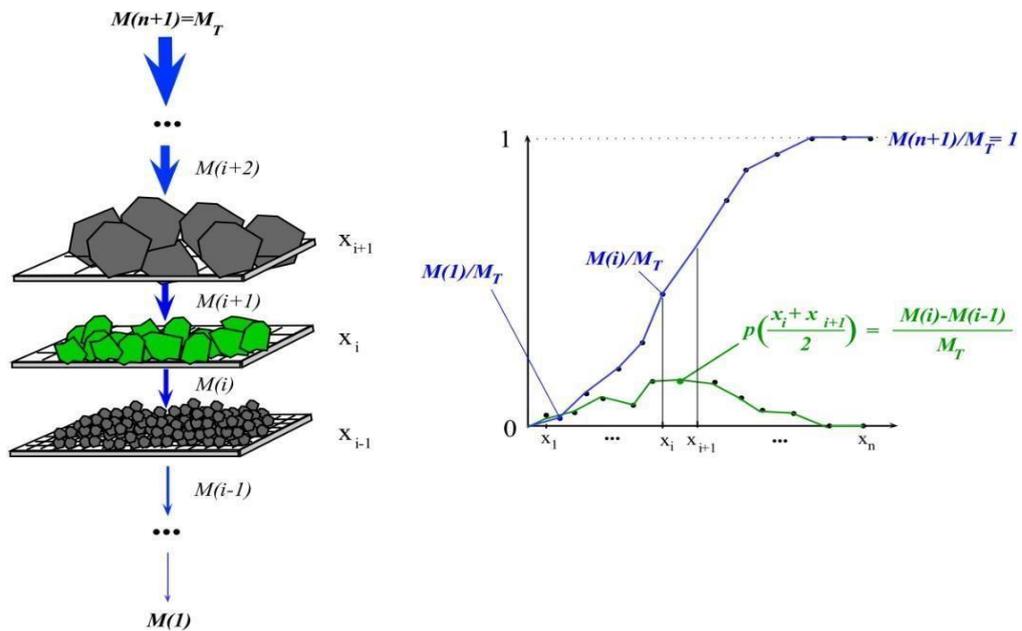


Figure I.2 : Concept de classification granulométrique. [5]

I.5. Fonction de répartition granulométrique usuelle

I.5.1. Fonction ROSIN-RAMMLER

La fonction de ROSIN-RAMMLER (1933), est la fonction la plus utilisée pour d'écrire les distributions granulométriques dans le domaine de tirs à l'explosif, il s'agit d'une adaptation de la fonction de répartition d'une statistique de WEIBULL. [5]

$$F(x) = 1 - e^{-\ln 2 \left(\frac{x}{x_{50}}\right)^n} \quad (1.2)$$

Cette fonction est critiquée pour deux raisons :

- Elle ne prend pas en compte de taille maximale pour les blocs.
- Dans le domaine des fines et en échelle logarithmique, la fonction ROSIN- RAMMLER a un comportement linéaire, ce qui est mis en défaut par les données granulométriques issues de l'expérience pratique. [6]

La fonction ROSIN-RAMMLER peut être déclinée en une version bimodal, a fin de raffiner la description des granulométries observées. Il s'agit d'une somme pondérée de deux versions de la fonction de base, avec un paramètre de pondération α :

$$F(x) = \alpha \times P_1(x) + (1 - \alpha) \times P_2(x) \quad (1.3)$$

P_1 et P_2 sont les fonctions relatives à chaque mode d'écrit. La version bimodale de la fonction ROSIN- RAMMLER est d'écrite par 5 paramètres ;

Donc on écrit :

$$F(x) = (1 - \alpha) * e^{-\ln 2 \left(\frac{x}{x_1}\right)^{n_1}} - (1 - \alpha) * e^{-\ln 2 \left(\frac{x}{x_2}\right)^{n_2}} \quad (1.4)$$

On notera que les formes bimodales comportent un nombre plus important de paramètres, et permettent donc de d'écrite d'autant mieux les granulométries expérimentales.

I.5.2. Fonction de SWEBREC

La fonction SWEBREC, du nom du SWEDISH Blasting Recherche Centre, est une fonction de répartition granulométrique récemment introduite par OUCHTERLONY (2005) [7]. Elle est plus pertinente que la fonction de ROSIN- RAMMLER pour décrire la partie des courbes granulométriques, et a été comparée à de nombreuses courbes granulométriques tamisées, résultant de tirs en échelle réelle, de tirs à l'échelle du laboratoire et d'opérations de concassage/broyage (OUCHTERLONY, 2010) [8]. Elle possède trois paramètres, dont la taille maximale de bloc qui est introduite

CHAPITRE I: GENERALITES SUR LES ANALYSES GRANULOMETRIQUES

La fonction SWEBREC s'écrit sous la forme suivante :

$$P(x) = \frac{1}{(1 + [\ln(\frac{x_{max}}{x}) / \ln(\frac{x_{max}}{x_{50}})]^b)} \quad (1.5)$$

- X_{max} : taille de bloc maximale

- X_{50} : taille médiane des fragments

- b : paramètre de forme

I.5.3. Equation de KUZNETSOY

C'est une équation proposée par KUZNETSOY (1973) [8], elle a pour but la prédiction de la taille médiane X_{50} des fragments abattus en fonction de paramètres caractéristiques de la roche et de l'explosif utilisé :

$$X_{50} = \frac{A * Q_{tr} * (\frac{115}{RWS})^{19}}{q_p^{0.8}} \quad (1.6)$$

- A : Rock masse factor (facteur de la masse rocheuse).

- Q_{tr} : Masse de l'explosif par trou (Kg).

- RWS : Relative Weight Stenght (puissance relative de l'explosif) $RWS=100$ pour l'ANFO.

- q_p : consommation spécifique (Kg/m³).

Le facteur de la masse rocheuse (Rock masse factor) est estimé par Lilly (1986), il a proposé la formule suivante :

$$A = 0.06 \times (RMD + JF + RDI + HF) \quad (1.7)$$

I.6. Méthode empirique

I.6.1. Modèle de KUZ-RAM

CUNNINGHAM a proposé une combinaison entre les équations de KUZNETSOV et ROSIN-RAMMLER, ceci est connu sous le nom du modèle de KUZ-RAM. [9]

Le modèle de KUZ-RAM a été utilisé par beaucoup des ingénieurs de mine pour prédire la fragmentation des roches résultant de tir.

Au fur et à mesure du développement de la science, et beaucoup de chercheurs ont essayé d'améliorer ce modèle de KUZ-RAM pour la prédiction de fragmentation, parmi eux on cite : CUNNINGHAM, 1983 et 1987. [10].

I.6.2. Taille moyenne des fragments

En 1973, KUZNETSOV a développé une équation empirique qui relie la taille moyenne des fragments issus d'un tir X50 et charge spécifique d'explosif appliquée en fonction du type de roche et d'explosif. [11].

L'équation de KUZNETSOV est donnée sous la forme :

$$X_{50} = \left(\frac{V_{tr}}{Q_{tr}}\right)^{0.8} * Q_{tr}^{1.6} ; \text{ cm} \quad (2.1)$$

X_{50} : la taille moyenne des fragments en cm.

V_{tr} : volumes des roches abattues par trou de mine tiré ($V_{tr} = W \times a \times H_g$) en m³/trou. Q_{tr} : masse de TNT contenant l'équivalent d'énergie de la charge explosive dans chaque trou en (Kg).

A : Rock Masse Factor (facteur de la masse rocheuse).

Le tableau suivant illustre la relation entre le facteur A et la dureté des roches.

Tableau I.1 : Facteur de la masse rocheuse en fonction de la dureté.

Facteur de la masse rocheuse A	Type de la roche	Dureté f
A= 7	Roches moyennement dures	[7÷10]
A=10	Roches dures et très fissurées	[10÷14]
A=13	Roches très dures et moyennement fissurées	[12÷16]

CHAPITRE I: GENERALITES SUR LES ANALYSES GRANULOMETRIQUES

En sachant que l'énergie relative (Relative Weight Strength, RWS) du TNT comparé à celle d'ANFO (RWS = 100) est 115, une autre formule basée sur l'ANFO ou lieu du TNT et proposé :

$$X_{50} = \left(\frac{V_{tr}}{Q_{tr}}\right)^{0.8} * Q_{tr}^{1/6} * \left(\frac{E}{115}\right)^{19/30}; \text{ (cm)} \quad (2.2)$$

Avec :

Q_{tr} : quantité d'explosif contenue dans le trou de mine, Kg/trou ;

E : énergie de l'explosif en termes de puissance comparé à celle d'ANFO ;E de l'ANFO= 100%

$$E = \left[\frac{VOD_e}{VOD_n}\right]^2 * RWS ; (\%) \quad (2.3)$$

Avec :

VOD_e : vitesse de détonation effective de l'explosif, m/s

VOD_n : vitesse de détonation nominale de l'explosif, m/s

En introduisant la charge spécifique, l'équation deviendra :

$$X_{50} = A(K)^{0.8} * Q_{tr}^{1/6} * \left(\frac{E}{115}\right)^{19/30}; \text{ cm} \quad (2.4)$$

Avec :

K : la charge spécifique d'explosif en Kg/m³.

L'équation de K est donnée par :

$$\frac{V_{tr}}{Q_{tr}} = \frac{1}{K} \quad (2.5)$$

CHAPITRE I: GENERALITES SUR LES ANALYSES GRANULOMETRIQUES

La taille moyenne des fragments (X_{50}) en fonction de la charge spécifique de l'explosif (K) est donnée par la formule suivante :

$$K = \left[\frac{A}{X_{50}} * Q_{tr}^6 * \left(\frac{115}{E} \right)^{\frac{19}{30}} \right]^{1.25}; \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) \quad (2.6)$$

I.7. Granulométrie des roches par analyse d'images

Avec l'évolution des techniques d'acquisition et des traitements relatifs aux mesures des fragments par analyse d'image, de nombreux logiciels d'analyse d'image destinés à la granulométrie des roches ont vu le jour. Nous nous proposons de décrire l'état de l'art de quelques logiciels les plus connus, à savoir : TUCIPS, FRAGSCAN, SPLIT DESKOP et WIPFRAG. Ce dernier sera utilisé dans l'étude de notre cas.

I.7.1. Concept de taille pour l'analyse d'images

Le traitement d'image tente de simuler un tamisage physique en affectant à chaque surface de fragment, extraite de l'image, une taille et volume. Comme pour le cas de tamisage, l'affectation d'une taille aux surfaces des fragments détectés par analyse d'image doit s'effectuer selon un concept de taille précise.

I.7.2 Etapes de mesure par analyse d'image

D'une manière générale, la séquence de mesure de la fragmentation par analyse d'images peut être résumée par le diagramme suivant :

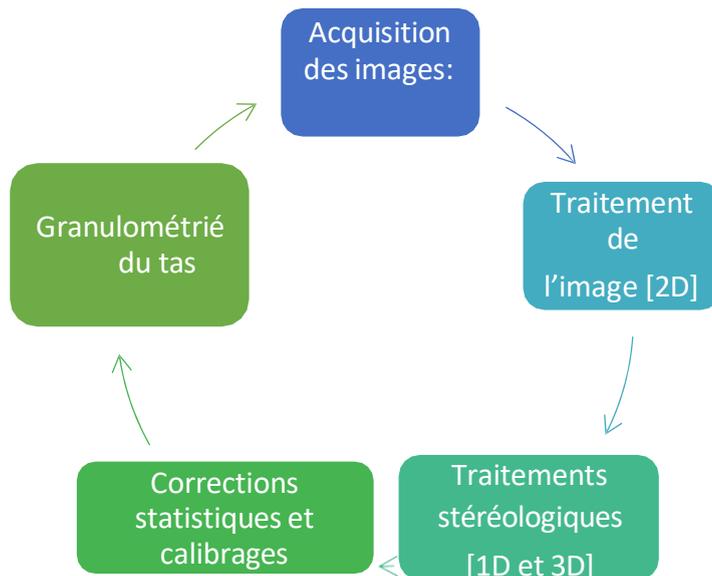


Figure I.3 : Etape de mesure de la distribution des tailles par analyse d'images.

I.8. Généralité sur les programmes de traitements par images

I.8.1. Système TUCIPS

TUCIPS a été développé pour mesurer la fragmentation de tir à l'université technique CLAUSTHAL (Allemagne). Ce système implique des algorithmes généraux d'un traitement d'images et un algorithme particulièrement créé pour l'analyse d'images de tas des roches. Il y a juste cinq pour cent (5%) de déviation dans l'essai pratique avec ce programme, ainsi ce système convient pour l'usage pratique (HAVERMANNET Vogt, 1996). [5]

I.8.2. Logiciel FRAGSCAN

Le logiciel FRAGSCAN (CHAVEZ, 1996, 1996, SCHLEIFER et al. 1996), développé à l'école des mines de Paris et commercialisé par Armines, a été conçu initialement pour estimer la distribution des tailles de l'ensemble du tas juste après le tir.

L'acquisition se fait en automatique. Initialement, les images ont été acquises au niveau des engins de transport (Dumpers par exemple). Actuellement, les images sont prises sur les convoyeurs à bandes, et sur les entrées ou sorties des concasseurs ou des stations de chargement.

CHAPITRE I: GENERALITES SUR LES ANALYSES GRANULOMETRIQUES

Pour les cas où le matériau se déplace, le déclenchement de la camera est synchronisé avec la vitesse de déplacement des fragments.

A cause de la présence du bruit dans les images initiales, les traitements 2D fournissent des images binaires dont la reconnaissance des contours des fragments n'est que partielle. Elle constitue en effet, le résultat d'un pré-filtrage par homogénéisation locale suivie d'un seuillage automatique par maximisation de la variance interclasses.

En fonction du nombre de tamis choisis, le système simule ensuite l'opération du tamisage d'autre part des opérateurs morphologiques appliqué à l'image résultante (ouvertures successives croissantes). Le tri effectué permet de distribuer l'ensemble des surfaces selon des classes de tailles. [5]

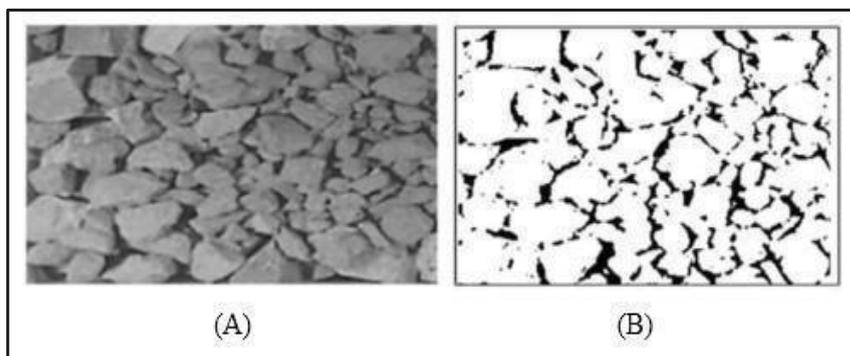


Figure I.4 : Traitement 2D d'image avec le logiciel FRAGSCAN. [5]

(A) : Image initiale ;

(B) : Résultat des traitements 2D par le logiciel FRAGSCAN.

I.8.3. Logiciel SPLIT DESKTOP

Split a été développé à l'Université de Arizona au début des années 90 (KEMENY et al. 1996) [12]. Les traitements sont automatiques lorsque les images sont acquises sur le convoyeur à bandes. L'analyse en 2D, utilisant la segmentation par l'algorithme de la ligne de partage des eaux (BEUCHER [3] et LANTUEJOUL [13] ; section 2.3), donne pour la plupart du temps des fragments divisés ou fusionnés (Figure5)

Des critères géométriques basés sur la fonction distance, et qui prennent en compte la taille et la forme des fragments, sont ensuite utilisés pour réduire ces problèmes.

Enfin les traitements 2D sont complétés par un détourage manuel des fragments.

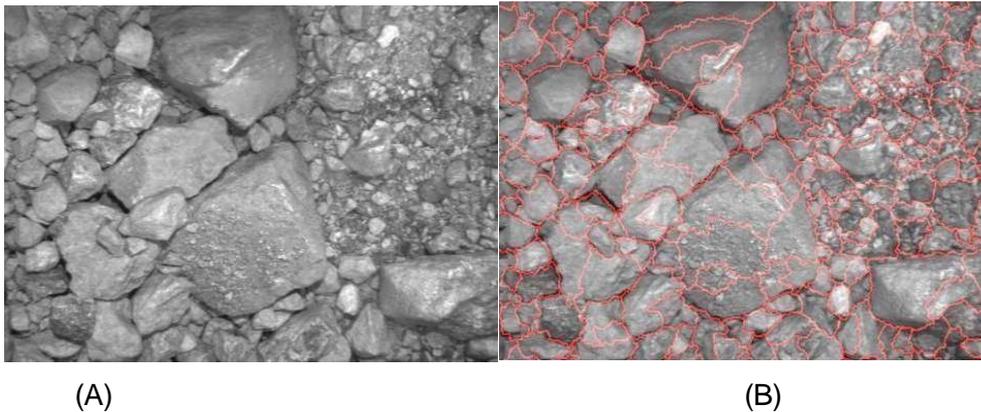


Figure I.5 : (A) Images initiale, (B) Problèmes d'extraction des contours : fusion des régions de fines et sur-segmentation des fragments.

I.8.4. WIPFRAG

WIPFRAG est un système d'analyse numérique d'image, il a été développé à l'Université de Waterloo au Canada (MAERZ et al., 1987), il permet de dimensionner des matériaux tels que des roches fragmenté ou concassées.

WIPFRAG accepte des images provenant de diverses sources telles que des caméscopes mobiles, des appareils photo fixes, des photographies ou des fichiers numériques.

Il utilise des algorithmes automatiques pour identifier les blocs individuels et créer un "filet" de contour, en utilisant la détection des bords la plus moderne. Si cela est souhaité ou nécessaire, une intervention manuelle (édition du filet d'image) peut être utilisée pour améliorer sa fidélité.

La flexibilité du système permet d'obtenir différents types de résultats en fonction des besoins individuels, y compris des graphiques de distribution de tailles cumulées, des histogrammes et des graphiques temporels personnalisés de type "diagramme à bandes" pour enregistrer rapidement les variations de qualité du produit sur des périodes de quelques minutes, heures, jours ou mois.

Les étapes de traitements d'images suivies par ce logiciel sont les suivantes :

- L'acquisition des images se fait en automatique à différents niveaux de la chaîne de production de la même manière que FRAGSCAN.
- Les traitements 2D tentent en premier lieu de détecter partiellement les contours puis opèrent des techniques basées sur des critères de voisinage pour la reconnaissance des contours complets. Ensuite les auteurs proposent le recours aux corrections manuelles pour corriger les mêmes erreurs d'entourage écrites pour le cas de logiciel SPLIT (erreurs de sur-segmentation et de fusion).

CHAPITRE I: GENERALITES SUR LES ANALYSES GRANULOMETRIQUES

- La reconstruction de la courbe granulométrique en 3D utilise les principes de la probabilité géométrique.

Enfin, un calibrage empirique prenant en compte les particules fines non détectées est effectué. La démarche suppose que la granulométrie analysée suive le modèle de ROSIN-RAMMLER dont le coefficient d'uniformité n'est déterminé grâce à des tamisages préalables. Selon les auteurs, cette démarche est aussi complétée par la combinaison de résultats d'images prises sous différentes résolutions (technique appelée : zoom-merging). [4]

I.9. Erreurs de mesure liées à l'analyse d'image

Pour pouvoir comprendre les insuffisances que connaissent les outils de mesure, il faut s'intéresser aux différentes sources d'erreurs qui affectent l'authenticité de la mesure finale. Elles se manifestent par des décalages entre la courbe granulométrique fournie par les outils de mesures et les courbes de référence déterminées par tamisage.

De façon générale, les problèmes rencontrés par les différents logiciels peuvent être regroupés en deux principaux types : ceux liés à la nature de la mesure elle-même (a et b) et ceux liés à la méthode de traitement intrinsèque à chaque logiciel(c).

I.9.1. Erreur due à l'échantillonnage

Généralement les erreurs d'échantillonnage apparaissent lorsqu'il s'agit de caractériser une large distribution à partir d'un nombre réduit d'échantillons. [14]

Pour le cas du traitement d'images, la majorité des études menées sur le sujet tentent d'adapter les résultats de la théorie d'échantillonnage des minerais en vrac développée par P.GY (1967) [15] à la mesure de la granulométrie par analyse d'images. On constate principalement que :

Le caractère aléatoire des prélèvements, qui détermine un échantillonnage correct au sens de P.GY, n'est pas respecté dans le cas où les images sont acquises sur un endroit fixe (camions et tas). [16]

Les parties recouvertes de la granulométrie acquise sur le tas et les camions ne peuvent être accessibles à l'acquisition. Les images disponibles ne concernent, en effet, que les fragments situés sur la couche supérieure. Ce problème, dit de recouvrement et de ségrégation, est d'autant plus conséquent que la granulométrie est étalée (faible de valeur de n pour une distribution qui suit le modèle de ROSIN-RAMMLER).

CHAPITRE I: GENERALITES SUR LES ANALYSES GRANULOMETRIQUES

Les tentatives menées par les auteurs pour remédier à ces insuffisances s'effectuent en opérant des corrections à deux niveaux :

En amont, des améliorations au niveau de l'acquisition sont apportées en augmentant les endroits de prise et le nombre des échantillons prélevés (stratégie de la prise de mesure). [8]

En aval, des pondérations statistiques basées essentiellement sur la comparaison avec les résultats de tamisages préalables de la fragmentation étudiée, sont utilisées (CHAVEZ, 1996). [9]

I.9.2. Problèmes due à la présence de particules fines

L'un des problèmes majeurs rencontrés lors du traitement d'images des fragments de roches est celui des particules fines. Ces dernières sont définies en termes d'analyse d'images comme étant les particules très petites non visible à l'image à cause de la ségrégation ou à cause de leur trop petite taille comparée à la résolution employée lors de l'acquisition.

Lorsque ces particules sont regroupées, les régions équivalentes sont fusionnées lors des traitements surfaciques (problème de fusion). Détectées ainsi comme de grandes particules, leur proportion est généralement sous-estimée par analyse d'images.

MAERZ et al. (1999) [17] supposent que les erreurs dues aux fines sont en générale systématique. Ils déduisent qu'en conséquence, l'uniformité n de la distribution ne change pas pour une phase donnée de chaîne de production (tir, concassage ou broyage). Ils procèdent ensuite par calage d'une courbe modifiée de ROSIN-RAMMLER à toute la distribution.

I.9.3. Erreurs dues à la technique employée pour l'extraction de l'information 2D

La mauvaise extraction des contours se manifeste principalement par :

- La fusion et la sur-segmentation des fragments (cas de Split et de WIPFRAG) ;
- La reconnaissance partiels des contours des fragments et les problèmes de détection des fines (cas de FRAGSCAN).

CHAPITRE I: GENERALITES SUR LES ANALYSES GRANULOMETRIQUES

Les calculs des tailles et des volumes sont affectés par des problèmes 2D, ce qui induit des proportions granulométriques surestimées (ou sous-estimées), comparées aux proportions des références. La principale cause des problèmes d'extraction des surfaces est le bruit présent dans les images. Ce dernier est dû essentiellement aux conditions d'acquisition :

Notamment l'éclairage des images, dans la plupart des cas naturel, donne des images caractérisées par un contraste variable entre ses différentes régions,

La texture des fragments change non seulement d'une image à l'autre mais aussi d'un fragment à l'autre,

Enfin, en deçà d'une certaine taille, la résolution de la caméra ne permet plus de distinguer correctement les fragments.

I.10. Avantages de l'analyse numérique de la granulométrie des roches

En tant que remplacement du tamisage, la mesure de la granulométrie des roches par analyse d'image permet de réduire considérablement les problèmes liés au tamisage. Les avantages principaux du choix de cette technique de mesure sont :

- Réduction des couts opératoires ;
- Contrôle continue de la fragmentation sans influence sur la production ;
- Un gain de temps d'exécution. [5]

I.11. Conclusion

Les méthodes d'analyse granulométrique sont nombreuses et diffèrent l'une de l'autre comme on a pu voir avec le développement technologique des nouvelles techniques ont été développées afin de faciliter cette tâche et ainsi la rendre plus rapide tout en assurant des résultats optimaux.

Dans ce qui suit on s'est rendu au laboratoire de la carrière d'adar-oufernou afin de comparer la méthode traditionnelle et la méthode d'analyse numérique en utilisant WIPFRAG.

CHAPITRE II : INTRODUCTION SUR LES LIEUX

II.1. Introduction

La carrière d'agrégats d'Adrar-Oufernou est un gisement de calcaire qui représente une grande richesse pour la wilaya de Bejaïa, grâce à sa fonction économique ou les matériaux de cette carrière alimentent les secteurs de génie civil et des travaux routiers (bâtiments, routes...) et qui crée des postes de travail pour les gens de la wilaya. Ce présent chapitre est consacré à la description des conditions géologiques et minières de la carrière. [18]

II.2. Présentation générale de l'unité

II.2.1. Situation géographique

Le gisement d'Adrar-Oufernou est situé à une distance de 06 km au Nord de la ville de Bejaïa.

Il est limité au Nord et au Nord-est par la mer Méditerranée, au Sud par la RN24, à l'Est par Djebel Gouraya et Adrar Tabourt à l'Ouest.

La carrière est accessible à partir de la route nationale RN24 par un accès de 02 km passant par le village d'Adrar-Oufernou. [18]



Figure II.1 : Situation géographique de la carrière d'Adrar-Oufernou.

CHAPITRE II : INTRODUCTION SUR LES LIEUX

II.2.2. Situation administrative

Administrativement, le gisement fait partie du territoire de la commune, daïra et wilaya de Bejaia. La carrière s'étend sur 46 hectares comportant une zone en exploitation, une zone occupée par les installations fixes et une zone regroupant les blocs administratifs, laboratoires, ateliers et magasins. [18]

Pour des exigences réglementaires et dans le but d'atteindre l'exploitation rationnelle des ressources du gisement aboutissant à une forme hectométrique en respectant l'art minier, une reconversion des coordonnées au système UTM-Nord Sahara a été effectuée dont le périmètre est défini comme suit :

Tableau II.1 : les coordonnées de gisement dans le système UTM.

Coordonnées UTM					
Point	X	Y	Point	X	Y
1	681 200	4073100	7	681700	4072800
2	681500	4073100	8	682000	4072800
3	381500	4073000	9	682000	4072300
4	681600	4073000	10	681400	4072300
5	681600	4072900	11	681400	4072600
6	681700	4072900	12	681200	4072600
La superficie du gisement est de 46 ha Titre minier N° 1056 PM du 25/12/2013.					

II.2.3. Superficie du gisement et de la zone d'exploitation

- La superficie du gisement est de : 46 ha ;
- Le contour de la zone renferment les réserves en exploitation est de : 28 ha ;
- Le contour du gisement épuisé ou non susceptible d'être mis en exploitation est de 18ha.

CHAPITRE II : INTRODUCTION SUR LES LIEUX

Historique de travaux de recherche : dans le cadre de la reconnaissance de ce gisement, l'EREM a réalisé des travaux de recherche et de prospection durant la période de 1974 à 1977. Ces travaux se résument en :

- 04 Sondages carottant de différentes profondeurs
- des travaux géophysiques ;
- des levés topographiques ;
- des prélèvements d'échantillons en surface et aux différentes profondeurs ;
- des essais chimiques et physico-mécaniques au laboratoire ;
- étude géologique ;
- calcul de réserves.

Actuellement, des essais périodiques sont réalisés pour le suivi de la qualité des granulats et des mises à jour topographiques et des calculs de réserves sont réalisés annuellement. [18]

II.3. Géologie du gisement

Le gisement de calcaire d'Adrar-Oufarnou appartient à l'unité structurale Berk-Gouraya. Il est structuré en anticlinal d'âge Jurassique, orienté Est-Ouest. Il est limité au Nordet Nord-est par la mer Méditerranée, à l'Ouest par Adrar Imoula d'âge Crétacé, à l'Est par Djebel Gouraya. [18]

II.4. Structure du gisement

Le Djebel Adrar-Oufarnou forme un anticlinal de direction EW à flanc nord érodé. Il est formé de terrains d'âge Jurassique inférieur et moyen (Figure 2). Il est constitué essentiellement de calcaire massif du lias inférieur. Il est limité par deux accidents tectoniques , un à l'Est qui le sépare du Djebel Gouraya et l'accident de Aghbalou (N70°) à l'Ouest qui le sépare d'Adar Imoula. [18]

II.5. Stratigraphie du gisement

Les formations du territoire sont constituées essentiellement de roches sédimentaires stratifiées. Elles sont formées à la base par des calcaires massifs et dolomies du lias inférieuret par des marnes et marno- calcaires du dogger vers le sommet. [18]

Le gisement de calcaire d'Adrar-Oufarnou est caractérisé par deux structures distinctes : une structure massive à la base et une structure stratifiée vers le sommet.

CHAPITRE II : INTRODUCTION SUR LES LIEUX

A la base : Le niveau massif est formé de roches micritiques de couleur gris clair, caractérisé par des passages fossilifères riches en pseudo oolithes et débris de fossiles (brachiopodes, foraminifères et lamellibranches).

Au sommet : Le niveau stratifié est caractérisé par des bancs du calcaire gris bleuâtre renfermant des nodules du silex de taille millimétriques à centimétriques, vers le sommet, les bancs de calcaires sont parfois soulignés par des interfaces marneuses.

La figure suivante illustre la litho stratigraphie du gisement :

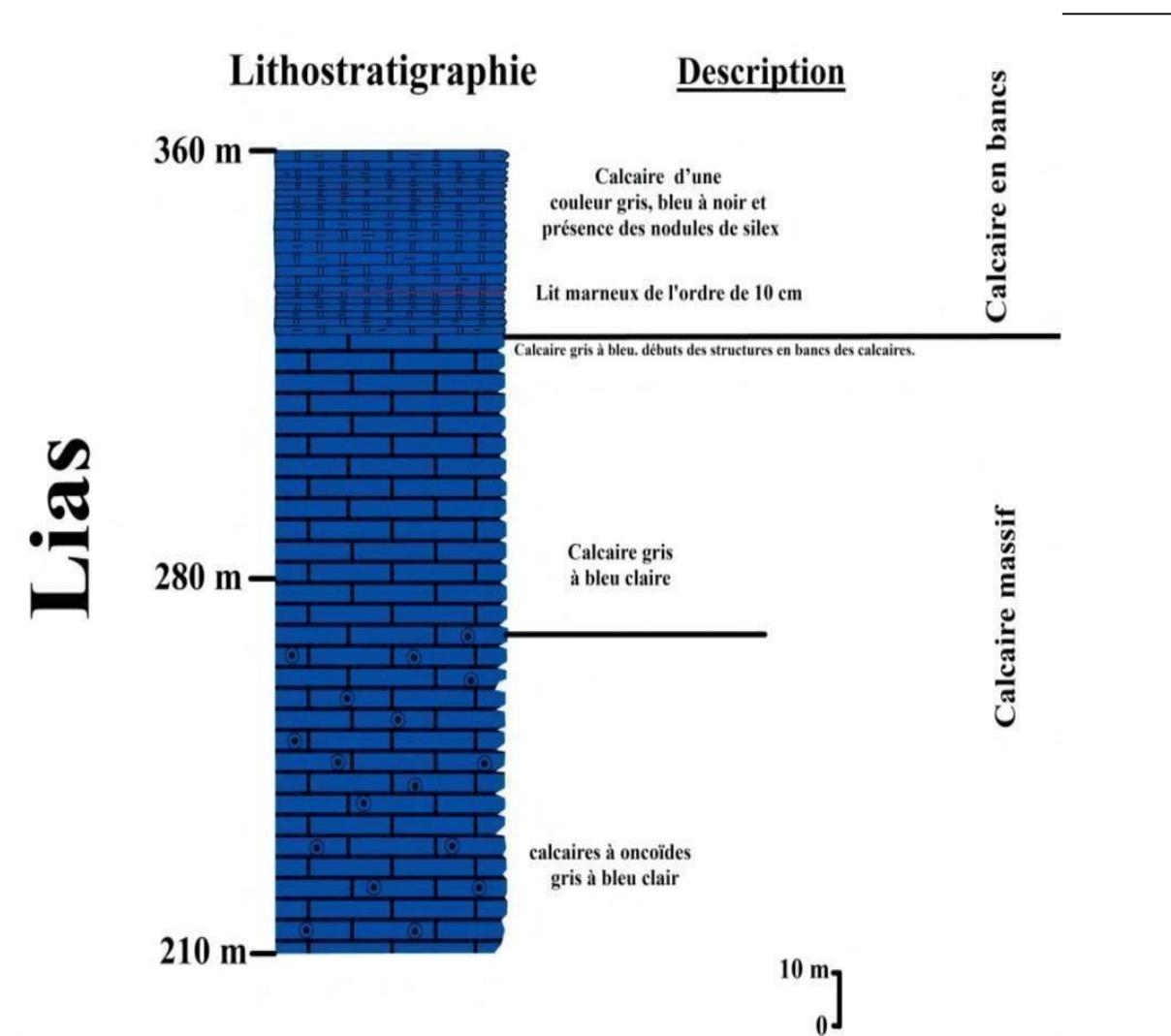


Figure II.2 : la lithostratigraphie du gisement.

CHAPITRE II : INTRODUCTION SUR LES LIEUX

II.6. Tectonique

Le gisement d'Adrar-Oufarnou représente la partie Est du grand synclinal de direction subméridionale. Il est limité à l'Ouest par l'accident d'Aghbalou (N70) qui le sépare d'Adrar Imoula d'âge Crétacé. Dans la partie Est, une faille importante d'orientation NE le sépare du massif calcaireux de Djebel Gouraya. [18]

Les calcaires du gisement ont un pendage monoclinal vers SW. Les roches sont régulières suivant la direction et le pendage. L'étude géophysique a mis en évidence deux petites failles dans la partie centrale et Est du gisement. Deux types de fissures sont observés :

- Fissure parallèle à la stratification ;
- Fissures perpendiculaires au premier type et remplies par des filonnets de calcite ayant une puissance moyenne de 1m.

Le gisement est caractérisé aussi par la présence du phénomène karstique qui est observé sur toute l'assise exploitable. Il est plus développé dans sa partie Ouest.

L'exploitation des niveaux inférieurs (240m, 230m et 220m) a mis en évidence la présence d'une poche importante à remplissage de calcite. [18]

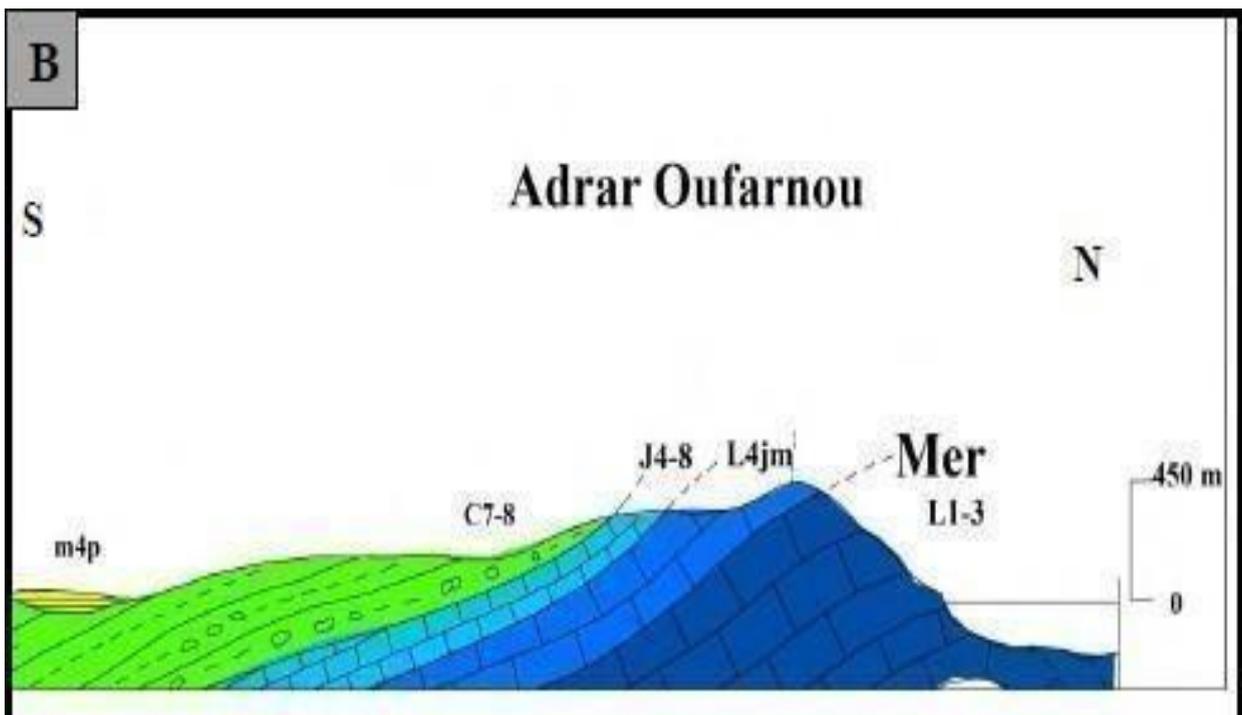


Figure II.3 : carte géologique N° 26 de Bejaia 1/50 000 ; B : coupe géologique NS.

CHAPITRE II : INTRODUCTION SUR LES LIEUX

II.7. Les réserves du gisement

Le gisement d'Adrar-Oufernou présente une structure, qualité et puissance homogènes qui permet de le classer parmi les gisements du premier groupe.

La zone d'exploitation couvre une surface de 28 hectares. Elle est constituée de 15 gradins, d'un niveau 360m jusqu'au niveau 210m :

- Les gradins 360m, 350m et 340m sont en fin d'exploitation ;
- Les gradins compris entre les niveaux 310m et 250m sont inaccessibles (gradins accidentés et couverts d'argile) ;
- Seuls les gradins 320m, 250m, 240m, 230m et 220 m sont en activité ;
- Le gradin 210 m est prêt pour l'exploitation de l'exercice 2015 ;
- Le gradin 310 sera prêt pour l'exploitation de l'exercice 2015, dont l'avancement des travaux de réouverture de ce dernier est à 90%. [18]

II.7.1. Calculs des réserves

La méthode de calcul de réserves utilisée pendant les travaux de recherche et de prospection exécutés sur le gisement en 1974-1977 été celle des blocs géologiques. (D'après le rapport géologique EREM 1977 dont l'auteur est KERIMOV).

Actuellement, le calcul de réserves se fait par le topographe de l'unité, En faisant un levé topographique (prendre la référence, les coordonnées x, y et z de terrain) et après transfert des données sur logiciel AUTOCAD, le découpage est effectué en fonction de la surface des réserves. (L'équidistance doit être respectée entre les profils). [18]

-La méthode utilisée est dite : Méthode Des Coupes.

-La surface est déterminée par les formes géométriques obtenues dans chaque profil.

$$V_1 = \left(\frac{S_0 + S_1}{2} \right) * d_1$$

$$V_2 = \frac{(S_1 + S_2)}{2} * d_2$$

: : :

: : :

$$V_n = \frac{(S^n + (n-1))}{2} * d_n$$

CHAPITRE II : INTRODUCTION SUR LES LIEUX

$$V_{tot} = (V_1 + V_2 + \dots V_n)$$

S0 : la surface du profil zéro est égale à 0 ;

d1 : la distance entre le profil 0 et n° 1 ou n° 1 et n° 2 etc ;

Vn : le dernier volume = (la dernière surface n° 2 + la surface zéro) / 2 * dn ;

Sn : la dernière surface du profil ;

dn : la distance entre la dernière coupe des réserves et le profil et l'avant dernière (à mesurer sur plan).

La figure dans la page suivante montre les limites topographiques des réserves totales :

CHAPITRE II : INTRODUCTION SUR LES LIEUX

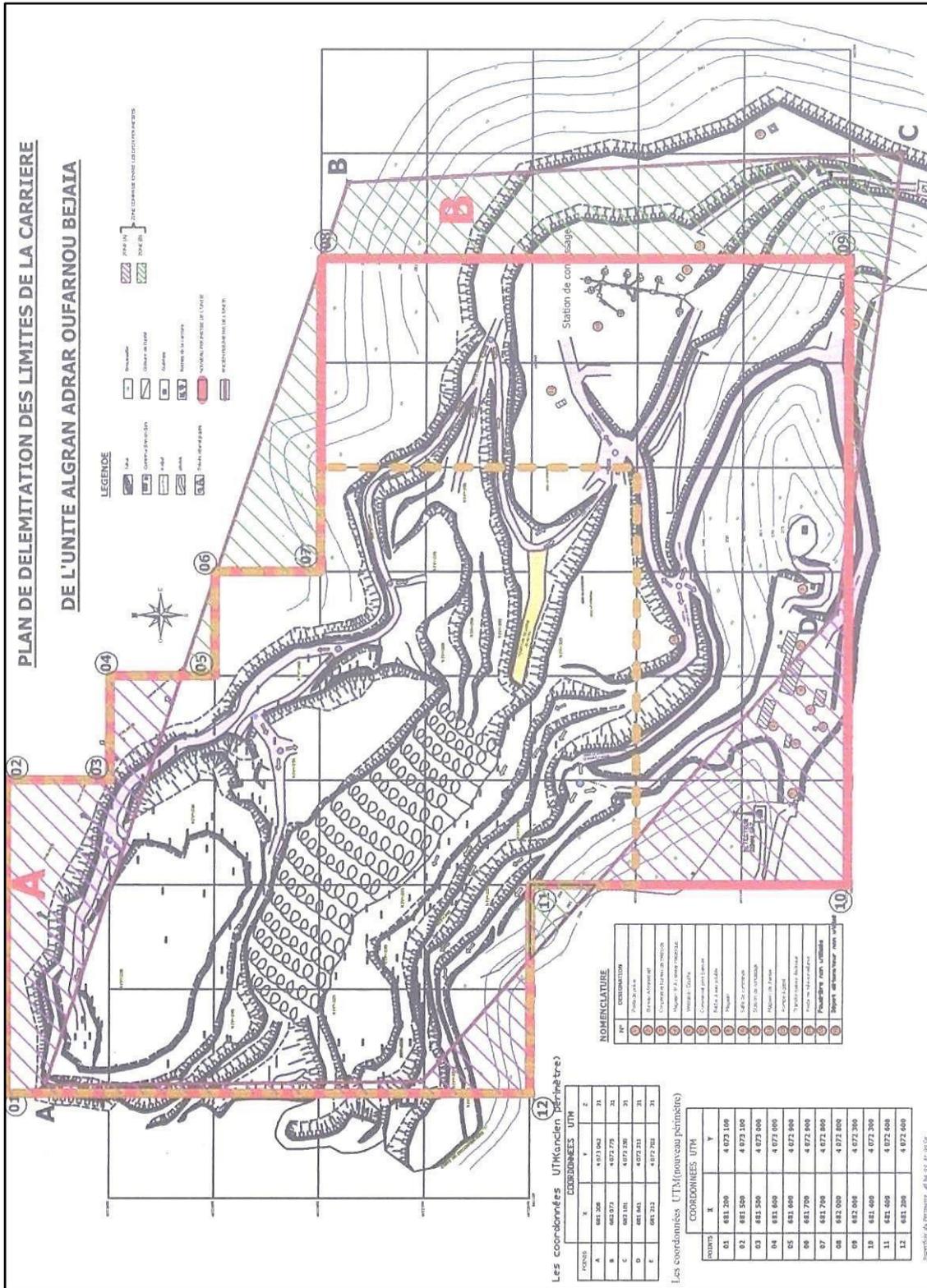


Figure II.4 : Levé topographique de la carrière d'Adrar-Ouferrou.

CHAPITRE II : INTRODUCTION SUR LES LIEUX

Le tableau suivant résume les réserves géologiques et exploitables :

Tableau II.2 : Les réserves Géologique et Exploitables.

Niveau des gradins	Réserves	
	Géologiques (m ³)	Exploitables (m ³)
340	8 182	3 670
330	49 392	23 280
320	162 384	107 088
310	270 336	190 560
300	314 400	210 096
290	358 272	229 440
280	401 184	247 824
270	441 456	263 520
260	482 208	280 128
250	526 224	299 424
240	646 128	394 704
230	681 754	391 834
220	798 432	493 344
210	987 360	662 640
Total	6127 712	3797 552

CHAPITRE II : INTRODUCTION SUR LES LIEUX

II.8. Mode d'exploitation

Le gisement du calcaire d'Adrar-Oufernou est rapporté à ceux du 1^{er} groupe avec une structure homogène, son exploitation à ciel ouvert est menée selon 15 gradins étagés de 10 à 12m de hauteur avec une inclinaison de 80 à 85°, des bermes de sécurité environ de 6 m et des plateformes de travail de 8 à 30m. [18]

Vu les caractéristiques complexes du gisement (zones tectonisées, phénomène karstique développé) et les volumes des argiles existant, cette opération reste d'une extrême importance. Elle se réalise par la poussée et le raclage par le bulldozer puis les travaux de forage et du tir puis chargement et transport. [18]

Donc l'opération d'extraction du minerai se réalise par deux étapes :

- Le développement : qui sert au dégagement des stériles et la préparation des zones et des fronts pour l'extraction du minerai.
- L'extraction : qui sert à l'abattage du minerai par les travaux de forage et du tir. [18]

II.8.1. Les travaux préparatoires

Les travaux préparatoires (comme est expliqué précédemment) servent au dégagement des stériles et la préparation des zones et des fronts pour l'extraction du minerai, et cela se fait par moyen purement mécanique en utilisant le bulldozer pour la préparation, et parfois par la chargeuse et les camions pour l'évacuation des stériles vers les zones de déchargement. [18]

II.8.2. Les travaux de forage et du tir

Les travaux de forage et du tir se font parallèlement au développement, premièrement par la foration des trous de mines puis le chargement par explosifs puis le tir.

La foration s'effectue par les moyens suivants : Sondeuse et groupe de foration (chariot Plus compresseur). [18]

La vitesse de foration moyenne mesurée sur un trou de 12 m est de : 0.32 m / mn pour la sondeuse hydraulique 0,16 m /mn pour le groupe de foration.

CHAPITRE II : INTRODUCTION SUR LES LIEUX

Vu les effets séismiques dus aux tirs sur les constructions des riverains, le tir se fait sur 100 trous dans une seule volée ou plus pour diminuer l'intensité des explosifs.

Le tableau suivant résume les paramètres de forage et de tir :

Tableau II.3 : les paramètres techniques des travaux du tir.

Désignation	Unités	Symboles	Valeurs
Diamètre	(mm)	φ	89
Hauteur du gradin	(m)	Hg	11
Inclinaison des trous de mine	($^{\circ}$)	A	80 à 85
Profondeur de trou de mine	(m)	L	11.80
Ligne de moindre résistance	(m)	W	2.5
Distance entre les trous	(m)	A	3
Distance entre les rangées	(m)	B	2.8
Sur-foration (excès de forage)	(m)	S f	0.80
Hauteur de bourrage	(m)	H b	03
Charge d'un trou	(kg)	Q t	40
Nombre de trous total	-	NT	100
Type d'amorçage	-	Électrique	-----
Quantité d'explosif ANFOMIL	(kg)	Vrac	1800
Quantité d'explosif MARMANIT	(kg)	φ 65	2200
Cordeau détonant	(20g)	MI	1800
Consommation spécifique moyenne	(g/t)	Q s	156

CHAPITRE II : INTRODUCTION SUR LES LIEUX

II.8.3. Le chargement

Le chargement du tout-venant se fait avec la pelle excavatrice du type CATERPILLAR 345D sur chenilles de capacité de godet de 3.

Le cycle de travail d'une pelle excavatrice comprend quatre opérations essentielles :

- Pénétration du godet dans le tas du tout-venant ;
- 1^{ère} Rotation axiale vers le lieu de déversement ;
- Déchargement du godet ;
- 2^{ème} rotation axiale à la position initiale.

Les moyens de chargement répondent positivement aux besoins de la production. Le calcul sera de la même. [18]

II.8.4. Le transport

Le transport est un processus d'une importance capitale dans les travaux miniers, car il assure la liaison entre le lieu d'extraction de la matière première et le lieu de la transformation, mais son choix est basé sur des calculs selon les conditions d'utilisation et le lieu de travail.

Le transport de tout-venant au niveau de la carrière est assuré par les camions-carrière avec des capacités de bennes différentes :

- 01 Terex TA400 de 32 tonnes ;
- 02 Dumpers de 28 tonnes ;
- 01 Dumper de 25 tonnes ;
- 01 Dumper de 22 tonnes. [18]

II.8.5. Station de traitement mécanique

Les capacités théoriques de traitement de la station de préparation mécanique sont de l'ordre de 200 tonnes/heure. Elles ont été installées pour l'essentiel durant le projet 1978 avant de subir au fur et à mesure d'évolution du marché local des granulats des modifications structurelles importantes.

Les capacités théoriques des installations fixes sont comme suite :

- Concasseur à mâchoire (primaire) : 200 t/h ;
- Percuteur ARJA (secondaire) : 200 t/h ;
- Concasseur ALSTHOM (tertiaire) : 54 t/h ;

CHAPITRE II : INTRODUCTION SUR LES LIEUX

-Broyeur KRUPP (tertiaire) : 50 t/h. [18]

II.8.6. Régimes de travail et productivités

Le tableau suivant résume les régimes de travail et les productivités :

Tableau II.4 : régime de travail et productivité.

Régime de travail général	Nombre de jours ouvrables par an	230 jours
	Nombre de jours ouvrables par semaine	6 à 7 jours
	Nombre de postes par jour	2 postes
Régime de travail pour lestravaux de forage et de tir	durée d'un poste	7 heures
	Nombre de postes par jour	2 postes
	Durée d'un poste	7 heures
	Temps effectif pendant le poste.	5 heures 25 min
Régime de travail pour le chargement et transport	Nombre de postes par jour	2 postes
	Durée d'un poste	7 heures
	Le temps effectif pendant le poste.	4 heures
La production	Production annuelle	600000 tonnes
	Production mensuelle	54545.45 tonnes
	Production journalière	1304.35 tonnes
	Production horaires	93.16 tonnes

CHAPITRE II : INTRODUCTION SUR LES LIEUX

II.9. CONCLUSION

La carrière d'Adrar-Oufernou représente une richesse pour la ville de Bejaia et on a eu l'occasion de mener notre étude comparative, l'échantillon utilisé est extrait d'un gradin qui a été abattu. Après la récupération de l'échantillon on s'est rendu au laboratoire afin de commencer notre étude.

CHAPITRE III: TRAVAIL EXPÉRIMENTAL

III.1. Introduction

Afin de comparer et voir qui est la méthode la plus précise lors de l'analyse granulométrique on s'est rendu à la carrière d'Adrar-oufernou, et après avoir assisté à un tir on a prélevé deux échantillons sur lesquels notre travail se basera

Comme mentionné dans la base bibliographique, notre étude comparative est basée sur deux méthodes : la méthode traditionnel "Tamisage" et la méthode numérique par analyse d'image on utilise WIPFRAG.



Figure III.1 : Image du gradin avant le tir Image du gradin prise avant le tir.



Figure III.2 : Image du gradin prise après le tir.

CHAPITRE III: TRAVAIL EXPÉRIMENTAL

Avant de commencer le tamisage de nos échantillons et l'analyse des images. On les a pesés :

Échantillon A = 49.02kg ;

Échantillon B = 44.165kg.

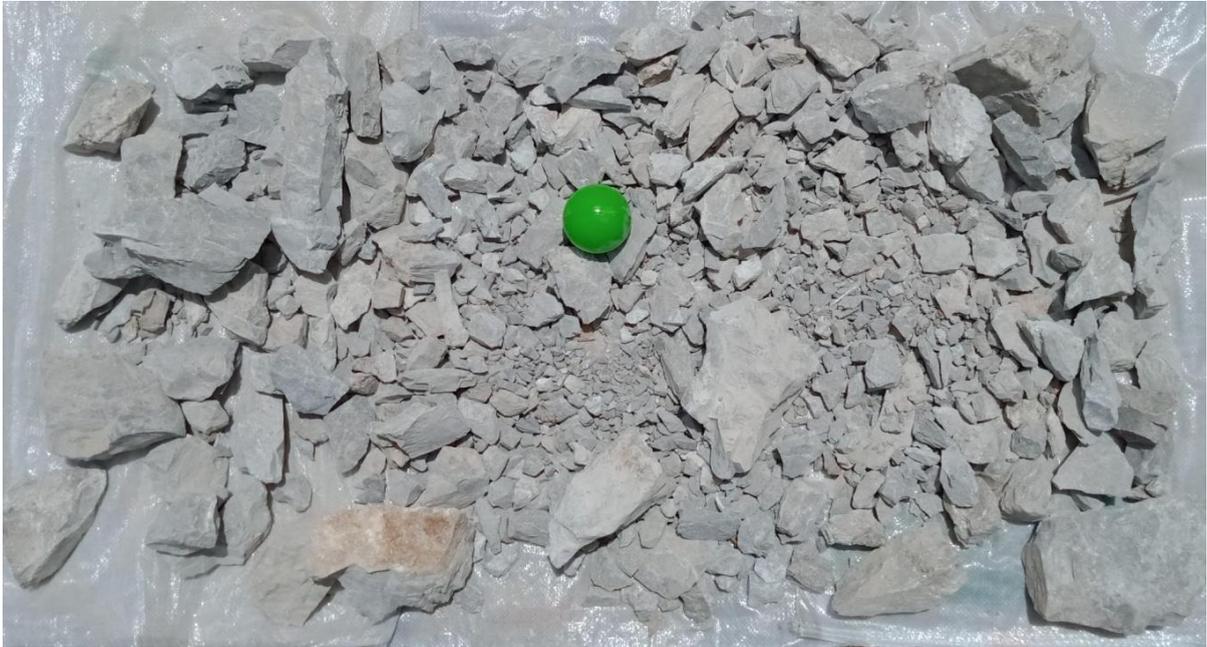


Figure III.3 : Photo d'échantillon A.



Figure III.4: Photo d'échantillon B.

CHAPITRE III: TRAVAIL EXPÉRIMENTAL

III.2. Manipulation

III.2.1. Echantillon A (Tamisage)

Pour procéder à tamiser l'échantillon A les étapes à suivre sont :

D'abord on a classifié nos tamis par ordre du plus grand (80mm) jusqu'au plus petit(63 μ m) et pour cela on a procédé à notre tamisage par série.



Figure III.5 : Photo de tamis le plus grand dans le laboratoire d'Adrar-Oufernou (80 mm).



Figure III.6 : photo du tamis le plus petit dans le laboratoire d'Adrar-Oufernou (63 μ m).

CHAPITRE III: TRAVAIL EXPÉRIMENTAL

On a procédé au tamisage par série pour faciliter notre tâche de travail et éviter de perdre du temps et aussi pour bien assurer notre analyse.

Ensuite on verse une partie de l'échantillon pour le tamiser. Comme le laboratoire ne dispose pas de tamis vibrant on s'est mis à faire bouger la série des tamis de nous-même pour pouvoir réaliser notre analyse.

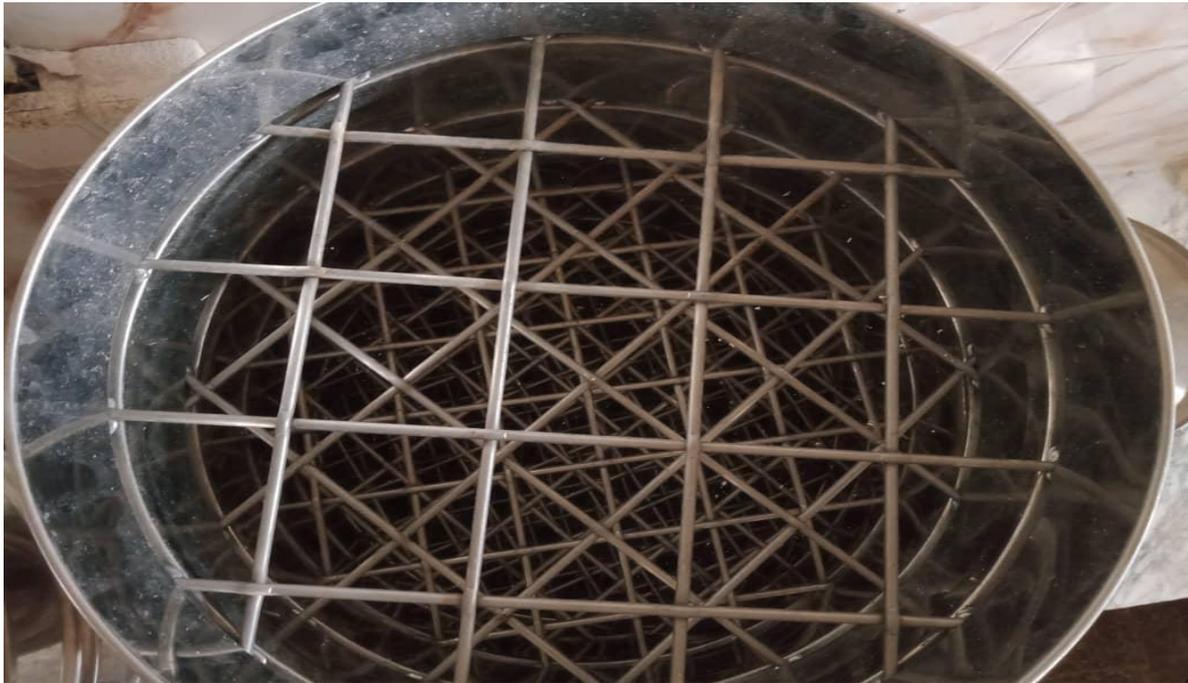


Figure III.7 : Photo prise de la première série (80 mm jusqu'à 31.5mm).

On enchaîne le tamisage et récupération de l'échantillon et afin de documenter les résultats obtenus de notre tamisage on a pris des photo à la fin de notre travail pour classifier l'échantillon à partir du diamètre.

CHAPITRE III: TRAVAIL EXPÉRIMENTAL



Figure III.8: Classification obtenu (80 mm - 12.5mm).



Figure III.9 : Classification obtenu (10 mm - 3.15mm).

CHAPITRE III: TRAVAIL EXPÉRIMENTAL

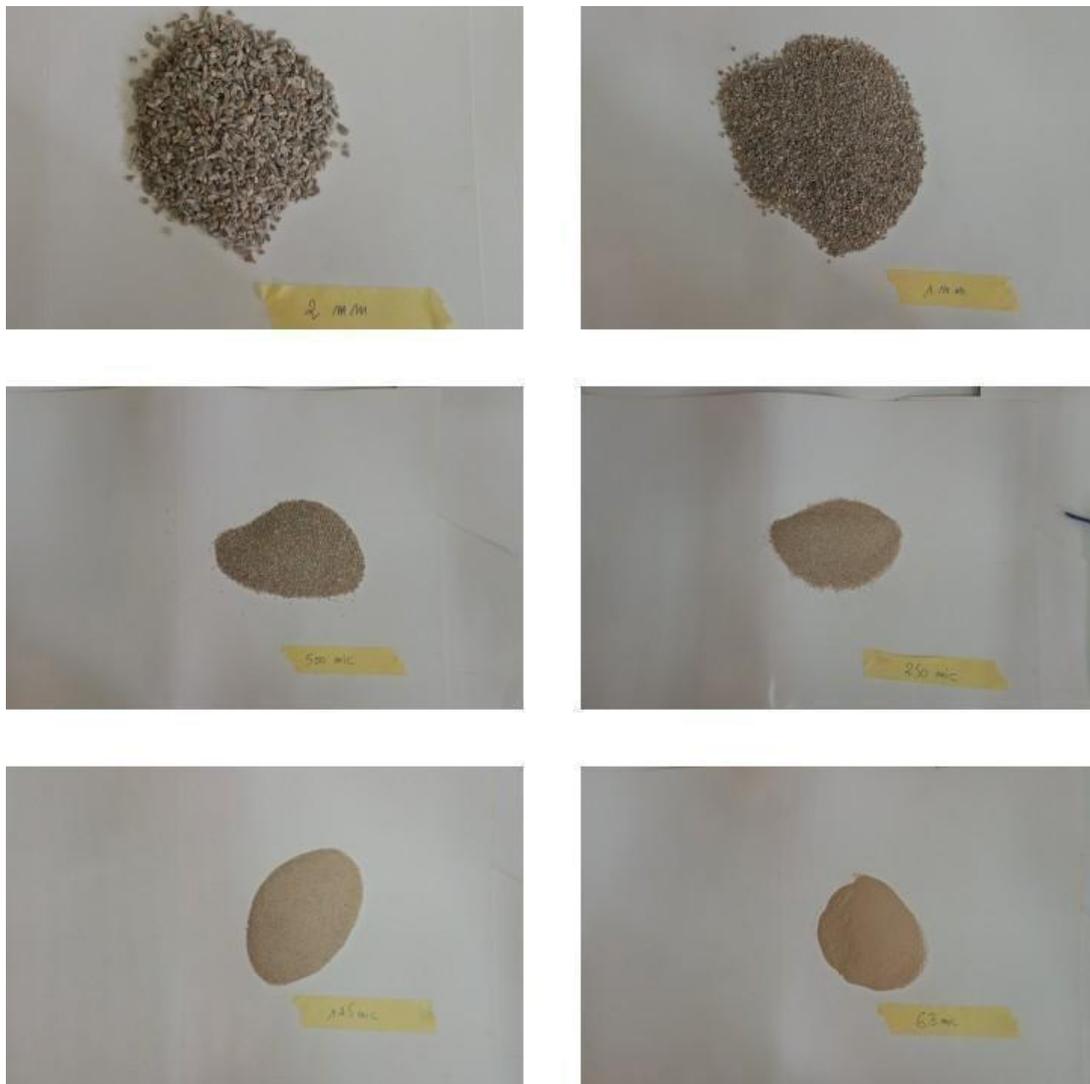


Figure III.10 : classification obtenu (2 mm - 63 μ m).

Après tamisage de l'échantillon A voici les résultats obtenus .

CHAPITRE III: TRAVAIL EXPÉRIMENTAL

Tableau III.1 : résultat d'analyse granulométrique de l'échantillon A.

ouverture des tamis (mm)	Mass refus (Kg)	Mass refus cumulée (Kg)	% Refus	% de tamisât
140	3.548	3.548	7.23	92.77
130	6.456	10.004	20.4	79.6
100	1.431	11.435	23.32	76.68
80	4.615	16.05	32.74	67.26
63	3.752	19.802	40.39	59.61
50	8.519	28.321	57.77	42.23
40	5.475	33.796	68.93	31.07
31.5	3.216	37.012	75.5	24.5
25	3.621	40.633	82.89	17.11
20	2.441	43.074	87.87	12.13
16	1.746	44.82	91.43	8.57
12.5	1.365	46.185	94.21	5.97
10	0.9	47.085	96.05	3.95
8	0.527	47.612	97.12	2.88
6.3	0.389	48.001	97.92	2.08
5	0.254	48.255	98.43	1.57
4	0.148	48.403	98.74	1.26
3.15	0.107	48.51	98.95	1.05
2	0.112	48.622	99.18	0.82
1	0.075	48.697	99.34	0.66
500 µm	0.04	48.737	99.42	0.58
250 µm	0.025	48.762	99.47	0.53
125 µm	0.02	48.782	99.51	0.49
63 µm	0.019	48.801	99.55	0.45
Fond Du Tamis	0.055	48.856	99.66	0.34

$\% \text{Rufus} = (\text{Mass Rufus} \times \text{Mass total}) / 100;$

$\% \text{tamisât} = 100\% - \% \text{Rufus}.$

CHAPITRE III: TRAVAIL EXPÉRIMENTAL

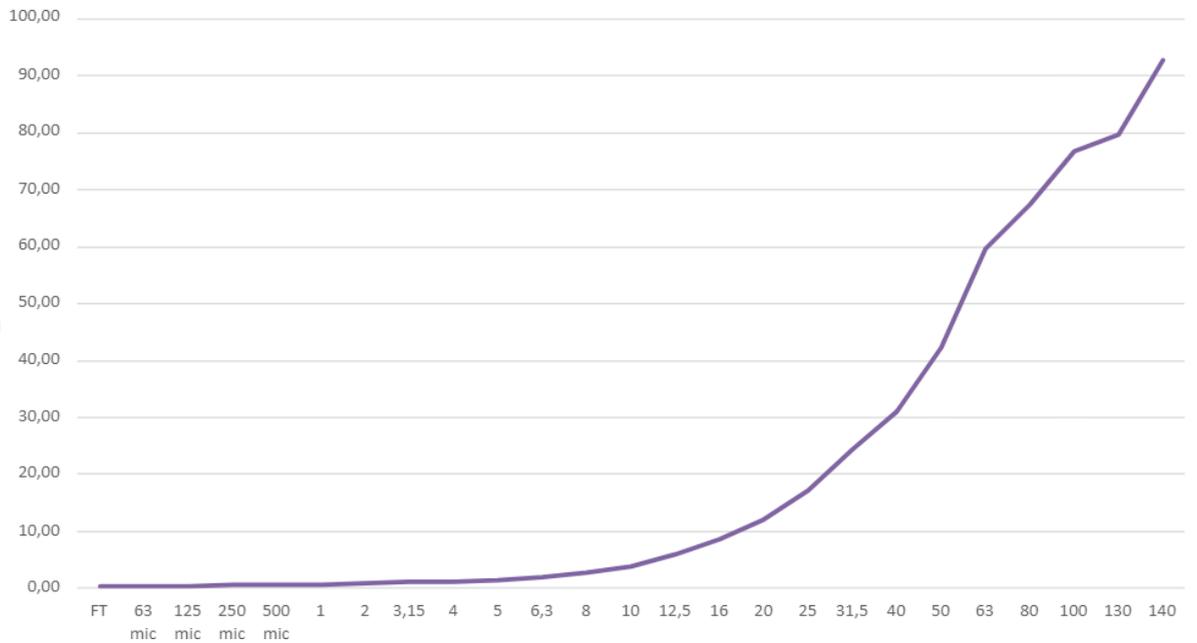


Figure III.11 : Courbe d’analyse granulométrique de l’échantillon A(% tamisât cumules).

III.2.2. Analyse d’image par “WIPFRAG”

Après la prise de photo de notre échantillon, on a introduit notre image dans le logiciel (WIPFRAG) et on suit certaine étape pour mettre tout en place afin d’avoir les résultats.

Étape 1: introduire la photo dans WIPFRAG.



Figure III.12 : introduction de l’image de l’échantillon A.

CHAPITRE III: TRAVAIL EXPÉRIMENTAL

Étape 2 : définir l'échelle sur lequel l'analyse se basera. Pour notre échelle on a posé une balle (La balle verte au milieu). Le diamètre de la balle est de 7 cm. donc en cliquant sur la règle qui s'affiche à la droite on introduit la valeur (7 cm) puis on sélectionne la balle de d'une extrémité jusqu'à l'autre afin de sélectionner le diamètre de la balle.

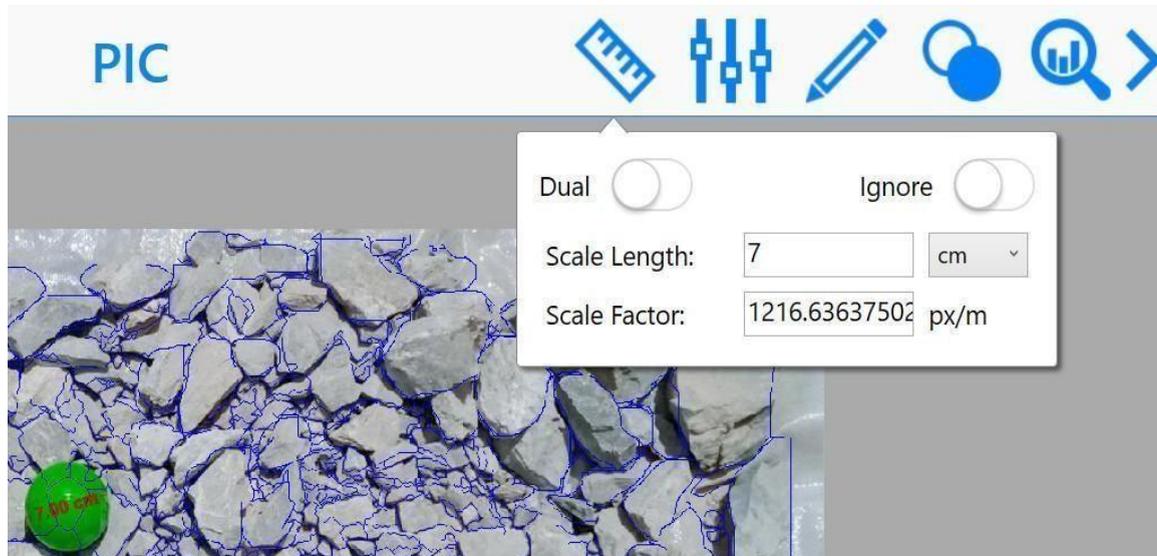


Figure III.13: Étape 2 introduire l'échelle.

Étape 3 : correction manuel de la sélection faite par le logiciel.

Lors de l'introduction de l'image dans le logiciel, ce dernier détermine et encercle les roches pour les indiquer et la correction manuelle sert à corriger les fautes commises par le logiciel lors de la sélection automatique des roches.



Figure III.14 : étape 3 correction manuelle de la sélection faite par WIPFRAG.

L'étape suivante est d'assurer que notre segmentation soit correcte. Donc en cliquant

CHAPITRE III: TRAVAIL EXPÉRIMENTAL

sur le boutons noir avec la croix rouge on élimine tout ce que ne fait pas partie de notre échantillon. en effet la surface de sélection en noir (Voir figure III.15) n'est d'autre qu'une bâche en plastique pour bien prendre notre photo et ramasser notre échantillon après.

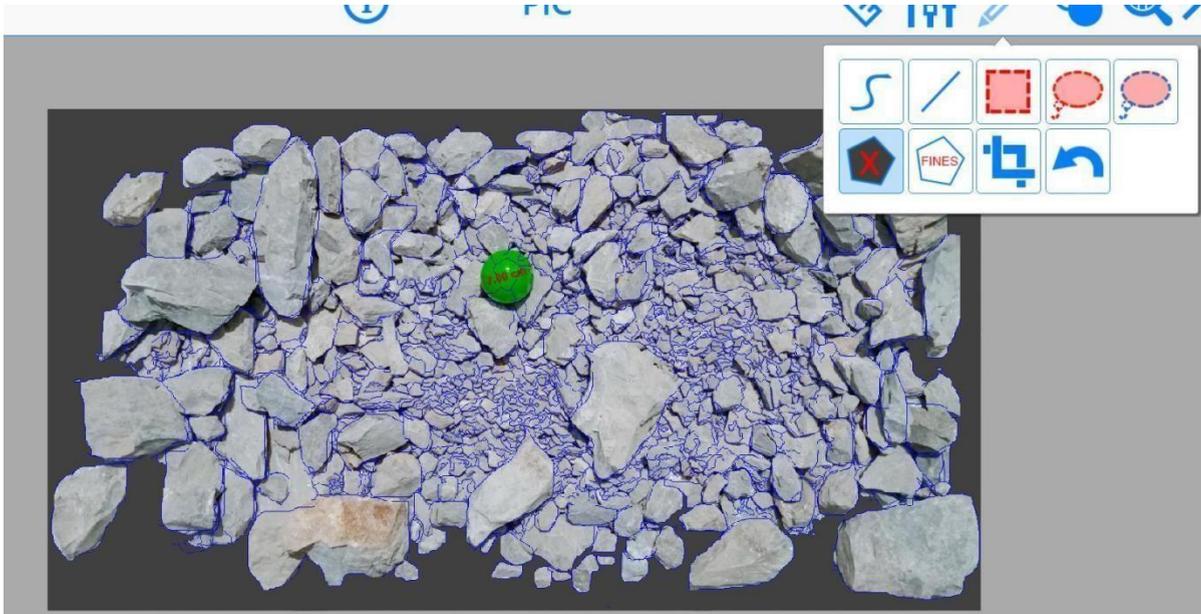


Figure III.15: sélection complète de l'échantillon avant de commencer l'analyse.

Enfin pour terminer on clique sur le dernier bouton à droite pour faire afficher les résultats obtenu après l'analyse de l'image dans WIPFRAG:

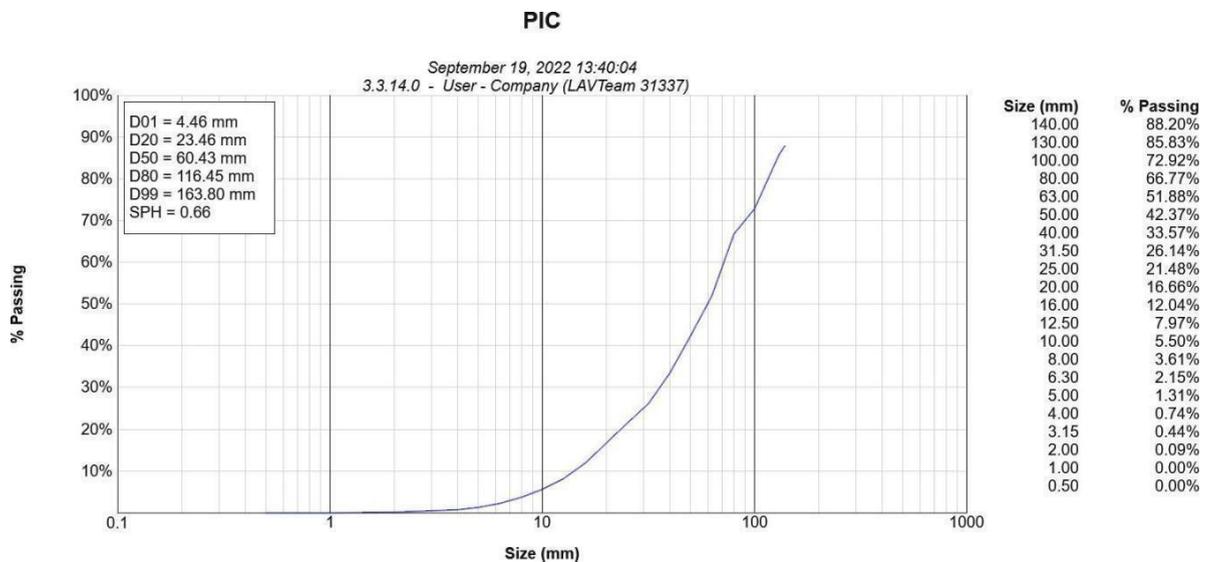


Figure III.16 : Courbe des résultats de l'analyse de l'échantillon A.

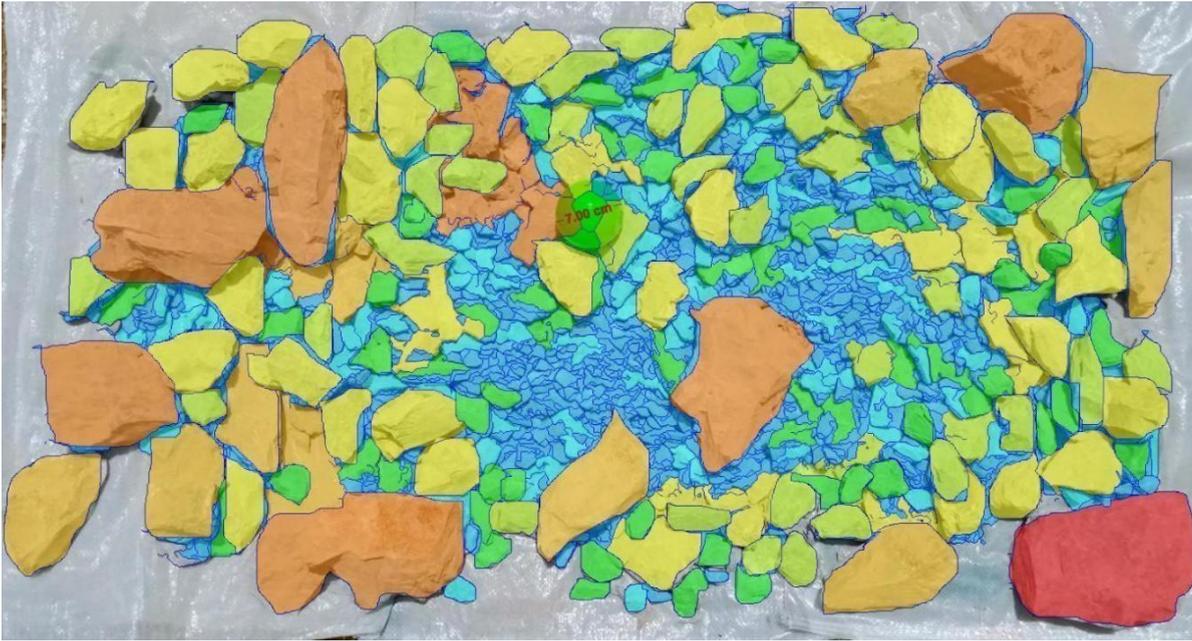


Figure III.17 : Photo obtenu après l'analyse en utilisant WIPFRAG.

III.3. Comparaison des résultats pour l'échantillon A

Commentaire sur les résultats obtenus après avoir examiné et analysé notre échantillon avec les deux méthodes.

Notre comparaison des résultats obtenus sera divisée en 3 parties :

D'abord on compare les résultats d'analyse des parties fines (Sable) puis les moyens (Gravillons) et pour terminer les cailloux.

III.3.1. Comparaison des résultats sur la partie des fins (63 μm - 5 mm)

On remarque que les résultats obtenus sont différents (Voir tableau III.2), quand on a tamisé notre échantillon on a pu avoir des pourcentages exacts des parties fines mais par contre lors de l'analyse de l'image, WIPFRAG n'a pas pu détecter les parties fines. Le tamisage nous a donc permis d'avoir des résultats jusqu'à 63 μm mais WIPFRAG détecte les parties fines à partir de 1 mm.

Tableau III.2 : comparaison des résultats du tamisât avec les deux méthodes.

Ouvertures des tamis	% tamisât cumulé avec tamisage	% tamisât cumulé avec WIPFRAG
5 mm	1.57	1.39

CHAPITRE III: TRAVAIL EXPÉRIMENTAL

4 mm	1.26	0.86
3.15 mm	1.05	0.51
2 mm	0.82	0.21
1 mm	0.66	/
500 µm	0.58	/
250 µm	0.53	/
125 µm	0.49	/
63 µm	0.45	/

III.3.2. Comparaison des résultats sur la partie des gravillons (6.3 mm - 20 mm)

On remarque que pour les gravillons le % du tamisât avec les deux méthodes est presque similaire avec des différences mineures par exemple pour le diamètre 6.3mm après le tamisage et analyse d'image avec WIPFRAG les résultats sont respectivement 2.08% et 2.15 % et pour 20 mm les résultats légèrement différents avec un différent de 4% (Voir tableau III.3).

Donc les résultats obtenus sont plus proches que ceux des parties fines.

Tableau III.3 : Comparaison des résultats obtenu pour la partie des gravillons.

Ouverture des tamis	% tamisât cumulé avec tamisage	% tamisât cumulé avec WIPFRAG
6.3 mm	2.08	2.15
8 mm	2.88	3.61
10 mm	3.95	5.50
12.5 mm	5.97	7.97
16 mm	8.57	12.04
20mm	12.13	16.66

CHAPITRE III: TRAVAIL EXPÉRIMENTAL

III.3.3. Comparaison des résultats sur la partie des cailloux (25 mm - 140 mm)

On remarque que pour la partie des cailloux les résultats sont presque identique sur quelque diamètre (Voir tableau III.4) par exemple le diamètre 50mm le résultat du tamisât avec tamisage et WIPFRAG est presque le même [42.23%(tamisage)] [42.37% (WIPFRAG)].

Cependant les résultats restent différents.

Tableau III.4 : Comparaison des résultats obtenu pour la partie des cailloux.

ouvertures des tamis	% tamisât cumulé avec tamisage	% tamisât cumulé avec WIPFRAG
25 mm	17.11	21.48
31.5 mm	24.5	26.14
40 mm	31.07	33.57
50 mm	42.23	42.37
63 mm	59.61	51.88
80 mm	67.26	66.77
100 mm	76.68	72.92
130 mm	79.6	85.83
140 mm	92.77	88.20

III.3.4. ECHANTILLON B (Tamisage)

Pour procéder à analyser l'échantillon B, on suit les mêmes étapes qu'on a prises pour l'échantillon A.

CHAPITRE III: TRAVAIL EXPÉRIMENTAL



Figure III.18: classification obtenu (80 mm - 12.5mm).

CHAPITRE III: TRAVAIL EXPÉRIMENTAL



Figure III.19: classification obtenu (10mm à 3.15mm).



Figure III.20: classification obtenu (2 mm à 63 μ m).

Après tamisage de l'échantillon A voici les résultats obtenus :

CHAPITRE III: TRAVAIL EXPÉRIMENTAL

Tableau III.5 : résultats d'analyse granulométrique de l'échantillon B.

Ouverture des tamis	Mass refus En kg	Mass refus Cumules (Ri) en kg	% refus Cumules	% de tamisât Cumules
130	1.450	1.45	3.28	96.72
120	1.643	3.093	7	93
100	7.453	10.546	23.87	76.13
90	2.011	12.557	28.43	71.57
80	2.158	14.715	33.31	66.69
63	3.996	18.711	42.63	57.37
50	6.65	25.361	57.42	42.58
40	3.315	28.676	64.92	35.08
31.5	4.101	32.777	74.21	25.49
25	3.552	36.329	82.25	17.75
20	2.42	38.749	87.73	12.27
16	1.9	40.649	92.03	7.97
12.5	1.86	42.509	96.25	3.75
10	0.497	43.006	97.37	2.63
8	0.241	43.247	97.92	2.08
6.3	0.147	43.394	98.25	1.75
5	0.089	43.483	98.45	1.55
4	0.067	43.55	98.6	1.4
3.15	0.048	43.598	98.71	1.29
2	0.065	43.663	98.86	1.14
1	0.055	43.718	98.98	1.02
500 µm	0.029	43.747	99.05	0.95
250 µm	0.032	43.779	99.12	0.88
125 µm	0.024	43.803	99.18	0.82
63 µm	0.019	43.822	99.22	0.78
FT	0.023	43.845	99.27	0.73
	43.845			

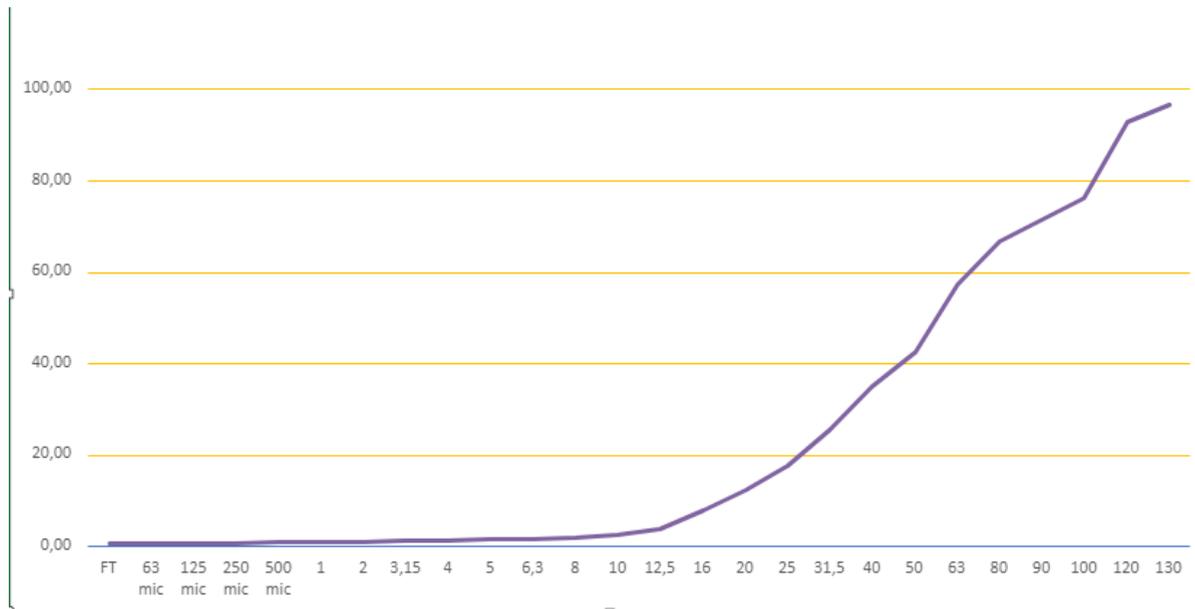


Figure III.21 : courbe d'analyse granulométrique de l'échantillon B (% tamisât cumules).

III.3.5. WIPFRAG

En suivant les mêmes étapes utiliser lors de l'analyse de la photo de l'échantillon A voici les résultats obtenus :

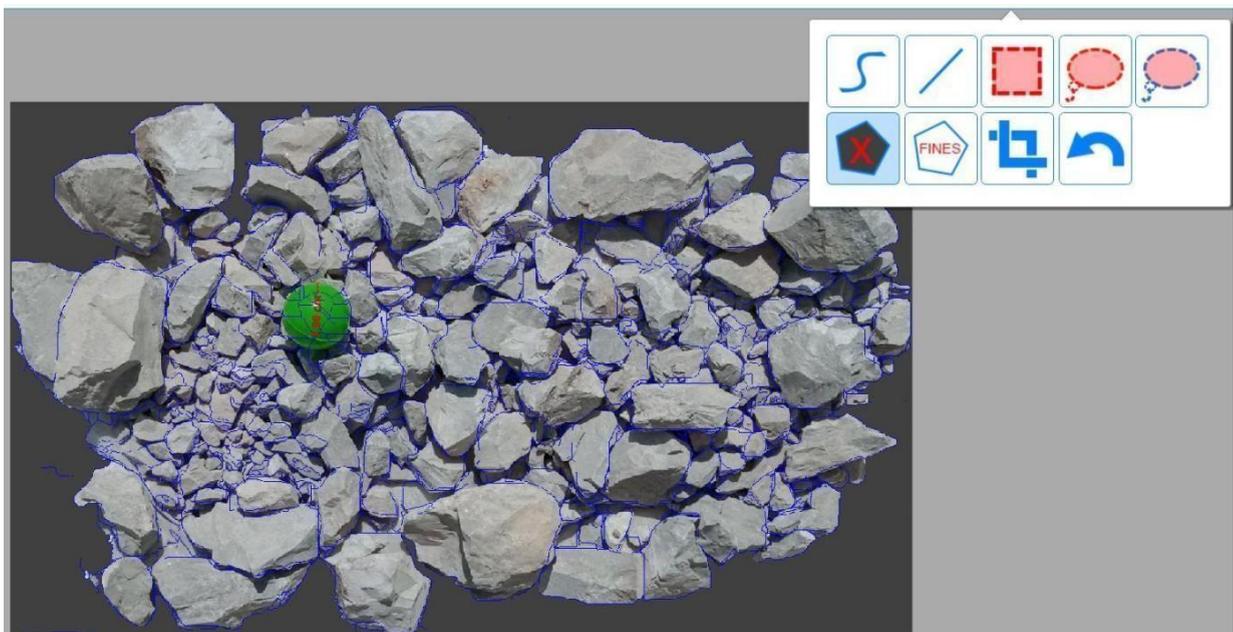


Figure III.22: limitation de l'image et suppression des partie non relié à notre échantillon.

CHAPITRE III: TRAVAIL EXPÉRIMENTAL

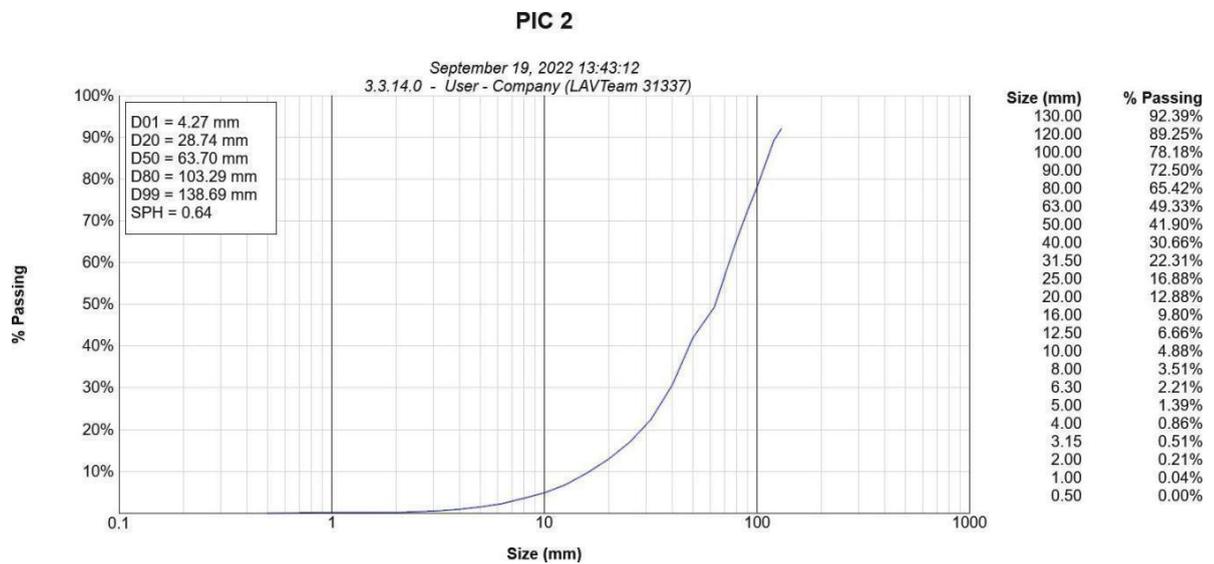


Figure III.23: Courbe des résultats de l'analyse de l'échantillon B.

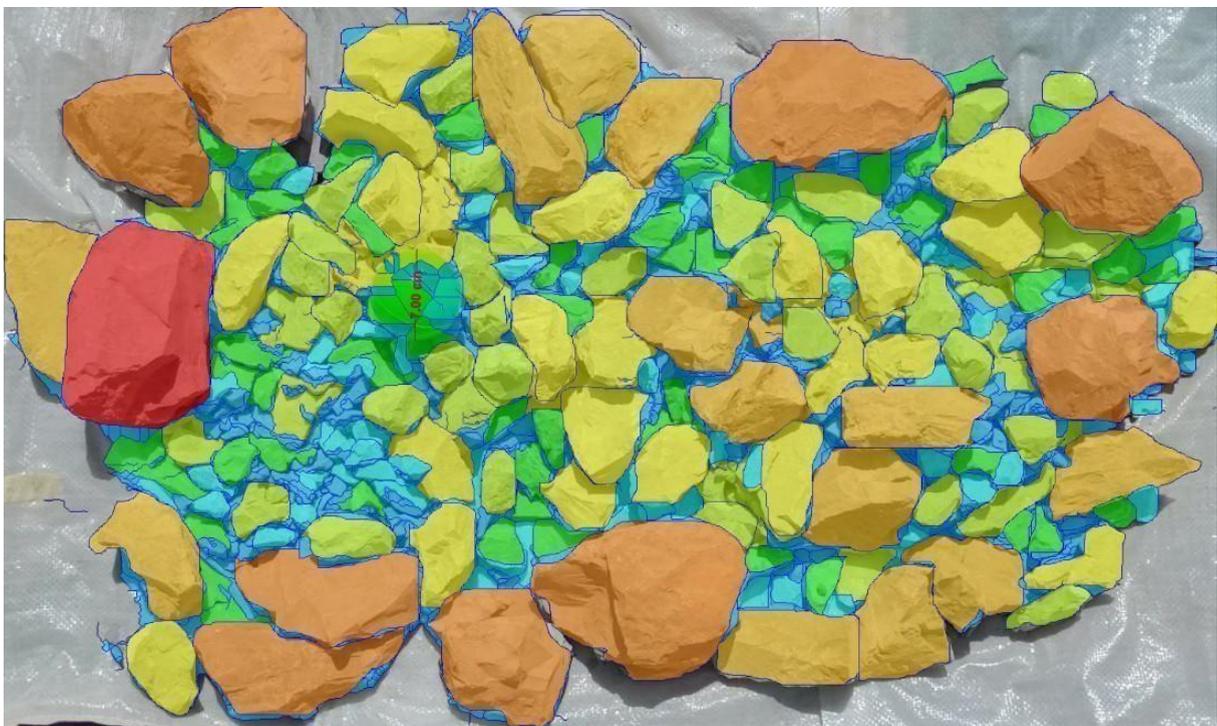


Figure III.24 : Photo obtenu après l'analyse en utilisant WIPFRAG.

III.4. Comparaison des résultats pour l'échantillon B

La comparaison des résultats obtenus pour le deuxième échantillon sont notés dans le tableau suivant

CHAPITRE III: TRAVAIL EXPÉRIMENTAL

Tableau III.6 : tableau comparative des résultats de tamisât avec les deux méthodes (Echantillon B).

classe granulaire	diamètre de tamis	% tamisât cumulé avec tamisage	% tamisât cumulé avec WIPFRAG
Cailloux	130	96.72	92.39
	120	93	89.25
	100	76.13	78.18
	90	71.57	72.50
	80	66.69	65.42
	63	57.37	49.33
	50	42.58	41.60
	40	35.08	30.66
	31.5	25.49	22.31
	25	17.75	16.88
Gravillons	20	12.27	12.88
	16	7.97	9.80
	12.5	3.75	6.66
	10	2.63	4.88
	8	2.08	3.51
	6.3	1.75	2.21
	5	1.55	1.39
Sables	4	1.4	0.86
	3.15	1.29	0.51
	2	1.14	0.21
	1	1.02	0.04
	500 µm	0.95	/
	250 µm	0.88	/
	125 µm	0.82	/
	63 µm	0.78	/

III.5. Conclusion

Les résultats de notre travail indiquent que la méthode traditionnelle (Tamisage) est toujours la méthode la plus précise afin de faire une analyse granulométrique correcte et cela parce que le tamisage nous permet de faire une analyse complète mais l'analyse d'image à rencontrer des problèmes qui par conséquent rend les résultats obtenus incomplet. Alors qu'avec le tamisage comprend toutes les classes granulométriques que notre échantillon dispose. D'autre part l'analyse d'image par WIPFRAG nous a permis de faire une analyse seulement sur les classes de cailloux et gravillons alors que la classe des sables n'a pas pu être détectée par le logiciel.

Lors de la manipulation avec WIPFRAG on a remarqué que ce dernier a des inconvénients et des facteurs extérieurs et même dans le logiciel qui empêche une bonne analyse granulométrique.

Les inconvénients et les facteurs qui influent l'analyse d'image par WIPFRAG :

- La qualité de l'image ;
- La luminosité de l'image ;
- Angle de prise de l'image ;
- Surestimation des roches fragmenter dans la classe des cailloux ;
- Le logiciel ne détecte pas les parties fines ;
- Le logiciel nécessite toujours une main d'œuvre afin de faire segmentation correct ;
- L'analyse d'image peut seulement traiter ce qui peut être vue avec l'œil ;
- Le logiciel d'analyse d'image ne peut pas tenir compte de la roche interne, ainsi les stratégies de prélèvement devraient être soigneusement considéré.

Suivant les résultats obtenus on peut donc dire que le logiciel WIPFRAG a des exigences à suivre afin de pouvoir faire une analyse granulométrique complète et correcte.

CONCLUSION GÉNÉRAL

L'analyse granulométrique joue un rôle extrêmement important et pour cela l'homme a toujours essayé de trouver des nouvelles méthodes qui facilitent cette tâche afin d'accélérer cette étape et gagner du temps et aussi de penser moins. Le développement technologique et les essais ont donné naissance à la méthode numérique. Cette dernière se base sur l'analyse d'image. Le logiciel WIPFRAG nous permet de faire une analyse en analysant des photos prises du tas ou de l'échantillon.

Donc des résultats instantanés rapides et moins coûteux. Pour démontrer qui est la méthode la plus efficace on s'est rendu au laboratoire d'Adrar-Oufernou pour faire une étude comparative.

Notre travail mené au sein du laboratoire de la carrière d'Adrar-Oufernou nous a permis de constater que le tamisage est la meilleure méthode pour atteindre une analyse complète bien que la méthode numérique est rapide est moins coûteuse et demande pas beaucoup d'effort pour l'exécuter. Certain inconvénient et facteur rend les résultats obtenus avec ce dernier pas précis ou bien incomplet.

On peut dire que même avec le développement technologique la méthode traditionnelle est toujours la méthode la plus précise est plus fiable pour faire une analyse granulométrique complète.

Le bon fonctionnement d'une mine ou carrière nécessite que toutes les opérations mises en place se déroulent en ordre afin d'assurer les résultats du plan de travail mis en place pour atteindre les objectifs fixés pour l'année.

LISTE DES TABLEAUX

LISTES DES TABLEAUX

I. CHAPITRE 1

Tableau I.1 : Facteur de la masse rocheuse en fonction de la dureté.

II. CHAPITRE 2

Tableau II.1 : les coordonnées de gisement dans le système UTM.

Tableau II.2 : Les réserves géologiques & Exploitables.

Tableau II.3 : les paramètres techniques des travaux du tir.

Tableau II.4 : régime de travail et productivité.

III. CHAPITRE 3

Tableau III.1 : résultat d'analyse granulométrique de l'échantillon A.

Tableau III.2 : comparaison des résultats du tamisât avec les deux méthodes.

Tableau III.3: Comparaison des résultats obtenu pour la partie des gravillons.

Tableau III.4 : Comparaison des résultats obtenu pour la partie des cailloux.

Tableau III.5: résultats d'analyse granulométrique de l'échantillon B.

Tableau III.6: tableau comparative des résultats de tamisât avec les deux méthodes (Echantillon B).

LISTE DES FIGURES

LISTES DES FIGURES

I. CHAPITRE 1

Figure I.1 : Exemple de distribution granulométrique théorique (Fonction de Rosin-Rammler).

Figure I.2 : Concept de classification granulométrique.

Figure I.3 : Étape de mesure de la distribution des tailles par analyse d'images.

Figure I.4 : Traitement 2D d'image avec le logiciel FRAGSCAN.

Figure I.5 : (A) Images initiale, (B) Problèmes d'extraction des contours : fusion des régions de fines et sur-segmentation des fragments.

II. CHAPITRE 2

Figure II.1 : Situation géographique de la carrière d'Adrar-Oufarnou.

Figure II.2 : la lithostratigraphie du gisement.

Figure II.3 : carte géologique N° 26 de Bejaia 1/50 000 ; B : coupe géologique NS.

Figure II.4 : Levé topographique de la carrière d'Adrar-Oufarnou.

III. CHAPITRE 3

Figure III.1 : Image du gradin avant le tir Image du gradin prise avant le tir.

Figure III.2 : Image du gradin prise après le tir.

Figure III.3 : Photo d'échantillon A.

Figure III.4 : Photo d'échantillon B.

Figure III.5 : Photo du tamis le plus grand dans le laboratoire d'adrar oufarnou (80mm).

Figure III.6 : photo du tamis le plus petit dans le laboratoire d'adrar oufarnou (63 µm).

Figure III.7 : Photo prise de la première série (80 mm jusqu'à 31.5mm).

Figure III.8: Classification obtenu (80 mm - 12.5mm).

LISTE DES FIGURES

Figure III.9 : Classification obtenu (10 mm - 3.15mm).

Figure III.10 : classification obtenu (2 mm - 63 μ m).

Figure III.11 : Courbe d'analyse granulométrique de l'échantillon A(% tamisât cumules).

Figure III.12 : introduction de l'image de l'échantillon A.

Figure III.13 : Étape 2 introduire l'échelle.

Figure III.14 : étape 3 correction manuelle de la sélection faite par WIPFRAG.

Figure III.15 : sélection complète de l'échantillon avant de commencer l'analyse.

Figure III.16 : Courbe des résultats de l'analyse de l'échantillon A.

Figure III.17 : Photo obtenu après l'analyse en utilisant WIPFRAG.

Figure III.18 : classification obtenu (80 mm - 12.5mm).

Figure III.19 : classification obtenu (10mm à 3.15mm).

Figure III.20 : classification obtenu (2 mm à 63 μ m).

Figure III.21 : courbe d'analyse granulométrique de l'échantillon B (% tamisât cumules).

Figure III.22 : limitation de l'image et suppression des parties non reliées à notre échantillon.

Figure III.23 : courbe des résultats de l'analyse de l'échantillon B.

Figure III.24 : Photo obtenu après l'analyse en utilisant WIPFRAG.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Tp mds N02 www.exoco-lmd.com/mecanique-des-sols-2/tp-mecanique-des-sols.
- [2] T.J. NAPIER-MUNN, S. MORRELL, R.D. MORRISON, and T. KOJOVIC. Mineral comminution circuits: Their operation and optimization. *Julius Kruttschnitt Mineral Research Center, Indooroopilly, Australia*, 1996.
- [3] S.A. RHOLL and S.G. GRANNES and M.S. STAGG. Photographic assessment of the fragmentation of rock quarry muckpiles. *4th International symp. on Rock Fragmentation by Blasting*, pages 501–505, 1993.
- [4] Souhail Outal, 2006, ‘Quantification par analyse d’images de la granulométrie des roches Fragmentées : Amélioration de l’extraction morphologique des surfaces, amélioration de la Reconstruction stéréologique’, Thèse pour obtenir le grade de Docteur de l’Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, Spécialité : Techniques et Economie de l’Exploitation du Sous-sol, Centre de Géosciences, Ecole des Mines de Paris.
- [5] Rosin P., Rammler E, 1933, the laws governing fineness of powdered coal. In *J. Inst. Fuel*, Volume 7 (31), pages 29-36.
- [6] Ouchterlony F, 2002, Influence of blasting on the size distribution and properties of muckpile fragments, a state-of-the-art review. Technical report, Swedish Blasting Research Centre (SWEBREC) - Lulea University of Technology, December 2002. MinFo Project P2000-10: Energioptimering vid netbrytning / Energy optimization in comminution.
- [7] Ouchterlony, 2005, The Swebrec function: linking fragmentation by blasting and crushing. In *Mining Technology*(Trans. Inst. Min. Metall. A), volume 114, pages A29-A44.
- [8] Ouchterlony Fragmentation characterization, 2010, the Swebrec function and its use in blast engineering. In *Proceedings of the ninth International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting*.
- [9] Cunningham C.V.B, 1983, The Kuz-Ram model for prediction of fragmentation from blasting. In *Proceedings of the first International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting*, pages 439-454.
- [10] Cunningham C.V.B, 1987, Fragmentation estimations and the Kuz-Ram model: four years on. In *Proceedings of the second International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting*, pages 475-487.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [11] Larbi Abdelghani, 2016, « L'influence des tirs à l'explosif sur la stabilité des terrains miniers, cas de la mine de Boukhadra (Tebessa) site BK II », Mémoire de fin d'études, Université Abderrahmane Mira de Bejaia.
- [12] Ash R.L, 1963, The mechanics of rock breakage Part II: Standards for blasting design. In *Pit and Quarry* 56(3), pages 118 -122.
- [13] Ouchterlony F, 2002, Influence of blasting on the size distribution and properties of muckpile fragments, a state-of-the-art review. Technical report, Swedish Blasting Research Centre (SWEBREC) - Lulea University of Technology, December 2002. MinFo Project P2000-10: Energioptimering vid netbrytning / Energy optimization in comminution.
- [14] Bhandari S, 1997, *Engineering Rock Blasting Operations*. A.A. Balkema.
- [15] U.S. Bureau of Reclamation, 2001, *Engineering Geology Field Manual*.
- [16] Jimeno C.L., Jimeno E.L., Ayala Carcedo F.J, 1995, *drilling and blasting of rocks*. Balkema.
- [17] N.H. MAERZ and W. ZHOU. Calibration of optical digital fragmentation measuring systems. *Fragblast 1999. Johannesburg, South African Institute of Mining and Metallurgy*, pages 125–131, 1999.
- [18] Extraite des documents interne de la carrière d'Adrar-Oufernou