

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU

FACULTE DU GENIE DE LA CONSTRUCTION
LABORATOIRE DE RECHERCHE GEOMATERIAUX, ENVIRONNEMENT, ET
AMENAGEMENT
(LGEA)
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL



MEMOIRE DE MASTER ACADEMIQUE

Spécialité : Génie Civil

Option : Géotechnique et Environnement

Présenter par :

Mr CHAFA Abdelmadjid

Thème :

***Evaluation du taux d'écrasement des grains
à l'essai Proctor par la notion de dimension fractale***

Soutenu devant le Jury composé de :

Mr HAMZA Ali, Maître de conférences à l'UMMTOPrésident
Mr MELBOUCI Bachir, Professeur à l'UMMTO.....Promoteur
Melle BOUBRIT Hassiba, Maître Assistante A à l'UMMTO.....Examinatrice

Année Universitaire : 2015/2016

Remerciements

Je remercie tout particulièrement mes parents de m'avoir aidé par tous les moyens pour arriver aux termes de ce travail qui est le fruit de plusieurs années d'études. Je leur dédie ce mémoire.

Mes remerciements les plus sincères pour mon promoteur Mr MELBOUCI Bachir, Professeur à l'UMMTO qui représente pour moi le guide et l'exemple de sérieux dans le travail et de savoir. Je tiens à lui rendre un vibrant hommage pour m'avoir encadré et de m'avoir fait l'honneur de partager et de transmettre une partie de ses compétences et de ses connaissances scientifiques, qui m'ont permis de suivre une ligne de travail rigoureuse.

Je remercie aussi les membres du jury qui me feront l'honneur d'apprécier mon travail à sa juste valeur tout particulièrement Mr HAMZA, Maître de conférences à l'UMMTO qui présidera le jury de ma soutenance et Melle BOUBRIT, Maître assistante A à l'UMMTO qui a bien voulu examiner ce mémoire.

Toute ma considération pour les membres du laboratoire LGEA et à tous les enseignants qui ont contribué à ma formation ainsi tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin dans la réalisation de ce travail de recherche.

Mes vifs remerciements à Mr LACHEBI Kamel, responsable du laboratoire de recherche (LGEA) et monsieur BOUKAROUB Med Ameziane, responsable du laboratoire mécanique des sols pour leur disponibilité et leur aide durant la partie expérimentale de ce travail.

Je remercie également Si Youcef qui a assisté plusieurs fois à l'apparition de la constellation de l'ours afin d'être en pleine santé pour exploiter toute mes compétences pour mener à bien ce présent travail.

Je remercie énormément mes camarades de classes en master géotechnique ainsi mes enseignants pour les merveilleux moments que nous avons vécus ensemble durant toute l'année universitaire.

LISTE DES SYMBOLES

$p(\varepsilon)$: nombre d'éléments de longueur ε , nécessaire pour diviser l e segment de longueur ε_0 .

ε_0 : longueur total de l'élément.

ε : longueur de l'élément divisé.

D_1 : dimension du support de l'espace dans lequel est inscrit l'élément de taille ε_0 .

$L(l)$: la longueur mesurée avec un étalon de longueur l

D : la dimension fractale de l'objet étudié

AB : la taille macroscopique de l'objet

C : coté d'un carré

N : le nombre de pavés

$\Delta(E)$: dimension dite de Bouligand-Minowski

x : une dimension du grain prédéterminée

X : dimension linéaire des grains

N_1 : le nombre des grains (fragments)

K : constante de proportionnalité

$N_r(F)$: le nombre de case couvrant l'objet fractal

r : la longueur d'un côté de la case

$M(R < r)$: masse des grains d'un diamètre considéré.

M : masse totale de l'échantillon.

M_t : masse totale des particules.

R : taille de l'ouverture des passoirs.

r_L : dimension des particules maximale définie par la plus grande ouverture de la taille des passoirs.

DF_{FR} : dimension fractale de fragmentation.

m : la pente de la droite Le mieux adaptée appliquée à l'équation

$P(l)$: est le périmètre polygone

DR : la dimension fractale du grain

N : l'étalon de mesure.

P : le périmètre du grain

A : la surface du grain

DF_R : dimension fractale de la rugosité des grains.

W : teneur en eau optimal

WI : limite de liquidité

Wp : limite de plasticité

Ip : indice de plasticité

γ_d : La densité sèche

γ_h : La densité humide

γ_s : Poids volumique des grains solides

e : l'indice des vides

Sr : Le degré de saturation

n : La porosité

Ep : énergie de compactage

g : la pesanteur

H : hauteur de chute de la dame

n : nombre de coups ou de chute de la dame

Vt : volume du moule

A E : avant essai

Ap Es : après essai

11 : première couche après essai

22 : 2^{eme} couche après essai

33 : 3^{eme} couche après essai

44 : 4^{eme} couche après essai

1 2 : influence de la 2^{eme} couche sur la 1^{ere} couche

1 3 : influence de la 3^{eme} couche sur la 1^{ere} couche

1 4 : influence de la 4^{eme} couche sur la 1^{ere} couche

2 3 : influence de la 3^{eme} couche sur la 2^{eme} couche

2 4 : influence de la 4^{eme} couche sur la 2^{eme} couche

3 4 : influence de la 4^{eme} couche sur la 3^{eme} couche

1-2 25 : influence de la 2eme couche après une énergie de compactage de 25 coups

LISTE DES FIGURES

Chapitre I : Généralités sur la notion fractale

Figure I-1 : le fractale d'une cote (PAOLI B, VAUTHIER T, FRAPPIER L, KENDE M ,2003)

Figure I-2 : le fractale de fougère (PAOLI B, VAUTHIER T, FRAPPIER L, KENDE M ,2003)

Figure I-3 : le fractale des Choux-fleurs (PAOLI B, VAUTHIER T, FRAPPIER L, KENDE M ,2003)

Figure I-4 : Modélisation fractale de neurone

Figure I-5 : ramification sanguine pulmonaire

Figure I-6 : La fractalité de L'intestin grêle (PAOLI B, VAUTHIER T, FRAPPIER L, KENDE M ,2003)

Figure I-7 : Pavages des lignes, surfaces ou volumes

Figure I-8 : Illustration du rapport entre dimensions fractale et euclidienne.

Figure I-9 : Mesure par comptage des boîtes dans un espace euclidien.

Figure I-10 : Les 3 dimensions entières

Figure I-11 : Saucisse de Minkowski ou épaisseur d'une courbe

Figure I-12 : Fragmentation du segment [AB] à l'itération zéro

Figure I-13 : Première itération, les segments ont pour longueur $L/3$

Figure I-14 : Seconde itération, les segments ont pour longueur $L/3^2 = L/9$

Figure I-15 : Flocon de Von Koch à la troisième itération.

Figure I-16 : Illustration de la méthode du comptage de boîte.

Figure I-17 : le triangle de Sierpinsky (Jacques MANDONNET 2013)

Figure I-18 : Tapis de Sierpinski (SIERPINSKI Waclaw, polonais, 1882-1969).

Figure I-19 : l' Eponge de Menger (Karl Menger, 1926)

Figure I-20 : L'ensemble de Cantor

Figure I-21 : ensemble de Mandelbrot

Figure I-22 : l'ensemble de Julia.

Figure I-23 : Fractales déterministes d'un milieu granulaire.

Figure I-24 : Fractales non déterministes d'un milieu granulaire.

Chapitre II : Méthodes de calcul de la dimension fractale

Figure II-1 : a) un exemple d'un grain de sable photographié d'une surface de 31.06 mm²

b) l'image binaire est obtenue après l'analyse d'image

Figure II-2 : (a) application de la dimension fractale de fragmentation par Box Counting

Figure II-3 : Droite de la dimension fractale par la méthode des boites

Figure II-4 : Illustration de la méthode de Box Counting

Figure II-5 : Méthode des lignes parallèles (Kevin P. Hammer, 2005)

Figure II-6 : la méthode des lignes parallèles

Figure II-7 : (a) le grain de sable après l'analyse de l'image. Le reste des figures contient les Polygones tracés sur grains avec une taille de mesure (b) 2 mm. (c) 1 mm et (d) 0.25mm

Figure II-8 : calcul de la dimension fractale (a) Totale (b) Texturale (D1) et structurale (D2).

Figure II-9 : Mesures de la longueur d'une côte par report d'unités différentes

Figure II-10 : Mesure de la dimension d'une courbe par la méthode des boules disjointes

Figure II-11 : Variation du nombre L de segment d'une ligne brisée (en fonction de la taille S de l'unité de mesure) nécessaire pour mesurer la longueur de la ligne

Figure II-12 : Application de la méthode de area –perimeter d'un gros grain de sable originaire d'une pierre calcaire.

Chapitre III : Généralités sur la notion d'écrasement des grains

Figure III-1 : Représentation schématique du comportement de contact (D'après Bishop et Henkel, 1962)

Figure III-2 : Différents types de rupture des grains selon Ramamurthy en 1969.

Figure III-3 : différents modes de rupture des grains selon Guyon et Troadec, 1994.

Figure III-4 : Cisaillement à l'interface

Figure III-5 : Cisaillement localisé dans la croûte molle

Figure III-6 : Cisaillement généralisé dans la croûte molle

Chapitre IV : Identification des matériaux utilisés

Figure IV-1 : Le gré à étudier

Figure IV-2 : Photo satellite du lieu d'extraction

Figure IV-3 : Le schiste à étudier

Figure IV-4 : Photo satellite du site d'extraction

Chapitre V : Généralités sur les essais Proctor et préparation des échantillons

Figure V-1 : Tamiseuse

Figure V-2 : Résultat du tamisage

Figure V-3 : Tamis

Figure V-4 : Vibro-tamis

Figure V-5 : Courbe d'optimum Proctor

Figure V-6 : Principe de l'essai Proctor

Figure V-7 : Schiste sous forme de bloc

Figure V-8 : Concassage manuel du schiste

Figure V-9 : Tamis 25 mm

Figure V-10 : Schiste après concassage et tamisage

Figure V-11 : La tamiseuse utilisée

Figure V-12 : Tamisage manuel

Figure V-13 : La forme allongée pour le schiste

Figure V-14 : La forme sous-arrondie pour le gré

Figure V-15 : Classement des diamètres des grains du gré dans l'ordre décroissant

Figure V-16 : Le choix des grains à colorer (0/20)

Figure V-17 : Courbe granulométrique initiale

Figure V-18 : Calcul de dimension fractale du gré avant essai

Figure V-19 : Courbe granulométrique initiale

Figure V-20 : Calcul de dimension fractale du schiste avant essai.

Figure V-21 : Des diamètres des grains du gré dans l'ordre décroissant

Figure V-22 : Les quatre couches préparées

Figure V-23 : Masse de chaque couche

Figure V-24 : Mélanger les grains de chaque couche

Figure V-25 : L'échantillon dans le moule

Figure V-26 : L'échantillon prêt

Figure V-27 : La mise en place de l'échantillon

Figure V-28 : La position des grains colorés dans le moule

Figure V-29 : La couche enveloppée avec un tissu

Figure V-30 : Ajout de la 2^{ème} couche

Figure V-31 : La couche avant la mettre dans le moule

Figure V-32 : L'échantillon juste après essai

Chapitre VI : Représentation des résultats

Figure VI-1 : Disposition des sous-couches de l'échantillon dans le moule Proctor.

Figure VI-2 : Courbe granulométrique du gré après 25 coups

Figure VI-3 : Courbe granulométrique du gré après 50 coups.

Figure VI-4 : Courbe granulométrique du gré après 75 coups

Figure VI-5 : Courbe granulométrique du gré après 100 coups

Figure VI-6 : Evolution de la DF du gré avec la méthode des masses.

Figure VI-7 : Courbes granulométrique du schiste apres25coups

Figure VI-8 : Courbes granulométriques du schiste après 50 coups

Figure VI-9 : Courbes granulométriques du schiste après 75 coups

Figure VI-10 : Courbes granulométriques du schiste après 100 coups

Figure VI-11 : Evolution de la DF du schiste avec la méthode des masses

Figure VI-12 : fragmentation

Figure VI-13 : Abrasion

Figure VI-14 Ecaillage

Figure VI-15 : Courbes granulométriques du schiste après 25-50-75-100 coups

Figure VI-16 : Courbes granulométriques du gré après 25-50-75-100 coups

Figure VI-17 : Courbes granulométriques du gré et du schiste avant et après 25 coups

Figure VI-18 : Courbes granulométriques du gré et du schiste avant et après 100 coups

Figure VI-19 : Etude comparative entre le gré et le schiste de la dimension fractale avec la méthode des masses

Figure VI-20 : Les grains de gré à une hauteur de 5 cm avant essai.

Figure VI-21 : Les grains de gré à une hauteur de 5 cm après 100 coups.

Figure VI-22 : Les grains du gré à une hauteur de 20 cm après 100 coups

Figure VI-23 : Les grains du schiste à une hauteur de 5 cm avant essai.

Figure VI-24 : Les grains du schiste à une hauteur de 5 cm après 100 coups.

Figure VI-25 : Les grains du schiste à une hauteur de 20 cm après 100 coups.

Figure VI-26: Photos des grains de schiste de la 2^{ème} sous couche après 100 coups.

Figure VI-27: Photos des grains du gré de la 2^{ème} sous couche après 100 coups.

Figure VI -29 : influence du nombre de coups sur la 1^{ère} couche

Figure VI -30 : influence du nombre de coups sur la 2^{ème} couche

Figure VI -31 : Influence du nombre de coups sur la 3^{ème} couche

Figure VI -32 : Influence du nombre de coups sur la 4^{ème} couche

Figure VI -33: Influence du nombre de coups sur chaque couche avec la méthode des masses

Figure VI -34 : Influence de la couche supérieure sur la couche inférieure après 25 coups

Figure VI -35 : Influence de la couche supérieure sur la couche inférieure après 50 coups

Figure VI -36 : Influence de la couche supérieure sur la couche inférieure après 75 coups

Figure VI -37: Influence de la couche supérieure sur la couche inférieure après 100 coups

Figure : VI - 38 : Influence de la couche supérieure sur la couche inférieure avec la méthode des masses

Figure VI -39 : influence des couches supérieure sur la 1^{ère} couche après 25 coups

Figure VI -40 : influence des couches supérieure sur la 1^{ère} couche après 50 coups

Figure VI -41 : influence des couches supérieure sur la 1^{ère} couche après 75 coups

Figure VI -42 : influence des couches supérieure sur la 1^{ère} couche après 100 coups

Figure : VI -43 : Influence des couches supérieures sur la première couche avec la méthode des masses

Figure VI - 44 : Influence des couches supérieures sur la 2^{ème} couche après 25 coups

Figure VI - 45 : Influence des couches supérieures sur la 2^{ème} couche après 50 coups

Figure VI - 46 : Influence des couches supérieures sur la 2^{ème} couche après 75 coups

Figure VI - 47 : Influence des couches supérieures sur la 2^{ème} couche après 100 coups

Figure VI -48 : Influence des couches supérieures sur la 2^{ème} couche après en fonction du nombre de coups

Figure VI -49 : Influence des couches supérieure sur la 3^{ème} couche après 25 coups

Figure VI -50 : Influence des couches supérieure sur la 3^{ème} couche après 50 coups

Figure VI -51 : Influence des couches supérieure sur la 3^{ème} couche après 75 coups

Figure VI -52 : Influence des couches supérieure sur la 3^{ème} couche après 100 coups

Figure VI -53 : Influence des couches supérieures sur la 3^{ème} couche en fonction du nombre de coups

Figure VI -54 : Influence du nombre de coups sur la 1^{ère} couche

Figure VI -55 : Influence du nombre de coups sur la 2^{ème} couche

Figure VI -56 : Influence du nombre de coups sur la 3^{ème} couche

Figure VI -57 : Influence du nombre de coups sur la 4^{ème} couche

Figure VI -58 : Influence de l'énergie de compactage sur chaque couche ave la méthode des masses

Figure VI -59 : Influence de la couche supérieure sur la couche inférieure après 25 coups

Figure VI -60 : Influence de la couche supérieure sur la couche inférieure après 50 coups

Figure VI -61 : Influence de la couche supérieure sur la couche inférieure après 75 coups

Figure VI -62 : Influence de la couche supérieure sur la couche inférieure après 100 coups

Figure VI -63 : Influence de la couche supérieure sur la couche inférieure avec la méthode des masses

Figure VI -64: Influence des couches supérieure sur la 1^{ère} couche après 25 coups

Figure VI -65: Influence des couches supérieure sur la 1^{ère} couche après 50 coups

Figure VI -66: Influence des couches supérieure sur la 1^{ère} couche après 75 coups

Figure VI -67: Influence des couches supérieure sur la 1^{ère} couche après 100 coups

Figure VI -68 : Influence des couches supérieures sur la 1^{ère} couche avec la méthode des masses

Figure VI -69: Influence des couches supérieure sur la 2^{ème} couche après 25 coups

Figure VI -70: Influence des couches supérieure sur la 2^{ème} couche après 50 coups

Figure VI -71: Influence des couches supérieure sur la 2^{ème} couche après 75 coups

Figure VI -72: Influence des couches supérieure sur la 2^{ème} couche après 100 coups

Figure VI -73: Influence des couches supérieures sur la 2^{ème} couche avec la méthode des masses

Figure VI -74 : Influence de la couche supérieure sur la 3^{ème} couche après 25 coups

Figure VI -75 : Influence de la couche supérieure sur la 3^{ème} couche après 50 coups

Figure VI -76 : Influence de la couche supérieure sur la 3^{ème} couche après 75coups

Figure VI -77 : Influence de la couche supérieure sur la 3^{ème} couche après 100 coups

Figure VI -78 : Influence des couches supérieures sur la 3^{ème} couche avec la méthode des masses

Figure VI-79 : DF de la 1^{ère} et la 4^{ème} couche du gré et du schiste après 100 coups

Figure VI -80 : Influence de la couche supérieure sur la couche inférieure après 100 coups pour gré

Figure VI -81: Influence de la couche supérieure sur la couche inférieure après 100 coups pour schiste

Figure VI-82 : Influence de la couche supérieure sur la couche inférieure après 100 coups pour le gré et le schiste

Figure VI-83 : Influence des couches supérieures sur la dimension fractale de la 1^{ère} et la 2^{ème} couche

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre IV : Identification des matériaux utilisés

Tableau IV-1 : Compositions minéralogiques des grès numidiens, (Allili et Amokrane (1999))

Tableau IV-2 : Les différents composants minéralogiques du schiste.

Tableau IV-3 : Les valeurs des caractéristiques physiques du schiste

Tableau IV-4 : Résultats des essais Proctor et CBR

Chapitre V : Généralités sur les essais Proctor et préparation des échantillons

Tableau VI-1 : Caractéristiques des essais Proctor Normal et Modifié

Tableau VI-2 : Couleurs choisies en fonction des diamètres.

Tableau VI-3 : Pourcentage des tamisats cumulés du gré avant essai

Tableau VI-4 : Pourcentage des tamisats cumulés du schiste avant essai.

Chapitre VI : Représentation des résultats

Tableau VI-1 : Evolution de la DF avec la méthode des masses pour le gré.

Tableau VI-2 : Evolution de la DF avec la méthode des masses pour le schiste.

Tableau VI-3 : Variation de la DF des sous couches du schiste avec la méthode des boîtes.

Tableau VI-4 : Variation de la DF des sous couches du gré avec la méthode des boîtes.

Tableau VI-5 : La dimension fractale calculée avant et après essais avec la méthode des masses.

Tableau VI-6 : Mode de rupture des grains des sous couches du gré avec la méthode des boîtes.

Tableau VI-7 : Mode de rupture des grains des sous couches du schiste avec la méthode des boîtes.

Tableau VI-8 : Influence du nombre de coups sur chaque couche avec la méthode des masses

Tableau VI-9 : Influence de la couche supérieure sur la couche inférieure avec la méthode des masses.

Tableau VI-10 : Influence des couches supérieures sur la 1^{ère} couche avec la méthode des masses.

Tableau VI -11 : Influence des couches supérieures sur la 2^{ème} couche après en fonction du nombre de coups

Tableau : VI -12 : Influence des couches supérieures sur la 3^{ème} couche en fonction du nombre de coups

Tableau : VI -13 : Influence de l'énergie de compactage sur chaque couche avec la méthode des masses

Tableau : VI -14 : Influence de la couche supérieure sur la couche inférieure avec la méthode des masses

Tableau : VI -15 : Influence des couches supérieures sur la première couche avec la méthode des masses

Tableau : VI -16 : Influence des couches supérieures sur la 2^{ème} couche avec la méthode des masses

Figure : VI - 17 : Influence des couches supérieures sur la 3^{ème} couche avec la méthode des masses.

Tableau VI-18 : Le gré -1^{ère} couche -100 coups.

Tableau VI-19 : Le schiste -1^{ère} couche -100 coups.

Tableau VI-20: Les refus pour chaque diamètre des deux matériaux

Tableau VI-21 : Evolution de la DF obtenue avec la méthode des masses pour la 1^{ère} et la 4^{ème} couche des deux matériaux à différentes énergie de compactage

Liste des principales notations et indices

Liste des figures

Liste des tableaux

SOMMAIRE

Introduction générale.....1

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LA NOTION FRACTALE

I-1) Introduction	4
I-2) Définition du mot fractal	5
I-3) Exemple de fractals naturels	5
I-3-1) La fractalité des côtes	5
I-3-2) Les fractales dans les végétaux	6
I-3-3) Le chou-fleur	6
I-3-4) Corps humain	7
I-4) Notion de dimension	8
I-4-1) Dimension fractale	9
I-4-2) Dimension euclidienne ou topologique	9
I-4-3) Définition mathématique de la dimension fractale	10
I-4-4) Vérification avec la dimension classique	11
I-4-5) Dimension de Haudorff-besicovitch ou dimension de recouvrement	11
I-5) Application a la dimension fractale	13
I-5-1) Le flocon de Koch	13
I-6) Calcul de la dimension fractale du flacon de Von koch par la méthode de compactage des boites	14
I-6-1) Le triangle de Sierpinski	15
I-6-2) Le tapis de Sierpinski	16
I-6-3) Eponge de Menger	16
I-6-4) L`ensemble de Cantor	16
I-6-5) L`ensemble de Mandelbrot	17
I-6-6) L`ensemble de Julia	18
I-7) Les différents types de fractals	18
I-7-1) Fractales déterministes	18
I-7-2) Fractales non déterministes	19
I-8) Conclusion	20

CHAPITRE II : METHODES DE CALCUL DE LA DIMENSION FRACTALE

II-1) INTRODUCTION	21
II-2) Les méthodes utilisées pour le calcul de la dimension fractale d'un grain de sol	22
II-2-1) La méthode des boîtes (Box Counting).....	22
II-2-2) Différentes étapes de maillage de l'image du grain (illustration de la méthode de Box Counting)	25
II-2-3) Méthode des masses	25
II-2-4) Méthode des lignes parallèles (KEVIN, HAMMER, 2005).....	26
II -2-5) Line Divider (méthode du diviseur).....	27
II -2-6) La méthode du Compas (Richardson, 1960).....	29
II -2-7) La Méthode des boules disjointes.....	29
II -2-8) Area-Perimeter (surface –périmètre).....	30
II-3) Conclusion	32

CHAPITRE III : GENERALITES SUR LA NOTION D'ECRASUREMENT DES GRAINS

III-1) Introduction.....	34
III-2) Ecrasement des grains selon différents auteurs	35
III-2-1) Ecrasement des grains selon (Bishop et Henkel, 1962).....	35
III-2-2) Ecrasement des grains selon (Ramamurthy, 1969)	35
III-2 -2-1) Rupture des aspérités	36
III-2-2-3) Rupture des angularités	37
III-3) Effet de la croûte molle.....	38
III-3-1) Type de défaillance dans la croûte molle.....	38
III-3-1-1) Cisaillement à l'interface.....	38
III-3-1-2) Cisaillement localisé dans la croûte molle.....	39
III-3-1-3) Cisaillement généralisé dans la croûte molle	39
III-4) Quantification de la rupture des grains	40
III-5) Les paramètres influençant la rupture des grains	40
III-6) Conséquence du phénomène d'écrasement.....	43
III-7) Conclusion	44

CHAPITRE IV : IDENTIFICATION DES MATERIAUX UTILISES

IV-1) Introduction.....	45
IV-2) Géologie locale de la région.....	46
IV-3) Définition du gré	46
IV-3-1) Localisation du matériau grés	47
IV-4) Le schiste	49
IV-4-1) Définition des schistes	49
IV-4-2) Les différents types de schiste	50
IV-4-3) Schistes étudiés	51
IV-4-4) La composition minéralogique du schiste.....	51
IV-4-5) Caractéristiques physiques du schiste	52
IV-4-6) Résultats des essais CBR et Proctor	52
IV-5) Conclusion.....	53

CHAPITRE V: GENERALITES SUR LES ESSAIS PROCTOR ET PREPARATION DES ECHANTILLONS

V-1) Introduction	54
V-2) Le Tamisage	55
V-2-1) Méthode par tamisage à sec (norme P94-056)	55
V-2-2) Principe d'essai	55
V-2-3) Mode opératoire	56
V-3) Essai Proctor.....	57
V-3-1) Introduction sur l'essai Proctor	57
V-3-2) Histoire	58
V-3-3) Définition	59
V-3-4) Appareillage et principe de l'essai	59
V-3-5) Appareillage essai Proctor	61
V-3-6) Energie utilisée dans l'essai Proctor	62
V-3-7) Mode opératoire essai Proctor	62
V-3-8) Matériel pour l'essai Proctor normal	63
V-3-9) Utilisation de l'essai Proctor dans les travaux de compactage de sols	63
V-3-10) Conclusion sur l'essai Proctor	64
V-4) PREPARATION DES ECHANTILLONS	64
V-4-1) Concassage des matériaux	64

V-4-2) Le tamisage	65
V-4-3) La sélection des grains	65
V-4-4) Analyse granulométrique	68
V-5) Le schiste	69
V-6) Déroulement des essais	71
V-7) Mise en évidence de l'influence des couches	73
V-8) Conclusion	75

CHAPITRE VI : REPRESENTATION DES RESULTAS

VI-1) Introduction	76
□ Cas des éprouvettes à couches de 20 cm	77
VI-2) Le gré	77
VI-2-1) Courbes granulométriques en fonction de l'énergie de compactage	77
VI-2-2) Calcul de la dimension fractale avec la méthode des masses	78
VI-3) Le schiste	79
VI-3-1) Courbes granulométriques en fonction de l'énergie de compactage	79
VI-3-2) Calcul de la dimension fractale avec la méthode des masses	80
VI-4) Calcul de la dimension fractale avec la méthode des boites	81
VI-4-1) Cas du matériau schiste	81
VI-4-2) Cas du matériau gré	81
VI-5) Etude comparative entre le schiste et le gré	83
VI-5-1) Etalement granulométrique en fonction de l'énergie de compactage	83
VI-5-2) Etalement granulométrique des deux matériaux après 25 et 100 coups	83
VI-5-3) Evolution de la dimension fractale calculée avec la méthode des masses en fonction de l'énergie de compactage	84
VI-5-4) Comparaison entre les deux matériaux par l'analyse des photos à l'œil nu	85
VI-5-4-1) Les grains du gré de la 1 ^{ère} sous couche avant essai	85
VI-5-4-2) Etat des grains du gré de la 1 ^{ère} sous couche après 100 coups	85
VI-5-4-3) Etat des grains du gré de la 4 ^{ème} sous couche après 100 coups	86
VI-5-4-4) Les grains du schiste de la 1 ^{ère} sous couche avant essai	86
VI-5-4-5) Etat des grains du schiste de la 1 ^{ère} sous couche après 100 coups	87
VI-5-4-6) Etat des grains du schiste de la 4 ^{ème} couche après 100 coups	87
VI-5-4-7) Etat des grains du schiste de la 2 ^{ème} sous couche après 100 coups	87
VI-5-4-8) Etat des grains du gré après 100 coups	88
VI-6) Mode de rupture du gré au niveau de chaque sous couche en fonction de l'énergie de compactage	88
VI-7) Mode de rupture du schiste au niveau de chaque sous couche en fonction de l'énergie de compactage	89

□ Cas des éprouvettes à couches de 5 cm	90
VI-8) Les facteurs influençant la dimension fractale lors de la transmission de l'énergie en profondeur	90
VI-9) Cas du matériau gré	90
VI-9-1) Influence de l'énergie de compactage (nombre de coups) sur chaque couche	90
VI-9-2) Influence de la couche supérieure sur la couche inférieure en fonction du nombre de coups	92
VI-9-3) Influence des couches supérieures sur la 1 ^{ère} couche	95
VI-9-4) Influence des couches supérieures sur la 2 ^{ème} couche	97
VI-9-5) Influence de la couche supérieure sur la 3 ^{ème} couche	99
VI-10) Cas du matériau schiste	101
VI-10-1) Influence de l'énergie de compactage (nombre de coups) sur chaque couche	101
VI-10-2) Influence de la couche supérieure sur la couche inférieure en fonction de l'énergie de compactage ..	103
VI-10-3) Influence des couches supérieures sur la 1 ^{ère} couche en fonction de l'énergie de compactage	105
VI-10-4) Influence des couches supérieures sur la 2 ^{ème} couche en fonction de l'énergie de compactage	107
VI-10-5) Influence de la couche supérieure sur la 3 ^{ème} couche en fonction de l'énergie de compactage	110
VI-11) Calcul de la dimension fractale avec la méthode des boites	112
VI-12) Etude comparative des deux matériaux (schiste et gré)	113
VI-12-1) Influence de l'énergie de compactage sur la 1 ^{ère} et la 4 ^{ème} couche de chaque matériau	114
VI-12-2) Influence de la couche supérieure sur la couche inférieure après 100 coups pour le gré et le schiste ..	116
VI-12-3) Influence des couches supérieures sur la 1 ^{ère} et la 2 ^{ème} couche pour le gré et le schiste	117
VI-13) Conclusion	119

CONCLUSION GENERALE

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

Introduction générale

Avec les grands projets de construction en cours de réalisation et les chantiers qui seront ouverts à court ou à moyen terme, les besoins en matériaux seront de plus en plus importants. Les milliers de kilomètres d'autoroute qui s'ajoutent aux lignes projetées de chemin de fer et aux nombreux projets socio-économiques, nécessiteront la mise à la disposition des entreprises de réalisation de quantités importantes en granulat que l'offre actuelle aura du mal à satisfaire. Pour 2016, les prévisions des besoins en matériaux de construction destinés à couvrir la demande de tous les projets dans le secteur national des Travaux publics, sont officiellement estimées à plus de 33 millions de tonnes de granulats.

Les matériaux granulaires sont universellement répandus dans la nature et entrent dans de nombreux domaines de l'activité humaine ; ils sont omniprésents sous formes et tailles différentes dans notre environnement.

La maîtrise de ces milieux granulaires passe par la caractérisation de ses granulats. Ces derniers font partie des structures du génie civil tels que les ouvrages linéaires autoroutières et ferroviaires, les ouvrages maritimes, les barrages et digues, les fondations, les chaussées, etc. Cependant, ces matériaux sont soumis constamment aux conditions environnementales dures et aux fortes contraintes de compression. En raison de ces charges compressives, ils se fragmentent en morceaux de différentes tailles (Bolton, 1998). Ce qui provoque une modification de la granulométrie (dimension, forme) des grains, induisant alors à une variation de leurs caractéristiques mécaniques, ce qui demande une meilleure maîtrise de ces matériaux afin de développer des méthodes de conception et de réalisation plus performantes, pour avoir un meilleur contrôle des risques et assurer une longue durée de service.

La nature révèle des objets complexes d'une grande irrégularité. L'être humain tente constamment de percer les secrets de tels objets, d'en découvrir leurs lois et leurs propriétés. La géométrie euclidienne constitue la première tentative de description de la nature qui consiste à idéaliser les objets en les rapprochant des formes abstraites telles que le cube, la sphère, le cône... Cette approximation permet une étude plus poussée des objets. Certains phénomènes naturels demeurent inexplicables. La géométrie euclidienne ne convient pas pour représenter tous les objets naturels, car ces derniers ne s'avèrent jamais parfaits. Il devient essentiel d'étudier les irrégularités des formes pour les comprendre davantage. L'étude de la forme des grains (angularité et rugosité)

joue un rôle très important pour comprendre le comportement mécanique des milieux granulaires, elle affecte leur résistance, leur compacité... Cependant, cette géométrie euclidienne ne répond pas à cette étude, du fait qu'elle n'étudie pas les objets irréguliers, elle précise seulement les dimensions topologiques qui sont : 0, 1, 2 et 3 correspondent respectivement à un point, une ligne, une surface et un volume. En outre, cette réalité complexe de la structure de ces matériaux s'avère être difficile à quantifier, ce qui a fait pousser Mandelbrot à introduire une nouvelle géométrie qui est «la géométrie fractale » pour décrire des figures géométriques d'une structure complexe et irrégulière. Il est nécessaire alors de caractériser la forme des grains à l'aide de la dimension fractale qui est un nombre qui mesure le degré d'irrégularité et de la fragmentation d'un grain. Le fondateur de cette théorie a démontré aussi que la « fractalité » d'un objet n'est autre que la perception intuitive de son irrégularité ou de sa rugosité; plus un objet est irrégulier et plus sa dimension fractale est élevée (Mandelbrot, 1983).

La dimension fractale a souvent fait l'objet de curiosité mathématique et les fractals sont à la base d'un nouveau système de géométrie : la géométrie fractale. Cette branche de la géométrie cherche à décrire mathématiquement des objets ayant une forme complexe très rugueuse ou fragmentée. Ainsi, un point, une courbe et une surface sont respectivement de dimension topologique 0, 1 et 2. L'utilisation de la dimension fractale dans le domaine de génie civil a apporté beaucoup plus pour comprendre le comportement mécanique des milieux granulaires. Il est nécessaire alors de caractériser la forme des grains à l'aide de la dimension fractale qui est un caractère qui désigne le degré d'irrégularité et de la fragmentation d'un grain.

L'essentiel des matériaux exploités en génie civil sont d'origine alluvionnaire qui sont des ressources limitées, dans le but de mettre en place des solutions de remplacement en diversifiant les origines et de s'orienter vers les gisements de roches massives (roches magmatiques ou métamorphiques) qui existent en Algérie à grande échelle surtout dans la région de Tizi-Ouzou. L'objectif de cette étude est de déterminer la dimension fractale des échantillons de différentes formes avant compactage et étudier son évolution sous différentes énergies de compactage, et essayer de donner une explication sur l'aspect des grains après essais et faire le lien entre la dimension fractale et l'énergie de compactage.

Notre travail s'inscrit donc dans le cadre d'une étude expérimentale pour les grains des matériaux locaux gré et schiste soumis aux essais Proctor en utilisant cette notion de dimension fractale. Pour mener à bien ce travail, le mémoire est subdivisé en six chapitres:

Le chapitre I est consacré à définir la dimension fractale, les différentes caractéristiques d'un objet fractal.

Le chapitre II consiste à énumérer les notions fractales appliquées dans le domaine du génie civil et les principales méthodes d'évaluation de la dimension fractale d'un grain ou d'un échantillon de grains. Dans ce chapitre, il s'agit aussi de définir les différentes méthodes de calcul de la dimension fractale.

Le chapitre III décrit la notion d'écrasement des grains selon différents auteurs

Le chapitre IV est consacré à l'identification des matériaux utilisés pour l'étude et la forme choisie pour chaque matériau ; forme sous arrondie pour le grès et la forme allongée pour le schiste.

Le chapitre V donne quelques généralités sur l'essai Proctor et donne quelques précisions sur la préparation des différents échantillons soumis aux essais.

Le chapitre VI est consacré à la présentation et à l'interprétation des résultats obtenus après essais pour les deux matériaux utilisés (gré, schiste) et au calcul de la dimension fractale par les deux méthodes ; méthode des masses et méthode des boîtes.

Le travail se termine par une conclusion générale qui synthétise les différents résultats obtenus.

CHAPITRE I
GENERALITES SUR LA NOTION FRACTALE

I-1) Introduction

La structure du sol peut être décrite comme un assemblage d'éléments de tailles diverses séparés par un système complexe de fissures et de fractures, ce qui représente l'état de surface extérieure d'un sol ou d'un milieu granulaire ; cela peut être introduit ou expliqué par la notion de fractale qui regroupe dans un cadre géométrique unique de nombreux travaux mathématiques antérieures.

Le mot "fractale" vient du latin "fractus" qui signifie "brisé". En effet, un fractal est un objet géométrique «infiniment morcelé» dont des détails sont observables à une échelle arbitrairement choisie. Cette notion a commencé à la fin du XIXe siècle par des mathématiciens comme Cantor, Peano,... Le terme " fractal" a été introduit par un polytechnicien français **Benoît Mandelbrot** (1974 ; 2010), où ses premières recherches datent de 1964 et il emploie le terme de **self-similar** lors d'une étude réalisée chez *IBM*. Mais c'est en 1975 qu'il expose ses travaux et sort son ouvrage intitulé « **Les objets fractals** ». Plusieurs définitions et plusieurs méthodes ont été utilisées pour la dimension fractale. Dans ce présent chapitre, les principales et les plus courantes définitions et lois de la dimension fractale sont exposées.

I-2) Définition du mot fractal

Une structure fractale est une structure géométrique qui se répète, semblable à elle-même, quelle que soit l'échelle à laquelle on l'observe ; on parle alors de similitude interne. Les ensembles fractals jouent un rôle central dans de très diverses théories scientifiques. Il s'agit, par exemple, de la forme des nuages ou des pépites d'or, de celle des côtes maritimes ou des hautes montagnes, de la répartition des galaxies dans l'espace ou encore de la turbulence ou du chaos. (Mandelbrot.1975).

L'histoire des fractales ainsi que le nom fractal a commencé en 1975 avec Benoît Mandelbrot dans son ouvrage : *Les Objets Fractals : forme, hasard et dimension*, mais les premières figures fractales connues datent de la fin du XIX^{ème} siècle. La première est due à Karl Weierstrass qui l'inventa en 1872 pour montrer, par une construction explicite, qu'une fonction continue n'a pas nécessairement de dérivée. Selon " **Benoit Mandelbrot**"(1975), un objet fractal est une figure géométrique ou un objet naturel qui Combine les caractéristiques suivantes :

- a)- ses parties ont la même forme ou la même structure que le tout, à ceci quelque soit l'échelle peuvent être légèrement déformées [*propriété d'autosimilarité*]
- b)- sa forme est, soit extrêmement irrégulière, soit extrêmement interrompue ou fragmentée.
- c)- il contient des 'éléments distinctifs' dont les échelles sont très variées et couvrent une très large gamme. Ainsi, un objet fractal est un objet qui se caractérise par son irrégularité et son autosimilarité.

Mandelbrot a multiplié les exemples dans la nature rendant ainsi le concept de fractal opérationnel. Dans la nature de nombreuses choses ou objets illustrent le concept de fractalité ; comme les montagnes, les nuages, les amas galactiques, la taille des cratères sur la Lune et Mars, la forme des arbres ou des coraux etc.

I-3) Exemple de fractals naturels

I-3-1) La fractalité des côtes

Lorsque nous regardons une côte, nous voyons qu'elle n'est jamais strictement "plate " mais qu'elle est composée de caps et baies donnant un aspect craquelé à celle-ci, ce qui explique la fractalité de cette dernière. Toutes ces baies et caps sont eux même constitués d'autres baies et caps plus petits encore.



Figure I- 1: le fractale d'une cote (PAOLI B, VAUTHIER T, FRAPPIER L, KENDE M ,2003)

I-3-2) Les fractales dans les végétaux

De nombreux objets naturels ressemblent à des fractales. Comme le chou ou la fougère. Mais ces objets naturels ne sont pas de vraies fractales, puisque leur complexité n'est pas infinie. La complexité s'arrête au niveau de l'atome, et non au niveau de l'infiniment petit. De même, elle ne s'étend pas dans l'infiniment grand.

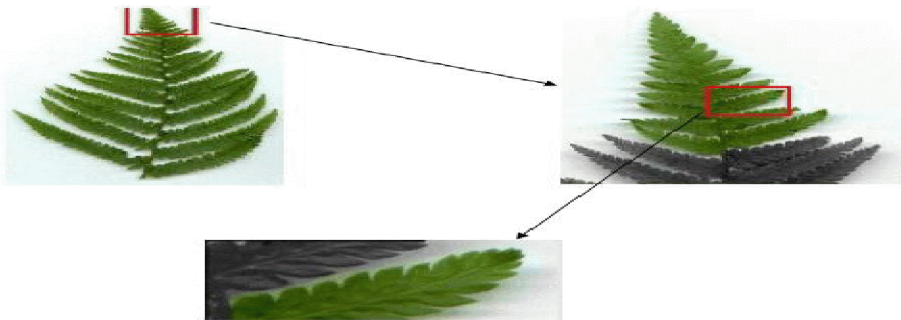


Figure I- 2: le fractale de fougère (PAOLI B, VAUTHIER T, FRAPPIER L, KENDE M ,2003)

I-3-3) Le chou-fleur

Le chou-fleur a une forme remarquable. Grossièrement, il se présente comme une section de sphère entourée de feuilles. Si on regarde de près la surface du chou-fleur, on remarque que celle-ci est constituée de cônes qui se juxtaposent de manière enroulée en spirale, formant ainsi des volutes qui constituent elles-mêmes des cônes similaires aux premiers, mais d'échelle plus grande.

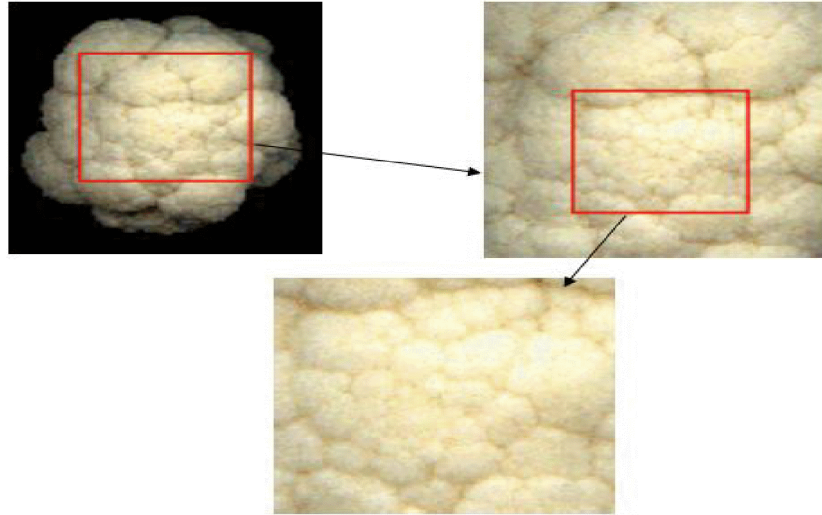


Figure I- 3: le fractale des Choux-fleurs (PAOLI B, VAUTHIER T, FRAPPIER L, KENDE M ,2003)

I-3-4) Corps humain

Dans le corps humain, on découvre régulièrement de nouvelles preuves montrant que notre organisme est fractal. Le premier organe identifié comme tel fut le système pulmonaire. Cette organisation permet principalement de pousser les capacités d'échanges à leur maximum en intégrant une surface la plus grande possible dans un volume faible.

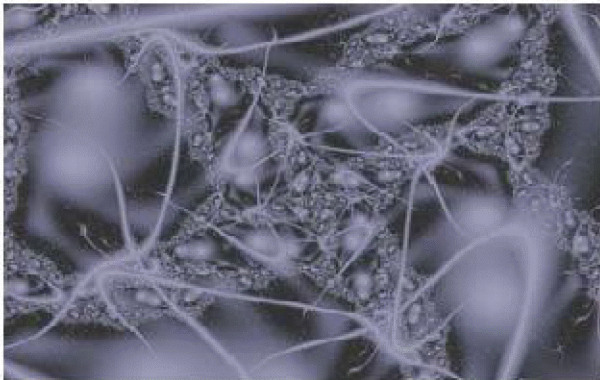


Figure I-4 : Modélisation fractale de neurone



Figure I-5 : Ramification sanguine pulmonaire

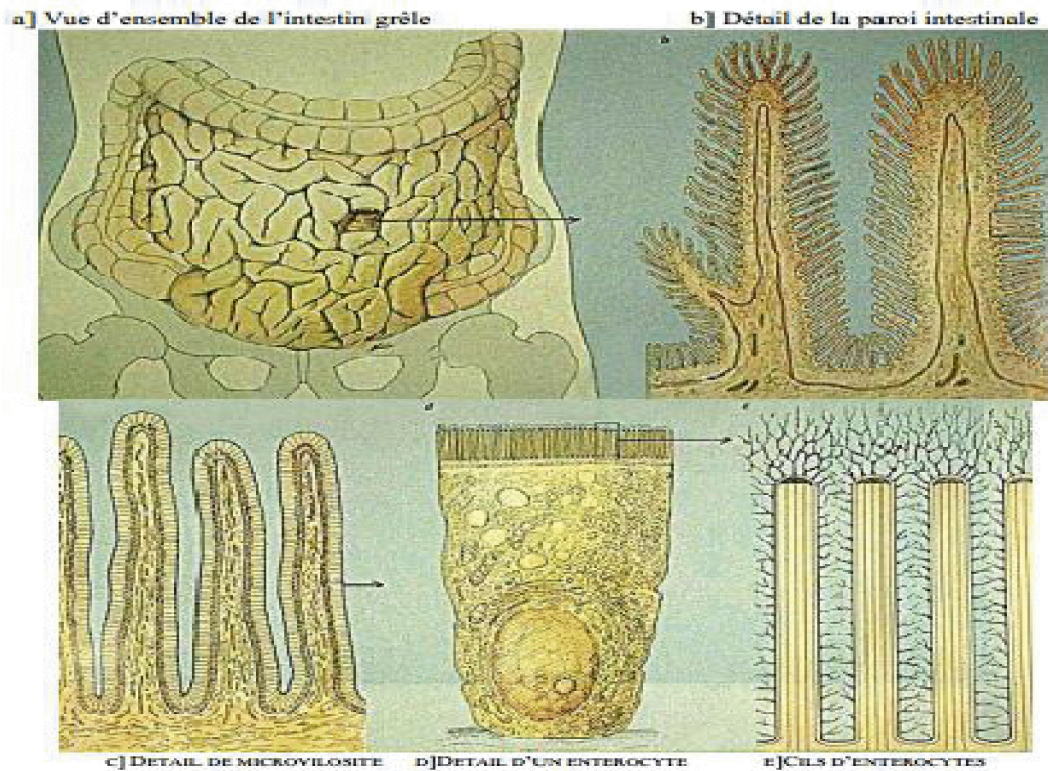


Figure I-6 : La faractalité de L'intestin grêle (PAOLI B, VAUTHIER T, FRAPPIER L, KENDE M ,2003)

I-4) Notion de dimension

Pour mesurer une longueur, une surface ou un volume, une méthode usuelle consiste à recouvrir ces ensembles de pavés dont la longueur, la surface ou le volume sont pris comme unité de mesure.

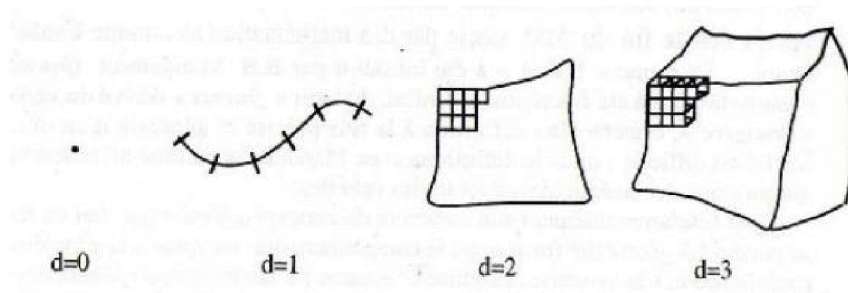


Figure I-7 : Pavages des lignes, surfaces ou volumes

I-4-1) Dimension fractale

La dimension fractale est un nombre qui mesure le degré d'irrégularité ou de la fragmentation d'un objet, ou la mesure de la rugosité d'une surface. Pour introduire cette notion de la dimension fractale, il est indispensable de parler d'abord de la dimension euclidienne.

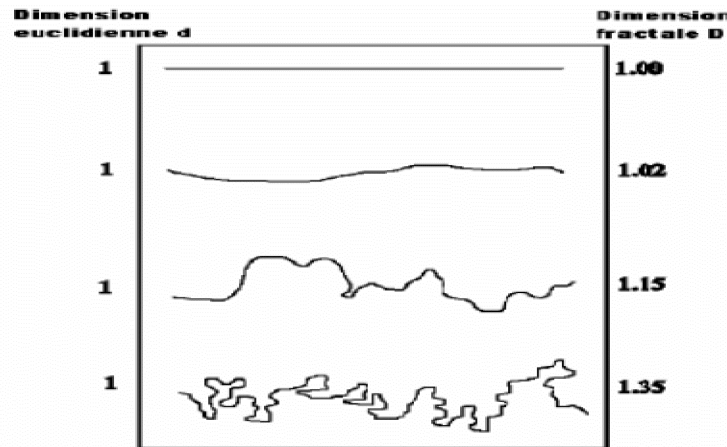


Figure I-8 : Illustration du rapport entre dimensions fractale et euclidienne (Achir Mourad ,2011)

I-4-2) Dimension euclidienne ou topologique

En géométrie euclidienne, on travaille avec des dimensions entières 0, 1, 2, 3,... Exemple : La dimension d'un point est zéro (0), une ligne droite a pour support un espace de dimension un (1), un plan est un espace de dimension deux (2), un volume est inscrit dans un espace de dimension trois (3).

On remarque qu'il existe un lien direct entre la dimension de l'objet étudié et son unité de mesure. Un objet de dimension deux se mesure en m² et un objet de dimension trois en m³ et ce n'est pas le cas pour une courbe fractale qui a une dimension non entière.

Dans le cas de la méthode par compactage de boîte (Box Counting) qui est de la forme :

$$p(\varepsilon) = (\varepsilon_0 / \varepsilon)^{D1}$$

$p(\varepsilon)$: nombre d'éléments de longueur ε , nécessaires pour diviser le segment de longueur ε_0 .

ε_0 : longueur total de l'élément.

ε : longueur de l'élément divisé.

$D1$: dimension du support de l'espace dans lequel est inscrit l'élément de taille ε_0 .

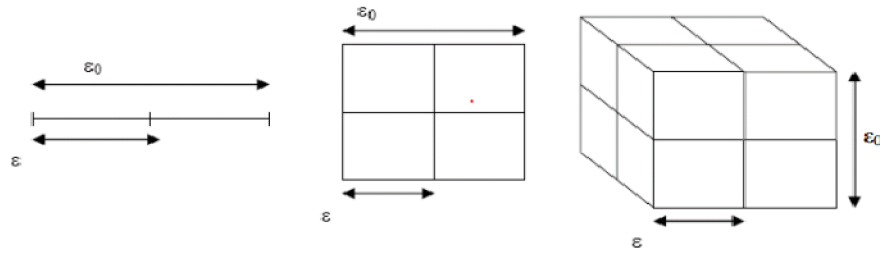


Figure I-9 : Mesure par comptage des boîtes dans un espace euclidien.

Si $D = 1$, le support de ε_0 est une droite, $p(\varepsilon)$ est le nombre de segments, de longueur ε , nécessaires pour diviser le segment de longueur ε_0 .

Si $D = 2$, l'élément (un carré) de côté ε_0 a pour support un plan. $p(\varepsilon)$ est le nombre de carrés, de côté ε , nécessaires pour diviser le carré de côté ε_0 .

Si $D = 3$, l'élément (un cube) de côté ε_0 a pour support un espace de dimension 3. $p(\varepsilon)$ est le nombre de cubes, de côté ε , nécessaires pour diviser le cube de côté ε_0 .

$$a- D = 1 ; p(\varepsilon) = \left(\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon}\right) = 2$$

$$b- D = 2 ; p(\varepsilon) = \left(\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon}\right)^2 = 4$$

$$c- D = 3 ; p(\varepsilon) = \left(\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon}\right)^3 = 8$$

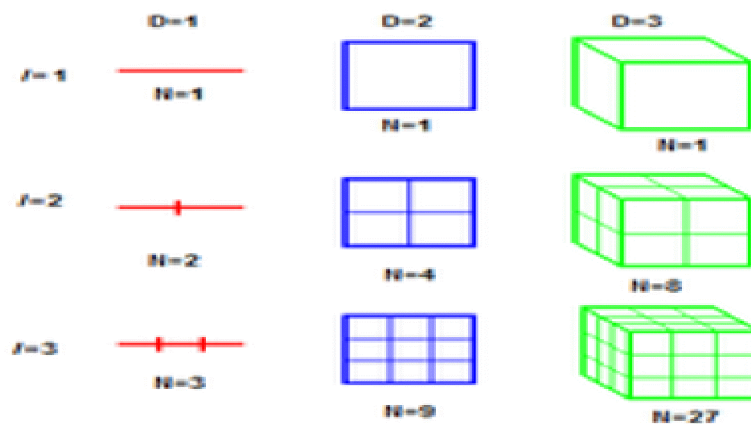


Figure I-10 : Les 3 dimensions entières

I-4-3) Définition mathématique de la dimension fractale

Appelons $L(l)$ la longueur mesurée avec un étalon de longueur l ; D la dimension fractale de l'objet étudié ; AB est la taille macroscopique de l'objet, c'est-à-dire la distance entre les deux bouts de l'objet.

On a alors :

$$L(l) = \left(\frac{AB}{l}\right)^D$$

Autrement dit, le nombre n d'éléments de taille l dans une fractale de taille globale L et de dimension D s'obtient avec :

$$n = \left(\frac{L}{l}\right)^D$$

D'où

$$D = \frac{\ln n}{\ln \frac{L}{l}}$$

I-4-4) Vérification avec la dimension classique

Si on prend un carré de côté c , alors ce carré se divise en 4 carrés de longueur $c/2$.

Si D est la dimension fractale du carré, alors on a :

$$n = \frac{c^2}{\left(\frac{c}{2}\right)^2} = 4$$

$L = c$ et $l = c/2$ - Selon la formule, $D = \ln 4 / \ln 2$ d'où $D = 2$

De même, un cube de côté c se divise en 8 cubes de côté $c/2$. La dimension est alors égale à $\ln 8 / \ln 2$, qui est égale à 3.

On retrouve bel et bien la dimension classique définie par Euclide.

I-4-5) Dimension de Haudorff-besicovitch ou dimension de recouvrement

Une première approche pour mesurer la dimension d'un objet E consiste à suivre la méthode usuelle de pavage de l'objet par des pavés (appartenant à l'espace dans lequel l'objet est plongé) de mesure $\mu = \varepsilon$ $d(E)$ ou $d(E)$ est la dimension de l'objet. Mais lorsque $d(E)$ est a priori inconnu, une solution consiste à faire des essais en prenant des unités de mesure $\mu = \varepsilon^\alpha$ avec un exposant α indéterminé.

Considérons par exemple un carré ($d=2$) de côté L , et recouvrons le de pavés de côté ε , la mesure est donnée par $M = N\mu$, ou N est le nombre de pavés, C'est-à-dire $N = (L/\varepsilon)^d$, ainsi

$$M = N \varepsilon^\alpha = (L/\varepsilon)^d \varepsilon^\alpha = L^2 \varepsilon^{\alpha-2}$$

I-4-6) Dimension de Bouligand-Minkowski

On peut également définir une dimension dite de Bouligand-Minkowski, que l'on note $\Delta(E)$ et voici quelques méthodes permettant de calculer $\Delta(E)$

I-4-7) La saucisse de Minkowski

Soit E un ensemble plongé dans un espace euclidien de dimension d (précisément E est une partie bornée de \mathbb{R}^d). Soit maintenant $E(\varepsilon)$ l'ensemble des points de \mathbb{R}^d distants de moins de ε de E . $E(\varepsilon)$ définit une saucisse de Minkowski, on l'appelle aussi épaissement ou dilatation de E comme en analyse d'image. On peut la définir comme la réunion

$$E(\varepsilon) = \bigcup_{x \in E} B_\varepsilon(x)$$

$B_\varepsilon(x)$ est une boule de l'espace euclidien à d dimensions, centrée en x et de rayon ε . On calcule

$$\Delta(E) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \left(d - \frac{\log \text{Vol}_d(E(\varepsilon))}{\log \varepsilon} \right)$$

Où Vol_d représente simplement le volume en dimension d (par exemple, longueur, surface ou volume usuel). Si la limite existe, $\Delta(E)$ est par définition la dimension de Bouligand Minkowski.

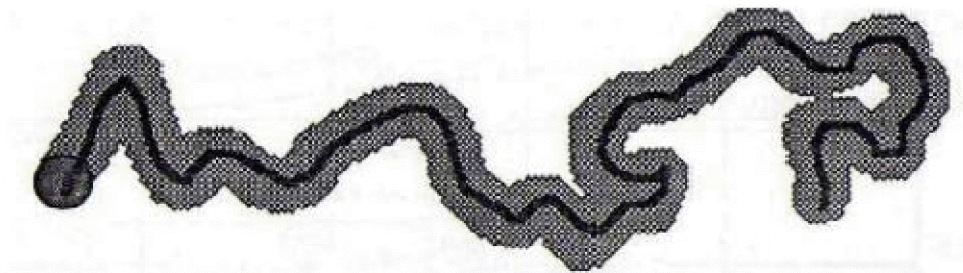


Figure I- 11: Saucisse de Minkowski ou épaissement d'une courbe

I-5) Application a la dimension fractale

I-5-1) Le flocon de Koch

La courbe de von Koch a été décrite et démontrée en 1906 par le Mathématicien Suédois Helge von Koch (1870-1924). Elle est définie comme quatre copies d'elle même trois fois plus petites. Sa dimension fractale s'exprime selon la dimension de Hausdorff-Besicovitch, elle est de $D=1,26$ (Coralie AYACHE, 2013).

L'algorithme de Von Koch est régi selon le principe de récursivité. Un segment horizontal $[AB]$ de longueur L (c'est l'itération zéro (figure : I-12) .Ce segment est divisé en trois segments de même longueur.

Le segment central représente la base d'un triangle équilatérale, une fois le triangle formé, cette base sera supprimée. Le segment $[AB]$ a donc subi quatre transformations, chacune transformant $[AB]$ en quatre segments de longueur identique $L/3$. Ces dernières permettent l'obtention d'une «courbe » composée de quatre segments allant de A à B : C'est la première itération (figure : I-13). L'angle formé par les deux nouveaux segments $[CD]$ et $[DE]$ est égale à $\pi/3$.

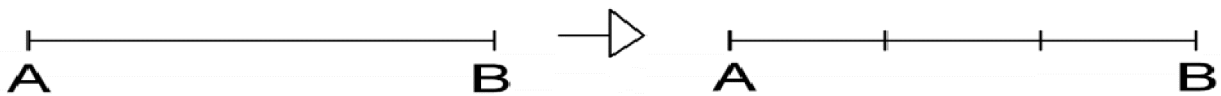


Figure I-12 : Fragmentation du segment $[AB]$ à l'itération zéro

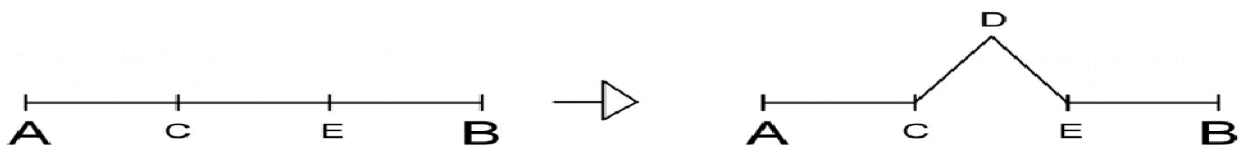


Figure I-13 : Première itération, les segments ont pour longueur $L/3$

Selon le principe de récursivité, il faut appliquer les mêmes transformations aux quatre segments, de longueur $L/3$, obtenus à la première itération : c'est la seconde itération (figure : I-14). Tous les segments de cette nouvelle figure mesurent $L/3^2$ soit $L/9$. Puis à la troisième itération, tous les segments auront pour longueur $L/3^3$ soit $L/27$. Dans le cas général de cette récurrence, à la n^{eme} itération, tous les segments auront une même longueur $L/3^n$.

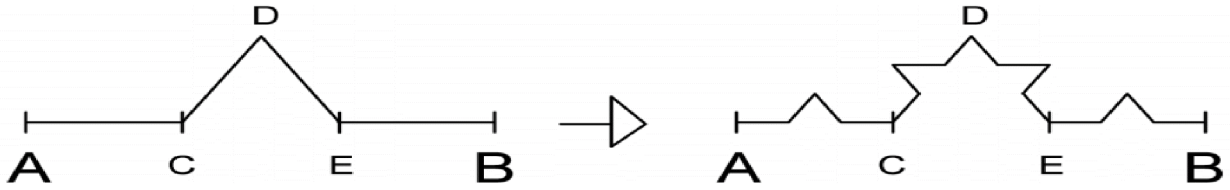


Figure I-14: Seconde itération, les segments ont pour longueur $L/3^2 = L/9$

Le flocon de Koch est la somme de 3 segments $[AB]$ par rotation d'un angle égale à $-\pi/3$ d'après le cercle trigonométrique. Lorsque l'on reproduit indéfiniment les quatre transformations, la « courbe » de Von Koch correspond, à la limite des « courbes » obtenues. Cependant, le flocon délimite une surface finie (figure : I-15).

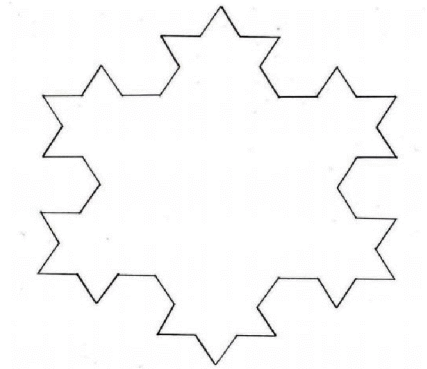


Figure I-15 : Flocon de Von Koch à la troisième itération.

I-6) Calcul de la dimension fractale du flocon de Von koch par la méthode de compactage des boites

Le carré initial a des cotés de longueur L . En faisant des pas 3 fois plus petits, c'est à dire en divisant ce carré en neuf carrés de même surface, le nombre de pas à faire est 3 D fois plus grand, où D est la dimension de l'objet fractal: le flocon de Koch. (Figure 1-16)

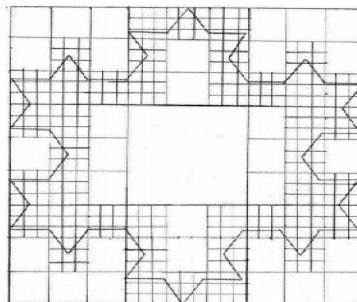


Figure I-16 : Illustration de la méthode du comptage de boite.

Le carré initial a des cotés de longueur L. En faisant des pas 3 fois plus petits, c'est à dire en divisant ce carré en neuf carrés de même surface, le nombre de pas à faire est 3^D fois plus grand, où D est la dimension de l'objet fractal: le flocon de Koch. Or nous avons vu précédemment que notre « courbe » se composait de 4 segments, chacun de longueur $1/3$ si on considère $L=1$. Donc en faisant des pas 3 fois plus petits, on doit en faire 4 fois plus. On peut donc écrire la relation :

$$4=3^D \leftrightarrow \ln(4)=\ln(3^D) \leftrightarrow \ln(4)=D \times \ln(3) \leftrightarrow D=\ln(4)/\ln(3) \leftrightarrow D=1,2618595$$

La dimension D est une grandeur irrationnelle.

I-6-1) Le triangle de Sierpinski

La construction est très simple à comprendre : on part d'un triangle équilatérale que l'on divise en 4 triangle équilatéraux. On enlève le triangle central et on effectue la même opération sur les triangles conservés. L'ensemble obtenu, connu sous le non de triangle de Sierpinski, a pour dimension fractale $\log_3/2$.

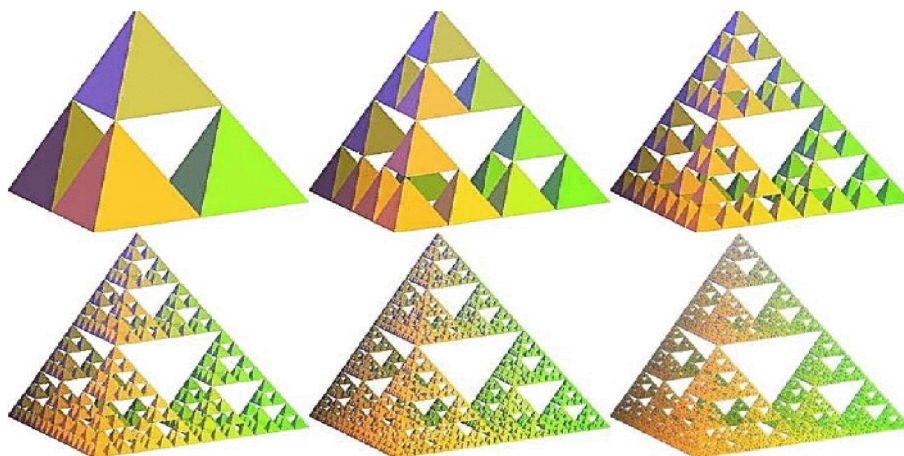


Figure I-17 : le triangle de Sierpinsky (Jacques MANDONNET 2013)

I-6-2) Le tapis de Sierpinski

A partir d'un carré initial contenant un seul carré blanc, on construit à l'intérieur d'autres carrés blancs selon le procédé suivant : à chaque étape, on ajoute 8 carrés trois fois plus petits autour de chaque carré que l'on vient d'ajouter.

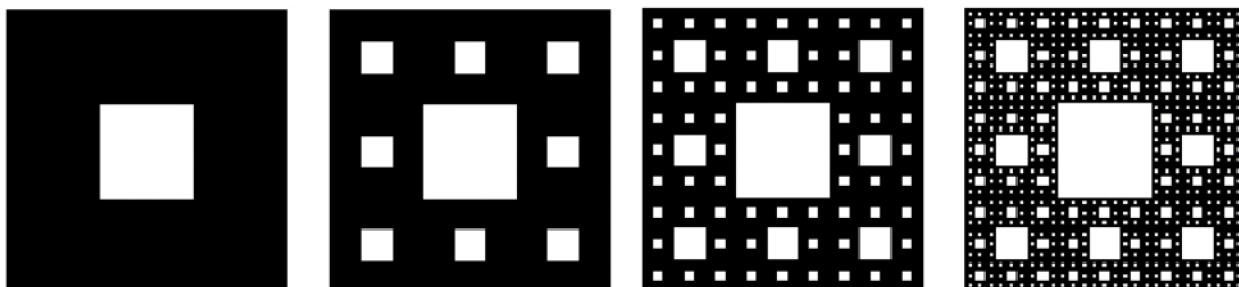


Figure I-18 : Tapis de Sierpinski (SIERPINSKI Waclaw, polonais, 1882-1969).

I-6-3) Eponge de Menger

L'**éponge de Menger**, parfois appelée **éponge de Menger-Sierpinski**, est un solide fractal. Il s'agit de l'extension dans une troisième dimension de l'ensemble de Cantor et du tapis de Sierpinski (on enlève les cubes de la même façon que le tapis de Sierpinski). Elle fut décrite pour la première fois par le mathématicien autrichien Karl Menger en 1926.

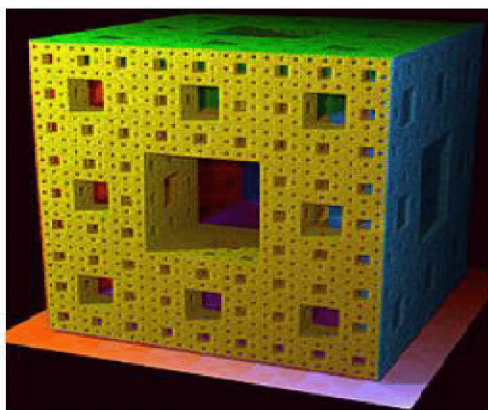


Figure I-19 : L' Eponge de Menger (Karl Menger, 1926)

I-6-4) L'ensemble de Cantor

En mathématiques, l'ensemble de Cantor (ou ensemble triadique de Cantor, ou poussière de Cantor) est un sous-ensemble remarquable de la droite réelle construit par le mathématicien allemand George Cantor. On le construit de manière itérative à partir du segment initial en enlevant le tiers central ; puis

on réitère l'opération sur les deux segments restants, et ainsi de suite .on peut voir les six premières itérations du procédé sur le schéma suivant :



Figure I-20 : L'ensemble de Cantor

I-6-5) L'ensemble de Mandelbrot

L'ensemble de Mandelbrot est à l'origine d'une très belle collection d'image connue sous le nom d'ensemble de Julia .qui a été défini à partir de l'équation de récurrence : $Z_{n+1}=Z_n^2+c$ en prenant $Z_0=0$
Le centre en noir (œuf de Mandelbrot) représente l'espace où la suite converge. Les couleurs indiquent les courbes de niveau : c'est à dire la vitesse de convergence de la fonction.

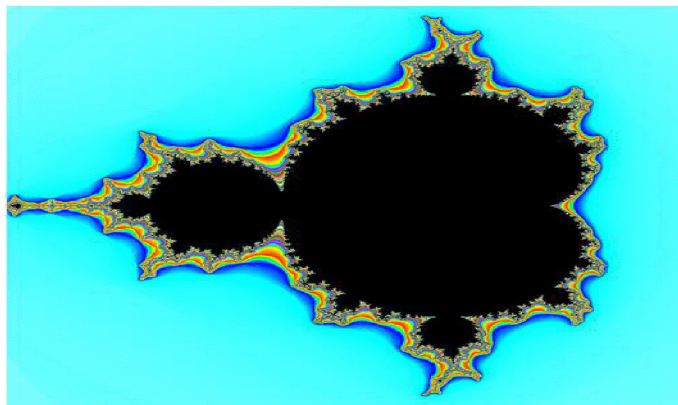


Figure I-21 : Ensemble de Mandelbrot

I-6-6) L'ensemble de Julia

La définition de cet ensemble est proche de celle l'ensemble de Mandelbrot qui est quant à lui unique tandis qu'il existe un ensemble de Julia pour chaque nombre complexe "c" choisi pour effectuer les calculs. L'ensemble de Julia « rempli » correspondant à une constante complexe $c \in \mathbb{C}$ est l'ensemble Julia des nombres complexes m tels que la suite des modules des termes de la suite (z_n) définie par :

$$\begin{cases} z_{n+1} = z_n^2 + c \\ z_0 = m \end{cases} \quad \text{Soit bornée}$$

On admettra que si cette suite n'est pas bornée, alors la suite des modules tend vers l'infini :

$$\lim_{n \rightarrow +\infty} |z_n| = +\infty$$

Les ensembles de Julia forment une infinité d'ensemble de nombres complexes... Les propriétés de l'ensemble de Julia ne sont pas strictement auto similaires, elles sont parfois connexes, mais pas toujours. Il existe donc des fractales de Julia continues tandis que d'autres sont fragmentées. Il n'y a pas de dimension fractale commune aux ensembles de Julia.

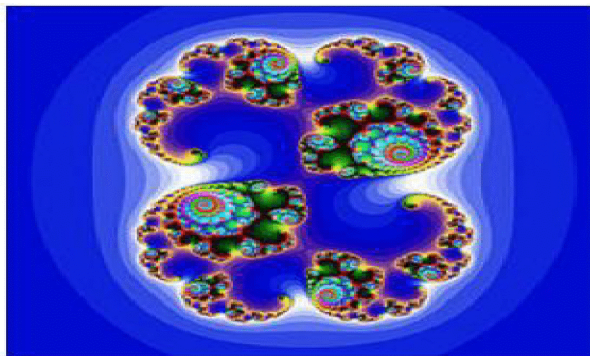


Figure I-22 : L'ensemble de Julia.

I-7) Les différents types de fractals

I-7-1) Fractales déterministes

On parle des fractales déterministes lorsque les grains résultant d'une agrégation ou de la fragmentation d'un milieu granulaire ayant presque la même forme (c'est un cas rare) ou le mode de réplcation ne fait pas intervenir de composante aléatoire.



Figure I-23 : Fractales déterministes d'un milieu granulaire (Belmihoub Hacene 2013)

I-7-2) Fractales non déterministes

Par opposition aux fractales déterministes, on appelle fractales non déterministes les grains résultant d'une agrégation ou de la fragmentation d'un milieu granulaire aboutissant à des formes extrêmement irrégulières et des grains très anguleux (c'est le cas le plus fréquent).

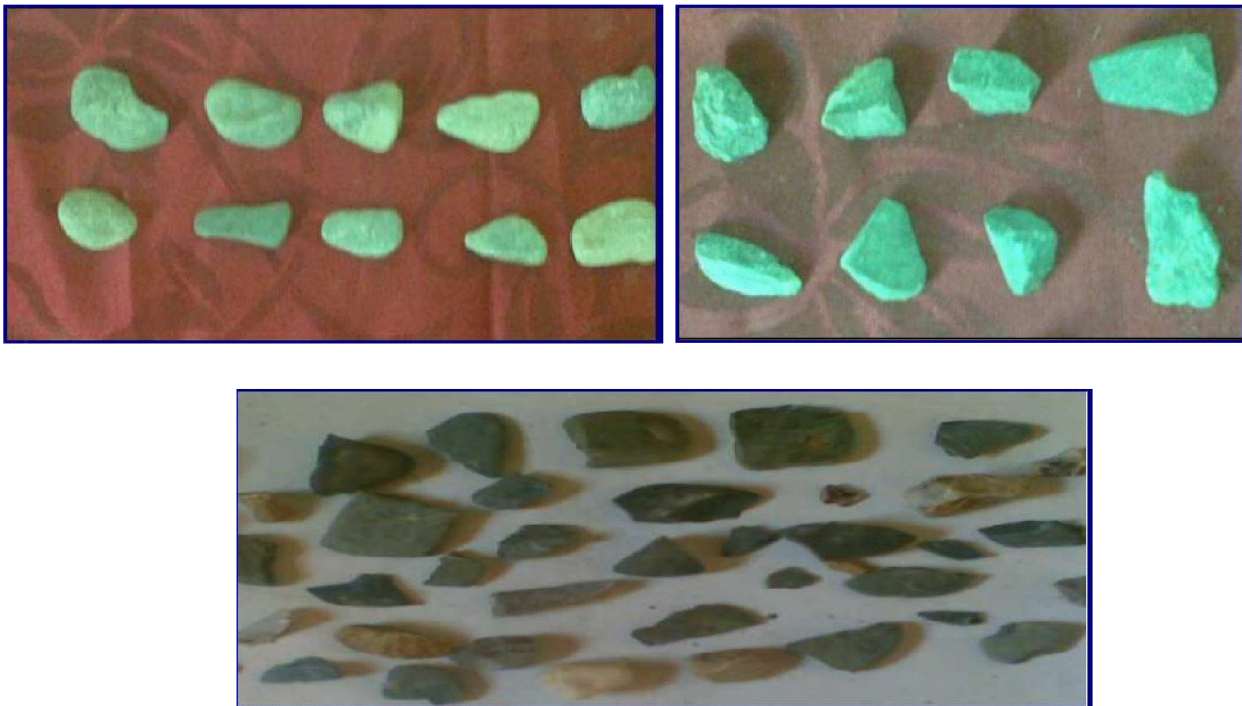


Figure I-24 : Fractales non déterministes d'un milieu granulaire. (Belmihoub Hacene 2013)

I-8) Conclusion

Une dimension fractale est une valeur non entière ($1 < D < 3$) contrairement aux dimensions euclidiennes (1, 2 et 3 qui désignent respectivement une ligne, un plan et un volume). Ainsi, un objet de dimension fractale $D = 2$ est parfaitement plan ; donc plus une surface est rugueuse et plus cette dimension D est grande.

D'une manière générale, un objet fractal est un objet qui ne peut pas être complètement décrit par la géométrie euclidienne car il comporte une infinité de détails. La dimension fractale est donc un nombre réel positif caractérisant la manière dont la masse ou la forme de l'objet est répartie dans l'espace.

Généralement, plus la dimension fractale d'un objet est élevée, plus l'objet est irrégulier. Un objet de dimension fractale comprise entre 1 et 2 est construit à partir d'une courbe à une dimension. Plus la dimension s'approche de 2 plus le fractal est irrégulier

Sommaire

I-1) Introduction	4
I-2) Définition du mot fractal	5
I-3) Exemple de fractals naturels	5
I-3-1) La fractalité des côtes.....	5
I-3-2) Les fractales dans les végétaux.....	6
I-3-3) Le chou-fleur	6
I-3-4) Corps humain	7
I-4) Notion de dimension	8
I-4-1) Dimension fractale.....	9
I-4-2) Dimension euclidienne ou topologique.....	9
I-4-3) Définition mathématique de la dimension fractale	10
I-4-4) Vérification avec la dimension classique	11
I-4-5) Dimension de Haudorff-besicovitch ou dimension de recouvrement	11
I-5) Application a la dimension fractale.....	13
I-5-1) Le flocon de Koch	13
I-6) Calcul de la dimension fractale du flacon de Von koch par la méthode de compactage des boites	14
I-6-1) Le triangle de Sierpinski	15
I-6-2) Le tapis de Sierpinski.....	16
I-6-3) Eponge de Menger	16
I-6-4) L`ensemble de Cantor	16
I-6-5) L`ensemble de Mandelbrot.....	17
I-6-6) L`ensemble de Julia	18
I-7) Les différents types de fractals	18
I-7-1) Fractales déterministes	18
I-7-2) Fractales non déterministes	19
I-8) Conclusion.....	20

Chapitre II

METHODES DE CALCUL DE LA DIMENSION FRACTALE

II-1) INTRODUCTION

Le calcul de la dimension fractale est l'une des caractéristiques principales de la géométrie fractale, elle a été utilisée entre autres dans le domaine de génie civil. Elle décrit bien l'irrégularité d'un grain du matériau granulaire.

Par ailleurs, pour déterminer la dimension d'un grain, on associe la forme de grain à celle d'une sphère équivalente, la dimension du grain est alors mesurée selon un diamètre équivalent, ce qui ne suffit pas pour décrire le comportement d'un matériau. C'est dans ce but que plusieurs méthodes ont été développées pour calculer la dimension fractale on peut citer la méthode des boîtes (Box counting), lignes parallèles, du diviseur (Line Divider), du compas, des boules disjointes, surface périmètre (area-perimeter) qui sont des méthodes les plus utilisées.

II-2) Les méthodes utilisées pour le calcul de la dimension fractale d'un grain de sol

Pour le calcul de la dimension fractale, il est nécessaire de déterminer le périmètre et la surface des grains. Pour cela des techniques d'analyse d'image peut répondre à notre objectif.

La technique d'analyse est simple, elle consiste à réaliser un seuillage de l'image grise jusqu'à un niveau raisonnable afin d'extraire la surface du grain à partir du fond de l'image. Puis, en appliquant un certain nombre d'opérations comprenant l'ouverture, fermeture, et remplissage en blancs, l'image binaire est obtenue comme une couche au-dessus de l'image grise (Fig. II-1b). Cette image binaire est utilisée pour calculer la surface du grain.

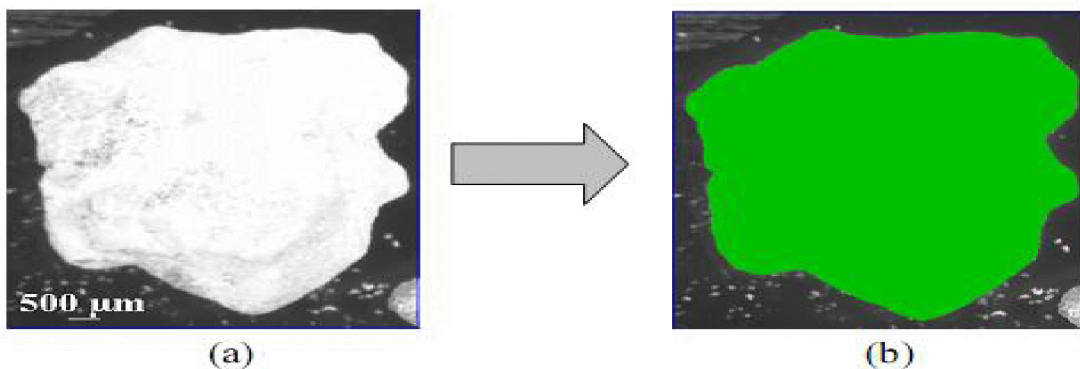


Figure II-1 : a) Un exemple d'un grain de sable photographié d'une surface de 31.06 mm²
b) l'image binaire est obtenue après l'analyse d'image.

II-2-1) La méthode des boites (Box Counting)

La dimension fractale calculée par la méthode du compactage de boîte ou « Box Counting en anglais » est la méthode la plus utilisée en pratique dans le cas de la "fragmentation", cette valeur nous donne une idée sur la distribution dimensionnelle des grains dans le sol et sur le procédé de fragmentation. Mandelbrot a montré que la distribution des fragments de roche est une distribution fractale. Comme il a aussi suggéré que la fragmentation fractale pourrait être mesurée en développant la dimension fractale de l'équation (a).

La méthode est basée sur une théorie dont le nombre des grains plus petit que la dimension prédéterminée peut être exponentiellement formulée :

$$N_1(X > x) = Kx^{-DF} \quad (a)$$

Tel que x est une dimension du grain prédéterminée ; X est dimension linéaire des grains plus grande que la dimension x ; N_1 est le nombre des grains (fragments) ; k est une constante de proportionnalité ; et le Df est la dimension fractale de fragmentation (Huang et Zhan, 2002 ; Wang et al. 2006).En

traçant une taille prédéterminée en fonction de nombre de boites contenu dans cette surface, on détermine la dimension fractale par l'équation suivante :

$$D_F = -m \quad (b)$$

D'après l'étude faite par (Hyslip et Vallejo, à 1997), une équation semblable à l'équation (b) peut être obtenue. Dans ce cas, la dimension fractale est égale $(-2m)$. Un exemple pour le même grain dans le paragraphe précédent est donné sur le schéma. Après la prise d'une photo du grain, on la couvre par une grille de longueur l prédéterminée. On calcule le nombre de carré entourant le périmètre du grain, et le nombre de carrés tracés en fonction de la longueur l . Ce processus sera répété pour un certain nombre de grain. La dimension fractale sera donc calculée pour chaque grain par le calcul de la pente dans un graphique logarithmique.

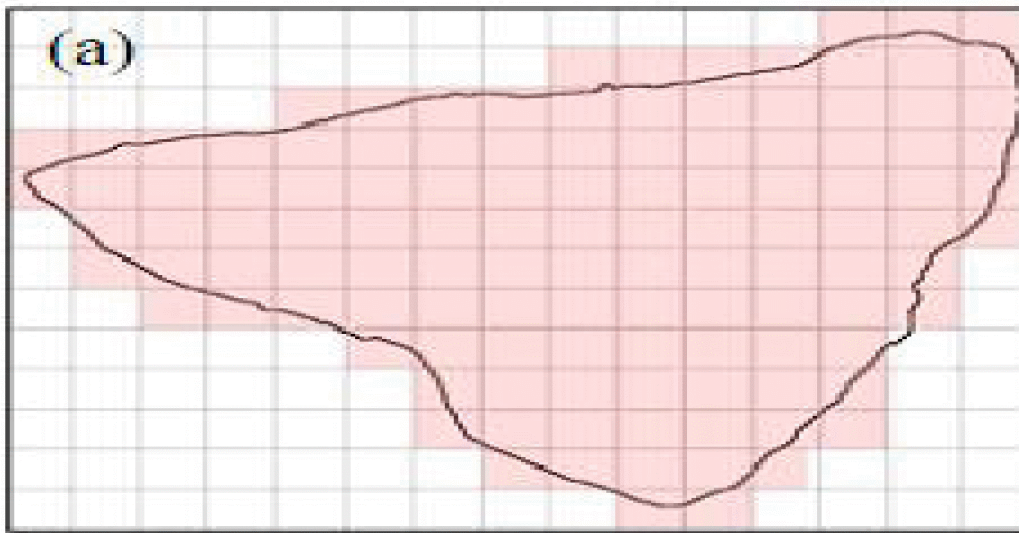


Figure II -2:(a) Application de la dimension fractale de fragmentation par Box Counting

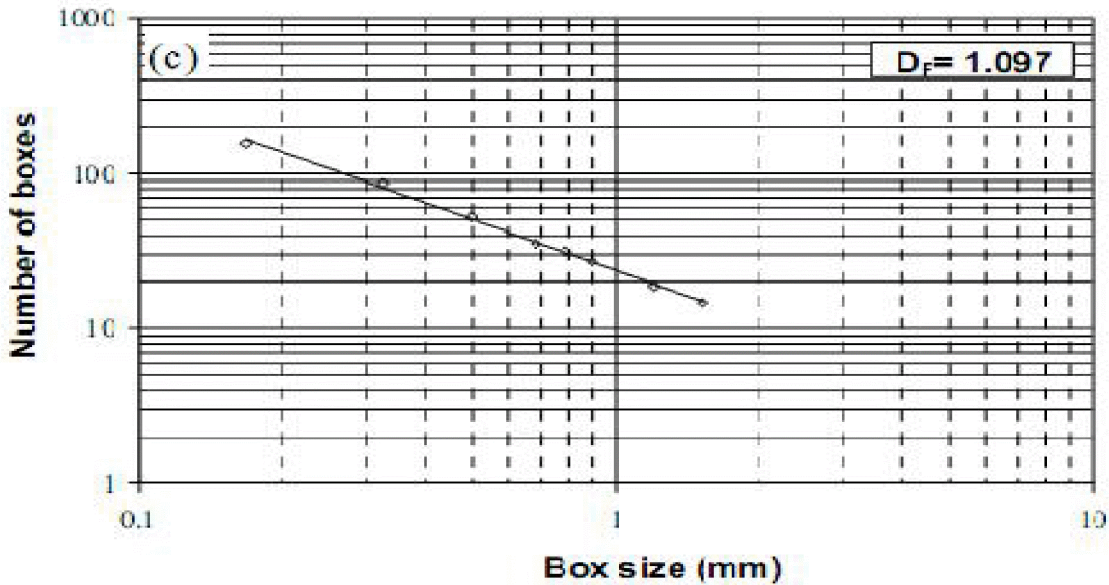


Figure II-3: Droite de la dimension fractale par la méthode des boîtes

La méthode box counting (comptage de boîte) peut être utilisée aussi de cette manière : En traçant des grilles avec une certaine longueur bien déterminée en dessus de notre objet fractal. La dimension fractale (DF) sera calculée ensuite en utilisant l'équation suivante :

$$DF = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{\text{Log } N_r(F)}{-\text{Log } r} \quad (c)$$

$N_r(F)$ est le nombre de case couvrant l'objet fractal et r la longueur d'un côté de la case.

Répétant le processus de $N_r(F)$, en changeant à chaque fois la longueur de du côté de la case (r), donc r se rapproche de zéro. Les valeurs de $N_r(F)$ et r seront tracées sur un graphe logarithmique pour dériver la dimension fractale, (Tricot 1996).

II-2-2) Différentes étapes de maillage de l'image du grain (illustration de la méthode de Box Counting)

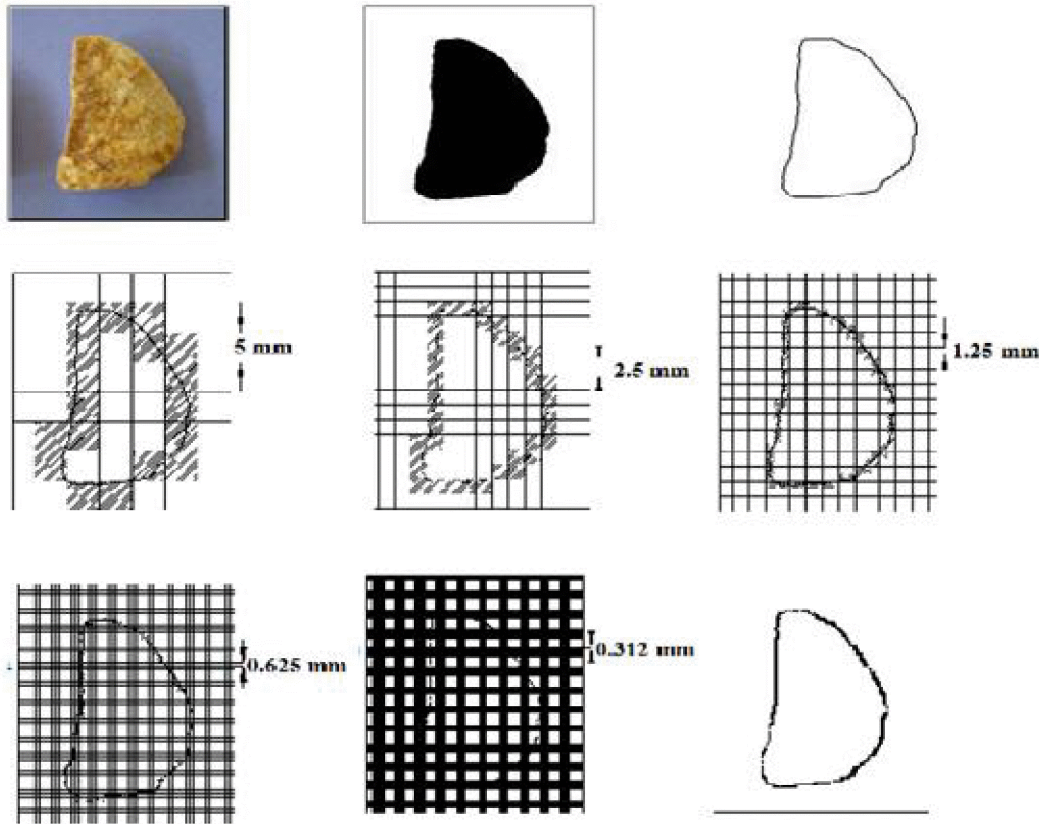


Figure II-4 : Illustration de la méthode de Box Counting

II-2-3) Méthode des masses

La définition classique de la dimension fractale des masses est déduite de la masse de l'agrégat M , et de sa taille L . Cette méthode est basée sur la distribution des grandeurs des grains de l'échantillon, après avoir choisie une granulométrie bien définie d'un échantillon de matériau.

Tyler et wheatcraft (1992) ont développé une formule en utilisant l'analyse granulométrique pour le calcul de la dimension fractale de fragmentation DF_r . Cette méthode de calcul emploie la masse retenue en passoire et son diamètre correspondant. Cette équation est définie comme suite :

$$\frac{M(R < r)}{M_T} = \left(\frac{r}{r_L} \right)^{3-DF_r} \quad (d)$$

$M(R < r)$: masse cumulative des particules avec la taille R plus petite qu'un comparatif donnée de classer.

M_t : masse totale des particules.

R : taille de l'ouverture des passoirs.

r_L : dimension des particules maximale définie par la plus grande ouverture de la taille des passoirs.

D_{FR} : dimension fractale de fragmentation.

La dimension fractale est calculée en utilisant l'équation suivante :

$$D_{FR} = 3 - m \quad (e)$$

Avec m la pente de la droite Le mieux adaptée appliquée à l'équation

II-2-4) Méthode des lignes parallèles (KEVIN, HAMMER, 2005)

La mesure de la dimension fractale par la méthode des lignes parallèles consiste à superposer la photo du grain sur un ensemble de lignes parallèles à espacement constant, et joindre à l'aide d'un segment de droite les points d'intersections du contour du grain avec ces lignes. On fait la mesure du périmètre ainsi obtenu $P(l)$. En diminuant de plus en plus le pas entre les lignes, on se rapproche au fur à mesure du contour réel du grain (figure II-5). (Melbouci Bachir, Yezli Saliha, 2012).

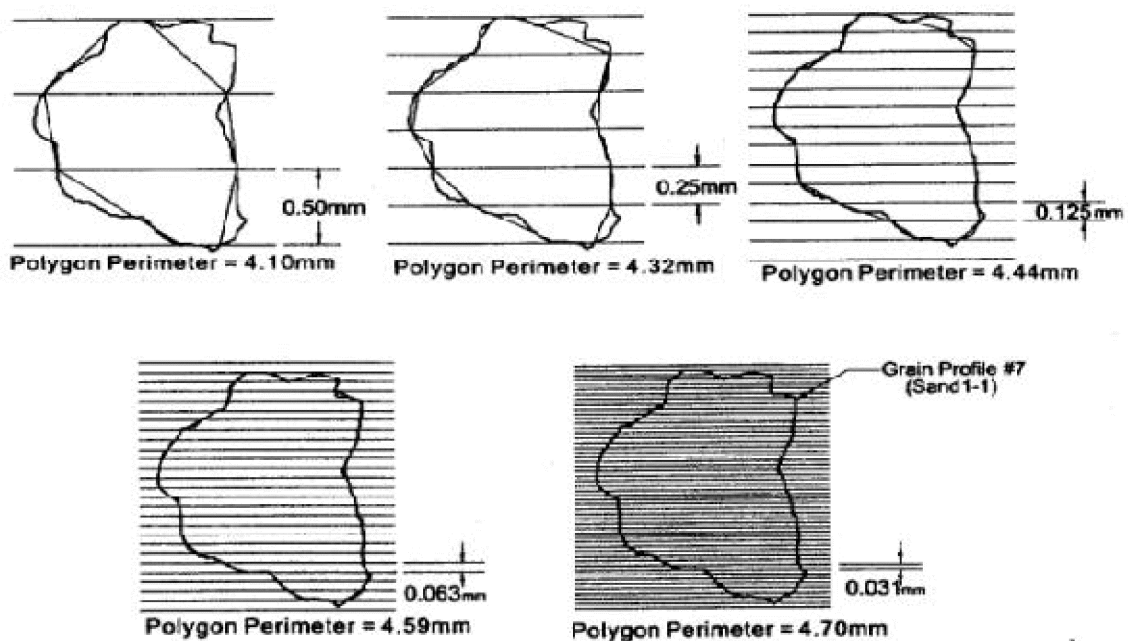


Figure II -5 : Méthode des lignes parallèles (Kevin P. Hammer, 2005)

En employant une unité de mesure en fonction de toute la longueur du périmètre des particules pour tracer des courbes à l'aide du logiciel Excel comme discuté par Vallejo et Hyslip. (Voir exemple)

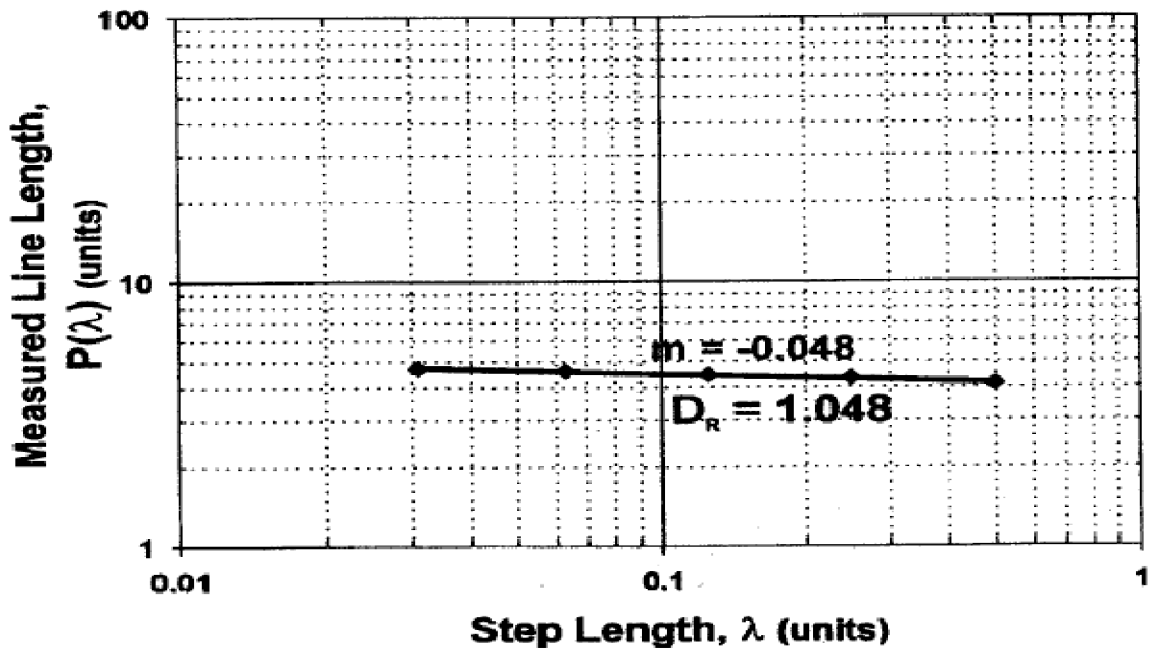


Figure II-6 : La méthode des lignes parallèles

II-2-5) Line Divider (méthode du diviseur)

Selon Mandelbrot (1983), des segments d'une même longueur (l) peuvent être tracés pour former un polygone à l'intérieur des frontières d'un grain ; ainsi, le périmètre de ce polygone peut être décrit comme suit :

$$P(l) = n l^{1-DR} \quad (f)$$

Dans cette équation, $P(l)$ est le périmètre du polygone, DR est la dimension fractale du grain. On trace à l'aide du logiciel Excel le périmètre du polygone obtenu en fonction de l'unité de mesure (l), la dimension fractale est alors liée à la pente m , de la meilleure ligne obtenue en utilisant les données de l'équation (e) et sera calculée comme suit :

$$D_R = 1 - m \quad (g)$$

A partir de cette méthode, trois types de dimension fractale peuvent d'être déduits. La courbe $P(l_1)$, $P(l_2)$ possède habituellement deux lignes de l'ajustement normal : Tandis que les polygones de plus petites tailles de mesure représentent la dimension "de texture" de fractale (D_1), la ligne à la

droite du point d'arrêt représente la dimension "structurale" de fractale (D_2). La dimension totale de fractale (D_{tot}) représente la ligne de l'ajustement normal aux points de repères entiers, qui ne concernent pas le point d'arrêt des tendances structurales et de textures.

Voilà un exemple d'application de cette méthode, prenant un grain simple donné dans la (Fig. II-7 a), des polygones de mesures de différentes tailles sont tracés à l'intérieur du grain (Fig. II-6 b, c, d). Tout le périmètre du grain obtenu est tracé en fonction de l'unité de mesure, afin de calculer les dimensions fractales.

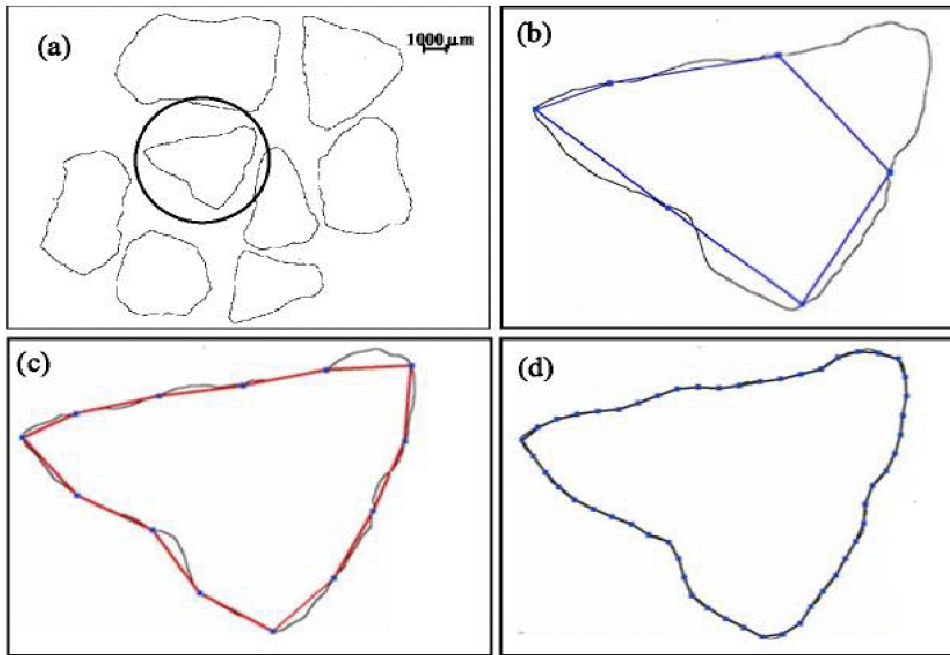


Figure II-7 (a) Le grain de sable après l'analyse de l'image. Le reste des figures contient les Polygones tracés sur grains avec une taille de mesure (b) 2 mm. (c) 1 mm et (d) 0.25mm

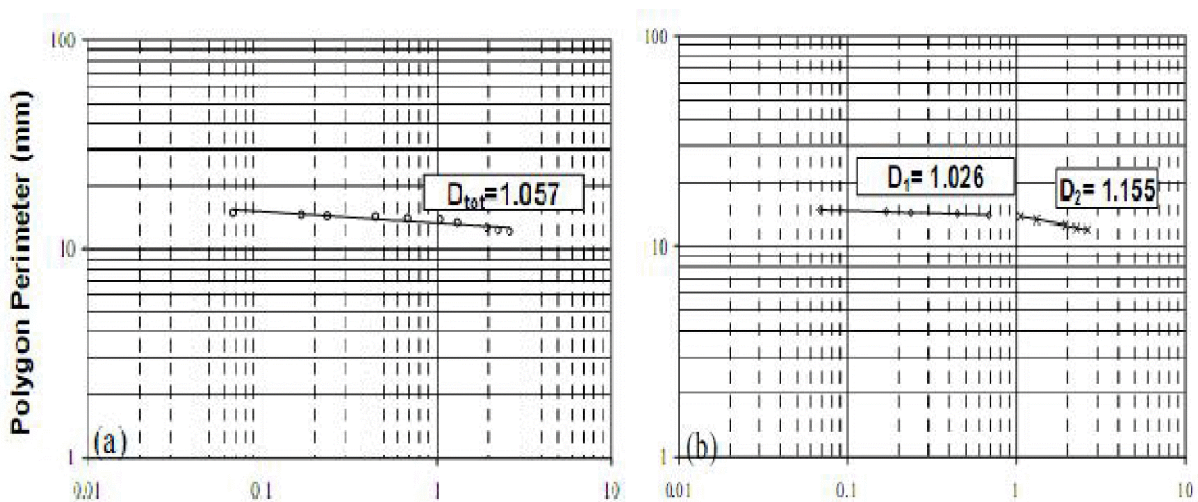


Figure II-8: Calcul de la dimension fractale (a) Totale (b) Texturale (D_1) et structurale (D_2).

II-2-6) La méthode du Compas (Richardson, 1960)

L'idée de la définition de cette méthode est fondée sur le recouvrement par un ruban de longueur ε .
Soit $N(\varepsilon)$ le nombre de pas de longueur ε nécessaire pour parcourir E :

$$\Delta(E) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} (\log N(\varepsilon) / |\log \varepsilon|)$$

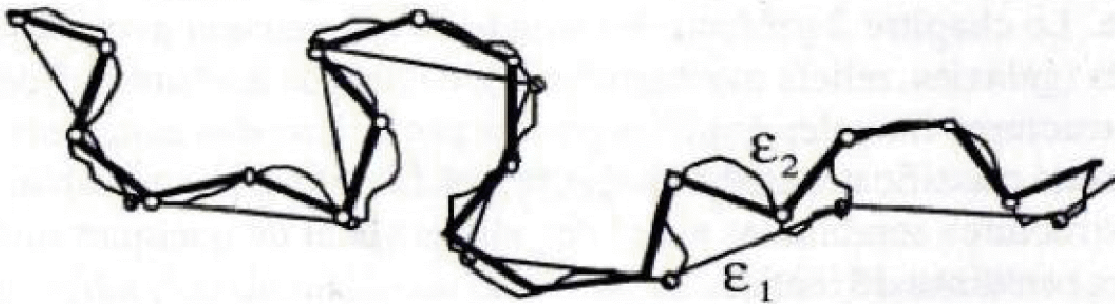


Figure II -9 : Mesures de la longueur d'une côte par report d'unités différentes

Pour un étalon de mesure ε_1 , on retrouve une longueur $N_1 \varepsilon_1$ mais un étalon de mesure plus petit ε_2 donne une nouvelle valeur plus grande.

$$L(\varepsilon_1) = N_1 \varepsilon_1$$

$$L(\varepsilon_2) = N_2 \varepsilon_2 \neq L(\varepsilon_1)$$

Et ceci sur une échelle allant de plusieurs dizaines de kilomètres à quelques mètres, L. F. Richardson étudia en 1961, les variations de longueur approchée $L(\varepsilon)$ de diverses côtes et constata d'une manière générale que, dans un large domaine de valeurs de ε , la longueur variait pratiquement suivant une loi de puissance 2 en ε .

$$L(\varepsilon) = N(\varepsilon) \varepsilon \propto \varepsilon^{-p}$$

II-2-7) La Méthode des boules disjointes

Soit $N(\varepsilon)$ le nombre maximum de boules disjointes de rayon ε centrées sur l'ensemble E : alors,

$$\Delta(E) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} (\log N(\varepsilon) / |\log \varepsilon|)$$

Cette méthode est peu utilisée en pratique.

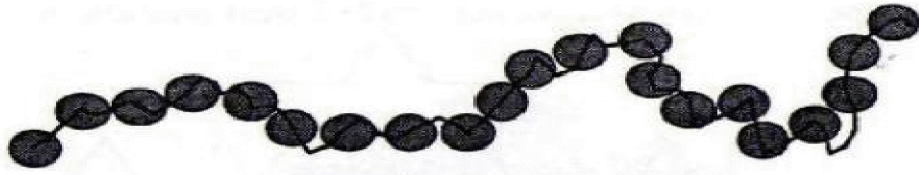


Figure II -10: Mesure de la dimension d'une courbe par la méthode des boules disjointes

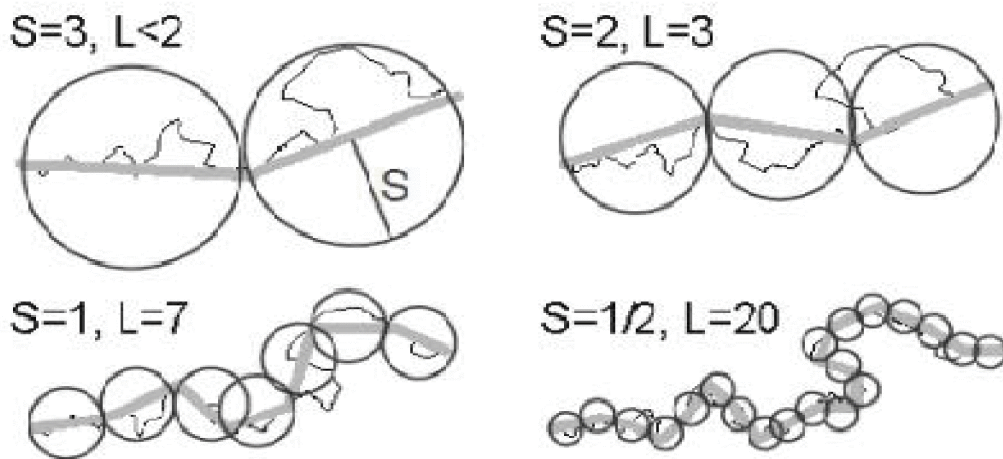


Figure II -11 : Variation du nombre L de segment d'une ligne brisée (en fonction de la taille S de l'unité de mesure) nécessaire pour mesurer la longueur de la ligne

II -2-8) Area-Perimeter (surface –périmètre)

La méthode d'area-perimeter est l'une des méthodes les plus faciles à appliquer à la géométrie fractale. Après l'obtention des images de quelques grains du sol, des techniques de traitement d'images sont utilisées pour l'obtention du périmètre et de la surface des grains. Dans ce processus, la proposition de Mandelbrot de "linear ratio of extents" (rapport linéaire d'estimation) peut être employée (Mandelbrot, 1983) :

$$C = \frac{P^{1/DR}}{A^{0.5}}$$

Dans cette équation, (C) est une valeur constante qui décrit la similitude de la forme fractale, P est le périmètre du grain, A est la surface du grain, et le DR est la dimension fractale de la rugosité des grains. Prenant le logarithme des deux côtés dans l'équation (a), on peut obtenir l'expression suivante:

$$\frac{1}{D_R} \log P = \log (c\sqrt{A})$$

- Faire certains arrangements nécessaires :

$$\log P = \frac{D_R}{2} (\log c^2 + \log A) \quad (C)$$

- Finalement, on obtient l'équation suivante :

$$\log P = k + \frac{D_R}{2} (\log A) \quad (d)$$

Dans l'équation (d), la pente de la ligne de l'ajustement normal de A-P est égale à $2/D_R$. Cependant, ce modèle ne peut pas déterminer la dimension fractale pour les grains de sol séparément. Mais, la dimension fractale déterminée par la méthode d'area perimeter est une valeur "commune" pour tous les grains étudiés. Par conséquent, la méthode de line divider semble être une approche plus raisonnable pour la détermination de la dimension fractale.

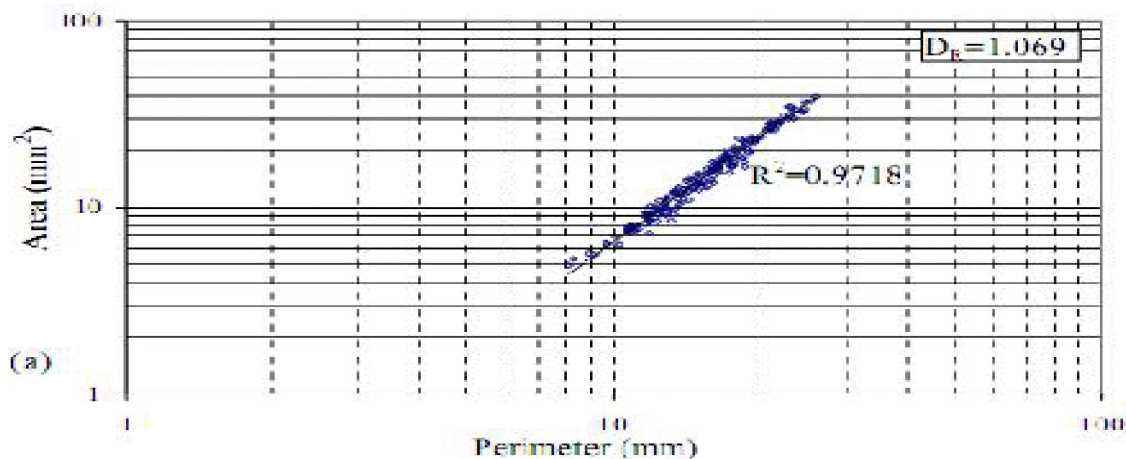


Figure II-12: Application de la méthode de area –perimeter d'un gros grain de sable originaire d'une pierre calcaire.

II-3) Conclusion

Dans ce chapitre, Nous avons présenté les méthodes les plus utilisées pour la quantification de l'irrégularité des grains constituant le sol, basées sur la dimension fractale. Le calcul de cette dimension suivant la méthode des masses nous procure un résultat pour tout le sol étudié. Les autres méthodes (line-Divider et Box Counting) peuvent fournir la dimension fractale pour chaque grain constituant le sol.

Dans notre cas nous allons utiliser le logiciel Auto-CAD pour la détermination du périmètre et la surface des grains afin d'appliquer les méthodes citées ci-dessus. La théorie fractale reste un bon moyen pour quantifier les caractéristiques du sol comme (la rugosité et la distribution dimensionnelles des particules), qui sont deux paramètres influençant sur son comportement. Afin de mieux comprendre ce dernier, il est indispensable d'étudier le phénomène d'écrasement des grains qui sera présenté dans le troisième chapitre.

Sommaire

II-1) INTRODUCTION.....	21
II-2) Les méthodes utilisées pour le calcul de la dimension fractale d'un grain de sol.....	22
II-2-1) La méthode des boîtes (Box Counting).....	22
II-2-2) Différentes étapes de maillage de l'image du grain (illustration de la méthode de Box Counting).....	25
II-2-3) Méthode des masses.....	25
II-2-4) Méthode des lignes parallèles (KEVIN, HAMMER, 2005).....	26
II-2-5) Line Divider (méthode du diviseur).....	27
II-2-6) La méthode du Compas (Richardson, 1960).....	29
II-2-7) La Méthode des boules disjointes.....	29
II-2-8) Area-Perimeter (surface –périmètre).....	30
II-3) Conclusion.....	32

Chapitre III

GENERALITES SUR LA NOTION D'ECRASEMENT DES GRAINS

III-1) Introduction

Le compactage provoque l'écrasement des grains du sol qui engendre la fragmentation des particules du sol sous différents aspects. Le pourcentage de dégradation des grains, dépend de la composition minéralogique, de leur dureté et de leur composition chimique. La mise en évidence du phénomène de l'écrasement des grains a été publié dans plusieurs études menées par : Biarez J(1962), Marsal(1967), Vesic A-S et Clough G-W (1968), Cambou(1972), et récemment Kim(1995), Lade et Yamamuro(1996), Mc Dowell et Bolton(1998), Melbouci-B(2002) . Ces études ont permis de comprendre comment le phénomène de rupture se manifeste et quels sont les paramètres et les facteurs qui permettent de quantifier cette rupture.

L'écrasement des grains dépend de la sollicitation externe, de la dimension de l'échantillon et de sa densité, de taille et de la forme des grains. Quand les grains sont solides, durs et assez arrondis, ils peuvent reprendre de grandes contraintes ; par contre, les grains de forme anguleuse de matériaux de carrière fraîchement extrait subissent la fragmentation due à la cassure des aspérités sous des contraintes moins importantes

La rupture des grains est limitée généralement aux points de contact mais elle peut se prolonger vers l'intérieur du grain.

III-2) Ecrasement des grains selon différents auteurs

Plusieurs méthodes expérimentales ont montré que le phénomène de rupture des grains est lié aux propriétés physiques et mécaniques de ces derniers ainsi qu'au chemin de contraintes appliquées. Les particules angulaires des matériaux subissent la fragmentation sous la pression ordinaire en raison de la rupture des angularités pointues. Divers auteurs ont classé la rupture des grains selon des critères différents :

III-2-1) Ecrasement des grains selon (Bishop et Henkel, 1962)

Cette étude est basée sur la relation contrainte-déformation, effectuée sur des échantillons cylindriques soumis à deux cycles de chargement et déchargement. Les observations sont faites au niveau des contacts cisailés. Les auteurs ont observé un cisaillement au niveau des points de contact, en outre aucune diminution de volume n'a été relevée. Le comportement des deux grains en contact sous une contrainte croissante est schématisé sur la figure III-1.

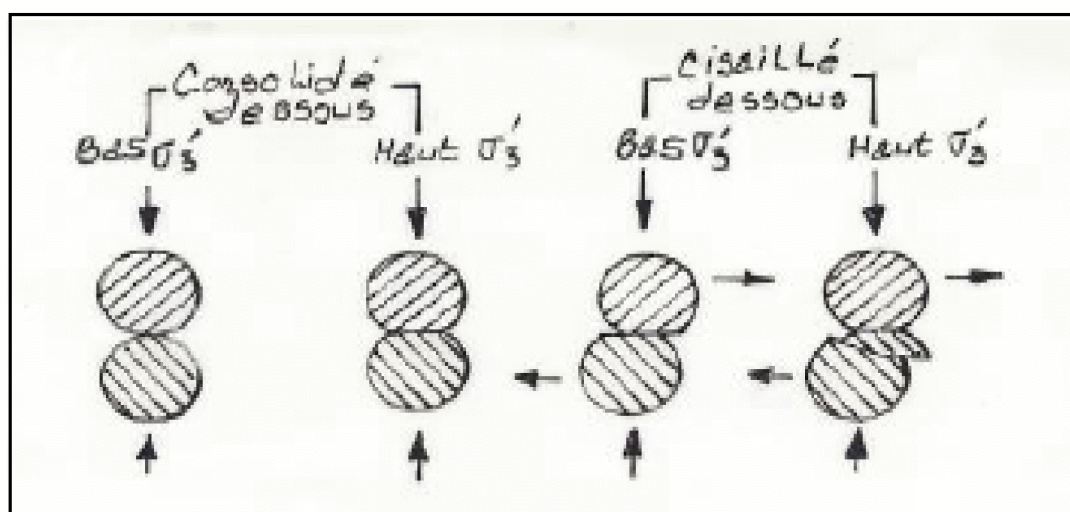


Figure III-1 : Représentation schématique du comportement de contact (D'après Bishop et Henkel, 1962)

III-2-2) Ecrasement des grains selon (Ramamurthy, 1969)

Ramamurthy (1969) a proposé quatre modes de ruptures des grains :

- I. Rupture des aspérités
- II. Cisaillement des aspérités
- III. Rupture des angularités
- IV. Le fendage des grains de sol

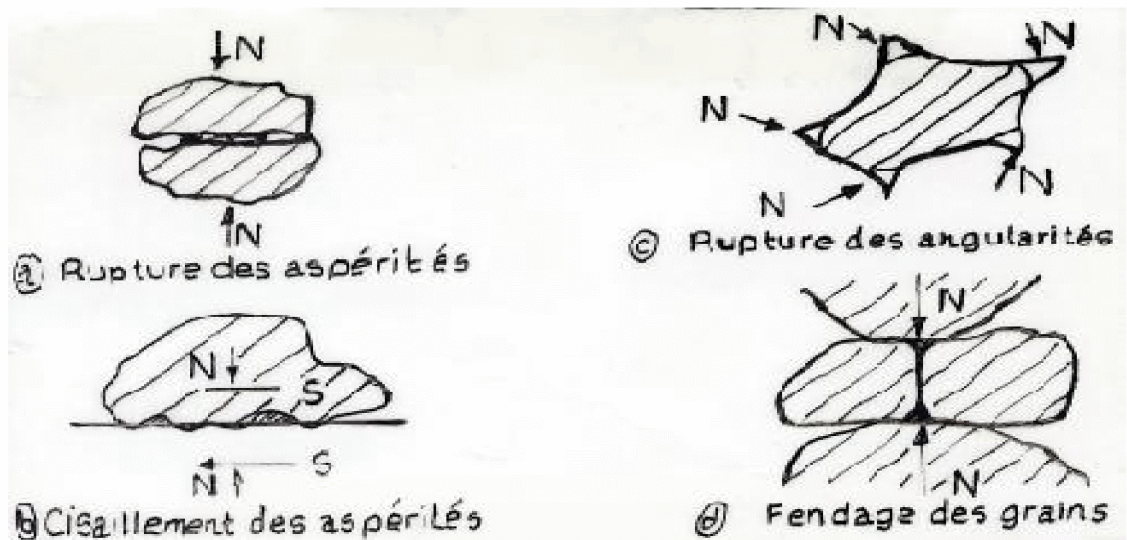


Figure III-2 : Différents types de rupture des grains selon Ramamurthy en 1969.

III-2 -2-1) Rupture des aspérités

La proportion du matériau écrasé est très petite puisqu'elle concerne seulement les aspérités dans les régions des efforts où le cisaillement est plus élevé. La résistance de frottement entre les grains de sol dépend de leurs propriétés extérieures et des constituants minéraux. Le degré d'écrasement change selon l'importance de l'effort et du mouvement des grains. Les grains fragiles se cassent plus rapidement.

III-2-2-2.) Cisaillement des aspérités

Ce type d'écrasement se produit pour les grains durs qui sont soumis à des efforts à leurs points de contact. Cette rupture des grains est rencontrée au cours du tassement, lorsque les granulats sont soumis à des hautes contraintes de compression. L'importance de la rupture dépend de la forme géométrique du grain, à savoir sa taille et sa forme en particulier, des efforts appliqués aux points de contacts des différents grains et des contraintes appliquées en ces points. Cette rupture peut se prolonger vers l'intérieur des grains. Les fragments formés par la rupture du grain sont plus durs que ceux formés par le cisaillement, ou par l'écrasement des aspérités en surface des grains.

III-2-2-3) Rupture des angularités

Dans les matériaux extraits, les coins pointus des grains se cassent pendant le compactage ou le cisaillement, cependant le schéma global d'angularité, des surfaces et des coins nouvellement formés sont relativement plus forts. Les aspérités sur les surfaces nouvellement formées sont fortes à de basses pressions et elles peuvent se comporter différemment sous des intervalles d'effort plus élevés.

III-2-2-4) Fendage des grains de sol

Ce type d'écrasement se produit lorsque les grains durs de sol sont soumis à des d'efforts de sens opposés à leurs points de contact. Ces efforts ont pour conséquence la fragmentation. L'ampleur de l'écrasement dépend de la forme, de la taille et des forces de contact des grains ainsi produits sont plus résistants que ceux formés après rupture des aspérités.

III-2-3) L'écrasement des grains selon (Guyon et Troadec, 1994)

On distingue 3 modes de rupture selon Guyon et Troadec 1994 :

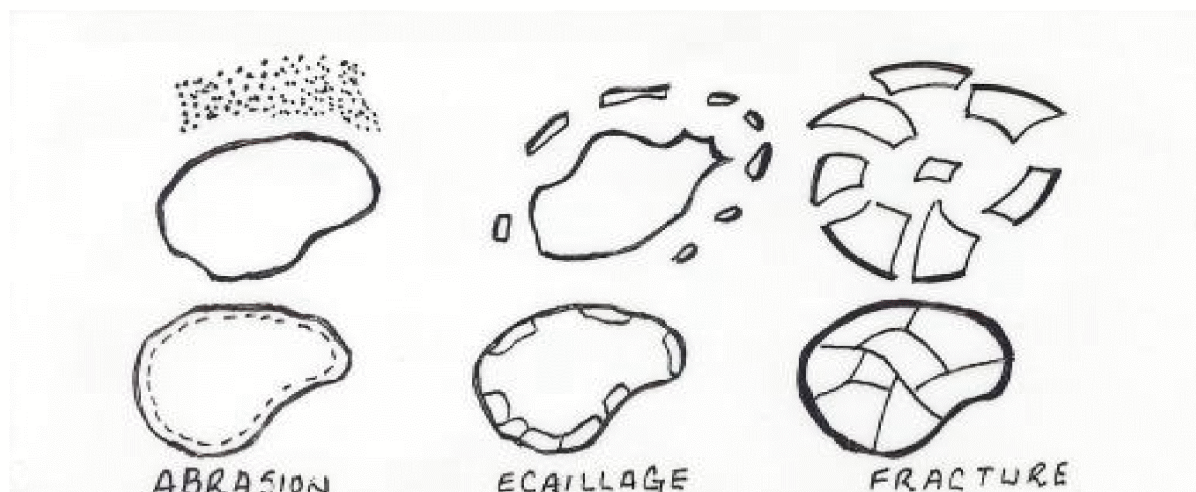


Figure III-3 : Différents modes de rupture des grains selon Guyon et Troadec, 1994.

- I. **L'abrasion** : le résultat est un grain ayant sensiblement la même taille que le grain original mais avec une production de particules de taille très fines.
- II. **L'écaillage (ou l'attrition)** : un grain se casse pour donner un grain de taille un peu inférieure et plusieurs de plus petite taille.
- III. **La fracture** : un grain se casse pour en donner de nouveaux de tailles sensiblement égales et inférieures à la taille du grain original.

III-3) Effet de la croûte molle

La résistance au cisaillement du grain dépend des propriétés de la croûte molle et des forces de contact. Si les pressions de contact sont basses, aucune variation ne sera observée dans les paramètres de résistance. Mais quand les efforts de contact augmentent, les résidus des grains provoquent les écoulements et se comportent comme un lubrifiant plein interposé entre les surfaces de contact (Ramamurthy, T en 1969).

III-3-1) Type de défaillance dans la croûte molle

Elles dépendent de l'importance de la pression de contact et de la force de croûte des grains, les défaillances de cisaillement peuvent avoir lieu de la manière suivante :

1. Cisaillement à l'interface
2. Cisaillement localisé dans la croûte la plus molle
3. Cisaillement généralisé dans la croûte la plus molle

III-3-1-1) Cisaillement à l'interface

L'effet de cisaillement progresse sur l'interface des grains et tend à diminuer en direction du centre de la particule. Sous basses pressions, l'écrasement ne peut être atteint mais prend place le long du plan séparant les surfaces initiales. La zone de cisaillement sera limitée à une région discontinue très étroite. La résistance au cisaillement sera celle de la croûte la plus molle du grain glissant au dessus (Figure III -4)

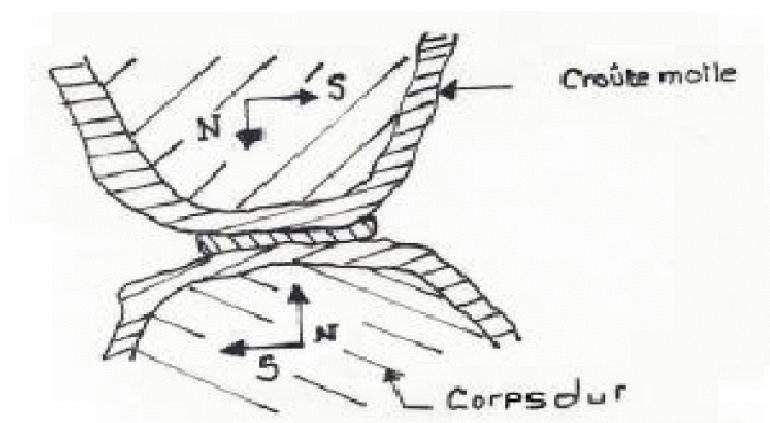


Figure III-4 : Cisaillement à l'interface

III-3-1-2) Cisaillement localisé dans la croûte molle

Sous une pression de contact plus élevée, la couche épaisse du grain mou (fragile) adhère à la surface de l'autre grain, et le cisaillement aura lieu entièrement dans le grain le plus mou.

La résistance au cisaillement sera la somme des résistances partielles d'un grain plus mou glissant sur lui-même plus le travail supplémentaire effectué par le glissement des deux grains. (Figure III-5).

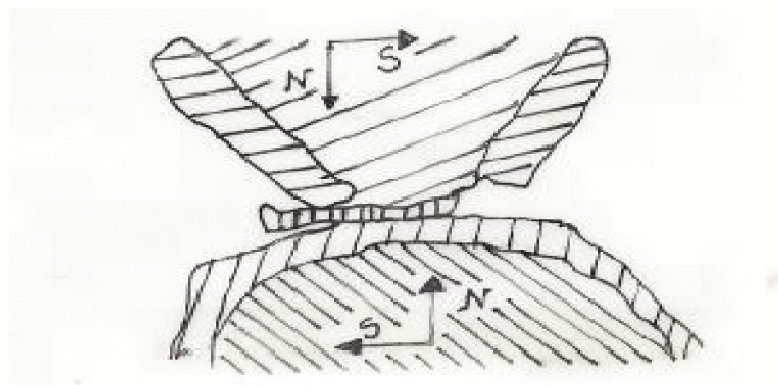


Figure III-5 : Cisaillement localisé dans la croûte molle

III-3-1-3) Cisaillement généralisé dans la croûte molle

Quand les effets de la transformation climatique sont limités à la croûte supérieure et ne pénètrent pas dans les grains de sol, une épaisseur limitée de croûte sera ramollie. Sous des pressions de contact élevées, la défaillance peut avoir lieu en cisillant le grain plus mou le long de la borne séparant la croûte molle du noyau dur (Figure. III-6).

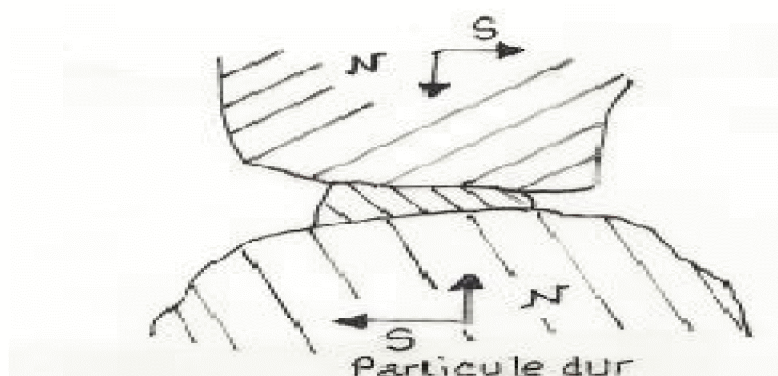


Figure III-6: Cisaillement généralisé dans la croûte molle

III-4) Quantification de la rupture des grains

Pour bien comprendre le comportement des sols, il est important de définir le degré d'écrasement des grains et pouvoir ainsi le quantifier. L'écrasement des grains est mesuré par comparaison des courbes granulométriques avant et après chaque essai. La rupture des grains entraîne une diminution de leur taille qui induit à une augmentation du pourcentage de particules fines et, par conséquent, une modification de la distribution granulométrique.

La rupture des grains peut se produire même sous des basses pressions mais cela dépend des caractéristiques des grains. Plusieurs auteurs ont défini le taux d'écrasement des grains à partir des caractéristiques des courbes granulométriques: Lee et Farhoomand(1967);Lee et seed(1967);Vesic et clough(1968) ; Miura et Yamanouchi (1977); Miura et O-Hara(1979) ; Hardin(1985) ; Fukumuto (1990) ; Yamamuro et Al (1996) ; Hagerty et Al (1993) .Ces auteurs proposent différents facteurs pour mesurer la quantité de rupture des grains. Ces facteurs sont empiriques et sont basés sur des changements des dimensions granulaires, des diamètres ou le changement global de la granulométrie.

III-5) Les paramètres influençant la rupture des grains

Nous présentons une synthèse des résultats expérimentaux tirés des différents articles entre autre : Biarez et Hicher (1997) ; Hagerty (1993) ; Melbouci (2002) et Ramamurty (1969) relatif aux paramètres susceptibles d'influencer le phénomène de rupture des grains.

Les principaux paramètres susceptibles d'influencer la rupture des grains sont :

- 1) La forme des grains (arrondis ou anguleux).
- 2) La taille des grains.
- 3) La répartition granulométrique.
- 4) La présence d'eau.
- 5) L'altération naturelle des grains.
- 6) La compacité.
- 7) Le Chemin de contrainte.
- 8) L'état de déformation.

❖ La forme des grains

La forme des grains est un facteur significatif. La rupture des grains augmente avec leur angularité. En effet, la forme anguleuse obtenue par concassage favorise la concentration des contraintes (les surfaces de contacts étant très faibles) et la résistance à la rupture des grains est plus rapidement atteinte, Melbouci B (2002). D'autre part, les matériaux alluvionnaires ont une forme arrondie, par ce qu'ils ont subi des transformations de textures causées par l'effet de transport d'eau, dans ce cas la rupture des grains est moins rapide. Une bonne angularité confère au mélange granulaire une meilleure stabilité mécanique. George Arquie et Claude Tourenq (1990) ont montré que dans un essai triaxial, l'angle de frottement interne augmente de 7° quand on passe d'un matériau entièrement roulé à une roche massive concassée, donc les éléments roulés assurent une meilleure maniabilité, mais ils présentent des performances mécaniques faibles du mélange.

❖ la taille des grains

Les grains présentent des tailles différentes ; de la plus petite de l'ordre du micron à des grains de l'ordre du centimètre. Dans le cas des matériaux granulaires, la taille des grains est aussi un paramètre important. Des microfissures se propagent lorsque les grains sont soumis à un chargement élevé, ce qui nous donne une cause importante de rupture des grains (Melbouci B 2002). En effet, plus la taille du grain augmente et plus la probabilité de présence des zones de faiblesse, dans celui-ci augmente.

❖ Etalement granulométrique

La répartition granulométrique est également un facteur très important et les différentes études concordent pour montrer qu'une granulométrie initiale serrée favorise la rupture des grains Melbouci B (2002). Biarez J (1997) a montré que l'effet de l'étalement granulométrique peut s'expliquer par une meilleure distribution des forces inter-granulaires dans un milieu à granulométrie étalée. En effet, Pour obtenir une granulométrie étalée, les vides que laissent les gros gravillons en contact, peuvent être occupés par des gravillons plus petits, et les vides qui subsistent encore, peuvent être remplis par le sable, et ainsi de suite jusqu'aux éléments fins.

❖ Influence de l'eau

Le comportement mécanique des grains est influencé par la présence d'eau. En effet, Marsal (1997) a mis en évidence l'effet de l'eau sur la réponse contrainte - déformation des matériaux granulaires. Il a effectué des tests sur des échantillons saturés en eau et des échantillons à l'état sec. Il en a déduit qu'il y a une diminution de la résistance des matériaux granulaires en présence d'eau. En outre, l'étude menée par Melbouci B (2007) sur les matériaux granulaires, montre que l'effet de l'eau a favorisé l'étalement granulométrique. En effet, l'eau a ramolli la surface superficielle des grains, ce qui a facilité leur écrasement.

❖ Altération naturelle des grains

On appelle altérabilité la sensibilité d'une roche aux modifications du milieu qui l'entoure. La gélivité des roches est un des phénomènes important de l'altérabilité, deux facteurs essentiels interviennent :

- 1- La structure du milieu poreux (importance de la porosité et de la dimension des pores) et l'état de fissuration.
- 2-La teneur en eau de la roche au moment où survient le gel.

La transformation de l'eau en glace se fait avec une augmentation de volume. Dans le cas où les pores seraient entièrement remplis par l'eau, les contraintes de traction exercées par la glace sur les roches peuvent dépasser largement leur limite de résistance. Pour la détermination de la sensibilité du granulat au gel, George Arque et Claude Tourenq (1990), ont fait une étude sur l'essai Los Angeles, qui a provoqué la fragmentation des granulats dans un broyeur. Deux échantillons ont été testés, le premier étant intact et le second après avoir subi 25 cycles de gel – dégel entre 25°C et -25°C. Les auteurs ont déduit qu'il y a une diminution relative du coefficient Los – Angeles. On peut conclure que l'altérabilité a une influence directe sur la résistance des granulats.

❖ Influence des paramètres de compacité

La rupture des grains est considérablement influencée par le paramètre de la compacité. Ce dernier est lié à la densité relative des matériaux granulaires. En effet, un matériau granulaire de faible densité initiale conduit à la rupture importante des grains qu'un matériau de forte densité relative initiale. Une faible valeur de densité nous donne un nombre de contact entre grains peu élevé et,

par conséquent, une intensité de contrainte élevée, ce qui provoque l'écrasement des grains. Pour un milieu peu dense, à grain anguleux, la rupture des grains est importante au début du chargement, puis devient semblable à celui du milieu dense (Melbouci. B. 2002).

III-6) Conséquence du phénomène d'écrasement

Dans les milieux granulaires, les cassures se produisent pendant le compactage, des échantillons frais doivent être employés pour obtenir des résultats fiables de densité sèche et de contenu d'humidité maximum. Dépendant de la forme et de la force des grains de sol et du mode du compactage, les grains de sol peuvent subir la dégradation même pendant le premier compactage. Un écrasement graduel pendant le compactage ou le cisaillement indique un changement graduel de l'indice des vides qui influence par la suite la force du sol.

L'importance de la fragmentation des grains peut ne pas influencer la conception et la stabilité des structures. L'écrasement excessif pendant le compactage améliorera la densité qui devrait être une considération en évaluant les avantages d'un équipement plus lourd de compactage. L'avantage de l'écrasement doit non seulement casser les grains plus faibles mais améliorer également la performance des milieux granulaires en diminuant sa compressibilité et sa perméabilité. [Ramamurthy.T en 1969].

III-7) Conclusion

Le taux d'écrasement des grains dépend essentiellement de la granulométrie, de leur taille, de leur forme, de leur dureté, de la contrainte appliquée ainsi la présence ou l'absence d'eau et de l'indice des vides.

La rupture engendre une diminution de la taille des grains ce qui induit une augmentation du pourcentage des particules fines et par conséquent une modification de la distribution granulométrique et une modification de l'état de surface des grains.

Sommaire

III-1) Introduction.....	34
III-2) Ecrasement des grains selon différents auteurs.....	35
III-2-1) Ecrasement des grains selon (Bishop et Henkel, 1962).....	35
III-2-2) Ecrasement des grains selon (Ramamurthy, 1969).....	35
III-2-2-1) Rupture des aspérités.....	36
III-2-2-3) Rupture des angularités.....	37
III-3) Effet de la croûte molle.....	38
III-3-1) Type de défaillance dans la croûte molle.....	38
III-3-1-1) Cisaillement à l'interface.....	38
III-3-1-2) Cisaillement localisé dans la croûte molle.....	39
III-3-1-3) Cisaillement généralisé dans la croûte molle.....	39
III-4) Quantification de la rupture des grains.....	40
III-5) Les paramètres influençant la rupture des grains.....	40
III-6) Conséquence du phénomène d'écrasement.....	43
III-7) Conclusion.....	44

Chapitre IV

IDENTIFICATION DES MATERIAUX UTILISES

IV-1) Introduction

L'étude géologique des matériaux granulaires relève d'une importance capitale dans le domaine de leur utilisation. La curiosité d'un universitaire à connaître leurs paramètres physiques, le guide systématiquement à mieux les analyser par les différentes méthodes existantes en géotechnique et à connaître ainsi les différents types de minéraux qui les composent. Dans ce qui suit, nous essayons de présenter et de définir les deux matériaux utilisés, à savoir le grès, et le schiste, ainsi que les différentes formes que peuvent avoir leurs grains.

Les granulats utilisés dans le génie civil sont en majorité d'origine alluvionnaire. Vu l'utilisation irrationnelle de ces matériaux et la pluviométrie qui ne cesse pas de diminuer ces dernières années, ces matériaux deviennent de plus en plus rares. Il faut donc penser à s'orienter vers d'autres gisements de roches massives pour compenser cette insuffisance et éviter l'extraction non contrôlée de sable qui peut causer des dégâts très importants sur notre environnement.

C'est ainsi que nous nous intéresserons aux grains des matériaux locaux tels que les grès et le schiste disponibles en quantité suffisante dans la région de Tizi-Ouzou.

IV-2) Géologie locale de la région

Le massif ancien de grande Kabylie est constitué d'un socle gneissique fortement métamorphique et d'une couverture schisteuse epimétamorphique (Bossiere 1971) ; ces deux ensembles sont eux même recouverts en discordance par une série peu ou non métamorphique (Bossiere et raymond1972). Cette couverture est constituée essentiellement d'un ensemble de sericitoschistes et de chloritoschistes présentant des passées gréseuses.

La partie supérieure du socle est formée d'une masse de quartzite à biotite présentant deux schistosités bien marquées. La partie inférieure est représentée par des gneiss fins à plagioclase, biotite et sillimanite (Bossiere et gromov, 1973).

IV-3) Définition du gré



Figure IV-1 : Le gré à étudier.

Les grés sont des roches d'origine sédimentaire, constituées essentiellement de silice, matière première indispensable et sans substitut pour de nombreuses industries. Ce sont des sables cimentés dans lesquels la taille des grains est inférieure à 2mm. Ils sont caractérisés par la dimension des grains, leur forme, leur classement et la nature du ciment qui est en général de la silice ou du calcaire, parfois de l'argile ou des hydroxydes de fer et des éléments accessoires. Ceci permet de distinguer quatre types:

- Grés siliceux
- Grés calcaires
- Grés argileux

➤ Grés ferrugineux

IV-3-1) Localisation du matériau grés

Au niveau de la wilaya de Tizi-Ouzou, les niveaux géologiques favorables au développement des grés sont les nappes de flus (numidien) le miocène et l'oligo-miocène kabyle. Les grés numidiens sont de qualité supérieure à ceux du miocène. Les premiers affleurent essentiellement dans la partie orientale de la wilaya (Tabourth n'ait degane, Aourir, Achallam, Moknea) et sur sa bande littorale (cap Tedles, Zegzou, Ait raouana), les seconds se développent au centre et au Sud de la wilaya (Souk-tlata, Thidoucene...).

Les grés numidiens sont quartzeux de couleur gris clair parfois blanc à grains moyens à gros, ils se présentent en gros bancs métriques intercalés de perlites. Épais de plusieurs centaines de mètres, ils constituent en volume l'essentiel de la série numidienne.

Le matériau étudié est extrait au lieu dit « Yakourene » situé à 70 km à l'Est du chef lieu de la wilaya de Tizi-Ouzou.



Figure IV-2 : Photo satellite du lieu d'extraction du gré (Tizi Tghidhet)

IV-3-2) Caractéristiques et composition chimique du gré (Allili Hakim et Amokrane Djouher (these Ingénieure 1999) »

Les propriétés physico-mécaniques de ces roches montrent qu'elles ne sont pas très homogènes :

- Le poids volumique varie entre 2220 et 2450 kg/m³
- La porosité entre 7,34 et 19,9%
- L'absorption d'eau entre 1,44 et 4,42%
- L'essai de compression à l'état sec entre 414 et 1516 kgf/cm²
- L'essai de compression à l'état saturé entre 302 et 975 kg.f/ cm²
- Le coefficient de ramollissement entre 0,50 et 0,78

Ces propriétés ainsi que leurs capacités de se débiter en blocs, font de ces grés un matériau utilisable en construction (pierre de taille moellons...); d'ailleurs, ils ont été utilisés depuis l'antiquité en tant que tel (ruines romaines de Tizirt, Azzefoun...). Des grès quartzeux peuvent être utilisés à l'état naturel dans la sidérurgie, la fonderie et même dans la verrerie ordinaire.

Les principaux minéraux des grès numidiens donnés (O.R.G.M) de Tizi-Ouzou sont présentés dans le tableau IV-1

Tableau IV-1 : Compositions minéralogiques des grés numidiens, « Allili Hakim et Amokrane (these Ingénieure 1999) »

Si O ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Ti O ₂ (%)	CaO (%)	MgO (%)	MnO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	PAF (%)
91.57 à 98.64	0.10 à 1.8	0.04 à 3.60	0.15 à 0.36	0.10 à 1.05	0.02 à 0.21	0.01 à 0.05	0.05	0.01 à 0.51	0.29 à 1.35

IV-4) Le schiste**IV-4-1) Définition des schistes**

Les schistes sont des roches métamorphiques dans lesquelles les cristaux du minéral principal sont disposés en couches parallèles et forment un grand nombre de feuillets bien développés, proches les uns des autres, provenant de la transformation des argiles par déshydratation et sous l'action des pressions orientées. Elles ont acquis cette schistosité sous l'influence des contraintes physico-mécaniques (température et/ou pression). Ils se forment généralement dans des conditions de faible température et de fortes pressions donc à des profondeurs variant entre 4000 et 6000 m. Leur composition chimique ou pétrographique peuvent être très diverses.



Figure IV-3 : Le schiste à étudier

Le schiste est une roche qui a pour particularité d'avoir un aspect feuilleté et de se débiter en plaques fines ou (feuillets rocheux). On dit qu'elle présente une schistosité, il peut s'agir d'une roche sédimentaire argileuse, ou bien d'une roche métamorphique.

Les roches schisteuses se délitent facilement le long d'un feuillet ou d'un plan de schistosité. Les diverses roches schisteuses sont nommées et caractérisées d'après le minéral dominant qui est à l'origine de la foliation. Parmi les schistes importants figurent les micaschistes, les schistes chlorites et les talcs schistes. Généralement, le quartz est le principal minéral, la roche schisteuse la plus courante est la roche métamorphique la plus commune après le gneiss et le micaschiste. Il se compose de mica, habituellement sous forme de biotite ou de muscovite et de quartz en quantité moindre.

IV-4-2) Les différents types de schiste

On distinguera plusieurs types de schiste du moins dure au plus dure

a) Les schistes du métamorphisme général très faible

- schiste bitumineux
- les schistes ardoisés

b) Les schistes du métamorphisme générale faible (epizonale)

- Schistes sericiteux ou satines
- Schiste talqueux
- Schiste cloriteux
- Schiste lustres

c) Les schistes du micaschiste général plus fort (catazonal)

- les micaschistes

***Les schistes du métamorphisme de contact**

-les schistes tachetés (le cas du schiste étudié) : la schistosité est en générale acquise antérieurement à l'intrusions des roches magmatiques, de couleur grise à noir à petites tâches de 0,5 a 3mm (schistes tachetés). Les schistes dans lesquels le métamorphisme de contact à basse intensité a développé des minéraux de néoformation se concentrent en agrégats ayant l'aspect de taches (porphyroblastes).

IV-4-3) Schistes étudiés

Les schistes étudiés sont extraits dans le gisement situé au lieu dit « Pont de bougie » situé à 7 km a l'Est du chef lieu de la wilaya de Tizi-Ouzou.



Figure IV-4 : Photo satellite du site d'extraction du schiste

IV-4-4) La composition minéralogique du schiste

Les résultats d'analyse minéralogique sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau IV-2 : Les différents composants minéralogiques du schiste.

Texture	structure	Amphiboles (%)	Ferro-Actinote (%)	calcite	chlorite	Minéraux primaires	Minéraux secondaires
massive et compact	Hématoblaste	50-55	20-25	4-5	8-10	Amphibole Variété Hornblende En prisme allongés	Pyroxene Calcite Finement cristalline

IV-4-5) Caractéristiques physiques du schiste

Les caractéristiques déduites de l'essai de plasticité et de densité sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau IV-3 : Les valeurs des caractéristiques physiques du schiste

Caractères	W (%)	WL	WP	Ip	γ_d (gr/cm ³)	γ_h (gr/cm ³)	γ_s (gr/cm ³)	e	Sr (%)	n
valeurs	5.15	non mesurable	non mesurable	non mesurable	2.43	2.55	2.87	0.181	81.66	0.153

IV-4-6) Résultats des essais CBR et Proctor

Les résultats de l'essai CBR et l'essai Proctor sont indiqués dans le tableau suivant :

Tableau IV-4 : Résultats des essais Proctor et CBR

Proctor modifié		Indice CBR (%)	
$(\gamma_d)_{opt}$ (gr/cm ³)	w _{opt} (%)	92% de compacité	98% de compacité
2.26	7.1	10	38

IV-5) Conclusion

La région de Tizi-Ouzou dispose de plusieurs gisements des matériaux (gré, schistes,.....) situés en surface et près des routes nationales, ce qui rend leur exploitation facile et à moindre cout.

Ces matériaux disposent des principaux minéraux qui sont : le quartz, le feldspath et les micas. De ce fait, il est souhaitable de pouvoir les utiliser dans le domaine de génie civil.

Sommaire

IV-1) Introduction.....	45
IV-2) Géologie locale de la région.....	46
IV-3) Définition du gré	46
IV-3-1) Localisation du matériau grés	47
IV-4) Le schiste	49
IV-4-1) Définition des schistes	49
IV-4-2) Les différents types de schiste	50
IV-4-3) Schistes étudiés	51
IV-4-4) La composition minéralogique du schiste.....	51
IV-4-5) Caractéristiques physiques du schiste	52
IV-4-6) Résultats des essais CBR et Proctor	52
IV-5) Conclusion	53

CHAPITRE V

***GENERALITES SUR LES ESSAIS PROCTOR ET
PREPARATION DES ECHANTILLONS***

V-1) Introduction

Le but d'un essai de laboratoire est de suivre l'évolution et le comportement mécanique d'une éprouvette du sol soumise à un chargement déterminé. Dans certains cas géotechniques, il est impossible d'estimer le comportement du sol vue son anisotropie et sa complexité.

Néanmoins certaines propriétés mécaniques des sols peuvent être contrôlées en étudiant la dimension, la taille et la forme des grains. Dans ce qui suit, nous présentons l'essai utilisé en laboratoire: le Proctor. L'objectif de ce travail est non seulement d'étudier le comportement des matériaux granulaires (gré et schiste) mais aussi d'étudier l'évolution de la dimension fractale des grains de différentes dimensions soumis à l'essai Proctor

V-2) Le Tamisage

V-2-1) Méthode par tamisage à sec (norme P94-056)

La granulométrie est l'étude de la distribution statistique des tailles d'une collection d'éléments finis de matière naturelle ou fractionnée. L'analyse granulométrique est l'ensemble des opérations permettant de déterminer la distribution des tailles des éléments composant la collection. La distribution granulométrique est la représentation sous forme de tables, de nombres ou de graphiques, des résultats expérimentaux de l'analyse granulométrique. On associe parfois à l'analyse granulométrique l'analyse de la distribution statistique de la forme des grains, il s'agit de la granulomorphie.

Le tamisage est la méthode la plus ancienne et encore très largement utilisée car elle est plus économique. Elle consiste à mesurer le poids de matière qui passe au travers des mailles calibrées d'une toile de tamis.

L'analyse granulométrique par tamisage, au moyen de tamis à maille carrée de dimension inférieure ou égale à 100 mm, s'applique aux sols, aux matériaux rocheux après extraction et aux sous produits industriels utilisés dans le domaine du bâtiment et du génie civil, dans la mesure où les sollicitations provoquées par le processus d'essai ne modifient pas leur structures. (Norme P94-056).

V-2-2) Principe d'essai

Le sol est un mélange de grains de formes et de tailles différentes. L'analyse granulométrique a pour objet de déterminer la distribution en poids des particules suivant leurs dimensions. Cette classification permet l'identification du matériau et prévoit quelques propriétés du sol.

L'essai consiste à séparer les grains agglomérés d'une masse connue de matériau, au moyen d'une série de tamis emboîtés les uns sur les autres dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et les classements des grains s'obtiennent par vibration de la colonne de tamis.

Peser successivement le refus de chaque tamis. La masse des refus cumulés sur chaque tamis rapportée à la masse totale de l'échantillon constitue le tamisât cumulé.



Figure V-1 : Tamiseuse

V-2-3) Mode opératoire

-Verser une masse du matériau sèche au sommet de la colonne de tamis d'ouverture de maille décroissante du haut ver le bas.

-A l'aide d'un vibro-tamis, on vibre la colonne pendant 10 a 15 min pour avoir réalisé un bon tamisage.

-Verser les tamis vers un récipient en utilisant la brosse et le pinceau afin de ne laisser aucune particule au niveau du tamis.

-Peser le refus de chaque tamis et réaliser la courbe granulométrique.

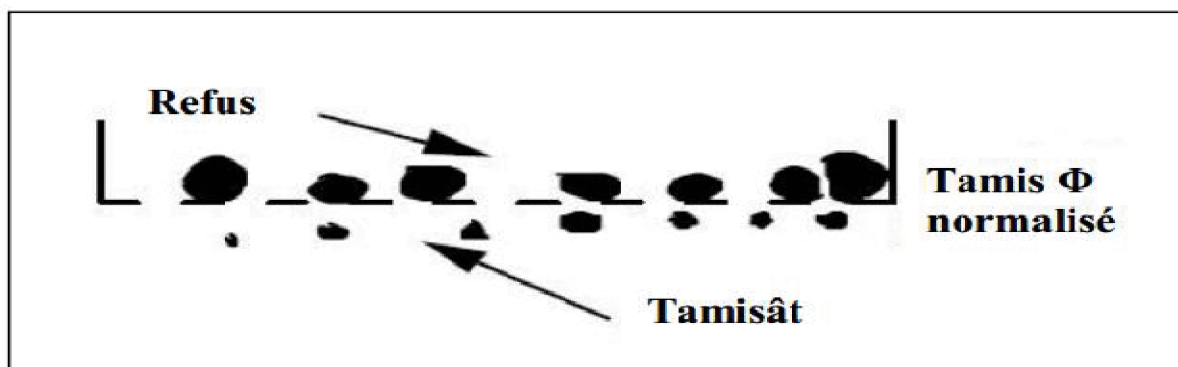


Figure V-2: Résultat du tamisage

V-2-4) Appareillage

L'appareillage est constitué par :

- Un dispositif de lavage avec un arroseur.
- Un jeu de tamis emboîtable à maille carrée
- Les tamis sont disposés de la dimension la plus grande vers la plus petite.
- Couvercle et fond de tamis.
- Récipient en matériau non altérable, brosse, pinceau.
- Une balance.
- Etuve : enceinte thermique à température réglable



Figure V-3 : Tamis



Figure V-4: Vibro-tamis

V-3) Essai Proctor

V-3-1) Introduction sur l'essai Proctor

Les remblais posent à l'ingénieur routier un certain nombre de problèmes, d'où on peut citer :

- La stabilité des talus
- La résistance des talus à l'érosion.
- Le tassement.

- Et le compactage.

Le « compactage » est le procédé le plus économique toujours utilisé dans la construction des remblais pour améliorer la densité sèche du sol (γ_d).

Le « compactage » est une réduction pratiquement instantanée du volume du sol dû à la réduction des vides d'air. Il ne y'a aucune expulsion d'eau ce qui différencie le compactage de la consolidation.

L'étude du compactage s'effectue à l'aide d'un damage normalisé connu sous le nom de « l'essai Proctor ».

V-3-2) Histoire

Au début des années 1930, Proctor trouve une solution pour déterminer la densité maximum des sols. Dans un environnement contrôlé (pour un volume contrôlé), le sol peut être compacté jusqu'à un point où il n'y a plus qu'un minimum d'air présent dans le sol, simulant les conditions d'un sol in situ. À partir de là, la densité sèche peut être déterminée en mesurant simplement le poids du sol avant et après compactage, calculant la teneur en eau et la densité sèche.

De nos jours, cet essai est fréquemment utilisé en France en ingénierie géotechnique pour catégoriser les sols selon la classification GTR (Guide des Terrassements Routiers - norme NF P11300) et ainsi déterminer la méthode la plus adaptée et la possibilité de la mise en place d'une nouvelle couche de matériaux (dans la cas d'une construction de route par exemple). **En effet**, lors du terrassement, les matériaux mis en remblai doivent être les plus compacts possible, afin de s'assurer de leur stabilité une fois l'ouvrage en exploitation (passage des véhicules dans le cas d'une route).

L'essai Proctor, mis au point par l'ingénieur Ralph R. Proctor (1933), est un essai géotechnique qui permet de déterminer la teneur en eau nécessaire pour obtenir la densité sèche maximale d'un sol granulaire par compactage à une énergie fixée (dame de poids, nombre de coups et dimensions normés).

Le protocole de l'essai Proctor suit la norme NF P 94-093 (détermination des références de compactage d'un matériau). Les valeurs obtenues par l'essai sont notées W_{OPN} pour la teneur en eau optimale, et γ_{OPN} pour la masse volumique sèche optimale. Une autre référence peut être déterminée pour une énergie supérieure (notamment pour des couches de chaussées granulaires), il s'agit de l'optimum Proctor modifié (OPM).

V-3-3) Définition

Le mode opératoire de cet essai est un ensemble d'opérations mécaniques, qui conduisent à accroître la densité en place d'un sol. Cette action augmente la compacité du sol, donc resserre la texture du matériau, réduit la possibilité de déformation du terrain et améliore sa capacité portante. Pour faire un meilleur compactage sur chantier, on réalise un essai Proctor en laboratoire pour déduire la masse volumique sèche, et ceci permet d'avoir une idée sur le comportement du sol vis-à-vis des chocs, de l'usure ou de la fragmentation. Pour vérifier la qualité et l'efficacité du compactage, les caractéristiques mesurées (W_{opt}, γ_{dmax}) sont à vérifier sur chantier.

Deux types d'essais Proctor ont été mis en œuvre (Proctor Normal et Proctor Modifié). En effet, le Proctor modifié est généralement utilisé pour les couches de chaussée tandis que le Proctor Normal pour l'étude des sols en remblai.

V-3-4) Appareillage et principe de l'essai

Les deux essais de compactages (Proctor Normale et Proctor Modifié) présentent le même principe et diffèrent seulement par l'énergie de compactage transmise au sol.

Le principe de ces essais consiste à compacter le sol dans un moule normalisé, à l'aide d'une dame normalisée tombant d'une hauteur libre, selon un processus bien défini, Le sol est disposé en plusieurs couches selon le type d'essai. Chaque couche doit être compactée. Avec la même énergie on répète plusieurs fois l'essai en faisant varier la teneur en eau du sol (2%, 4%, 6%, 8%, 10%, 12%, 14%, 16%). Pour chaque teneur en eau considérée, on détermine la masse volumique sèche du sol et on établit la courbe des variations de cette masse volumique en fonction de la teneur en eau.

D'une manière générale cette courbe appelée courbe Proctor présente une valeur maximale de la masse volumique du sol sec qui est obtenue pour une valeur particulière de la teneur en eau. Ces deux caractéristiques sont appelées densité optimale et teneur en eau optimale. En comparant la masse volumique du sol sec sur le chantier avec la masse volumique sèche maximale, on établit le degré de compacité ($DC = \gamma_{dchant} / \gamma_{dmax}$). Ce degré de compacité est l'un des critères sur lesquels on s'appuie pour accepter ou refuser un compactage. Ce degré, qui s'exprime en pourcentage, tend vers 100% lorsque la valeur de γ_{dchant} tend vers celle de γ_{dmax} .

Plus il est élevé, plus la compacité du sol est grande et plus le compactage a été efficace.

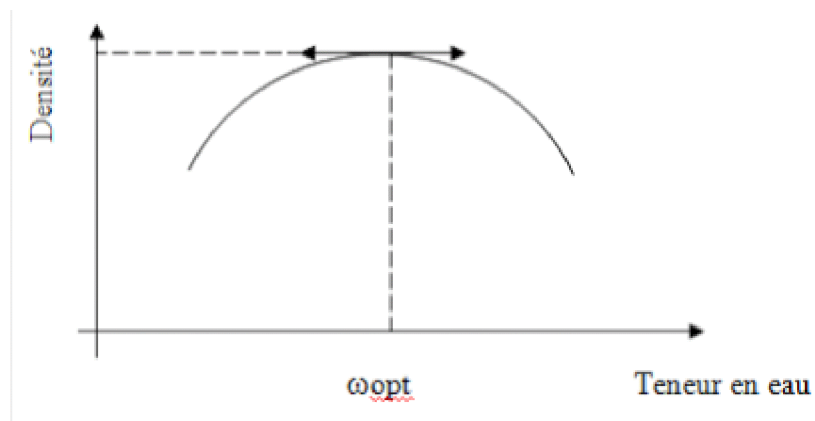


Figure V-5 : Courbe d'optimum Proctor

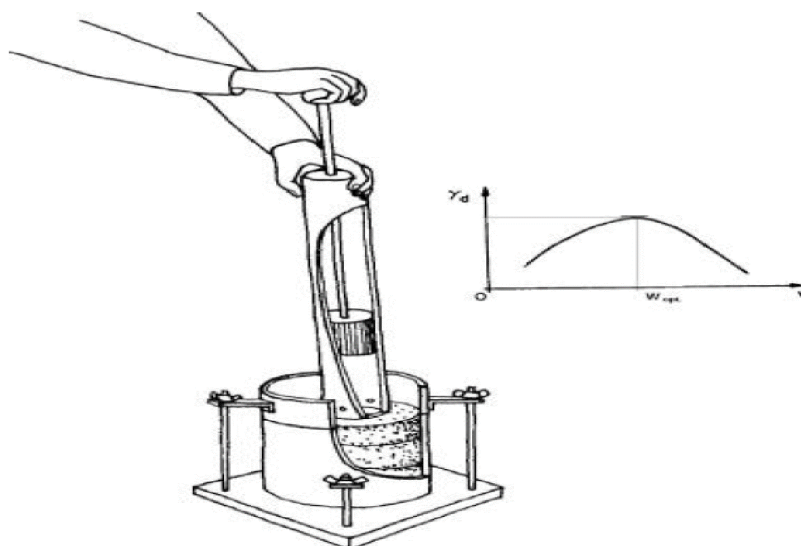


Figure V-6 : Principe de l'essai Proctor

L'**essai Proctor** s'effectue généralement pour deux compactages d'intensités différents :

1-Essai Proctor normal :

Le compactage n'est que moyennement poussé. Il est généralement utilisé pour les études de remblais en terre (barrages et digues). Il s'effectue en trois couches avec « la **dame Proctor normal** », l'énergie de compactage est de :

55 coups de dame par couche dans le moule C .B .R.

25 coups par couche dans le **moule Proctor normal**.

2. Proctor modifié

Le compactage est beaucoup plus intense ; il correspond en principe au compactage maximum que l'on peut obtenir sur chantier avec les rouleaux à pieds de mouton ou les rouleaux à pneus lourds modernes. C'est ordinairement par l'essai Proctor modifié que l'on détermine les caractéristiques de compactage (teneur en eau optimal, densité sèche maximal) des matériaux destinés à constituer la fondation ou le corps de chaussée des routes et des pistes d'aérodromes. Le compactage dans ce cas se fait en cinq couches successives avec « la dame **Proctor modifié** » l'énergie de compactage est de :

55 coups de dame par couche dans le moule **C.B.R.**

25 coups par couche dans le moule **Proctor**.

V-3-5) Appareillage essai Proctor

Il comprend :

1. Le **moule Proctor** constitué par un tube cylindrique métallique inoxydable de 10,15 cm de diamètre intérieur et 11,7 cm de hauteur, pourvu d'un fond et d'une hausse métallique amovibles.
2. La **dame Proctor normal** qui est constitué par un mouton de 2,49 kg (cylindrique de 5,1 cm de diamètre) dont la hauteur de chute est de 30,4 cm.
3. Du sable.
4. Une étuve.
5. Une règle à araser d'environ 250 mm.
6. Truelles pour le malaxage.
7. Des maillets, burins, couteaux, etc. pour le démoulage, ou mieux un appareil à démouler.
8. Une balance sensible au gramme d'une portée maximale au moins égale à 20 kg .
9. Une éprouvette graduée.
10. De l'eau.
11. Un bac

Tableau V-1 : Caractéristiques des essais Proctor Normal et Modifié

Essais	Poids de la dame (kg)	Hauteur de la chute (cm)	Nombre de couche	Nombre de coup par couche	Volume du moule (cm ³)
Proctor normal	2.49	30.5	3	25	373.25
Moule CBR				56	725.46
Proctor modifié	4.54	45.7	5	25	373.25
				56	725.46

V-3-6) Energie utilisée dans l'essai Proctor

L'énergie de compactage est l'énergie mécanique transmise à un volume de sol pour y réduire l'indice des vides. Plusieurs techniques ont été utilisées sur chantier pour appliquer cette énergie, soit par pression statique ou vibratoire, ou par impacts selon le type de compacteur. La quantité d'énergie transmise au sol varie en fonction du nombre de passe de compacteur sur le sol et de sa masse. En laboratoire, le compactage des échantillons de sol se fait principalement par impacts. Cette énergie de compactage peut être calculée comme suit :

$$E_p = (M \cdot g \cdot H \cdot n) / V_t$$

Tel que :

E_p énergie de compactage

M la masse de la dame

g la pesanteur

H hauteur de chute de la dame

n nombre de coups ou de chute de la dame

V_t volume du moule

Cet essai Proctor convient à la plupart des sols, particulièrement les sols graveleux et sableux à granulométrie étalée. Les courbes de compactage qui caractérisent ces sols permettent de localiser facilement l'optimum Proctor. On retiendra l'importance capitale de la teneur en eau et la très grande sensibilité de certains sols, comme les argiles, à une variation de celle-ci.

V-3-7) Mode opératoire essai Proctor

- On prend 2,5 kg de sable préalablement préparé qu'on verse dans un bac.
- On ajoute une certaine quantité d'eau proportionnelle au poids du sable utilisé.

- A l'aide de la truelle on malaxe bien le sable.
- On remplit le **moule Proctor** normalisé en trois couches puis après avoir versé chaque couche on compacte l'aide de la **dame Proctor normal** en 25 coups en respectant la hauteur de chute et en assurant une répartition équitable des coups sur la surface à compacter. On procède de la même manière après la mise en
- place de la 2eme et 3eme couche.

V-3-8) Matériel pour l'essai Proctor normal

- Une fois le moule rempli, on arase le sable avec une règle à araser, on comble les vides laissés à la surface.
- On prélève ensuite un échantillon d'environ 100 g à la surface du moule, puis on retire la base de ce dernier afin de prendre un 2eme échantillon d'a peu près du même poids.
- A la balance, on évalue les masses des deux prélèvements puis on les fait passer à l'étuve au moins pendant 24h. au terme des quelles on va reposer les échantillons.

Les résultats obtenus sont inscrits dans le tableau suivant.

L'essai est répété plusieurs fois de suite sur des échantillons portés à des teneurs en eau croissantes (2%, 4% ,6% ,8% ,10%,12% ,14%,16%)

V-3-9) Utilisation de l'essai Proctor dans les travaux de compactage de sols

En travaux publics, lors de la construction d'un stock de terre (un remblai), l'objectif va être de compacter le sol afin à la fois de stocker un maximum de matériau dans le volume donné, et aussi d'augmenter la stabilité du remblai pour éviter les phénomènes de glissement. L'essai Proctor permet de connaître la densité maximale possible d'un matériau, et sa teneur en eau nécessaire pour aboutir à cette densité.

En remblai, si le matériau est trop sec ($W < W_{OPN}$), il faudra alors l'humidifier (le plus souvent à l'aide d'une sous-soleuse et d'un malaxeur). S'il est trop humide ($W > W_{OPN}$), il faudra l'aérer jusqu'à obtenir la teneur en eau OPN. Une fois la teneur en eau optimale atteinte, le compacteur roule sur le matériau, jusqu'à atteindre la compacité maximum (γ_{OPN}).

En couche de forme, la portance exigée par la structure de la chaussée est beaucoup plus importante qu'en remblai. De ce fait l'énergie de compactage est plus grande, 2 700 J pour essais

Proctor Modifié contre environ 570 J pour l'essai Normal. Dans le cadre du guide des terrassements routiers, GTR, les conditions à respecter pour un sol sont un nombre de passes plus grand pour une teneur en eau optimale W_{OPM} . La portance est mesurée à long terme notamment à l'essai à la plaque, avant de réaliser la structure de chaussée pour vérifier que la portance de la plateforme est conforme au dimensionnement retenu.

V-3-10) Conclusion sur l'essai Proctor

Sur les chantiers de stabilisation, on exige, en général, des densités sèches égales à 90 % ou à 95 % de la densité sèche maximum Déterminée à l'**essai Proctor** ; d'où l'importance d'avoir au moment du Compactage une teneur en eau très voisine de la teneur en eau optimum. Cette Condition est souvent difficile à remplir, ce qui limite les possibilités de stabilisation des sols : en périodes de pluie, la teneur en eau du sol naturel est généralement supérieure à la teneur optimum, il faut aérer le sol pour le faire sécher ou attendre une période plus sèche. En période sèche les apports d'eau sont importants (la teneur en eau optimum varie entre 6 et 12% selon la nature du sol et l'engin de compactage utilisé.).

V-4) PREPARATION DES ECHANTILLONS

V-4-1) Concassage des matériaux

Les matériaux utilisés ont été extraits sous forme de blocs de grande dimension. Ces derniers sont concassés à l'aide d'un marteau pour les grands diamètres et d'un concasseur à mâchoire pour les petits diamètres inférieurs à 5 mm.



Figure V-7 : Schiste sous forme de bloc



Figure V-8 : Concassage manuel du schiste



Figure V-9 : Tamis 25 mm



Figure V-10 : Schiste après concassage et tamisage

V-4-2) Le tamisage

Le tamisage est réalisé dans le but de séparer les différents diamètres des grains pour constituer la classe désirée à étudier selon les normes des essais choisis (0/20).



Figure V-11: La tamiseuse utilisée



Figure V-12 : Tamisage manuel

V-4-3) La sélection des grains

Les grains obtenus après concassage et tamisage sont indépendants et sont de forme irrégulière. La sélection des différentes formes (forme sous arrondie pour le gré et allongée pour le schiste) est faite manuellement à l'œil nu. La marge d'erreur sera estimé à +/- 1.25%

Dans cette étude, une seule forme a été adoptée pour le cas du schiste qui est une forme allongée et une seule forme pour le gré qui est une forme sous-arrondie. Ce choix est fait à base de la forme la plus dominante des deux matériaux lors du concassage.



Figure V-13 : La forme allongée pour le schiste



Figure V-14 : La forme sous-arrondie pour le gré

Après avoir sélectionné la forme désirée des deux matériaux, on met chaque diamètre dans un sachet en plastique de 2kg accompagnée d'une étiquette où le diamètre correspondant est inscrit. Les sachets sont classés au laboratoire dans le sens décroissant des diamètres afin de faciliter le travail.



Figure V-15 : Classement des diamètres des grains du gré dans l'ordre décroissant

Une fois les grains triés selon le diamètre et la forme, un grain de chaque diamètre sera coloré avec une couleur d'intincte des autres diamètres afin de suivre la dimension fractale de chaque diamètre des grains lors des essais Proctor.



Figure V-16 : Le choix des grains à colorer (0/20)

Les couleurs adoptées pour chaque diamètre sont portées dans le tableau V-2

Tableau V-2: Couleurs choisies en fonction des diamètres.

Le diamètre mm	La couleur
20	Blanc
16	Jaune
12.5	Bleu
10	Marron
8	Vert
6.3	Moutarde
5	rouge
4	violet
3.15	Vert pistache

V-4-4) Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique de la fraction granulaire 0/20 pour la forme sous-arrondie du gré ($M_T=1192,792$ gr) avant essai a été imposée comme le montre le tableau V-3 :

Tableau V-3: Pourcentage des tamisât cumulés du gré avant essai

Tamis	poids refus (gr)	refus partiels (gr)	refus cumulés (gr)	passant %	r/rl	M(R<r)/MT
25	0	0	0	100		
20	402,456	33,740669	33,740669	66,259331	1	0,3374067
16	284,545	23,855375	57,596044	42,403956	0,8	0,2385537
12,5	172,324	14,447112	72,043156	27,956844	0,625	0,1444711
10	76,478	6,4116795	78,454835	21,545165	0,5	0,0641168
8	67,492	5,658321	84,113156	15,886844	0,4	0,0565832
6,3	22,863	1,9167634	86,02992	13,97008	0,315	0,0191676
5	80,871	6,7799751	92,809895	7,1901052	0,25	0,0677998
4	53,115	4,4529977	97,262892	2,7371076	0,2	0,04453
3,15	32,648	2,7371076	100	0	0,1575	0,0273711
somme	1192,792					

La courbe granulométrique prise en compte est représentée sur la figure V- 17 ci-dessous :

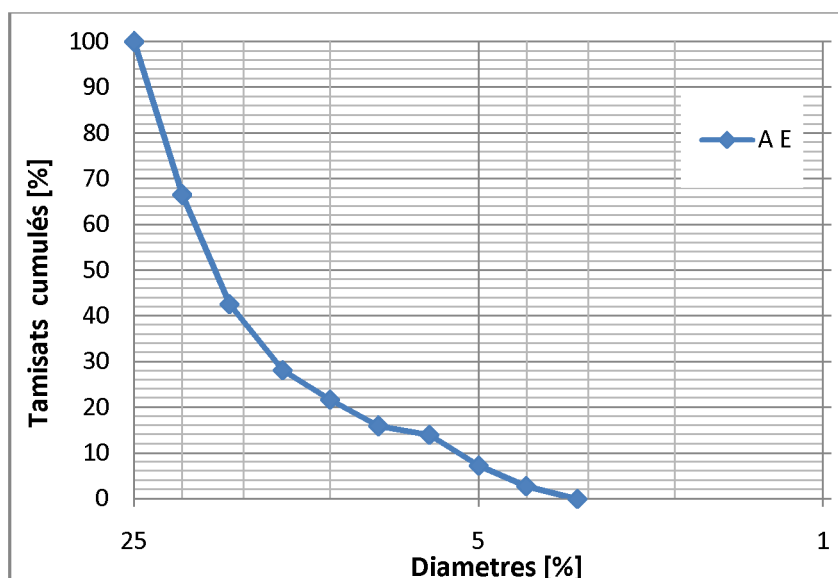


Figure V-17 : Courbe granulométrique initiale

La courbe de tendance pour le calcul de la dimension fractale par la méthode des masses est représentée par la V-18

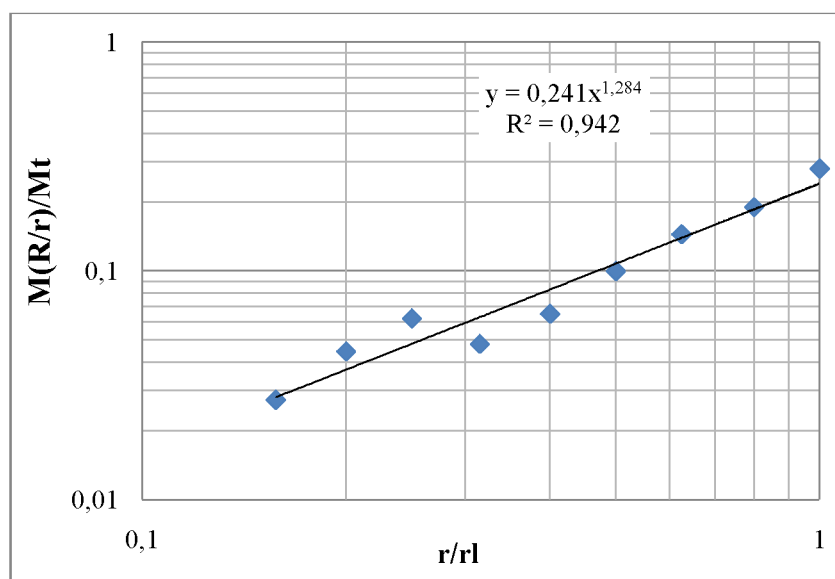


Figure V-18: Calcul de dimension fractale du gré avant essai.

V-5) Le schiste

L'analyse granulométrique de la fraction granulaire 0/20 pour la forme allongée du schiste ($M_T=1149,461$ gr) avant essai a été imposée comme suit :

Tableau V-4 : Pourcentage des tamisât cumulés du schiste avant essai.

Tamis	Poids refus (gr)	Refus partiels %	Refus cumulés %	Passant %	r/rl	M(R<r)/M _T
25	0	0	0	100		
20	244,808	21,29763428	21,2976343	78,7023657	1	0,212976343
16	307,508	26,7523648	48,0499991	51,9500009	0,8	0,267523648
12,5	233,227	20,29011859	68,3401177	31,6598823	0,625	0,202901186
10	125,799	10,94417296	79,2842906	20,7157094	0,5	0,10944173
8	54,513	4,742483651	84,0267743	15,9732257	0,4	0,047424837
6,3	55,811	4,855406143	88,8821804	11,1178196	0,315	0,048554061
5	46,325	4,030149783	92,9123302	7,08766979	0,25	0,040301498
4	37,54	3,265878529	96,1782087	3,82179126	0,2	0,032658785
3,15	43,93	3,821791257	100	0	0,1575	0,038217913
somme	1149,461					

La courbe granulométrique prise en compte est représentée sur la figure ci-dessous :

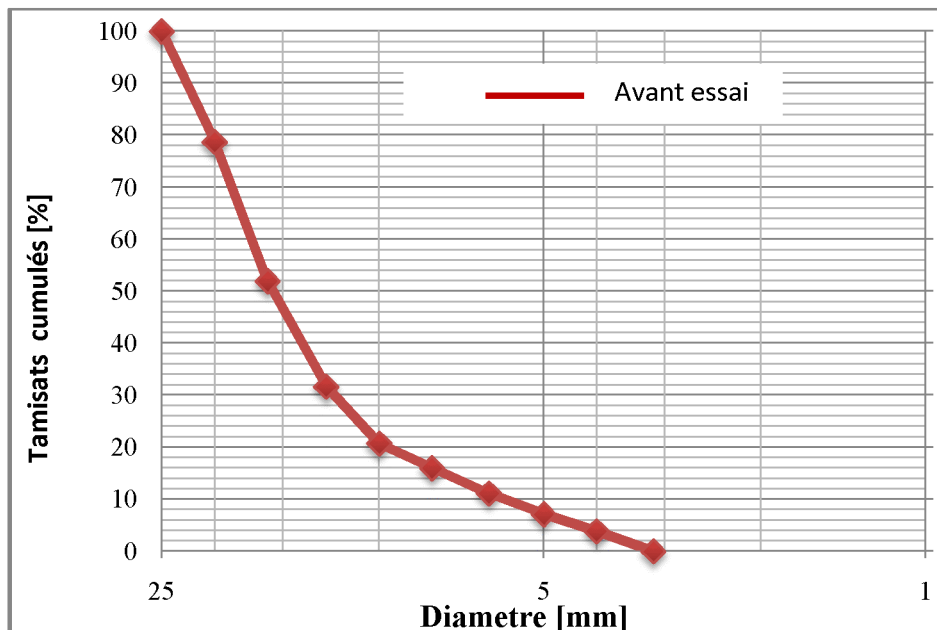


Figure V-19 : Courbe granulométrique initiale.

La courbe de tendance pour le calcul de la dimension fractale par la méthode des masses est représentée par la figure

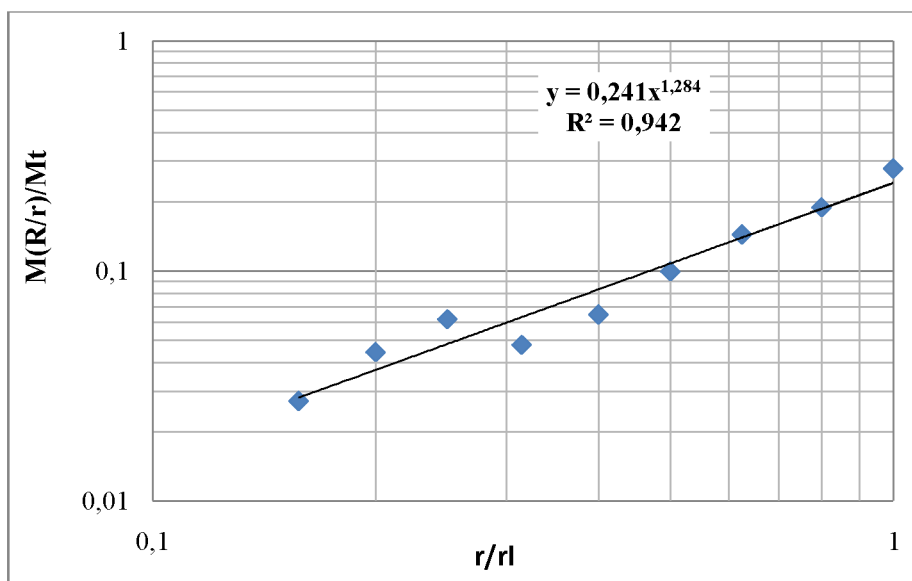


Figure V-20 : Calcul de dimension fractale du schiste avant essai.

V-6) Déroulement des essais

Une fois la courbe granulométrique initiale est choisie, on la maintient pour le reste des essais afin de pouvoir évaluer et quantifier le taux d'écrasement des grains puis comparer en fonction de l'énergie de compactage et de la nature des grains.



Figure V-21 : Des diamètres des grains du gré dans l'ordre décroissant



Figure V-23: Masse de chaque couche



Figure V-22: Les quatre couches préparées



Figure V-24 : Mélanger les grains de chaque couche



Figure V-25: l'échantillon dans le moule



Figure V-26 : L'échantillon prêt



Figure V-27 : La mise en place de l'échantillon

Les grains colorés sont positionnés dans le moule Proctor modifié en fonction de la profondeur ; à 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm, ce qui nous impose de diviser l'échantillon en quatre couches qui ont la même courbe granulométrique. Tous les grains colorés d'une même couche ont la même numérotation que la position de la couche afin de faciliter la récupération des ces grains colorés après essai et faire la distinction entre les grains de chaque couche. La somme des refus partiels des quatre couches nous donne la courbe granulométrique de tout l'échantillon qui est systématiquement la même que celle des couches déjà préparées.



Figure V-28: La position des grains colorés dans le moule

De la même manière, on prépare quatre échantillons identiques (même courbe granulométrique) qui seront soumis à une énergie de compactage de 25-50-75-100 coups. A chaque fois, l'énergie de compactage est augmentée, l'échantillon est échangé.

Après chaque essai, les grains colorés sont récupérés puis photographiés pour le calcul de la dimension fractale des grains avec la méthode des boîtes. Une analyse granulométrique sera effectuée pour tout l'échantillon après chaque essai pour le calcul de la dimension fractale avec la méthode des masses.

V-7) Mise en évidence de l'influence des couches

Pour cette étape, la même courbe granulométrique a été maintenue. Les couches sont préparées de la même manière. Après chaque essai, on fait l'analyse granulométrique de chaque couche à part. Chaque couche est isolée des autres avec un tissu. Pour une énergie de compactage de 25 coups, une analyse pour la première couche après essai est effectuée suivie d'une prise des photos des grains colorés. Puis on remet toute la couche dans le moule pour ajouter une deuxième couche qui est isolée encore avec un tissu afin de garder tous les grains dans la couche correspondante et ne pas induire aucun changement sur la courbe granulométrique jusqu'à atteindre la quatrième couche. Ce processus est effectué pour étudier l'influence des couches supérieures sur les couches inférieures.



Figure V-29: La couche enveloppée avec un tissu



Figure V-30: Ajout de la 2^{ème} couche



Figure 5-31: La couche avant la mettre dans le moule



Figure 5-32 : L'échantillon juste après essai

V-8) Conclusion

Afin d'encourager l'exploitation des ces gisement en matériaux (gré et schiste) de la région de la Kabylie, il est nécessaire de soumettre les échantillons des ces matériaux aux essais de laboratoire afin de déterminer certaine caractéristiques qui permettront d'assurer leur mise en exploitation dans différents ouvrages de génie civil.

Notre principal objectif est de déterminer leur résistance à la dégradation lors du compactage à partir de la notion de dimension fractale par deux méthodes : méthode des masses qui considère l'échantillon entier et la méthode des boites pour suivre l'évolution de la dimension fractale à l'échelle du grain. Les résultats obtenus feront l'objet de chapitre suivant.

Sommaire

V-1) Introduction.....	54
V-2) Le Tamisage.....	55
V-2-1) Méthode par tamisage à sec (norme P94-056)	55
V-2-2) Principe d'essai	55
V-2-3) Mode opératoire.....	56
V-3) Essai Proctor	57
V-3-1) Introduction sur l'essai Proctor.....	57
V-3-2) Histoire	58
V-3-3) Définition.....	59
V-3-4) Appareillage et principe de l'essai.....	59
V-3-5) Appareillage essai Proctor.....	61
V-3-6) Energie utilisée dans l'essai Proctor	62
V-3-7) Mode opératoire essai Proctor	62
V-3-8) Matériel pour l'essai Proctor normal	63
V-3-9) Utilisation de l'essai Proctor dans les travaux de compactage de sols	63
V-3-10) Conclusion sur l'essai Proctor	64
V-4) PREPARATION DES ECHANTILLONS.....	64
V-4-1) Concassage des matériaux.....	64
V-4-2) Le tamisage.....	65
V-4-3) La sélection des grains	65
V-4-4) Analyse granulométrique	68
V-5) Le schiste	69
V-6) Déroulement des essais.....	71
V-7) Mise en évidence de l'influence des couches	73
V-8) Conclusion	75

CHAPITRE VI
REPRESENTATION DES RESULTATS

VI-1) Introduction

Dans ce chapitre, l'échantillon est confectionné comme en une seule couche de 20 cm et les grains colorés sont positionnés respectivement à 5-10-15-20 cm (sous couche de 5 cm). L'échantillon est soumis à une énergie de compactage de 25-50-75-100 coups. Après chaque essai, le tamisage est effectué pour tout l'échantillon pour nous permettre d'évaluer sa dimension fractale avec la méthode des masses, Des photos ont été prises pour les grains colorés afin d'étudier leur variations de dimension et d'en déduire la dimension fractale avec la méthode des boîtes.

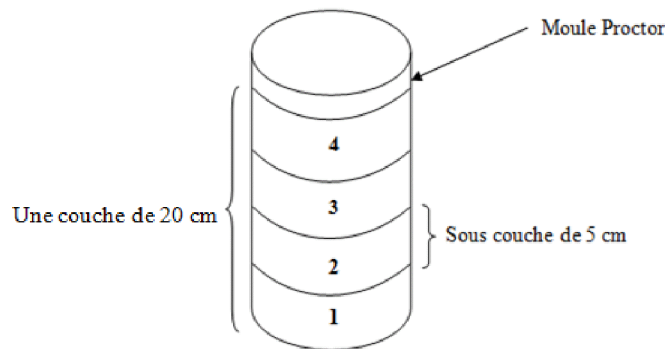


Figure VI-1 : Disposition des sous-couches de l'échantillon dans le moule Proctor

➤ Cas des éprouvettes à couches de 20 cm

VI-2) Le gré

VI-2-1) Courbes granulométriques en fonction de l'énergie de compactage

L'étalement granulométrique pour les différentes énergies de compactage (25, 50, 75 et 100 coups) avant et après essai Proctor sont représentées respectivement sur les figures VI-2, VI -3, VI -4 et VI -5.

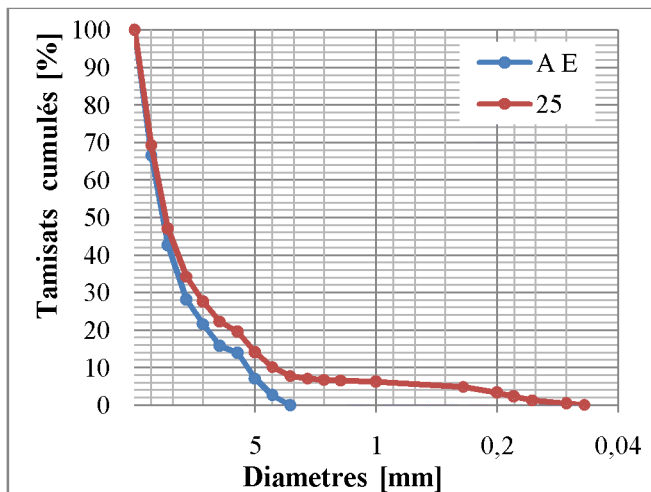


Figure VI-2: Courbe granulométrique du gré après 25 coups

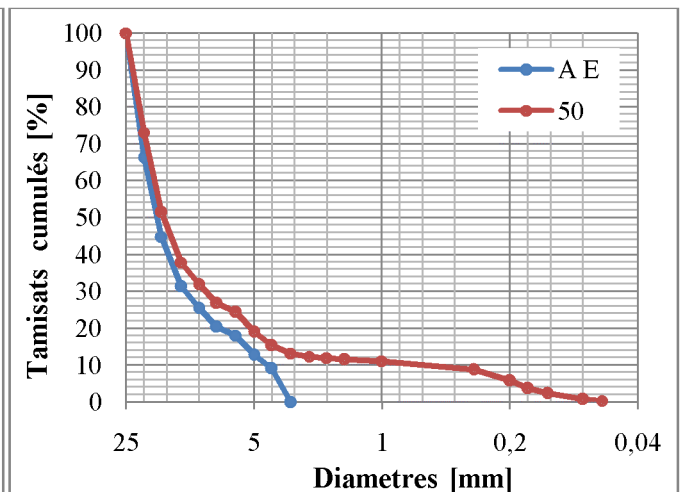


Figure VI-3: Courbe granulométrique du gré après 50 coups.

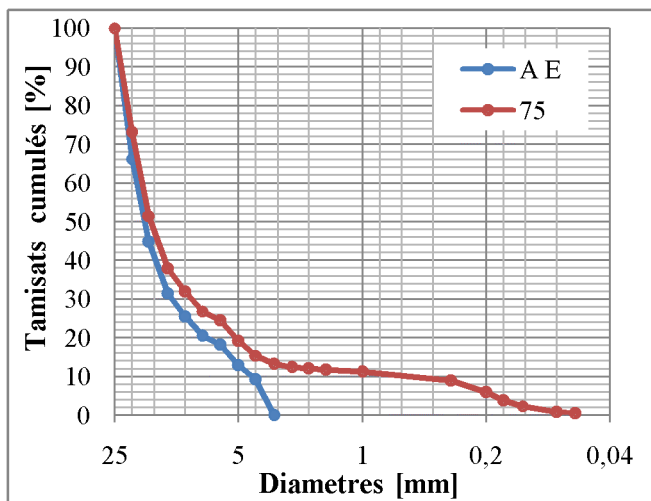


Figure VI-4: Courbe granulométrique du gré après 75 coups

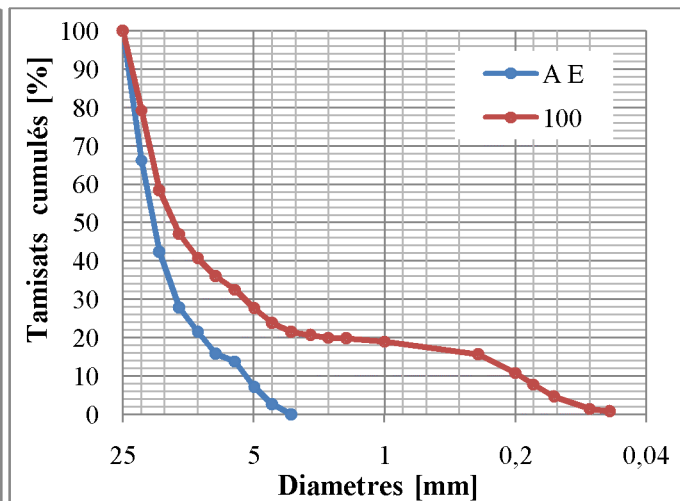


Figure VI-5 : Courbe granulométrique du gré après 100 coups

La dimension fractale déterminée avec la méthode des masses avant et après essai pour les échantillons de gré soumis à une énergie de compactage de 25, 50, 75 et 100 coups sont regroupées sur le tableau VI -1.

VI-2-2) Calcul de la dimension fractale avec la méthode des masses

Tableau VI-1 : Evolution de la DF avec la méthode des masses.

Gré		
nombre de coups	DF avant essai	DF après essai
25	1,711	2,452
50	1,716	2,581
75	1,712	2,662
100	1,713	2,728

L'évolution de la dimension fractale obtenue par la méthode des masses lors des essais Proctor à différentes énergies de compactage est représentée sur la figure VI-6.

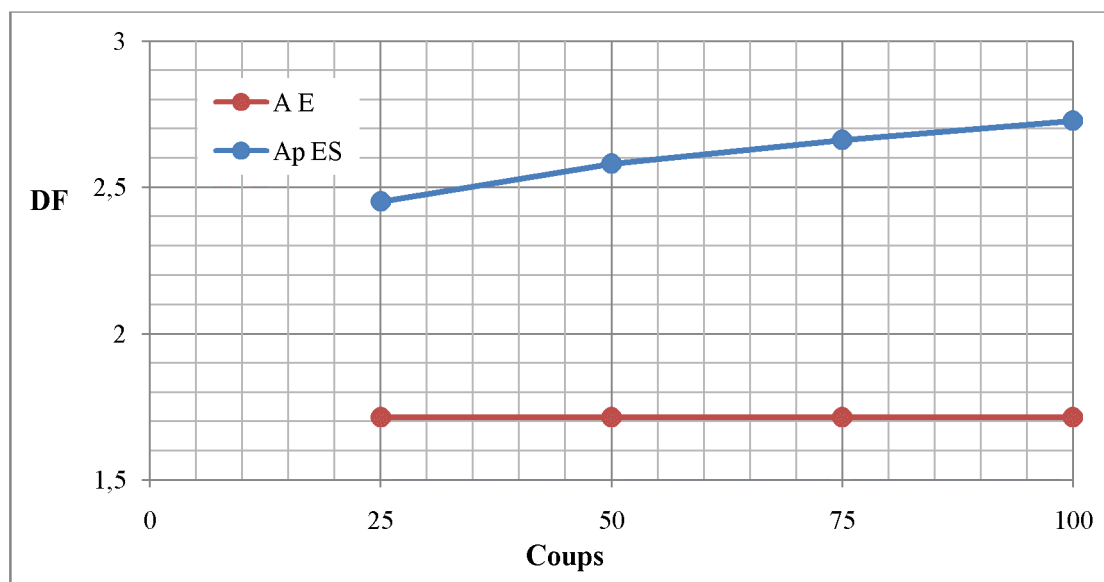


Figure VI-6 : Evolution de la DF du gré avec la méthode des masses.

Les courbes granulométriques obtenues montrent un étalement progressif au fur et à mesure de l'augmentation de l'énergie de compactage (nombre de coups). Une quantité des particules fines est produite. Elles ont des petits diamètres et se sont détachées des gros grains lors de l'écrasement des grains.

Le nombre de coups a une relation directe avec le taux d'écrasement des grains ; ce qui engendre l'étalement des courbes granulométriques obtenues après chaque énergie de compactage (25-50-75-100) ; plus le nombre de coups augmente plus le taux d'écrasement des grains augmente. En effet, le tableau 6-1 et la figure VI -6 montrent l'évolution de la dimension fractale (DF) du gré avec l'énergie de compactage. Par conséquent, au fur et à mesure on augmente l'énergie de compactage, on aura un taux d'écrasement des grains

plus élevé et une évolution de la dimension fractale. Celle-ci est due à la production des particules fines lors de l'écrasement.

VI-3) Le schiste

VI-3-1) Courbes granulométriques en fonction de l'énergie de compactage

L'étalement granulométrique pour les différentes énergies de compactage (25, 50, 75 et 100 coups) avant et après essai Proctor sont représentées respectivement sur les figures VI-7, VI-8, VI-9 et VI-10.

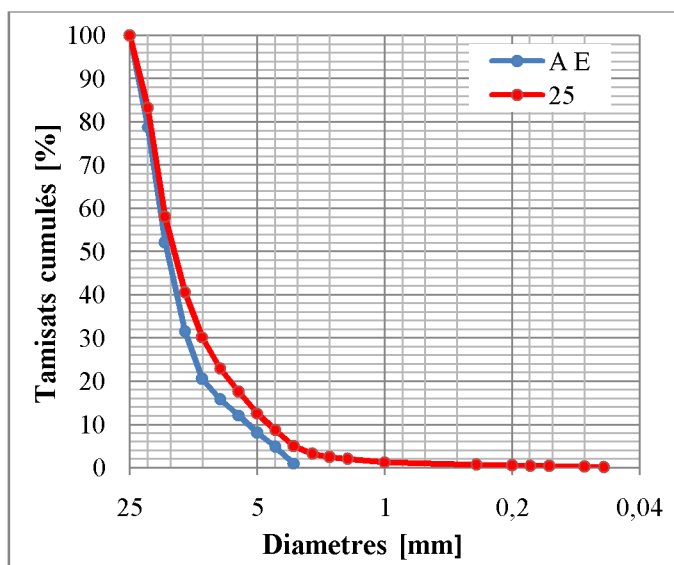


Figure VI-7 : Courbes granulométrique du schiste après 25coups

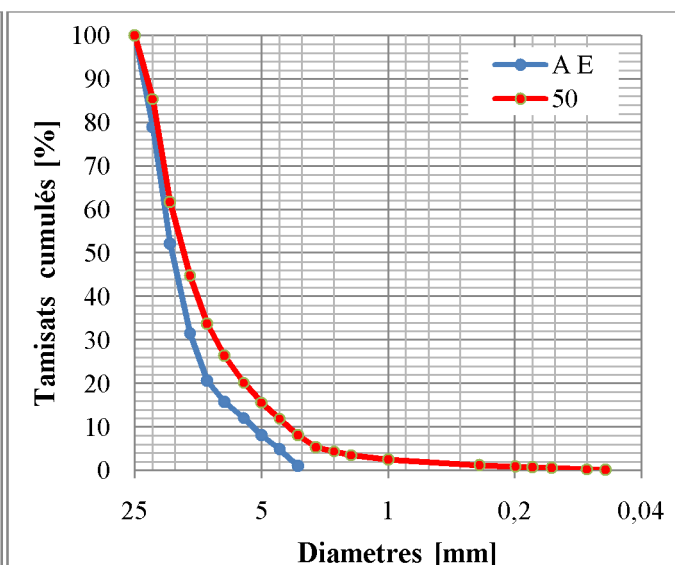


Figure : VI-8 : Courbes granulométriques du schiste après 50 coups

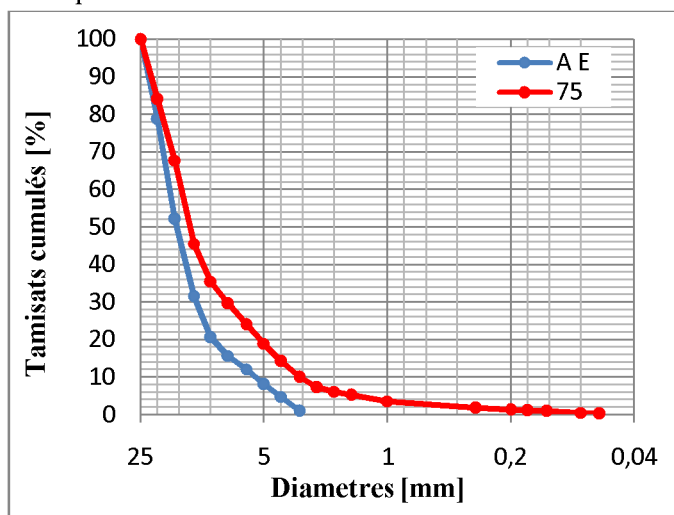


Figure VI-9 : Courbe granulométrique du schiste après 75 coups

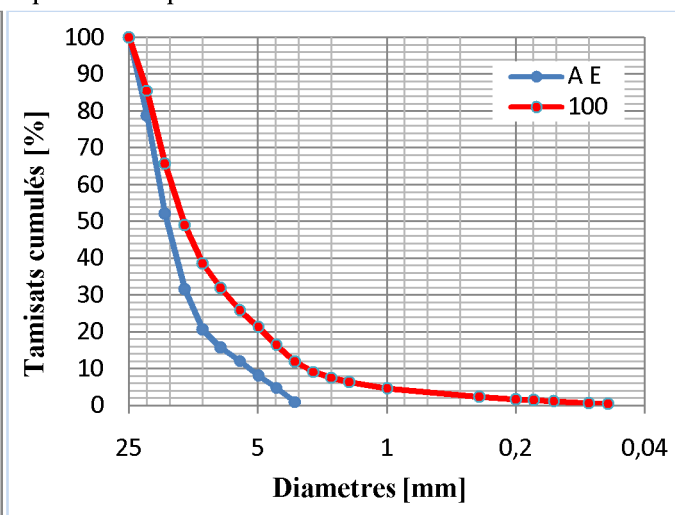


Figure : VI-10 : Courbes granulométriques du schiste après 100 coups

VI-3-2) Calcul de la dimension fractale avec la méthode des masses

La dimension fractale déterminée avec la méthode des masses avant et après essai pour les échantillons de gré soumis à une énergie de compactage de 25, 50, 75 et 100 coups sont regroupées sur le tableau VI-2.

Tableau VI-2 : Evolution de la DF avec la méthode des masses

Schiste		
nombre de coups	DF avant essai	DF après essai
25	1,755	2,004
50	1,758	2,126
75	1,761	2,23
100	1,757	2,266

L'évolution de la dimension fractale obtenue par la méthode des masses lors des essais Proctor à différentes énergies de compactage est représentée sur la figure VI-11.

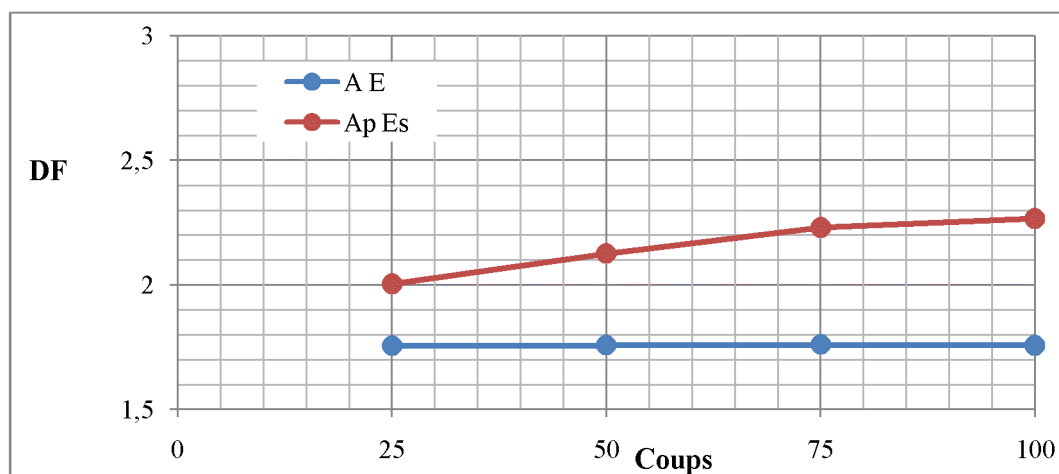


Figure VI-11: Evolution de la DF du schiste avec la méthode des masses

Les courbes granulométriques obtenues montrent un étalement moins important pour le schiste que pour le gré. Cet étalement augmente avec l'énergie de compactage (nombre de coups). Une quantité des particules fines s'est détachée des gros grains lors de l'écrasement des grains et cette quantité augmente en fonction du nombre de coups et engendre une variation de la dimension fractale. En effet, le tableau VI-2 et la figure VI-11 montrent l'évolution de la dimension fractale du schiste avec l'énergie de compactage. En effet, au fur et à mesure que l'énergie de compactage augmente, le taux d'écrasement des grains sera plus élevé et par conséquent une évolution de la dimension fractale (DF). Donc, la dimension fractale augmente en fonction de l'énergie de compactage.

VI -4) Calcul de l dimension fractale avec la méthode des boites

La méthode des boites est une méthode qui étudie l'objet à l'échelle du grain pris individuellement et soumis aux différentes énergies de compactage à l'essai Proctor. Ces grains sous l'effet des énergies de compactage se dégradent et produisent des quantités de fines. La réduction de cette taille est ainsi évaluée avec la dimension fractale.

VI-4-1) Cas du matériau schiste

Les dimensions fractales déterminées avec la méthode des boites avant et après essai pour les différents diamètres des grains dans chacune des sous couches de schiste soumis à une énergie de compactage de 100 coups sont regroupées sur le tableau VI-3.

Tableau VI-3 : Variation de la DF des sous couches du schiste avec la méthode des boites.

Diamètres	100 coups							
	1 ^{re} sous couche		2 ^{eme} sous couche		3 ^{eme} sous couche		4 ^{eme} sous couche	
	Avant essai	Après essai	Avant essai	Après essai	Avant essai	Après essai	Avant essai	Après essai
20	1,96	1,96	1,85	1,85	1,83	1,86	1,84	1,76
16	1,88	1,88	1,86	1,86	1,79	1,85	1,82	1,84
12,5	1,84	1,84	1,78	1,83	1,74	1,84	1,86	1,89
10	1,8	1,8	1,77	1,78	1,78	1,68	1,98	1,76
8	1,73	1,73	1,72	1,73	1,69	1,73	1,62	1,73
6,3	1,72	1,72	1,8	1,72	1,73	1,74	1,67	1,57
5	1,62	1,62	1,76	1,76	1,77	1,83	1,64	1,69
4	1,58	1,58	1,63	1,79	1,81	1,95	1,56	1,66
3,15	1,58	1,58	1,66	1,35	1,85	1,79	1,76	1,84

VI-4-2) Cas du matériau gré

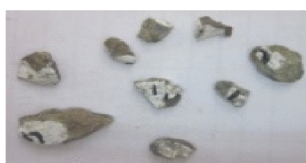
Les dimensions fractales déterminées avec la méthode des boites avant et après essai pour les différents diamètres des grains dans chacune des sous couches de grains de gré soumis à une énergie de compactage de 100 coups sont regroupées sur le tableau VI-4.

Tableau VI-4 : Variation de la DF des sous couches du gré avec la méthode des boîtes.

Diamètres	100 coups							
	1 ^{ere} sous couche		2 ^{eme} sous couche		3 ^{eme} sous couche		4 ^{eme} sous couche	
	Avant essai	Après essai	Avant essai	Après essai	Avant essai	Après essai	Avant essai	Après essai
20	1,84	1,84	1,82	1,87	1,92	1,89	1,82	1,76
16	1,86	1,86	1,86	1,91	1,86	1,82	1,84	1,78
12,5	1,84	1,84	1,85	1,77	1,72	1,75	1,89	1,72
10	1,85	1,85	1,83	1,83	1,79	1,85	1,73	1,63
8	1,81	1,81	1,7	1,62	1,69	1,48	1,91	1,66
6,3	1,78	1,78	1,83	1,87	1,84	1,53	1,73	1,5
5	1,58	1,58	1,64	1,68	1,74	1,71	1,64	1,88
4	1,87	1,87	1,92	1,92	1,7	1,73	1,66	1,54
3,15	1,9	1,9	1,66	1,62	1,66	1,39	1,66	0

Cette méthode étudie la variation de la DF de chaque grain. Les tableaux VI-3 et VI-4 regroupent les valeurs des dimensions fractales des différents grains de chaque sous couche. Pour une énergie de compactage de 100 coups, les grains des sous couches de surface sont les plus soumis à l'écrasement tant pour le gré que pour le schiste. Pour le schiste, l'écrasement a atteint les deux premières sous couches de surface ; alors que pour le gré, l'écrasement des grains a atteint les trois premières sous couches. Ceci est du à la structure interne et à la forme des grains de ces deux matériaux.

La dimension fractale initiale est tantôt supérieure à la DF finale (cas de fragmentation totale) et tantôt on peut obtenir l'inverse (cas de l'écaillage et de l'abrasion):



➤ $DF_i > DF_f$

Figure VI-12 : Fracture

➤ $DF_i < DF_f$ le grain a subit soit :



Figure VI-13 : Abrasion



Figure VI-14 : Ecaillage

VI-5) Etude comparative entre le schiste et le gré

VI-5-1) Etalement granulométrique en fonction de l'énergie de compactage

L'étude comparative de l'étalement granulométrique pour les deux matériaux gré et schiste soumis à différentes énergies de compactage (25, 50, 75 et 100 coups) avant et après essai Proctor sont représentées respectivement sur les figures VI-15, VI-16, VI-17 et VI-18.

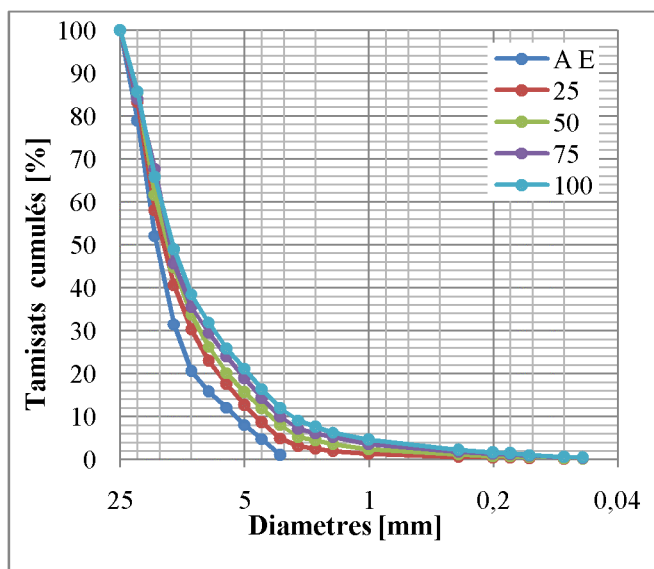


Figure VI-15 : Courbes granulométriques du schiste après 25-50-75-100 coups

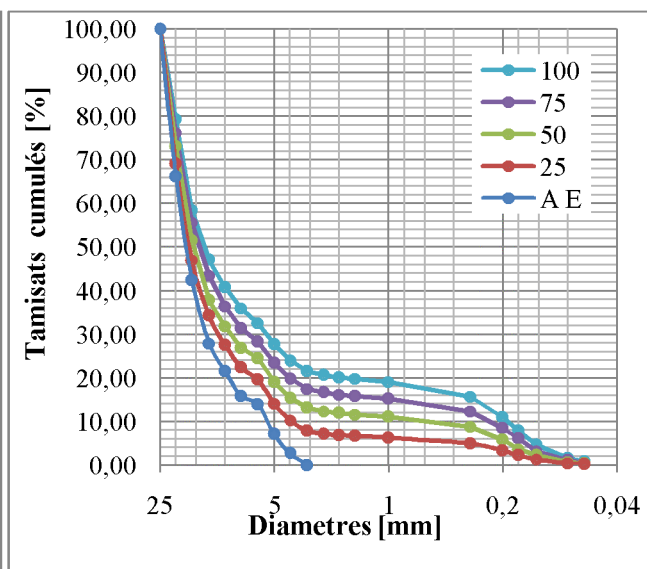


Figure VI-16: Courbes granulométriques du gré après 25-50-75-100 coups

VI-5-2) Etalement granulométrique des deux matériaux après 25 et 100 coups

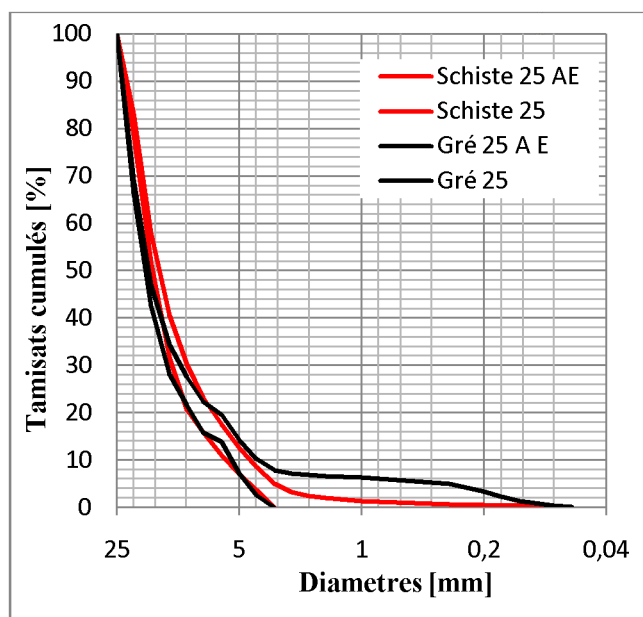


Figure VI-17 : Courbes granulométriques du gré et du schiste avant et après 25 coups

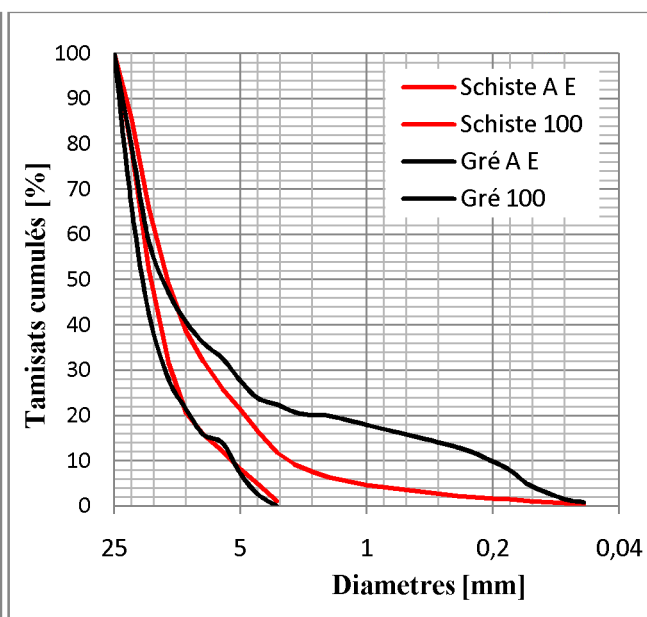


Figure VI-18 : Courbes granulométriques du gré et du schiste avant et après 100 coups

VI-5-3) Evolution de la dimension fractale calculée avec la méthode des masses en fonction de l'énergie de compactage

L'étude comparative de la dimension fractale déterminée avec la méthode des masses avant et après essai pour les échantillons de gré et de schiste soumis à une énergie de compactage de 25, 50, 75 et 100 coups sont regroupées sur le tableau VI-5.

Tableau VI- 5 : La dimension fractal calculée avant et après essais avec la méthode des masses.

gré		Schiste	
Avant essai	après essai	avant essai	Après essai
25	1.716	2.451	1.755
50	1.711	2.581	1.758
75	1.713	2.662	1.761
100	1.714	2.728	1.757

L'étude comparative de l'évolution de la dimension fractale obtenue par la méthode des masses lors des essais Proctor sur les deux matériaux (gré et schiste) soumis à différentes énergies de compactage est représentée sur la figure VI-19.

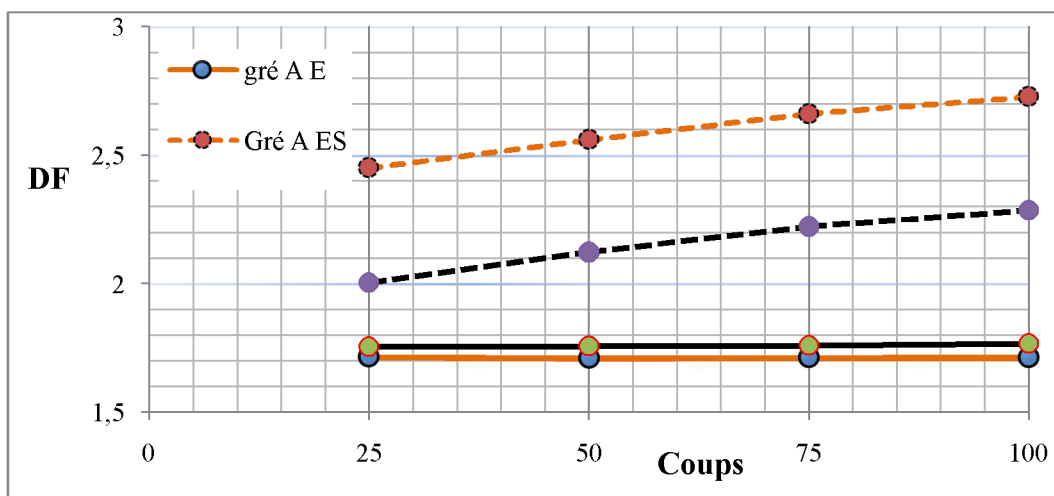


Figure VI-19 : Etude comparative entre la le gré et le schiste de la dimension fractale avec la méthode des masses

Les courbes granulométriques obtenues après avoir soumis les deux matériaux (gré et schiste) à une énergie de compactage de 25-50-75-100 coups, sont étalées tant pour le gré que pour le schiste, figures (6-15 et 6-16). Pour le gré et le schiste, les courbes granulométriques sont serrées aux diamètres compris (20-16 mm) et très étalées aux diamètres inférieurs. Cet étalement est plus prononcé pour le gré.

Pour une énergie de 25 coups, la figure VI-17 montre que les courbes granulométriques des deux matériaux sont très proches. Plus l'énergie de compactage augmente plus l'écart entre les deux courbes devient

important. Cet écart devient très significatif pour une énergie de 100 coups. (Figure VI-18). Cette différence d'étalement granulométrique entre ces deux matériaux est due au taux d'écrasement des grains qui est plus important pour le gré que pour le schiste (figures VI-15 et VI-16), ce qui se traduit par une variation de la dimension fractale (figure VI-19). Cette dernière est plus élevée pour gré que pour le schiste car la quantité des particules fines produite après chaque énergie de compactage est plus importante pour le gré que pour le schiste (figures VI-17 et VI-18). Cela est du, sans doute à la structure interne du chaque matériaux. La forme feuilleté du schiste rend son écrasement assez difficile que pour le gré qui a une forme sous arrondie. Par conséquent, l'énergie transmise en profondeur n'endommage pas les sous couches inférieures du schiste, donc l'écrasement des grains du schiste se fait dans les sous couches de surface (4 et 3) tableau V-3. Contrairement au gré, l'énergie transmise en profondeur pour le gré provoque des déplacements et des rotations des grains qui sont facilités par leur forme sous arrondie. Ces mouvements de rotation se font dans diverses directions et entraînent des contacts entre les grains ; ce qui provoque davantage d'écrasement des grains et production des particules fines dans les sous couches (4-3-2) tableau VI-4.

VI-5-4) Comparaison entre les deux matériaux par l'analyse des photos à l'œil nu

VI-5-4-1) Les grains du gré de la 1^{ère} sous couche avant essai

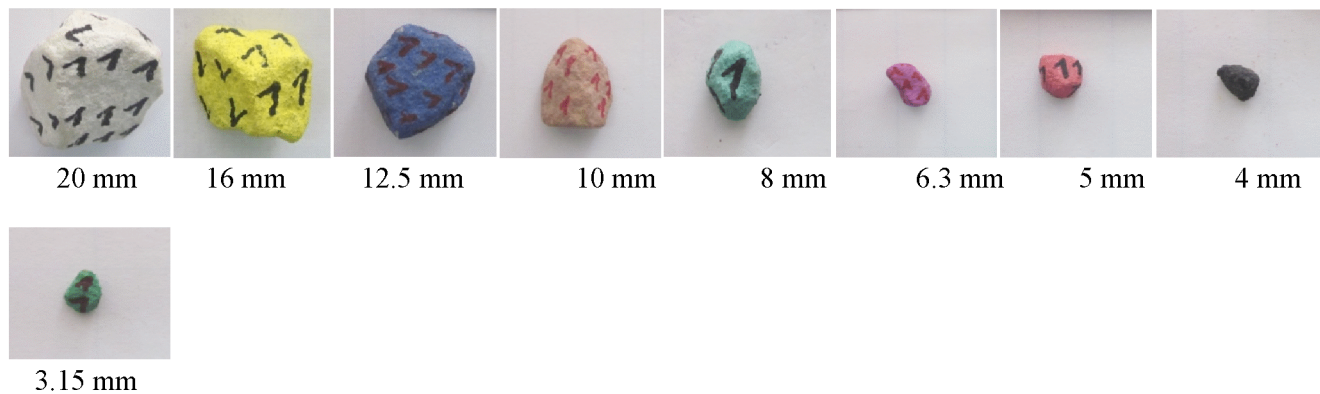
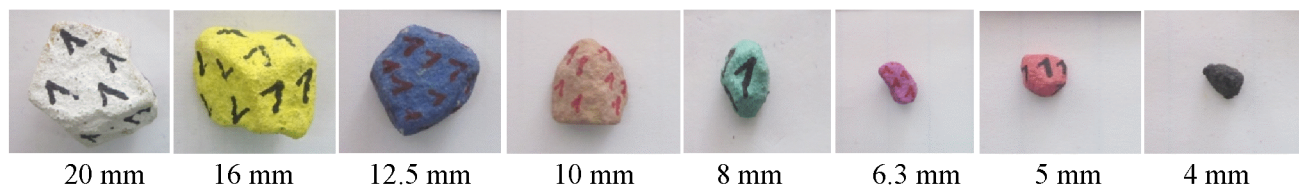


Figure VI-20 : Les grains de gré à une hauteur de 5 cm avant essai.

VI-5-4-2) Etat des grains du gré de la 1^{ère} sous couche après 100 coups

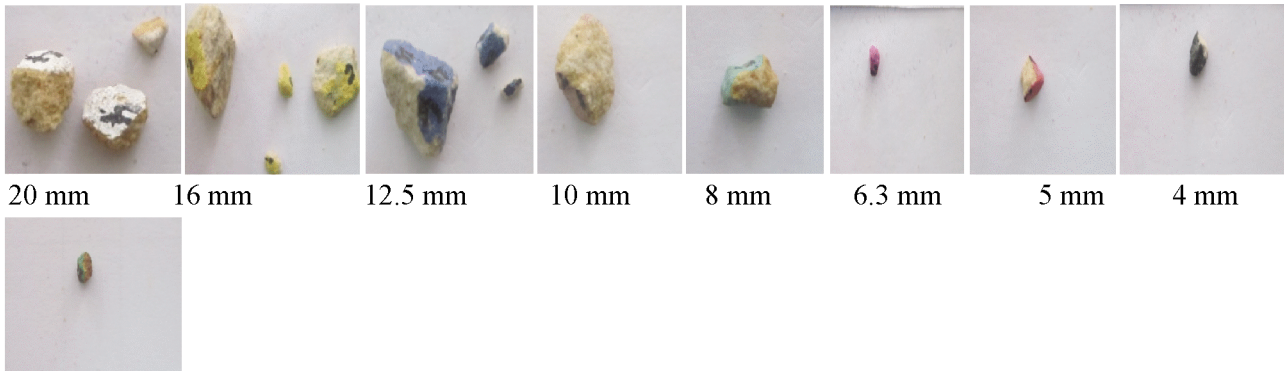




3.15 mm

Figure VI-21 : Les grains de gré à une hauteur de 5 cm après 100 coups.

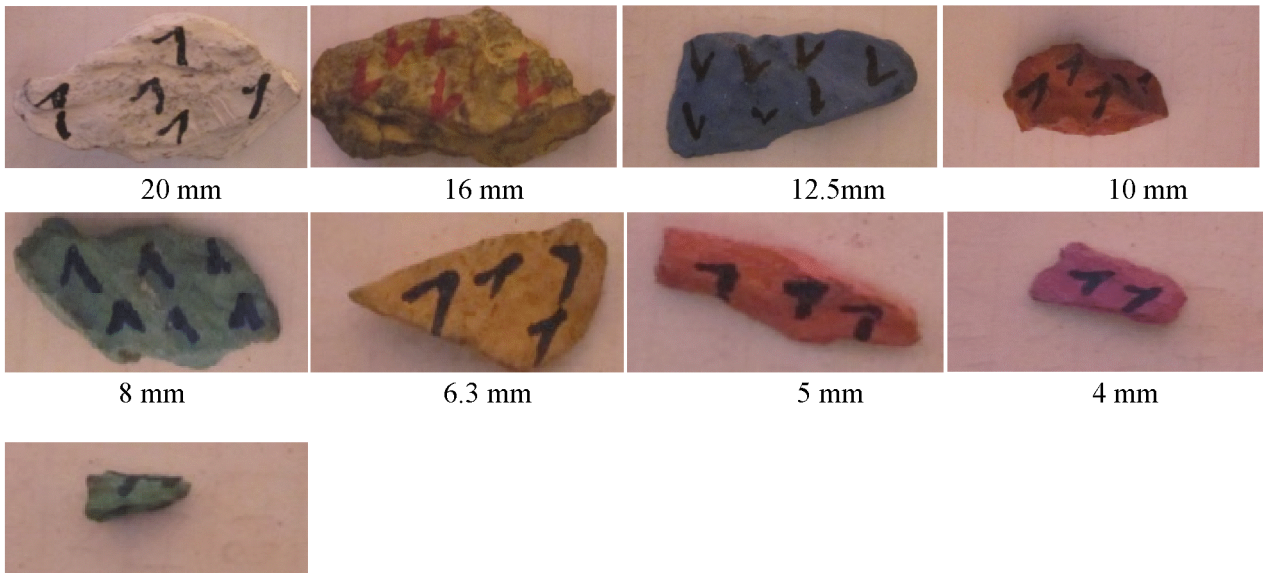
VI-5-4-3) Etat des grains du gré de la 4^{ème} sous couche apres 100 coups



3.15 mm

Figure VI-22 : Les grains du gré à une hauteur de 20 cm après 100 coups.

VI-5-4-4) Les grains du schiste de la 1^{ère} sous couche avant essai



3.15 mm

Figure VI-23 : Les grains du schiste à une hauteur de 5 cm avant essai.

VI-5-4-5) Etat des grains du schiste de la 1^{ère} sous couche après 100 coups

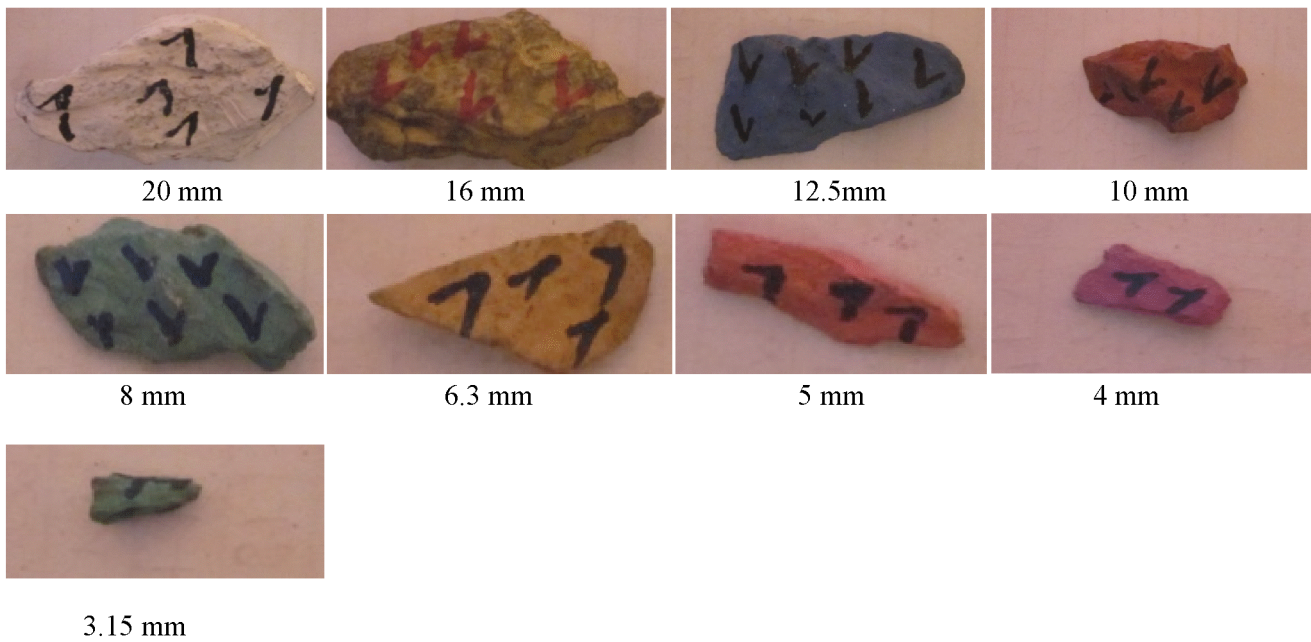


Figure VI-24 : Les grains du schiste à une hauteur de 5 cm après 100 coups.

VI-5-4-6) Etat des grains du schiste de la 4^{ème} couche après 100 coups

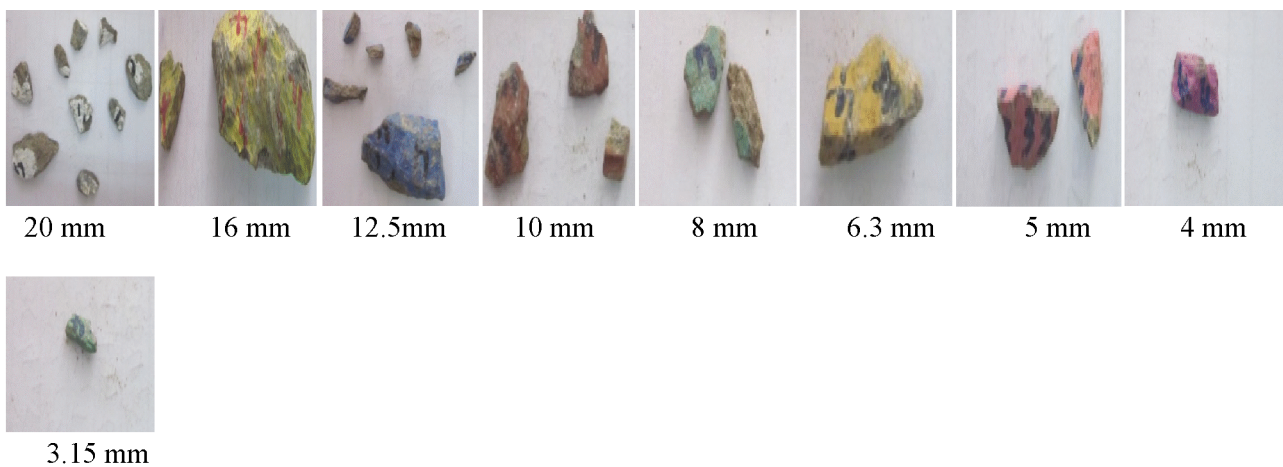


Figure VI-25 : Les grains du schiste à une hauteur de 20 cm après 100 coups.

VI-5-4-7) Etat des grains du schiste de la 2^{ème} sous couche après 100 coups

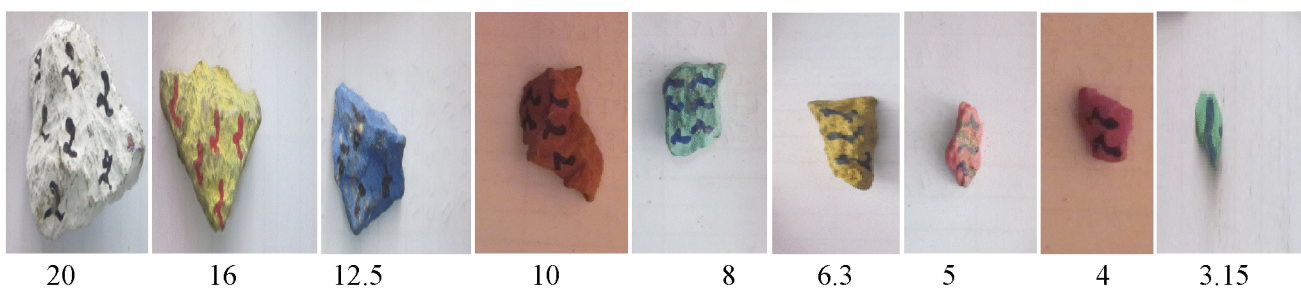


Figure VI-26: Photos des grains de schiste de la 2^{ème} sous couche après 100 coups.

VI-5-4-8) Etat des grains du gré après 100 coups

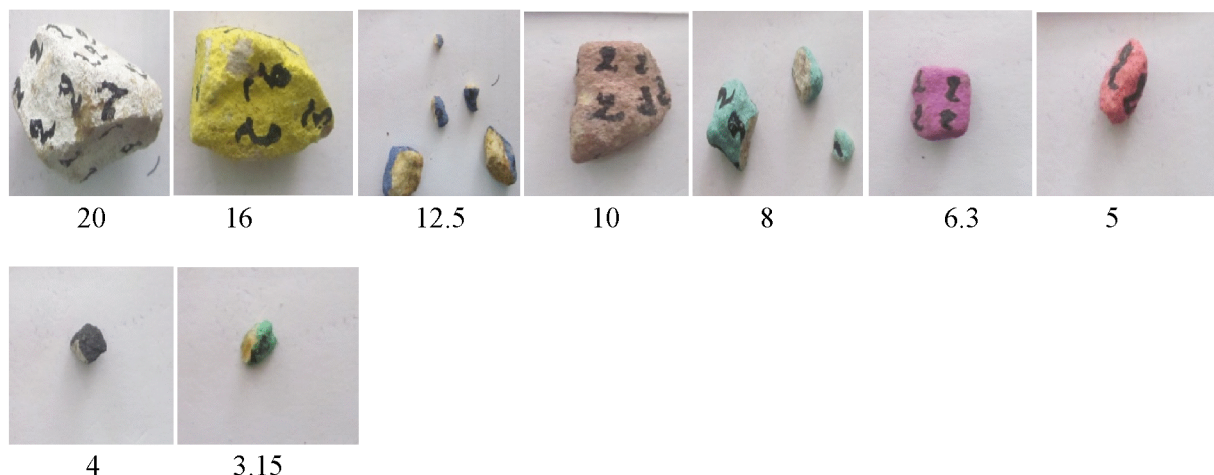


Figure VI-27: Photos des grains du gré de la 2^{ème} sous couche après 100 coups.

VI-6) Mode de rupture du gré au niveau de chaque sous couche en fonction de l'énergie de compactage

Les modes de rupture des deux matériaux au niveau de chacune des sous-couches soumis aux différentes énergies de compactage sont portés respectivement sur les tableaux VI-6 et VI-7.

Tableau VI-6 : Mode de rupture des grains des sous couches du gré avec la méthode des boîtes.

Mode de rupture	Nbr de coups	SOUS COUCHES			
		1 ^{ère} sous couche	2 ^{ème} sous couche	3 ^{ème} sous couche	4 ^{ème} sous couche
	25	intacte	8 (écaillage) 4(rupture)	20 (abrasion) 12.5-10 (rupture) 6.3-4(écaillage)	16-10 (rupture) 12.5 (écaillage) 8-4-3.15 (abrasion)
	50	intacte	10 (rupture) 5-4 (abrasion)	20-16-5 (écaillage) 12.5-10-8 (rupture) 4-3.15 (abrasion)	20-12.5-5-3.15 (abrasion) 16-4 (écaillage) 8-6.3 (rupture)
	75	intacte	8-5-4 (écaillage) 6 (rupture)	20-16-12.5-10-5 (écaillage) 8-6-4 (rupture)	20-10-8-6.3-5 (écaillage) 16-4 (rupture) 3.15 (abrasion)
	100	intacte	20-16-4-3.15 (abrasion) 12.5 (rupture) 8(écaillage)	20-12.5-10-6.3 (rupture) 12.5-8-4 (écaillage)	20-10-6.3-3.15 (rupture) 16-12.5-8-5-4 (écaillage)

VI-7) Mode de rupture du schiste au niveau de chaque sous couche en fonction de l'énergie de compactage

Tableau VI-7 : Mode de rupture des grains des sous couches du schiste avec la méthode des boites.

Mode de rupture	Nbr de coups	SOUS COUCHES			
		1 ^{ère} sous couche	2 ^{ième} sous couche	3 ^{ième} sous couche	4 ^{ième} sous couche
	25	intacte	16-12.5-5-6.3 (abrasion)	20-5-4(fracture) 12.5 (abrasion)	20 (fracture) 16-12.5-10-8-4(écaillage)
	50	intacte	12.5- (abrasion)	12.5-5 (écaillage) 3.15 (abrasion)	20 (fracture) 10-8-5 (écaillage) 12.5-6.3-4 (abrasion)
	75	intacte	20-10-6.3 (abrasion) 8 (écaillage)	16-8-6.3 (abrasion) 12.5 (écaillage)	12.5 (fracture) 20-16-10-8-6.3-5 (écaillage) 3.15 (abrasion)
	100	intacte	12.5-10 (écaillage) 4-3.15 (abrasion)	20-16-10-5- 8(écaillage) 12.5 (fracture) 6.3-4-3.15 (abrasion)	20-10-8-5 (fracture) 12.5-3.15 (abrasion) 16-6.3-4 (écaillage)

Pour le schiste, le mode de rupture le plus prépondérant est l'abrasion et l'écaillage par cisaillement des aspérités, ou par rupture des angularités et seulement quelques grains se sont totalement fragmentés. Le taux d'écrasement par fracture totale est sensiblement élevé en sous couche de surface (4^{ème}) et diminue en 3^{ème} sous couche (tableau VI-7). Contrairement au schiste, le taux d'écrasement des grains de gré par fracture totale a atteint la deuxième sous couche. C'est les modes de rupture par abrasion et l'écaillage qui sont dominants pour les grains de gré (tableau VI-6).

En conclusion, nous pouvons retenir que le mode d'écrasement des grains est lié à la forme (allongée, sous arrondie), à la taille, à la nature des grains et à la répartition granulométrique.

➤ Cas des éprouvettes à couches de 5 cm

VI-8) Les facteurs influençant la dimension fractale lors de la transmission de l'énergie en profondeur

Pour étudier la transmission de l'énergie de compactage dans les sous-couches, et déterminer les facteurs pouvant influencer la variation de la dimension fractale avec la méthode des masses, des échantillons ont été confectionnés pour évaluer le taux d'écrasement qui évolue en fonction de la profondeur.

VI-9) Cas du matériau gré

VI-9-1) Influence de l'énergie de compactage (nombre de coups) sur chaque couche

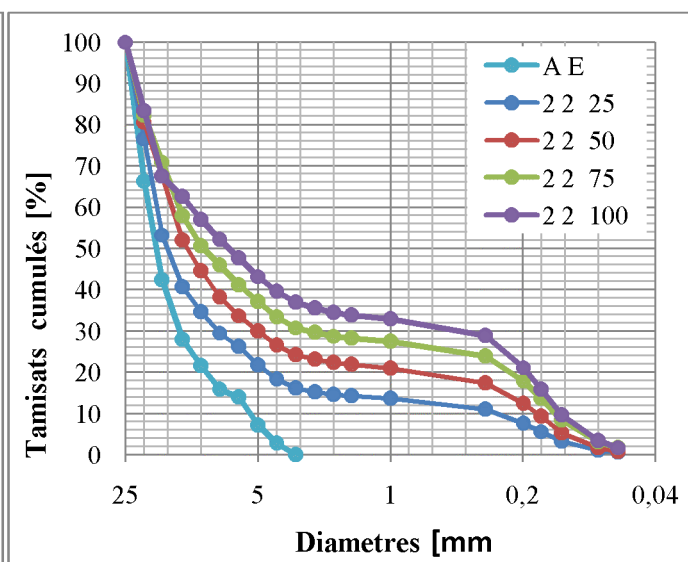
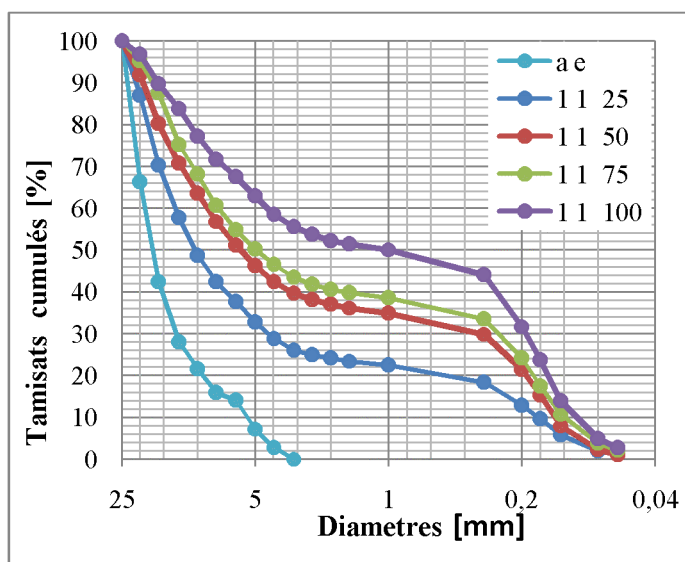


Figure VI -29 : influence du nombre de coups sur la 1^{ère} couche

Figure VI -30 : influence du nombre de coups sur la 2^{ème} couche

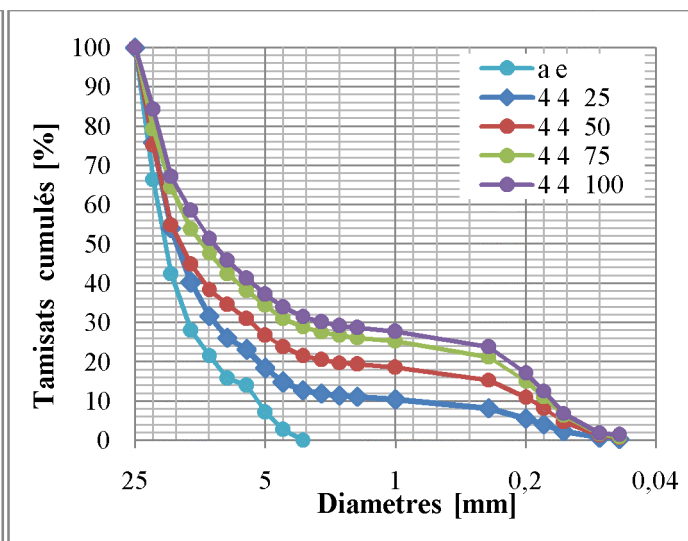
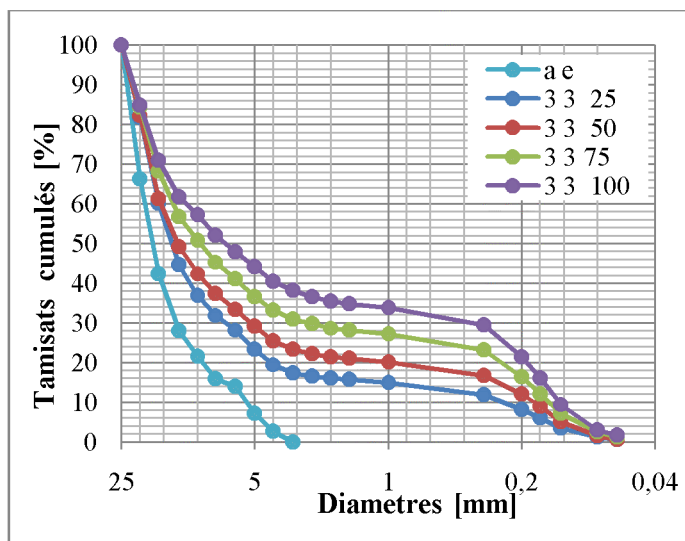


Figure VI -31 : Influence du nombre de coups sur la 3^{ème} couche

Figure VI -32 : Influence du nombre de coups sur la 4^{ème} couche

Tableau : VI - 8 : Influence du nombre de coups sur chaque couche avec la méthode des masses

Coups couches	DF avant essai	DF après essai			
	0	25	50	75	100
11	1,713	2,759	2,899	2,951	2,967
22	1,713	2,64	2,75	2,833	2,903
33	1,713	2,64	2,747	2,829	2,898
44	1,713	2,562	2,735	2,801	2,836

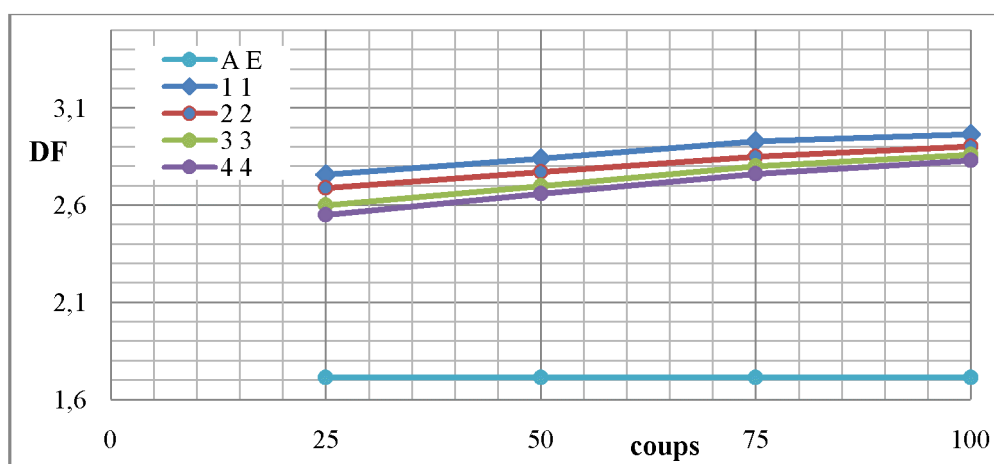


Figure VI -33: Influence du nombre de coups sur chaque couche avec la méthode des masses

Les courbes granulométrique obtenues montrent bien un étalement progressif au fur et à mesure de l'augmentation de l'énergie de compactage (nombre de coups) au niveau de chacune des couches. Une quantité des particules fines s'est produite lors de l'écrasement des grains. Les courbes sont serrées aux diamètres (20-16-12.5) mais espacées pour des diamètres compris entre (12.5 et 0.2) et cela est du aux particules fines qui se détachent des gros grains avec les petits diamètres.

Les courbes granulométrique montrent aussi que l'étalement diminue en fonction de la profondeur. En effet, le taux d'écrasement des grains diminue et les courbes deviennent de moins en moins étalées de la première couche la plus profonde à la dernière couche. Cela peut être expliqué par le fait que la plus grande énergie est absorbée par la dernière couche et cette énergie diminue avec la profondeur, donc les couches reçoivent de moins en moins d'énergie en fonction de la profondeur.

Le taux d'écrasement des grains a une relation directe avec le nombre de coups et avec la hauteur de l'échantillon. En effet, le tableau VI-8 montre la variation de la dimension fractale de chaque couche en fonction du nombre de coups. La quantité des particules fines produites après écrasement des grains dans la première couche est la plus élevée puis elle diminue d'une couche à une autre en fonction de la profondeur.

Dans les trois premières couches soumises à 25-50-75-100 coups respectivement, on note une diminution progressive de la dimension fractale de la couche superficielle à la couche la plus profonde. Les courbes granulométriques sont de moins en moins étalées en fonction de la profondeur des couches. Il est intéressant de signaler que la courbe granulométrique de la 4^{ème} couche est proche de celle de la troisième couche. Ceci veut dire que le taux d'écrasement des grains dans la troisième couche est presque identique à celui de la 4^{ème} couche. En effet, dans les trois premières couches, l'énergie de compactage est absorbée par le mouvement et l'écrasement des grains ; par contre la 1^{ère} couche (comptée à partir de la base) est soumise non seulement par l'effet des couches supérieures mais aussi par la réaction du moule.

La dimension fractale augmente en fonction de l'énergie de compactage et elle augmente en fonction de la profondeur des couches. Sachant que la 1^{ère} est soumise à 4 fois l'énergie de compactage, la 2^{ème} à 3 fois et la 3^{ème} couche à 2 fois l'énergie de compactage.

VI-9-2) Influence de la couche supérieure sur la couche inférieure en fonction du nombre de coups

Pour simuler ce qui se fait en pratique, on compacte d'abord la première couche du fond à 25 coups, puis on verse la deuxième couche et les deux couches sont soumises simultanément à 25 coups, on verse la troisième couche et les trois couches sont soumises simultanément à 25 coups et enfin, on verse la quatrième et l'ensemble est compacté à 25 coups. On a procédé de la même façon sous 50, 75 et 100 coups. De ce fait, l'influence de la couche supérieure sur la couche inférieure montre que la couche inférieure est soumise à deux fois la même énergie que la couche supérieure et par conséquent la courbe granulométrique de la couche inférieure sera plus étalée que celle de la couche supérieure et engendrera plus de particules fines (figures VI -34, VI -35, VI -36, VI -37).

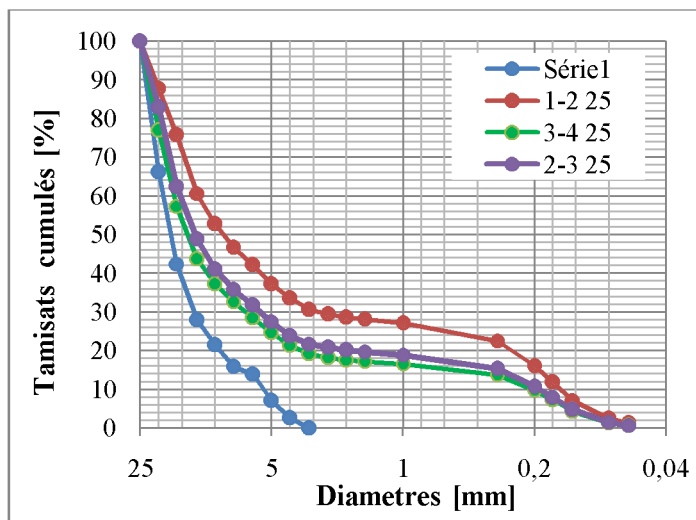


Figure VI -34 : Influence de la couche supérieure sur la couche inférieure après 25 coups

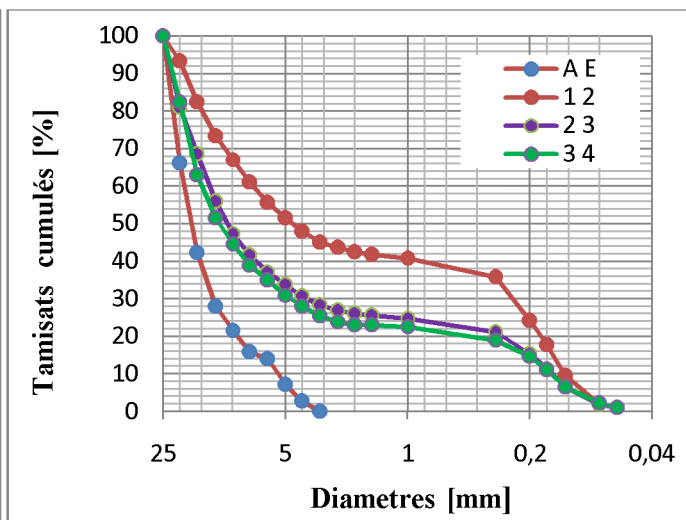


Figure VI -35 : Influence de la couche supérieure sur la couche inférieure après 50 coups

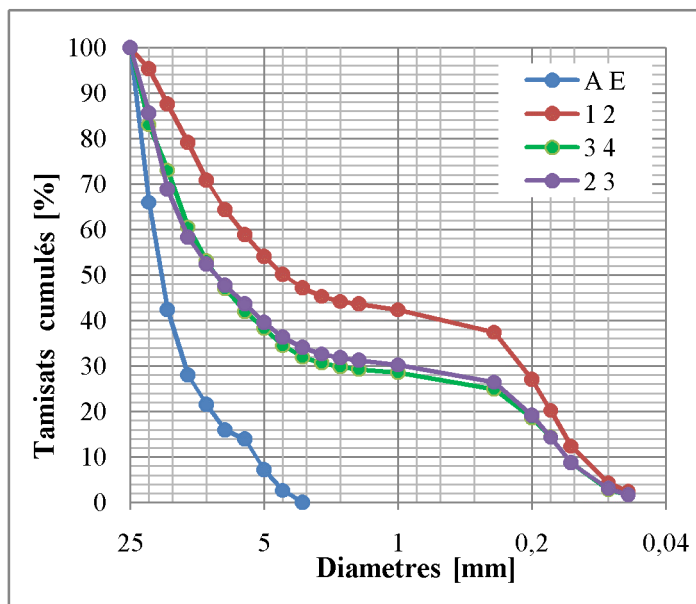


Figure VI -36 : Influence de la couche supérieure sur la couche inférieure après 75

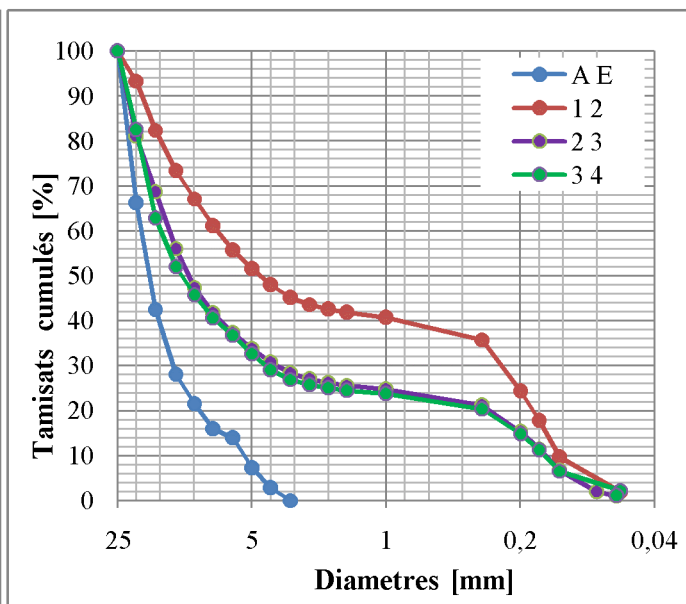


Figure VI -37 : Influence de la couche supérieure sur la couche inférieure après 100 coups

Tableau VI -9 : Influence de la couche supérieure sur la couche inférieure avec la méthode des masses

Coups Influence j-i	DF avant essai		DF après essai			
	0	25	50	75	100	
1 2	1,713	2,823	2,937	2,988	2,993	
2 3	1,713	2,725	2,805	2,869	2,936	
3 4	1,713	2,693	2,797	2,837	2,928	

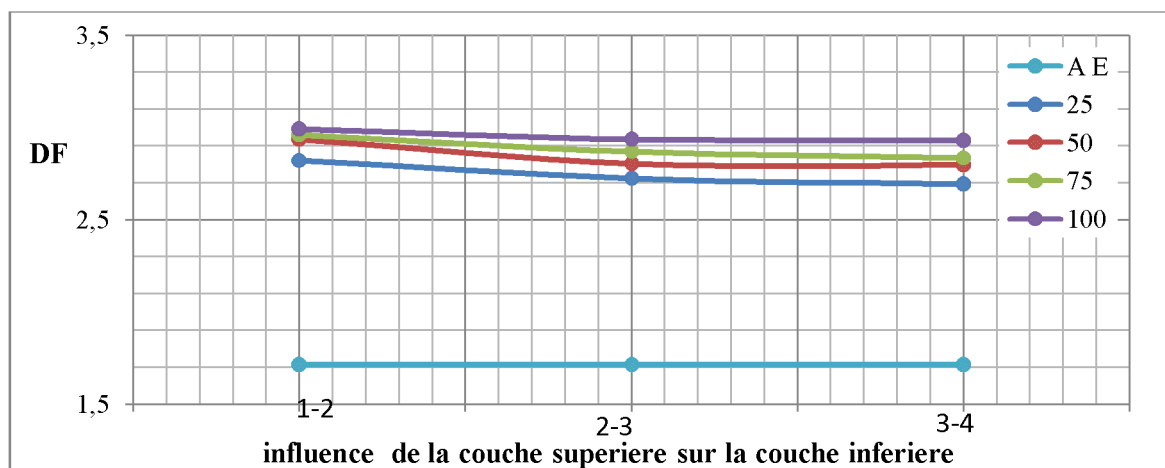


Figure : VI - 38 : Influence de la couche supérieure sur la couche inférieure avec la méthode des masses

Les courbes granulométriques montrent parfaitement l'influence de la couche supérieure sur la granulométrie de la couche inférieure et cette influence augmente avec l'augmentation du nombre de coups que reçoit chaque couche de l'échantillon.

On enregistre une influence importante de la 2^{ème} couche sur la 1^{ère} couche tant pour le calcul de dimension fractale que pour la production des fines et qui augmente respectivement avec le nombre de coups. Cette influence est de moins en moins importante au fur et à mesure que les couches remontent en surface. En effet, l'influence de la couche supérieure sur la couche inférieure est liée à l'absorption du choc subi par les couches inférieures de l'échantillon.

La figure VI -38 montre clairement cette influence de (couche j/ i). Pour l'influence de (couche 2/ couche 1) et (couche 3/couche 2) soumises respectivement à 25 -50 -75 -100 coups, les dimensions fractales augmentent en fonction du nombre de coups et elles diminuent en remontant vers la surface des couches.

L'influence de la couche 4 sur la couche 3 est moins importante que pour les autres influences (couche 3/couche 2, couche 2/couche 1, couche 3/couche 1, couche 4/couche 1). En effet, cette influence a montré une courbe granulométrique moins étalée. Toutefois nous remarquons qu'on a obtenu pratiquement la même influence pour la couche 3/couche 2 et pour la couche 4/couche 3 et cette influence tend à se confondre pour une énergie de 100 coups.

Cette influence est produite lors du contact entre grains supérieurs avec les grains inférieurs, c'est ce qui explique le resserrement des courbes de la figure VI -38 pour 50 -75 -100 coups car les particules fines diminuent le contact grain-grain ce qui implique une influence sur le taux d'écrasements des grains et la production des particules fines.

VI-9-3) Influence des couches supérieures sur la 1^{ère} couche

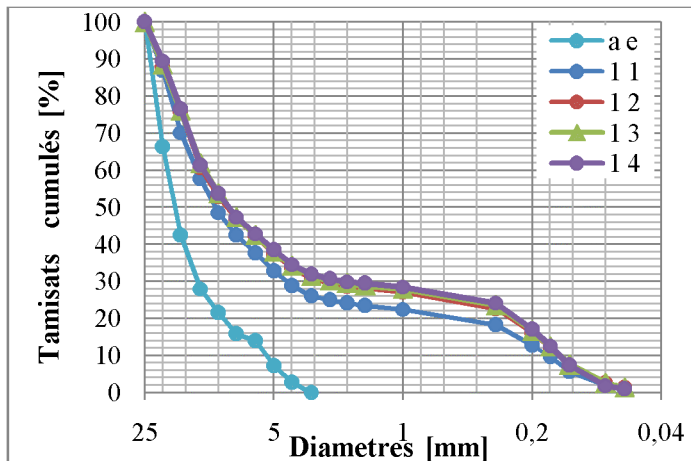


Figure VI -39 : influence des couches supérieure sur la 1^{ère} couche après 25 coups

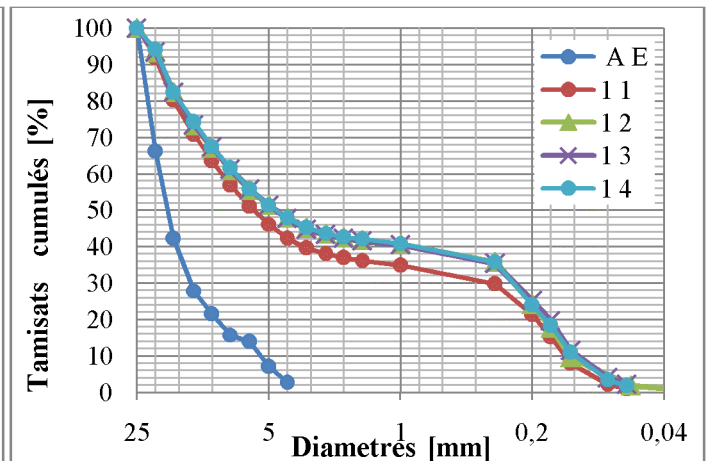


Figure VI -40 : influence des couches supérieure sur la 1^{ère} couche après 50 coups

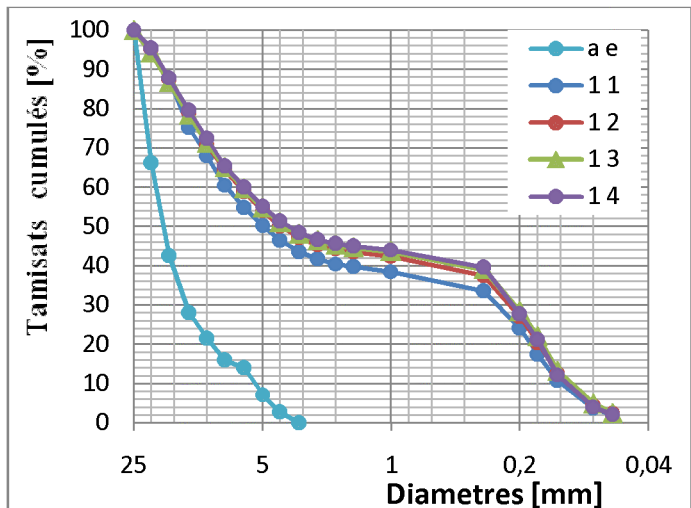


Figure VI -41 : influence des couches supérieure sur la 1^{ère} couche après 75 coups

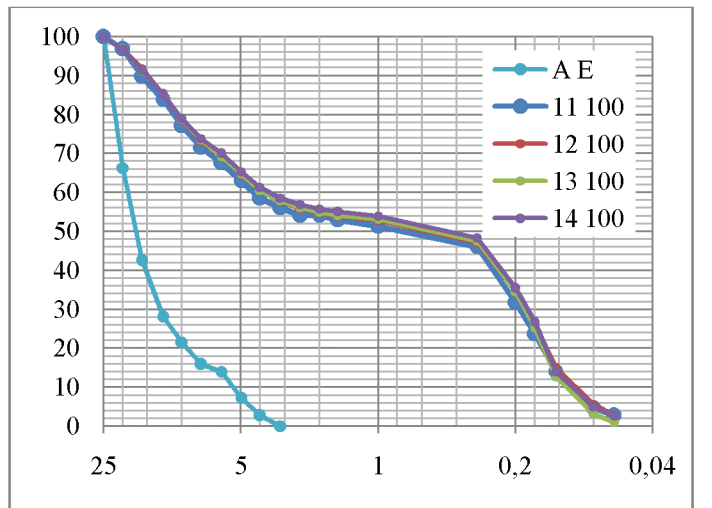


Figure VI -42 : influence des couches supérieure sur la 1^{ère} couche après 100 coups

Tableau : VI -10 : Influence des couches supérieures sur la première couche avec la méthode des masses

	DF avant essai	DF après essai			
couches	0	25	50	75	100
1-1	1,713	2,759	2,899	2,951	2,967
1-2	1,713	2,823	2,937	2,988	2,993
1-3	1,713	2,828	2,964	2,96	2,994
1-4	1,713	2,828	2,964	2,96	2,994

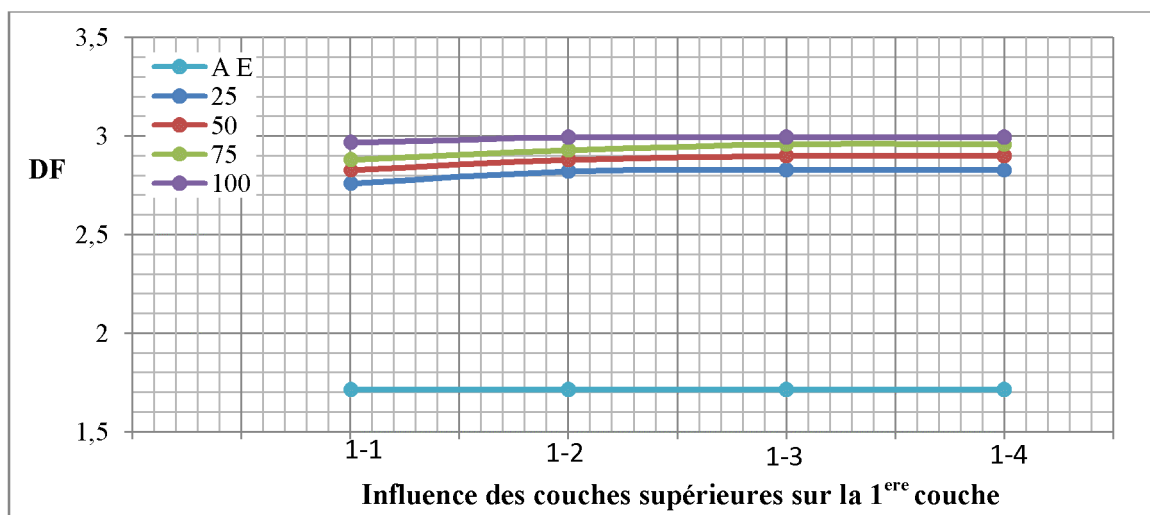


Figure : VI -43 : Influence des couches supérieures sur la première couche avec la méthode des masses

D'après les courbes granulométriques, on constate que lorsqu'on augmente le nombre de coups pour la 1^{ère} couche, le taux d'écrasement est plus élevé par rapport à la 2^{ème} couche et à la 3^{ème} couche.

Pour 25-50-75 coups, on enregistre une influence de la DF de la 2^{ème} couche par rapport à la 1^{ère} ; ce qui explique l'étalement de la courbe granulométrique de 1/2 (influence de la 2^{ème} couche sur la 1^{ère} couche) par rapport à 1/1 (1^{ère} couche après essai). Les courbes granulométriques des couches supérieures (3^{ème} et 4^{ème}) sont presque superposées ; ce qui veut dire qu'il n'y a pas une grande influence de ces dernières par rapport à la première couche.

En outre, l'écrasement des grains de la première couche sous l'effet du nombre de coups engendre une production de particules fines qui vont augmenter le nombre de contacts entre grains et qui s'opposeront à l'écrasement en présence des couches supérieures (3^{ème} et 4^{ème} couche).

D'autre part, les chocs que subissent les couches supérieures seront amortis par les couches inférieures. La grande partie de l'énergie transmise par les chocs est dissipée par la couche elle-même soit par écrasement des grains de cette couche, soit par le mouvement ou le réarrangement des grains favorisé par l'état de surface ou la forme sous arrondi. Le mouvement peut être un déplacement ou bien une rotation des grains ou bien les deux mouvements à la fois. Cela diminue l'effet des chocs sur les couches inférieures.

Pour 100 coups, presque toutes les courbes sont superposées, donc pour un nombre de coups très important il n'aura pas une influence des couches supérieures sur la première couche. Dans ce cas, le taux d'écrasement est maximal (tous les grains se sont écrasés) ; par conséquent, une quantité importante de particules fines est produite donc les couches inférieures qui vont se comporter comme des matériaux cohérents sous l'effet d'une forte énergie de compactage. Les couches inférieures vont se compacter et les

finer vont créer de nombreux contacts entre les différents grains qui vont limiter le phénomène d'écrasement. Donc seule la couche supérieure qui subit le choc qui engendrera le phénomène d'écrasement des grains (figure VI -43).

VI-9-4) Influence des couches supérieures sur la 2^{ème} couche

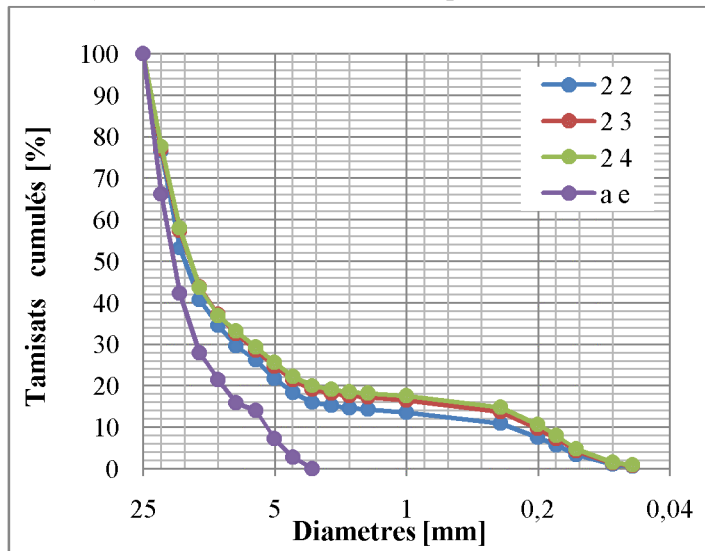


Figure VI - 44 : Influence des couches supérieures sur la 2^{ème} couche après 25 coups

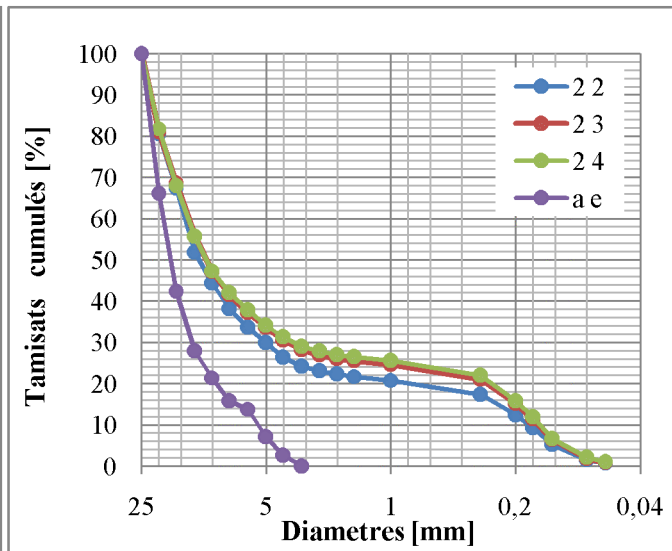


Figure VI -45 : Influence des couches supérieures sur la 2^{ème} couche après 50 coups

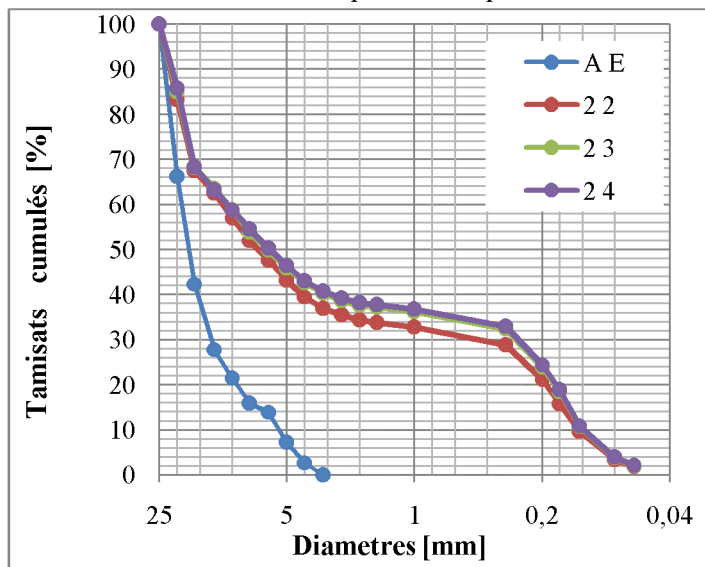


Figure VI -46: Influence des couches supérieures sur la 2^{ème} couche après 75 coups

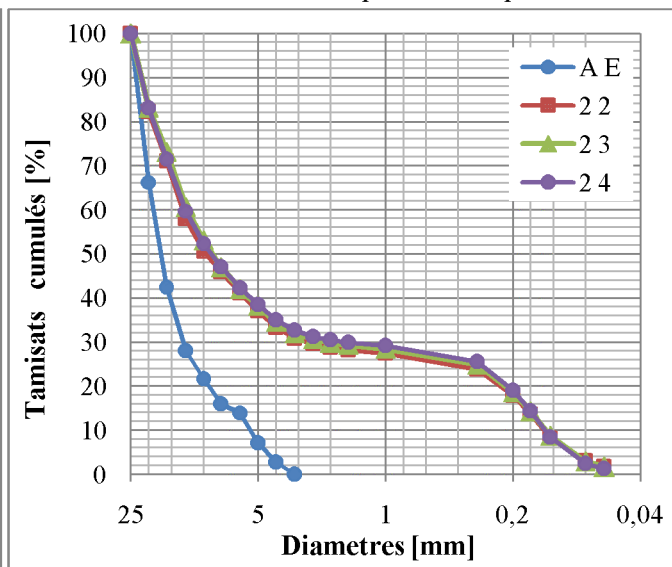


Figure VI -47: Influence des couches supérieures sur la 2^{ème} couche après 100 coups

Il n'y a pas une grande influence, la deuxième couche joue un rôle d'amortisseur. Une première couche qui sera non seulement soumise à l'énergie de compactage mais aussi à une réaction du moule. La deuxième couche est couverte par la troisième ou la quatrième couche qui subissent les chocs de la dame Proctor. Les différentes figures VI -44, VI -45, VI -46, VI -47, montrent que les courbes granulométriques sont légèrement décalées pour 25 coups et elles tendent à se confondre en augmentant l'énergie de compactage à 100 coups.

Tableau : VI -11 : Influence des couches supérieures sur la 2^{ème} couche après en fonction du nombre de coups

Influence I-j	DF avant essai	DF après essai			
	0	25	50	75	100
2-2	1,713	2,658	2,75	2,833	2,903
2-3	1,713	2,725	2,805	2,869	2,936
2-4	1,713	2,733	2,812	2,878	2,945

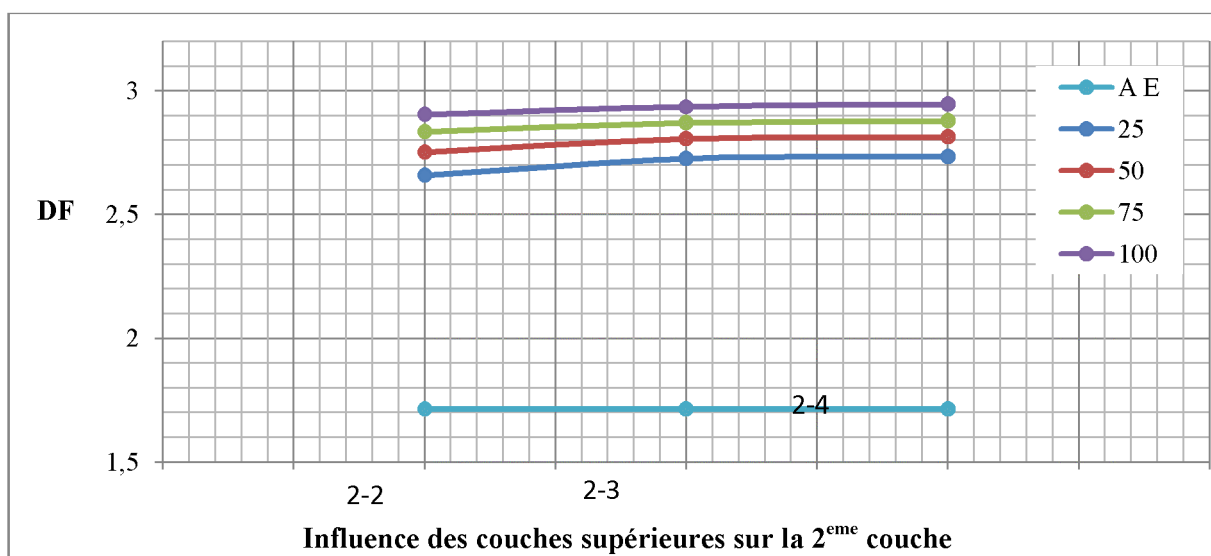


Figure VI -48 : Influence des couches supérieures sur la 2^{ème} couche après en fonction du nombre de coups

La figure 6-48 montre que la dimension fractale augmente légèrement lorsque la couche 2 est surchargée d'une couche ou de deux couches. Cette dimension augmente aussi en fonction de l'énergie de compactage et elle est d'autant plus importante que celle-ci est surchargée.

D'après les courbes granulométriques de la figure VI -48, une légère influence de la 3^{ème} couche sur la 2^{ème} pour 25-50-75 coups est obtenue et il n'y a aucune influence de la 4^{ème} couche sur la 2^{ème} couche.

Pour 25 coups, certains grains restent intacts et toutefois ils peuvent s'écraser sous des énergies de compactage importantes. Pour 100 coups, le taux d'écrasement est le plus élevé pour toutes les sous couches ; ce qui engendre un taux de particules fines plus élevé.

VI-9-5) Influence de la couche supérieure sur la 3^{ème} couche

Les résultats de l'étalement granulométrique de l'effet de la couche supérieure sur la 3^{ème} couche sont représentés sur les figures VI-49, VI-50, VI-51, VI-52

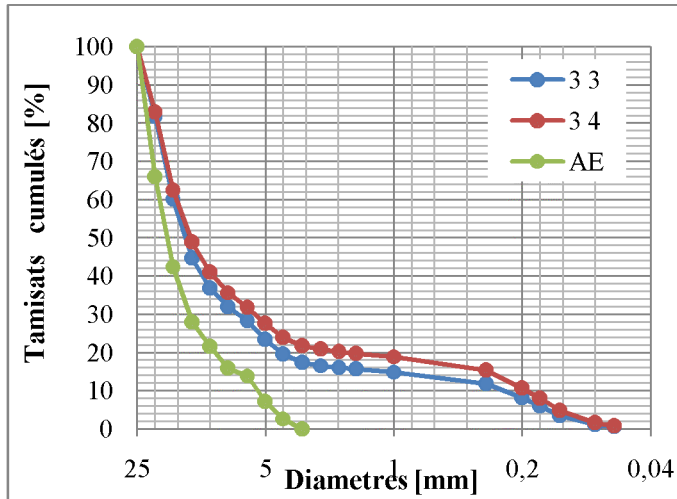


Figure VI -49 : Influence des couches supérieure sur la 3^{ème} couche après 25 coups

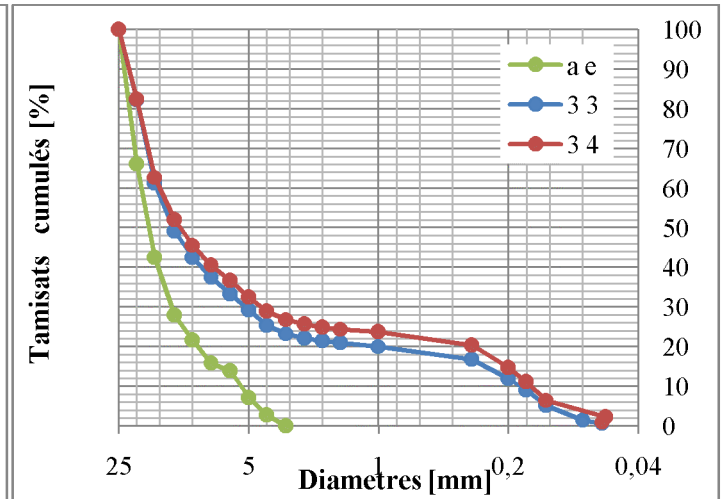


Figure VI -50 : Influence des couches supérieure sur la 3^{ème} couche après 50 coups

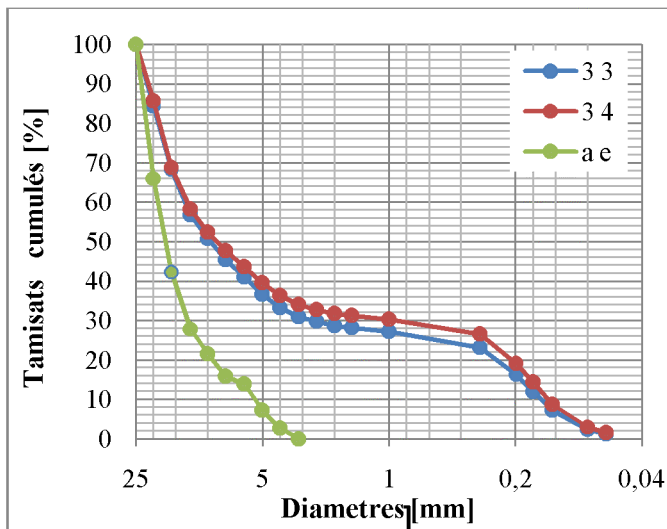


Figure VI -51 : Influence des couches supérieures sur la 3^{ème} couche après 75 coups

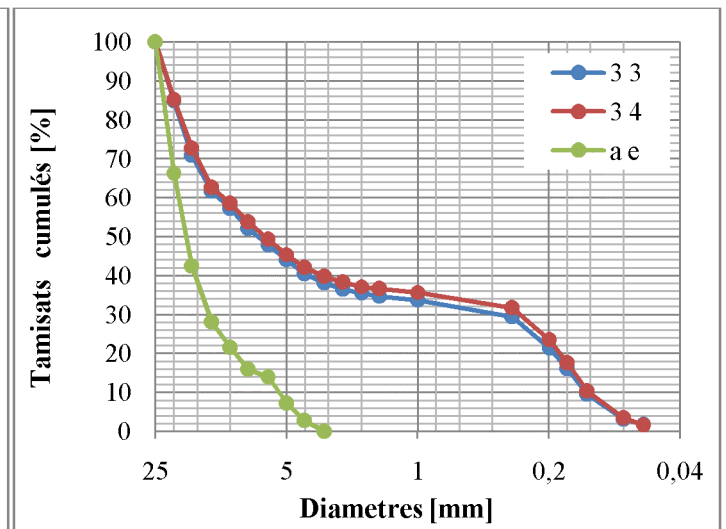


Figure VI -52 : Influence des couches supérieures sur la 3^{ème} couche après 100 coups

Il n'y a pas une grande influence de la 4^{ème} couche sur la 3^{ème} couche, car celle-ci joue un rôle d'amortisseur. Les différentes figures VI -49, VI -50, VI -51, VI -52, montrent que les courbes granulométriques sont légèrement décalées pour 25 coups et elles tendent à se confondre en augmentant l'énergie de compactage à 100 coups.

Les dimensions fractales obtenues avant et après essais sont portées sur le tableau VI -12

Tableau : VI -12 : Influence des couches supérieures sur la 3^{ème} couche en fonction du nombre de coups

	DF avant essai	DF après essai			
couches	0	25	50	75	100
3-3	1,713	2,64	2,747	2,829	2,898
3-4	1,713	2,693	2,797	2,837	2,928

L'évolution de la dimension fractale de la 3^{ème} couche soumise à l'énergie de compactage et à la 4^{ème} couche est représentée sur la figure VI -53

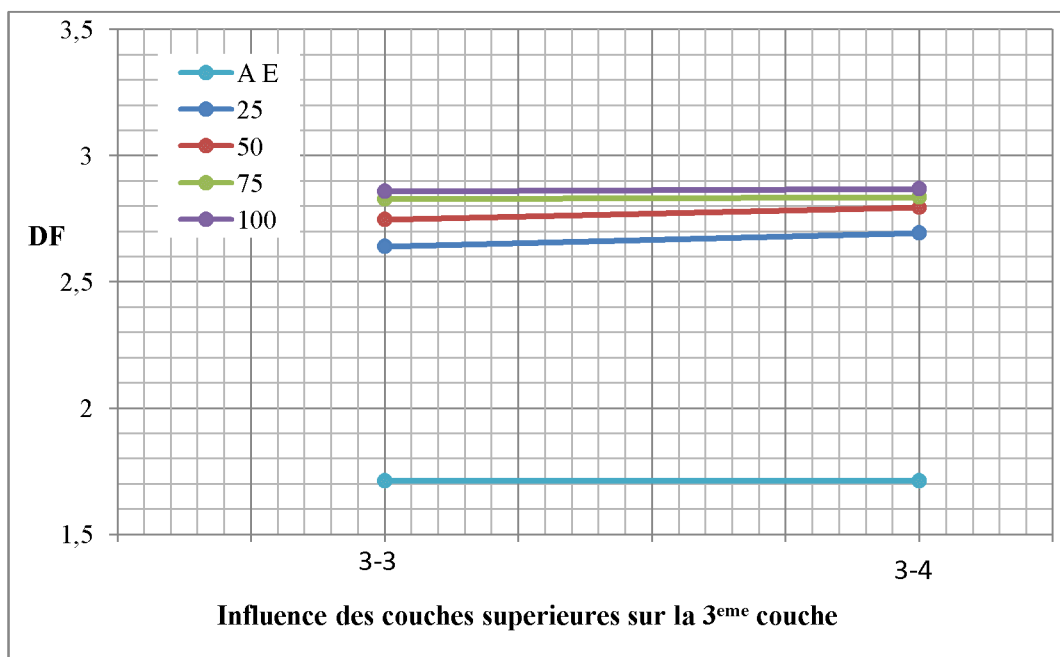


Figure : VI -53 : Influence des couches supérieures sur la 3^{ème} couche en fonction du nombre de coups

La figure VI -53 montre que la dimension fractale augmente lorsque la couche 3 est surchargée. Cette dimension augmente aussi en fonction de l'énergie de compactage et elle est d'autant plus importante que celle-ci est surchargée.

VI-10) Cas du matériau schiste

VI-10-1) Influence de l'énergie de compactage (nombre de coups) sur chaque couche

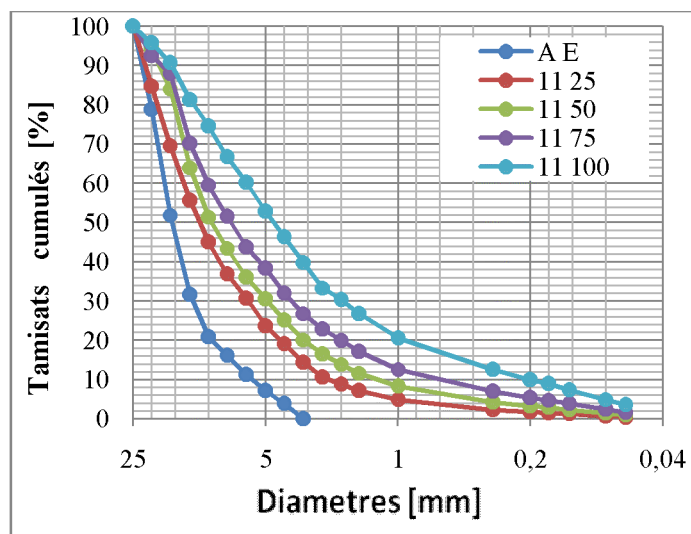


Figure VI -54 : Influence du nombre de coups sur la 1^{ère} couche

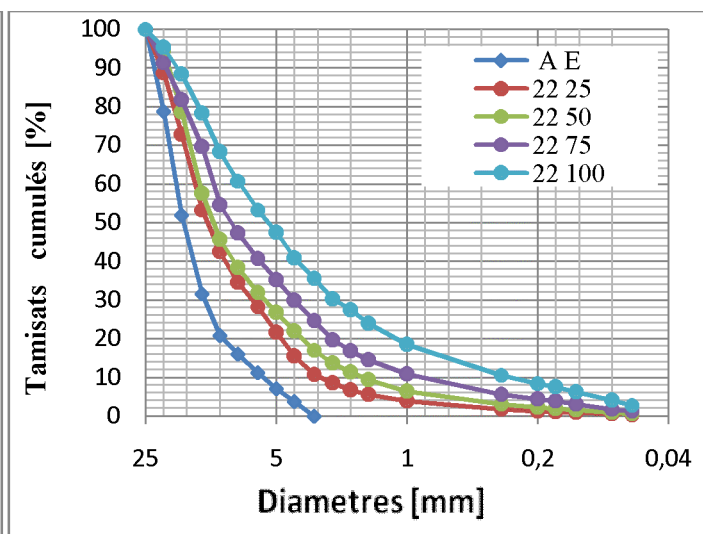


Figure VI -55 : Influence du nombre de coups sur la 2^{ème} couche

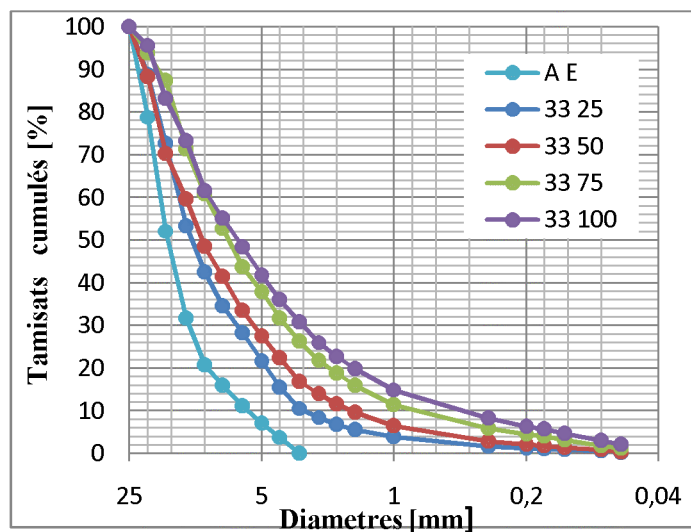


Figure VI -56 : Influence du nombre de coups sur la 3^{ème} couche

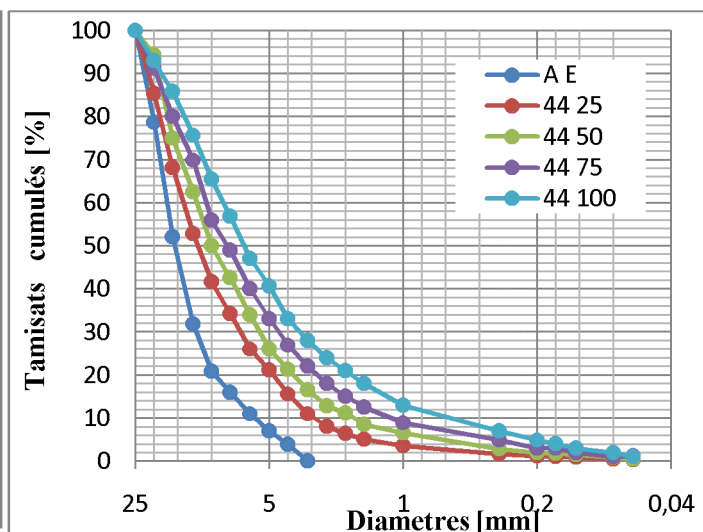


Figure VI -57 : Influence du nombre de coups sur la 4^{ème} couche

Tableau : VI -13 : Influence de l'énergie de compactage sur chaque couche avec la méthode des masses

couches	DF après essai				
	DF avant essai	25	50	75	100
1-1	1,754	2,296	2,449	2,579	2,743
2-2	1,754	2,198	2,381	2,515	2,69
3-3	1,754	2,183	2,379	2,535	2,617
4-4	1,754	2,211	2,318	2,492	2,593

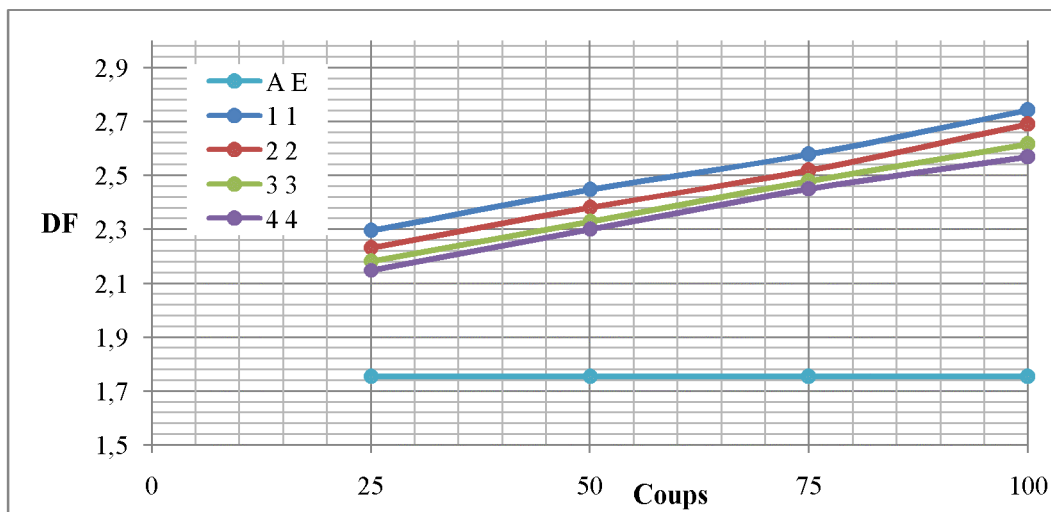


Figure VI -58 : Influence de l'énergie de compactage sur chaque couche avec la méthode des masses

Les courbes granulométriques obtenues montrent bien un étalement progressif au fur et à mesure de l'augmentation de l'énergie de compactage (nombre de coups) au niveau de chacune des couches. Une quantité des particules fines s'est produite lors de l'écrasement des grains. Les courbes sont serrées aux diamètres (20, 16) mais espacées pour des diamètres compris entre (16 et 0,2) et cela est dû aux particules fines qui se détachent des gros grains avec les petits diamètres.

Les courbes granulométriques montrent aussi que l'étalement diminue en fonction de la profondeur. En effet, le taux d'écrasement des grains diminue et les courbes deviennent de moins en moins étalées de la première couche la plus profonde à la dernière couche. Cela peut être expliqué par le fait que la plus grande énergie est absorbée par la dernière couche et cette énergie diminue avec la profondeur, donc les couches reçoivent de moins en moins d'énergie en fonction de la profondeur.

Le taux d'écrasement des grains a une relation directe avec le nombre de coups et avec la hauteur de l'échantillon. En effet, le tableau VI-13 montre la variation de la dimension fractale de chaque couche en fonction du nombre de coups. La quantité des particules fines produites après écrasement des grains dans la première couche est la plus élevée puis elle diminue d'une couche à une autre en fonction de la profondeur.

Dans les trois premières couches soumises à 25-50-75-100 coups respectivement, on note une diminution progressive de la dimension fractale de la couche la plus profonde à la couche superficielle. Les courbes granulométriques sont de moins en moins étalées en fonction de la profondeur des couches.

La dimension fractale augmente en fonction de l'énergie de compactage et elle augmente en fonction de la profondeur des couches. Sachant que la 1^{ère} est soumise à 4 fois l'énergie de compactage, la 2^{ème} à 3 fois et la 3^{ème} couche à 2 fois l'énergie de compactage

VI-10-2) Influence de la couche supérieure sur la couche inférieure en fonction de l'énergie de compactage

Pour simuler ce qui se fait en pratique, on compacte d'abord la première couche du fond à 25 coups, puis on verse la deuxième couche et les deux couches sont soumises simultanément à 25 coups, on verse la troisième couche et les trois couches sont soumises simultanément à 25 coups et enfin, on verse la quatrième et l'ensemble est compacté à 25 coups. On a procédé de la même façon sous 50, 75 et 100 coups. De ce fait, l'influence de la couche supérieure sur la couche inférieure montre que la couche inférieure est soumise à deux fois la même énergie que la couche supérieure et par conséquent la courbe granulométrique de la couche inférieure sera plus étalée que celle de la couche supérieure et engendrera plus de particules fines figures VI-59, VI-60, VI-61, VI-62.

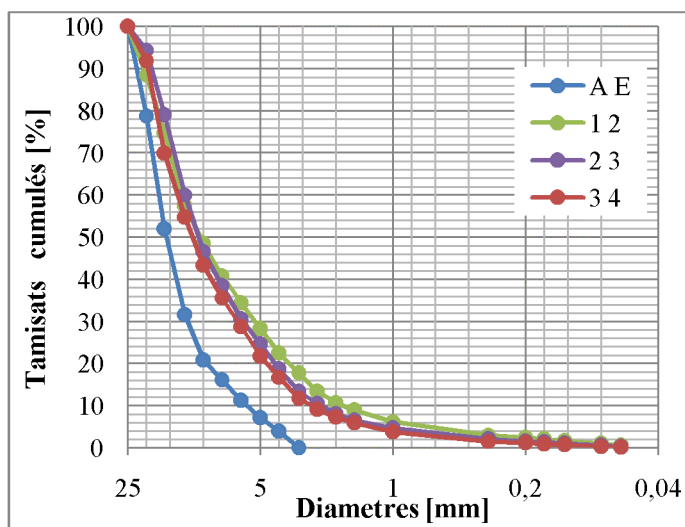


Figure VI -59 : Influence de la couche supérieure sur la couche inférieure après 25 coups

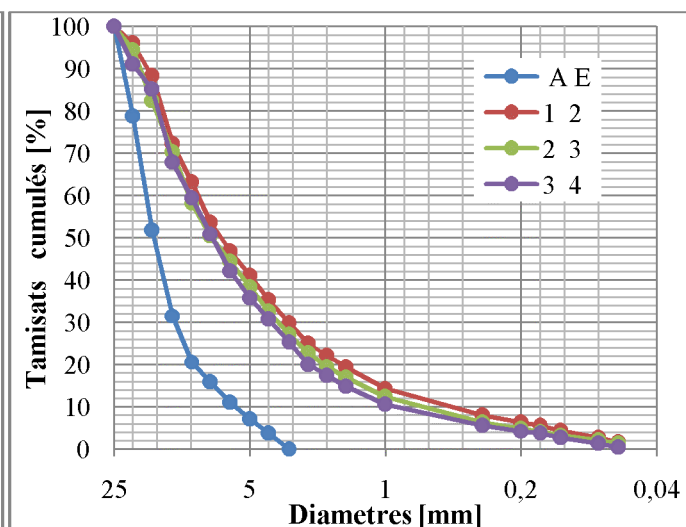


Figure VI -60 : Influence de la couche supérieure sur la couche inférieure après 50 coups

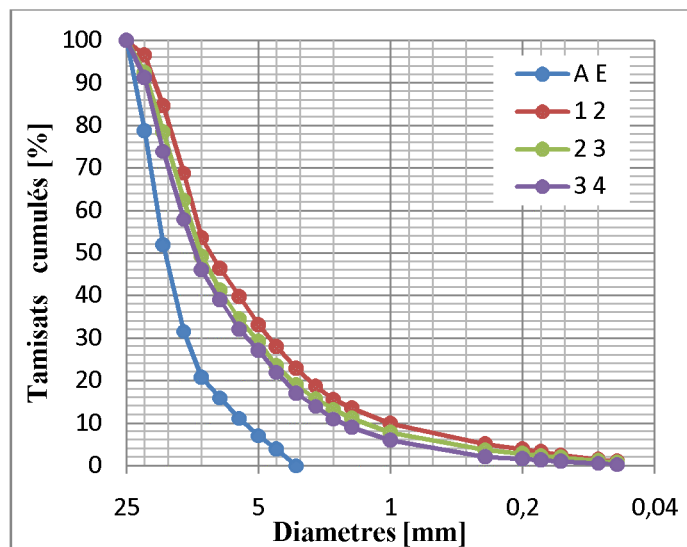


Figure VI -61 : Influence de la couche supérieure sur la couche inférieure après 75 coups

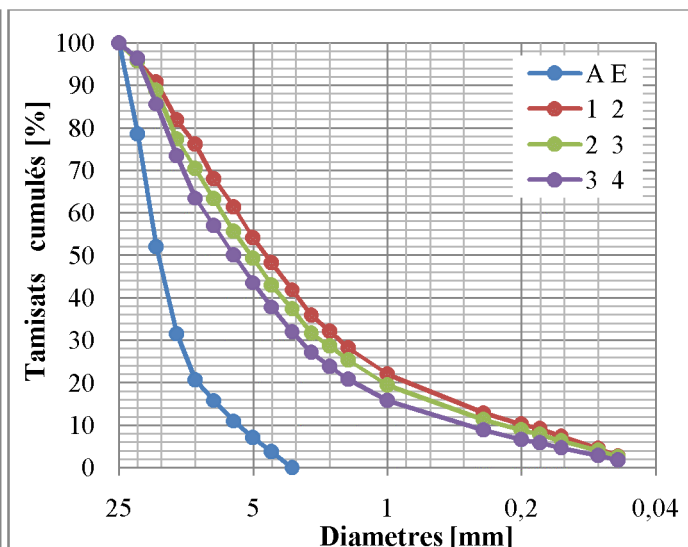


Figure VI -62 : Influence de la couche supérieure sur la couche inférieure après 100 coups

Le calcul de la dimension fractale avec la méthode des masses avant et après essais sous 25, 50, 75 et 100 coups est regroupé dans le tableau VI -14.

Tableau : VI -14 : Influence de la couche supérieure sur la couche inférieure avec la méthode des masses

couches	DF avant essai		DF après essai		
	0	25	50	75	100
1-2	1,754	2,37	2,509	2,636	2,785
2-3	1,754	2,282	2,416	2,559	2,727
3-4	1,754	2,248	2,408	2,536	2,654

L'évolution de la dimension fractale dans chacune des sous couches soumise à 25, 50, 75 et 100 coups est représentée dans la figure VI -66.

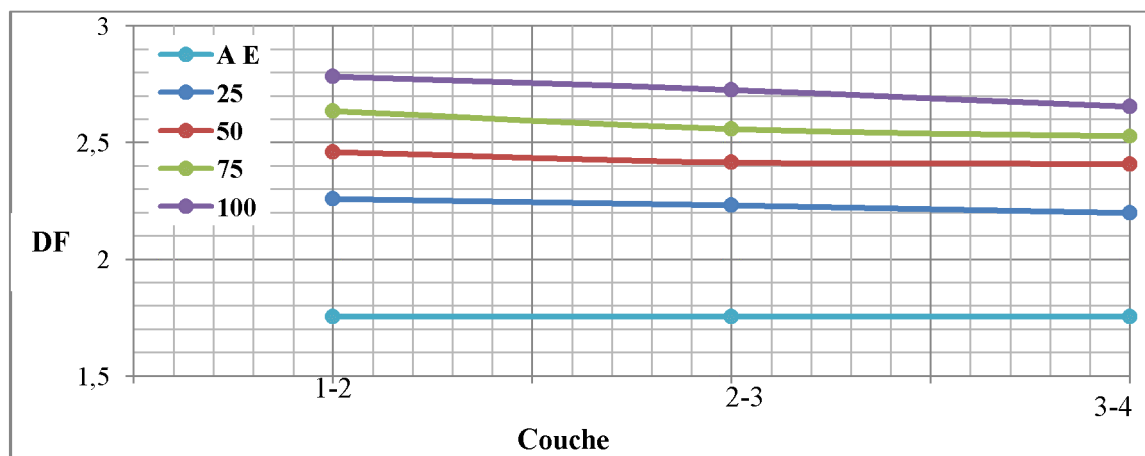


Figure VI -63 : Influence de la couche supérieure sur la couche inférieure avec la méthode des masses

Les courbes granulométriques montrent parfaitement qu'il n'y a pas une grande influence de la couche supérieure soumise à 25-50-75 coups sur la couche inférieure (Figure VI -59, VI -60, VI -61), toutefois sous une énergie importante (100 coups) l'étalement granulométrique commence à devenir significatif (Figure VI -62).

On enregistre une influence importante de la 2^{ème} couche sur la 1^{ère} couche (Figure VI -62) tant pour le calcul de dimension fractale que pour la production des fines et qui augmente respectivement avec le nombre de coups. Cette influence est de moins en moins importante au fur et à mesure que les couches remontent en surface. En effet, l'influence de la couche supérieure sur la couche inférieure est liée à l'absorption du choc subi par les couches inférieures de l'échantillon et la forme feuilletée de ce dernier.

La figure VI -63 montre clairement cette influence de (couche j/couche i). Les dimensions fractales augmentent en fonction du nombre de coups et elles diminuent en remontant vers la surface des couches.

L'influence de la couche 4 sur la couche 3 est moins importante que pour les autres influences (couche 3/couche 2, couche 2/couche 1, couche 3/couche 1, couche 4/couche 1). En effet, cette influence a montré une courbe granulométrique moins étalée. Toutefois nous remarquons qu'on a obtenu un écart significatif après une énergie de compactage de 100 coups.

VI-10-3) Influence des couches supérieures sur la 1^{ère} couche en fonction de l'énergie de compactage

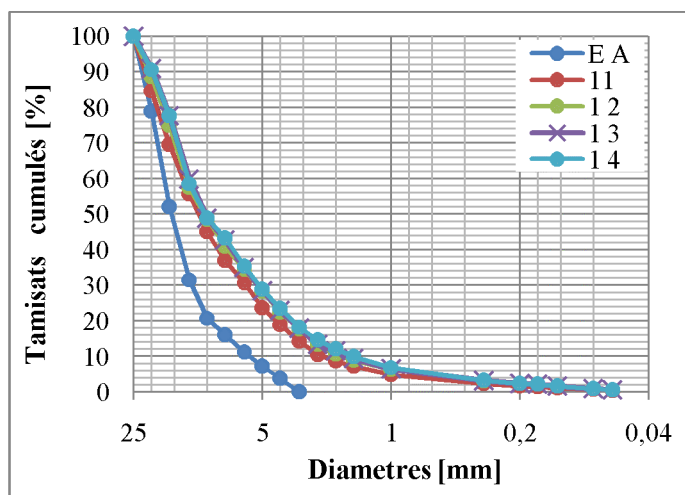


Figure VI -64: Influence des couches supérieures sur la 1^{ère} couche après 25 coups

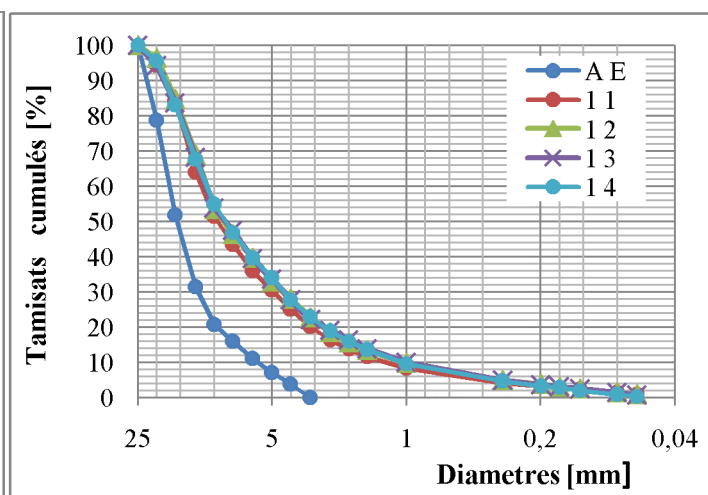


Figure VI -65 : Influence des couches supérieures sur la 1^{ère} couche après 50 coups

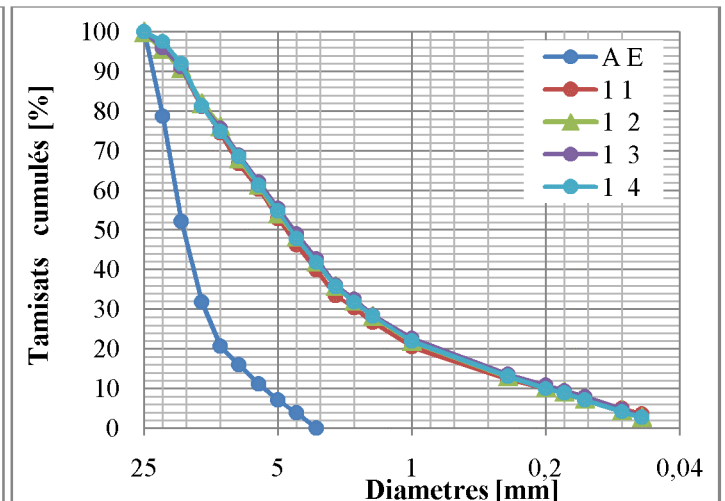
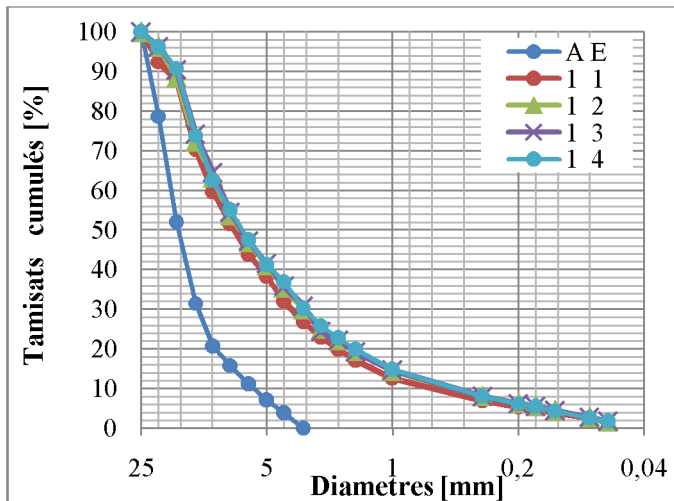


Figure VI -66: Influence des couches supérieures sur la 1^{ère} couche après 75 coups

Figure VI -67: Influence des couches supérieures sur la 1^{ère} couche après 100 coups

Tableau : VI -15 : Influence des couches supérieures sur la première couche avec la méthode des masses

	DF avant essai	DF après essais			
couches	0	25	50	75	100
1-1	1,754	2,296	2,449	2,579	2,743
1-2	1,754	2,376	2,509	2,636	2,785
1-3	1,754	2,378	2,508	2,637	2,799
1-4	1,754	2,378	2,508	2,640	2,799

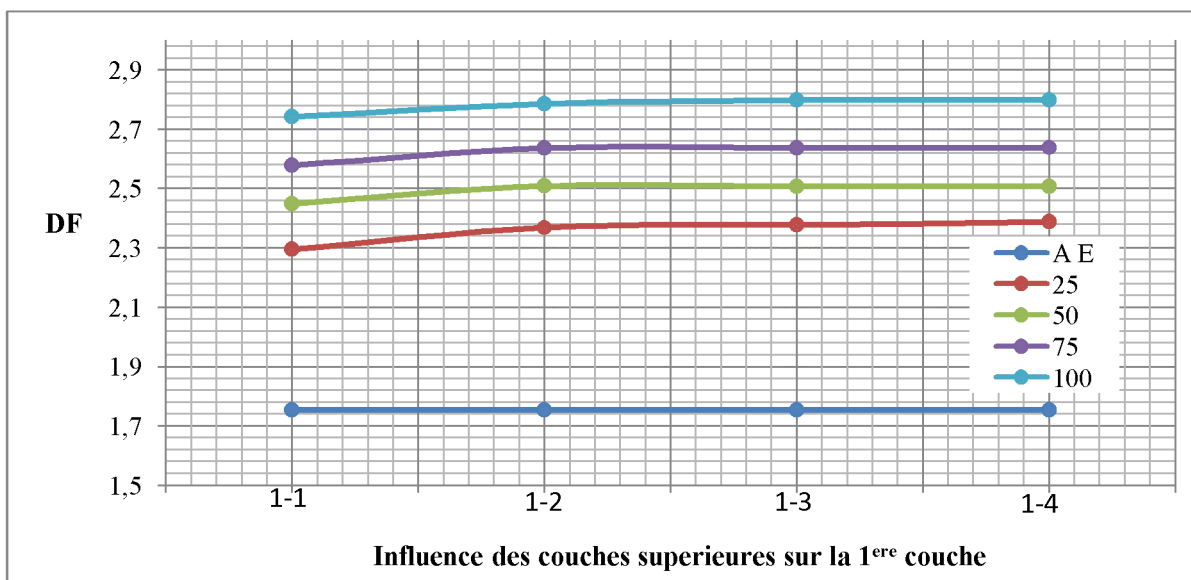


Figure VI -68 : Influence des couches supérieures sur la 1^{ère} couche avec la méthode des masses

Les courbes granulométrique obtenues montrent bien un étalement progressif au fur et à mesure de l'augmentation de l'énergie de compactage (nombre de coups) au niveau de la première couche (la plus profonde). Une quantité des particules fines s'est produite lors de l'écrasement des grains.

Les courbes granulométriques montrent bien que seule la 2^{ème} couche (parmi les couches supérieures) qui a une influence remarquable sur la première couche. Cette influence augmente avec l'augmentation du nombre de coups et diminue en montant vers les couches de surface.

L'étalement granulométrique, sans doute, est dû à l'écrasement des grains de cette première couche, par conséquent, il y a eu une production d'une quantité de particules fines. Cette dernière augmente avec l'énergie de compactage. La première couche soumise à une énergie de compactage respectivement à 25-50-75-100 coups, a provoqué un écrasement des grains, et le taux d'écrasement de ses grains augmente au fur et à mesure avec l'augmentation du nombre de coups.

Après avoir versé la deuxième couche et sera soumise respectivement à 25-50-75-100 coups, on constate une augmentation du taux d'écrasement des grains dans la première couche. Dans ce cas, la première couche sera soumise à la fois à l'énergie de compactage et à la réaction du fond du moule ce qui engendre de plus l'écrasement.

L'influence de la 3^{ème} et la 4^{ème} couche sur la 1^{ère} couche est presque nulle. Cela est dû à la forme des grains de l'échantillon (schiste) qui est feuilletée ce qui rend son écrasement assez difficile.

VI-10-4) Influence des couches supérieures sur la 2^{ème} couche en fonction de l'énergie de compactage

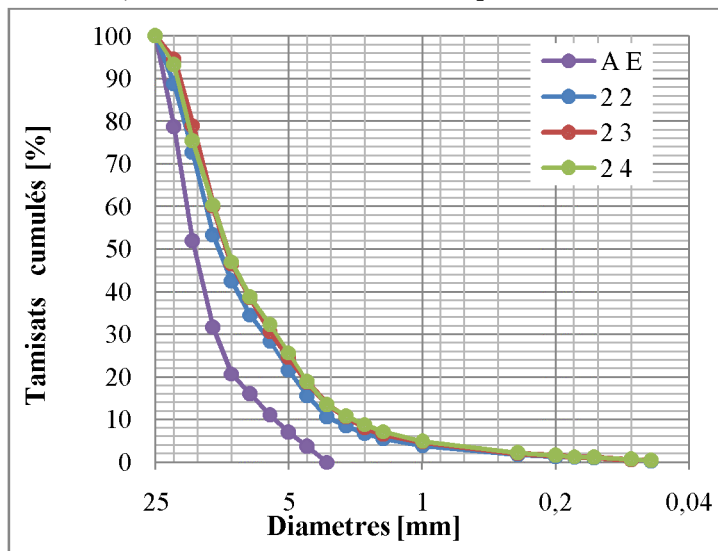


Figure VI -69: Influence des couches supérieures sur la 2^{ème} couche après 25 coups

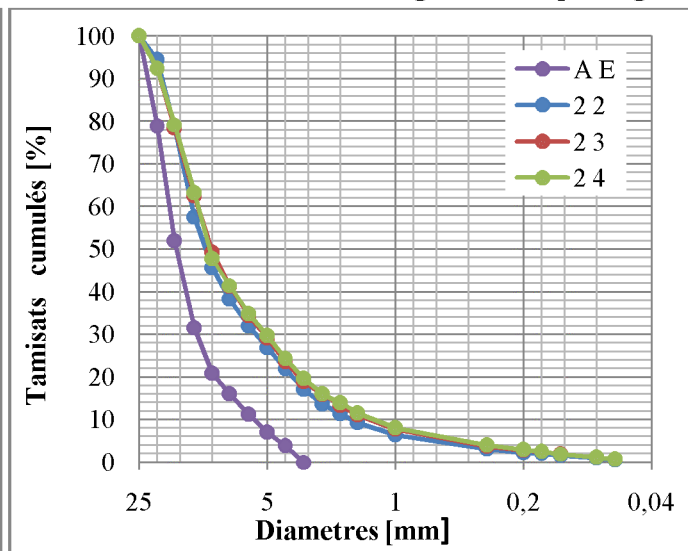


Figure VI -70 : Influence des couches supérieures sur la 2^{ème} couche après 50 coups

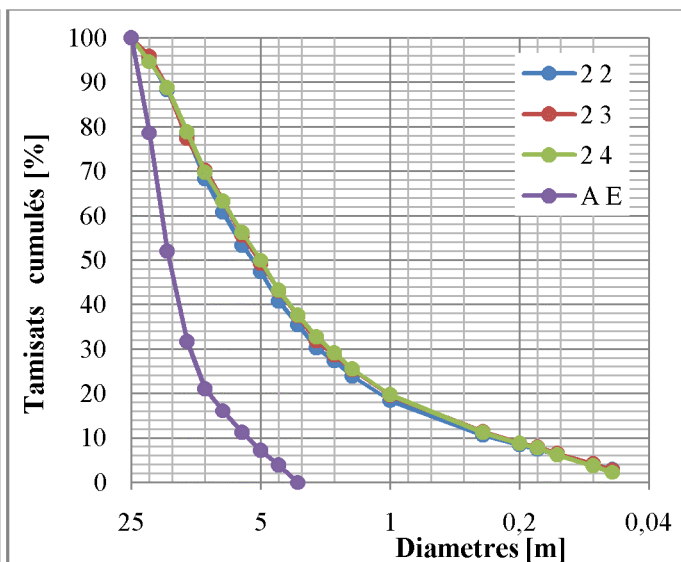
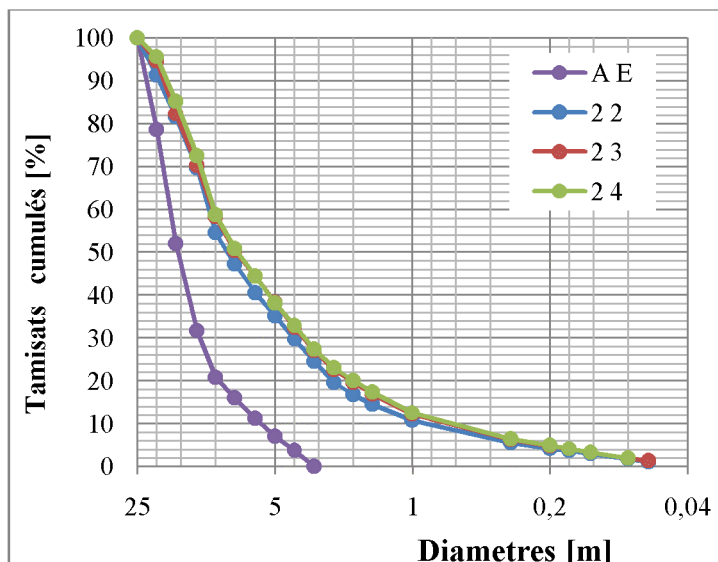


Figure VI -71 : Influence des couches supérieure sur la 2^{ème} couche après 75 coups

Figure VI -72 : Influence des couches supérieure sur la 2^{ème} couche après 100 coups

Tableau : VI -16 : Influence des couches supérieures sur la 2^{ème} couche avec la méthode des masses

couches	DF avant essai	DF après essai			
	0	25	50	75	100
2-2	1,754	2,27	2,381	2,52	2,7
2-3	1,754	2,282	2,4	2,536	2,727
2-4	1,754	2,292	2,42	2,546	2,737

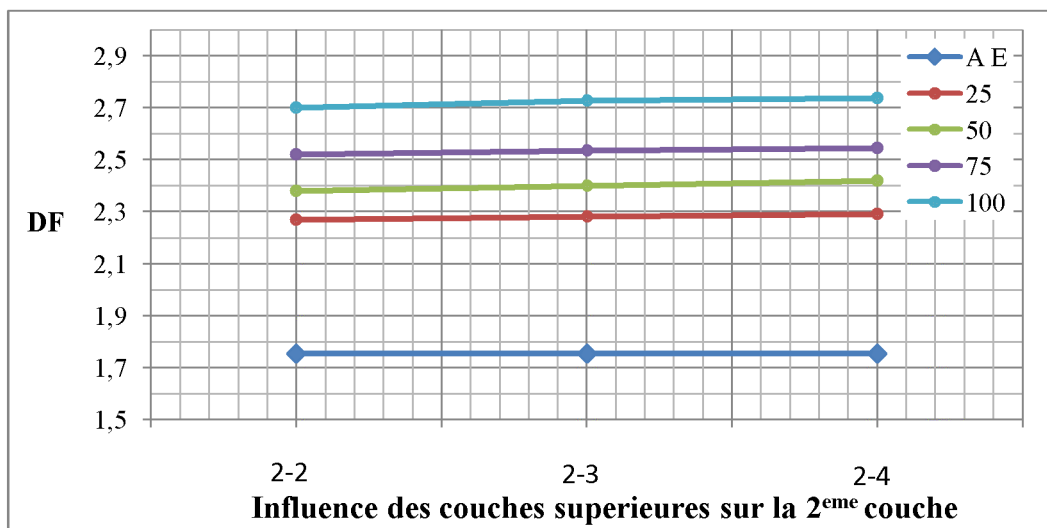


Figure VI -73 : Influence des couches supérieures sur la 2^{ème} couche avec la méthode des masses

Les courbes granulométrique obtenues montrent bien un étalement progressif au fur et à mesure de l'augmentation de l'énergie de compactage (nombre de coups) au niveau de la deuxième couche. Une quantité des particules fines s'est produite lors de l'écrasement des grains.

Les courbes granulométriques montrent aussi que seule la 3^{ème} couche (parmi les couches supérieures) qui a une influence remarquable sur la 2^{ème} couche. Cette influence diminue avec l'augmentation du nombre de coups et aussi en montant vers les couches de surface.

L'étalement granulométrique, sans doute, est du à l'écrasement des grains de cette 2^{ème} couche, par conséquent, production d'une quantité de particules fines. Cette dernière augmente avec l'énergie de compactage. La 2^{ème} couche étant déjà soumise à une énergie de compactage respectivement à 25-50-75-100 coups, a provoqué un écrasement des grains, et le taux d'écrasement de ses grains augmente au fur et à mesure avec l'augmentation du nombre de coups.

Après avoir versé la 3^{ème} couche et sera soumise respectivement à 25-50-75-100 coups, on constate une augmentation du taux d'écrasement des grains dans la 2^{ème} couche. Dans ce cas, la 2^{ème} couche sera soumise à la fois à l'énergie de compactage et à la réaction du fond du moule (mais un peu moins que la 1^{ère} couche) ce qui engendre de plus l'écrasement.

L'influence de la 4^{ème} couche sur la 2^{ème} couche est très faible. Cela est du à la forme des grains de l'échantillon (schiste) qui est feuilletée ; ce qui rend son écrasement assez difficile.

Pour 100 coups, la variation de la dimension fractale tend à être constante, car les grains de la 2^{ème} couche sont en majorité écrasés ; par conséquent il n'y a pas de diminution de la variation de la dimension fractale. (figure VI -73 et VI -72).

VI-10-5) Influence de la couche supérieure sur la 3^{ème} couche en fonction de l'énergie de compactage

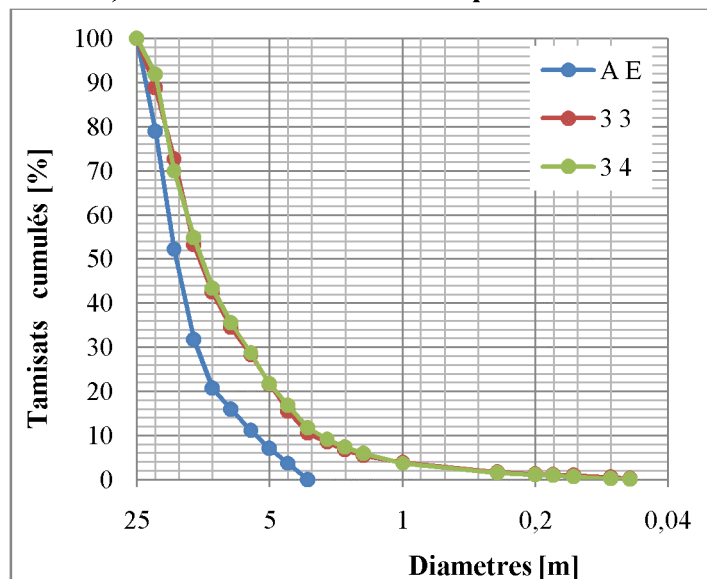


Figure VI -74 : Influence de la couche supérieure sur la 3^{ème} couche après 25 coups

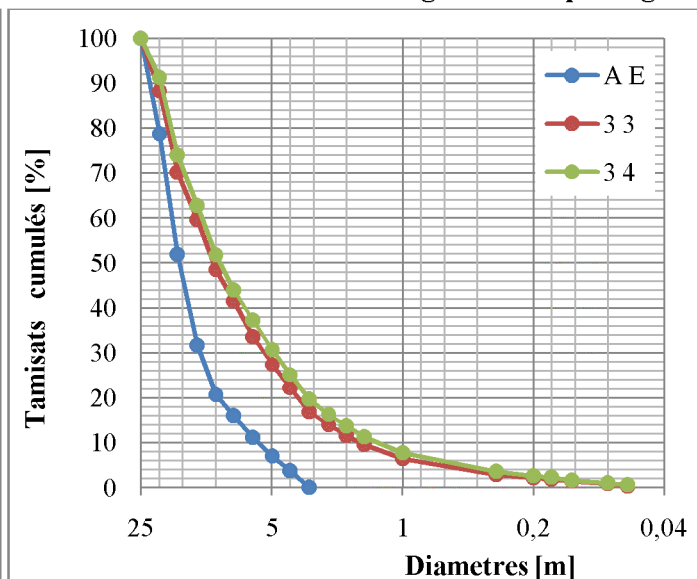


Figure VI -75 : Influence de la couche supérieure sur la 3^{ème} couche après 50 coups

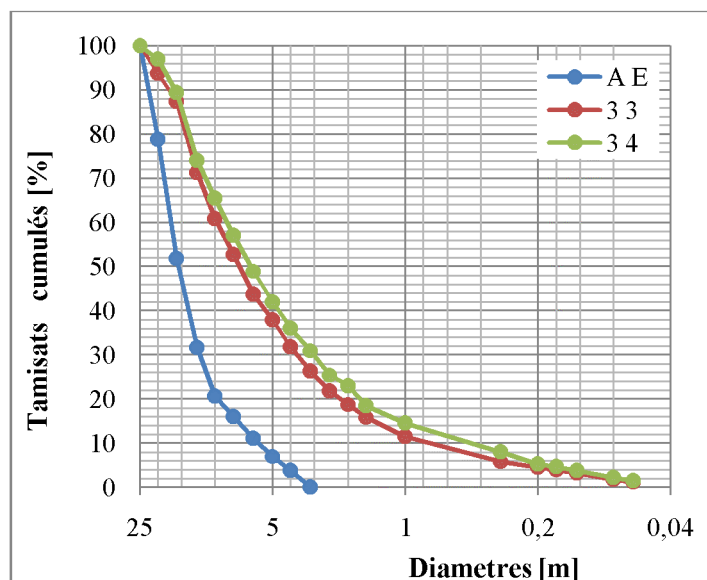


Figure VI -76 : Influence de la couche supérieure sur la 3^{ème} couche après 75 coups

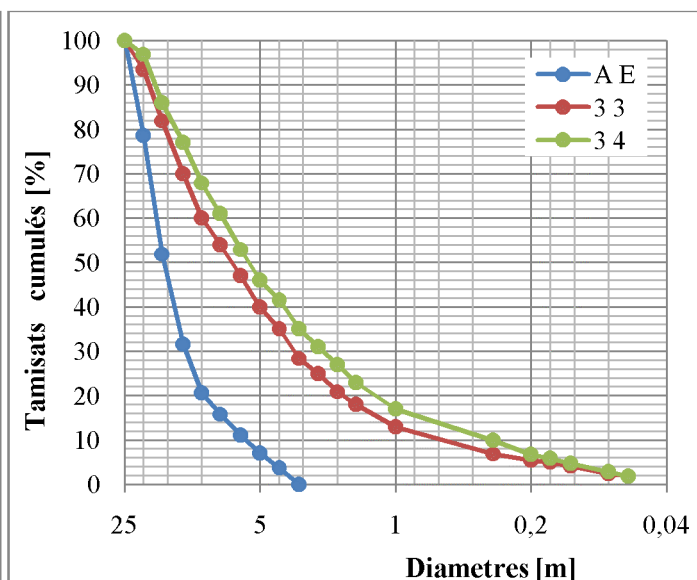


Figure VI -77 : Influence de la couche supérieure sur la 3^{ème} couche après 100 coups

Figure : VI - 17 : Influence des couches supérieures sur la 3^{ème} couche avec la méthode des masses

	DF avant essai	DF après essai			
couches	0	25	50	75	100
3-3	1,754	2,183	2,379	2,535	2,617
3-4	1,754	2,189	2,409	2,56	2,656

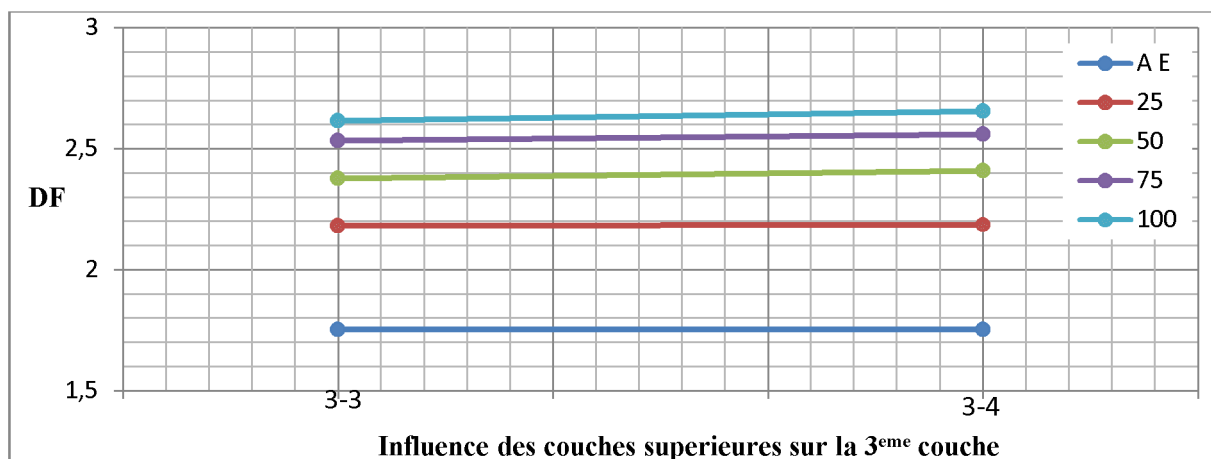


Figure VI -78 : Influence des couches supérieures sur la 3^{ème} couche avec la méthode des masses

Les courbes granulométrique obtenues montrent bien un étalement progressif au fur et à mesure de l'augmentation de l'énergie de compactage (nombre de coups) au niveau de la 3^{ème} couche. Une quantité des particules fines s'est produite lors de l'écrasement des grains.

Les courbes granulométriques montrent aussi que la 4^{ème} couche (dernière couche) a une influence très légère sur la 3^{ème} couche, et le taux d'écrasement des grains diminue, par conséquent, une légère variation de la dimension fractale au niveau de la 3^{ème} couche (figure VI -78).

L'étalement granulométrique, sans doute, est du à l'écrasement des grains de cette 3^{ème} couche, par conséquent, production d'une petite quantité des particules fines. Cette dernière augmente légèrement avec l'énergie de compactage. la 3^{ème} couche étant déjà soumise à une énergie de compactage respectivement à 25-50-75-100 coups, à provoqué un écrasement des grains, et le taux d'écrasement de ses grains augmente au fur et à mesure avec l'augmentation du nombre de coups, mais ce qui attire l'attention ;c'est que à 100 coups, la dimension fractale n'augmente pas avec la même allure que pour 25-50-75 coups (figure VI -78).

Après avoir versé la 4^{ème} couche et sera soumise respectivement à 25-50-75-100 coups, on constate une augmentation du taux d'écrasement des grains dans la 3^{ème} couche à partir de 50 coups (figure VI -75). Pour la 3^{ème} couche, l'effet de la réaction du moule est quasiment nul, donc elle sera soumise uniquement à l'énergie de compactage ce qui engendre une diminution du taux d'écrasement des grains de cette couche.

L'influence de la 4^{ème} couche sur la 3^{ème} couche est presque nulle pour 25 coups. Cela est du à la forme des grains de l'échantillon (schiste) qui est feuilletée ; ce qui rend son écrasement assez difficile. Cette influence augmente légèrement avec l'énergie de compactage (figure VI -77) ce qui provoque faiblement l'écrasement des grains car l'énergie compactage est absorbé par couches inférieures.

VI-11) Calcul de la dimension fractale avec la méthode des boîtes

Tableau VI-18 : Le gré -1^{ère} couche -100 coups

Diamètres	Avant essai	1-1	1-2	1-3	1-4
20	1,89	1,85	1,78	1,78	1,78
16	1,83	1,76	1,76	1,79	1,79
12,5	1,86	1,73	1,75	1,76	1,76
10	1,74	1,66	1,78	1,80	1,80
8	1,71	1,76	1,76	1,76	1,76
6,3	1,82	1,68	1,71	1,71	1,71
5	1,55	2,08	2,04	2,04	2,04
4	1,73	0	0	0	0
3,15	1,85	1,65	1,71	1,71	1,71

Tous les diamètres des grains colorés de la 1^{ère} couche soumis à 100 coups ont montré que leur dimension fractale a diminué. En effet, pour les grains de 20 mm, la dimension fractale dans la première couche diminue de 1.89 à 1.85 sous l'effet de 100 coups et continue à diminuer à 1.78 sous l'effet d'une deuxième couche soumise à 100 coups puis se stabilise à 1.78 sous l'effet de la 3^{ième} et de la 4^{ième} couche soumise à 100 coups. Pour les autres diamètres, l'effet des couches supérieures sur la 1^{ère} couche a montré une légère augmentation de la dimension fractale correspondante à une rugosité plus importante.

Tableau VI-19 : Le schiste -1ere couche -100 coups

Diamètres	Avant essai	1-1	1-2	1-3	1-4
20	1,9	1,7	1,72	1,72	1,72
16	1,87	1,8	1,85	1,85	1,85
12,5	1,8	1,86	1,86	1,86	1,86
10	1,84	1,76	1,76	1,76	1,76
8	2,02	1,88	1,88	1,88	1,88
6,3	1,8	1,82	1,82	1,82	1,82
5	1,63	1,66	1,71	1,71	1,71
4	1,81	1,84	1,95	1,95	1,95
3,15	1,79	1,9	1,9	1,73	1,73

Dans le cas du schiste présentant des grains de forme allongée, les diamètres des grains colorés supérieurs à 8 mm de la 1^{ère} sous couche soumis à 100 coups ont montré que leur dimension fractale a diminué ; tandis que la dimension fractale des grains inférieurs à 6.3 mm a augmenté. En effet, pour les grains de diamètre supérieur à 8mm, c'est les angularités des grains qui se sont cassées ; par contre pour les diamètres inférieurs à 6.3mm, c'est l'abrasion et l'écaillage qui se sont produits. L'effet des couches supérieures sur la

1^{ère} couche n'a pas montré d'écart importants de la dimension fractale ; seule l'effet de la deuxième couche sur la première a provoqué des petits écarts de la dimension fractale.

VI-12) Etude comparative des deux matériaux (schiste et gré)

Le tableau VI-20 ci-dessous présente les résultats de l'analyse granulométrique effectuée pour chacune des couches. Cependant les refus sont ainsi présentés dans ce tableau, ce qui nous permettra de déduire les quantités de fines produites lors des essais Proctor sous une énergie de 100 coups.

Tableau VI-20: Les refus pour chaque diamètre des deux matériaux

Diamètres	Mf		1 ^{ère} couche		2 ^{ème} couche		3 ^{ème} couche		4 ^{ème} couche	
	Gré	Schiste	Gré	Schiste	Gré	Schiste	Gré	Schiste	Gré	Schiste
16	285,24	308,01	83,87	57,41	164,44	77,68	185,7	91,45	198,68	143,27
10	76,48	124,1	82,97	76,38	79,27	113,32	76,88	130,49	66,19	133,79
6,3	22,36	55,71	48,12	73,68	49,42	77,18	52,62	84,27	52,32	95,35
2			16,87	34,94	12,58	32,65	12,68	28,34	10,68	27,96
1			15,08	70,39	11,78	61,1	11,48	58,98	10,38	56,81
0,315			71,99	92,45	47,03	89,06	51,72	79,18	46,43	76,58
0,16			95,55	14,58	63,3	12,08	62,4	10,98	51,52	9,19
0,063			25,36	16,17	19,37	10,78	15,78	9,29	4,98	8,79

Concernant la quantité de particules fines produites, celles-ci augmentent avec l'énergie de compactage tant pour le matériau gré que pour le schiste et elle est d'autant plus importante que le diamètre du grain est élevé dans la première couche. Plus on remonte aux couches supérieures, plus la quantité de particules fines diminue. La plus petite quantité est obtenue pour la couche superficielle (4^{ème} couche).

La quantité de fines produites est plus importante pour le matériau gré que pour le matériau schiste. Ceci est évident et est dû à la composition minéralogique des deux matériaux (le schiste étant plus dur que le gré).

VI-12-1) Influence de l'énergie de compactage sur la 1^{ère} et la 4^{ème} couche de chaque matériau

La comparaison entre la 1^{ère} et la 4^{ème} couche du point de vue écrasement des grains de chaque matériau, est illustrée par l'étalement des courbes granulométriques (figures VI-54, VI-29, VI-57, VI-32) et par l'évolution de leurs dimension fractale obtenue par la méthode des masses lors des essais Proctor à différente énergie de compactage (tableau VI-21).

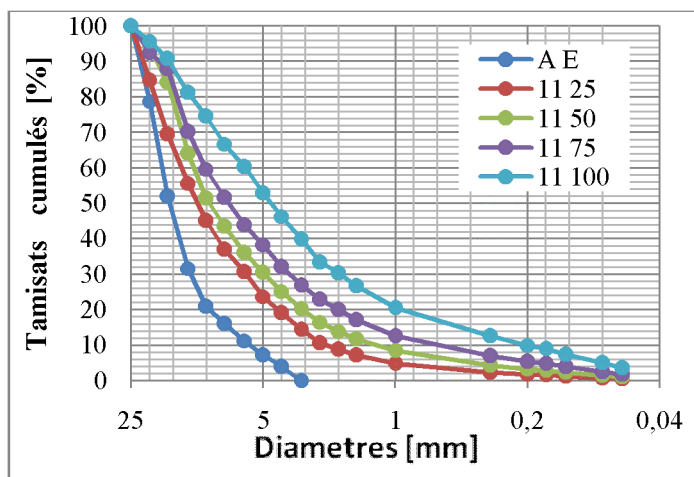


Figure VI -54 : Influence du nombre de coups sur la 1^{ère} couche du schiste

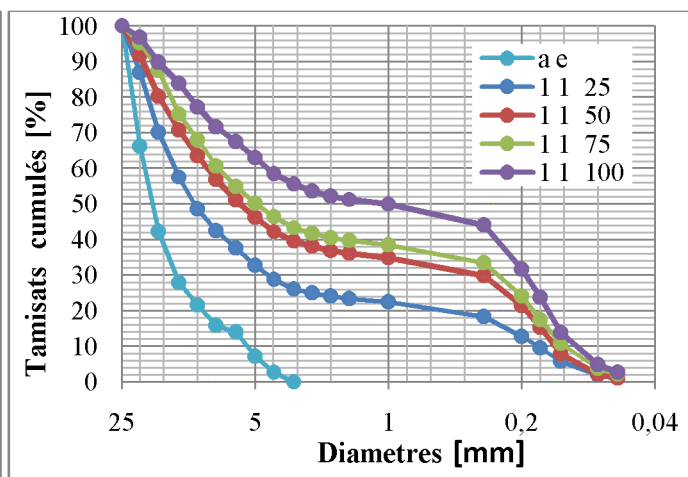


Figure VI -29 : Influence du nombre de coups sur la 1^{ère} couche du gré

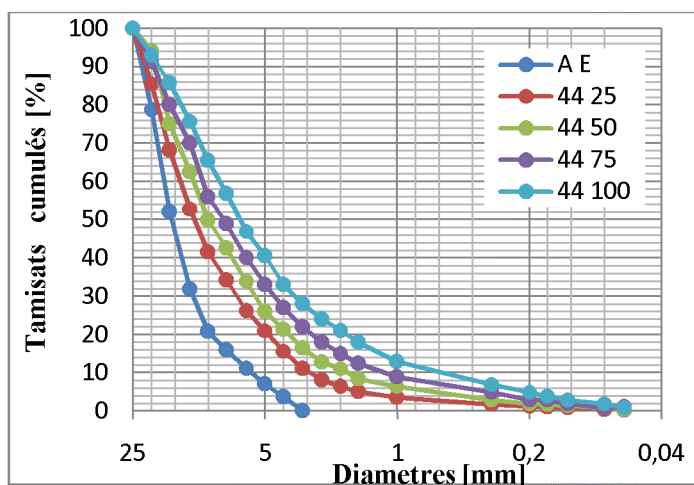


Figure VI -57 : Influence du nombre de coups sur la 4^{ème} couche schiste

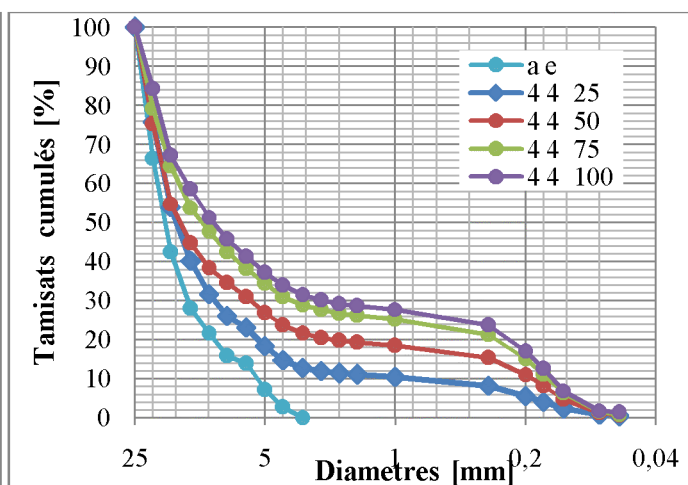


Figure VI -32 : Influence du nombre de coups sur la 4^{ème} couche gré

Tableau VI-21 : Evolution de la DF obtenue avec la méthode des masses pour la 1^{ère} et la 4^{ème} couche des deux matériaux à différentes énergie de compactage

	avant essai	25 coups		50 coups		75 coups		100 coups	
		1 ^{ère} couche	4 ^{ème} couche	1 ^{ère} couche	4 ^{ème} couche	1 ^{ère} couche	4 ^{ème} couche	1 ^{ère} couche	4 ^{ème} couche
Gré	1,713	2,759	2,562	2,899	2,735	2,951	2,801	2,967	2,829
Schiste	1,754	2,296	2,211	2,449	2,36	2,579	2,492	2,68	2,593

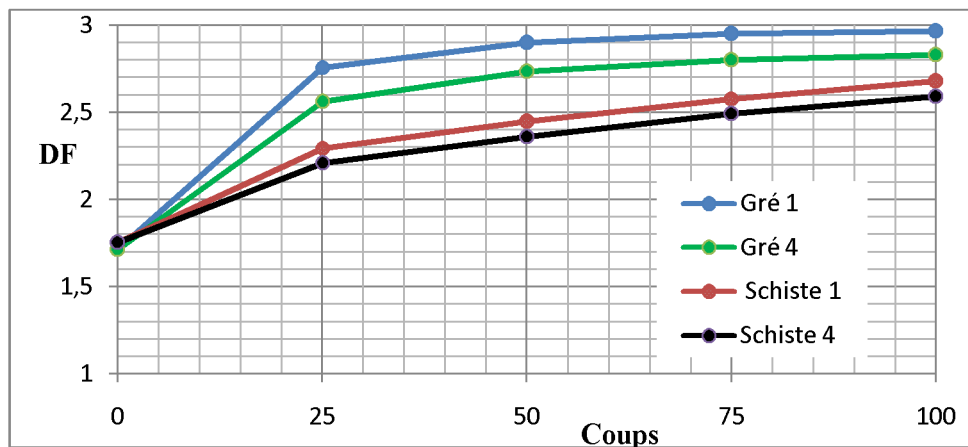


Figure VI-79 : DF de la 1^{ère} et la 4^{ème} couche du gré et du schiste après 100 coups

Pour la 1^{ère} couche, après avoir soumis les deux échantillons respectivement à 25-50-75-100 coups, les figures VI-54 et VI-29 obtenues montrent que les courbes granulométriques sont très étalées pour gré que pour le schiste pour la première couche et cet étalement diminue en remontant vers la couche de surface (4^{ème} couche). Cela est parfaitement illustré par la figure VI-79 qui montre que la 1^{ère} couche a subi plus de dégradation que la 4^{ème} couche. Ceci se traduit par l'évolution de la dimension fractale obtenue par la méthode des masses (tableau VI-21).

L'écart du taux d'écrasement des grains des deux échantillons entre la 1^{ère} et la 4^{ème} couche est plus grand pour le gré que pour le schiste. La dimension fractale calculée avec la méthode des masses augmente avec l'énergie de compactage tant pour le schiste que pour le gré, Cependant, l'évolution de DF pour le gré est plus significative que pour le schiste pour une énergie de 25 coups. Pour les énergies de 50, 75 et 100 coups cette évolution tend à se stabiliser pour le gré et elle évolue dans le cas du schiste. Les résultats sont identiques tant pour le 1^{ère} couche que pour la 4^{ème} couche.

VI-12-2) Influence de la couche supérieure sur la couche inférieure après 100 coups pour le gré et le schiste

L'influence de la couche supérieure sur la couche inférieure lorsque ces matériaux sont soumis à une énergie de compactage de 100 coups est illustrée sur les figures VI -80, VI -81, VI -82

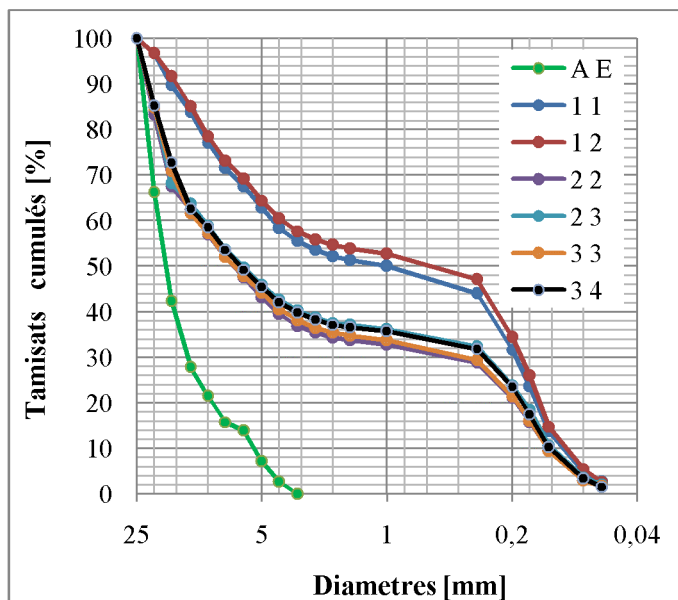


Figure VI -80 : Influence de la couche supérieure sur la couche inférieure après 100 coups pour gré

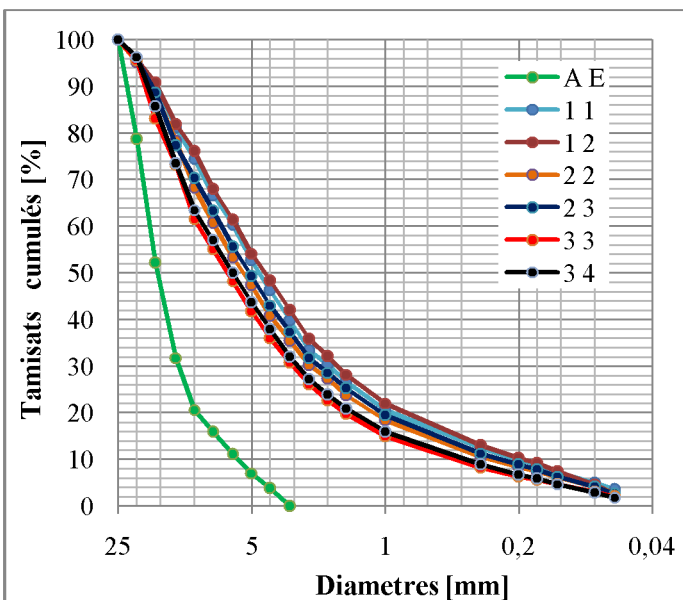


Figure VI -81: Influence de la couche supérieure sur la couche inférieure après 100 coups pour schiste

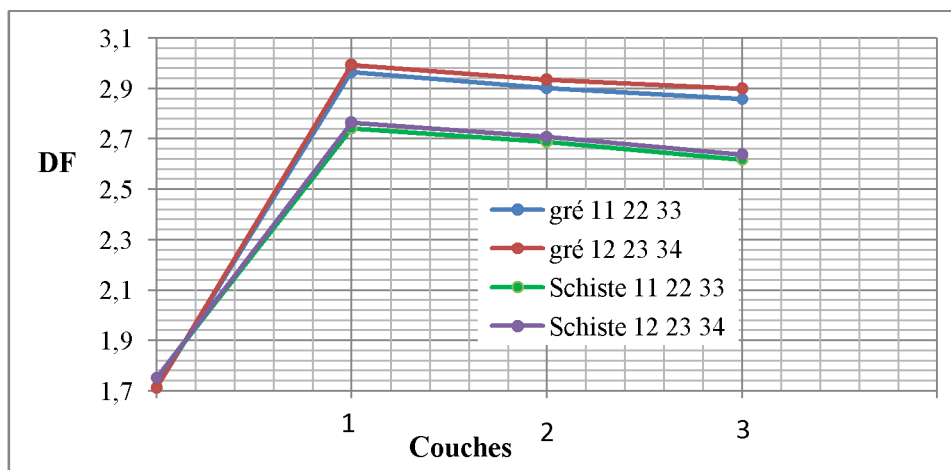


Figure VI-82 : Influence de la couche supérieure sur la couche inférieure après 100 coups pour le gré et le schiste

D'après les figures VI-80 et VI-81, on constate que pour le gré il y'a une influence remarquable de la couche supérieure sur la couche inférieure ; 2^{ème} couche sur la 1^{ère} couche, 3^{ème} couche sur la 2^{ème} couche, 4^{ème} couche sur la 3^{ème} couche. Pour le schiste, cette l'influence est presque insignifiante. Elle est liée sans doute à la minéralogie et la forme de chaque matériau qui influent directement sur l'écrasement des grains sous différentes énergies de compactage (figure VI-82).

VI-12-3) Influence des couches supérieures sur la 1^{ère} et la 2^{ème} couche pour le gré et le schiste

L'influence des couches supérieures sur la 1^{ère} et la 2^{ème} couche pour les deux matériaux soumis à une énergie de compactage de 100 coups est représentée dans les figures VI -67, VI -72, VI -47, VI -42, VI -83

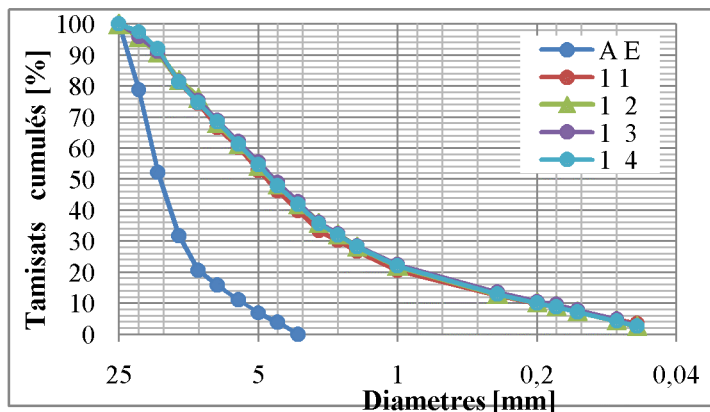


Figure VI -67: Influence des couches supérieures sur la 1^{ère} couche après 100 coups schiste

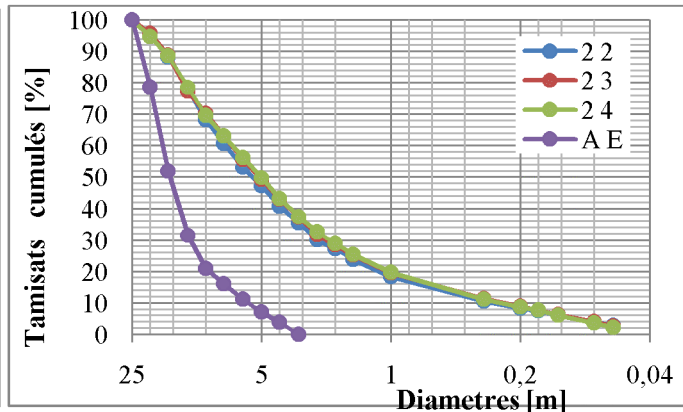


Figure VI -72 : Influence des couches supérieures sur la 2^{ème} couche après 100 coups schiste

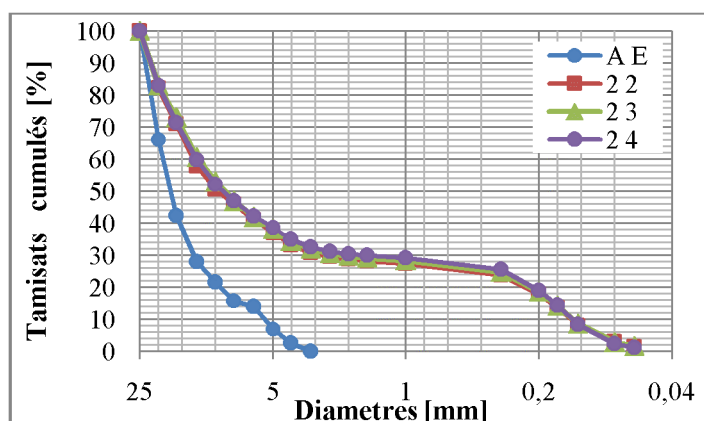


Figure VI -47 : influence des couches supérieures sur la 2^{ème} couche après 100 coups gré

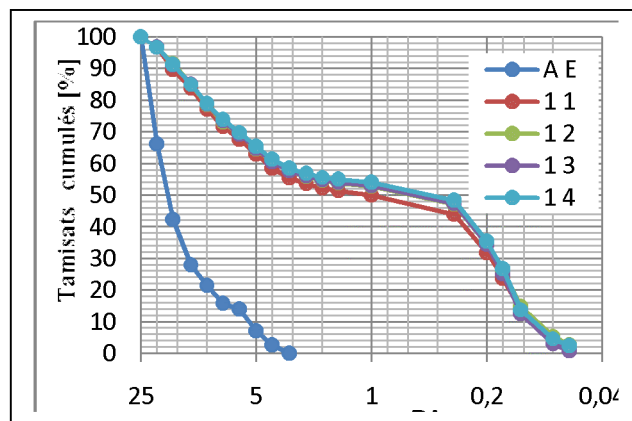


Figure VI -42: influence des couches supérieures sur la 1^{ère} couche après 100 coups gré

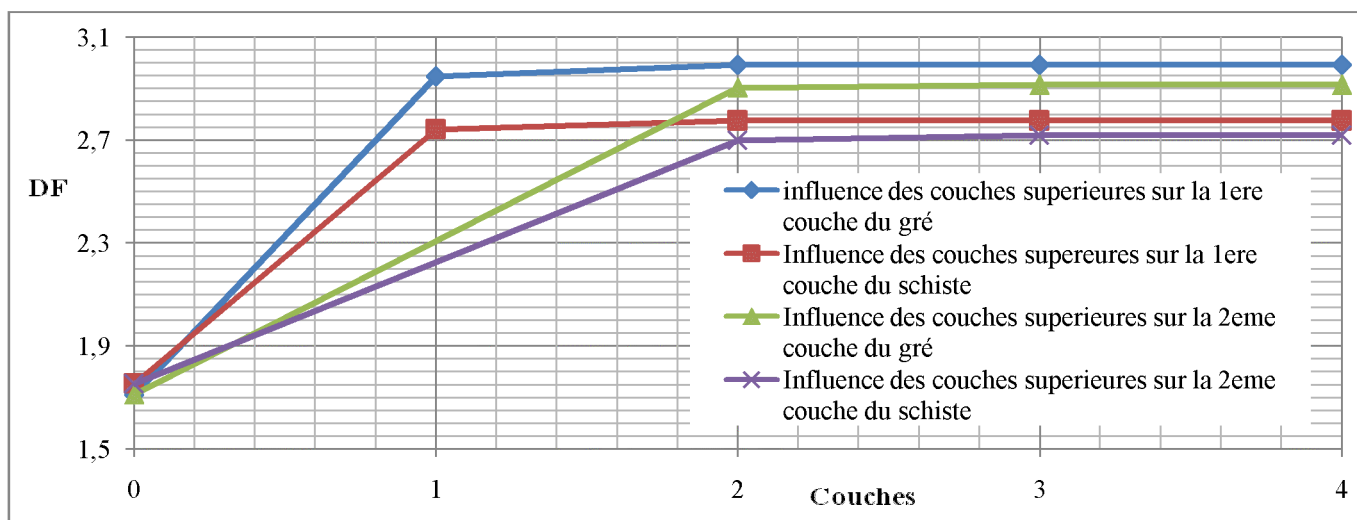


Figure VI-83 : Influence des couches supérieures sur la DF de la 1^{ère} et la 2^{ème} couche après 100 coups

D'après les courbes des figures VI -67, VI -72, VI -47, VI -42, VI -83 représentées ci-dessus, la 1^{ère} et la 2^{ème} couche sont influencées uniquement par la couche située juste au dessus (2^{ème} couche sur la 1^{ère} couche et la 3^{ème} couche sur la 2^{ème} couche). Pour la 1^{ère} couche, cette influence est assez élevée pour le gré que pour le schiste. Pour la 2^{ème} couche, cette influence diminue et devient presque insignifiante pour les deux matériaux.

Cette influence a une relation directe avec la structure interne de chaque matériau et avec la forme des grains. Les résultats montrent que le gré est plus dégradable que le schiste.

VI-13) Conclusion

Les résultats obtenus après calcul de la DF de chaque matériau avec la méthode des masses montrent bien que le gré est plus dégradé que le schiste et le mode de rupture le plus prépondérant de chaque matériau est l'abrasion et l'écaillage par cisaillement des aspérités, où par rupture des angularités pour le schiste et la fracture totale pour le gré. L'écrasement des grains a atteint les trois premières sous couches pour le gré alors qu'il atteint que les deux premières sous couches pour le schiste.

L'influence de l'énergie de compactage sur le phénomène d'écrasement en fonction de la profondeur a été étudiée de deux manières :

Dans le cas d'une éprouvette confectionnée par couche de 5 cm, les résultats montrent que la couche la plus dégradée est la 1^{ère} couche (la plus profonde) pour les deux matériaux (gré et schiste) et la couche la moins dégradée est la 4^{ème} couche (couche de surface) mais le taux d'écrasement est assez important pour le gré que pour le schiste.

Dans le cas d'une éprouvette confectionnée en une seule couche de 20 cm, L'écrasement des grains permet une production de particules fines qui est importante dans la couche de surface et diminue au fur et à mesure qu'on redescend vers les couches profondes tant pour le schiste que pour le gré.

Pour la dimension fractale, En générale, plus le degré d'écrasement est important, plus la dimension fractale déterminée tant avec la méthode des masses qu'avec la méthode des boîtes, est élevée.

Sommaire

VI-1) Introduction	76
➤ Cas des éprouvettes à couches de 20 cm	77
VI-2) Le gré.....	77
VI-2-1) Courbes granulométriques en fonction de l'énergie de compactage.....	77
VI-2-2) Calcul de la dimension fractale avec la méthode des masses	78
VI-3) Le schiste	79
VI-3-1) Courbes granulométriques en fonction de l'énergie de compactage.....	79
VI-3-2) Calcul de la dimension fractale avec la méthode des masses	80
VI-4) Calcul de la dimension fractale avec la méthode des boîtes.....	81
VI-4-1) Cas du matériau schiste	81
VI-4-2) Cas du matériau gré.....	81
VI-5) Etude comparative entre le schiste et le gré.....	83
VI-5-1) Etalement granulométrique en fonction de l'énergie de compactage	83
VI-5-2) Etalement granulométrique des deux matériaux après 25 et 100 coups.....	83
VI-5-3) Evolution de la dimension fractale calculée avec la méthode des masses en fonction de l'énergie de compactage.....	84
VI-5-4) Comparaison entre les deux matériaux par l'analyse des photos à l'œil nu	85
VI-5-4-1) Les grains du gré de la 1 ^{ère} sous couche avant essai	85
VI-5-4-2) Etat des grains du gré de la 1 ^{ère} sous couche après 100 coups.....	85
VI-5-4-3) Etat des grains du gré de la 4 ^{ème} sous couche après 100 coups.....	86
VI-5-4-4) Les grains du schiste de la 1 ^{ère} sous couche avant essai.....	86
VI-5-4-5) Etat des grains du schiste de la 1 ^{ère} sous couche après 100 coups	87
VI-5-4-6) Etat des grains du schiste de la 4 ^{ème} couche après 100 coups.....	87
VI-5-4-7) Etat des grains du schiste de la 2 ^{ème} sous couche après 100 coups	87
VI-5-4-8) Etat des grains du gré après 100 coups	88
VI-6) Mode de rupture du gré au niveau de chaque sous couche en fonction de l'énergie de compactage.....	88
VI-7) Mode de rupture du schiste au niveau de chaque sous couche en fonction de l'énergie de compactage	89
➤ Cas des éprouvettes à couches de 5 cm	90
VI-8) Les facteurs influençant la dimension fractale lors de la transmission de l'énergie en profondeur.....	90
VI-9) Cas du matériau gré.....	90
VI-9-1) Influence de l'énergie de compactage (nombre de coups) sur chaque couche	90
VI-9-2) Influence de la couche supérieure sur la couche inférieure en fonction du nombre de coups.....	92
VI-9-3) Influence des couches supérieures sur la 1 ^{ère} couche	95

VI-9-4) Influence des couches supérieures sur la 2 ^{ème} couche	97
VI-9-5) Influence de la couche supérieure sur la 3 ^{ème} couche	99
VI-10) Cas du matériau schiste	101
VI-10-1) Influence de l'énergie de compactage (nombre de coups) sur chaque couche	101
VI-10-2) Influence de la couche supérieure sur la couche inférieure en fonction de l'énergie de compactage	103
VI-10-3) Influence des couches supérieures sur la 1 ^{ère} couche en fonction de l'énergie de compactage	105
VI-10-4) Influence des couches supérieures sur la 2 ^{ème} couche en fonction de l'énergie de compactage	107
VI-10-5) Influence de la couche supérieure sur la 3 ^{ème} couche en fonction de l'énergie de compactage	110
VI-11) Calcul de la dimension fractale avec la méthode des boîtes	112
VI-12) Etude comparative des deux matériaux (schiste et gré).....	113
VI-12-1) Influence de l'énergie de compactage sur la 1 ^{ère} et la 4 ^{ème} couche de chaque matériau	114
VI-12-2) Influence de la couche supérieure sur la couche inférieure après 100 coups pour le gré et le schiste	116
VI-12-3) Influence des couches supérieures sur la 1 ^{ère} et la 2 ^{ème} couche pour le gré et le schiste	117
VI-13) Conclusion	119

CONCLUSION GENERALE

La dimension fractale est la clé de la compréhension du comportement des matériaux granulaires, elle permet de mettre en évidence l'influence de l'irrégularité des grains sur leur comportement mécanique. Les grains peuvent subir un écrasement pendant le compactage et son ampleur dépend de la résistance individuelle de chaque grain, de la taille de leurs aspérités, de la forme et de la surface des grains.

La méthode des masses permet de calculer la dimension fractale de fragmentation DF_{FR} pour chaque type de matériau choisi (gré et schiste). La valeur élevée de cette dimension indique que l'échantillon est fractal ou a une grande quantité de particules fines. Par contre, la méthode de box counting permet de calculer la dimension fractale de rugosité DF_{DR} à l'échelle d'un grain et indique son degré de rugosité.

Les principaux résultats obtenus sont :

1^{er} cas : éprouvette à couche de 20 cm

- La première sous couche comptée d'en bas reste intacte pour les deux types de matériaux (gré et schiste).
- Dans la deuxième sous couche, les deux diamètres (12.5 et 4 mm) des grains de schiste ont subi une dégradation sous forme d'écaillage ou abrasion. Contrairement au schiste, tous les diamètres des grains de gré sont dégradés et seuls les grains des deux diamètres (10 et 4 mm) sont restés intacts.
- Pour le schiste, tous les grains de la 3^{ème} et de la 4^{ème} sous couche se sont dégradés. Pour le gré, la dégradation des grains a même atteint la 2^{ème} sous couche.
- Le mode de rupture des grains le plus prépondérant pour ces deux matériaux est : la fragmentation pour le gré et abrasion ou écaillage pour le schiste.
- La DF calculée avec la méthode des masses nous confirme que le gré est le plus dégradé par rapport au schiste.
- L'évolution de la dimension fractale donne naissance à une nouvelle structure granulaire. Cette nouvelle structure entraîne une modification des caractéristiques Proctor qui sont différentes de la structure mère. Aussi l'évolution de cette dimension dépend de la nature minéralogique du matériau granulaire. En effet, le matériau grès présente une dimension fractale supérieure à celle du schiste.

2eme cas : éprouvette a plusieurs couches de 5 cm

Pour l'influence de l'énergie de compactage en fonction de la profondeur, les résultats obtenus montrent que :

- Le taux d'écrasement des grains est assez important dans la 1^{ère} couche et diminue au fur et à mesure qu'on remonte vers la couche de surface (4^{ème} couche).
- Le taux d'écrasement des grains au niveau de chaque couche augmente proportionnellement avec l'augmentation de l'énergie de compactage.

- Pour l'influence de la couche supérieure sur la couche inférieure, seule la 2^{ème} couche qui a une grande influence sur la 1^{ère} couche et cette influence diminue en remontant vers la couche superficielle.
- Pour l'influence des couches supérieures sur la 1^{ère} couche, seule la couche qui se trouve juste au dessus qui a une influence. Cette influence est sensiblement plus élevée pour le gré que pour le schiste.
- La DF calculée avec la méthode des boîtes montre que les trois modes de rupture des grains (fracture, abrasion et écaillage) présentés par Guyon et Troadec sont effectifs dans les différents essais réalisés tant pour le schiste que pour le gré.

- Le mode de rupture des grains du gré le plus prépondérant est la fragmentation totale (fracture) et l'abrasion et l'écaillage pour le schiste.

- L'effet des couches supérieures sur la 1^{ère} couche a montré une légère augmentation de la dimension fractale correspondante à une rugosité plus importante.

- Dans le cas des éprouvettes confectionnées en une seule couche de 20 cm, la sous couche de surface (4^{ème} sous couche) a subi plus de dégradation par rapport à la 1^{ère} sous couche (la plus profonde). Par contre, pour les éprouvettes confectionnées avec 4 couche de 5 cm, c'est la 1^{ère} couche (couche profonde) qui a subi plus de dégradation que la 4^{ème} couche (couche de surface).

Bibliographie

Achir Mourad.2010. *“Caractérisation du phénomène d'écrasement par l'étude de la dimension fractale des grains”*.Mémoire de magister, UMMTO. Algérie.

Alili, H. et Amokrane, D. **Comportement Mécanique des Grés**. Mémoire d'Ingénieur de L'UMMTO, 1999.

Belmihoub Hacene.(j'ai pas trouvé la date).*”Influence de la dimension fractale sur la perméabilité”*. Mémoire de magister, UMMTO. Algérie.

Biarez, J., (1962) **« Contribution à l'étude des Propriétés Mécaniques des Sols et des Matériaux Pulvérulents »** ;Thèse de doctorat des sciences, Faculté des sciences de Grenoble, 1962

Biarez, J. et Hicher, P.Y. *Influence de la granulométrie et de son évolution par ruptures de grains sur le comportement mécanique de matériau granulaires*. Revue française de génie civil, vol 1, N° 4, pp 607-631.1997.

Bishop, A.Wand Henkel, D .L. **« The Measurement of Soil Properties in The Triaxial Test»** ; Edward Arnold publication Ltd, London, 1962

BOLTON M,D etMc DOWELL,G.R., (1998) **« On the Micromechanics of Crushable Aggregates »** ; Géotechnique 48, N°5, 1998.

CAMBOU ,B.*Compressibilité d'un milieu pulverulents,influence de la forme et de la dimention des particules sur les proprietés mecaniques d'un milieu pulvérulent*.These de Docteur de Spécialité-Université Science et Médicale.Grenoble.France. 1972

Carlos Ovalle Ortega.2013. *“Contribution à l'étude de la rupture des grains dans les matériaux granulaires”*. Thèse de docteur. Ecole centrale de Nantes. France.

Chikhi Kamra.2011.*”Etude expérimentale des matériaux non saturés au cisaillement et à l'oedomètre”*. Mémoire de magister, UMMTO. Algérie.

Dowell, G.R. et Bolton, M.D., (1998) **«On the micromechanics of crushable aggregates»**; Géotechnique 48, N° 5, 1998.

COLLIAT D.ANGUS,J.L. *Comportement des materiaux granulaires sous fortes contarintes.Influence de la nature minéralogique du materiau étudié*.These de Docteur de Spécialité-Université scientifique et medicale de Grenoble.France.1986.

Dahoumane Kahina.2012.*”Détermination du taux d'écrasementdes grains à partir des caractéristiques des courbes granulométriques”*. Mémoire de magister, UMMTO. Algérie.

George Arquie et Claude Tourenq. (1990) « **granulats** » ; Edition de l'école des ponts et chaussées de paris, 1990.

Guyon,E. et Troadec J.P., (1994) « **Du sac de billes au tas de sables** » ; Edition Odile Jacob, Sciences, 1994.

Huang.G.H et Zhan.W.H., (2002) «**Fractal property of soil particle size distribution and its application** »; Acte Pedologica Sinica, 39, 490-497, 2002

HYSLIP, J and VALLEJO, L., (1997) «**Fractal Analysis of the Roughness and Size Distribution of Granular Material**»; Engineering Geology,vol 48,3-4,1 pp 231-244,Decembre 1997,

Josiane Lajoie. *La géométrie fractale*. Mémoire de magister de l'université du QUEBEC, juin 2006.

Kellouche Abdenour.2010.''*Influence de la dimension fractale sur les caractéristiques mécaniques des matériaux*''. Mémoire de master, UMMTO. Algérie.

Kevin.P Hammer. «**Analysis Of Granular Materials in Pennsylvania Highways Fractals in Geology and Geophysics**»; Mémoire Master de science de l'Université de Pittsburgh, 2005.

KIM ,M.S. « **Etude expérimentale du comportement mécanique des matériaux granulaires sous fortes contrariantes** ». Thèse de doctorat de l'école centrale de Paris.1995

Lade P .V., Yamamuro J. A., et al., (1996) «**Significance of Particle Crushing in Granular Materials**»; Journal of Geotechnical Engineering, vol. 122, N° 4, 1996, pp 3109-3116.

Mandelbrot, B.B. *The Fractal Geometry of Nature*. Free Man, New York, 1983.

Mandelbrot, B.B. *Les objets fractales forme, hasard et dimension*. Paris (France), Edition Flammarion,1975.

Marsal, R.J. *Large Scale Testing of Rock fills Materials*. Journal of the soil Mechanics and Foundations Division 93(SM2), 1967.pp 27-43.1967.

MELBOUCI, B. « *Pegmatite de la grande Kabylie : Caractéristiques et comportement en géotechnique routière* » . Doctorat d'état de L'UMMTO.2002

MELBOUCI, B. *Etude de l'écrasement des grains du matériau pegmatite à l'essai Proctor*. Revue Algérie Equipement N° 39, Mai 2005

MELBOUCI, B. *Etude expérimentale des matériaux locaux à l'écrasement*. Congrès International sur la Réhabilité des contributions et Développement durable à l'ENTP, Alger 3 et 4 mai 2005

Melbouci, B. *Etude expérimentale du comportement des grains du matériau grès à l'écrasement*. Revue Technologique et Scientifique COST (ENSET-Oran), 2007.ISSN 1112-5187- T. N° 5 – Janvier 2007.

Melbouci Bachir †, Yezli Saliha*. **Influence de la dimension fractale sur les caractéristiques mécaniques des matériaux granulaires.** ACMA 2012 -May 09-12, 2012 -Fez, Morocco

Melbouci Bachir † Yezli Saliha*. **Influence de la dimension fractale des grains sur les caractéristiques de l'essai oedométrique.** 11^{ème} congrès de mécanique-Agadir, du 23 au 26 avril 2013

Ouaz Oumessad.2010. *''Etude de la dégradation sous les conditions climatiques : calcul de la dimension fractale''*. Mémoire de Master de l'UMMTO. Algérie.

Ramamurthy, T. *Crushing Phenomena in Granular Soils.* Journal of the Indian National Society of Soil Mechanics and Foundation Eng. Vol.8, 1969.

Sedik Rezika.2011. *''Caractérisation de la perméabilité de matériaux à l'écrasement''*.Mémoire de magister de l'UMMTO. Algérie.

TRICOT, C., (1999) « **Courbes et Dimension fractale** » ; Springer, France, 1999.

Vesic.A.C. and Clough.G.W. *Behavior of Granular Materials under high stresses.* Journal of the soil mechanics and foundations divisions, ASCE, Vol 94, pp 661-688, 1968.

Wang X, li M-H, Lui S, Lui G., (2006) « **Fractal characteristics of soils under different land-use patterns in the arid and semiarid regions of the Tibetan plateau** » ;China, Geoderma, 134 (1-2), pp 56-61.

ANNEXES

Le gré

Tableau 6-1 : Résultats d'analyse granulométrique après 25 coups

Tamis	Poids refus partiel (gr)	Refus partiels %	Refus cumulés %	Passant %	r/rl	M(R/r)/MT
25	0	0	0	100	/	/
20	1464,856	30,778	30,778	69,222	1	0,3077
16	1053,714	22,14	52,918	47,082	0,8	0,2213
12,5	604,333	12,698	65,616	34,384	0,625	0,1269
10	321,785	6,761	72,377	27,623	0,5	0,0676
8	248,203	5,215	77,592	22,408	0,4	0,0521
6,3	132,48	2,784	80,375	19,625	0,315	0,0278
5	259,685	5,456	85,832	14,168	0,25	0,0545
4	183,706	3,86	89,692	10,308	0,2	0,0385
3,15	113,119	2,377	92,068	7,932	0,1575	0,0237
2	34,545	0,726	92,794	0,0033	0,1	0,0072
2,5	16,174	0,34	93,134	0,0018	0,125	0,0063
1,6	8,586	0,18	93,314	6,686	0,08	0,0004
1	16,873	0,355	93,669	6,331	0,05	0,0035
0,315	63,498	1,334	95,003	4,997	0,01575	0,0133
0,2	78,175	1,643	96,646	3,354	0,01	0,0164
0,16	46,725	0,982	97,627	2,373	0,008	0,0098
0,125	46,725	0,982	98,609	1,391	0,00625	0,0098
0,08	43,63	0,917	99,526	0,474	0,004	0,0091
0,063	11,781	0,248	99,773	0,227	0,00315	0,0024
fond	10,783	0,22656331	100	0	/	/

Tableau 6-2 : Analyse granulométrique du gré après 50 coups

Tamis	Poids refus partiel (gr)	Refus partiels %	Refus cumulés %	Passant %	r/rl	M(R/r)/MT
25	0	0	0	100	/	/
20	1270,37	26,88	26,88	73,12	1	0,2688
16	1021,47	21,61	48,49	51,51	0,8	0,2161
12,5	645,27	13,65	62,14	37,86	0,625	0,1365
10	280,85	5,94	68,09	31,91	0,5	0,0594
8	239,52	5,07	73,15	26,85	0,4	0,0507
6,3	111,42	2,36	75,51	24,49	0,315	0,0236
5	254,29	5,38	80,89	19,11	0,25	0,0538
4	173,32	3,67	84,56	15,44	0,2	0,0367
3,15	104,73	2,22	86,77	13,23	0,1575	0,0222
2,5	40,03	0,85	87,62	12,38	0,125	0,0085
2	15,88	0,34	87,96	12,04	0,1	0,0034
1,6	18,57	0,39	88,35	11,65	0,08	0,0039
1	23,26	0,49	88,84	11,16	0,05	0,0049
0,315	108,23	2,29	91,13	8,87	0,01575	0,0229
0,2	142,37	3,01	94,14	5,86	0,01	0,0301
0,16	100,14	2,12	96,26	3,74	0,008	0,0212
0,125	64,5	1,36	97,63	2,37	0,00625	0,0136
0,08	74,88	1,58	99,21	0,79	0,004	0,0158
0,063	17,77	0,38	99,59	0,41	0,00315	0,0038
fond	19,47	0,41	100	0	/	/
somme	4726,338					

Tableau 6-3 : Analyse granulométrique du gré après 75 coups

Tamis	Poids refus partiel (gr)	Refus partiels %	Refus cumulés %	Passant %	r/rl	M(R/r)/MT
25	0	0	0	100	/	/
20	1128,794	23,72	23,72	76,28	1	0,2372
16	978,135	20,55	44,27	55,73	0,8	0,2055
12,5	580,871	12,21	56,47	43,53	0,625	0,1221
10	335,264	7,04	63,52	36,48	0,5	0,0704
8	239,617	5,03	68,55	31,45	0,4	0,0503
6,3	148,462	3,12	71,67	28,33	0,315	0,0312
5	230,831	4,85	76,52	23,48	0,25	0,0485
4	176,617	3,71	80,23	19,77	0,2	0,0371
3,15	105,631	2,22	82,45	17,55	0,1575	0,0222
2,5	40,435	0,85	83,30	16,70	0,125	0,0085
2	22,863	0,48	83,78	16,22	0,1	0,0048
1,6	16,074	0,34	84,12	15,88	0,08	0,0034
1	29,253	0,61	84,74	15,26	0,05	0,0061
0,315	136,581	2,87	87,61	12,39	0,01575	0,0287
0,2	185,603	3,90	91,51	8,49	0,01	0,0390
0,16	111,621	2,35	93,85	6,15	0,008	0,0235
0,125	136,681	2,87	96,72	3,28	0,00625	0,0287
0,08	100,539	2,11	98,84	1,16	0,004	0,0211
0,063	26,158	0,55	99,39	0,61	0,00315	0,0055
fond	29,253	0,61	100,00	0,00	/	/
somme	4759,283					

Tableau 6-4 : Analyse granulométrique du gré après 100 coups

Tamis	Poids refus partiel (gr)	Refus partiels %	Refus cumulés %	Passant %	r/rl	M(R/r)/MT
25	0	0	0	100	/	/
20	978,534	20,64	20,64	79,36	1	0,2064
16	992,712	20,94	41,58	58,42	0,8	0,2094
12,5	533,846	11,26	52,83	47,17	0,64	0,1126
10	302,516	6,38	59,21	40,79	0,5	0,0638
8	225,14	4,75	63,96	36,04	0,4	0,0475
6,3	160,543	3,39	67,35	32,65	0,32	0,0339
5	234,724	4,95	72,3	27,7	0,252	0,0495
4	179,613	3,79	76,09	23,91	0,2	0,0379
3,15	109,425	2,31	78,4	21,6	0,16	0,0231
2,5	41,933	0,88	79,28	20,72	0,126	0,0088
2	27,157	0,57	79,85	20,15	0,1	0,0057
1,6	12,48	0,26	80,12	19,88	0,08	0,0026
1	34,145	0,72	80,84	19,16	0,064	0,0072
0,315	160,942	3,39	84,23	15,77	0,04	0,0339
0,2	228,634	4,82	89,05	10,95	0,0126	0,0482
0,16	142,272	3	92,05	7,95	0,008	0,03
0,125	155,551	3,28	95,33	4,67	0,0064	0,0328
0,08	145,268	3,06	98,4	1,6	0,005	0,0306
0,063	35,743	0,75	99,15	0,85	0,0032	0,0075
fond	40,236	0,85	100	0	/	/
Somme	4741,414					

Les courbes obtenues après le calcul de la DF avec la méthode des boîtes

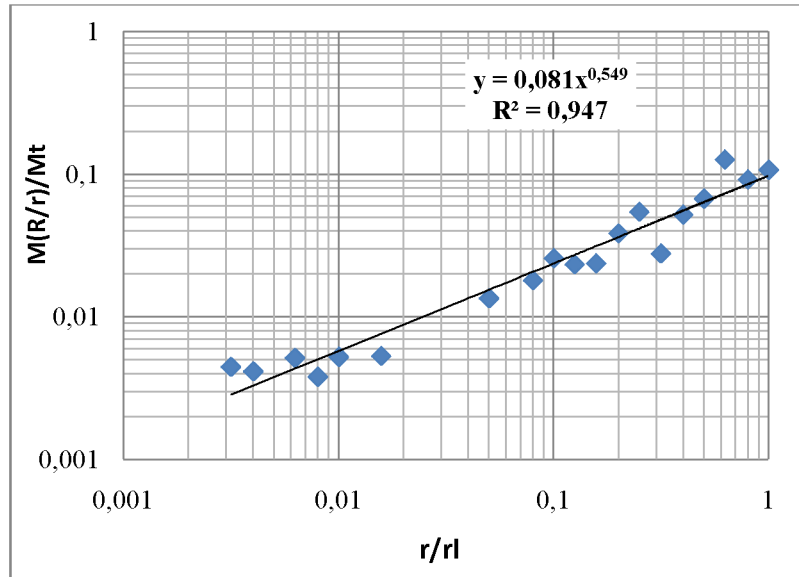


Figure VI-1: DF après 25 coups avec la méthode des masses

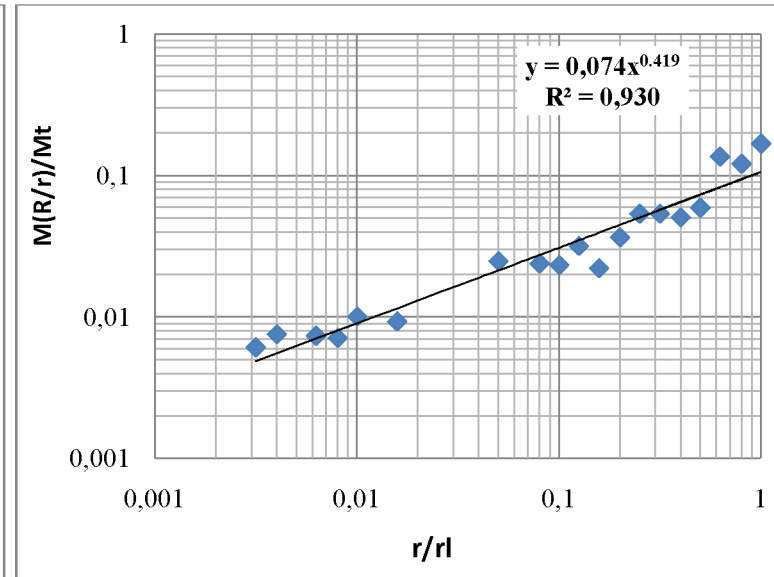


Figure VI-2: DF après 50 coups avec la méthode des masses

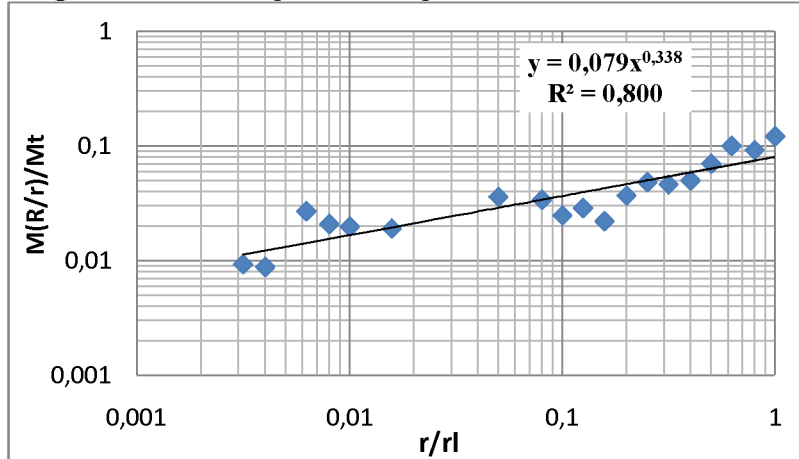


Figure VI-3: DF après 75 coups avec la méthode des masses

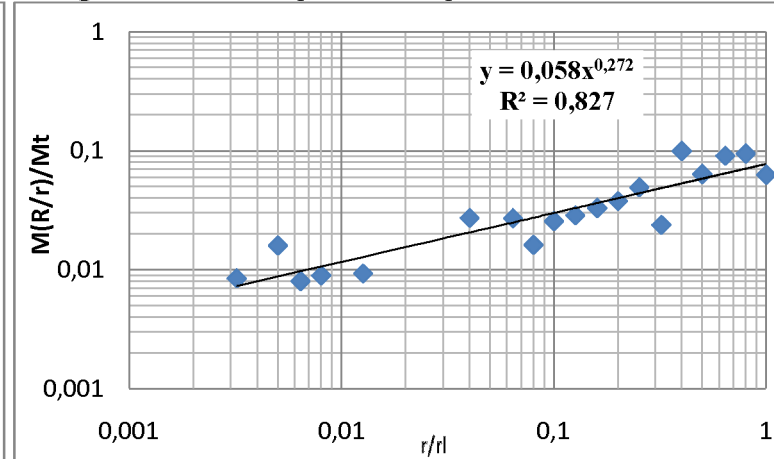
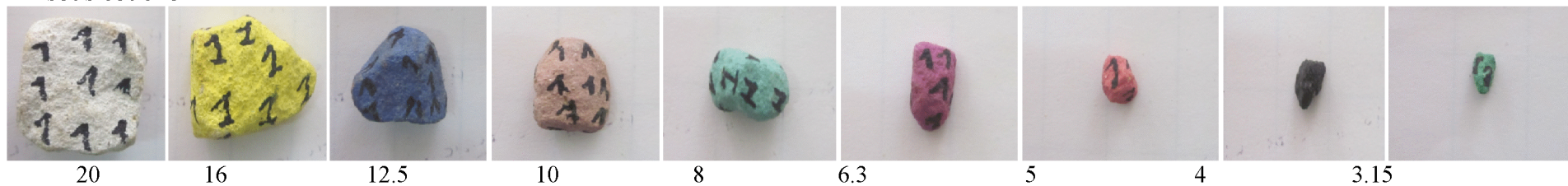


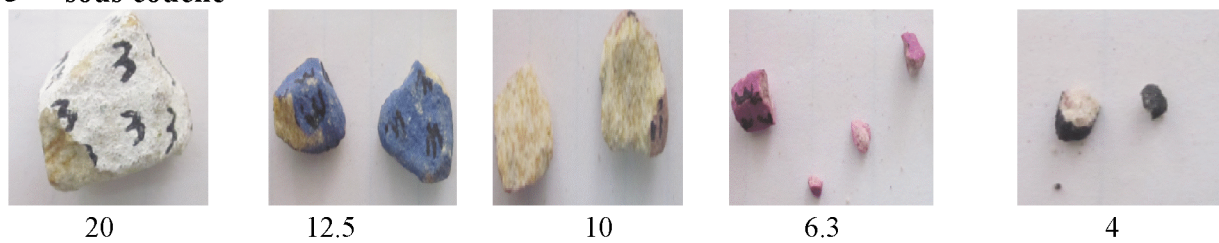
Figure VI-4: DF après 100 coups avec la méthode des masses

25 coups

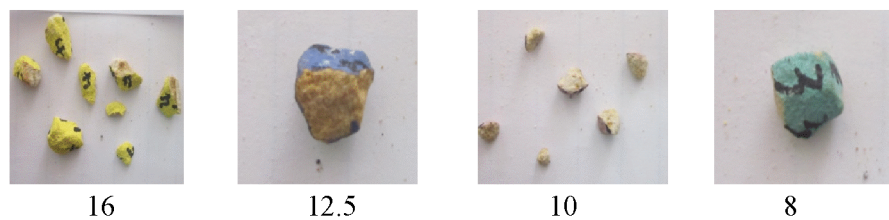
1^{ere} sous couche



3^{eme} sous couche



4^{eme} sous couche

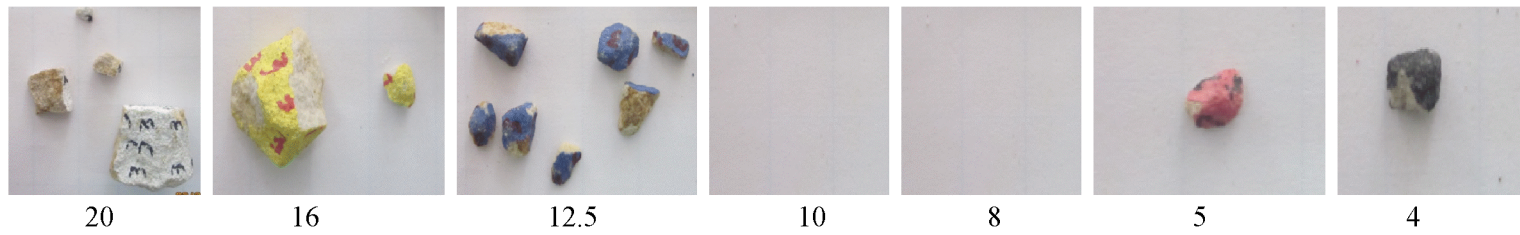


50 coups

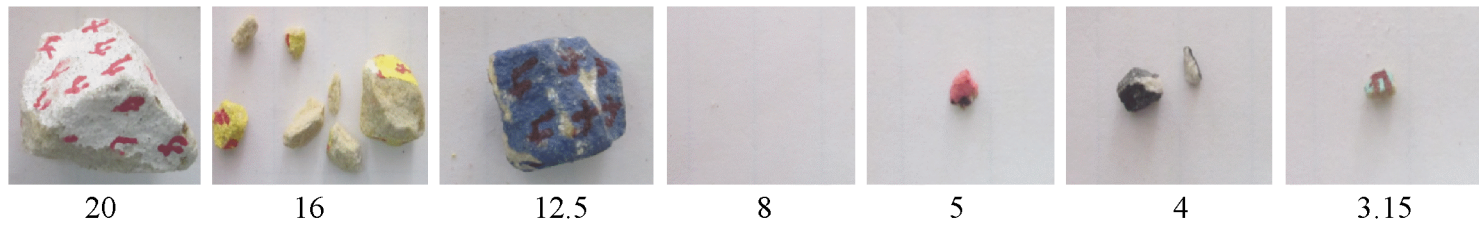
2^{eme} sous couche



3^{eme} sous couche



4^{eme} sous couche

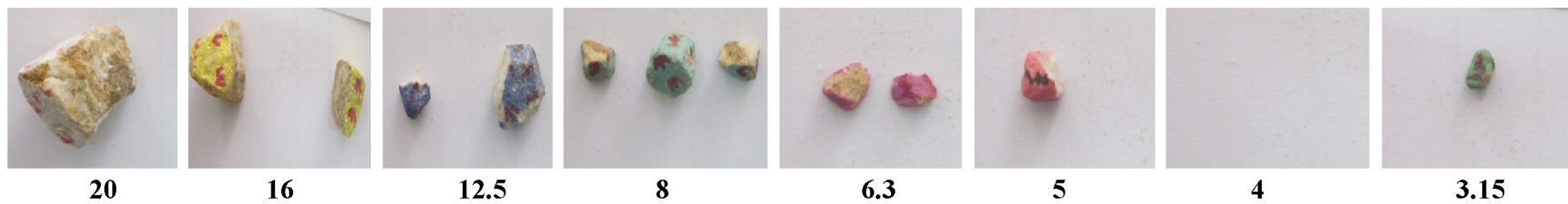


75 coups

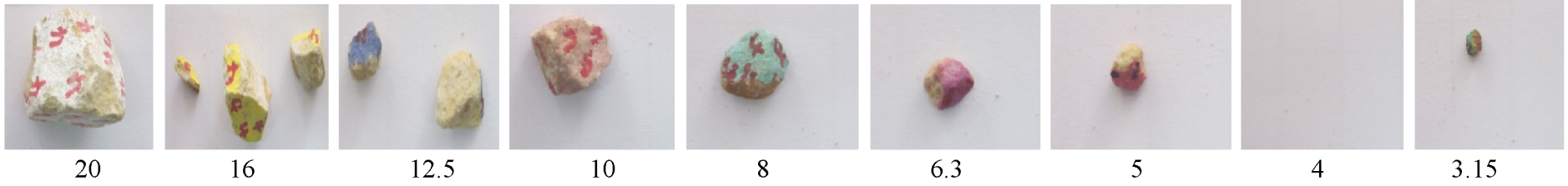
2^{eme} sous couche



3^{eme} sous couche

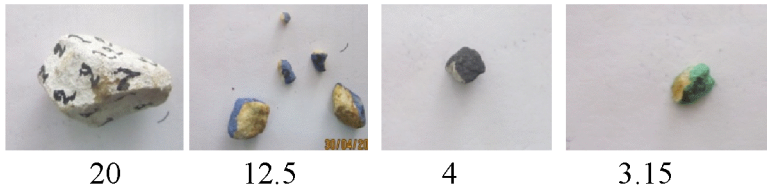


4^{eme} couche

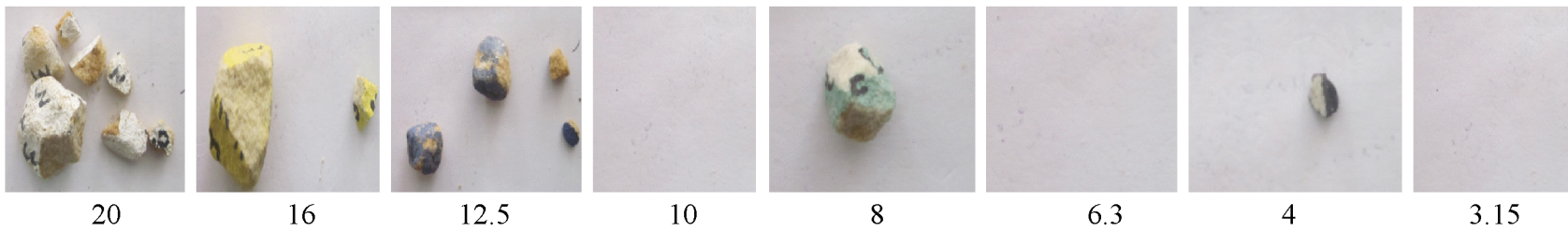


100 coups

2^{eme} couche



3^{eme} couche



4^{eme} couche



Le schiste

Tableau 6-5 : Analyse granulométrique du schiste après 25 coups

Tamis	Poids refus partiel (gr)	Refus partiels %	Refus cumulés %	Passant %	r/rl	M(R/r)/MT
25	0,000	0,000	0,000	100,000	/	/
20	691,693	14,513	14,513	85,487	1,0000	0,1451
16	1134,685	23,808	38,320	61,680	0,8000	0,2380
12,5	805,711	16,905	55,226	44,774	0,6250	0,1690
10	524,461	11,004	66,230	33,770	0,5000	0,1100
8	354,533	7,439	73,668	26,332	0,4000	0,0743
6,3	289,936	6,083	79,752	20,248	0,3150	0,0608
5	215,555	4,523	84,274	15,726	0,2500	0,0452
4	177,616	3,727	88,001	11,999	0,2000	0,0372
3,15	184,505	3,871	91,872	8,128	0,1575	0,0387
2,5	135,084	2,834	94,706	5,294	0,1250	0,0283
2	38,239	0,802	95,509	4,491	0,1000	0,0080
1,6	41,534	0,871	96,380	3,620	0,0800	0,0087
1	54,014	1,133	97,513	2,487	0,0500	0,0113
0,315	61,601	1,292	98,806	1,194	0,0158	0,0129
0,2	15,575	0,327	99,133	0,867	0,0100	0,0032
0,16	3,494	0,073	99,206	0,794	0,0080	0,0007
0,125	7,887	0,165	99,372	0,628	0,0063	0,0016
0,08	12,280	0,258	99,629	0,371	0,0040	0,0025
0,063	7,388	0,155	99,784	0,216	0,0032	0,0015
fond	10,284	0,216	100,000	0,000	/	/
somme	4766,075					

Tableau 6-6 : Analyse granulométrique du schiste après 50 coups

Tamis	Poids refus partiel (gr)	Refus partiels %	Refus cumulés %	Passant %	r/rl	M(R/r)/MT
25	0,00	0,00	0,00	100,00	/	/
20	766,673	16,770	16,770	83,230	1.0000	0,1677
16	1150,160	25,158	41,927	58,073	0,8000	0,2516
12,5	798,223	17,460	59,387	40,613	0,6250	0,1746
10	471,446	10,312	69,699	30,301	0,5000	0,1031
8	335,863	7,346	77,046	22,954	0,4000	0,0735
6,3	245,108	5,361	82,407	17,593	0,3150	0,0536
5	225,439	4,931	87,338	12,662	0,2500	0,0493
4	182,608	3,994	91,332	8,668	0,2000	0,0399
3,15	165,435	3,619	94,951	5,049	0,1575	0,0362
2,5	81,969	1,793	96,744	3,256	0,1250	0,0179
2	33,047	0,723	97,467	2,533	0,1000	0,0072
1,6	24,361	0,533	98,000	2,000	0,0800	0,0053
1	27,955	0,611	98,611	1,389	0,0500	0,0061
0,315	31,050	0,679	99,290	0,710	0,0157	0,0068
0,2	7,887	0,173	99,463	0,537	0,0100	0,0017
0,16	3,694	0,081	99,544	0,456	0,0080	0,0008
0,125	3,195	0,070	99,613	0,387	0,0062	0,0007
0,08	5,791	0,127	99,740	0,260	0,0040	0,0013
0,063	5,092	0,111	99,852	0,148	0,0032	0,0011
fond	6,789	0,148	100,000	0,000	/	/
somme	4571,785					

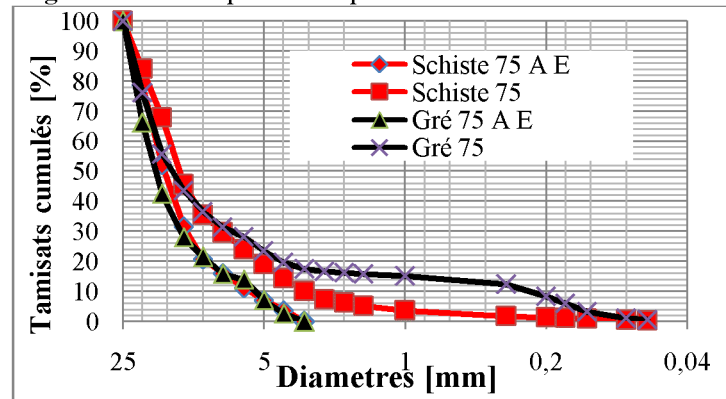
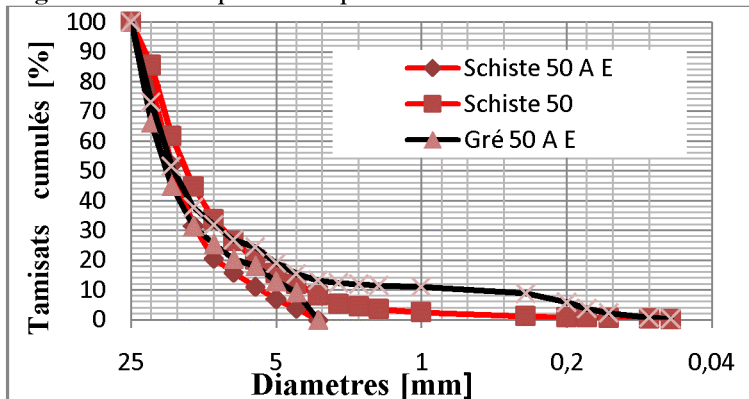
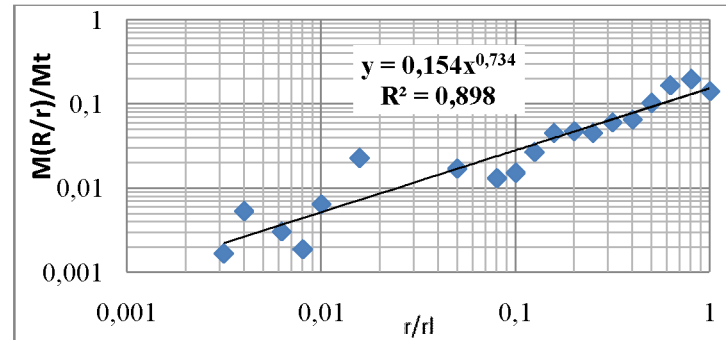
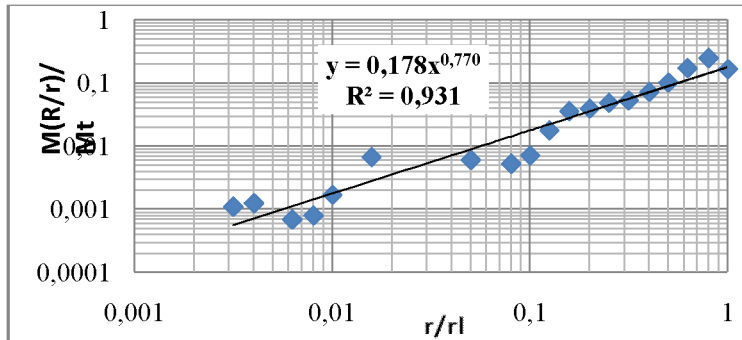
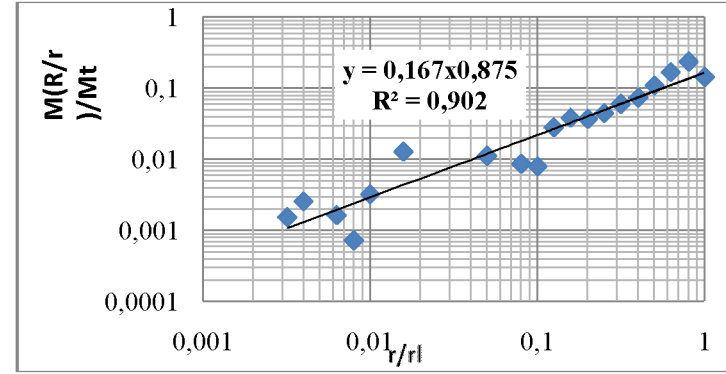
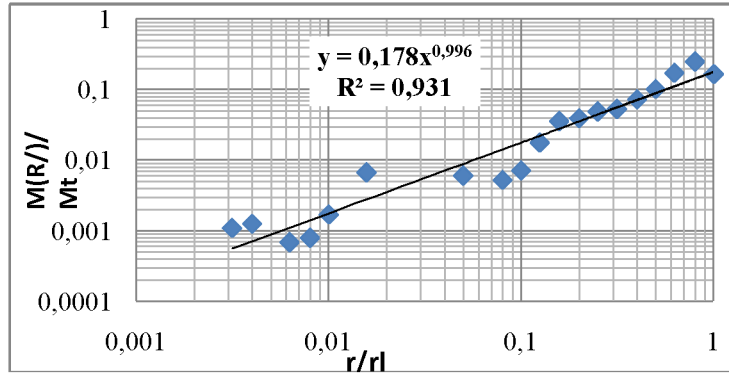
Tableau 6-7 : Analyse granulométrique du schiste après 75 coups

Tamis	Poids refus partiel (gr)	Refus partiels %	Refus cumulés %	Passant %	r/rl	M(R/r)/MT
25	0,000	0,000	0,000	100,000	/	/
20	723,542	15,938	15,938	84,062	1	0,1594
16	736,721	16,228	32,166	67,834	0,8	0,1623
12,5	1007,388	22,191	54,357	45,643	0,625	0,2219
10	458,367	10,097	64,454	35,546	0,5	0,1010
8	268,770	5,920	70,374	29,626	0,4	0,0592
6,3	253,195	5,577	75,952	24,048	0,315	0,0558
5	228,435	5,032	80,983	19,017	0,25	0,0503
4	213,458	4,702	85,686	14,314	0,2	0,0470
3,15	191,693	4,223	89,908	10,092	0,1575	0,0422
2,5	127,596	2,811	92,719	7,281	0,125	0,0281
2	48,300	1,064	93,783	6,217	0,1	0,0106
1,6	44,229	0,974	94,757	5,243	0,08	0,0097
1	70,787	1,559	96,316	3,684	0,05	0,0156
0,315	83,367	1,836	98,153	1,847	0,01575	0,0184
0,2	21,166	0,466	98,619	1,381	0,01	0,0047
0,16	8,586	0,189	98,808	1,192	0,008	0,0019
0,125	9,884	0,218	99,026	0,974	0,00625	0,0022
0,08	17,472	0,385	99,411	0,589	0,004	0,0038
0,063	9,485	0,209	99,620	0,380	0,00315	0,0021
fond	17,272	0,380	100,000	0,000	/	/
somme	4539,713					

Tableau 6-8 : Analyse granulométrique du schiste après 100 coups

Tamis	Poids refus partiel (gr)	Refus partiels %	Refus cumulés %	Passant %	r/rl	M(R/r)/MT
25	0,000	0,000	0,000	100,000	/	/
20	654,553	14,326	14,326	85,674	1	0,1433
16	908,946	19,893	34,219	65,781	0,8	0,1989
12,5	767,871	16,806	51,025	48,975	0,625	0,1681
10	475,539	10,408	61,433	38,567	0,5	0,1041
8	299,720	6,560	67,992	32,008	0,4	0,0656
6,3	279,952	6,127	74,119	25,881	0,315	0,0613
5	209,165	4,578	78,697	21,303	0,25	0,0458
4	218,850	4,790	83,487	16,513	0,2	0,0479
3,15	209,365	4,582	88,069	11,931	0,1575	0,0458
2,5	124,101	2,716	90,785	9,215	0,125	0,0272
2	70,188	1,536	92,321	7,679	0,1	0,0154
1,6	60,603	1,326	93,648	6,352	0,08	0,0133
1	79,173	1,733	95,381	4,619	0,05	0,0173
0,315	105,531	2,310	97,690	2,310	0,01575	0,0231
0,2	29,752	0,651	98,341	1,659	0,01	0,0065
0,16	8,486	0,186	98,527	1,473	0,008	0,0019
0,125	14,377	0,315	98,842	1,158	0,00625	0,0031
0,08	24,760	0,542	99,384	0,616	0,004	0,0054
0,063	7,588	0,166	99,550	0,450	0,00315	0,0017
fond	20,570	0,450	100,000	0,000	/	/
somme	4569,090					

Les courbes obtenues après le calcul de la DF avec la méthode des boîtes



25 coups

3^{ème} sous couche



20



12.5



5



4

4^{ème} sous couche



20



16



12.5



10



8



5



4

50 coups

3^{ème} sous couche



12.5



5



3.15

4^{eme} sous couche



20

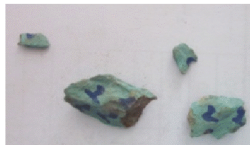
8

6.3

5

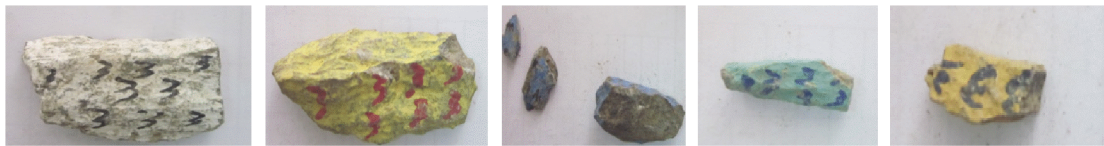
75 coups

2^{eme} sous couche



8

3^{eme} sous couche



20

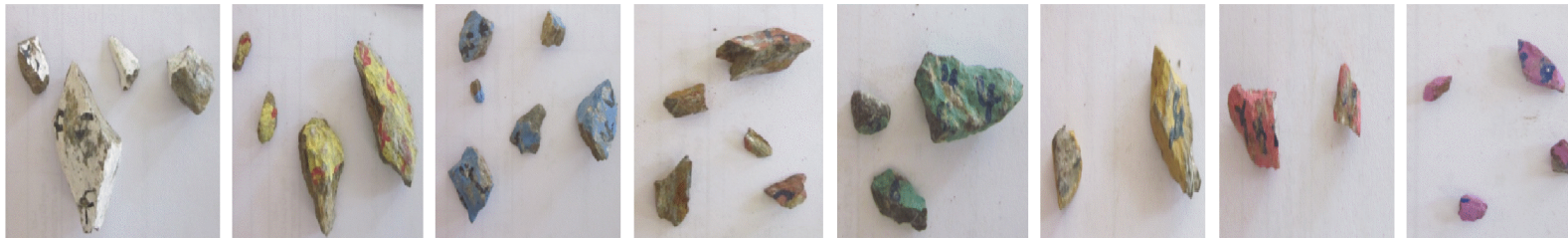
16

12.5

8

6.3

4^{eme} sous couche



20

16

12.5

10

8

6.3

5

4

100 coups

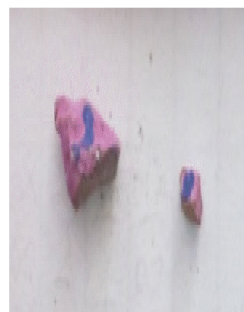
2^{ème} couche



12.5



10



4

3^{ème} couche



20



16



12.5



10



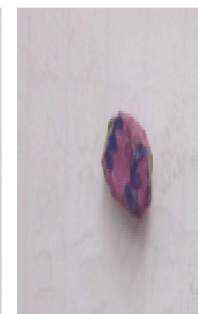
8



6.3



5



4

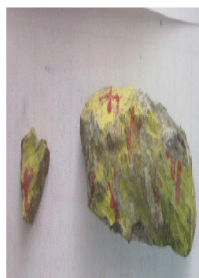


3.15

4^{ème} couche



20



16



12.5



10



8



6.3



5

➤ Cas des éprouvettes a couches de 5 cm

Cas 1 le gré

Tableau VI-9 : Analyse granulométrique de la 1^{ère} couche après 25 coups

Tamis	Poids refus partiel (gr)	Refus partiels %	Refus cumulés %	Passant %	r/rl	M(R/r)/MT
25	0,00	0,00	0,00	100,00		
20	154,55	13,03	13,03	86,97	1	0,13031
16	198,58	16,74	29,78	70,22	0,8	0,16744
12,5	148,96	12,56	42,34	57,66	0,625	0,12560
10	107,33	9,05	51,38	48,62	0,5	0,09050
8	73,28	6,18	57,56	42,44	0,4	0,06179
6,3	56,41	4,76	62,32	37,68	0,315	0,04756
5	58,31	4,92	67,24	32,76	0,25	0,04916
4	47,52	4,01	71,24	28,76	0,2	0,04007
3,15	32,25	2,72	73,96	26,04	0,1575	0,02719
2,5	12,98	1,09	75,06	24,94	0,125	0,01094
2	9,88	0,83	75,89	24,11	0,1	0,00833
1,6	7,89	0,67	76,56	23,44	0,08	0,00665
1	11,08	0,93	77,49	22,51	0,05	0,00934
0,315	49,62	4,18	81,67	18,33	0,01575	0,04184
0,2	65,80	5,55	87,22	12,78	0,01	0,05548
0,16	37,94	3,20	90,42	9,58	0,008	0,03199
0,125	46,13	3,89	94,31	5,69	0,00625	0,03889
0,08	44,03	3,71	98,02	1,98	0,004	0,03712
0,063	10,58	0,89	98,91	1,09	0,00315	0,00892
fond	12,88	1,09	100,00	0,00	/	/
somme	1186,002					

Tableau VI-10: Influence de la 2^{ème} couche sur la 1^{ère} couche après 25 coups

Tamis	Poids refus partiel (gr)	Refus partiels %	Refus cumulés %	Passant %	r/rl	M(R/r)/MT
25	0,00	0,00	0,00	100,00		
20	146,23	12,27	12,27	87,73	1	0,1227
16	141,67	11,89	24,16	75,84	0,8	0,1189
12,5	180,21	15,12	39,29	60,71	0,625	0,1512
10	93,35	7,83	47,12	52,88	0,5	0,0783
8	72,88	6,12	53,24	46,76	0,4	0,0612
6,3	53,51	4,49	57,73	42,27	0,315	0,0449
5	60,00	5,04	62,76	37,24	0,25	0,0504
4	42,32	3,55	66,32	33,68	0,2	0,0355
3,15	35,94	3,02	69,33	30,67	0,1575	0,0302
2,5	13,38	1,12	70,46	29,54	0,125	0,0112
2	10,38	0,87	71,33	28,67	0,1	0,0087
1,6	6,39	0,54	71,86	28,14	0,08	0,0054
1	12,08	1,01	72,88	27,12	0,05	0,0101
0,315	53,51	4,49	77,37	22,63	0,01575	0,0449
0,2	78,67	6,60	83,97	16,03	0,01	0,0660
0,16	48,12	4,04	88,01	11,99	0,008	0,0404
0,125	57,01	4,78	92,79	7,21	0,00625	0,0478
0,08	55,51	4,66	97,45	2,55	0,004	0,0466
0,063	14,38	1,21	98,66	1,34	0,00315	0,0121
fond	15,98	1,34	100,00	0,00	/	/
somme	1191,54					

Tableau VI-11: Influence de la 3^{ème} couche sur la 1^{ère} couche après 25 coups

Tamis	Poids refus partiel (gr)	Refus partiels %	Refus cumulés %	Passant %	r/rl	M(R/r)/MT
25	0	0	0	100		
20	137,48	11,55	11,55	88,45	1	0,1155
16	148,462	12,47	24,01	75,99	0,8	0,1247
12,5	168,63	14,16	38,18	61,82	0,625	0,1416
10	95,946	8,06	46,24	53,76	0,5	0,0806
8	76,677	6,44	52,67	47,33	0,4	0,0644
6,3	57,708	4,85	57,52	42,48	0,315	0,0485
5	52,516	4,41	61,93	38,07	0,25	0,0441
4	45,327	3,81	65,74	34,26	0,2	0,0381
3,15	33,947	2,85	68,59	31,41	0,1575	0,0285
2,5	13,678	1,15	69,74	30,26	0,125	0,0115
2	9,485	0,80	70,53	29,47	0,1	0,0080
1,6	7,588	0,64	71,17	28,83	0,08	0,0064
1	9,984	0,84	72,01	27,99	0,05	0,0084
0,315	52,616	4,42	76,43	23,57	0,01575	0,0442
0,2	82,468	6,93	83,36	16,64	0,01	0,0693
0,16	49,82	4,18	87,54	12,46	0,008	0,0418
0,125	59,305	4,98	92,52	7,48	0,00625	0,0498
0,08	58,706	4,93	97,45	2,55	0,004	0,0493
0,063	14,077	1,18	98,63	1,37	0,00315	0,0118
fond	16,274	1,37	100,00	0,00		
somme	1190,694					

Tableau VI-12: Influence de la 4^{ème} couche sur la 1^{ère} couche après 25 coups

Tamis	Poids refus partiel (gr)	Refus partiels %	Refus cumulés %	Passant %	r/rl	M(R/r)/MT
25	0,00	0,00	0,00	100,00		
20	123,60	10,39	10,39	89,61	1	0,1039
16	154,95	13,02	23,41	76,59	0,8	0,1302
12,5	182,11	15,30	38,71	61,29	0,625	0,1530
10	89,46	7,52	46,23	53,77	0,5	0,0752
8	75,88	6,38	52,61	47,39	0,4	0,0638
6,3	53,22	4,47	57,08	42,92	0,315	0,0447
5	52,52	4,41	61,49	38,51	0,25	0,0441
4	46,33	3,89	65,38	34,62	0,2	0,0389
3,15	32,25	2,71	68,09	31,91	0,1575	0,0271
2,5	13,48	1,13	69,23	30,77	0,125	0,0113
2	9,78	0,82	70,05	29,95	0,1	0,0082
1,6	5,79	0,49	70,53	29,47	0,08	0,0049
1	10,98	0,92	71,46	28,54	0,05	0,0092
0,315	51,42	4,32	75,78	24,22	0,01575	0,0432
0,2	85,36	7,17	82,95	17,05	0,01	0,0717
0,16	52,32	4,40	87,35	12,65	0,008	0,0440
0,125	62,10	5,22	92,57	7,43	0,00625	0,0522
0,08	65,70	5,52	98,09	1,91	0,004	0,0552
0,063	10,88	0,91	99,00	1,00	0,00315	0,0091
fond	11,88	1,00	100,00	0,00	/	/
somme	1189,996					

Tableau VI-13 : Analyse granulométrique de la 2^{ème} couche après 25 coups **Tableau VI-14**: Influence de la 3^{ème} couche sur la 2^{ème} couche après 25 coups

Tamis	Poids refus partiel (gr)	Refus partiels %	Refus cumulés %	Passant %	r/rl	M(R/r)/MT
25	0	0	0	100		
20	275,96	23,49	23,49	76,51	1	0,2349
16	272,86	23,23	46,72	53,28	0,8	0,2323
12,5	148,26	12,62	59,34	40,66	0,625	0,1262
10	71,69	6,10	65,44	34,56	0,5	0,0610
8	58,81	5,01	70,44	29,56	0,4	0,0501
6,3	39,74	3,38	73,83	26,17	0,315	0,0338
5	52,02	4,43	78,25	21,75	0,25	0,0443
4	39,74	3,38	81,64	18,36	0,2	0,0338
3,15	26,86	2,29	83,92	16,08	0,1575	0,0229
2,5	10,48	0,89	84,81	15,19	0,125	0,0089
2	6,89	0,59	85,40	14,60	0,1	0,0059
1,6	3,99	0,34	85,74	14,26	0,08	0,0034
1	7,89	0,67	86,41	13,59	0,05	0,0067
0,315	30,95	2,63	89,05	10,95	0,01575	0,0263
0,2	39,44	3,36	92,40	7,60	0,01	0,0336
0,16	22,66	1,93	94,33	5,67	0,008	0,0193
0,125	28,06	2,39	96,72	3,28	0,00625	0,0239
0,08	25,56	2,18	98,90	1,10	0,004	0,0218
0,063	6,29	0,54	99,43	0,57	0,00315	0,0054
fond	6,69	0,57	100,00	0,00		
somme	1174,818					

Tamis	Poids refus partiel (gr)	Refus partiels %	Refus cumulés %	Passant %	r/rl	M(R/r)/MT
25	0	0	0	100		
20	269,97	22,95	22,95	77,05	1	0,2295
16	231,03	19,64	42,59	57,41	0,8	0,1964
12,5	160,64	13,66	56,25	43,75	0,625	0,1366
10	76,78	6,53	62,78	37,22	0,5	0,0653
8	54,51	4,63	67,41	32,59	0,4	0,0463
6,3	48,12	4,09	71,51	28,49	0,315	0,0409
5	44,53	3,79	75,29	24,71	0,25	0,0379
4	39,24	3,34	78,63	21,37	0,2	0,0334
3,15	25,96	2,21	80,83	19,17	0,1575	0,0221
2,5	11,28	0,96	81,79	18,21	0,125	0,0096
2	7,79	0,66	82,45	17,55	0,1	0,0066
1,6	4,19	0,36	82,81	17,19	0,08	0,0036
1	7,89	0,67	83,48	16,52	0,05	0,0067
0,315	32,95	2,80	86,28	13,72	0,01575	0,0280
0,2	46,93	3,99	90,27	9,73	0,01	0,0399
0,16	28,95	2,46	92,73	7,27	0,008	0,0246
0,125	35,44	3,01	95,75	4,25	0,00625	0,0301
0,08	33,75	2,87	98,62	1,38	0,004	0,0287
0,063	8,19	0,70	99,31	0,69	0,00315	0,0070
fond	8,09	0,69	100,00	0,00		
somme	1176,217					

Tableau VI-15: Influence de la 4^{ème} couche sur la 2^{ème} couche après 25 coups

Tamis	Poids refus partiel (gr)	Refus partiels %	Refus cumulés %	Passant %	r/rl	M(R/r)/MT
25	0,00	0,00	0,00	100,00		
20	258,99	22,15	22,15	77,85	1	0,2215
16	231,53	19,80	41,96	58,04	0,8	0,1980
12,5	168,23	14,39	56,35	43,65	0,625	0,1439
10	79,77	6,82	63,17	36,83	0,5	0,0682
8	42,72	3,65	66,82	33,18	0,4	0,0365
6,3	44,93	3,84	70,67	29,33	0,315	0,0384
5	44,03	3,77	74,43	25,57	0,25	0,0377
4	39,54	3,38	77,81	22,19	0,2	0,0338
3,15	24,36	2,08	79,90	20,10	0,1575	0,0208
2,5	11,18	0,96	80,85	19,15	0,125	0,0096
2	7,39	0,63	81,49	18,51	0,1	0,0063
1,6	3,79	0,32	81,81	18,19	0,08	0,0032
1	7,29	0,62	82,43	17,57	0,05	0,0062
0,315	32,35	2,77	85,20	14,80	0,01575	0,0277
0,2	49,12	4,20	89,40	10,60	0,01	0,0420
0,16	30,85	2,64	92,04	7,96	0,008	0,0264
0,125	37,64	3,22	95,26	4,74	0,00625	0,0322
0,08	38,34	3,28	98,54	1,46	0,004	0,0328
0,063	7,09	0,61	99,15	0,85	0,00315	0,0061
fond	9,99	0,85	100,00	0,00		
somme	1169,124					

Tableau VI-16 : Analyse granulométrique de la 3^{ème} couche après 25 coups

Tamis	Poids refus partiel (gr)	Refus partiels %	Refus cumulés %	Passant %	r/rl	M(R/r)/MT
25	0	0	0	100		
20	215,26	18,15	18,15	81,85	1	0,1815
16	256,59	21,64	39,79	60,21	0,8	0,2164
12,5	183,71	15,49	55,29	44,71	0,625	0,1549
10	92,75	7,82	63,11	36,89	0,5	0,0782
8	58,21	4,91	68,02	31,98	0,4	0,0491
6,3	44,03	3,71	71,73	28,27	0,315	0,0371
5	58,01	4,89	76,63	23,37	0,25	0,0489
4	45,33	3,82	80,45	19,55	0,2	0,0382
3,15	25,56	2,16	82,60	17,40	0,1575	0,0216
2,5	9,09	0,77	83,37	16,63	0,125	0,0077
2	7,19	0,61	83,98	16,02	0,1	0,0061
1,6	3,79	0,32	84,30	15,70	0,08	0,0032
1	8,69	0,73	85,03	14,97	0,05	0,0073
0,315	37,04	3,12	88,15	11,85	0,01575	0,0312
0,2	43,43	3,66	91,82	8,18	0,01	0,0366
0,16	24,86	2,10	93,91	6,09	0,008	0,0210
0,125	30,55	2,58	96,49	3,51	0,00625	0,0258
0,08	27,56	2,32	98,81	1,19	0,004	0,0232
0,063	7,09	0,60	99,41	0,59	0,00315	0,0060
fond	6,99	0,59	100,00	0,00		
somme	1185,70					

Tableau VI-17: Influence de la 4^{ème} couche sur la 3^{ème} couche après 25 coups

Tamis	Poids refus partiel (gr)	Refus partiels %	Refus cumulés %	Passant %	r/rl	M(R/r)/MT
25	0,00	0,00	0,00	100,00		
20	201,58	17,01	17,01	82,99	1	0,1701
16	243,31	20,53	37,55	62,45	0,8	0,2053
12,5	161,14	13,60	51,15	48,85	0,625	0,1360
10	92,55	7,81	58,96	41,04	0,5	0,0781
8	62,70	5,29	64,25	35,75	0,4	0,0529
6,3	45,93	3,88	68,12	31,88	0,315	0,0388
5	50,82	4,29	72,41	27,59	0,25	0,0429
4	43,63	3,68	76,09	23,91	0,2	0,0368
3,15	24,96	2,11	78,20	21,80	0,1575	0,0211
2,5	11,08	0,94	79,14	20,86	0,125	0,0094
2	7,89	0,67	79,80	20,20	0,1	0,0067
1,6	4,59	0,39	80,19	19,81	0,08	0,0039
1	9,78	0,83	81,02	18,98	0,05	0,0083
0,315	42,63	3,60	84,61	15,39	0,01575	0,0360
0,2	55,02	4,64	89,26	10,74	0,01	0,0464
0,16	31,95	2,70	91,95	8,05	0,008	0,0270
0,125	38,74	3,27	95,22	4,78	0,00625	0,0327
0,08	37,94	3,20	98,42	1,58	0,004	0,0320
0,063	9,59	0,81	99,23	0,77	0,00315	0,0081
fond	9,09	0,77	100,00	0,00		
somme	1184,91					

Tableau VI-18 : Analyse granulométrique de la 4^{ème} couche après 25 coups

Tamis	Poids refus partiel (gr)	Refus partiels %	Refus cumulés %	Passant %	r/rl	M(R/r)/MT
25	0	0	0	100		
20	285,94	24,18	24,18	75,82	1	1,5676
16	258,29	21,84	46,03	53,97	0,8	1,4160
12,5	162,34	13,73	59,76	40,24	0,625	0,8900
10	100,84	8,53	68,29	31,71	0,5	0,5528
8	65,90	5,57	73,86	26,14	0,4	0,3612
6,3	35,74	3,02	76,88	23,12	0,315	0,1959
5	56,01	4,74	81,62	18,38	0,25	0,3071
4	42,23	3,57	85,19	14,81	0,2	0,2315
3,15	23,56	1,99	87,18	12,82	0,1575	0,1292
2,5	10,58	0,90	88,08	11,92	0,125	0,0580
2	6,09	0,52	88,59	11,41	0,1	0,0334
1,6	3,90	0,33	88,92	11,08	0,08	0,0214
1	7,49	0,63	89,55	10,45	0,05	0,0411
0,315	26,66	2,25	91,81	8,19	0,01575	0,1461
0,2	30,35	2,57	94,38	5,62	0,01	0,1664
0,16	17,57	1,49	95,86	4,14	0,008	0,0963
0,125	20,77	1,76	97,62	2,38	0,00625	0,1138
0,08	18,87	1,60	99,21	0,79	0,004	0,1034
0,063	4,39	0,37	99,59	0,41	0,00315	0,0241
fond	4,89	0,41	100,00	0,00		
somme	1182,41					

Etalement granulométrique du gré après une énergie de compactage de 25 coups

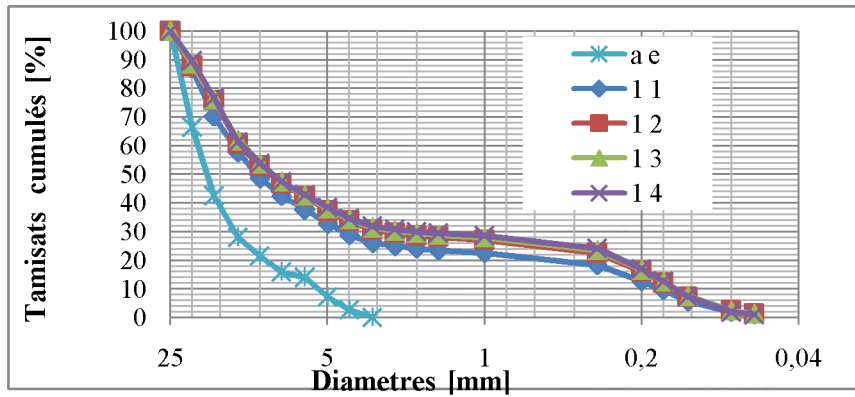


Figure VI-11 : Influence des couches supérieures sur la 1^{ère} couche

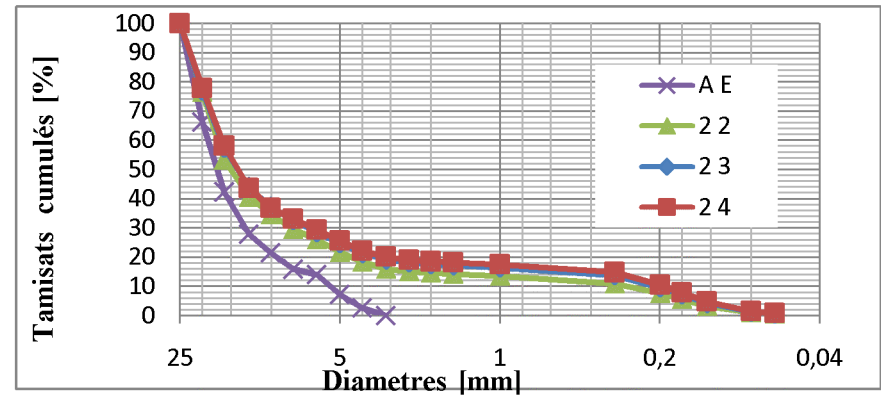


Figure VI-12 : Influence des couches supérieures sur la 2^{ème} couche

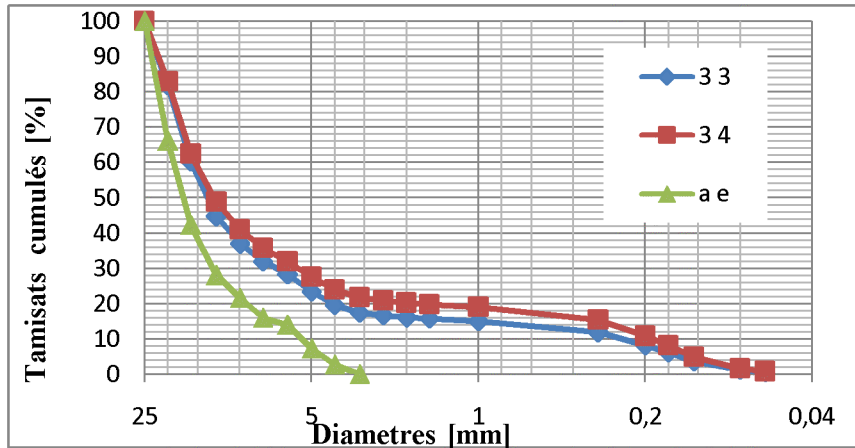


Figure VI-13 : Influence des couches supérieures sur la 3^{ème} couche

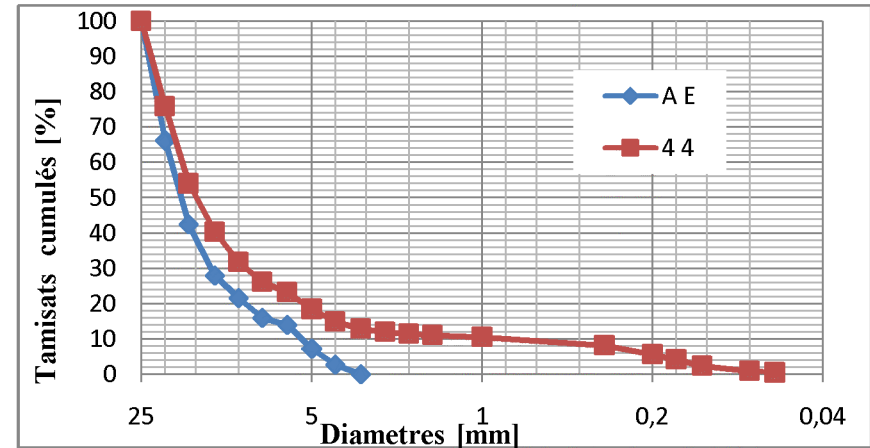


Figure VI-14 : Etalement granulométrique de la 4^{ème} couche

Les courbes obtenues après le calcul de la DF avec la méthode des masses sur l'influence des couches supérieures la 1^{ère}, 2^{ème}, 3^{ème} et 4^{ème} après 25 coups

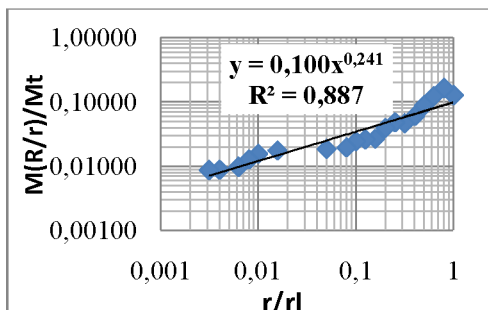


Figure VI-15 :1^{ère} couche après essais

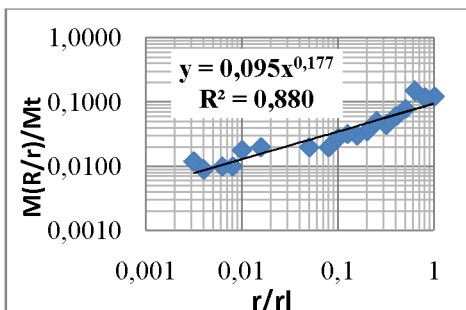


Figure VI-16 : Influence 2^{ème} sur la 1^{ère}

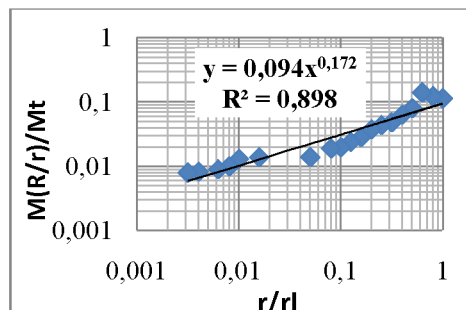


Figure VI-17 : Influence 3^{ème} sur la 1^{ère}

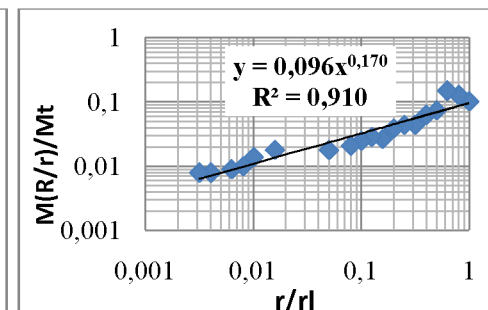


Figure VI-18 : Influence 4^{ème} sur la 1^{ère}

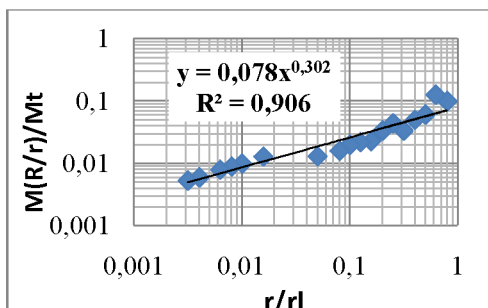


Figure VI-18 :2^{ème} couche après essais

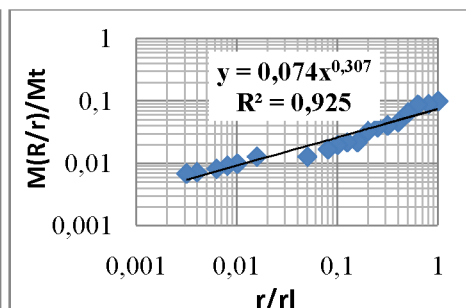


Figure VI-19 : Influence 3^{ème} sur la 2^{ème}

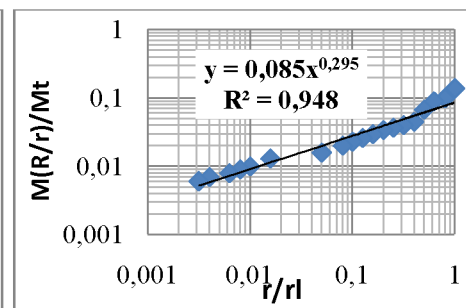


Figure VI-20 : Influence 4^{ème} sur la 2^{ème}

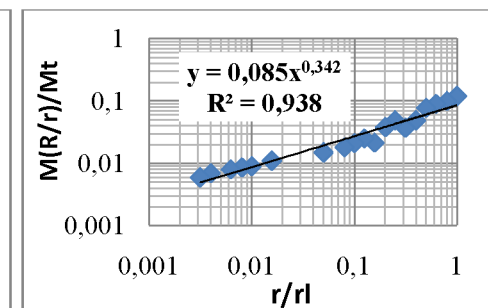


Figure VI-21 :3^{ème} couche après essais

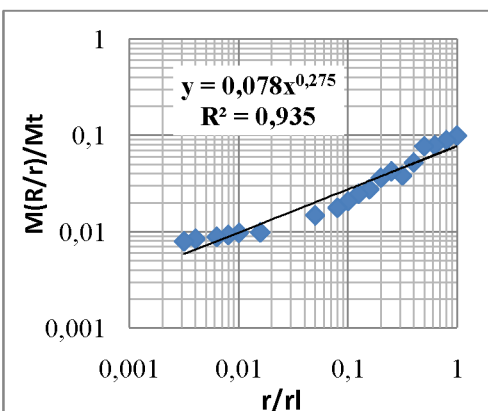


Figure VI-22: Influence 4^{ème} sur la 3^{ème}

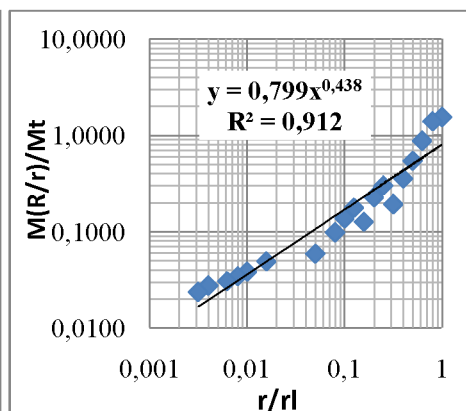
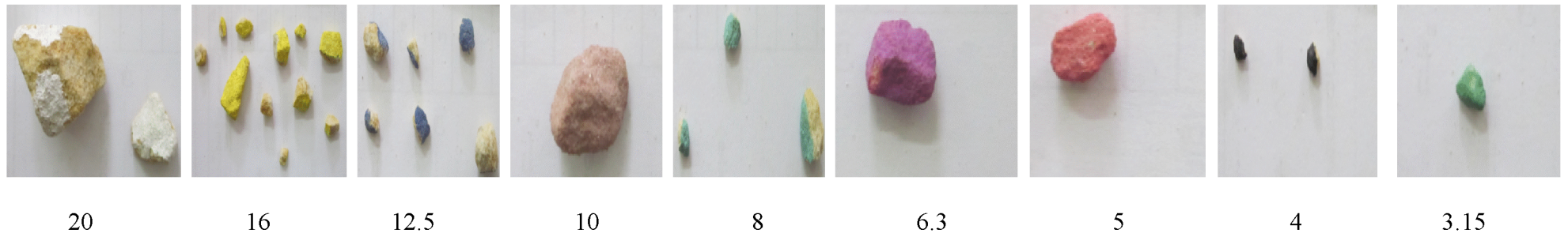


Figure VI-23 :3^{ème} couche après essais

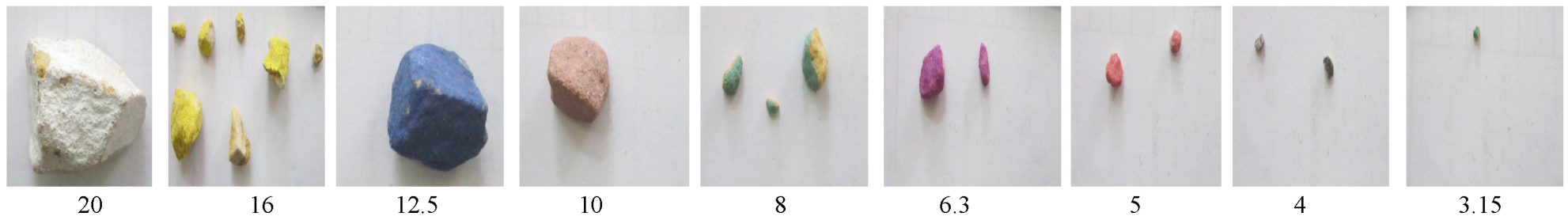
1^{ère} couche après 25 coups



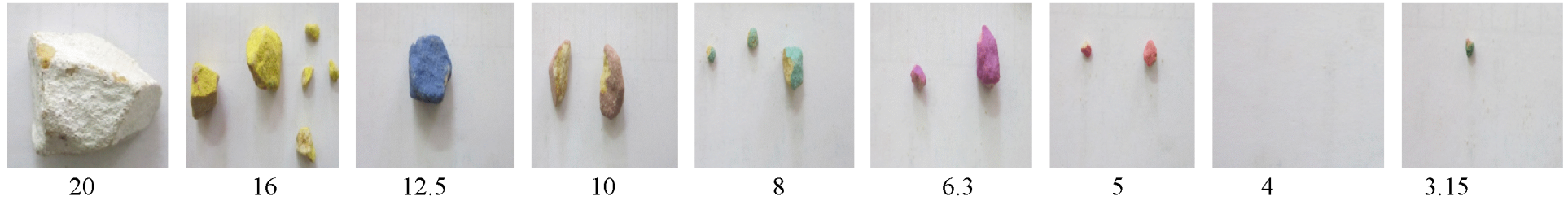
Influence de la 2^{ème} couche sur la 1^{ère} couche après 25 coups



2^{ème} couche après 25 coups



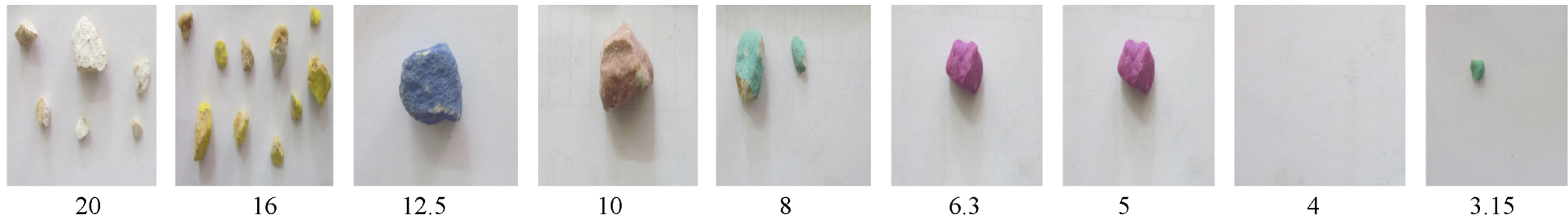
Influence de la 3^{ème} couche sur la 2^{ème} couche après 25 coups



3^{ème} couche après 25 coups



Influence de la 4^{ème} couche sur la 3^{ème} couche après 25 coups



4^{ème} couche après 25 coups

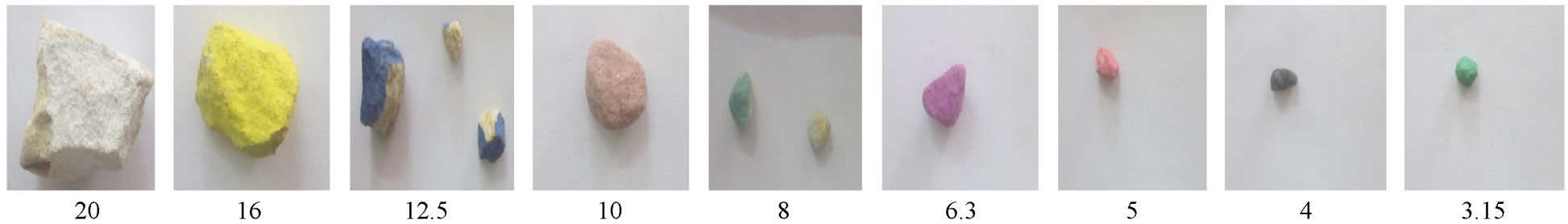


Tableau VI-19 : Analyse granulométrique de la 1^{ère} couche après 50 coups

Tamis	Poids refus partiel (gr)	Refus partiels %	Refus cumulés %	Passant %	r/rl	M(R/r)/MT
25	0,00	0,00	0,00	100,00		
20	96,85	8,14	8,14	91,86	1	0,0814
16	138,48	11,63	19,77	80,23	0,8	0,1163
12,5	112,92	9,49	29,26	70,74	0,625	0,0949
10	85,86	7,21	36,47	63,53	0,5	0,0721
8	79,47	6,68	43,15	56,85	0,4	0,0668
6,3	67,99	5,71	48,86	51,14	0,315	0,0571
5	58,11	4,88	53,74	46,26	0,25	0,0488
4	46,33	3,89	57,63	42,37	0,2	0,0389
3,15	32,45	2,73	60,36	39,64	0,1575	0,0273
2,5	17,97	1,51	61,87	38,13	0,125	0,0151
2	13,88	1,17	63,04	36,96	0,1	0,0117
1,6	9,49	0,80	63,83	36,17	0,08	0,0080
1	15,46	1,30	65,13	34,87	0,05	0,0130
0,315	59,41	4,99	70,12	29,88	0,01575	0,0499
0,2	101,04	8,49	78,61	21,39	0,01	0,0849
0,16	72,38	6,08	84,69	15,31	0,008	0,0608
0,125	87,26	7,33	92,02	7,98	0,00625	0,0733
0,08	68,19	5,73	97,75	2,25	0,004	0,0573
0,063	14,18	1,19	98,94	1,06	0,00315	0,0119
fond	12,58	1,06	100,00	0,00		
somme	1190,28					

Tableau VI-20: Influence de la 2^{ème} couche sur la 1^{ère} couche après 50 coups

Tamis	Poids refus partiel (gr)	Refus partiels %	Refus cumulés %	Passant %	r/rl	M(R/r)/MT
25	0,00	0,00	0,00	100,00		
20	81,07	6,60	6,60	93,40	1	0,0660
16	134,98	10,99	17,59	82,41	0,8	0,1099
12,5	111,62	9,09	26,68	73,32	0,625	0,0909
10	75,88	6,18	32,85	67,15	0,5	0,0618
8	74,68	6,08	38,93	61,07	0,4	0,0608
6,3	66,89	5,45	44,38	55,62	0,315	0,0545
5	50,42	4,10	48,48	51,52	0,25	0,0410
4	44,23	3,60	52,08	47,92	0,2	0,0360
3,15	34,65	2,82	54,90	45,10	0,1575	0,0282
2,5	17,97	1,46	56,37	43,63	0,125	0,0146
2	13,38	1,09	57,46	42,54	0,1	0,0109
1,6	8,19	0,67	58,12	41,88	0,08	0,0067
1	13,98	1,14	59,26	40,74	0,05	0,0114
0,315	60,80	4,95	64,21	35,79	0,01575	0,0495
0,2	141,72	11,54	75,75	24,25	0,01	0,1154
0,16	79,87	6,50	82,25	17,75	0,008	0,0650
0,125	99,94	8,14	90,38	9,62	0,00625	0,0814
0,08	94,55	7,70	98,08	1,92	0,004	0,0770
0,063	11,08	0,90	98,98	1,02	0,00315	0,0090
fond	12,48	1,02	100,00	0,00		
somme	1228,38					

Tableau VI-21: Influence de la 3^{ème} couche sur la 1^{ère} couche après 50 coups

Tamis	Poids refus partiel (gr)	Refus partiels %	Refus cumulés %	Passant %	r/rl	M(R/r)/MT
25	0,00	0,00	0,00	100,00		
20	77,78	6,54	6,54	93,46	1	0,0654
16	131,99	11,10	17,65	82,35	0,8	0,1110
12,5	106,23	8,94	26,58	73,42	0,625	0,0894
10	70,19	5,90	32,49	67,51	0,5	0,0590
8	73,48	6,18	38,67	61,33	0,4	0,0618
6,3	65,90	5,54	44,21	55,79	0,315	0,0554
5	52,12	4,38	48,59	51,41	0,25	0,0438
4	43,63	3,67	52,26	47,74	0,2	0,0367
3,15	34,15	2,87	55,14	44,86	0,1575	0,0287
2,5	17,87	1,50	56,64	43,36	0,125	0,0150
2	12,68	1,07	57,71	42,29	0,1	0,0107
1,6	7,56	0,64	58,34	41,66	0,08	0,0064
1	13,68	1,15	59,49	40,51	0,05	0,0115
0,315	59,90	5,04	64,53	35,47	0,01575	0,0504
0,2	120,51	10,14	74,67	25,33	0,01	0,1014
0,16	67,59	5,69	80,36	19,64	0,008	0,0569
0,125	95,35	8,02	88,38	11,62	0,00625	0,0802
0,08	89,46	7,53	95,90	4,10	0,004	0,0753
0,063	22,46	1,89	97,79	2,21	0,00315	0,0189
fond	26,26	2,21	100,00	0,00		
somme	1188,77					

Tableau VI-22: Influence de la 4^{ème} couche sur la 1^{ère} couche après 50 coups

Tamis	Poids refus partiel (gr)	Refus partiels %	Refus cumulés %	Passant %	r/rl	M(R/r)/MT
25	0,00	0,00	0,00	100,00		
20	69,19	5,82	5,82	94,18	1	0,0582
16	140,38	11,81	17,64	82,36	0,8	0,1181
12,5	95,15	8,01	25,64	74,36	0,625	0,0801
10	82,67	6,96	32,60	67,40	0,5	0,0696
8	67,59	5,69	38,29	61,71	0,4	0,0569
6,3	70,09	5,90	44,19	55,81	0,315	0,0590
5	50,82	4,28	48,46	51,54	0,25	0,0428
4	42,93	3,61	52,07	47,93	0,2	0,0361
3,15	31,15	2,62	54,70	45,30	0,1575	0,0262
2,5	17,87	1,50	56,20	43,80	0,125	0,0150
2	12,68	1,07	57,27	42,73	0,1	0,0107
1,6	7,39	0,62	57,89	42,11	0,08	0,0062
1	13,38	1,13	59,01	40,99	0,05	0,0113
0,315	62,00	5,22	64,23	35,77	0,01575	0,0522
0,2	139,78	11,76	75,99	24,01	0,01	0,1176
0,16	66,30	5,58	81,57	18,43	0,008	0,0558
0,125	88,76	7,47	89,04	10,96	0,00625	0,0747
0,08	88,67	7,46	96,50	3,50	0,004	0,0746
0,063	20,17	1,70	98,20	1,80	0,00315	0,0170
fond	21,37	1,80	100,00	0,00		
somme	1188,31					

Tableau VI-23 : Analyse granulométrique de la 2^{ème} couche après 50 coups

Tamis	Poids refus partiel (gr)	Refus partiels %	Refus cumulés %	Passant %	r/rl	M(R/r)/MT
25	0	0	0	100		
20	227,94	19,40	19,40	80,60	1	0,1940
16	154,35	13,14	32,54	67,46	0,8	0,1314
12,5	182,41	15,53	48,06	51,94	0,625	0,1553
10	87,76	7,47	55,53	44,47	0,5	0,0747
8	73,58	6,26	61,79	38,21	0,4	0,0626
6,3	52,32	4,45	66,25	33,75	0,315	0,0445
5	44,53	3,79	70,04	29,96	0,25	0,0379
4	41,03	3,49	73,53	26,47	0,2	0,0349
3,15	26,76	2,28	75,81	24,19	0,1575	0,0228
2,5	11,98	1,02	76,83	23,17	0,125	0,0102
2	9,98	0,85	77,68	22,32	0,1	0,0085
1,6	5,69	0,48	78,16	21,84	0,08	0,0048
1	10,98	0,93	79,10	20,90	0,05	0,0093
0,315	41,03	3,49	82,59	17,41	0,01575	0,0349
0,2	58,71	5,00	87,58	12,42	0,01	0,0500
0,16	35,84	3,05	90,64	9,36	0,008	0,0305
0,125	47,72	4,06	94,70	5,30	0,00625	0,0406
0,08	42,93	3,65	98,35	1,65	0,004	0,0365
0,063	9,98	0,85	99,20	0,80	0,00315	0,0085
fond	9,39	0,80	100,00	0,00		
somme	1174,92					

Tableau VI-24: Influence de la 3^{ème} couche sur la 2^{ème} couche après 50 coups

Tamis	Poids refus partiel (gr)	Refus partiels %	Refus cumulés %	Passant %	r/rl	M(R/r)/MT
25	0,00	0,00	0,00	100,00		
20	225,04	18,96	18,96	81,04	1	0,1896
16	147,26	12,41	31,36	68,64	0,8	0,1241
12,5	150,16	12,65	44,01	55,99	0,625	0,1265
10	103,04	8,68	52,69	47,31	0,5	0,0868
8	66,99	5,64	58,33	41,67	0,4	0,0564
6,3	51,72	4,36	62,69	37,31	0,315	0,0436
5	42,23	3,56	66,25	33,75	0,25	0,0356
4	36,64	3,09	69,34	30,66	0,2	0,0309
3,15	28,16	2,37	71,71	28,29	0,1575	0,0237
2,5	14,98	1,26	72,97	27,03	0,125	0,0126
2	10,18	0,86	73,83	26,17	0,1	0,0086
1,6	5,99	0,50	74,33	25,67	0,08	0,0050
1	11,08	0,93	75,27	24,73	0,05	0,0093
0,315	42,13	3,55	78,81	21,19	0,01575	0,0355
0,2	69,69	5,87	84,68	15,32	0,01	0,0587
0,16	44,93	3,78	88,47	11,53	0,008	0,0378
0,125	58,91	4,96	93,43	6,57	0,00625	0,0496
0,08	54,71	4,61	98,04	1,96	0,004	0,0461
0,063	11,48	0,97	99,01	0,99	0,00315	0,0097
fond	11,78	0,99	100,00	0,00		
somme	1187,10					

Tableau VI-25: Influence de la 4^{ème} couche sur la 2^{ème} couche après 50 coups

Tamis	Poids refus partiel (gr)	Refus partiels %	Refus cumulés %	Passant %	r/rl	M(R/r)/MT
25	0	0	0	100		
20	214,06	18,09	18,09	81,91	1	0,1809
16	163,84	13,85	31,94	68,06	0,8	0,1385
12,5	144,97	12,25	44,19	55,81	0,625	0,1225
10	98,94	8,36	52,56	47,44	0,5	0,0836
8	63,70	5,38	57,94	42,06	0,4	0,0538
6,3	49,62	4,19	62,14	37,86	0,315	0,0419
5	43,33	3,66	65,80	34,20	0,25	0,0366
4	34,05	2,88	68,68	31,32	0,2	0,0288
3,15	26,96	2,28	70,95	29,05	0,1575	0,0228
2,5	13,48	1,14	72,09	27,91	0,125	0,0114
2	9,88	0,84	72,93	27,07	0,1	0,0084
1,6	5,89	0,50	73,43	26,57	0,08	0,0050
1	10,38	0,88	74,30	25,70	0,05	0,0088
0,315	42,33	3,58	77,88	22,12	0,01575	0,0358
0,2	73,28	6,19	84,08	15,92	0,01	0,0619
0,16	46,63	3,94	88,02	11,98	0,008	0,0394
0,125	62,30	5,27	93,28	6,72	0,00625	0,0527
0,08	53,91	4,56	97,84	2,16	0,004	0,0456
0,063	13,08	1,11	98,95	1,05	0,00315	0,0111
fond	12,48	1,05	100,00	0,00		
somme	1183,11					

Etalement granulométrique du gré après une énergie de compactage de 50 coups

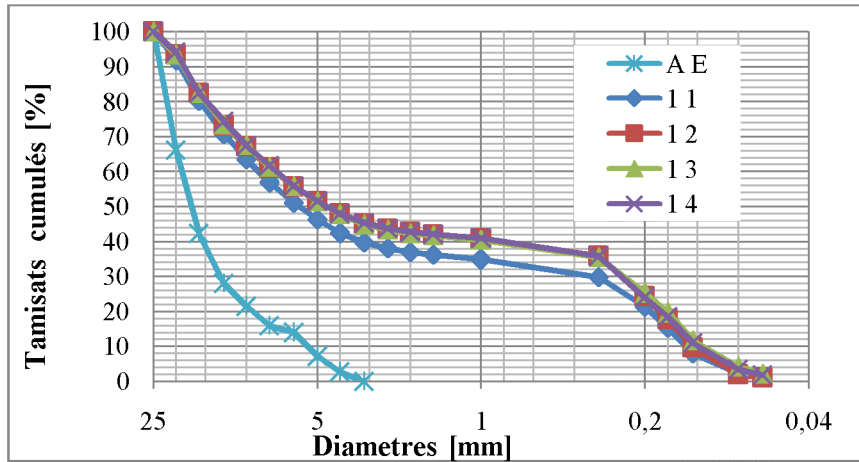


Figure VI-24 : Influence des couches supérieures sur la 1^{ère} couche

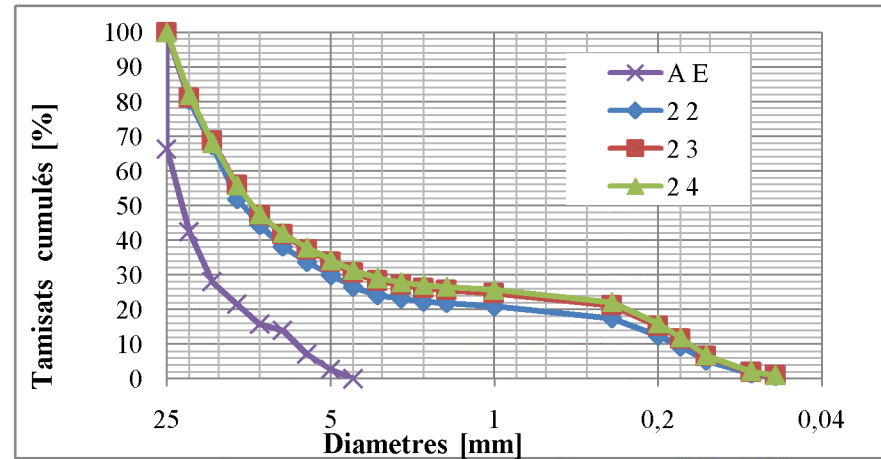


Figure VI-25 : Influence des couches supérieures sur la 2^{ème} couche

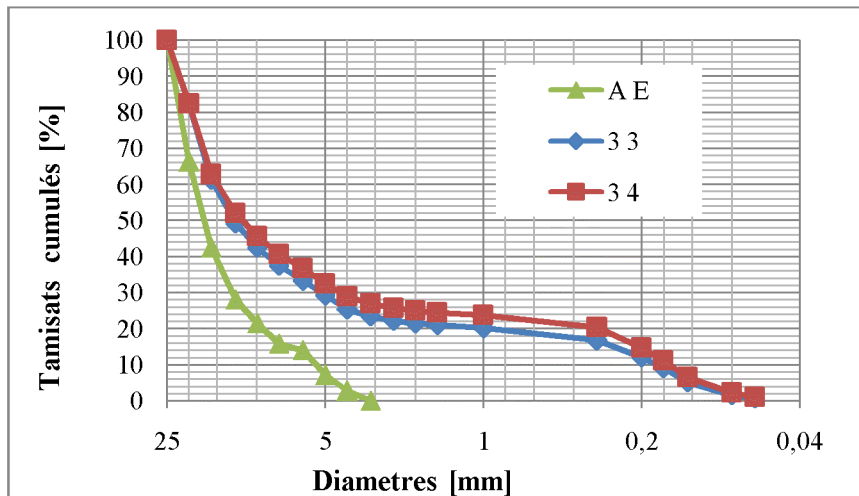


Figure VI-26 : Influence des couches supérieures sur la 3^{ème} couche

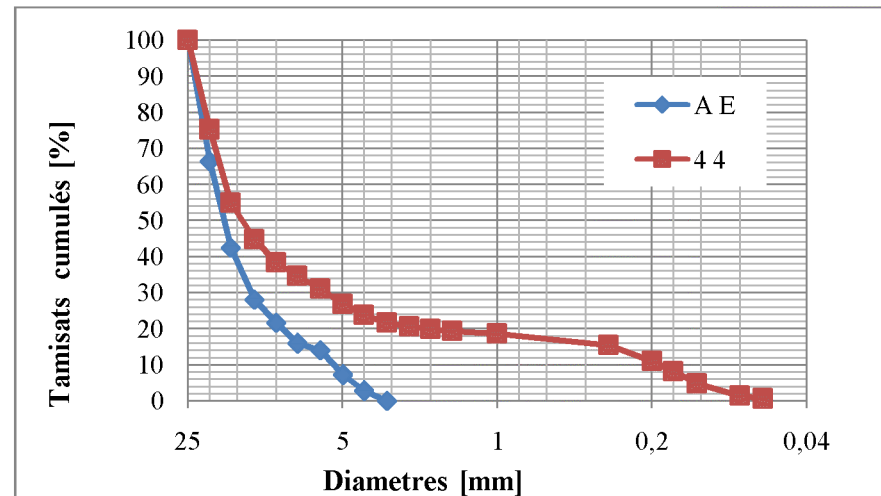


Figure VI-27 : Etalement granulométrique de la 4^{ème} couche

Les courbes obtenues après le calcul de la DF avec la méthode des masses sur l'influence des couches supérieures la 1^{ère}, 2^{ème}, 3^{ème} et 4^{ème} après 50 coups

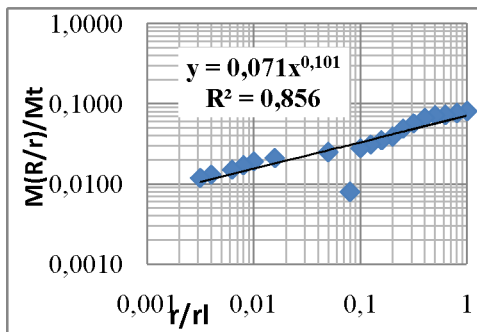


Figure VI-28 : 1^{ère} couche après essais

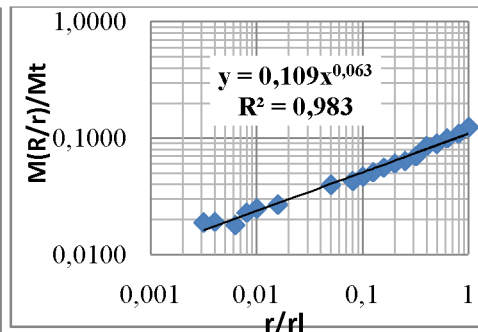


Figure VI-29 : Influence 2^{ème} sur la 1^{ère}

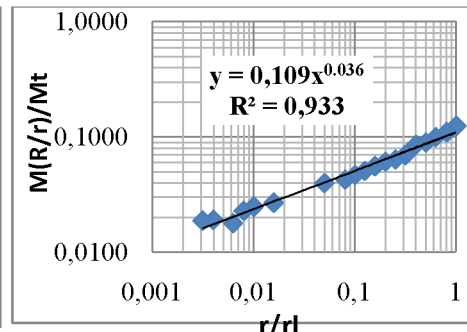


Figure VI-30 : Influence 3^{ème} sur la 1^{ère}

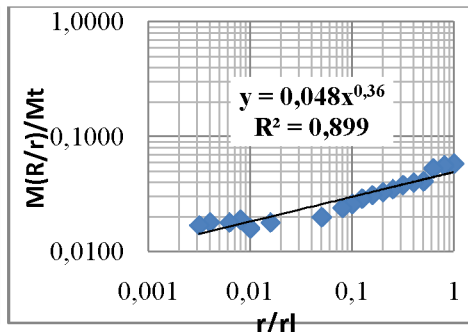


Figure VI-31 : Influence 4^{ème} sur la 1^{ère}

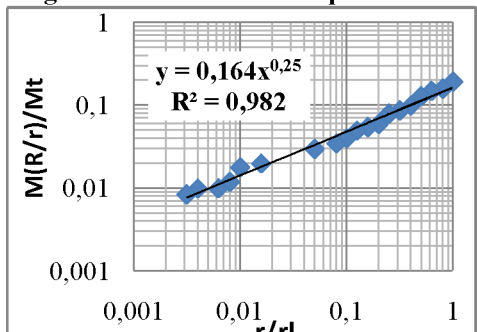


Figure VI-32 : 2^{ème} couche après essais

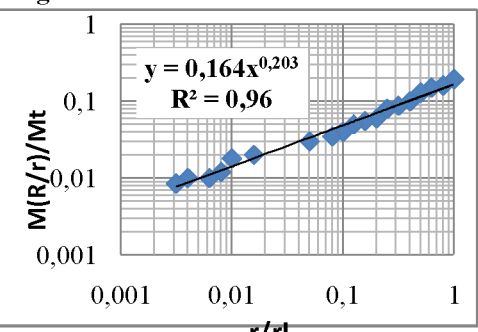


Figure VI-33 : Influence 3^{ème} sur la 2^{ème}

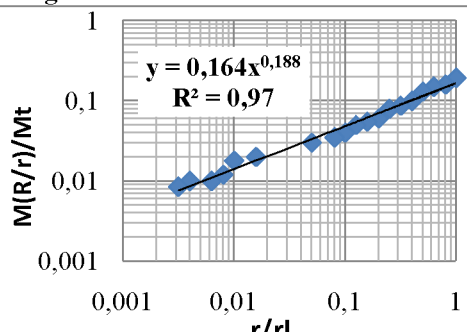


Figure VI-34 : Influence 4^{ème} sur la 2^{ème}

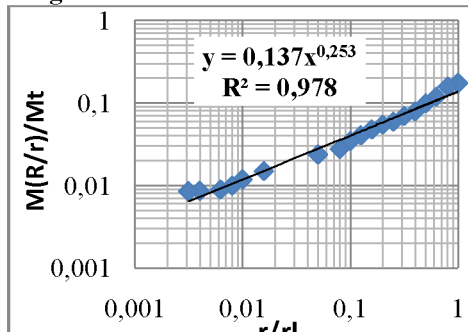


Figure VI-35 : 3^{ème} couche après essais

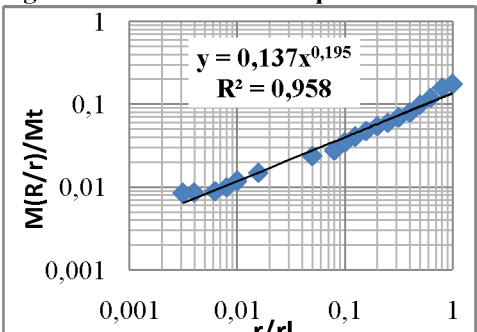


Figure VI-36 : Influence 4^{ème} sur la 3^{ème}

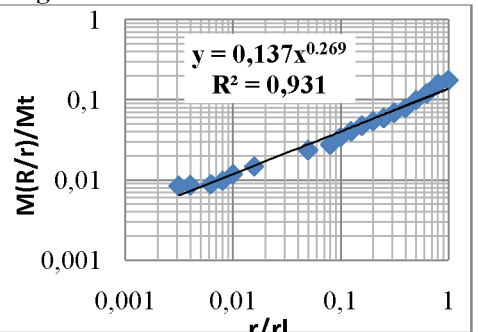
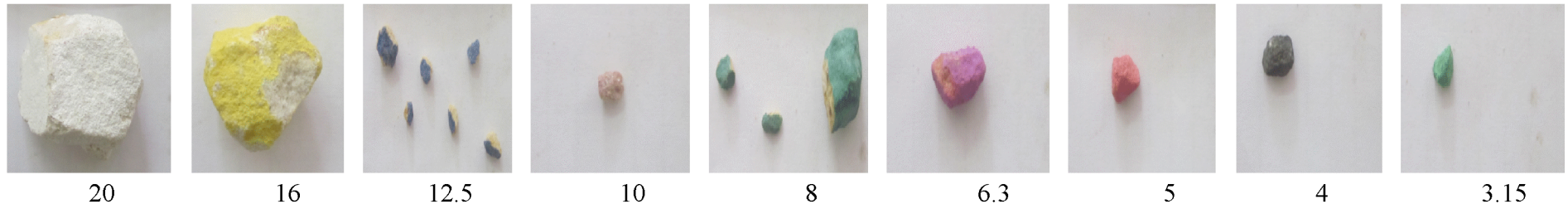
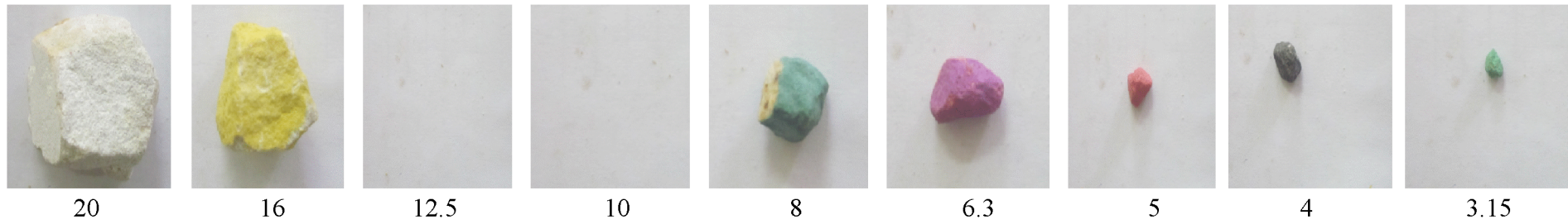


Figure VI-37 : 4^{ème} couche après essais

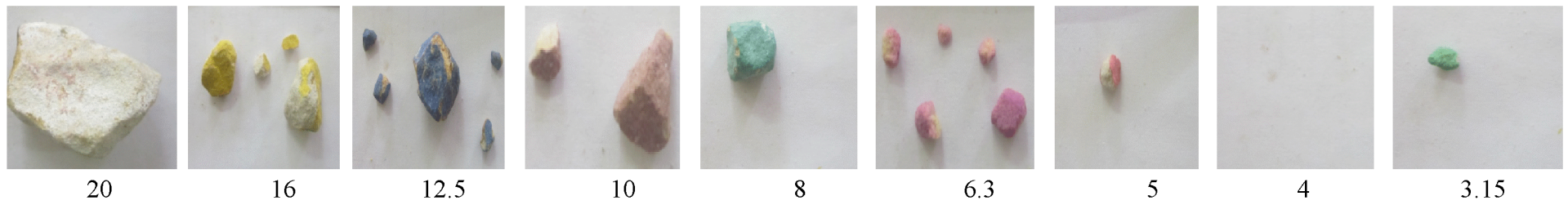
1^{ère} couche après 50 coups



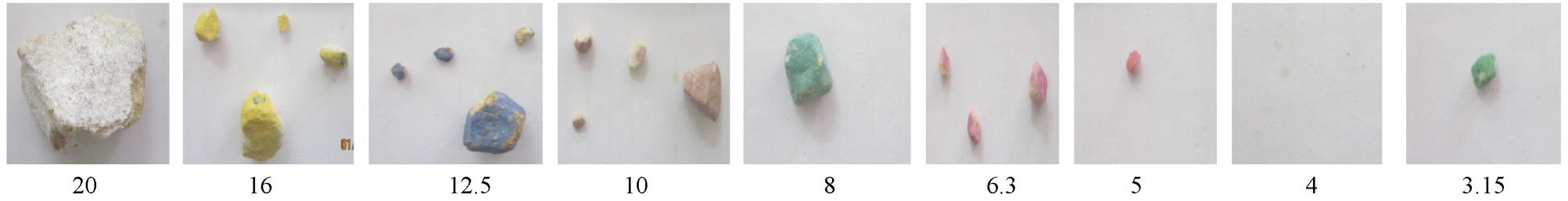
Influence de la 2^{ème} couche sur la 1^{ère} couche après 50 coups



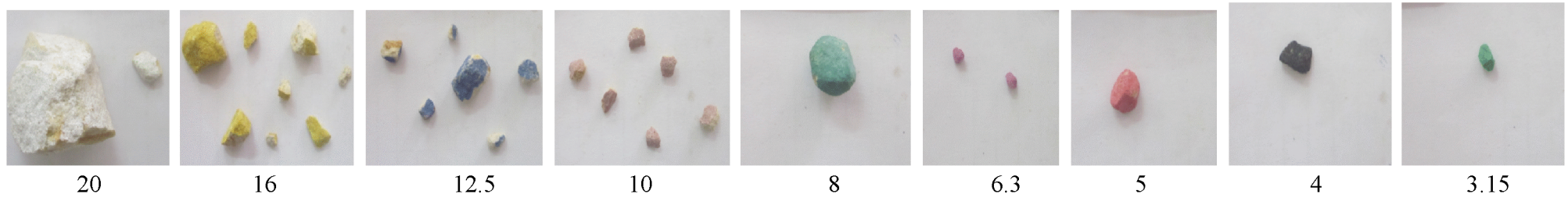
2^{ème} couche après 50 coups



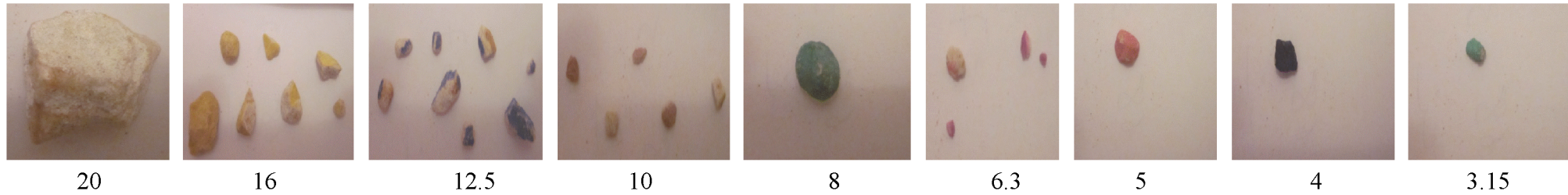
Influence de la 3^{ème} couche sur la 2^{ème} couche après 50 coups



3^{ème} couche après 50 coups



Influence de la 4^{ème} couche sur la 3^{ème} couche après 50 coups



4^{ème} couche après 50 coups

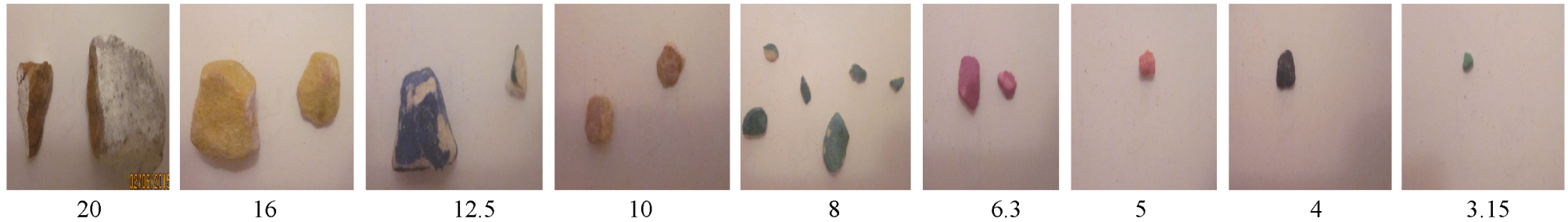


Tableau VI-26 : Analyse granulométrique de la 1^{ère} couche après 75 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0,00	0,00	0,00	100,00		
20	55,61	4,72	4,72	95,28	1	0,0472
16	91,75	7,79	12,51	87,49	0,8	0,0779
12,5	99,34	8,43	20,94	79,06	0,625	0,0843
10	96,95	8,23	29,16	70,84	0,5	0,0823
8	76,39	6,48	35,64	64,36	0,4	0,0648
6,3	65,30	5,54	41,18	58,82	0,315	0,0554
5	56,21	4,77	45,95	54,05	0,25	0,0477
4	46,83	3,97	49,93	50,07	0,2	0,0397
3,15	34,94	2,97	52,89	47,11	0,1575	0,0297
2,5	20,27	1,72	54,61	45,39	0,125	0,0172
2	13,18	1,12	55,73	44,27	0,1	0,0112
1,6	8,19	0,69	56,43	43,57	0,08	0,0069
1	13,38	1,14	57,56	42,44	0,05	0,0114
0,315	58,11	4,93	62,49	37,51	0,01575	0,0493
0,2	123,50	10,48	72,97	27,03	0,01	0,1048
0,16	78,77	6,68	79,66	20,34	0,008	0,0668
0,125	92,95	7,89	87,55	12,45	0,00625	0,0789
0,08	94,75	8,04	95,59	4,41	0,004	0,0804
0,063	23,96	2,03	97,62	2,38	0,00315	0,0203
fond	28,06	2,38	100,00	0,00		
somme	1178,42					

Tableau VI-27: Influence de la 2^{ème} couche sur la 1^{ère} couche après 75 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0	0	0	100		
20	55,71	4,70	4,70	95,30	1	0,0470
16	92,05	7,77	12,47	87,53	0,8	0,0777
12,5	145,97	12,32	24,79	75,21	0,625	0,1232
10	84,67	7,14	31,93	68,07	0,5	0,0714
8	88,86	7,50	39,43	60,57	0,4	0,0750
6,3	68,19	5,75	45,18	54,82	0,315	0,0575
5	54,71	4,62	49,80	50,20	0,25	0,0462
4	44,33	3,74	53,54	46,46	0,2	0,0374
3,15	35,54	3,00	56,54	43,46	0,1575	0,0300
2,5	20,77	1,75	58,29	41,71	0,125	0,0175
2	14,28	1,20	59,49	40,51	0,1	0,0120
1,6	8,89	0,75	60,24	39,76	0,08	0,0075
1	14,48	1,22	61,47	38,53	0,05	0,0122
0,315	59,51	5,02	66,49	33,51	0,01575	0,0502
0,2	110,82	9,35	75,84	24,16	0,01	0,0935
0,16	79,47	6,71	82,54	17,46	0,008	0,0671
0,125	79,57	6,71	89,26	10,74	0,00625	0,0671
0,08	83,27	7,03	96,28	3,72	0,004	0,0703
0,063	19,17	1,62	97,90	2,10	0,00315	0,0162
fond	24,86	2,10	100,00	0,00		
somme	1185,11					

Tableau VI-27: Influence de la 3^{ème} couche sur la 1^{ère} couche après 75 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0	0	0	100		
20	67,29	5,75	5,75	94,25	1	0,0575
16	88,26	7,54	13,29	86,71	0,8	0,0754
12,5	96,65	8,26	21,54	78,46	0,625	0,0826
10	83,07	7,10	28,64	71,36	0,5	0,0710
8	73,48	6,28	34,91	65,09	0,4	0,0628
6,3	63,70	5,44	40,35	59,65	0,315	0,0544
5	56,91	4,86	45,22	54,78	0,25	0,0486
4	44,03	3,76	48,98	51,02	0,2	0,0376
3,15	33,75	2,88	51,86	48,14	0,1575	0,0288
2,5	19,77	1,69	53,55	46,45	0,125	0,0169
2	12,38	1,06	54,60	45,40	0,1	0,0106
1,6	7,89	0,67	55,28	44,72	0,08	0,0067
1	11,18	0,96	56,23	43,77	0,05	0,0096
0,315	53,91	4,61	60,84	39,16	0,01575	0,0461
0,2	126,10	10,77	71,61	28,39	0,01	0,1077
0,16	74,09	6,33	77,94	22,06	0,008	0,0633
0,125	103,83	8,87	86,81	13,19	0,00625	0,0887
0,08	97,34	8,31	95,12	4,88	0,004	0,0831
0,063	27,96	2,39	97,51	2,49	0,00315	0,0239
fond	29,15	2,49	100,00	0,00		
somme	1170,73					

Tableau VI-28: Influence de la 4^{ème} couche sur la 1^{ère} couche après 75 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0,00	0,00	0,00	100,00		
20	53,61	4,59	4,59	95,41	1	0,0459
16	86,96	7,45	12,04	87,96	0,8	0,0745
12,5	97,64	8,36	20,40	79,60	0,625	0,0836
10	84,76	7,26	27,66	72,34	0,5	0,0726
8	81,07	6,94	34,60	65,40	0,4	0,0694
6,3	62,50	5,35	39,95	60,05	0,315	0,0535
5	58,31	4,99	44,94	55,06	0,25	0,0499
4	43,63	3,74	48,68	51,32	0,2	0,0374
3,15	33,55	2,87	51,55	48,45	0,1575	0,0287
2,5	20,67	1,77	53,32	46,68	0,125	0,0177
2	12,08	1,03	54,36	45,64	0,1	0,0103
1,6	7,09	0,61	54,96	45,04	0,08	0,0061
1	11,18	0,96	55,92	44,08	0,05	0,0096
0,315	52,92	4,53	60,45	39,55	0,01575	0,0453
0,2	137,98	11,81	72,27	27,73	0,01	0,1181
0,16	76,48	6,55	78,82	21,18	0,008	0,0655
0,125	104,03	8,91	87,72	12,28	0,00625	0,0891
0,08	95,25	8,16	95,88	4,12	0,004	0,0816
0,063	23,86	2,04	97,92	2,08	0,00315	0,0204
fond	24,26	2,08	100,00	0,00		
somme	1167,83					

Tableau VI-29 : Analyse granulométrique de la 2^{ème} couche après 75coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0,00	0,00	0,00	100,00		
20	225,94	17,79	17,79	82,21	1	0,1779
16	142,67	11,23	29,02	70,98	0,8	0,1123
12,5	165,74	13,05	42,07	57,93	0,625	0,1305
10	93,45	7,36	49,43	50,57	0,5	0,0736
8	58,71	4,62	54,05	45,95	0,4	0,0462
6,3	61,70	4,86	58,91	41,09	0,315	0,0486
5	50,52	3,98	62,88	37,12	0,25	0,0398
4	48,02	3,78	66,66	33,34	0,2	0,0378
3,15	32,15	2,53	69,20	30,80	0,1575	0,0253
2,5	15,18	1,19	70,39	29,61	0,125	0,0119
2	10,48	0,83	71,22	28,78	0,1	0,0083
1,6	7,09	0,56	71,77	28,23	0,08	0,0056
1	9,98	0,79	72,56	27,44	0,05	0,0079
0,315	45,53	3,58	76,14	23,86	0,01575	0,0358
0,2	75,88	5,97	82,12	17,88	0,01	0,0597
0,16	54,31	4,28	86,39	13,61	0,008	0,0428
0,125	66,79	5,26	91,65	8,35	0,00625	0,0526
0,08	66,89	5,27	96,92	3,08	0,004	0,0527
0,063	16,97	1,34	98,25	1,75	0,00315	0,0134
fond	22,17	1,75	100,00	0,00		
somme	1270,17					

Tableau VI-30: Influence de la 3^{ème} couche sur la 2^{ème} couche après 75 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0,00	0,00	0,00	100,00		
20	213,46	16,89	16,89	83,11	1	0,1689
16	126,30	9,99	26,89	73,11	0,8	0,0999
12,5	158,15	12,51	39,40	60,60	0,625	0,1251
10	95,35	7,55	46,95	53,05	0,5	0,0755
8	77,08	6,10	53,05	46,95	0,4	0,0610
6,3	62,90	4,98	58,02	41,98	0,315	0,0498
5	47,13	3,73	61,75	38,25	0,25	0,0373
4	46,73	3,70	65,45	34,55	0,2	0,0370
3,15	31,95	2,53	67,98	32,02	0,1575	0,0253
2,5	16,27	1,29	69,27	30,73	0,125	0,0129
2	10,88	0,86	70,13	29,87	0,1	0,0086
1,6	7,09	0,56	70,69	29,31	0,08	0,0056
1	9,78	0,77	71,46	28,54	0,05	0,0077
0,315	45,43	3,59	75,06	24,94	0,01575	0,0359
0,2	80,07	6,34	81,39	18,61	0,01	0,0634
0,16	54,51	4,31	85,71	14,29	0,008	0,0431
0,125	70,09	5,55	91,25	8,75	0,00625	0,0555
0,08	74,08	5,86	97,12	2,88	0,004	0,0586
0,063	15,08	1,19	98,31	1,69	0,00315	0,0119
fond	21,37	1,69	100,00	0,00		
somme	1263,68					

Tableau VI-30: Influence de la 4^{ème} couche sur la 2^{ème} couche après 75 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0,00	0,00	0,00	100,00		
20	214,16	16,94	16,94	83,06	1	0,1694
16	147,07	11,63	28,57	71,43	0,8	0,1163
12,5	147,26	11,65	40,22	59,78	0,625	0,1165
10	94,15	7,45	47,66	52,34	0,5	0,0745
8	66,49	5,26	52,92	47,08	0,4	0,0526
6,3	61,40	4,86	57,78	42,22	0,315	0,0486
5	46,43	3,67	61,45	38,55	0,25	0,0367
4	44,53	3,52	64,97	35,03	0,2	0,0352
3,15	29,25	2,31	67,29	32,71	0,1575	0,0231
2,5	18,07	1,43	68,72	31,28	0,125	0,0143
2	10,08	0,80	69,51	30,49	0,1	0,0080
1,6	6,39	0,51	70,02	29,98	0,08	0,0051
1	9,79	0,77	70,79	29,21	0,05	0,0077
0,315	45,63	3,61	74,40	25,60	0,01575	0,0361
0,2	82,77	6,55	80,95	19,05	0,01	0,0655
0,16	58,71	4,64	85,59	14,41	0,008	0,0464
0,125	75,28	5,95	91,54	8,46	0,00625	0,0595
0,08	75,78	5,99	97,54	2,46	0,004	0,0599
0,063	15,28	1,21	98,75	1,25	0,00315	0,0121
fond	15,86	1,25	100,00	0,00		
somme	1264,36					

Tableau VI-31 : Analyse granulométrique de la 3^{ème} couche après 75coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0	0	0	100		
20	185,90	15,68	15,68	84,32	1	0,1568
16	190,80	16,09	31,76	68,24	0,8	0,1609
12,5	135,48	11,42	43,19	56,81	0,625	0,1142
10	70,79	5,97	49,16	50,84	0,5	0,0597
8	64,60	5,45	54,61	45,39	0,4	0,0545
6,3	51,12	4,31	58,92	41,08	0,315	0,0431
5	53,02	4,47	63,39	36,61	0,25	0,0447
4	40,44	3,41	66,80	33,20	0,2	0,0341
3,15	26,76	2,26	69,05	30,95	0,1575	0,0226
2,5	14,08	1,19	70,24	29,76	0,125	0,0119
2	11,98	1,01	71,25	28,75	0,1	0,0101
1,6	6,99	0,59	71,84	28,16	0,08	0,0059
1	11,18	0,94	72,78	27,22	0,05	0,0094
0,315	48,22	4,07	76,85	23,15	0,01575	0,0407
0,2	79,77	6,73	83,57	16,43	0,01	0,0673
0,16	52,62	4,44	88,01	11,99	0,008	0,0444
0,125	56,61	4,77	92,78	7,22	0,00625	0,0477
0,08	56,31	4,75	97,53	2,47	0,004	0,0475
0,063	14,08	1,19	98,72	1,28	0,00315	0,0119
fond	15,18	1,28	100,00	0,00		
somme	1185,90					

Tableau VI-32: Influence de la 4^{ème} couche sur la 3^{ème} couche après 75 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0	0	0	100		
20	170,83	14,40	14,40	85,60	1	0,1440
16	199,28	16,80	31,20	68,80	0,8	0,1680
12,5	124,90	10,53	41,73	58,27	0,625	0,1053
10	69,59	5,87	47,60	52,40	0,5	0,0587
8	55,41	4,67	52,27	47,73	0,4	0,0467
6,3	48,22	4,07	56,34	43,66	0,315	0,0407
5	48,92	4,12	60,46	39,54	0,25	0,0412
4	38,34	3,23	63,70	36,30	0,2	0,0323
3,15	26,16	2,21	65,90	34,10	0,1575	0,0221
2,5	16,37	1,38	67,28	32,72	0,125	0,0138
2	10,88	0,92	68,20	31,80	0,1	0,0092
1,6	6,49	0,55	68,75	31,25	0,08	0,0055
1	10,88	0,92	69,66	30,34	0,05	0,0092
0,315	45,33	3,82	73,48	26,52	0,01575	0,0382
0,2	87,56	7,38	80,87	19,13	0,01	0,0738
0,16	55,81	4,71	85,57	14,43	0,008	0,0471
0,125	67,69	5,71	91,28	8,72	0,00625	0,0571
0,08	66,29	5,59	96,87	3,13	0,004	0,0559
0,063	17,67	1,49	98,36	1,64	0,00315	0,0149
fond	19,47	1,64	100,00	0,00		
somme	1186,11					

Tableau VI-33 : Analyse granulométrique de la 4^{ème} couche après 75coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0,00	0,00	0,00	100,00		
20	246,51	20,73	20,73	79,27	1	0,2073
16	175,42	14,75	35,49	64,51	0,8	0,1475
12,5	126,50	10,64	46,13	53,87	0,625	0,1064
10	73,38	6,17	52,30	47,70	0,5	0,0617
8	62,00	5,21	57,52	42,48	0,4	0,0521
6,3	50,52	4,25	61,77	38,23	0,315	0,0425
5	45,63	3,84	65,60	34,40	0,25	0,0384
4	39,84	3,35	68,95	31,05	0,2	0,0335
3,15	25,26	2,12	71,08	28,92	0,1575	0,0212
2,5	14,88	1,25	72,33	27,67	0,125	0,0125
2	10,48	0,88	73,21	26,79	0,1	0,0088
1,6	6,99	0,59	73,80	26,20	0,08	0,0059
1	10,88	0,92	74,71	25,29	0,05	0,0092
0,315	47,62	4,01	78,72	21,28	0,01575	0,0401
0,2	74,28	6,25	84,97	15,03	0,01	0,0625
0,16	46,53	3,91	88,88	11,12	0,008	0,0391
0,125	56,71	4,77	93,65	6,35	0,00625	0,0477
0,08	55,21	4,64	98,30	1,70	0,004	0,0464
0,063	9,88	0,83	99,13	0,87	0,00315	0,0083
fond	10,38	0,87	100,00	0,00		
somme	1188,90					

Étalement granulométrique du gré après une énergie de compactage de 75 coups

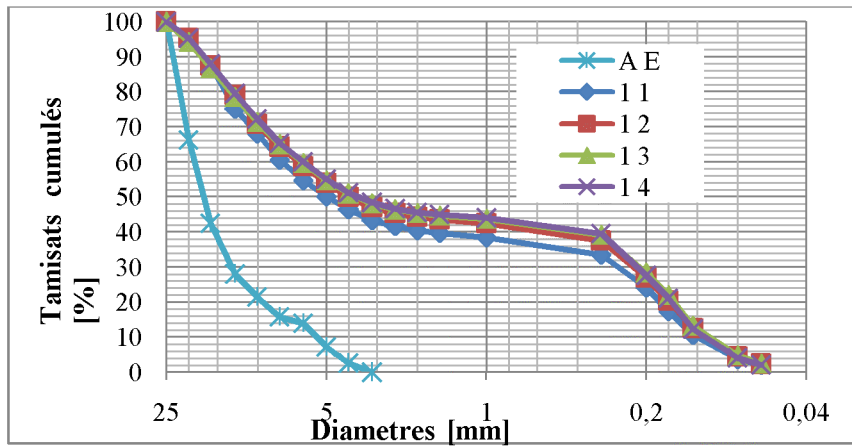


Figure VI-38 : Influence des couches supérieures sur la 1^{ère} couche

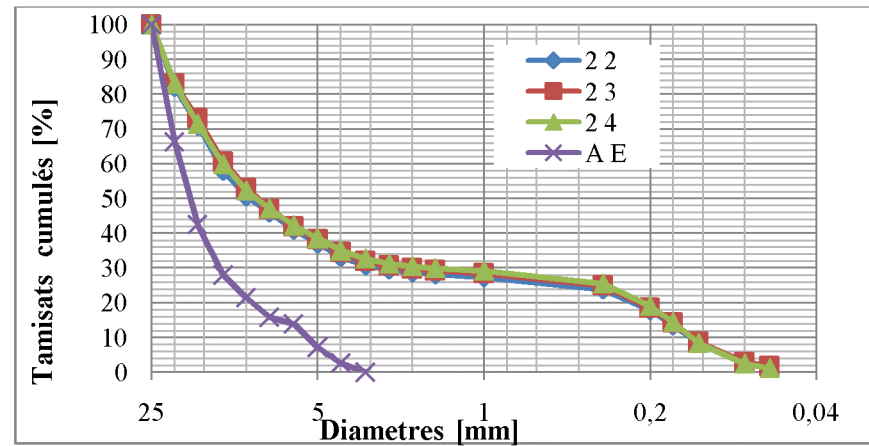


Figure VI-39 : Influence des couches supérieures sur la 2^{ème} couche

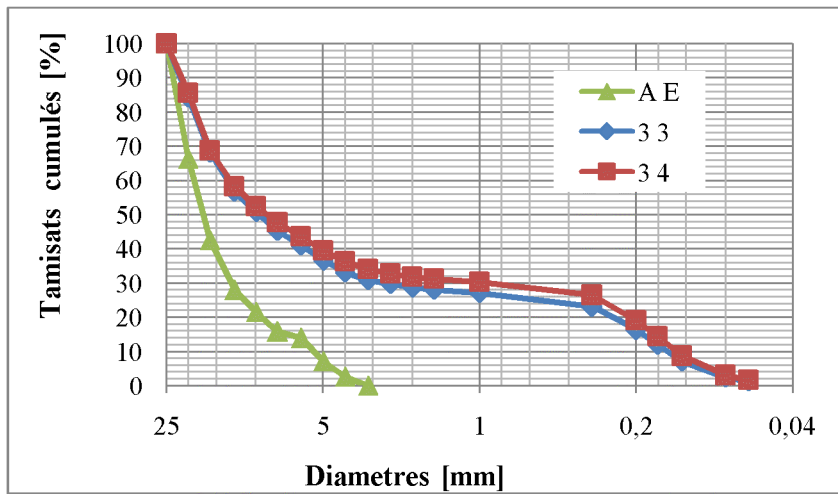


Figure VI-40 : Influence des couches supérieures sur la 3^{ème} couche

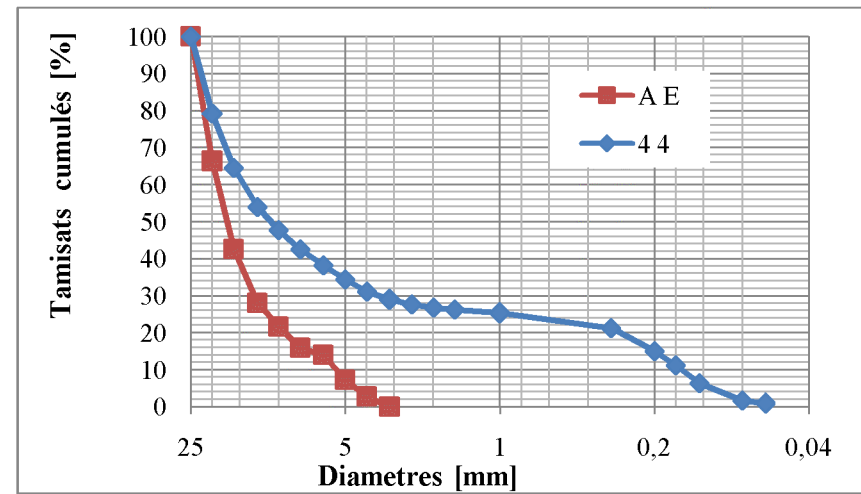


Figure VI-41 : Etalement granulométrique de la 4^{ème} couche

Les courbes obtenues après le calcul de la DF avec la méthode des masses sur l'influence des couches supérieures la 1^{ère}, 2^{ème}, 3^{ème} et 4^{ème} après 75 coups

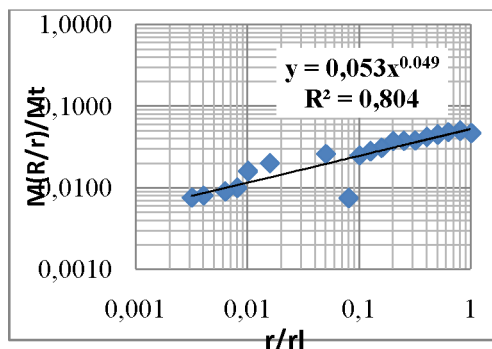


Figure VI-42 : 1^{ère} couche après essais

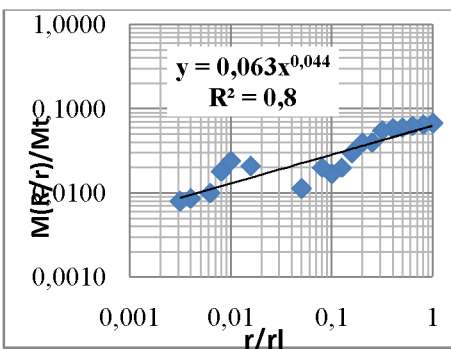


Figure VI-43 : Influence 2^{ème} sur la 1^{ère}

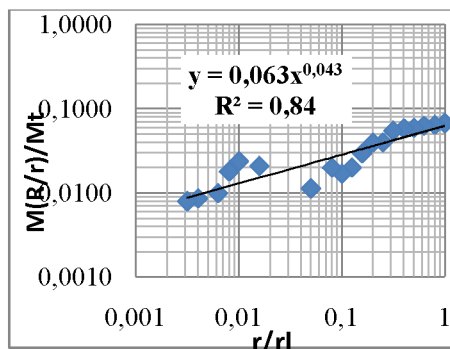


Figure VI-44 : Influence 3^{ème} sur la 1^{ère}

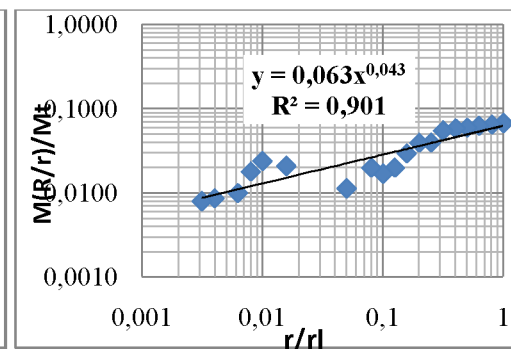


Figure VI-45 : Influence 4^{ème} sur la 1^{ère}

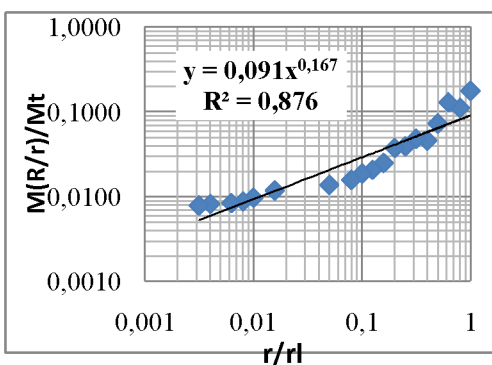


Figure VI-46 : 2^{ème} couche après essais

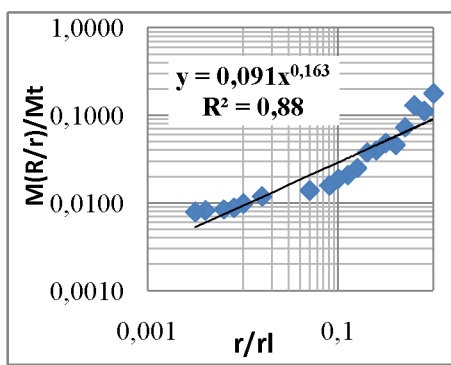


Figure VI-47 : Influence 3^{ème} sur la 2^{ème}

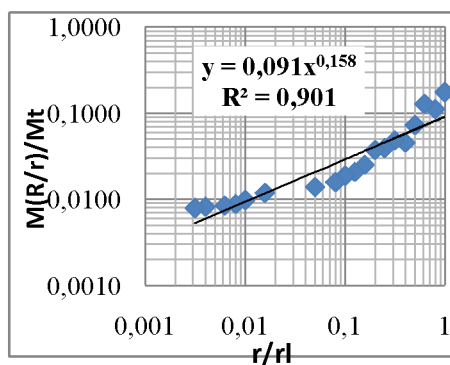


Figure VI-48 : Influence 4^{ème} sur la 2^{ème}

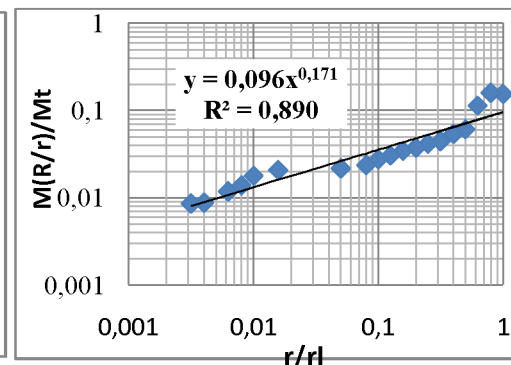


Figure VI-49 : 3^{ème} couche après essais

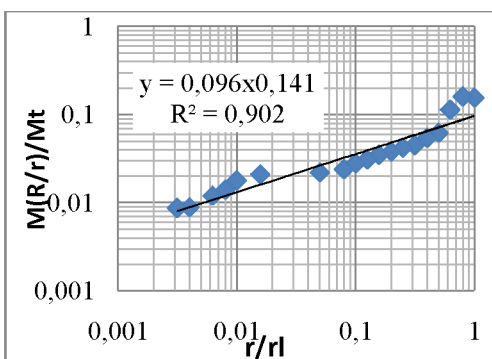


Figure VI-50 : Influence 4^{ème} sur la 3^{ème}

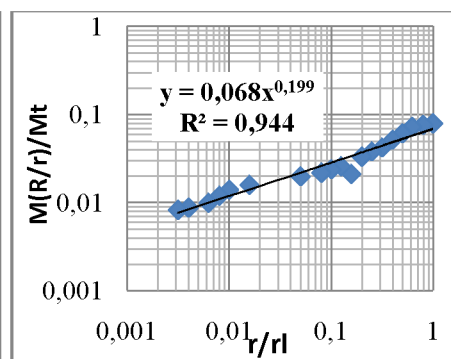
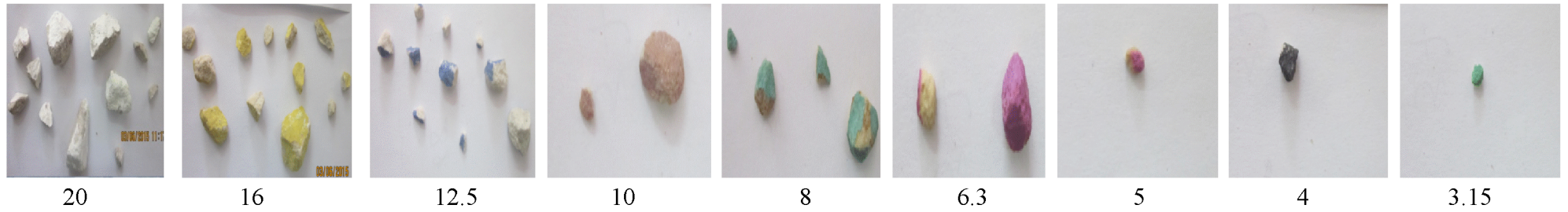
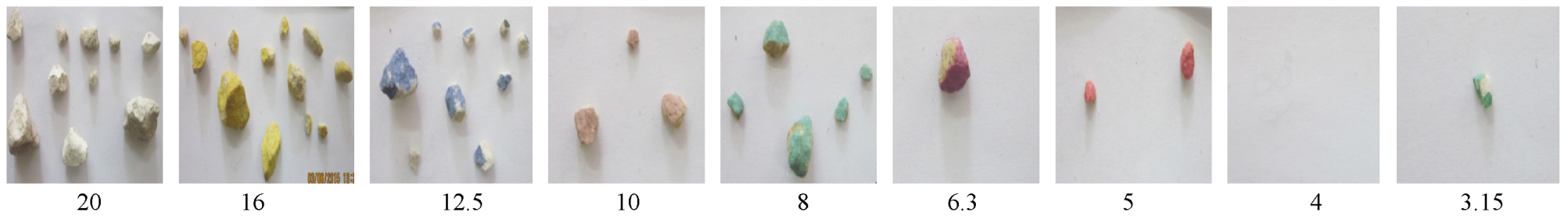


Figure VI-51 : 3^{ème} couche après essais

1^{ere} couche après 75 coups



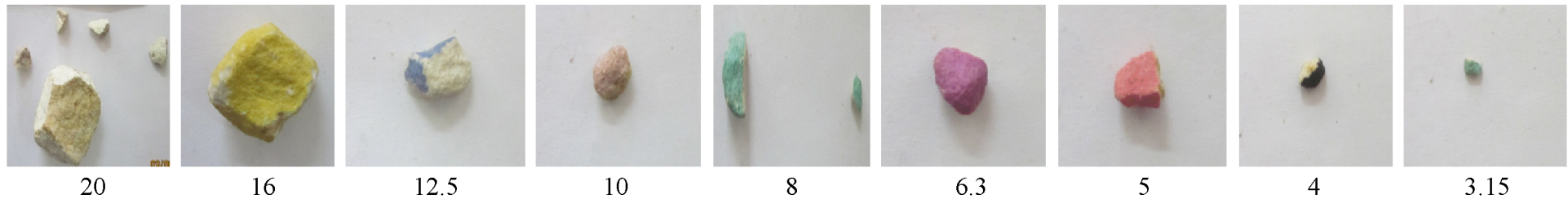
Influence de la 2^{eme} couche sur la 1^{ere} couche après 75 coups



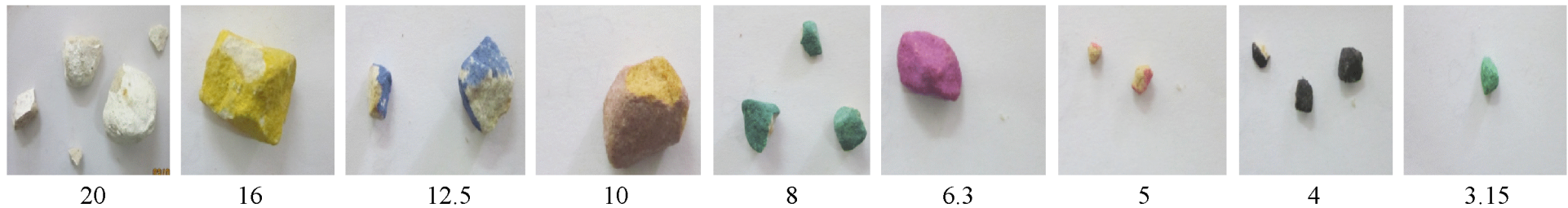
2^{eme} couche après 75 coups



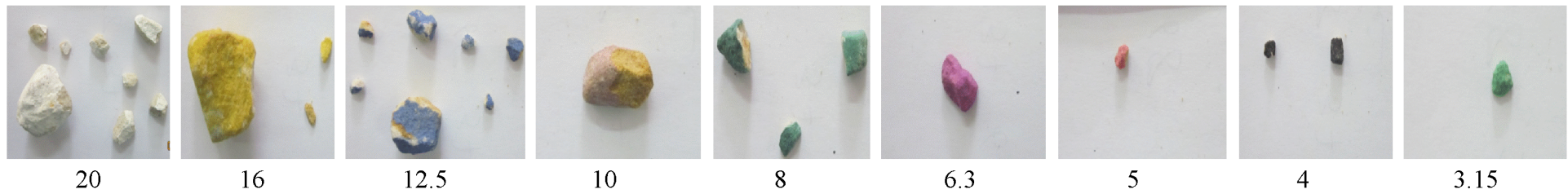
Influence de la 3^{ème} couche sur la 2^{ème} couche après 75 coups



3^{ème} couche après 75 coups



Influence de la 4^{ème} couche sur la 3^{ème} couche après 75 coups



4^{ème} couche après 75 coups

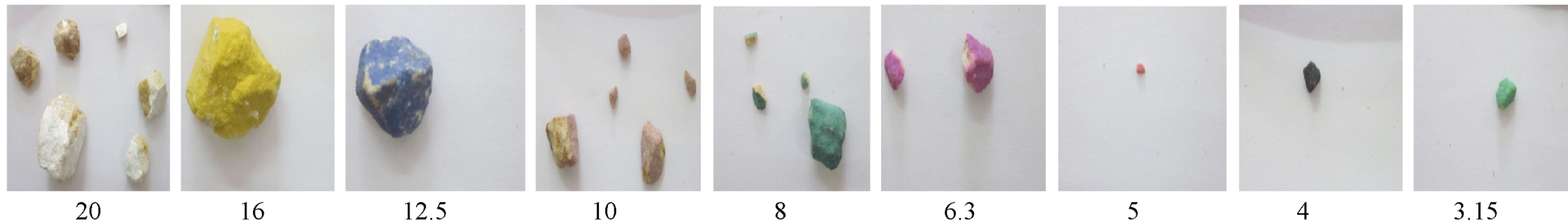


Tableau VI-34 : Analyse granulométrique de la 1^{ère} couche après 100 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0,00	0,00	0,00	100,00		
20	38,04	3,20	3,20	96,80	1	0,0320
16	83,87	7,06	10,26	89,74	0,8	0,0706
12,5	70,39	5,93	16,19	83,81	0,625	0,0593
10	79,27	6,67	22,86	77,14	0,5	0,0667
8	65,99	5,56	28,42	71,58	0,4	0,0556
6,3	48,12	4,05	32,47	67,53	0,315	0,0405
5	54,41	4,58	37,05	62,95	0,25	0,0458
4	53,61	4,51	41,57	58,43	0,2	0,0451
3,15	34,35	2,89	44,46	55,54	0,1575	0,0289
2,5	22,36	1,88	46,34	53,66	0,125	0,0188
2	16,87	1,42	47,76	52,24	0,1	0,0142
1,6	10,28	0,87	48,63	51,37	0,08	0,0087
1	15,08	1,27	49,89	50,11	0,05	0,0127
0,315	71,99	6,06	55,96	44,04	0,01575	0,0606
0,2	146,17	12,31	68,26	31,74	0,01	0,1231
0,16	95,55	8,04	76,30	23,70	0,008	0,0804
0,125	116,51	9,81	86,11	13,89	0,00625	0,0981
0,08	107,83	9,08	95,19	4,81	0,004	0,0908
0,063	25,36	2,13	97,33	2,67	0,00315	0,0213
fond	31,75	2,67	100,00	0,00		
somme	1187,80					

Tableau VI-35: Influence de la 2^{ème} couche sur la 1^{ère} couche après 100 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0	0	0	100		
20	38,04	3,22	3,22	96,78	1	0,0322
16	59,31	5,01	8,23	91,77	0,8	0,0501
12,5	79,07	6,69	14,92	85,08	0,625	0,0669
10	77,58	6,56	21,48	78,52	0,5	0,0656
8	63,50	5,37	26,84	73,16	0,4	0,0537
6,3	46,83	3,96	30,80	69,20	0,315	0,0396
5	55,11	4,66	35,46	64,54	0,25	0,0466
4	48,02	4,06	39,52	60,48	0,2	0,0406
3,15	32,15	2,72	42,24	57,76	0,1575	0,0272
2,5	21,97	1,86	44,10	55,90	0,125	0,0186
2	13,88	1,17	45,27	54,73	0,1	0,0117
1,6	9,29	0,79	46,06	53,94	0,08	0,0079
1	13,28	1,12	47,18	52,82	0,05	0,0112
0,315	66,69	5,64	52,82	47,18	0,01575	0,0564
0,2	149,66	12,65	65,47	34,53	0,01	0,1265
0,16	100,04	8,46	73,93	26,07	0,008	0,0846
0,125	132,39	11,19	85,13	14,87	0,00625	0,1119
0,08	109,63	9,27	94,39	5,61	0,004	0,0927
0,063	33,55	2,84	97,23	2,77	0,00315	0,0284
fond	32,75	2,77	100,00	0,00		
somme	1182,71					

Tableau VI-36: Influence de la 3^{ème} couche sur la 1^{ère} couche après 100 coups **Tableau VI-37:** Influence de la 4^{ème} couche sur la 1^{ère} couche après 100 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0	0	0	100		
20	37,94	3,22	3,22	96,78	1	0,0322
16	66,19	5,62	8,84	91,16	0,8	0,0562
12,5	68,79	5,84	14,68	85,32	0,625	0,0584
10	76,98	6,53	21,21	78,79	0,5	0,0653
8	63,40	5,38	26,59	73,41	0,4	0,0538
6,3	49,62	4,21	30,81	69,19	0,315	0,0421
5	52,52	4,46	35,26	64,74	0,25	0,0446
4	50,42	4,28	39,54	60,46	0,2	0,0428
3,15	31,25	2,65	42,19	57,81	0,1575	0,0265
2,5	20,47	1,74	43,93	56,07	0,125	0,0174
2	13,78	1,17	45,10	54,90	0,1	0,0117
1,6	8,99	0,76	45,86	54,14	0,08	0,0076
1	13,18	1,12	46,98	53,02	0,05	0,0112
0,315	65,20	5,53	52,52	47,48	0,01575	0,0553
0,2	152,36	12,93	65,45	34,55	0,01	0,1293
0,16	109,82	9,32	74,77	25,23	0,008	0,0932
0,125	149,06	12,65	87,42	12,58	0,00625	0,1265
0,08	112,62	9,56	96,98	3,02	0,004	0,0956
0,063	25,06	2,13	99,11	0,89	0,00315	0,0213
fond	10,48	0,89	100,00	0,00		
somme	1178,12					

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0,00	0,00	0,00	100,00		
20	37,94	3,16	3,16	96,84	1	0,0316
16	65,80	5,49	8,65	91,35	0,8	0,0549
12,5	75,08	6,26	14,91	85,09	0,625	0,0626
10	74,68	6,23	21,13	78,87	0,5	0,0623
8	60,50	5,04	26,18	73,82	0,4	0,0504
6,3	46,43	3,87	30,05	69,95	0,315	0,0387
5	55,71	4,64	34,69	65,31	0,25	0,0464
4	47,22	3,94	38,63	61,37	0,2	0,0394
3,15	33,45	2,79	41,42	58,58	0,1575	0,0279
2,5	19,77	1,65	43,07	56,93	0,125	0,0165
2	13,78	1,15	44,22	55,78	0,1	0,0115
1,6	8,79	0,73	44,95	55,05	0,08	0,0073
1	12,88	1,07	46,02	53,98	0,05	0,0107
0,315	67,49	5,63	51,65	48,35	0,01575	0,0563
0,2	154,65	12,89	64,54	35,46	0,01	0,1289
0,16	104,73	8,73	73,28	26,72	0,008	0,0873
0,125	153,48	12,80	86,07	13,93	0,00625	0,1280
0,08	109,33	9,11	95,19	4,81	0,004	0,0911
0,063	27,36	2,28	97,47	2,53	0,00315	0,0228
fond	30,36	2,53	100,00	0,00		
somme	1199,41					

Tableau VI-38 : Analyse granulométrique de la 2^{ème} couche après 100 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0	0	0	100		
20	197,28	16,73	16,73	83,27	1	0,1673
16	185,70	15,75	32,48	67,52	0,8	0,1575
12,5	58,41	4,95	37,43	62,57	0,625	0,0495
10	66,19	5,61	43,04	56,96	0,5	0,0561
8	57,61	4,88	47,93	52,07	0,4	0,0488
6,3	52,62	4,46	52,39	47,61	0,315	0,0446
5	51,82	4,39	56,78	43,22	0,25	0,0439
4	43,33	3,67	60,46	39,54	0,2	0,0367
3,15	30,45	2,58	63,04	36,96	0,1575	0,0258
2,5	17,47	1,48	64,52	35,48	0,125	0,0148
2	12,58	1,07	65,59	34,41	0,1	0,0107
1,6	6,69	0,57	66,15	33,85	0,08	0,0057
1	11,78	1,00	67,15	32,85	0,05	0,0100
0,315	47,03	3,99	71,14	28,86	0,01575	0,0399
0,2	90,76	7,70	78,84	21,16	0,01	0,0770
0,16	63,30	5,37	84,20	15,80	0,008	0,0537
0,125	73,28	6,21	90,42	9,58	0,00625	0,0621
0,08	72,78	6,17	96,59	3,41	0,004	0,0617
0,063	19,37	1,64	98,23	1,77	0,00315	0,0164
fond	20,87	1,77	100,00	0,00		
somme	1179,32					

Tableau VI-39: Influence de la 3^{ème} couche sur la 2^{ème} couche après 100 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0,00	0,00	0,00	100,00		
20	177,02	14,97	14,97	85,03	1	0,1497
16	198,28	16,76	31,73	68,27	0,8	0,1676
12,5	53,81	4,55	36,28	63,72	0,625	0,0455
10	58,11	4,91	41,19	58,81	0,5	0,0491
8	58,81	4,97	46,16	53,84	0,4	0,0497
6,3	46,63	3,94	50,11	49,89	0,315	0,0394
5	47,13	3,98	54,09	45,91	0,25	0,0398
4	39,04	3,30	57,39	42,61	0,2	0,0330
3,15	27,56	2,33	59,72	40,28	0,1575	0,0233
2,5	18,67	1,58	61,30	38,70	0,125	0,0158
2	12,18	1,03	62,33	37,67	0,1	0,0103
1,6	6,09	0,51	62,84	37,16	0,08	0,0051
1	10,98	0,93	63,77	36,23	0,05	0,0093
0,315	45,73	3,87	67,64	32,36	0,01575	0,0387
0,2	100,94	8,53	76,17	23,83	0,01	0,0853
0,16	63,60	5,38	81,55	18,45	0,008	0,0538
0,125	90,76	7,67	89,22	10,78	0,00625	0,0767
0,08	83,07	7,02	96,24	3,76	0,004	0,0702
0,063	20,47	1,73	97,97	2,03	0,00315	0,0173
fond	23,96	2,03	100,00	0,00		
somme	1182,81					

Tableau VI-40 : Analyse granulométrique de la 3^{ème} couche après 100 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0	0	0	100		
20	179,61	15,17	15,17	84,83	1	0,1517
16	164,44	13,88	29,05	70,95	0,8	0,1388
12,5	109,43	9,24	38,29	61,71	0,625	0,0924
10	52,92	4,47	42,76	57,24	0,5	0,0447
8	61,10	5,16	47,92	52,08	0,4	0,0516
6,3	49,42	4,17	52,09	47,91	0,315	0,0417
5	44,43	3,75	55,84	44,16	0,25	0,0375
4	43,23	3,65	59,49	40,51	0,2	0,0365
3,15	27,26	2,30	61,79	38,21	0,1575	0,0230
2,5	19,97	1,69	63,48	36,52	0,125	0,0169
2	12,68	1,07	64,55	35,45	0,1	0,0107
1,6	8,09	0,68	65,23	34,77	0,08	0,0068
1	11,48	0,97	66,20	33,80	0,05	0,0097
0,315	51,72	4,37	70,57	29,43	0,01575	0,0437
0,2	95,15	8,03	78,60	21,40	0,01	0,0803
0,16	62,40	5,27	83,87	16,13	0,008	0,0527
0,125	78,08	6,59	90,47	9,53	0,00625	0,0659
0,08	76,58	6,47	96,93	3,07	0,004	0,0647
0,063	15,78	1,33	98,26	1,74	0,00315	0,0133
fond	20,57	1,74	100,00	0,00		
somme	1184,31					

Tableau VI-41: Influence de la 4^{ème} couche sur la 3^{ème} couche après 100 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0	0	0	100		
20	173,72	14,74	14,74	85,26	1	0,1474
16	147,86	12,55	27,29	72,71	0,8	0,1255
12,5	119,01	10,10	37,38	62,62	0,625	0,1010
10	48,52	4,12	41,50	58,50	0,5	0,0412
8	56,41	4,79	46,29	53,71	0,4	0,0479
6,3	51,92	4,40	50,69	49,31	0,315	0,0440
5	45,33	3,85	54,54	45,46	0,25	0,0385
4	39,24	3,33	57,87	42,13	0,2	0,0333
3,15	27,56	2,34	60,20	39,80	0,1575	0,0234
2,5	17,27	1,47	61,67	38,33	0,125	0,0147
2	12,78	1,08	62,75	37,25	0,1	0,0108
1,6	7,19	0,61	63,36	36,64	0,08	0,0061
1	10,38	0,88	64,24	35,76	0,05	0,0088
0,315	46,73	3,96	68,21	31,79	0,01575	0,0396
0,2	97,74	8,29	76,50	23,50	0,01	0,0829
0,16	70,59	5,99	82,49	17,51	0,008	0,0599
0,125	84,47	7,17	89,66	10,34	0,00625	0,0717
0,08	81,17	6,89	96,54	3,46	0,004	0,0689
0,063	21,37	1,81	98,36	1,64	0,00315	0,0181
fond	19,37	1,64	100,00	0,00		
somme	1178,61					

Tableau VI-42 : Analyse granulométrique de la 4^{ème} couche après 100 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0	0	0	100		
20	182,81	15,69	15,69	84,31	1	0,1569
16	198,68	17,05	32,74	67,26	0,8	0,1705
12,5	101,64	8,72	41,47	58,53	0,625	0,0872
10	82,97	7,12	48,59	51,41	0,5	0,0712
8	65,30	5,60	54,19	45,81	0,4	0,0560
6,3	52,32	4,49	58,68	41,32	0,315	0,0449
5	48,22	4,14	62,82	37,18	0,25	0,0414
4	36,94	3,17	65,99	34,01	0,2	0,0317
3,15	30,05	2,58	68,57	31,43	0,1575	0,0258
2,5	15,08	1,29	69,86	30,14	0,125	0,0129
2	10,68	0,92	70,78	29,22	0,1	0,0092
1,6	6,19	0,53	71,31	28,69	0,08	0,0053
1	10,38	0,89	72,20	27,80	0,05	0,0089
0,315	46,43	3,98	76,19	23,81	0,01575	0,0398
0,2	78,38	6,73	82,91	17,09	0,01	0,0673
0,16	51,52	4,42	87,34	12,66	0,008	0,0442
0,125	66,59	5,72	93,05	6,95	0,00625	0,0572
0,08	59,21	5,08	98,13	1,87	0,004	0,0508
0,063	4,98	0,43	98,56	1,44	0,00315	0,0043
fond	16,77	1,44	100,00	0,00		
somme	1165,12					

Tableau VI-43: Influence de la 4^{ème} couche sur la 2^{ème} couche après 100 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0,00	0,00	0,00	100,00		
20	167,43	14,17	14,17	85,83	1	0,1417
16	206,37	17,47	31,63	68,37	0,8	0,1747
12,5	61,40	5,20	36,83	63,17	0,625	0,0520
10	50,52	4,28	41,11	58,89	0,5	0,0428
8	51,62	4,37	45,48	54,52	0,4	0,0437
6,3	49,42	4,18	49,66	50,34	0,315	0,0418
5	46,13	3,90	53,56	46,44	0,25	0,0390
4	40,14	3,40	56,96	43,04	0,2	0,0340
3,15	27,06	2,29	59,25	40,75	0,1575	0,0229
2,5	18,27	1,55	60,79	39,21	0,125	0,0155
2	11,18	0,95	61,74	38,26	0,1	0,0095
1,6	6,29	0,53	62,27	37,73	0,08	0,0053
1	10,58	0,90	63,17	36,83	0,05	0,0090
0,315	45,93	3,89	67,06	32,94	0,01575	0,0389
0,2	99,84	8,45	75,50	24,50	0,01	0,0845
0,16	66,69	5,64	81,15	18,85	0,008	0,0564
0,125	93,05	7,87	89,02	10,98	0,00625	0,0787
0,08	83,37	7,06	96,08	3,92	0,004	0,0706
0,063	22,07	1,87	97,95	2,05	0,00315	0,0187
fond	24,26	2,05	100,00	0,00		
somme	1181,61					

Étalement granulométrique du gré après une énergie de compactage de 100 coups

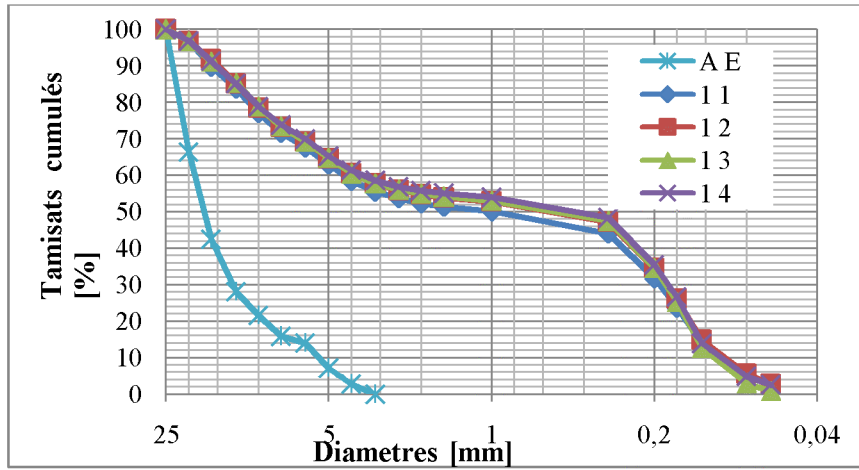


Figure VI-52 : Influence des couches supérieures sur la 1^{ère} couche

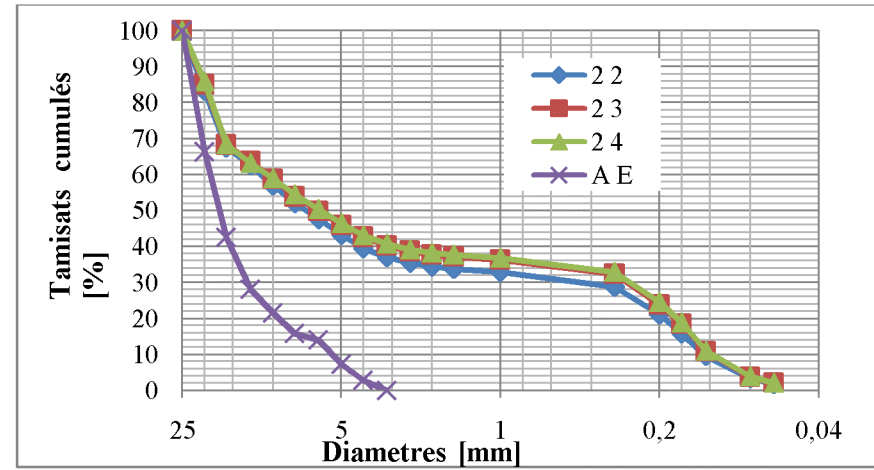


Figure VI-53 : Influence des couches supérieures sur la 2^{ème} couche

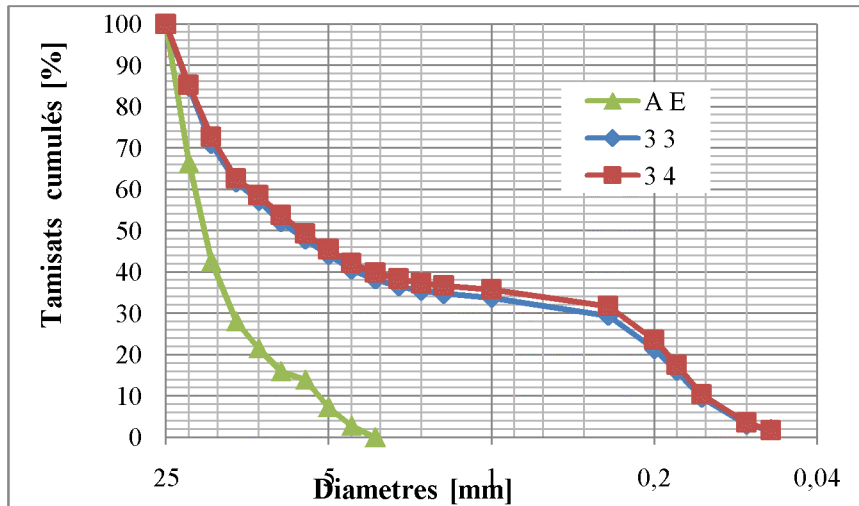


Figure VI-54 : Influence des couches supérieures sur la 3^{ème} couche

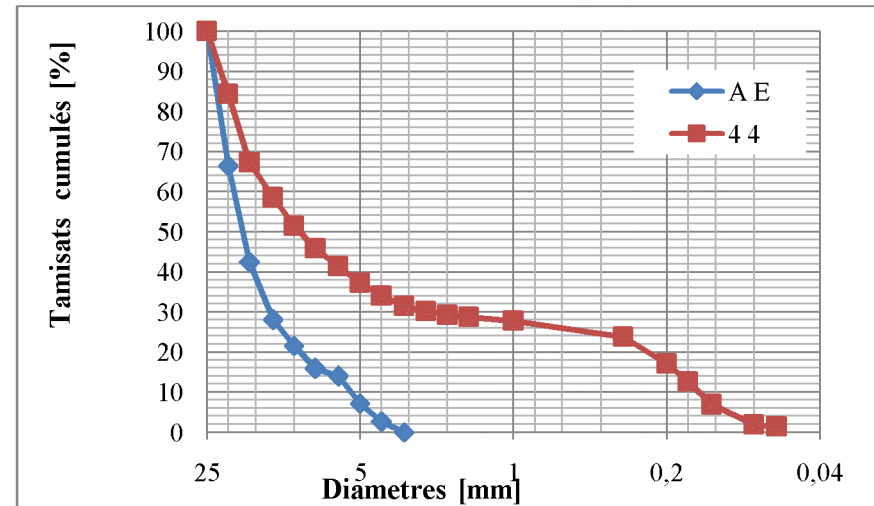


Figure VI-56 : Etalement granulométrique de la 4^{ème} couche

Les courbes obtenues après le calcul de la DF avec la méthode des masses sur l'influence des couches supérieures la 1^{ère}, 2^{ème}, 3^{ème} et 4^{ème} après 100 coups

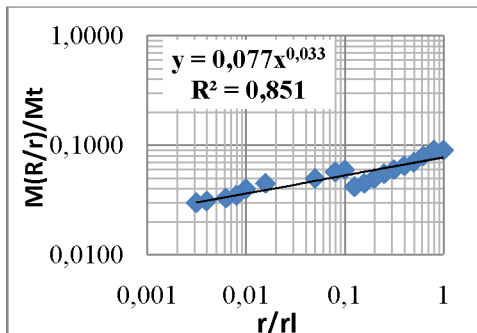


Figure VI-57 : 1^{ère} couche après essais

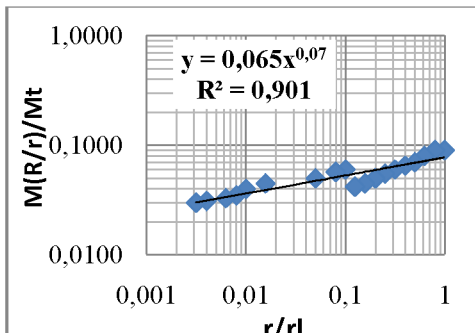


Figure VI-58 : Influence 2^{ème} sur la 1^{ère}

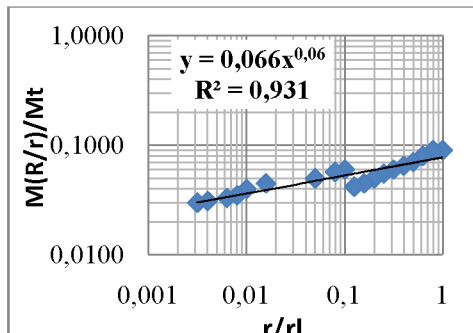


Figure VI-59 : Influence 3^{ème} sur la 1^{ère}

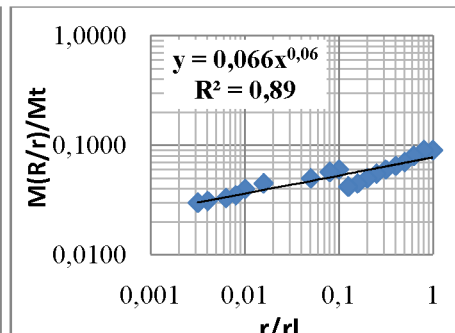


Figure VI-60 : Influence 4^{ème} sur la 1^{ère}

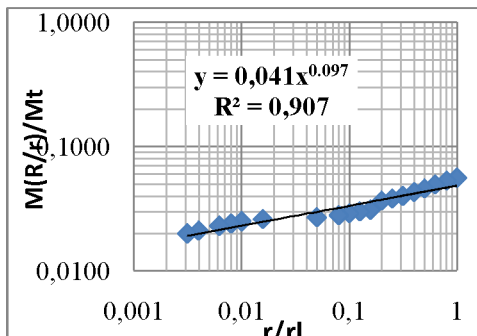


Figure VI-61 : 2^{ème} couche après essais

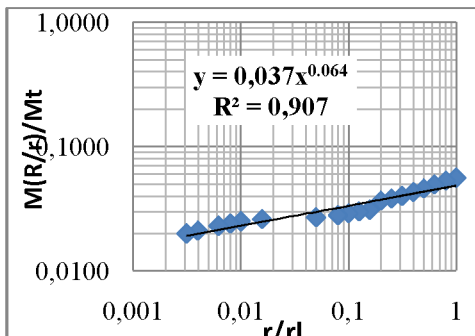


Figure VI-62 : Influence 3^{ème} sur la 2^{ème}

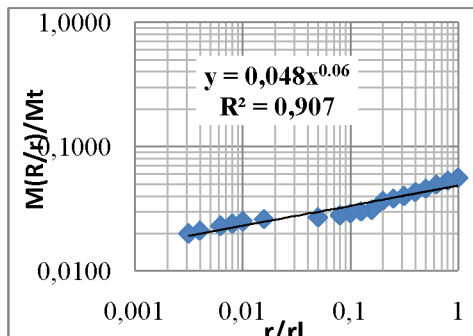


Figure VI-63 : Influence 4^{ème} sur la 2^{ème}

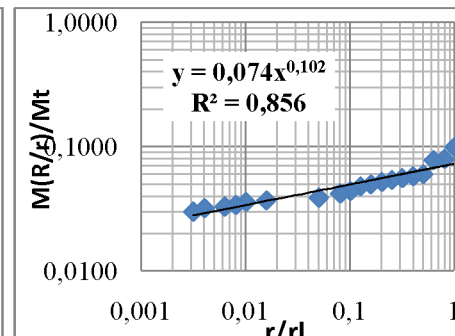


Figure VI-64 : 3^{ème} couche après essais

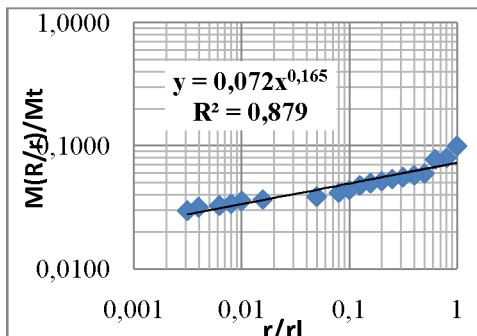


Figure VI-65 : Influence 4^{ème} sur la 3^{ème}

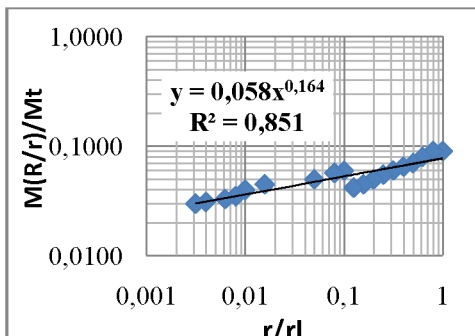
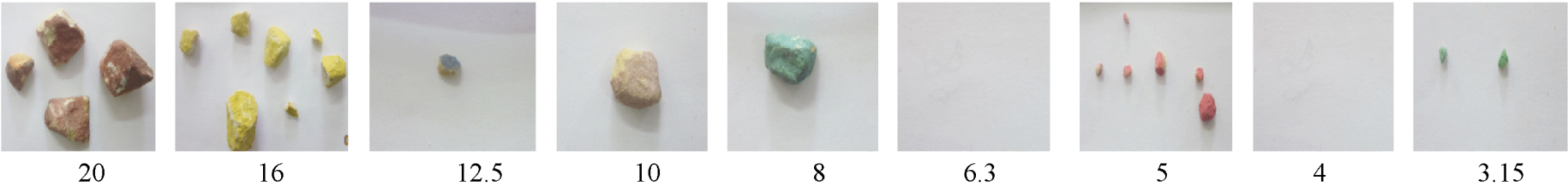
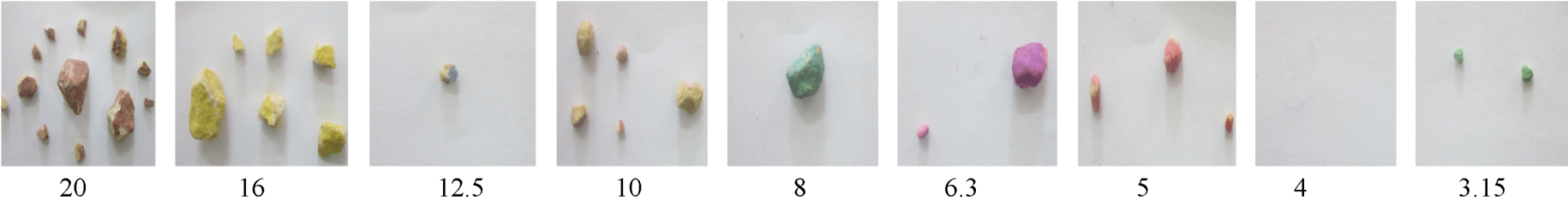


Figure VI-66 : 4^{ème} couche après essais

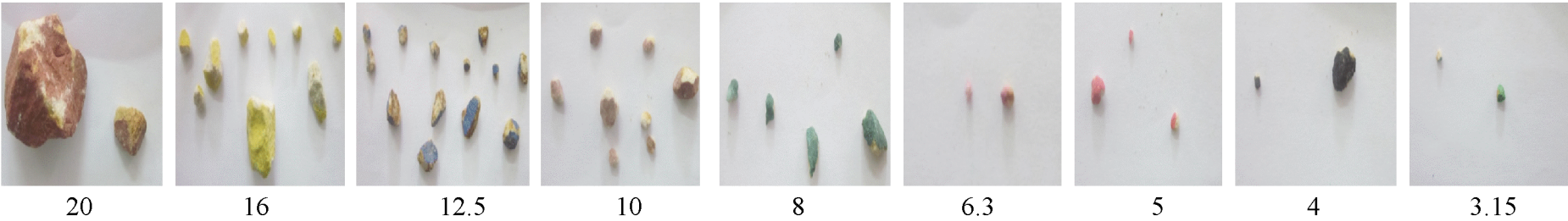
1^{ere} couche après 100 coups



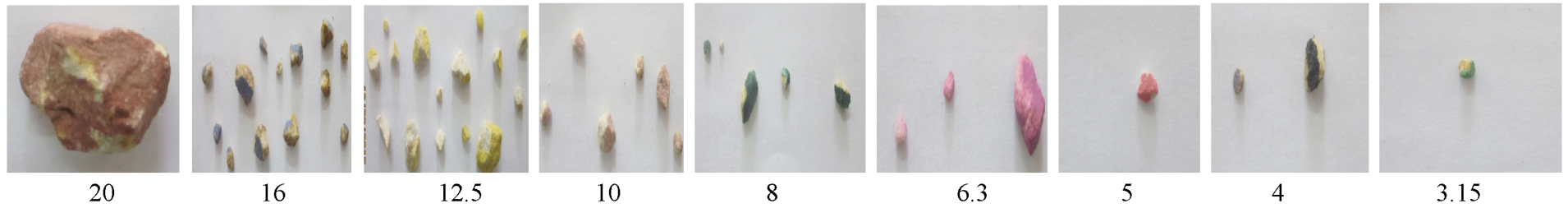
Influence de la 2^{eme} couche sur la 1^{ere} couche après 100 coups



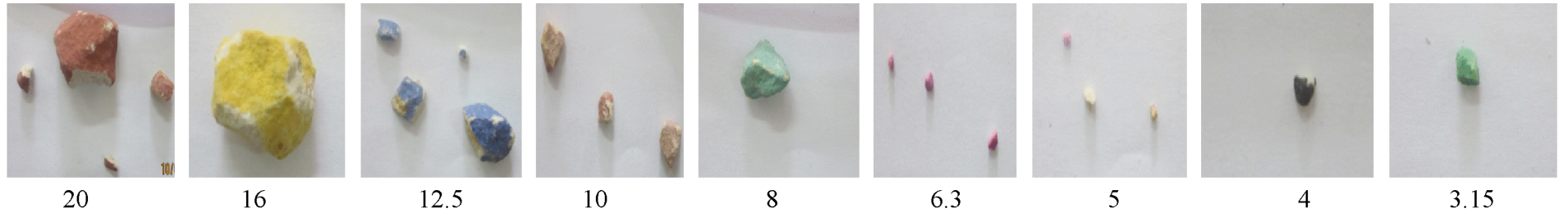
2^{eme} couche après 100 coups



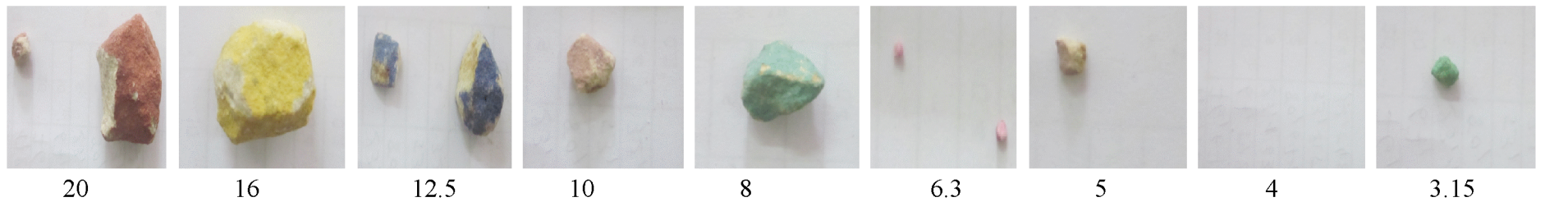
Influence de la 3^{ème} couche sur la 2^{ème} couche après 100 coups



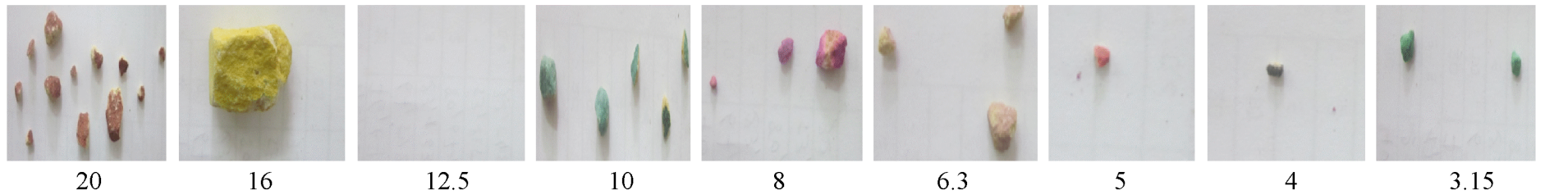
3^{ème} couche après 100 coups



Influence de la 4^{ème} couche sur la 3^{ème} couche après 100 coups



4^{ème} couche après 100 coups



Cas 2 le schiste

Tableau VI-44 : Analyse granulométrique de la 1^{ère} couche après 25

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0,00	0,00	0,00	100,00		
20	174,72	15,26	15,26	84,74	1	0,1526
16	173,42	15,15	30,41	69,59	0,8	0,1515
12,5	158,95	13,89	44,30	55,70	0,625	0,1389
10	121,61	10,62	54,92	45,08	0,5	0,1062
8	93,45	8,16	63,09	36,91	0,4	0,0816
6,3	71,59	6,25	69,34	30,66	0,315	0,0625
5	79,77	6,97	76,31	23,69	0,25	0,0697
4	53,22	4,65	80,96	19,04	0,2	0,0465
3,15	53,42	4,67	85,63	14,37	0,1575	0,0467
2,5	43,83	3,83	89,45	10,55	0,125	0,0383
2	20,27	1,77	91,23	8,77	0,1	0,0177
1,6	17,97	1,57	92,80	7,20	0,08	0,0157
1	26,96	2,36	95,15	4,85	0,05	0,0236
0,315	28,55	2,49	97,65	2,35	0,01575	0,0249
0,2	6,89	0,60	98,25	1,75	0,01	0,0060
0,16	2,30	0,20	98,45	1,55	0,008	0,0020
0,125	3,59	0,31	98,76	1,24	0,00625	0,0031
0,08	5,69	0,50	99,26	0,74	0,004	0,0050
0,063	3,79	0,33	99,59	0,41	0,00315	0,0033
fond	4,69	0,41	100,00	0,00		
somme	1144,67					

Tableau VI-45: Influence de la 2^{ème} couche sur la 1^{ère} couche après 25 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0	0	0	100		
20	131,09	11,45	11,45	88,55	1	0,1145
16	156,25	13,65	25,11	74,89	0,8	0,1365
12,5	198,58	17,35	42,46	57,54	0,625	0,1735
10	102,94	8,99	51,45	48,55	0,5	0,0899
8	86,46	7,55	59,01	40,99	0,4	0,0755
6,3	75,78	6,62	65,63	34,37	0,315	0,0662
5	69,79	6,10	71,73	28,27	0,25	0,0610
4	66,59	5,82	77,55	22,45	0,2	0,0582
3,15	53,42	4,67	82,21	17,79	0,1575	0,0467
2,5	51,02	4,46	86,67	13,33	0,125	0,0446
2	30,55	2,67	89,34	10,66	0,1	0,0267
1,6	19,27	1,68	91,02	8,98	0,08	0,0168
1	30,55	2,67	93,69	6,31	0,05	0,0267
0,315	36,44	3,18	96,88	3,12	0,01575	0,0318
0,2	7,79	0,68	97,56	2,44	0,01	0,0068
0,16	3,00	0,26	97,82	2,18	0,008	0,0026
0,125	5,09	0,44	98,26	1,74	0,00625	0,0044
0,08	8,29	0,72	98,99	1,01	0,004	0,0072
0,063	4,89	0,43	99,42	0,58	0,00315	0,0043
fond	6,69	0,58	100,00	0,00		
somme	1144,47					

Tableau VI-46: Influence de la 3^{ème} couche sur la 1^{ère} couche après 25 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0,00	0,00	0,00	100,00		
20	103,73	9,12	9,12	90,88	1	0,0912
16	150,36	13,23	22,35	77,65	0,8	0,1323
12,5	203,08	17,86	40,21	59,79	0,625	0,1786
10	123,60	10,87	51,08	48,92	0,5	0,1087
8	70,59	6,21	57,29	42,71	0,4	0,0621
6,3	88,36	7,77	65,07	34,93	0,315	0,0777
5	72,78	6,40	71,47	28,53	0,25	0,0640
4	63,00	5,54	77,01	22,99	0,2	0,0554
3,15	56,71	4,99	82,00	18,00	0,1575	0,0499
2,5	52,22	4,59	86,59	13,41	0,125	0,0459
2	20,67	1,82	88,41	11,59	0,1	0,0182
1,6	24,66	2,17	90,58	9,42	0,08	0,0217
1	32,15	2,83	93,40	6,60	0,05	0,0283
0,315	38,24	3,36	96,77	3,23	0,01575	0,0336
0,2	8,79	0,77	97,54	2,46	0,01	0,0077
0,16	3,10	0,27	97,81	2,19	0,008	0,0027
0,125	5,19	0,46	98,27	1,73	0,00625	0,0046
0,08	8,19	0,72	98,99	1,01	0,004	0,0072
0,063	4,39	0,39	99,38	0,62	0,00315	0,0039
fond	7,09	0,62	100,00	0,00		
somme	1136,88					

Tableau VI-47: Influence de la 4^{ème} couche sur la 1^{ère} couche après 25 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0,00	0,00	0,00	100,00		
20	106,83	9,33	9,33	90,67	1	0,0933
16	150,36	13,13	22,46	77,54	0,8	0,1313
12,5	216,45	18,90	41,36	58,64	0,625	0,1890
10	111,62	9,75	51,10	48,90	0,5	0,0975
8	65,60	5,73	56,83	43,17	0,4	0,0573
6,3	90,66	7,92	64,75	35,25	0,315	0,0792
5	73,08	6,38	71,13	28,87	0,25	0,0638
4	62,10	5,42	76,55	23,45	0,2	0,0542
3,15	58,61	5,12	81,67	18,33	0,1575	0,0512
2,5	42,63	3,72	85,39	14,61	0,125	0,0372
2	29,05	2,54	87,93	12,07	0,1	0,0254
1,6	24,16	2,11	90,04	9,96	0,08	0,0211
1	34,25	2,99	93,03	6,97	0,05	0,0299
0,315	42,33	3,70	96,72	3,28	0,01575	0,0370
0,2	9,59	0,84	97,56	2,44	0,01	0,0084
0,16	3,30	0,29	97,85	2,15	0,008	0,0029
0,125	5,59	0,49	98,33	1,67	0,00625	0,0049
0,08	8,89	0,78	99,11	0,89	0,004	0,0078
0,063	3,89	0,34	99,45	0,55	0,00315	0,0034
fond	6,29	0,55	100,00	0,00		
somme	1145,27					

Tableau VI-48: Analyse granulométrique de la 2^{ème} couche après 25

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0,00	0,00	0,00	100,00		
20	129,39	11,26	11,26	88,74	1	0,1126
16	184,11	16,03	27,29	72,71	0,8	0,1603
12,5	222,94	19,41	46,70	53,30	0,625	0,1941
10	124,30	10,82	57,52	42,48	0,5	0,1082
8	90,86	7,91	65,43	34,57	0,4	0,0791
6,3	72,09	6,28	71,71	28,29	0,315	0,0628
5	76,58	6,67	78,37	21,63	0,25	0,0667
4	70,29	6,12	84,49	15,51	0,2	0,0612
3,15	56,31	4,90	89,39	10,61	0,1575	0,0490
2,5	24,16	2,10	91,50	8,50	0,125	0,0210
2	20,07	1,75	93,24	6,76	0,1	0,0175
1,6	14,08	1,23	94,47	5,53	0,08	0,0123
1	18,87	1,64	96,11	3,89	0,05	0,0164
0,315	24,58	2,14	98,25	1,75	0,01575	0,0214
0,2	5,49	0,48	98,73	1,27	0,01	0,0048
0,16	1,50	0,13	98,86	1,14	0,008	0,0013
0,125	1,90	0,17	99,03	0,97	0,00625	0,0017
0,08	4,59	0,40	99,43	0,57	0,004	0,0040
0,063	3,79	0,33	99,76	0,24	0,00315	0,0033
fond	2,80	0,24	100,00	0,00		
somme	1148,68					

Tableau VI-49 : Influence de la 3^{ème} couche sur la 2^{ème} couche après 25 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0	0	0	100		
20	62,50	5,48	5,48	94,52	1	0,0548
16	175,92	15,44	20,92	79,08	0,8	0,1544
12,5	215,86	18,94	39,86	60,14	0,625	0,1894
10	155,15	13,61	53,48	46,52	0,5	0,1361
8	91,15	8,00	61,48	38,52	0,4	0,0800
6,3	90,76	7,96	69,44	30,56	0,315	0,0796
5	67,99	5,97	75,41	24,59	0,25	0,0597
4	66,59	5,84	81,25	18,75	0,2	0,0584
3,15	60,70	5,33	86,58	13,42	0,1575	0,0533
2,5	32,65	2,86	89,44	10,56	0,125	0,0286
2	27,76	2,44	91,88	8,12	0,1	0,0244
1,6	18,47	1,62	93,50	6,50	0,08	0,0162
1	20,07	1,76	95,26	4,74	0,05	0,0176
0,315	30,35	2,66	97,92	2,08	0,01575	0,0266
0,2	6,19	0,54	98,47	1,53	0,01	0,0054
0,16	2,10	0,18	98,65	1,35	0,008	0,0018
0,125	3,20	0,28	98,93	1,07	0,00625	0,0028
0,08	5,29	0,46	99,40	0,60	0,004	0,0046
0,063	2,70	0,24	99,63	0,37	0,00315	0,0024
fond	4,19	0,37	100,00	0,00		
somme	1139,58					

Tableau VI-50 : Influence de la 4^{ème} couche sur la 2^{ème} couche après 25 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0	0	0	100		
20	76,88	6,75	6,75	93,25	1	0,0675
16	203,77	17,89	24,63	75,37	0,8	0,1789
12,5	170,33	14,95	39,58	60,42	0,625	0,1495
10	152,16	13,36	52,94	47,06	0,5	0,1336
8	95,75	8,40	61,34	38,66	0,4	0,0840
6,3	72,88	6,40	67,74	32,26	0,315	0,0640
5	74,58	6,55	74,29	25,71	0,25	0,0655
4	78,08	6,85	81,14	18,86	0,2	0,0685
3,15	61,10	5,36	86,50	13,50	0,1575	0,0536
2,5	31,15	2,73	89,24	10,76	0,125	0,0273
2	21,77	1,91	91,15	8,85	0,1	0,0191
1,6	18,77	1,65	92,80	7,20	0,08	0,0165
1	26,16	2,30	95,09	4,91	0,05	0,0230
0,315	31,45	2,76	97,85	2,15	0,01575	0,0276
0,2	6,69	0,59	98,44	1,56	0,01	0,0059
0,16	2,40	0,21	98,65	1,35	0,008	0,0021
0,125	3,00	0,26	98,91	1,09	0,00625	0,0026
0,08	5,39	0,47	99,39	0,61	0,004	0,0047
0,063	3,10	0,27	99,66	0,34	0,00315	0,0027
fond	3,89	0,34	100,00	0,00		
somme	1139,28					

Tableau VI-51 : Analyse granulométrique de la 3^{ème} couche après 25

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0	0	0	100		
20	101,04	11,26	11,26	88,74	1	0,0884
16	232,63	16,03	27,29	72,71	0,8	0,2036
12,5	246,91	19,41	46,70	53,30	0,625	0,2161
10	102,44	10,82	57,52	42,48	0,5	0,0897
8	67,19	7,91	65,43	34,57	0,4	0,0588
6,3	92,25	6,28	71,71	28,29	0,315	0,0807
5	70,99	6,67	78,37	21,63	0,25	0,0621
4	61,40	6,12	84,49	15,51	0,2	0,0537
3,15	53,22	4,90	89,39	10,61	0,1575	0,0466
2,5	29,65	2,10	91,50	8,50	0,125	0,0260
2	16,37	1,75	93,24	6,76	0,1	0,0143
1,6	13,28	1,23	94,47	5,53	0,08	0,0116
1	19,27	1,64	96,11	3,89	0,05	0,0169
0,315	20,27	2,14	98,25	1,75	0,01575	0,0177
0,2	4,19	0,48	98,73	1,27	0,01	0,0037
0,16	1,60	0,13	98,86	1,14	0,008	0,0014
0,125	2,30	0,17	99,03	0,97	0,00625	0,0020
0,08	3,40	0,40	99,43	0,57	0,004	0,0030
0,063	1,70	0,33	99,76	0,24	0,00315	0,0015
fond	2,50	0,24	100,00	0,00		
somme	1142,57					

Tableau VI-52 : Influence de la 4^{ème} couche sur la 3^{ème} couche après 25 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0	0	0	100		
20	93,05	8,17	8,17	91,83	1	0,0817
16	250,10	21,95	30,11	69,89	0,8	0,2195
12,5	172,03	15,10	45,21	54,79	0,625	0,1510
10	130,59	11,46	56,67	43,33	0,5	0,1146
8	88,76	7,79	64,46	35,54	0,4	0,0779
6,3	77,48	6,80	71,25	28,75	0,315	0,0680
5	79,27	6,96	78,21	21,79	0,25	0,0696
4	56,81	4,99	83,20	16,80	0,2	0,0499
3,15	57,61	5,06	88,25	11,75	0,1575	0,0506
2,5	30,05	2,64	90,89	9,11	0,125	0,0264
2	20,27	1,78	92,67	7,33	0,1	0,0178
1,6	16,57	1,45	94,12	5,88	0,08	0,0145
1	23,26	2,04	96,16	3,84	0,05	0,0204
0,315	25,46	2,23	98,40	1,60	0,01575	0,0223
0,2	5,09	0,45	98,84	1,16	0,01	0,0045
0,16	2,20	0,19	99,04	0,96	0,008	0,0019
0,125	3,00	0,26	99,30	0,70	0,00625	0,0026
0,08	4,29	0,38	99,68	0,32	0,004	0,0038
0,063	2,50	0,22	99,89	0,11	0,00315	0,0022
fond	3,10	0,27	100,00	0,00		
somme	1139,58					

Tableau VI-53 : Analyse granulométrique de la 4^{ème} couche après 25

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0,00	0,00	0,00	100,00		
20	167,83	14,56	14,56	85,44	1	0,1456
16	198,68	17,24	31,80	68,20	0,8	0,1724
12,5	176,77	15,34	47,14	52,86	0,625	0,1534
10	129,59	11,24	58,38	41,62	0,5	0,1124
8	85,36	7,41	65,78	34,22	0,4	0,0741
6,3	93,45	8,11	73,89	26,11	0,315	0,0811
5	57,91	5,02	78,92	21,08	0,25	0,0502
4	62,00	5,38	84,30	15,70	0,2	0,0538
3,15	53,22	4,62	88,91	11,09	0,1575	0,0462
2,5	34,45	2,99	91,90	8,10	0,125	0,0299
2	18,97	1,65	93,55	6,45	0,1	0,0165
1,6	16,07	1,39	94,94	5,06	0,08	0,0139
1	17,77	1,54	96,48	3,52	0,05	0,0154
0,315	20,97	1,82	98,30	1,70	0,01575	0,0182
0,2	5,29	0,46	98,76	1,24	0,01	0,0046
0,16	1,90	0,16	98,93	1,07	0,008	0,0016
0,125	2,60	0,23	99,15	0,85	0,00625	0,0023
0,08	4,49	0,39	99,54	0,46	0,004	0,0039
0,063	2,10	0,18	99,72	0,28	0,00315	0,0018
fond	3,20	0,28	100,00	0,00		
somme	1152,61					

Etalement granulométrique du schiste après une énergie de compactage de 25 coups

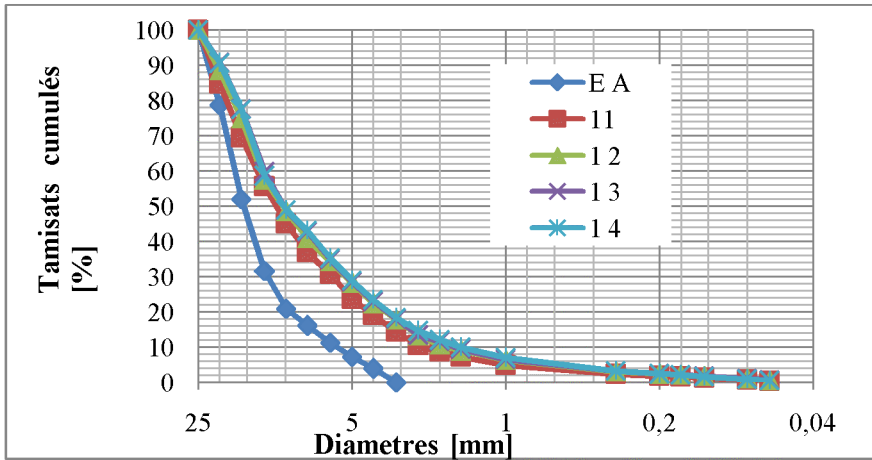


Figure VI-67 : Influence des couches supérieures sur la 1^{ère} couche

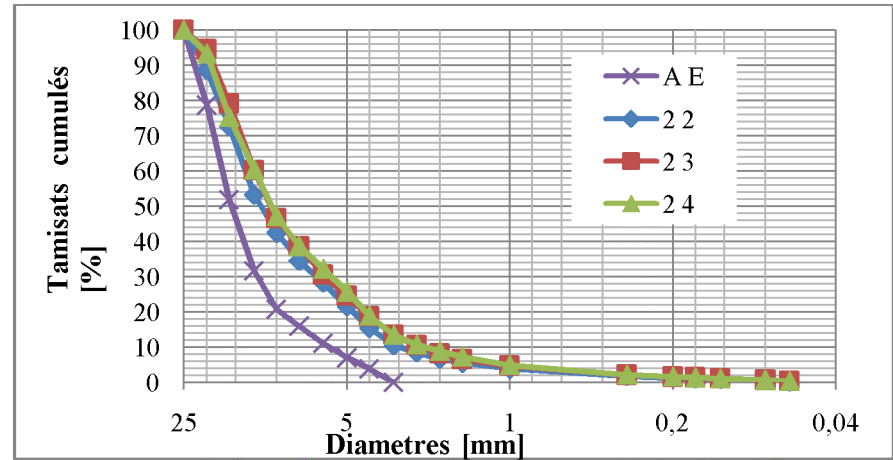


Figure VI-68 : Influence des couches supérieures sur la 2^{ème} couche

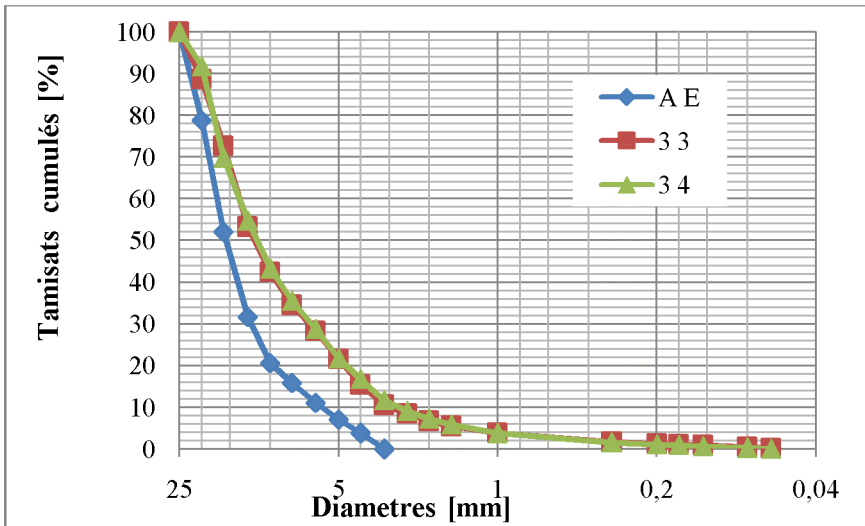


Figure VI-69 : Influence des couches supérieures sur la 3^{ème} couche

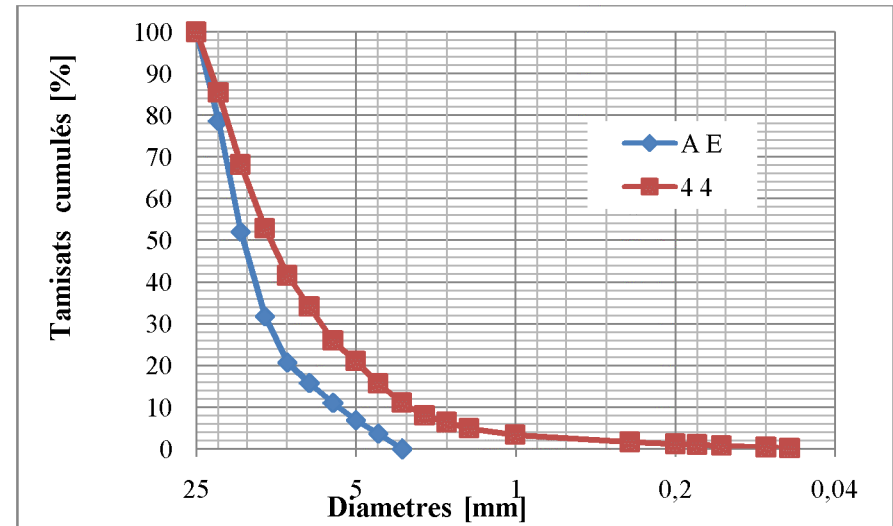


Figure VI-70 : Etalement granulométrique de la 4^{ème} couche

Les courbes obtenues après le calcul de la DF avec la méthode des masses sur l'influence des couches supérieures la 1^{ère}, 2^{ème}, 3^{ème} et 4^{ème} après 25 coups

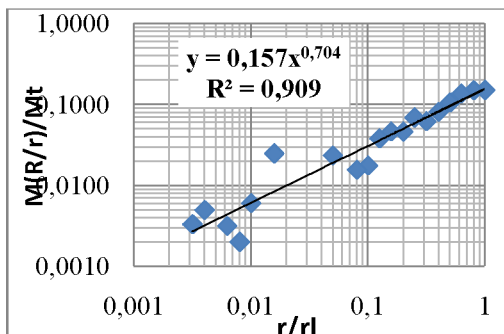


Figure VI-71 : 1^{ère} couche après essais

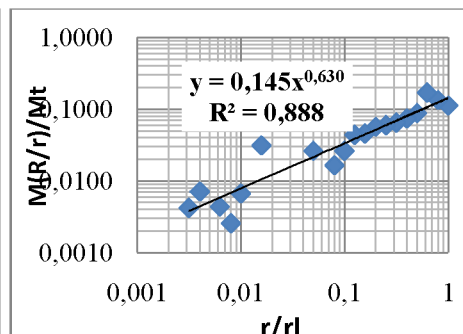


Figure VI-72 : Influence 2^{ème} sur la 1^{ère}

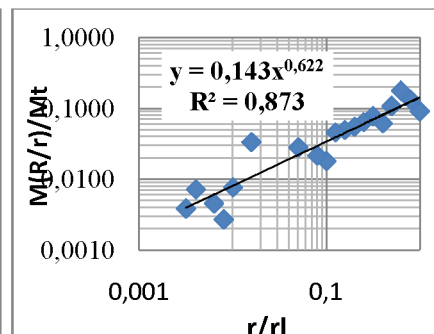


Figure VI-73 : Influence 3^{ème} sur la 1^{ère}

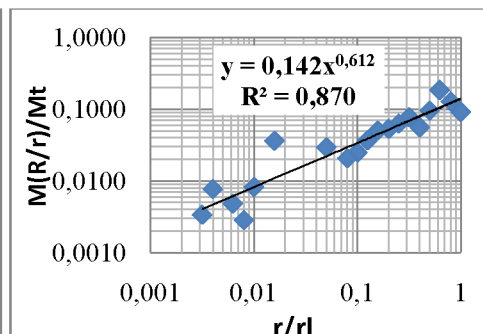


Figure VI-74 : Influence 4^{ème} sur la 1^{ère}

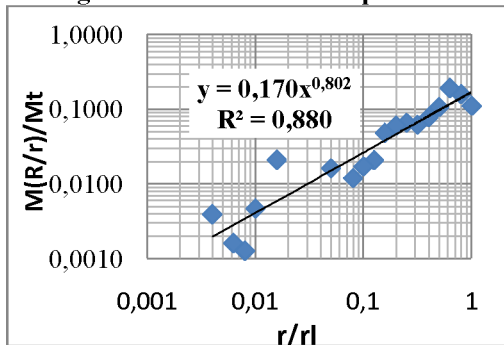


Figure VI-75 : 2^{ème} couche après essais

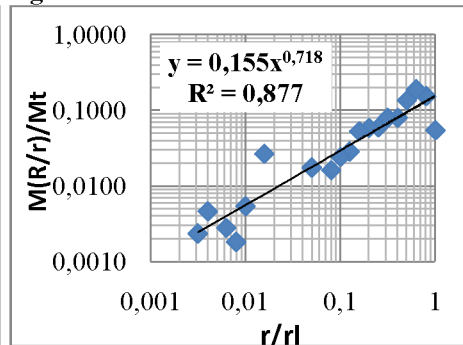


Figure VI-76 : Influence 3^{ème} sur la 2^{ème}

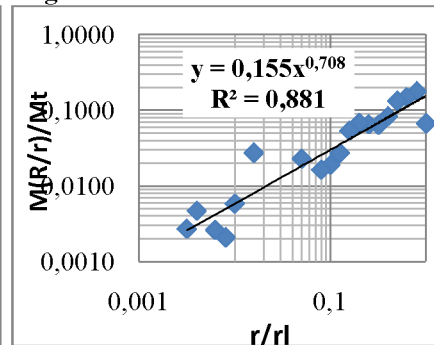


Figure VI-77 : Influence 4^{ème} sur la 2^{ème}

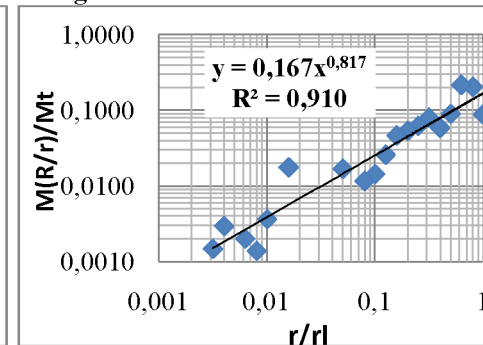


Figure VI-78 : 3^{ème} couche après essais

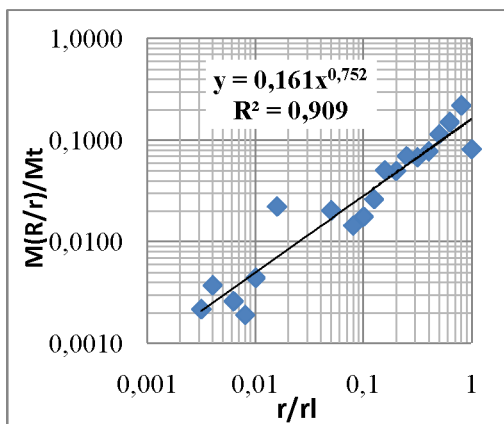


Figure VI-79 : Influence 4^{ème} sur la 3^{ème}

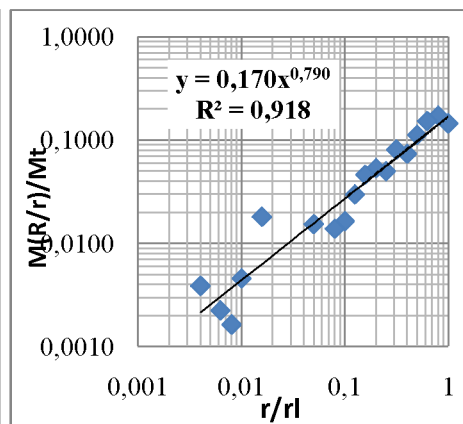


Figure VI-80 : 4^{ème} couche après essais

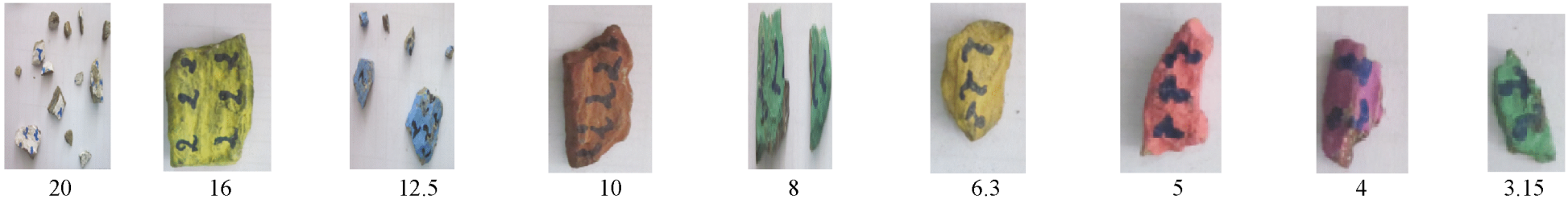
1^{ere} couche après 25 coups



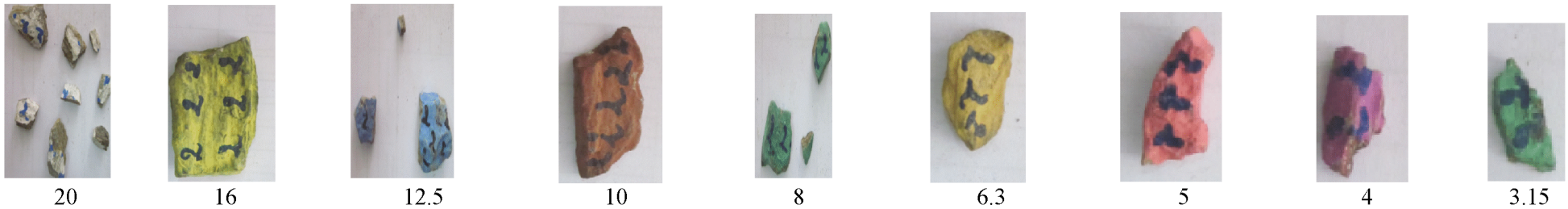
Influence de la 2^{eme} couche sur la 1^{ere} couche après 25 coups



2^{eme} couche après 25 coups



Influence de la 3^{eme} couche sur la 2^{eme} couche après 25 coups



3^{eme} couche après 25 coups



20



16



12.5



10



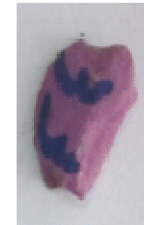
8



6.3



5



4



3.15

Influence de la 4^{eme} couche sur la 3^{eme} couche après 25 coups



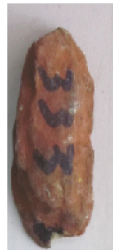
20



16



12.5



10



8



6.3



5



4



3.15

4^{eme} couche après 25 coups



20



16



12.5



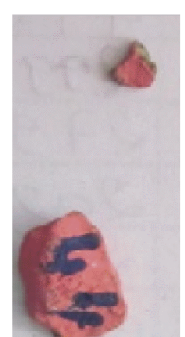
10



8



6.3



5

Tableau VI-54 : Analyse granulométrique de la 1^{ère} couche après 50 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0,00	0,00	0,00	100,00		
20	65,10	5,72	5,72	94,28	1	0,0572
16	115,42	10,14	15,86	84,14	0,8	0,1014
12,5	228,44	20,06	35,92	64,08	0,625	0,2006
10	143,27	12,58	48,50	51,50	0,5	0,1258
8	91,15	8,01	56,51	43,49	0,4	0,0801
6,3	84,67	7,44	63,95	36,05	0,315	0,0744
5	63,00	5,53	69,48	30,52	0,25	0,0553
4	61,30	5,38	74,87	25,13	0,2	0,0538
3,15	56,71	4,98	79,85	20,15	0,1575	0,0498
2,5	42,03	3,69	83,54	16,46	0,125	0,0369
2	28,65	2,52	86,06	13,94	0,1	0,0252
1,6	25,96	2,28	88,34	11,66	0,08	0,0228
1	37,54	3,30	91,63	8,37	0,05	0,0330
0,315	47,13	4,14	95,77	4,23	0,01575	0,0414
0,2	10,98	0,96	96,74	3,26	0,01	0,0096
0,16	4,39	0,39	97,12	2,88	0,008	0,0039
0,125	6,09	0,53	97,66	2,34	0,00625	0,0053
0,08	10,08	0,89	98,54	1,46	0,004	0,0089
0,063	5,59	0,49	99,04	0,96	0,00315	0,0049
fond	10,98	0,96	100,00	0,00		
somme	1138,48					

Tableau VI-55 : Influence de la 2^{ème} couche sur la 1^{ère} couche après 50 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0,00	0,00	0,00	100,00		
20	40,24	3,55	3,55	96,45	1	0,0355
16	133,69	11,79	15,33	84,67	0,8	0,1179
12,5	179,21	15,80	31,14	68,86	0,625	0,1580
10	173,42	15,29	46,43	53,57	0,5	0,1529
8	81,77	7,21	53,64	46,36	0,4	0,0721
6,3	76,08	6,71	60,34	39,66	0,315	0,0671
5	74,78	6,59	66,94	33,06	0,25	0,0659
4	57,41	5,06	72,00	28,00	0,2	0,0506
3,15	59,01	5,20	77,20	22,80	0,1575	0,0520
2,5	47,82	4,22	81,42	18,58	0,125	0,0422
2	33,05	2,91	84,33	15,67	0,1	0,0291
1,6	24,66	2,17	86,51	13,49	0,08	0,0217
1	41,73	3,68	90,18	9,82	0,05	0,0368
0,315	54,31	4,79	94,97	5,03	0,01575	0,0479
0,2	13,68	1,21	96,18	3,82	0,01	0,0121
0,16	6,69	0,59	96,77	3,23	0,008	0,0059
0,125	7,59	0,67	97,44	2,56	0,00625	0,0067
0,08	12,58	1,11	98,55	1,45	0,004	0,0111
0,063	5,39	0,48	99,02	0,98	0,00315	0,0048
fond	11,08	0,98	100,00	0,00		
somme	1134,18					

Tableau VI-56 : Influence de la 3^{ème} couche sur la 1^{ère} couche après 50 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0,00	0,00	0,00	100,00		
20	64,30	5,70	5,70	94,30	1	0,05701
16	119,51	10,60	16,30	83,70	0,8	0,10597
12,5	175,12	15,53	31,83	68,17	0,625	0,15528
10	162,24	14,39	46,21	53,79	0,5	0,14386
8	71,19	6,31	52,52	47,48	0,4	0,06312
6,3	89,26	7,91	60,44	39,56	0,315	0,07914
5	66,19	5,87	66,31	33,69	0,25	0,05869
4	66,29	5,88	72,18	27,82	0,2	0,05878
3,15	63,00	5,59	77,77	22,23	0,1575	0,05586
2,5	33,95	3,01	80,78	19,22	0,125	0,03010
2	31,45	2,79	83,57	16,43	0,1	0,02789
1,6	28,75	2,55	86,12	13,88	0,08	0,02550
1	43,83	3,89	90,01	9,99	0,05	0,03886
0,315	55,91	4,96	94,96	5,04	0,01575	0,04958
0,2	14,78	1,31	96,27	3,73	0,01	0,01310
0,16	5,69	0,50	96,78	3,22	0,008	0,00505
0,125	7,99	0,71	97,49	2,51	0,00625	0,00708
0,08	11,98	1,06	98,55	1,45	0,004	0,01062
0,063	6,69	0,59	99,14	0,86	0,00315	0,00593
fond	9,69	0,86	100,00	0,00		
somme	1127,80					

Tableau VI-57 : Influence de la 4^{ème} couche sur la 1^{ère} couche après 50 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0	0	0	100		
20	48,12	4,30	4,30	95,70	1	0,0430
16	141,07	12,60	16,89	83,11	0,8	0,1260
12,5	173,92	15,53	32,42	67,58	0,625	0,1553
10	141,57	12,64	45,06	54,94	0,5	0,1264
8	88,62	7,91	52,97	47,03	0,4	0,0791
6,3	82,17	7,34	60,31	39,69	0,315	0,0734
5	64,00	5,71	66,02	33,98	0,25	0,0571
4	67,69	6,04	72,06	27,94	0,2	0,0604
3,15	56,41	5,04	77,10	22,90	0,1575	0,0504
2,5	44,73	3,99	81,09	18,91	0,125	0,0399
2	31,25	2,79	83,88	16,12	0,1	0,0279
1,6	27,46	2,45	86,34	13,66	0,08	0,0245
1	43,53	3,89	90,22	9,78	0,05	0,0389
0,315	56,81	5,07	95,29	4,71	0,01575	0,0507
0,2	14,98	1,34	96,63	3,37	0,01	0,0134
0,16	5,49	0,49	97,12	2,88	0,008	0,0049
0,125	8,49	0,76	97,88	2,12	0,00625	0,0076
0,08	12,38	1,11	98,98	1,02	0,004	0,0111
0,063	5,69	0,51	99,49	0,51	0,00315	0,0051
fond	5,69	0,51	100,00	0,00		
somme	1120,07					

Tableau VI-58 : Analyse granulométrique de la 2^{ème} couche après 50 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0,00	0,00	0,00	100,00		
20	62,40	5,48	5,48	94,52	1	0,0548
16	181,61	15,95	21,43	78,57	0,8	0,1595
12,5	239,92	21,07	42,50	57,50	0,625	0,2107
10	134,69	11,83	54,33	45,67	0,5	0,1183
8	84,07	7,38	61,72	38,28	0,4	0,0738
6,3	72,78	6,39	68,11	31,89	0,315	0,0639
5	58,01	5,09	73,21	26,79	0,25	0,0509
4	55,51	4,88	78,08	21,92	0,2	0,0488
3,15	55,61	4,88	82,97	17,03	0,1575	0,0488
2,5	38,84	3,41	86,38	13,62	0,125	0,0341
2	26,02	2,28	88,66	11,34	0,1	0,0228
1,6	23,06	2,03	90,69	9,31	0,08	0,0203
1	32,75	2,88	93,56	6,44	0,05	0,0288
0,315	38,74	3,40	96,97	3,03	0,01575	0,0340
0,2	8,89	0,78	97,75	2,25	0,01	0,0078
0,16	3,30	0,29	98,04	1,96	0,008	0,0029
0,125	4,79	0,42	98,46	1,54	0,00625	0,0042
0,08	7,19	0,63	99,09	0,91	0,004	0,0063
0,063	4,09	0,36	99,45	0,55	0,00315	0,0036
fond	6,29	0,55	100,00	0,00		
somme	1138,53					

Tableau VI-59 : Influence de la 3^{ème} couche sur la 2^{ème} couche après 50 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0,00	0,00	0,00	100,00		
20	85,96	7,57	7,57	92,43	1	0,0757
16	158,45	13,96	21,53	78,47	0,8	0,1396
12,5	180,91	15,94	37,47	62,53	0,625	0,1594
10	150,96	13,30	50,77	49,23	0,5	0,1330
8	90,66	7,99	58,76	41,24	0,4	0,0799
6,3	77,68	6,84	65,61	34,39	0,315	0,0684
5	59,51	5,24	70,85	29,15	0,25	0,0524
4	64,40	5,67	76,52	23,48	0,2	0,0567
3,15	51,62	4,55	81,07	18,93	0,1575	0,0455
2,5	35,24	3,11	84,17	15,83	0,125	0,0311
2	29,15	2,57	86,74	13,26	0,1	0,0257
1,6	24,36	2,15	88,89	11,11	0,08	0,0215
1	38,54	3,40	92,29	7,71	0,05	0,0340
0,315	44,93	3,96	96,24	3,76	0,01575	0,0396
0,2	11,08	0,98	97,22	2,78	0,01	0,0098
0,16	4,09	0,36	97,58	2,42	0,008	0,0036
0,125	6,09	0,54	98,12	1,88	0,00625	0,0054
0,08	8,79	0,77	98,89	1,11	0,004	0,0077
0,063	4,39	0,39	99,28	0,72	0,00315	0,0039
fond	8,19	0,72	100,00	0,00		
somme	1134,98					

Tableau VI-60 : Influence de la 4^{ème} couche sur la 2^{ème} couche après 50 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0,00	0,00	0,00	100,00		
20	85,96	7,67	7,67	92,33	1	0,0767
16	147,07	13,12	20,79	79,21	0,8	0,1312
12,5	179,21	15,99	36,78	63,22	0,625	0,1599
10	174,12	15,54	52,32	47,68	0,5	0,1554
8	69,39	6,19	58,51	41,49	0,4	0,0619
6,3	74,38	6,64	65,15	34,85	0,315	0,0664
5	57,61	5,14	70,29	29,71	0,25	0,0514
4	60,50	5,40	75,69	24,31	0,2	0,0540
3,15	52,22	4,66	80,35	19,65	0,1575	0,0466
2,5	41,33	3,69	84,04	15,96	0,125	0,0369
2	23,55	2,10	86,14	13,86	0,1	0,0210
1,6	26,56	2,37	88,51	11,49	0,08	0,0237
1	38,04	3,39	91,90	8,10	0,05	0,0339
0,315	46,53	4,15	96,05	3,95	0,01575	0,0415
0,2	12,08	1,08	97,13	2,87	0,01	0,0108
0,16	4,39	0,39	97,52	2,48	0,008	0,0039
0,125	5,99	0,53	98,06	1,94	0,00625	0,0053
0,08	9,19	0,82	98,88	1,12	0,004	0,0082
0,063	4,99	0,45	99,32	0,68	0,00315	0,0045
fond	7,59	0,68	100,00	0,00		
somme	1120,69					

Tableau VI-61 : Analyse granulométrique de la 3^{ème} couche après 50 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0,00	0,00	0,00	100,00		
20	134,59	11,77	11,77	88,23	1	0,1177
16	205,97	18,01	29,78	70,22	0,8	0,1801
12,5	120,81	10,56	40,34	59,66	0,625	0,1056
10	127,60	11,16	51,50	48,50	0,5	0,1116
8	80,47	7,04	58,53	41,47	0,4	0,0704
6,3	91,25	7,98	66,51	33,49	0,315	0,0798
5	68,59	6,00	72,51	27,49	0,25	0,0600
4	58,61	5,12	77,63	22,37	0,2	0,0512
3,15	62,60	5,47	83,11	16,89	0,1575	0,0547
2,5	33,15	2,90	86,00	14,00	0,125	0,0290
2	26,96	2,36	88,36	11,64	0,1	0,0236
1,6	23,06	2,02	90,38	9,62	0,08	0,0202
1	36,44	3,19	93,56	6,44	0,05	0,0319
0,315	40,04	3,50	97,06	2,94	0,01575	0,0350
0,2	8,99	0,79	97,85	2,15	0,01	0,0079
0,16	3,10	0,27	98,12	1,88	0,008	0,0027
0,125	4,82	0,42	98,54	1,46	0,00625	0,0042
0,08	6,39	0,56	99,10	0,90	0,004	0,0056
0,063	6,39	0,56	99,66	0,34	0,00315	0,0056
fond	3,89	0,34	100,00	0,00		
somme	1143,70					

Tableau VI-62 : Influence de la 4^{ème} couche sur la 3^{ème} couche après 50 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0,00	0,00	0,00	100,00		
20	99,34	8,71	8,71	91,29	1	0,0871
16	197,48	17,31	26,02	73,98	0,8	0,1731
12,5	127,50	11,18	37,20	62,80	0,625	0,1118
10	126,10	11,05	48,25	51,75	0,5	0,1105
8	88,76	7,78	56,03	43,97	0,4	0,0778
6,3	76,88	6,74	62,77	37,23	0,315	0,0674
5	74,88	6,56	69,34	30,66	0,25	0,0656
4	62,30	5,46	74,80	25,20	0,2	0,0546
3,15	62,60	5,49	80,29	19,71	0,1575	0,0549
2,5	38,84	3,40	83,69	16,31	0,125	0,0340
2	29,95	2,63	86,32	13,68	0,1	0,0263
1,6	27,36	2,40	88,71	11,29	0,08	0,0240
1	39,94	3,50	92,22	7,78	0,05	0,0350
0,315	48,02	4,21	96,42	3,58	0,01575	0,0421
0,2	10,88	0,95	97,38	2,62	0,01	0,0095
0,16	3,40	0,30	97,68	2,32	0,008	0,0030
0,125	7,39	0,65	98,32	1,68	0,00625	0,0065
0,08	7,29	0,64	98,96	1,04	0,004	0,0064
0,063	4,54	0,40	99,36	0,64	0,00315	0,0040
fond	7,29	0,64	100,00	0,00		
somme	1140,72					

Tableau VI-63 : Analyse granulométrique de la 4^{ème} couche après 50 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0,00	0,00	0,00	100,00		
20	64,38	5,63	5,63	94,37	1	0,0563
16	233,82	20,46	26,10	73,90	0,8	0,2046
12,5	226,04	19,78	45,88	54,12	0,625	0,1978
10	96,95	8,48	54,36	45,64	0,5	0,0848
8	85,06	7,44	61,81	38,19	0,4	0,0744
6,3	90,46	7,92	69,72	30,28	0,315	0,0792
5	71,29	6,24	75,96	24,04	0,25	0,0624
4	56,71	4,96	80,93	19,07	0,2	0,0496
3,15	54,21	4,74	85,67	14,33	0,1575	0,0474
2,5	33,25	2,91	88,58	11,42	0,125	0,0291
2	22,17	1,94	90,52	9,48	0,1	0,0194
1,6	20,17	1,77	92,28	7,72	0,08	0,0177
1	28,85	2,53	94,81	5,19	0,05	0,0253
0,315	32,35	2,83	97,64	2,36	0,01575	0,0283
0,2	7,19	0,63	98,27	1,73	0,01	0,0063
0,16	2,70	0,24	98,51	1,49	0,008	0,0024
0,125	4,09	0,36	98,86	1,14	0,00625	0,0036
0,08	5,29	0,46	99,33	0,67	0,004	0,0046
0,063	2,90	0,25	99,58	0,42	0,00315	0,0025
fond	4,79	0,42	100,00	0,00		
somme	1142,65					

Étalement granulométrique du schiste après une énergie de compactage de 50 coups

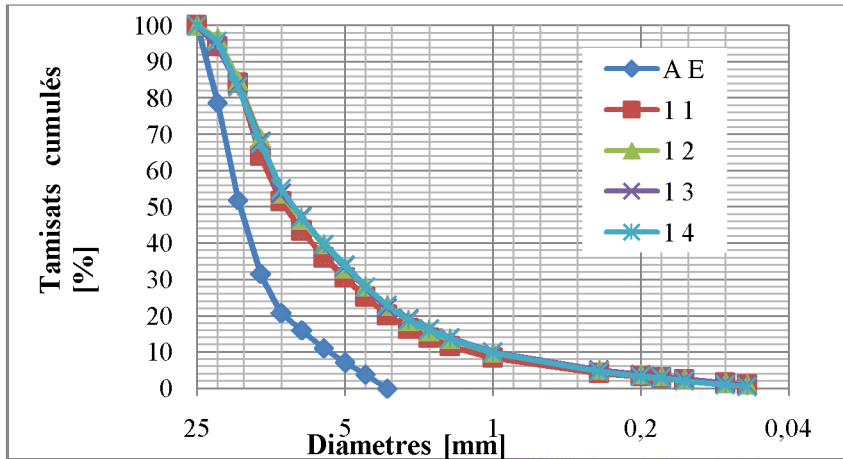


Figure VI-81 : Influence des couches supérieures sur la 1^{ère} couche

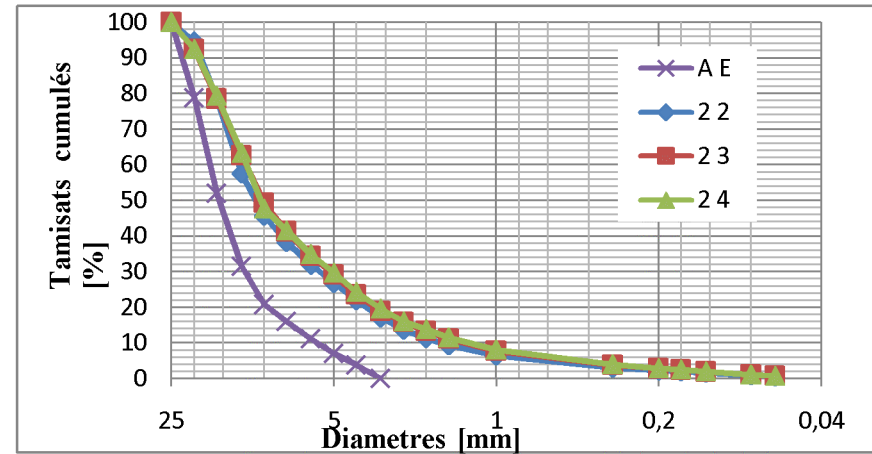


Figure VI-82 : Influence des couches supérieures sur la 2^{ème} couche

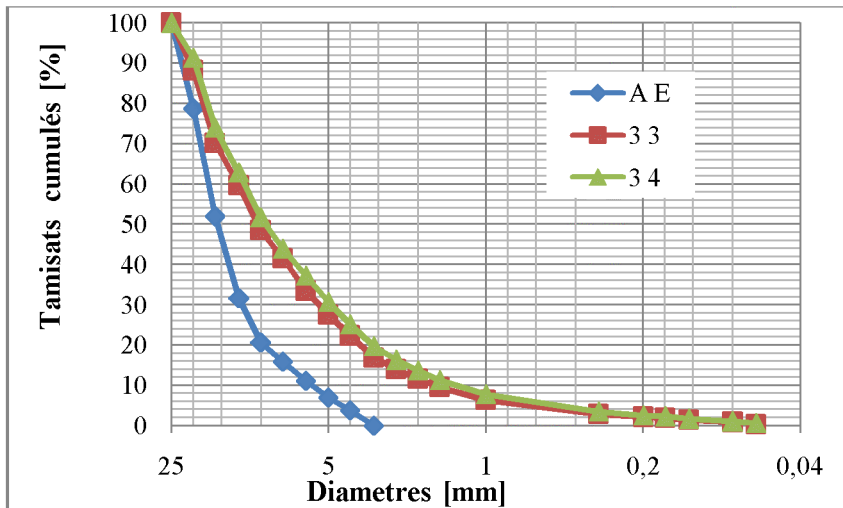


Figure VI-83 : Influence des couches supérieures sur la 3^{ème} couche

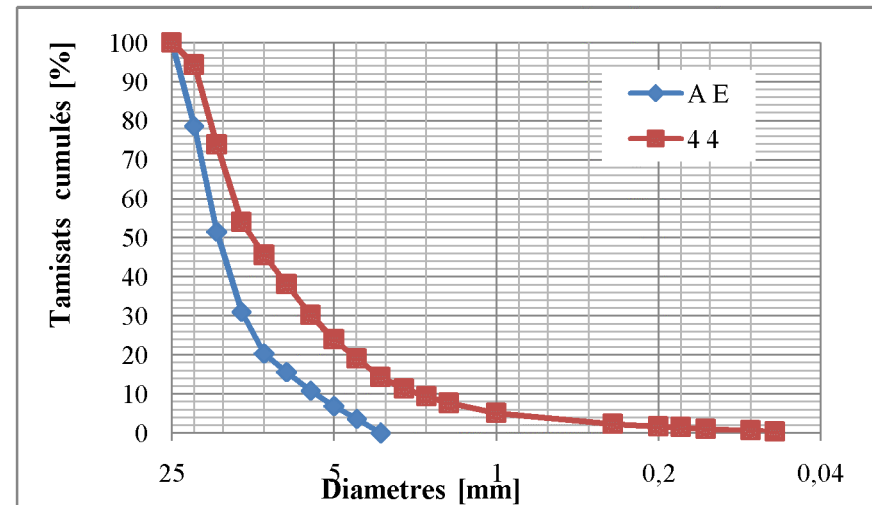


Figure VI-84 : Étalement granulométrique de la 4^{ème} couche

Les courbes obtenues après le calcul de la DF avec la méthode des masses sur l'influence des couches supérieures la 1^{ère}, 2^{ème}, 3^{ème} et 4^{ème} après 50 coups

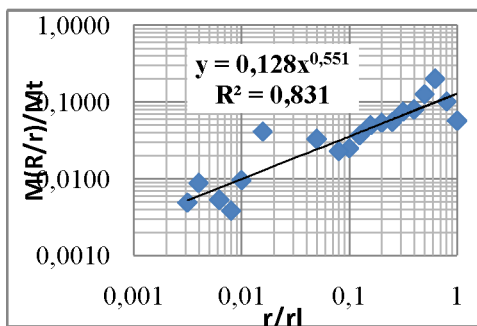


Figure VI-85 : 1^{ère} couche après essais

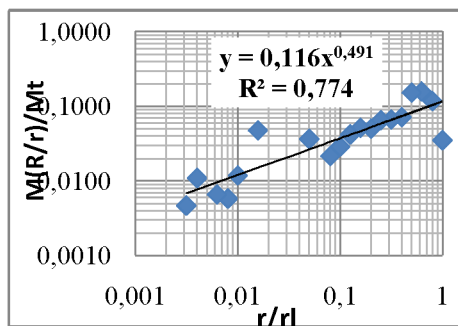


Figure VI-86 : Influence 2^{ème} sur la 1^{ère}

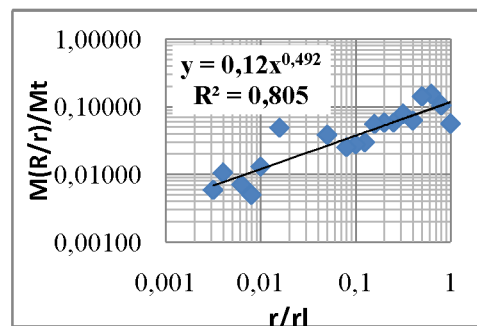


Figure VI-87 : Influence 3^{ème} sur la 1^{ère}

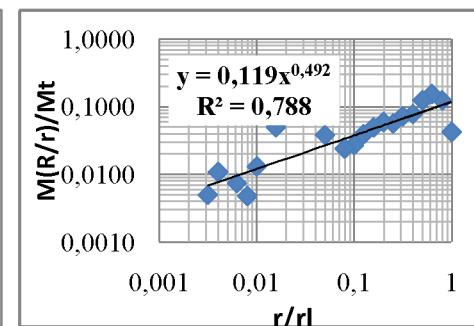


Figure VI-88 : Influence 4^{ème} sur la 1^{ère}

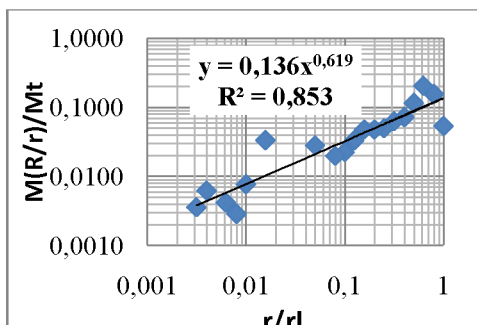


Figure VI-89 : 2^{ème} couche après essais

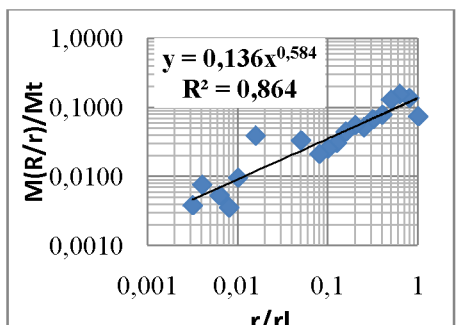


Figure VI-90 : Influence 3^{ème} sur la 2^{ème}

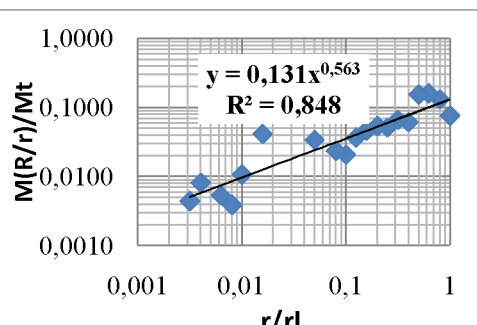


Figure VI-91 : Influence 4^{ème} sur la 2^{ème}

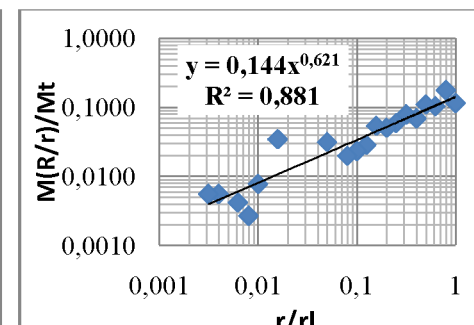


Figure VI-92 : 3^{ème} couche après essais

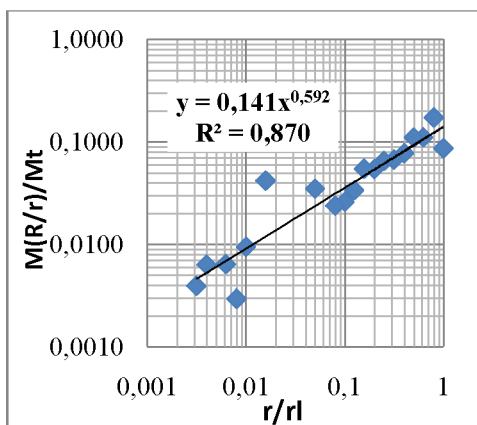


Figure VI-93 : Influence 4^{ème} sur la 3^{ème}

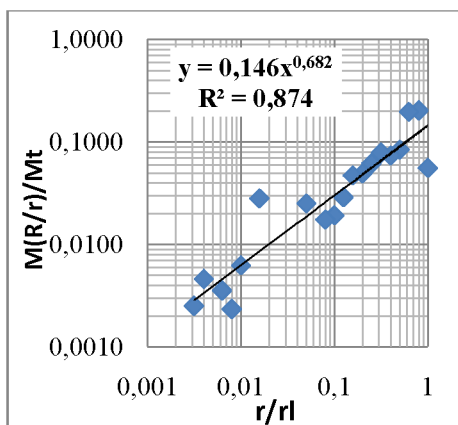
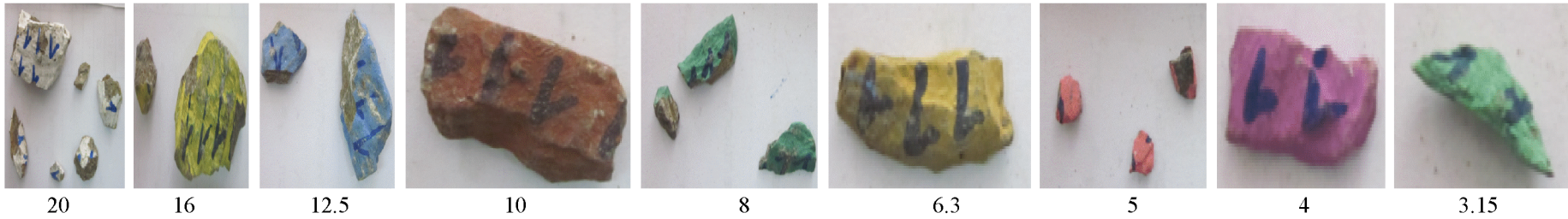
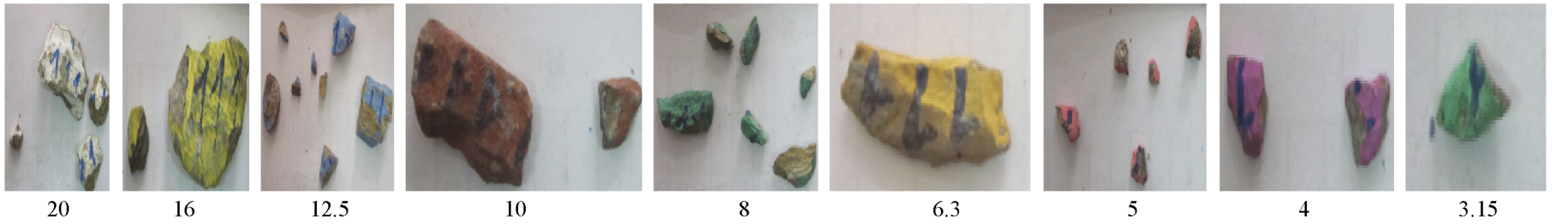


Figure VI-94 : 4^{ème} couche après essais

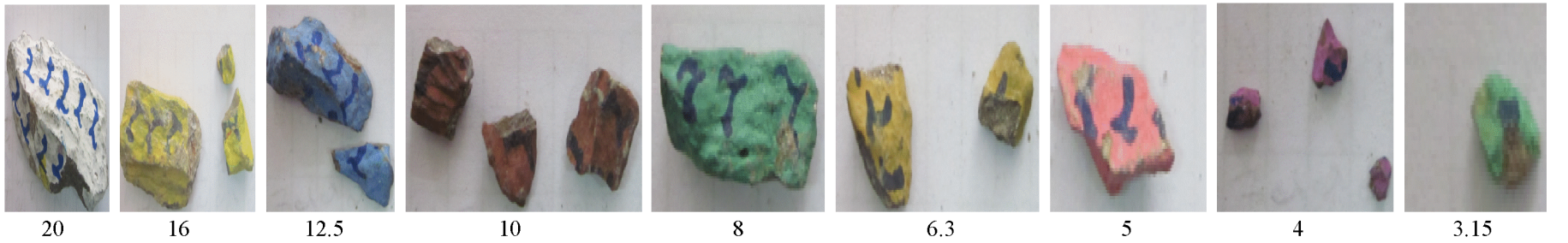
1^{ère} couche après 50 coups



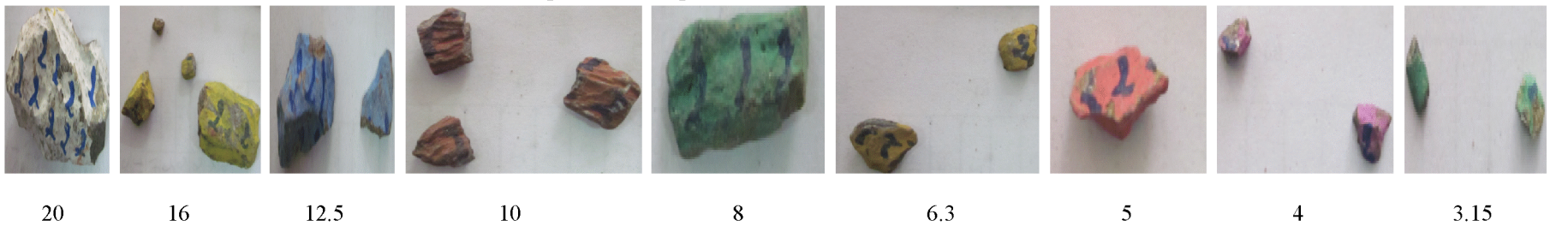
Influence de la 2^{ème} couche sur la 1^{ère} couche après 50 coups



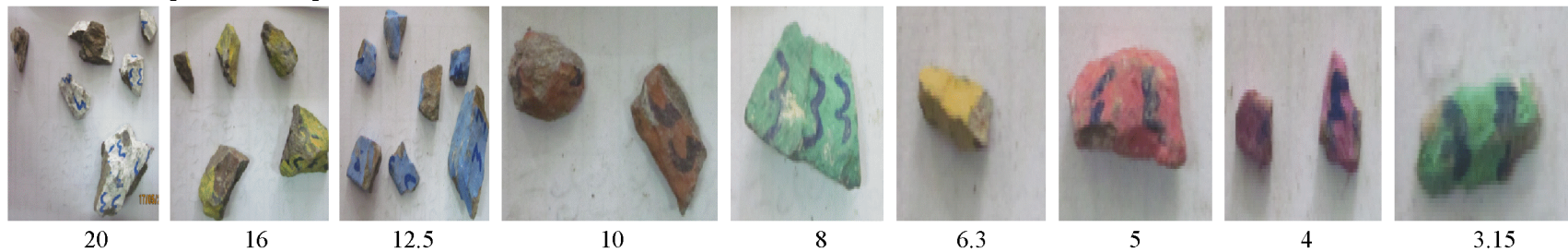
2^{ème} couche après 50 coups



Influence de la 3^{ème} couche sur la 2^{ème} couche après 50 coups



3^{ème} couche après 50 coups



Influence de la 4^{ème} couche sur la 3^{ème} couche après 50 coups



4^{ème} couche après 50 coups

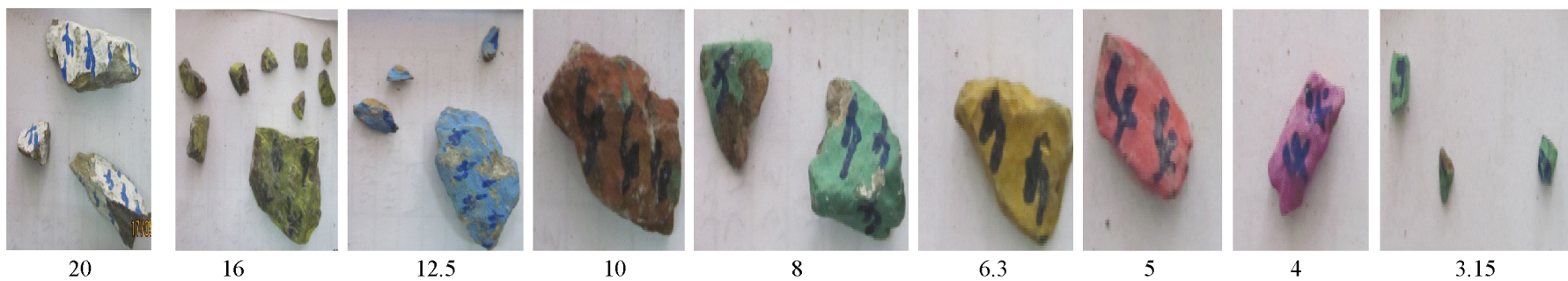


Tableau VI-64 : Analyse granulométrique de la 1^{ère} couche après 75 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0	0	0	100		
20	85,16	7,46	7,46	92,54	1	0,07463
16	52,22	4,58	12,04	87,96	0,8	0,04576
12,5	202,18	17,72	29,76	70,24	0,625	0,17717
10	120,81	10,59	40,34	59,66	0,5	0,10586
8	92,05	8,07	48,41	51,59	0,4	0,08067
6,3	89,16	7,81	56,22	43,78	0,315	0,07813
5	61,90	5,42	61,64	38,36	0,25	0,05424
4	71,99	6,31	67,95	32,05	0,2	0,06308
3,15	59,21	5,19	73,14	26,86	0,1575	0,05188
2,5	45,23	3,96	77,10	22,90	0,125	0,03963
2	33,65	2,95	80,05	19,95	0,1	0,02948
1,6	32,05	2,81	82,86	17,14	0,08	0,02808
1	51,12	4,48	87,34	12,66	0,05	0,04479
0,315	65,00	5,70	93,04	6,96	0,01575	0,05696
0,2	17,87	1,57	94,60	5,40	0,01	0,01566
0,16	6,69	0,59	95,19	4,81	0,008	0,00586
0,125	10,48	0,92	96,11	3,89	0,00625	0,00919
0,08	15,88	1,39	97,50	2,50	0,004	0,01391
0,063	9,39	0,82	98,32	1,68	0,00315	0,00822
fond	19,17	1,68	100,00	0,00		
somme	1141,17					

Tableau VI-65 : Influence de la 2^{ème} couche sur la 1^{ère} couche après 75 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0,00	0,00	0,00	100,00		
20	44,03	3,87	3,87	96,13	1	0,0387
16	88,06	7,75	11,62	88,38	0,8	0,0775
12,5	182,81	16,08	27,71	72,29	0,625	0,1608
10	103,24	9,08	36,79	63,21	0,5	0,0908
8	108,13	9,51	46,30	53,70	0,4	0,0951
6,3	77,58	6,83	53,13	46,87	0,315	0,0683
5	65,90	5,80	58,92	41,08	0,25	0,0580
4	64,80	5,70	64,63	35,37	0,2	0,0570
3,15	62,80	5,53	70,15	29,85	0,1575	0,0553
2,5	54,41	4,79	74,94	25,06	0,125	0,0479
2	33,45	2,94	77,88	22,12	0,1	0,0294
1,6	31,15	2,74	80,62	19,38	0,08	0,0274
1	55,71	4,90	85,52	14,48	0,05	0,0490
0,315	73,18	6,44	91,96	8,04	0,01575	0,0644
0,2	19,77	1,74	93,70	6,30	0,01	0,0174
0,16	8,19	0,72	94,42	5,58	0,008	0,0072
0,125	12,88	1,13	95,56	4,44	0,00625	0,0113
0,08	19,07	1,68	97,23	2,77	0,004	0,0168
0,063	12,48	1,10	98,33	1,67	0,00315	0,0110
fond	18,97	1,67	100,00	0,00		
somme	1136,58					

Tableau VI-66 : Influence de la 3^{ème} couche sur la 1^{ère} couche après 75 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0	0	0	100		
20	42,33	3,74	3,74	96,26	1	0,0374
16	65,80	5,81	9,54	90,46	0,8	0,0581
12,5	184,61	16,30	25,84	74,16	0,625	0,1630
10	110,02	9,71	35,55	64,45	0,5	0,0971
8	112,82	9,96	45,51	54,49	0,4	0,0996
6,3	81,87	7,23	52,74	47,26	0,315	0,0723
5	64,50	5,69	58,43	41,57	0,25	0,0569
4	64,50	5,69	64,12	35,88	0,2	0,0569
3,15	57,41	5,07	69,19	30,81	0,1575	0,0507
2,5	71,69	6,33	75,52	24,48	0,125	0,0633
2	25,46	2,25	77,77	22,23	0,1	0,0225
1,6	33,45	2,95	80,72	19,28	0,08	0,0295
1	52,52	4,64	85,35	14,65	0,05	0,0464
0,315	75,28	6,64	92,00	8,00	0,01575	0,0664
0,2	20,57	1,82	93,81	6,19	0,01	0,0182
0,16	7,39	0,65	94,47	5,53	0,008	0,0065
0,125	12,28	1,08	95,55	4,45	0,00625	0,0108
0,08	18,67	1,65	97,20	2,80	0,004	0,0165
0,063	11,98	1,06	98,26	1,74	0,00315	0,0106
fond	19,77	1,74	100,00	0,00		
somme	1132,89					

Tableau VI-67 : Influence de la 4^{ème} couche sur la 1^{ère} couche après 75 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0	0	0	100		
20	43,93	3,90	3,90	96,10	1	0,0390
16	58,51	5,19	9,09	90,91	0,8	0,0519
12,5	191,39	16,98	26,07	73,93	0,625	0,1698
10	128,49	11,40	37,47	62,53	0,5	0,1140
8	83,67	7,42	44,89	55,11	0,4	0,0742
6,3	85,66	7,60	52,49	47,51	0,315	0,0760
5	70,59	6,26	58,75	41,25	0,25	0,0626
4	46,93	4,16	62,91	37,09	0,2	0,0416
3,15	76,88	6,82	69,73	30,27	0,1575	0,0682
2,5	49,02	4,35	74,08	25,92	0,125	0,0435
2	34,94	3,10	77,18	22,82	0,1	0,0310
1,6	33,85	3,00	80,19	19,81	0,08	0,0300
1	55,91	4,96	85,15	14,85	0,05	0,0496
0,315	75,68	6,71	91,86	8,14	0,01575	0,0671
0,2	21,76	1,93	93,79	6,21	0,01	0,0193
0,16	7,89	0,70	94,49	5,51	0,008	0,0070
0,125	12,08	1,07	95,56	4,44	0,00625	0,0107
0,08	21,47	1,90	97,47	2,53	0,004	0,0190
0,063	9,39	0,83	98,30	1,70	0,00315	0,0083
fond	19,17	1,70	100,00	0,00		
somme	1127,19					

Tableau VI-68 : Analyse granulométrique de la 2^{ème} couche après 75 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0	0	0	100		
20	98,34	8,62	8,62	91,38	1	0,0862
16	110,53	9,69	18,31	81,69	0,8	0,0969
12,5	137,58	12,06	30,36	69,64	0,625	0,1206
10	172,22	15,09	45,46	54,54	0,5	0,1509
8	83,07	7,28	52,74	47,26	0,4	0,0728
6,3	76,18	6,68	59,42	40,58	0,315	0,0668
5	61,80	5,42	64,83	35,17	0,25	0,0542
4	60,50	5,30	70,13	29,87	0,2	0,0530
3,15	61,00	5,35	75,48	24,52	0,1575	0,0535
2,5	55,31	4,85	80,33	19,67	0,125	0,0485
2	32,55	2,85	83,18	16,82	0,1	0,0285
1,6	26,46	2,32	85,50	14,50	0,08	0,0232
1	41,23	3,61	89,11	10,89	0,05	0,0361
0,315	60,30	5,29	94,40	5,60	0,01575	0,0529
0,2	14,58	1,28	95,68	4,32	0,01	0,0128
0,16	5,49	0,48	96,16	3,84	0,008	0,0048
0,125	9,69	0,85	97,01	2,99	0,00625	0,0085
0,08	13,48	1,18	98,19	1,81	0,004	0,0118
0,063	7,19	0,63	98,82	1,18	0,00315	0,0063
fond	13,48	1,18	100,00	0,00		
somme	1140,98					

Tableau VI-69 : Influence de la 3^{ème} couche sur la 2^{ème} couche après 75 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0	0	0	100		
20	60,30	5,33	5,33	94,67	1	0,0533
16	138,08	12,21	17,55	82,45	0,8	0,1221
12,5	137,38	12,15	29,70	70,30	0,625	0,1215
10	135,98	12,03	41,72	58,28	0,5	0,1203
8	88,66	7,84	49,56	50,44	0,4	0,0784
6,3	68,09	6,02	55,59	44,41	0,315	0,0602
5	68,89	6,09	61,68	38,32	0,25	0,0609
4	65,40	5,78	67,46	32,54	0,2	0,0578
3,15	61,50	5,44	72,90	27,10	0,1575	0,0544
2,5	49,72	4,40	77,30	22,70	0,125	0,0440
2	34,84	3,08	80,38	19,62	0,1	0,0308
1,6	30,45	2,69	83,07	16,93	0,08	0,0269
1	51,62	4,57	87,64	12,36	0,05	0,0457
0,315	67,19	5,94	93,58	6,42	0,01575	0,0594
0,2	17,87	1,58	95,16	4,84	0,01	0,0158
0,16	5,89	0,52	95,68	4,32	0,008	0,0052
0,125	10,48	0,93	96,61	3,39	0,00625	0,0093
0,08	14,78	1,31	97,92	2,08	0,004	0,0131
0,063	8,39	0,74	98,66	1,34	0,00315	0,0074
fond	15,18	1,34	100,00	0,00		
somme	1130,69					

Tableau VI-70 : Influence de la 4^{ème} couche sur la 2^{ème} couche après 75 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0	0	0	100		
20	47,72	4,24	4,24	95,76	1	0,0424
16	118,11	10,49	14,73	85,27	0,8	0,1049
12,5	143,47	12,75	27,48	72,52	0,625	0,1275
10	154,65	13,74	41,22	58,78	0,5	0,1374
8	88,46	7,86	49,08	50,92	0,4	0,0786
6,3	72,88	6,48	55,56	44,44	0,315	0,0648
5	70,79	6,29	61,85	38,15	0,25	0,0629
4	59,21	5,26	67,11	32,89	0,2	0,0526
3,15	61,20	5,44	72,55	27,45	0,1575	0,0544
2,5	50,02	4,44	76,99	23,01	0,125	0,0444
2	33,15	2,95	79,93	20,07	0,1	0,0295
1,6	30,45	2,71	82,64	17,36	0,08	0,0271
1	52,62	4,67	87,31	12,69	0,05	0,0467
0,315	69,79	6,20	93,52	6,48	0,01575	0,0620
0,2	17,47	1,55	95,07	4,93	0,01	0,0155
0,16	6,79	0,60	95,67	4,33	0,008	0,0060
0,125	10,68	0,95	96,62	3,38	0,00625	0,0095
0,08	15,68	1,39	98,01	1,99	0,004	0,0139
0,063	8,89	0,79	98,80	1,20	0,00315	0,0079
fond	13,48	1,20	100,00	0,00		
somme	1125,50					

Tableau VI-71 : Analyse granulométrique de la 3^{ème} couche après 75 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0	0	0	100		
20	70,49	6,24	6,24	93,76	1	0,0624
16	72,58	6,42	12,66	87,34	0,8	0,0642
12,5	181,71	16,07	28,73	71,27	0,625	0,1607
10	117,81	10,42	39,15	60,85	0,5	0,1042
8	91,65	8,11	47,26	52,74	0,4	0,0811
6,3	102,24	9,04	56,31	43,69	0,315	0,0904
5	65,70	5,81	62,12	37,88	0,25	0,0581
4	69,29	6,13	68,25	31,75	0,2	0,0613
3,15	61,60	5,45	73,70	26,30	0,1575	0,0545
2,5	50,52	4,47	78,17	21,83	0,125	0,0447
2	33,95	3,00	81,17	18,83	0,1	0,0300
1,6	32,95	2,91	84,08	15,92	0,08	0,0291
1	50,12	4,43	88,52	11,48	0,05	0,0443
0,315	62,90	5,56	94,08	5,92	0,01575	0,0556
0,2	16,07	1,42	95,50	4,50	0,01	0,0142
0,16	5,19	0,46	95,96	4,04	0,008	0,0046
0,125	9,59	0,85	96,81	3,19	0,00625	0,0085
0,08	15,48	1,37	98,18	1,82	0,004	0,0137
0,063	6,09	0,54	98,72	1,28	0,00315	0,0054
fond	14,48	1,28	100,00	0,00		
somme	1130,39					

Tableau VI-72 : Influence de la 4^{ème} couche sur la 3^{ème} couche après 75 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0	0	0	100		
20	53,02	4,72	4,72	95,28	1	0,0472
16	65,60	5,84	10,56	89,44	0,8	0,0584
12,5	191,09	17,01	27,57	72,43	0,625	0,1701
10	95,85	8,53	36,10	63,90	0,5	0,0853
8	90,05	8,02	44,12	55,88	0,4	0,0802
6,3	99,64	8,87	52,99	47,01	0,315	0,0887
5	68,59	6,11	59,10	40,90	0,25	0,0611
4	67,39	6,00	65,10	34,90	0,2	0,0600
3,15	61,20	5,45	70,54	29,46	0,1575	0,0545
2,5	59,61	5,31	75,85	24,15	0,125	0,0531
2	36,24	3,23	79,08	20,92	0,1	0,0323
1,6	34,84	3,10	82,18	17,82	0,08	0,0310
1	52,02	4,63	86,81	13,19	0,05	0,0463
0,315	69,99	6,23	93,04	6,96	0,01575	0,0623
0,2	18,87	1,68	94,72	5,28	0,01	0,0168
0,16	6,39	0,57	95,29	4,71	0,008	0,0057
0,125	10,78	0,96	96,25	3,75	0,00625	0,0096
0,08	17,17	1,53	97,78	2,22	0,004	0,0153
0,063	8,79	0,78	98,56	1,44	0,00315	0,0078
fond	16,17	1,44	100,00	0,00		
somme	1123,30					

Tableau VI-73 : Analyse granulométrique de la 4^{ème} couche après 75 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0	0	0	100		
20	99,74	8,74	8,74	91,26	1	0,0874
16	60,40	5,29	14,04	85,96	0,8	0,0529
12,5	136,58	11,97	26,01	73,99	0,625	0,1197
10	171,03	14,99	41,00	59,00	0,5	0,1499
8	99,54	8,73	49,73	50,27	0,4	0,0873
6,3	103,24	9,05	58,78	41,22	0,315	0,0905
5	72,58	6,36	65,14	34,86	0,25	0,0636
4	65,80	5,77	70,91	29,09	0,2	0,0577
3,15	63,40	5,56	76,47	23,53	0,1575	0,0556
2,5	54,11	4,74	81,21	18,79	0,125	0,0474
2	29,85	2,62	83,83	16,17	0,1	0,0262
1,6	27,86	2,44	86,27	13,73	0,08	0,0244
1	43,63	3,82	90,09	9,91	0,05	0,0382
0,315	55,41	4,86	94,95	5,05	0,01575	0,0486
0,2	13,88	1,22	96,17	3,83	0,01	0,0122
0,16	4,99	0,44	96,60	3,40	0,008	0,0044
0,125	7,99	0,70	97,30	2,70	0,00625	0,0070
0,08	11,78	1,03	98,34	1,66	0,004	0,0103
0,063	5,99	0,53	98,86	1,14	0,00315	0,0053
fond	12,98	1,14	100,00	0,00		
somme	1140,77					

Etalement granulométrique du schiste après une énergie de compactage de 75 coups

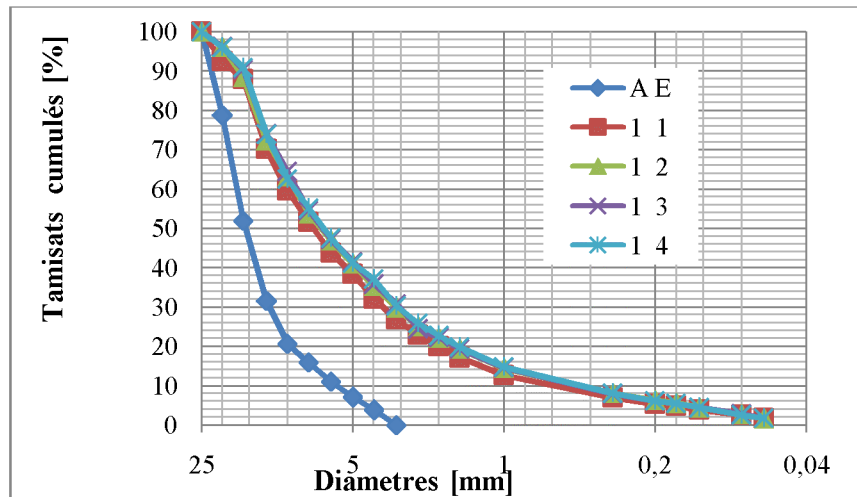


Figure VI-95 : Influence des couches supérieures sur la 1^{ère} couche

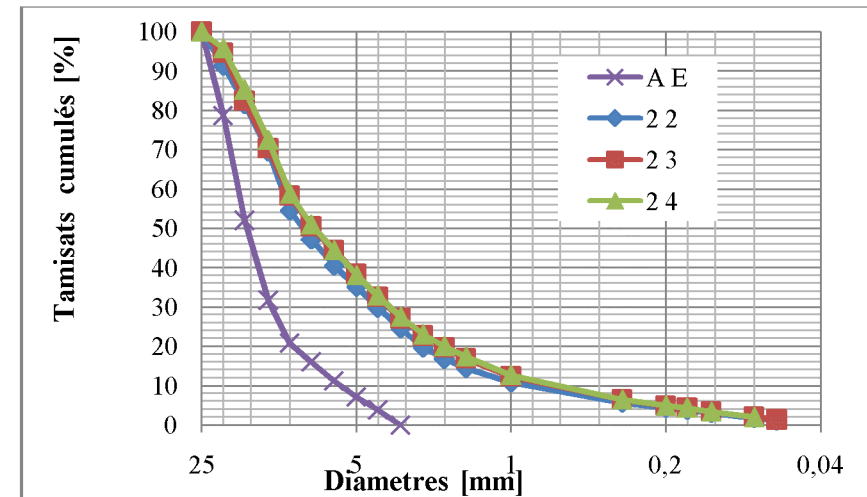


Figure VI-96 : Influence des couches supérieures sur la 2^{ème} couche

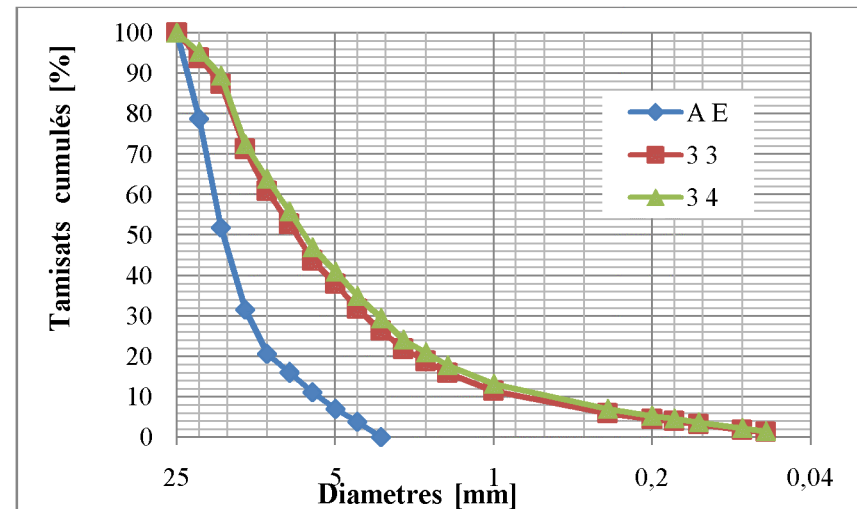


Figure VI-97 : Influence des couches supérieures sur la 3^{ème} couche

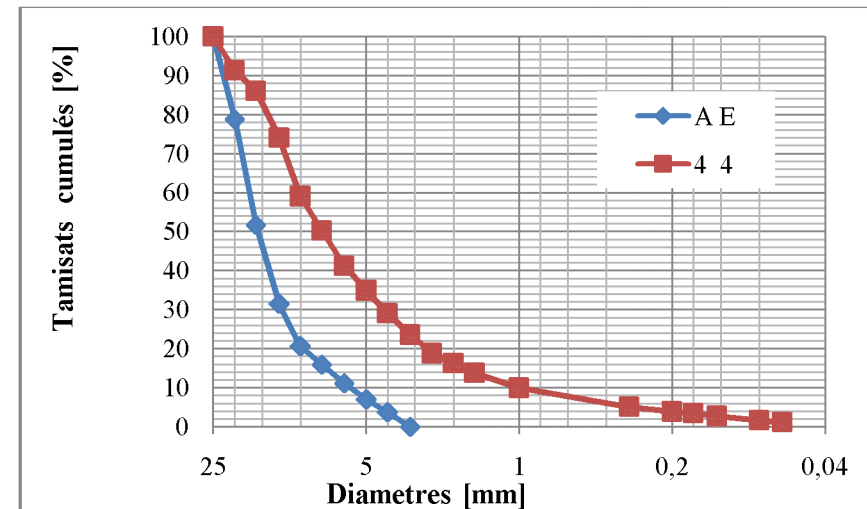


Figure VI-98 : Etalement granulométrique de la 4^{ème} couche

Les courbes obtenues après le calcul de la DF avec la méthode des masses sur l'influence des couches supérieures la 1^{ère}, 2^{ème}, 3^{ème} et 4^{ème} après 75 coups

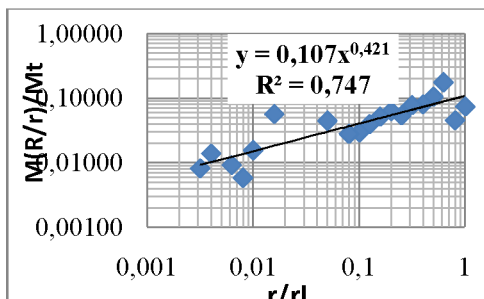


Figure VI-99 : 1^{ère} couche après essais

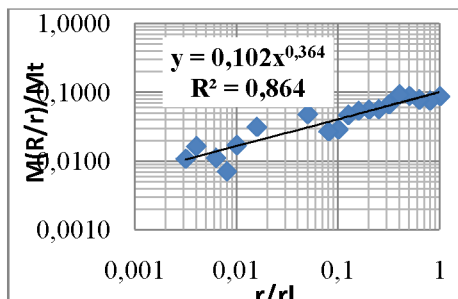


Figure VI-100 : Influence 2^{ème} sur la 1^{ère}

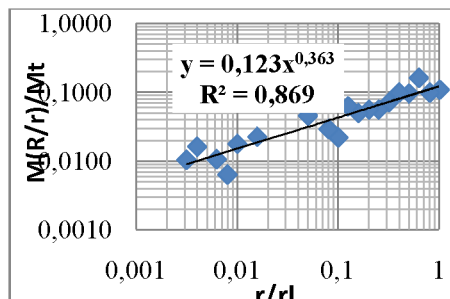


Figure VI-101 : Influence 3^{ème} sur la 1^{ère}

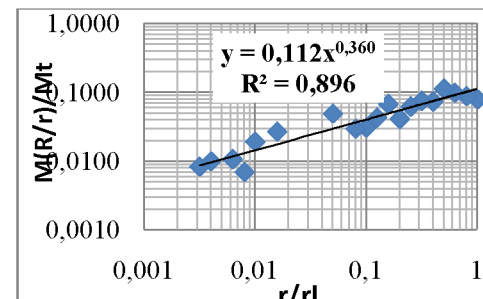


Figure VI-102 : Influence 4^{ème} sur la 1^{ère}

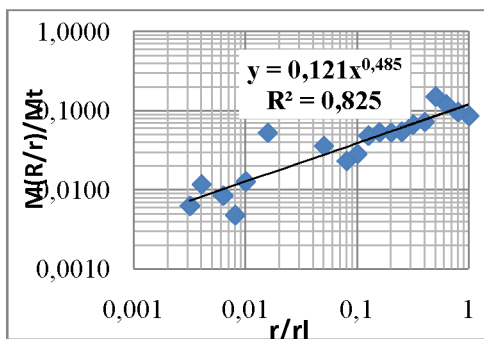


Figure VI-103 : 2^{ème} couche après essais

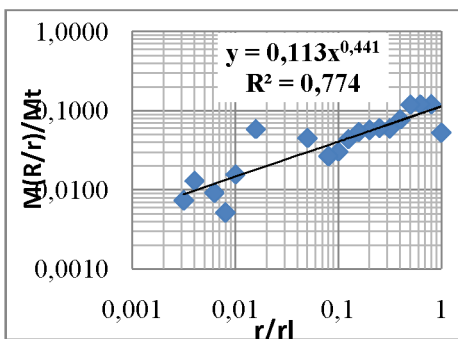


Figure VI-104 : Influence 3^{ème} sur la 2^{ème}

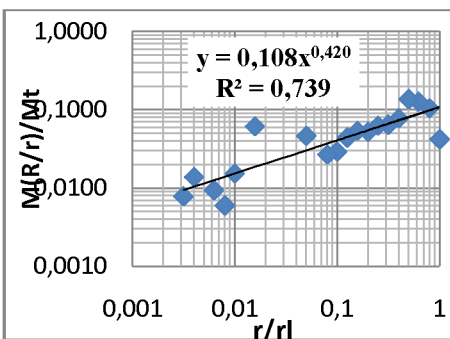


Figure VI-105 : Influence 4^{ème} sur la 2^{ème}

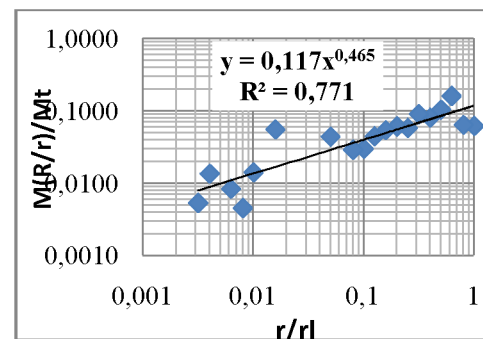


Figure VI-106 : 3^{ème} couche après essais

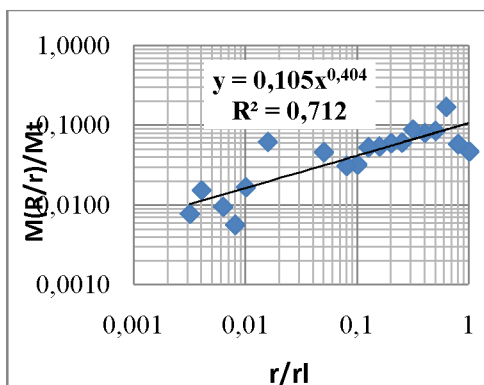


Figure VI-107 : Influence 4^{ème} sur la 3^{ème}

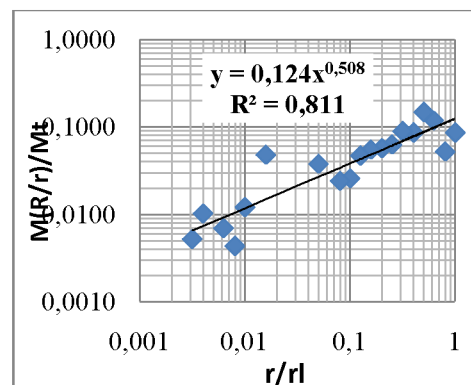
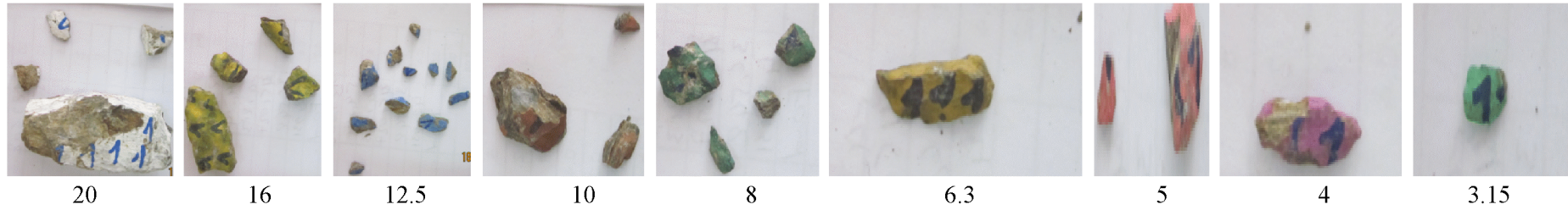


Figure VI-108 : 4^{ème} couche après essais

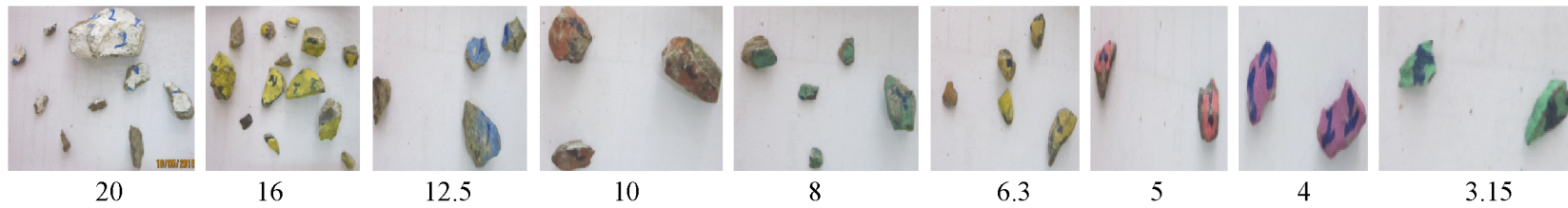
1^{ere} couche après 75 coups



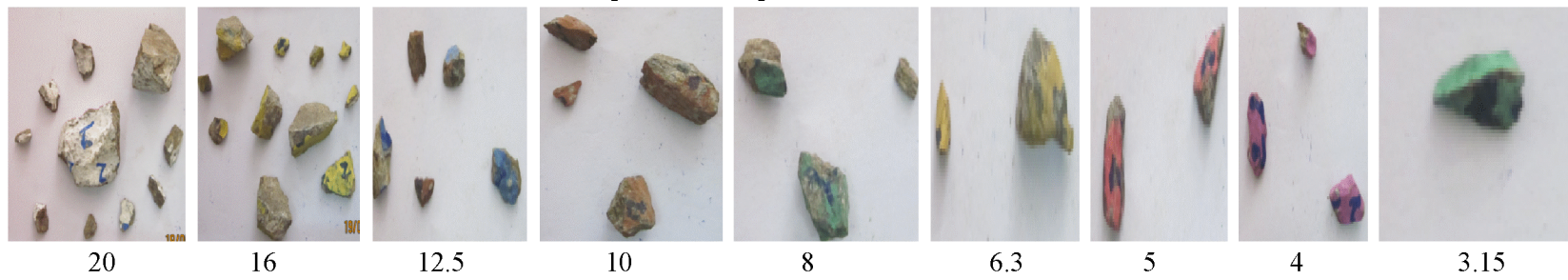
Influence de la 2^{eme} couche sur la 1^{ere} couche après 75 coups



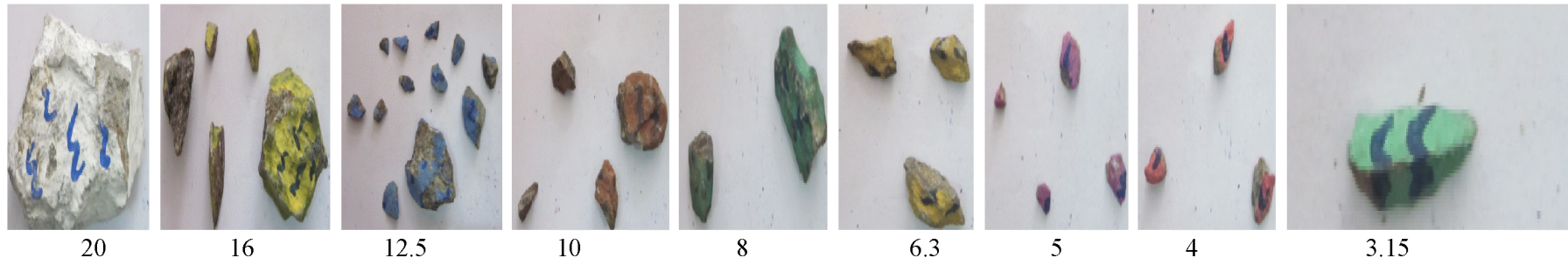
2^{eme} couche après 75 coups



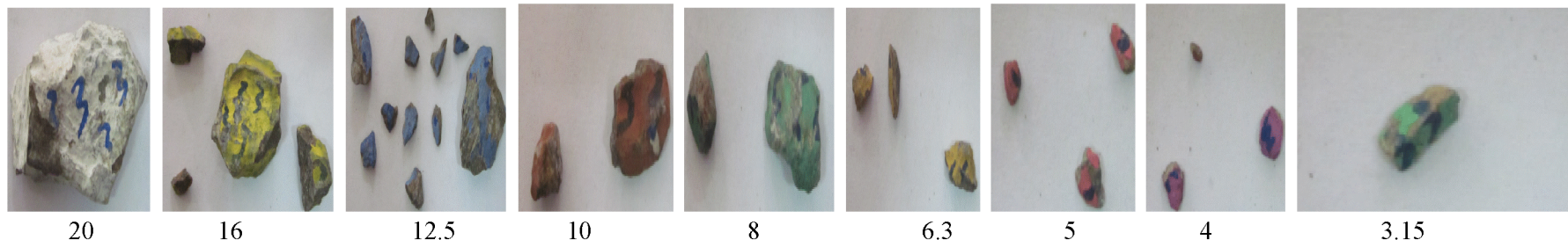
Influence de la 3^{eme} couche sur la 2^{eme} couche après 75 coups



3^{ème} couche après 75 coups



Influence de la 4^{ème} couche sur la 3^{ème} couche après 75 coups



4^{ème} couche après 75 coups

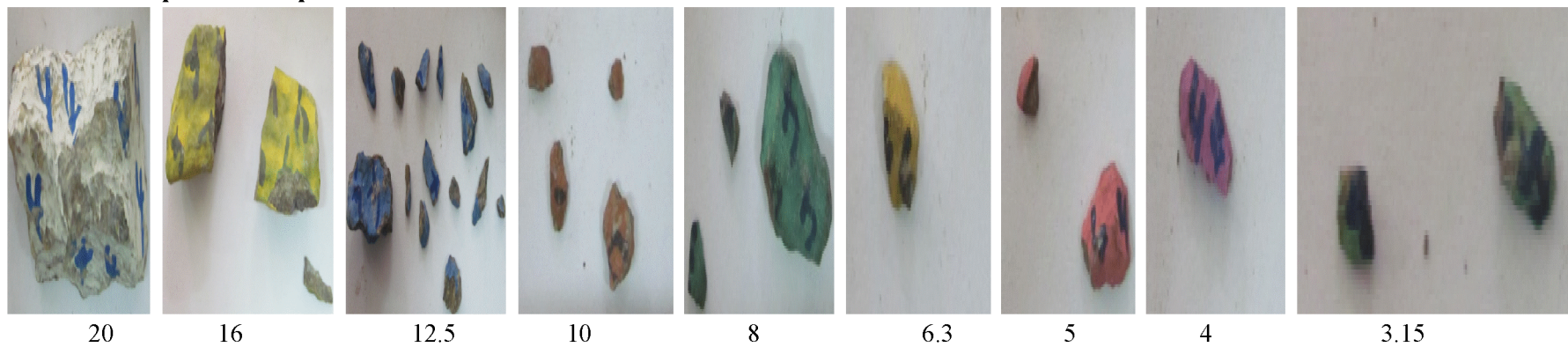


Tableau VI-74 : Analyse granulométrique de la 1^{ère} couche après 100 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0	0	0	100		
20	47,82	4,18	4,18	95,82	1	0,0418
16	57,41	5,02	9,19	90,81	0,8	0,0502
12,5	109,72	9,59	18,78	81,22	0,625	0,0959
10	76,38	6,67	25,45	74,55	0,5	0,0667
8	89,76	7,84	33,29	66,71	0,4	0,0784
6,3	73,68	6,44	39,73	60,27	0,315	0,0644
5	84,96	7,42	47,15	52,85	0,25	0,0742
4	74,98	6,55	53,70	46,30	0,2	0,0655
3,15	73,08	6,38	60,09	39,91	0,1575	0,0638
2,5	74,68	6,52	66,61	33,39	0,125	0,0652
2	34,94	3,05	69,66	30,34	0,1	0,0305
1,6	41,13	3,59	73,26	26,74	0,08	0,0359
1	70,39	6,15	79,41	20,59	0,05	0,0615
0,315	92,45	8,08	87,48	12,52	0,01575	0,0808
0,2	29,05	2,54	90,02	9,98	0,01	0,0254
0,16	12,08	1,06	91,08	8,92	0,008	0,0106
0,125	18,27	1,60	92,67	7,33	0,00625	0,0160
0,08	26,96	2,36	95,03	4,97	0,004	0,0236
0,063	16,17	1,41	96,44	3,56	0,00315	0,0141
fond	40,74	3,56	100,00	0,00		
somme	1144,67					

Tableau VI-75 : Influence de la 2^{ème} couche sur la 1^{ère} couche après 100 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0,00	0,00	0,00	100,00		
20	47,52	4,22	4,22	95,78	1	0,0422
16	55,81	4,96	9,18	90,82	0,8	0,0496
12,5	100,24	8,90	18,08	81,92	0,625	0,0890
10	65,40	5,81	23,88	76,12	0,5	0,0581
8	90,86	8,07	31,95	68,05	0,4	0,0807
6,3	74,78	6,64	38,59	61,41	0,315	0,0664
5	81,07	7,20	45,79	54,21	0,25	0,0720
4	66,29	5,89	51,68	48,32	0,2	0,0589
3,15	71,09	6,31	57,99	42,01	0,1575	0,0631
2,5	68,89	6,12	64,11	35,89	0,125	0,0612
2	42,46	3,77	67,88	32,12	0,1	0,0377
1,6	43,53	3,87	71,74	28,26	0,08	0,0387
1	70,08	6,22	77,96	22,04	0,05	0,0622
0,315	100,94	8,96	86,93	13,07	0,01575	0,0896
0,2	30,85	2,74	89,67	10,33	0,01	0,0274
0,16	12,98	1,15	90,82	9,18	0,008	0,0115
0,125	19,87	1,76	92,58	7,42	0,00625	0,0176
0,08	32,05	2,85	95,43	4,57	0,004	0,0285
0,063	20,97	1,86	97,29	2,71	0,00315	0,0186
fond	30,51	2,71	100,00	0,00		
somme	1126,18					

Tableau VI-76 : Influence de la 3^{ème} couche sur la 1^{ère} couche après 100 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0	0	0	100		
20	44,63	3,95	3,95	96,0455056	1	0,0395
16	54,81	4,86	8,81	91,1887142	0,8	0,0486
12,5	109,03	9,66	18,47	81,5281189	0,625	0,0966
10	66,49	5,89	24,36	75,6362067	0,5	0,0589
8	76,58	6,79	31,15	68,8508583	0,4	0,0679
6,3	76,88	6,81	37,96	62,0389273	0,315	0,0681
5	74,78	6,63	44,59	55,4128078	0,25	0,0663
4	73,55	6,52	51,10	48,8954991	0,2	0,0652
3,15	70,89	6,28	57,39	42,6143311	0,1575	0,0628
2,5	73,78	6,54	63,92	36,0766425	0,125	0,0654
2	41,23	3,65	67,58	32,4229729	0,1	0,0365
1,6	45,03	3,99	71,57	28,4331239	0,08	0,0399
1	66,39	5,88	77,45	22,5500725	0,05	0,0588
0,315	101,44	8,99	86,44	13,5618361	0,01575	0,0899
0,2	31,05	2,75	89,19	10,8105522	0,01	0,0275
0,16	13,68	1,21	90,40	9,59856951	0,008	0,0121
0,125	19,57	1,73	92,14	7,86459607	0,00625	0,0173
0,08	33,45	2,96	95,10	4,90100694	0,004	0,0296
0,063	24,36	2,16	97,26	2,74242311	0,00315	0,0216
fond	30,95	2,74	100,00	0		
somme	1128,56					

Tableau VI-77 : Influence de la 4^{ème} couche sur la 1^{ère} couche après 100 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0	0	0	100		
20	25,66	2,29	2,29	97,71	1	0,0229
16	63,60	5,69	7,98	92,02	0,8	0,0569
12,5	120,61	10,79	18,77	81,23	0,625	0,1079
10	72,28	6,46	25,23	74,77	0,5	0,0646
8	69,59	6,22	31,46	68,54	0,4	0,0622
6,3	82,07	7,34	38,80	61,20	0,315	0,0734
5	72,19	6,46	45,25	54,75	0,25	0,0646
4	76,88	6,88	52,13	47,87	0,2	0,0688
3,15	66,59	5,96	58,09	41,91	0,1575	0,0596
2,5	68,89	6,16	64,25	35,75	0,125	0,0616
2	43,03	3,85	68,10	31,90	0,1	0,0385
1,6	40,44	3,62	71,71	28,29	0,08	0,0362
1	70,49	6,30	78,02	21,98	0,05	0,0630
0,315	99,84	8,93	86,95	13,05	0,01575	0,0893
0,2	33,35	2,98	89,93	10,07	0,01	0,0298
0,16	13,08	1,17	91,10	8,90	0,008	0,0117
0,125	19,77	1,77	92,87	7,13	0,00625	0,0177
0,08	32,15	2,88	95,74	4,26	0,004	0,0288
0,063	17,17	1,54	97,28	2,72	0,00315	0,0154
fond	30,45	2,72	100,00	0,00		
somme	1118,11					

Tableau VI-78 : Analyse granulométrique de la 2^{ème} couche après 100 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0	0	0	100		
20	54,21	4,79	4,79	95,21	1	0,04793
16	77,68	6,87	11,66	88,34	0,8	0,06867
12,5	113,82	10,06	21,72	78,28	0,625	0,10062
10	113,32	10,02	31,74	68,26	0,5	0,10018
8	84,97	7,51	39,25	60,75	0,4	0,07511
6,3	84,27	7,45	46,70	53,30	0,315	0,07449
5	66,69	5,90	52,59	47,41	0,25	0,05896
4	74,78	6,61	59,21	40,79	0,2	0,06611
3,15	60,40	5,34	64,55	35,45	0,1575	0,05340
2,5	58,81	5,20	69,74	30,26	0,125	0,05199
2	32,65	2,89	72,63	27,37	0,1	0,02886
1,6	39,74	3,51	76,14	23,86	0,08	0,03513
1	61,10	5,40	81,54	18,46	0,05	0,05402
0,315	89,06	7,87	89,42	10,58	0,01575	0,07873
0,2	24,26	2,14	91,56	8,44	0,01	0,02145
0,16	10,78	0,95	92,52	7,48	0,008	0,00953
0,125	14,18	1,25	93,77	6,23	0,00625	0,01253
0,08	23,96	2,12	95,89	4,11	0,004	0,02118
0,063	14,58	1,29	97,18	2,82	0,00315	0,01289
fond	31,95	2,82	100,00	0,00		
somme	1131,19					

Tableau VI-79 : Influence de la 3^{ème} couche sur la 2^{ème} couche après 100 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0	0	0	100		
20	46,73	4,17	4,17	95,83	1	0,0417
16	78,47	7,01	11,18	88,82	0,8	0,0701
12,5	128,00	11,43	22,62	77,38	0,625	0,1143
10	78,47	7,01	29,63	70,37	0,5	0,0701
8	79,07	7,06	36,69	63,31	0,4	0,0706
6,3	86,06	7,69	44,38	55,62	0,315	0,0769
5	70,79	6,32	50,70	49,30	0,25	0,0632
4	69,89	6,24	56,94	43,06	0,2	0,0624
3,15	63,00	5,63	62,57	37,43	0,1575	0,0563
2,5	63,60	5,68	68,25	31,75	0,125	0,0568
2	34,85	3,11	71,36	28,64	0,1	0,0311
1,6	37,24	3,33	74,69	25,31	0,08	0,0333
1	64,80	5,79	80,48	19,52	0,05	0,0579
0,315	91,35	8,16	88,64	11,36	0,01575	0,0816
0,2	27,16	2,43	91,06	8,94	0,01	0,0243
0,16	11,98	1,07	92,13	7,87	0,008	0,0107
0,125	16,37	1,46	93,60	6,40	0,00625	0,0146
0,08	25,36	2,27	95,86	4,14	0,004	0,0227
0,063	17,07	1,53	97,39	2,61	0,00315	0,0153
fond	29,25	2,61	100,00	0,00		
somme	1119,51					

Tableau VI-80 : Influence de la 4^{ème} couche sur la 2^{ème} couche après 100 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0	0	0	100		
20	58,01	5,24	5,24	94,76	1	0,0524
16	66,79	6,04	11,28	88,72	0,8	0,0604
12,5	109,92	9,93	21,21	78,79	0,625	0,0993
10	100,44	9,08	30,29	69,71	0,5	0,0908
8	71,69	6,48	36,76	63,24	0,4	0,0648
6,3	77,88	7,04	43,80	56,20	0,315	0,0704
5	68,19	6,16	49,96	50,04	0,25	0,0616
4	75,68	6,84	56,80	43,20	0,2	0,0684
3,15	61,70	5,58	62,38	37,62	0,1575	0,0558
2,5	55,31	5,00	67,37	32,63	0,125	0,0500
2	40,04	3,62	70,99	29,01	0,1	0,0362
1,6	39,24	3,55	74,54	25,46	0,08	0,0355
1	63,60	5,75	80,28	19,72	0,05	0,0575
0,315	94,15	8,51	88,79	11,21	0,01575	0,0851
0,2	27,56	2,49	91,28	8,72	0,01	0,0249
0,16	11,43	1,03	92,31	7,69	0,008	0,0103
0,125	16,77	1,52	93,83	6,17	0,00625	0,0152
0,08	27,56	2,49	96,32	3,68	0,004	0,0249
0,063	15,18	1,37	97,69	2,31	0,00315	0,0137
fond	25,56	2,31	100,00	0,00		
somme	1106,67					

Tableau VI-81 : Analyse granulométrique de la 3^{ème} couche après 100 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0	0	0	100		
20	48,82	4,29	4,29	95,71	1	0,0429
16	143,27	12,60	16,89	83,11	0,8	0,1260
12,5	112,12	9,86	26,75	73,25	0,625	0,0986
10	133,49	11,74	38,49	61,51	0,5	0,1174
8	72,98	6,42	44,91	55,09	0,4	0,0642
6,3	77,18	6,79	51,69	48,31	0,315	0,0679
5	74,38	6,54	58,24	41,76	0,25	0,0654
4	64,60	5,68	63,92	36,08	0,2	0,0568
3,15	59,90	5,27	69,18	30,82	0,1575	0,0527
2,5	54,01	4,75	73,93	26,07	0,125	0,0475
2	38,34	3,37	77,30	22,70	0,1	0,0337
1,6	33,15	2,91	80,22	19,78	0,08	0,0291
1	54,81	4,82	85,04	14,96	0,05	0,0482
0,315	75,98	6,68	91,72	8,28	0,01575	0,0668
0,2	21,87	1,92	93,64	6,36	0,01	0,0192
0,16	7,29	0,64	94,28	5,72	0,008	0,0064
0,125	11,78	1,04	95,32	4,68	0,00625	0,0104
0,08	19,17	1,69	97,01	2,99	0,004	0,0169
0,063	10,18	0,90	97,90	2,10	0,00315	0,0090
fond	23,86	2,10	100,00	0,00		
somme	1137,18					

Tableau VI-82 : Influence de la 4^{ème} couche sur la 3^{ème} couche après 100 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0	0	0	100		
20	41,03	3,63	3,63	96,37	1	0,0363
16	120,21	10,64	14,27	85,73	0,8	0,1064
12,5	138,28	12,23	26,50	73,50	0,625	0,1223
10	112,32	9,94	36,44	63,56	0,5	0,0994
8	73,98	6,55	42,98	57,02	0,4	0,0655
6,3	78,97	6,99	49,97	50,03	0,315	0,0699
5	71,69	6,34	56,31	43,69	0,25	0,0634
4	64,80	5,73	62,04	37,96	0,2	0,0573
3,15	66,89	5,92	67,96	32,04	0,1575	0,0592
2,5	54,71	4,84	72,80	27,20	0,125	0,0484
2	37,44	3,31	76,12	23,88	0,1	0,0331
1,6	33,65	2,98	79,09	20,91	0,08	0,0298
1	56,51	5,00	84,09	15,91	0,05	0,0500
0,315	79,27	7,01	91,11	8,89	0,01575	0,0701
0,2	24,36	2,16	93,26	6,74	0,01	0,0216
0,16	9,19	0,81	94,07	5,93	0,008	0,0081
0,125	13,18	1,17	95,24	4,76	0,00625	0,0117
0,08	21,57	1,91	97,15	2,85	0,004	0,0191
0,063	11,18	0,99	98,14	1,86	0,00315	0,0099
fond	21,07	1,86	100,00	0,00		
somme	1130,29					

Tableau VI-83 : Analyse granulométrique de la 4^{ème} couche après 100 coups

tamis	poids refus partiel	refus partiels %	refus cumulés %	passant %	r/rl	M(r/R)/Mt
25	0,00	0,00	0,00	100,00		
20	60,40	5,28	5,28	94,72	1	0,0528
16	91,45	7,99	13,27	86,73	0,8	0,0799
12,5	112,62	9,84	23,12	76,88	0,625	0,0984
10	130,79	11,43	34,55	65,45	0,5	0,1143
8	95,35	8,33	42,88	57,12	0,4	0,0833
6,3	95,35	8,33	51,21	48,79	0,315	0,0833
5	71,19	6,22	57,43	42,57	0,25	0,0622
4	73,08	6,39	63,82	36,18	0,2	0,0639
3,15	62,70	5,48	69,30	30,70	0,1575	0,0548
2,5	71,89	6,28	75,58	24,42	0,125	0,0628
2	27,96	2,44	78,03	21,97	0,1	0,0244
1,6	37,54	3,28	81,31	18,69	0,08	0,0328
1	56,81	4,97	86,27	13,73	0,05	0,0497
0,315	76,58	6,69	92,97	7,03	0,01575	0,0669
0,2	18,97	1,66	94,62	5,38	0,01	0,0166
0,16	8,19	0,72	95,34	4,66	0,008	0,0072
0,125	9,88	0,86	96,20	3,80	0,00625	0,0086
0,08	17,47	1,53	97,73	2,27	0,004	0,0153
0,063	8,79	0,77	98,50	1,50	0,00315	0,0077
fond	17,17	1,50	100,00	0,00		
somme	1144,17					

Étalement granulométrique du schiste après une énergie de compactage de 100 coups

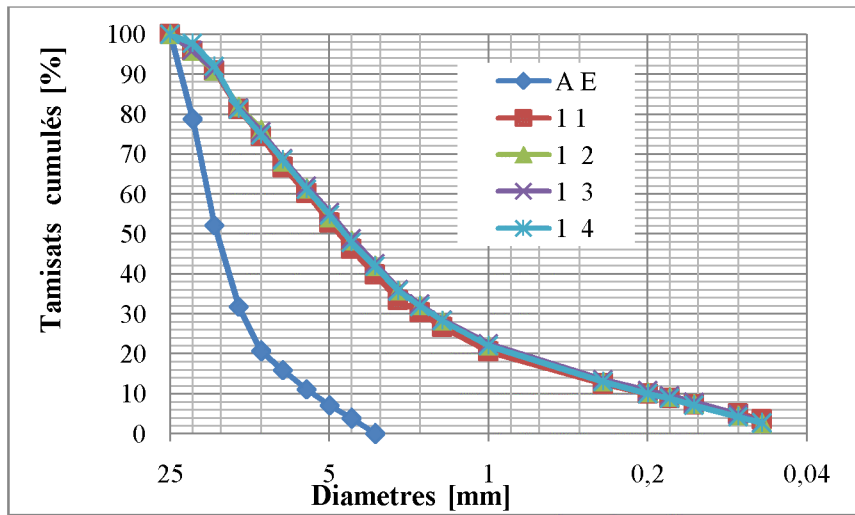


Figure VI-109 : Influence des couches supérieures sur la 1^{ère} couche

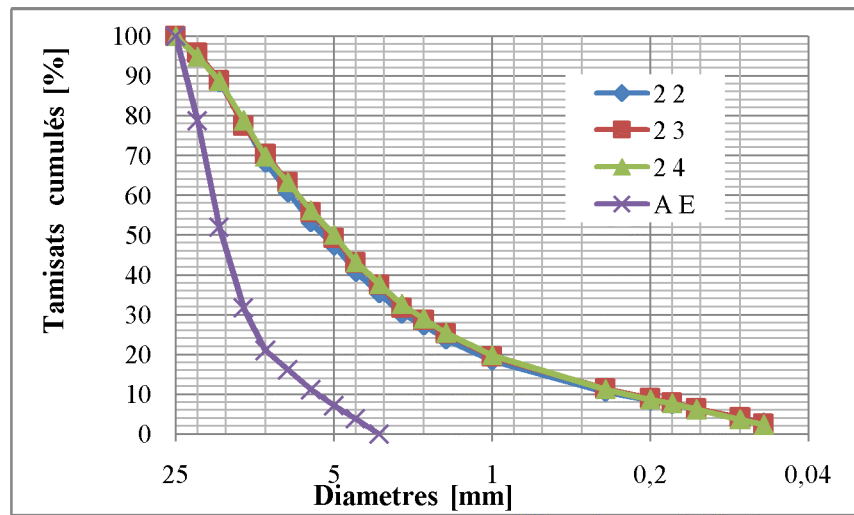


Figure VI-110 : Influence des couches supérieures sur la 2^{ème} couche

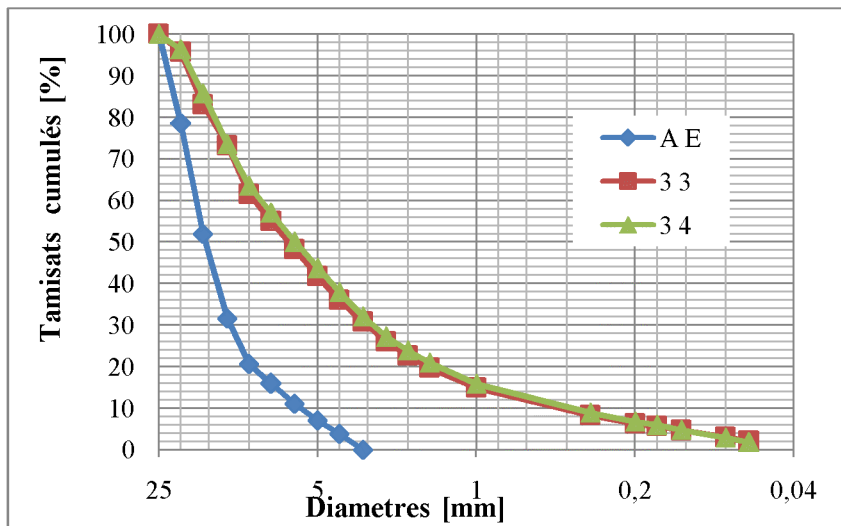


Figure VI-111 : Influence des couches supérieures sur la 3^{ème} couche

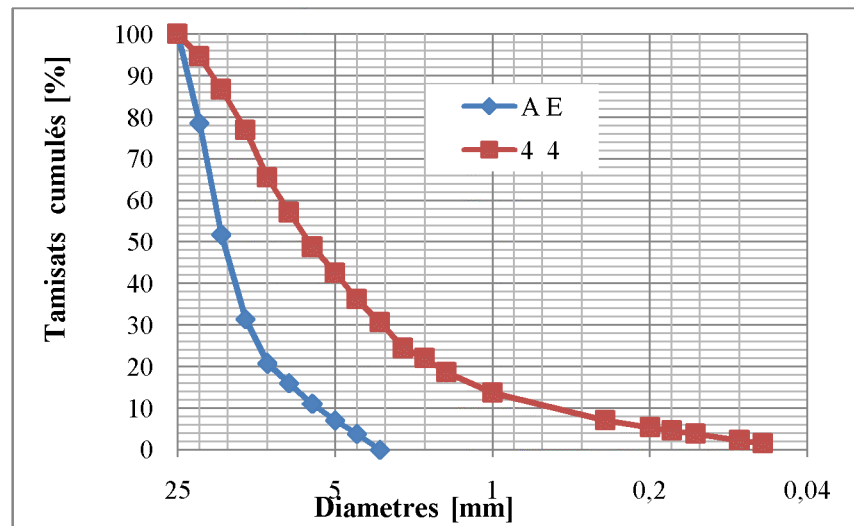


Figure VI-112 : Etalement granulométrique de la 4^{ème} couche

Les courbes obtenues après le calcul de la DF avec la méthode des masses sur l'influence des couches supérieures la 1^{ère}, 2^{ème}, 3^{ème} et 4^{ème} après 75 coups

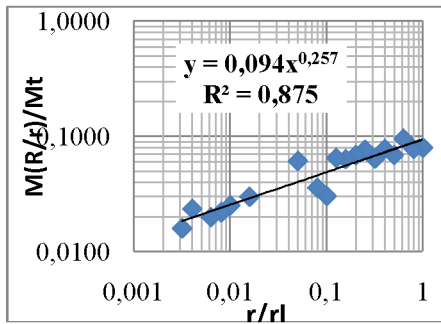


Figure VI-113 : 1^{ère} couche après essais

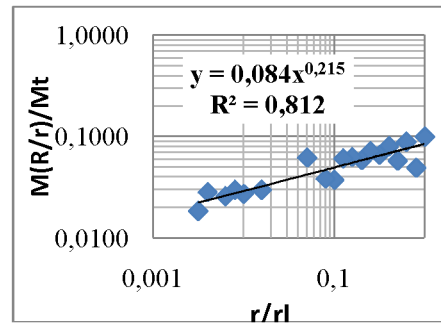


Figure VI-114 : Influence 2^{ème} sur la 1^{ère}

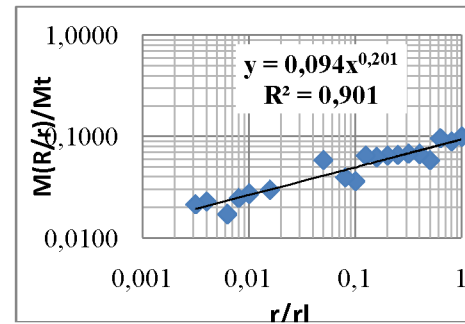


Figure VI-115 : Influence 3^{ème} sur la 1^{ère}

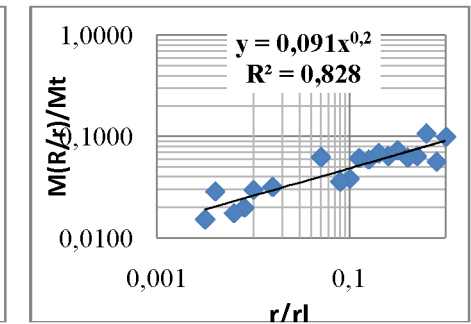


Figure VI-116 : Influence 4^{ème} sur la 1^{ère}

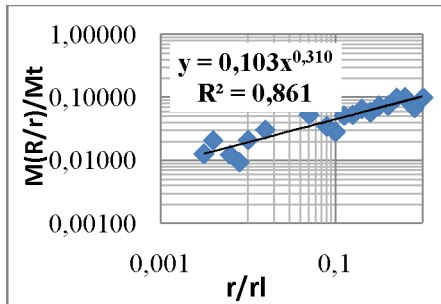


Figure VI-117 : 2^{ème} couche après essais

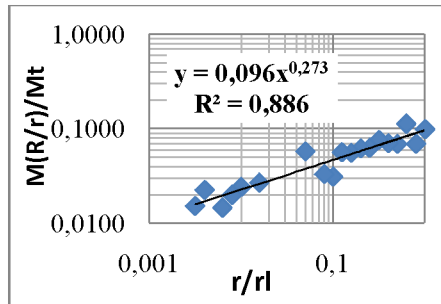


Figure VI-118 : Influence 3^{ème} sur la 2^{ème}

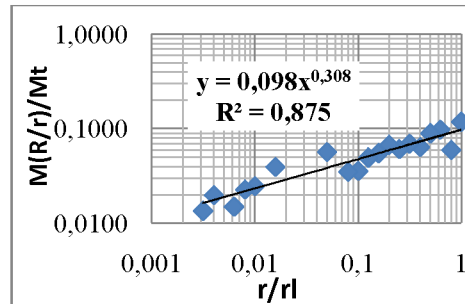


Figure VI-119 : Influence 4^{ème} sur la 2^{ème}

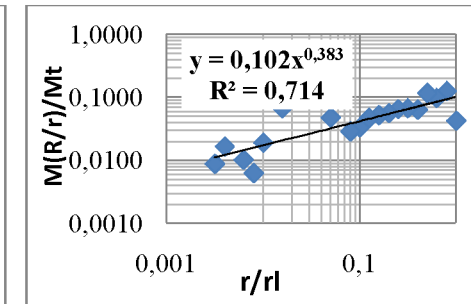


Figure VI-120 : 3^{ème} couche après essais

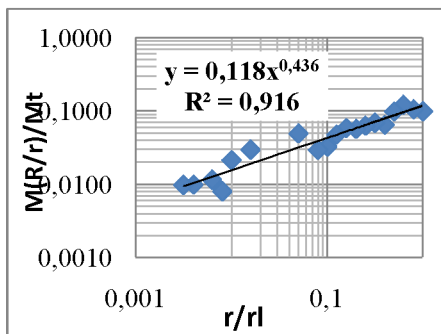


Figure VI-121 : Influence 4^{ème} sur la 3^{ème}

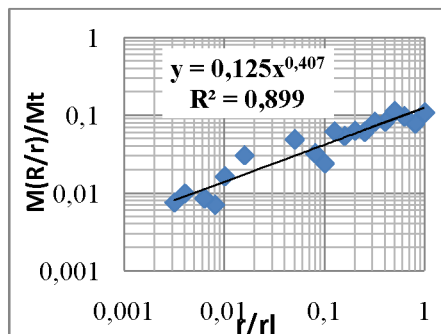


Figure VI-122 : 4^{ème} couche après essais

1^{ère} couche après 100 coups



20 16 12.5 10 8 6.3 5 4 3.15

Influence de la 2^{ème} couche sur la 1^{ère} couche après 100 coups



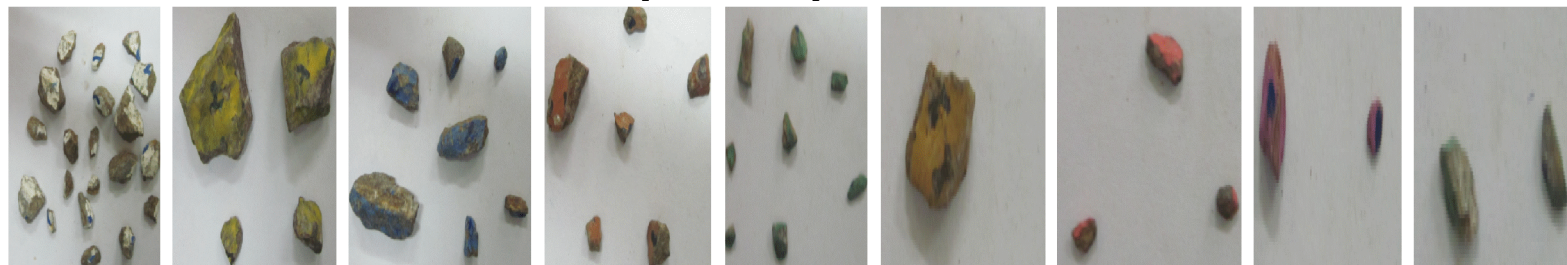
20 16 12.5 10 8 6.3 5 4 3.15

2^{ème} couche après 100 coups



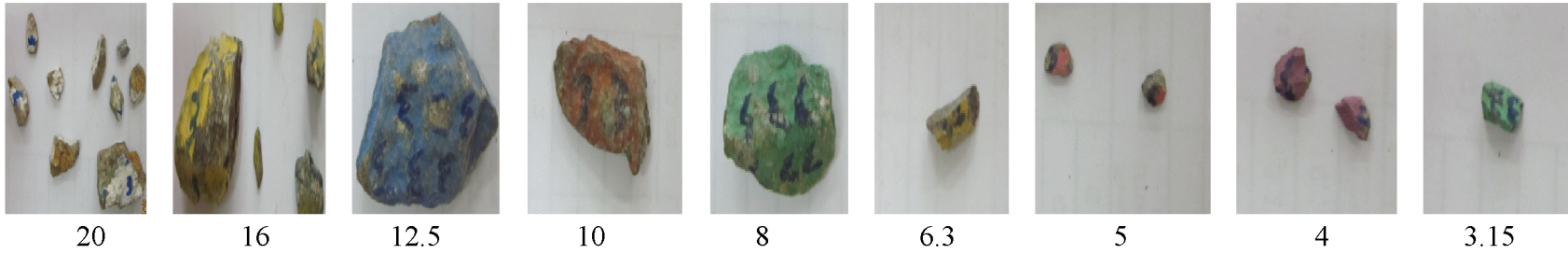
20 16 12.5 10 8 6.3 5 4 3.15

Influence de la 3^{ème} couche sur la 2^{ème} couche après 100 coups

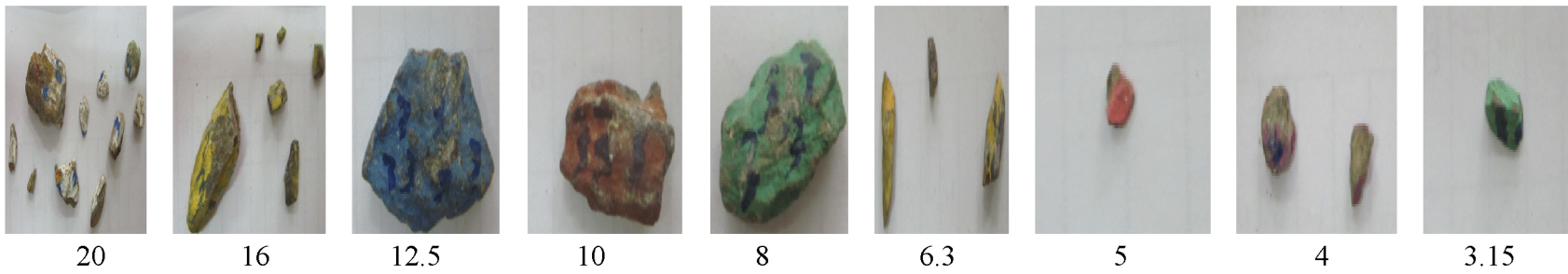


20 16 12.5 10 8 6.3 5 4 3.15

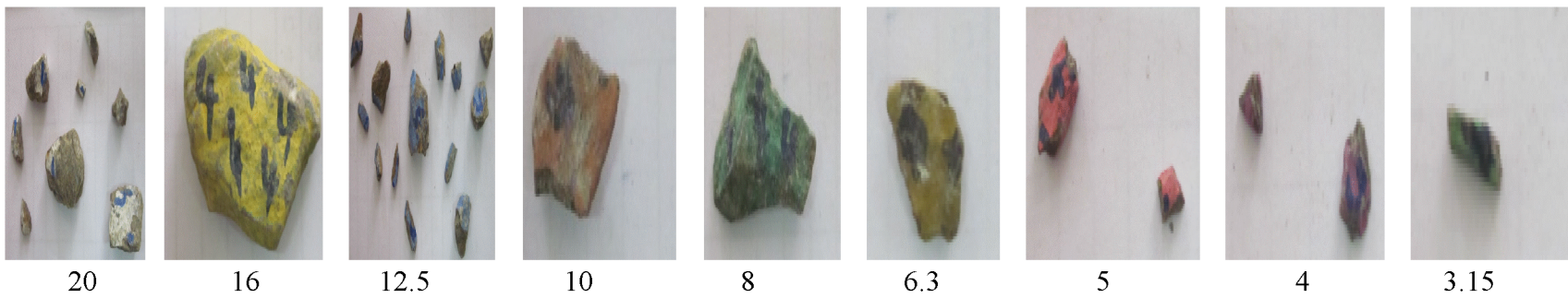
3^{ème} couche après 100 coups



Influence de la 4^{ème} couche sur la 3^{ème} couche après 100 coups



4^{ème} couche après 100 coups



Influence de l'énergie de compactage sur chaque couche du gré

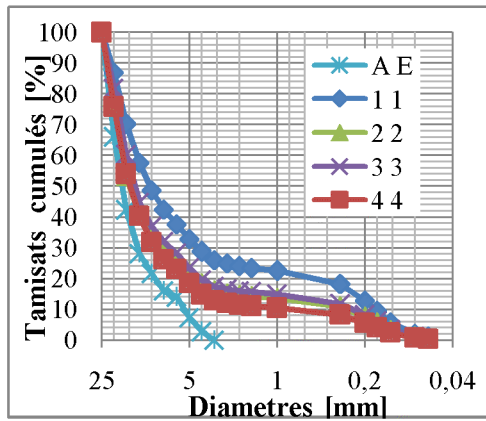


Figure VI-123 : Après 25 coups

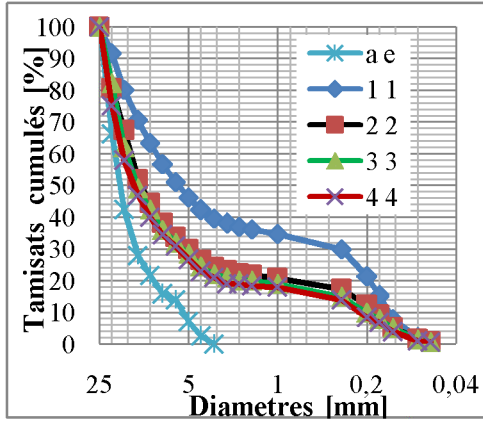


Figure VI-124 : Après 50 coups

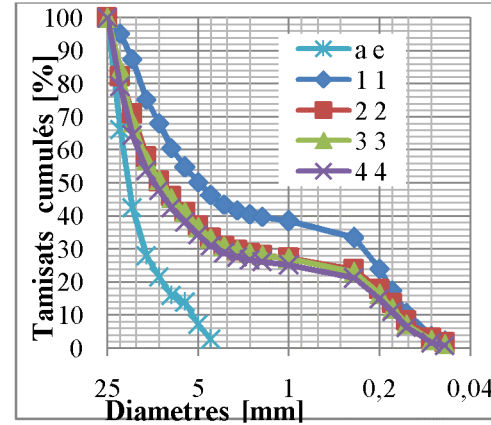


Figure VI-125 : Après 75 coups

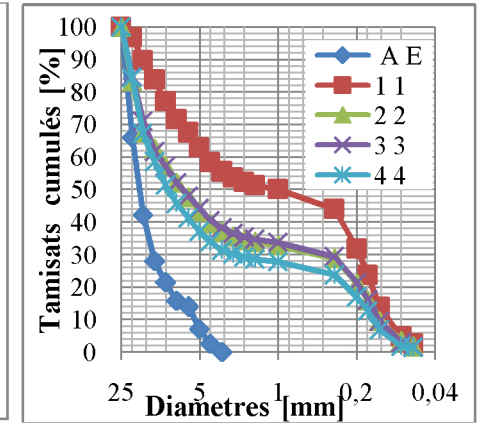


Figure VI-126 : Après 100 coups

Influence de l'énergie de compactage sur chaque couche du schiste

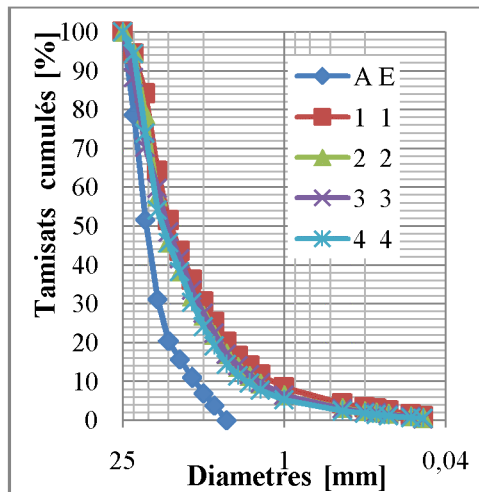


Figure VI-127 : Après 25 coups

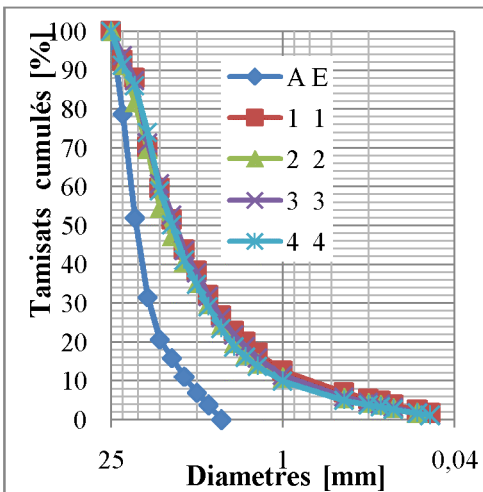


Figure VI-128 : Après 50 coups

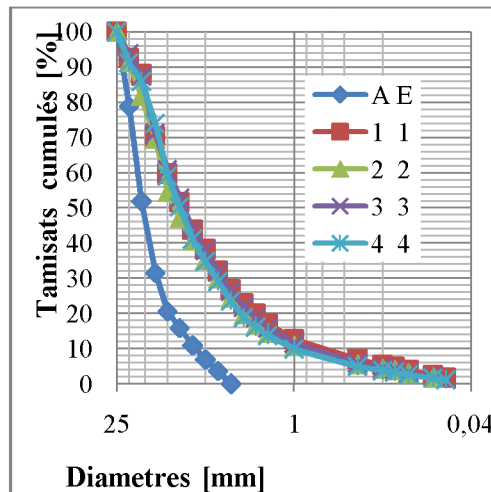


Figure VI-129 : Après 75 coups

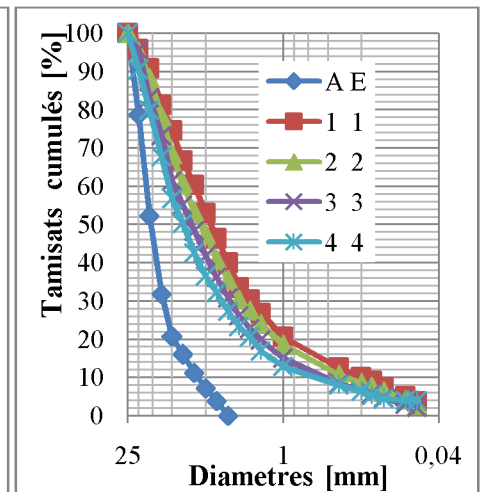


Figure VI-130 : Après 100 coups

Étalement granulométrique de chaque couche en fonction de l'énergie de compactage pour le gré

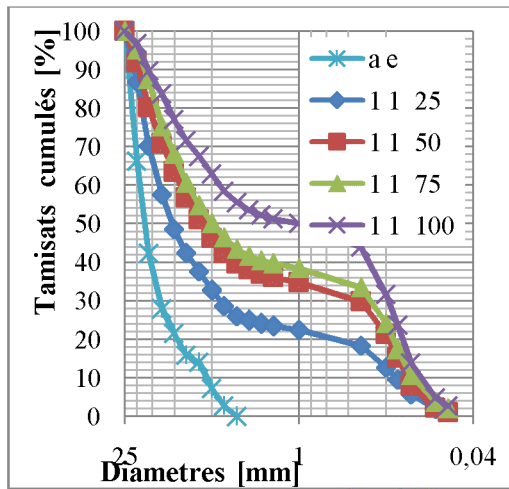


Figure VI-131 :1^{ère} couche

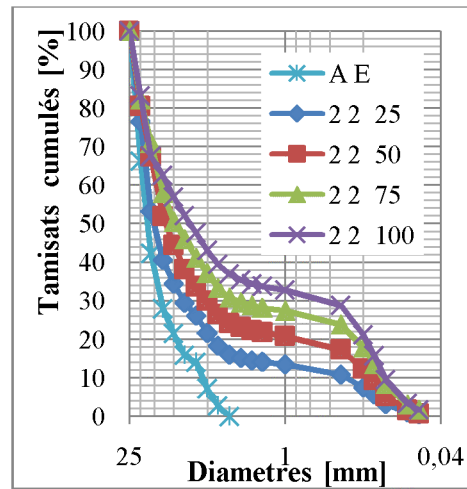


Figure VI-132 :2^{ème} couche

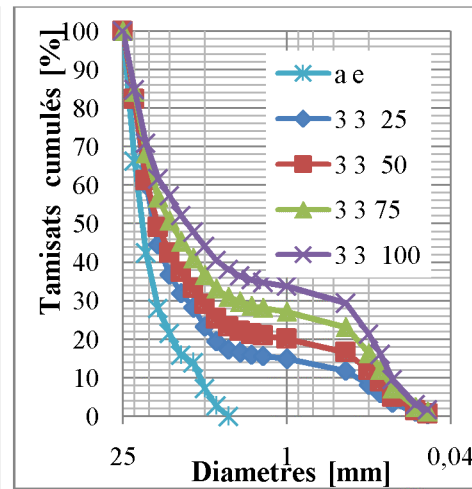


Figure VI-133 :3^{ème} couche

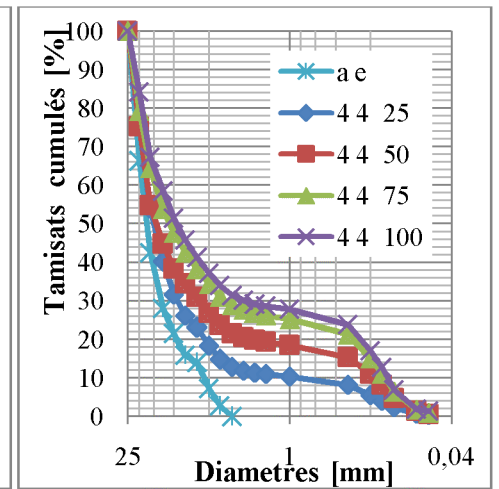


Figure VI-134 :4^{ème} couche

Étalement granulométrique de chaque couche en fonction de l'énergie de compactage pour le schiste

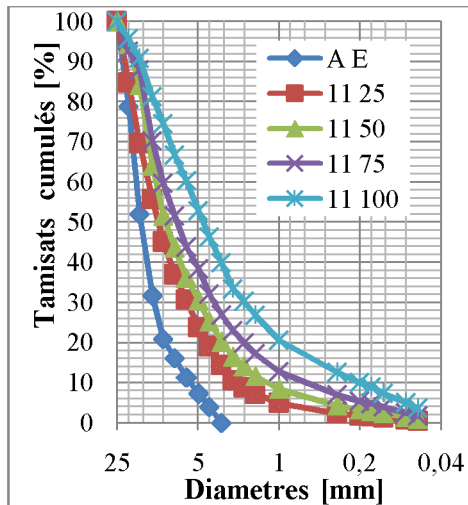


Figure VI-135 :1^{ère} couche

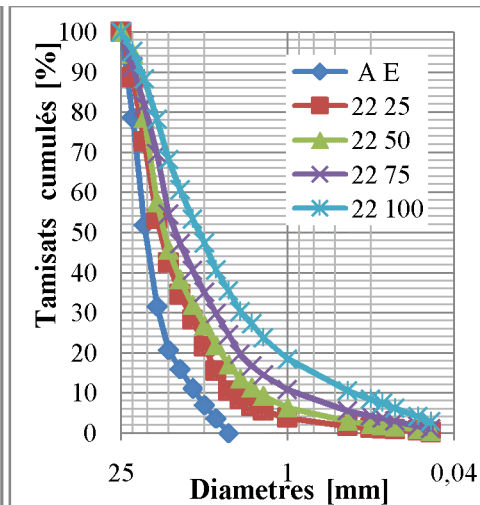


Figure VI-136 :2^{ème} couche

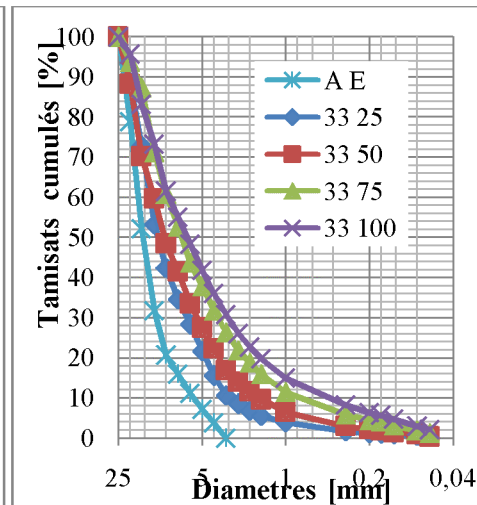


Figure VI-137 :3^{ème} couche

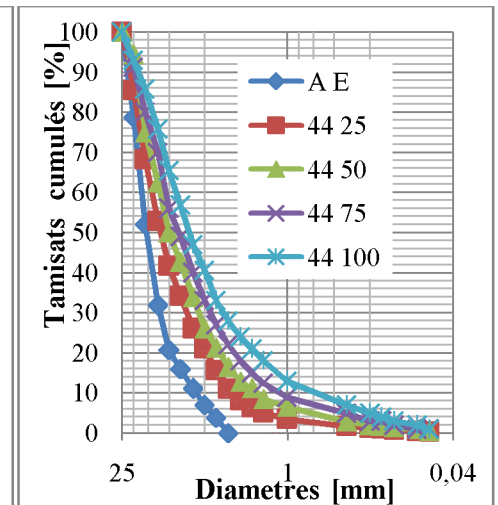


Figure VI-138 :4^{ème} couche