



Université Abderrahmane Mira de Bejaia

Faculté de Technologie

Département des Mines et Géologie

Memoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Filière : Génie Minier

Option : Valorisation des Ressources Minérales

Présenté par :

Mr. Yakouben Yabadas

Mr. Khediri Toufik

Thème

*Effet de la composition chimique des argiles
sur la qualité de brique de SARL Ksal
Ain l'Orak El Bayadh*

Soutenu le 03 /07 /2023 devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Lieux d'exercice	Qualité
Mme Djouadi. F	M.A. A	U.A.M. B	Président
Mr Mossaceb.K	Professeur	U.A.M. B	Promoteur
Mme Kicher.K	M.A. A	U.A.M. B	Examineur
Mr Sahnoune.R	Docteur	U.A.M. B	Co-Promoteur

Promotion : 2022-2023

Remerciements

Préambule, nous tenons à remercier le dieu le tout puissant miséricordieux de nous avoir donné la patient, la force et le courage afin de réalisé ce modeste travail.

On tient à exprimer notre profonde reconnaissance à l'égard de Monsieur Moussaceb Karim professeur à l'université de BEJAIA, pour avoir accepté de nous diriger nos travaux. On le remercie pour ses compétences scientifiques, ses qualités humaines, ses critiques constructifs et ses conseils.

Nos remerciements à notre Co-encadreur monsieur Sahnoune Rachid docteur à l'université de BEJAIA d'avoir accepté de nous accompagner le long de notre recherche, pour ses qualités et ses conseils.

Nos vifs remerciements à madame djaouadi.F pour avoir accepté de présider le jury de notre soutenance.

Nos vifs remerciement vont également à madame Kicher pour l'intérêt qu'elle à portée à notre recherche en acceptons d'examiné notre travail.

Nos remerciements vont à tous les enseignants du département MINES ET GEOLOGIE de l'université de BEJAIA.

Nos remerciements au doctorant Massi Adjissa du département des MINES et GEOLOGIE pour son aide et ses conseils.

Nos remerciements vont à nos amis, à la promo VRM 2023 et à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Je dédier ce travail à la mémoire de mes parents que j'ai vraiment
souhaité leurs présence

A mes très chère frère **KOCIELA et GAYA**

A mes très chères sœurs **NABILA, MELISSA, SOUHILA, SALOUA
THIZIRI ET KENZA**

A mes beaux-frères **LOUNIS, MADJID, ATMAN, MALEK ET
FARASSEN**

A mes très chères neveux **ISLEM, ASSIREM, ILIMMAS, BRAHIM,
WASSIM, MOUMOUH, YODAS ET ILIYAN**

A mes très chère nièces **FADILA, DACINE ET NILYA**

A la famille YAKOUBEN

A tous mes amis et collègue

A la personne la plus chère à moi.

YABADAS

Dédicace

Je dédier ce travail à mes parents pour l'éducation, le soutien et l'encouragement qui m'ont offert.

A mon petit frère **FIDOU**

A mes très chers frères et sœurs

A mon ami **HOUCINE BOUGAA**

A tous mes amis et mes collègues

TOUFIK

Sommaire

Sommaire	iii
Liste des figures	v
Liste des tableaux.....	vii
Liste des abréviations.....	x
Introduction Générale	1
I CHAPITRE GENERALITES SUR LES BRIQUES.....	2
I.1 Brique :.....	2
I.2 Caractéristiques des briques :.....	2
I.2.1 Propriétés physiques :	2
I.2.2 Composante chimique.....	4
I.2.3 Composante minéralogique	4
I.3 Argiles	5
I.3.1 Définition d'argile.....	5
I.3.2 Minéralogie des argiles	5
I.3.3 Structure des argiles	6
I.3.4 Dispositions des oxygènes [15]	6
I.4 Procéder de fabrication des briques :	10
I.4.1 Extraction des matières premières	10
I.4.2 Préparation de la pate.....	10
I.4.3 Façonnage	11
I.4.4 Séchage	12
I.4.5 Cuisson.....	13
I.5 Conclusion.....	14
II. Chapitre Présentation du site	15
Introduction.....	15
II.1 Géologie et géographie du site	15
II.1.1 Situation administrative	15
II.1.2 Situation géographique de la briqueterie Ksal AIN L'ORAK.....	16
II.1.3 Milieux physiques	16
II.2 Présentation de la carrière	20
II.2.1 La carrière	20
III. Chapitre Matériels et méthodes d'analyse	22

III.1	Echantillonnage :	22
III.2	Analyse granulométrique :	23
III.2.1	Coefficient de Courbure (Cc) : [07].....	24
III.2.2	Coefficient d'Uniformité (Cu) : [07].....	25
III.2.3	Ecart type : [08]	25
III.2.4	Paramètres de dispersion : [31].....	25
III.2.5	Paramètres d'asymétrie [31].....	25
III.2.6	Paramètres d'acuité [09].....	26
III.2.7	Porosité : [30].....	26
III.3	Bleu de méthylène (NF EN 933-9).....	27
III.3.1	Mode opératoire	27
III.4	Humidité	28
III.4.1	Mesure de conductivité électrique	29
III.5	Calcul du pH	30
III.5.1	Par H ₂ O	30
III.5.2	Principe et théorie	30
III.5.3	Appareillage	30
III.5.4	Protocole	30
III.5.5	Préparation des échantillons	31
III.6	Ph au KCL :	31
III.6.1	Principe :	31
III.6.2	Préparation des échantillons	31
III.6.3	Appareillage :	31
III.6.4	Préparation de la suspension :	31
III.6.5	Etalonnage du pH-mètre :	32
III.6.6	Mesure du pH :	32
III.7	Limite d'Atterberg	32
III.7.1	Principe	32
III.7.2	Matériel utilisé :	33
III.7.3	Mode opératoire	33
III.7.4	Caractérisation minéralogique par diffraction à rayon X	34
III.7.5	Analyse chimique par fluorescence des rayons X	35
III.8	Conclusion	37
IV.	Chapitre résultats et discussion	38
	Introduction.....	38
IV.1	Analyse granulométrique.....	38
IV.2	Analyse en bleu de méthylène :	87

IV.3	Résultats d'Analyse d'humidité :	89
IV.4	Résultats d'Analyse de conductivité électrique :.....	90
IV.5	Résultats d'analyse de ph	91
IV.6	Résultats d'analyse Ph KCL.....	92
IV.7	Limite d'Atterberg :	94
IV.7.1	Limite de liquidité :.....	94
IV.7.2	Limite de plasticité.....	95
IV.7.3	L'indice de plasticité :.....	95
IV.8	Résultats d'analyse FRX pour les échantillons suivants :	96
IV.9	Analyse de diffraction des rayons X :	108
IV.10	Conclusion	113
Conclusion générale.....		115
Ressource bibliographique.....		116

Liste des figures

Figure I.1-1 : Brique 8 trous	2
Figure I.3-1 : Extraction d'argile	5
Figure I.3-2 : Représentation d'un plan compact des oxygènes	6
Figure I.3-3 : Représentation d'un plan hexagonal des oxygènes	6
Figure I.3-4 : couche structural tétraédrique [15].....	7
Figure I.3-5 : couche structural octaédrique [15]	7
Figure I.3-6 : Représentation de la structure minéralogique d'une particule d'argile [15]	8
Figure I.3-7 :vue isométrique de la structure atomique de la kaolinite [14]	9
Figure I.3-8 :Vue isométrique de la structure atomique de l'illite [17].....	9
Figure I.3-9 :Vue isométrique de la structure atomique de la montmorillonite [17].....	10
Figure I.4-1 :Schéma d'une extrudeuse [19]	12
Figure I.4-2 :comportements du mélange argileux au cours du séchage [18].....	13
Figure II.1-1 : Carte administrative de la commune de AIN L'ORAK [24]	15
Figure II.1-2 : Situation géographique de la briqueterie Ksal [24]	16
Figure II.1-3 carte géologique de la wilaya d'EL Bayadh [24]	19
Figure II.2-1 :levé topographique du gisement [24].....	21
Figure III.1-1 :plan d'échantillonnage	22
Figure III.1-2 : : Etalage des échantillons pour sécher au LTMGP	23
Figure III.2-1 : Opération de tamisage des échantillons	24
Figure III.2-2 : Echantillonneur à jarres, LTMGP	27
Figure III.3-1 :exemple sur test bleu de méthylène.....	27
Figure III.4-1 : calcul des masses après séchage test humidité.....	29
Figure III.4-2 :conductimètre	29
Figure III.5-1 :pH-mètre.....	30
Figure III.7-1 :appareil de Casagrande.....	32
Figure III.7-2 :Principe de l'analyse par DRX.....	35
Figure III.7-3 :appareil DRX.....	35
Figure III.7-4 :appareil FRX	36
Figure III.7-5 :Principe de base de l'analyse par FX	36
Figure IV.1-1 : distribution granulométrie de l'échantillon prélevé de la carrière n01	38
Figure IV.1-2 : distribution granulométrie de l'échantillon prélevé de la carrière n02.....	40
Figure IV.1-3 : distribution granulométrie de l'échantillon prélevé de la carrière n03.....	42
Figure IV.1-4 : distribution granulométrie de l'échantillon prélevé de la carrière n04.....	44
Figure IV.1-5 : distribution granulométrie de l'échantillon prélevé de la carrière n05.....	45
Figure IV.1-6 : distribution granulométrie de l'échantillon prélevé de la carrière n06.....	47
Figure IV.1-7 : distribution granulométrie de l'échantillon prélevé du concasseur n01	49
Figure IV.1-8 : distribution granulométrie de l'échantillon prélevé du concasseur n02.....	50
Figure IV.1-9 : distribution granulométrie de l'échantillon prélevé du concasseur n03.....	52
Figure IV.1-10 : distribution granulométrie de l'échantillon prélevé du concasseur n04.....	54
Figure IV.1-11 : distribution granulométrie de l'échantillon prélevé du concasseur n05.....	55
Figure IV.1-12 : distribution granulométrie de l'échantillon prélevé du concasseur n06.....	57
Figure IV.1-13 : distribution granulométrie de l'échantillon prélevé de la broyeur n01	59
Figure IV.1-14 : distribution granulométrie de l'échantillon prélevé de la broyeur n02	60
Figure IV.1-15 : distribution granulométrie de l'échantillon prélevé de la broyeur n03	62
Figure IV.1-16 : distribution granulométrie de l'échantillon prélevé de la broyeur n0	64
Figure IV.1-17 : distribution granulométrie de l'échantillon prélevé de la broyeur n05	66

Figure IV.1-18 : distribution granulométrie de l'échantillon prélevé de la broyeur n06	67
Figure IV.1-19 : distribution granulométrie de l'échantillon prélevé de mélangeur n01	69
Figure IV.1-20 : distribution granulométrie de l'échantillon prélevé de mélangeur n02.....	71
Figure IV.1-21 : distribution granulométrie de l'échantillon prélevé de mélangeur n 03.....	72
Figure IV.1-22 : distribution granulométrie de l'échantillon prélevé de mélangeur n04.....	74
Figure IV.1-23 : distribution granulométrie de l'échantillon prélevé de mélangeur n05.....	76
Figure IV.1-24 : distribution granulométrie de l'échantillon prélevé de mélangeur n06.....	77
Figure IV.1-25 : distribution granulométrie de l'échantillon prélevé de sable	79
Figure IV.1-26 : distribution granulométrie de l'échantillon prélevé de laminoir	81
Figure IV.1-27 : distribution granulométrie de l'échantillon prélevé de la mouleuse	82
Figure IV.1-28 : distribution granulométrie de l'échantillon prélevé de sortie séchoir	84
Figure IV.1-29 : distribution granulométrie de l'échantillon prélevé de sortie four	86
Figure IV.2-1 : histogramme des résultats de bleu de méthylène	89
Figure IV.3-1 : histogramme d'analyse d'humidité	90
Figure IV.4-1 : histogramme résultats de conductivité	91
Figure IV.5-1 : histogramme résultats d'analyse de ph.....	92
Figure IV.6-1 : histogramme analyse de PH KCL.....	93
Figure IV.7-1 : histogramme de l'indice de plasticité	96
Figure IV.8-1 : comparaison de pourcentage de CaO dans les normes max et min avec nos résultats	105
Figure IV.8-2 : comparaison de pourcentage de Al ₂ O ₃ dans les normes max et min avec ..	105
Figure IV.8-3 : comparaison de pourcentage de SiO ₂ dans les normes max et min avec nos résultats	106
Figure IV.8-4 : comparaison de pourcentage de FeO ₃ dans les normes max et min avec nos résultats	106
Figure IV.8-5 : comparaison de pourcentage de K ₂ O dans les normes max et min avec nos résultats	107
Figure IV.8-6 : comparaison de pourcentage de MgO dans les normes max et min avec nos résultats	107
Figure IV.8-7 : comparaison de pourcentage de TiO ₂ dans les normes max et min avec nos résultats	108
Figure IV.9-1 : spectre de l'analyse DRX sur l'échantillon moyenne carrière	109
Figure IV.9-2 : spectre de l'analyse DRX sur l'échantillon carrière N06.....	109
Figure IV.9-3 : spectre de l'analyse DRX sur l'échantillon concasseur	110
Figure IV.9-4 : spectre de l'analyse DRX sur l'échantillon mélangeur	110
Figure IV.9-5 : spectre de l'analyse DRX sur l'échantillon laminoir	111
Figure IV.9-6 : spectre de l'analyse DRX sur l'échantillon séchoir	111
Figure IV.9-7 : spectre de l'analyse DRX sur l'échantillon four	112

Liste des tableaux

Tableau II.2-1: les cordonnées de périmètre d'exploitation UTM NS	20
Tableau III.1-1: Identification des échantillons	22
Tableau III.2-1: calcul des tamisa et rendement en vue de la réalisation des courbes granulométriques.....	24
Tableau IV.1-1 : calcul des refus cumulés et des tamis cumulés de l'échantillon prélevé de la carrière n01	38
Tableau IV.1-2 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la carrière n01 ..	39
Tableau IV.1-3 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques carrière n02	40
Tableau IV.1-4 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la carrière n02 ..	40
Tableau IV.1-5 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques carrière n 03	41
Tableau IV.1-6 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la Carrière n03 ..	42
Tableau IV.1-7 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques carrière n 04	43
Tableau IV.1-8 Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la carrière n04	44
Tableau IV.1-9 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques carrière n05	45
Tableau IV.1-10 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la carrière n05 ..	46
Tableau IV.1-11 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques carrière n06	46
Tableau IV.1-12 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la carrière n06 ..	47
Tableau IV.1-13 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques concasseur n01	48
Tableau IV.1-14 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la concasseur n01.....	49
Tableau IV.1-15 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques concasseur n 02	50
Tableau IV.1-16 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la concasseur n02.....	51
Tableau IV.1-17 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques concasseur n03	52
Tableau IV.1-18 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la concasseur n03.....	52
Tableau IV.1-19 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques concasseur n04	53
Tableau IV.1-20 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la concasseur n04.....	54
Tableau IV.1-21 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques concasseur n05	55
Tableau IV.1-22 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la concasseur n05.....	56
Tableau IV.1-23 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques concasseur n06	56
Tableau IV.1-24 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la concasseur n06.....	57

Tableau IV.1-25 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques broyeur n01	58
Tableau IV.1-26 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la broyeur n 01	59
Tableau IV.1-27 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques broyeur n02	60
Tableau IV.1-28 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la broyeur n02 61	
Tableau IV.1-29 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques broyeur n03	62
Tableau IV.1-30 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la broyeur n03 63	
Tableau IV.1-31 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques broyeur n04	63
Tableau IV.1-32 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la broyeur n04 64	
Tableau IV.1-33 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques broyeur n05	65
Tableau IV.1-34 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la broyeur n05 66	
Tableau IV.1-35 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques broyeur n06	67
Tableau IV.1-36 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la broyeur n06 68	
Tableau IV.1-37 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques mélangeur n01	69
Tableau IV.1-38 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la mélangeur n01	69
Tableau IV.1-39 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques mélangeur n02.....	70
Tableau IV.1-40 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la mélangeur n02	71
Tableau IV.1-41 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques mélangeur n 03.....	72
Tableau IV.1-42 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la mélangeur n03	73
Tableau IV.1-43 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques mélangeur n04.....	73
Tableau IV.1-44 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la mélangeur n04	74
Tableau IV.1-45 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques mélangeur n 05.....	75
Tableau IV.1-46 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la mélangeur n05	76
Tableau IV.1-47 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques mélangeur n06.....	77
Tableau IV.1-48 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la mélangeur n06	78
Tableau IV.1-49 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques de sable.....	78
Tableau IV.1-50 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de sable.....	79
Tableau IV.1-51 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques de laminoir	80
Tableau IV.1-52 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de laminoir.....	81

Tableau IV.1-53 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques de la mouleuse.....	82
Tableau IV.1-54 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la mouleuse....	83
Tableau IV.1-55 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques sortie séchoir.	84
Tableau IV.1-56 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé sortie séchoir.	84
Tableau IV.1-57 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques sortie four.	85
Tableau IV.1-58 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé sortie four	86
Tableau IV.2-1 : Les résultats de l'analyse en bleu de méthylène	87
Tableau IV.3-1 : résultats d'analyse d'humidité	89
Tableau IV.4-1 : résultats de test de conductivité	91
Tableau IV.5-1 : résultats obtenus de test pH	92
Tableau IV.6-1 : résultats obtenu de test PH KCL.....	92
Tableau IV.7-1 : limite de liquidité	94
Tableau IV.7-2 : limite de plasticités	95
Tableau IV.7-3 : l'indice de plasticité	95
Tableau IV.8-1 : les composants chimiques de l'échantillon carrière n01	96
Tableau IV.8-2 : les composants chimiques de l'échantillon carrière n02	97
Tableau IV.8-3 : les composants chimiques de l'échantillon carrière n03	98
Tableau IV.8-4 : les composants chimiques de l'échantillon carrière n04	98
Tableau IV.8-5 : les composants chimiques de l'échantillon carrière n05	99
Tableau IV.8-6 : les composants chimiques de l'échantillon carrière n06	99
Tableau IV.8-7 : les composants chimiques de l'échantillon laminoir	100
Tableau IV.8-8 : les composants chimiques de l'échantillon la mouleuse	100
Tableau IV.8-9 : les composants chimiques de l'échantillon sorti séchoir	101
Tableau IV.8-10 : les composants chimiques de l'échantillon sorti four.....	102
Tableau IV.8-11 : les composants chimiques de l'échantillon concasseur	102
Tableau IV.8-12 : les composants chimiques de l'échantillon broyeur	103
Tableau IV.8-13 : les composants chimiques de l'échantillon mélangeur.....	103
Tableau IV.8-14 : les composants chimiques de l'échantillon de sable.....	104
Tableau IV.8-15 : des pourcentages d'oxyde des briques de référence par fluorescence X [43].....	104
Tableau IV.9-1 : phase minéralogique existante dans les échantillons de sols et de brique	112

Liste des abréviations

W/MK	Watt par mètre kelvin
C	Celsius
T	Tonne
Ha	Hectare
LTMGP	Laboratoire mécanique des matériaux génie procéder
Cc	Coefficient de Courbure
Cu	Coefficient d'Uniformité
σ	Ecart type
So	Sorting-Index
<i>DFW</i>Ø	Indice de dispersion de Folk et Ward
<i>ast</i>	Indice d'asymétrie de Trask
<i>sk</i>Ø	Indice d'asymétrie de Krumbein
Ski	Indice d'asymétrie de Folk et Ward
K	Indice d'acuité (ou Kurtosis) de Krumbein et Petitjohn
<i>kg</i>	Indice d'acuité (ou Kurtosis) de Folk et Ward
P	Porosité
AFNOR	Association française de normalisation
ISO	Organisation international de normalisation
NF EN	Norme française
EN	Norme européenne
VBS	Valeur de bleu
H	humidité
ASTM	American standards of technical material
pH	Potentiel hydrogène
g	Gramme
mg	Milligramme
S-I	Système international
m	mol
FRX	Fluorescence des rayons X
DRX	Diffraction des rayons X
ev	Electron volte
Rn	Refus cumulé
Ti	Tamis cumulé
N	nord
E	est
Us	Micro-siemens
Min	minimale
Max	maximale
UTM	Universal Transverse Mercator
x et Y	Paire de valeurs qui représentent la distance depuis une origine (0,0) sur deux axes, un axe horizontal (x) et un axe vertical (y)

Introduction Générale

La fabrication de brique constitue une place importante dans le monde en générale et dans notre pays en particulier, elle rentre dans les deux projets étatiques de l'Algérie depuis 2019, dans le projet du président de la république pour la construction de l'Algérie nouvelle et dans la dynamique du développement économique et industriel de la nation.

La fabrication de brique rente dans deux pole essentiel du développement. Le premier c'est le domaine de génie civil et de bâtiment ou la brique représente l'un des matériaux les plus nécessaire au progrès architectural et pour la construction des maisons, des hangars, des bâtiments et des villes intelligentes. Le deuxième c'est le domaine économique ou la brique est moins couteuse et elle est parmi les projets les plus rentables qui offrent des postes d'emplois et de la richesse pour notre pays.

La brique est un matériau de construction fabriqué en portant une petite quantité d'argile préformée à la bonne température "température de cuisson". Les particules d'argile commencent alors à fondre et à s'agréger pour former une masse pierreuse. Après cuisson, la brique conserve une certaine porosité qui lui confère également des propriétés spécifiques et la distingue des autres matériaux de construction. [1]

Le traitement physico-chimique de la matière première joue un rôle principal dans la qualité des briques produite. Pour définir la nature minéralogique et le bon choix des argiles ainsi leurs traitements, il est recommandé de passer par plusieurs étapes d'analyse pour le calcul de mélange de matière première pour identifier et savoir gérer les problèmes existants. Le suivi de l'évolution de la composition chimique fait l'objet de présent travail.

Dans notre travail nous avons analysé le mélange de la matière première utilisé dans la briqueterie Ksal Ain L'Orak EL Bayadh et nous avons essaie d'identifier les problèmes existants.

Le présent travail est reparti en une introduction, trois chapitres et une conclusion générale :

- Dans le premier chapitre nous allons aborder quelque généralité sur la brique, sa matière première utilisé ainsi que les étapes de sa production commençons par l'extraction d'argile, puis la préparation de la pâte, le façonnage, le séchage et enfin la cuisson.
- Dans le deuxième chapitre nous allons présenter la situation géologique, géographique, physique, hydrologique et climatologique de la carrière et de la briqueterie. Aussi nous présenterons les différentes techniques d'analyse et leurs modes opératoires qu'on a utilisés dans ce travail.
- Le troisième chapitre sera consacré à la présentation des résultats obtenue et leurs interprétations.

Enfin nous accomplissons le travail avec une conclusion générale dans on tire les principaux résultats.

I CHAPITRE GENERALITES SUR LES BRIQUES

Introduction

La fabrication des briques rouges est un processus qui a été utilisé depuis des milliers d'années. Les briques sont fabriquées à partir d'argile, qui est un matériau abondant et facilement disponible. Le processus de fabrication des briques commence par l'extraction de l'argile dans des carrières ou des mines. L'argile est ensuite mélangée avec de l'eau pour former une pâte homogène, après la préparation de la pâte, vient la partie de production en trois parties dans le façonnage, séchage et cuisson.

I.1 Brique :

La brique (**Figure I.1-1**) est un matériau de construction fabriqué en portant une quantité préformée d'argile à la bonne température (température de frittage (de 1000 à 1200 °C)). Les argiles utilisées sont la kaolinite, l'illite et la montmorillonite avec des formes tétraédrique et octaédrique. Les particules d'argile commencent alors à fondre et à fusionner pour former des pierres.[2] Après cuisson, la brique conserve une certaine porosité, ce qui lui donne également des propriétés spécifiques et la distingue des autres matériaux de construction. [1].



Figure I.1-1 : Brique 8 trous

I.2 Caractéristiques des briques :

I.2.1 Propriétés physiques :

De nombreuses propriétés physiques existent qui donnent à la brique des propriétés qui la distinguent des autres matériaux et peuvent être mesurées telles que : le retrait linéaire, la perte au feu, la densité, l'absorption d'eau...etc

I.2.1.1 Retrait linéaire [5]

Le retrait linéaire est déterminé en mesurant la longueur de l'échantillon avant et après l'étape de séchage, ou avant et après l'étape de cuisson, ou entre le début et la fin du processus, à l'aide d'un pied à coulisse selon la norme **ASTM C210-95**

Cela se produit pendant le processus de cuisson, en particulier pendant le processus de vitrification, également connu sous le nom de processus de frittage. Les particules de céramique fusionnent plus étroitement, ce qui provoque un retrait linéaire au niveau de l'échantillon exprimé sur l'équation Eq.I.1.

$$RL_{cuisson} = \frac{L_{sec} - L_{cui}}{L_{sec}} * 100 \quad \text{Eq. I.1}$$

Avec :

L_{sec} : Longueur échantillon séché (mm) ;

L_{cui} : Longueur échantillon cuit (mm) ;

I.2.1.2 Perte au feu [7]

La perte au feu est déterminée en mesurant la perte de masse de l'échantillon entre les étapes de séchage et de cuisson et est calculé comme suit :

$$PAF = \frac{M_{sec} - M_{cui}}{M_{sec}} * 100 \quad \text{Eq. I. 2}$$

Avec :

M_{sec} : est la masse de l'échantillon après séchage ;

M_{cui} : est la masse de l'échantillon après cuisson ;

I.2.1.3 Porosité apparente : [8]

Appelée aussi porosité accessible à l'eau, cette quantité est déterminée selon la loi de Darcy ou selon la méthode d'Archimède décrite dans la norme **ASTM C373-88**. [9].

De formule

$$\emptyset = \frac{V_v}{V_t} \quad \text{Eq. I 3}$$

Avec :

\emptyset : Est la porosité ;

V_v : Est le volume des vides ;

V_t : Est le volume total ;

I.2.1.4 Masse volumique apparente :

La masse volumique apparente du produit poreux formé est déterminée en calculant le rapport entre la masse sèche de la brique et son volume selon la norme **ASTM C373-88** [9].

De formule :

$$BD = \frac{M_{dry\ brique}}{V_{core}} \quad \text{Eq. I 4}$$

Avec :

BD : Masse volumique apparente (g/cm^3) (en anglais Bulk Density) ;

$M_{dry\ brique}$: Masse de brique (g) ;

V_{core} : Volume de cylindre de prélèvement ;

I.2.1.5 Absorption de l'eau :

La détermination de la capacité d'absorption d'eau des briques est effectuée selon la norme **ASTM C373-88**. Les échantillons ont été séchés à 110 °C pendant 24 h puis pesés jusqu'à ce qu'une masse constante soit atteinte. Après les avoir laissé refroidir pendant 24 heures, les échantillons sont plongés dans un récipient rempli d'eau pendant 24 heures. Une fois la masse de l'échantillon stabilisée, l'échantillon est récupéré, séché et pesé à nouveau. La quantité d'eau absorbée peut également être mesurée. [9]

I.2.1.6 Résistance mécanique :

La résistance mécanique d'un matériau traduit le niveau de contrainte mécanique qu'il peut supporter en connaissant la force que les particules élémentaires exercent les unes sur les autres par unité de surface. Cette résistance est souvent associée au phénomène d'élasticité. [6]

I.2.1.7 Performance thermique :

Les briques ont des propriétés très variables selon la technique de cuisson et la nature des terres utilisées, l'isolation thermique se mesure en déterminant la conductivité thermique [6]

La conductivité thermique (λ) est l'énergie traversée un matériau de 1 mètre carré et d'un mètre d'épaisseur a une différence de température de 1°C de part et d'autre. Exprimé en W/m K. [10]

Elle exprime la capacité d'un matériau à transférer ou retenir la chaleur. Plus la conductivité thermique est faible, plus le matériau est isolant. Un matériau est considéré comme isolant lorsque sa conductivité thermique est inférieure à 0,065 W/m K [11]

I.2.1.8 Résistance thermique

La résistance thermique (R) d'un matériau définit le degré d'isolation du matériau à une épaisseur donnée. Exprimé en m².K/W, calculé selon la formule suivante :

$$R=e/\lambda \quad \text{Eq. I 5}$$

Avec :

- R** : Est la résistance thermique (m².K/W),
- e** : est l'épaisseur du matériau étudié (m),
- λ** : est la conductivité thermique (W/m.K).

Quand l'épaisseur est longue, donc la résistance thermique est élevée. [12]

I.2.2 Composante chimique

La matière première principale pour la fabrication de la brique rouge est l'argile. L'argile est une roche sédimentaire douce et malléable qui contient principalement de l'aluminium, du silicium et de l'oxygène. En plus de l'argile, d'autres matériaux peuvent être ajoutés pour modifier les propriétés de la brique, tels que du sable pour augmenter la résistance à la compression ou des pigments pour ajouter de la couleur. En générales, la composition chimique exacte de la matière première de la fabrication des briques rouges peut varier en fonction de l'emplacement géographique et des méthodes de production utilisée. [4]

I.2.3 Composante minéralogique

La matière première principale pour la fabrication des briques rouges est l'argile, qui est une roche sédimentaire constituée de particules minérales fines.

La composition minéralogique de l'argile varie selon son origine géologique, on peut trouver des zones argileuses ainsi que des zones limoneuses mais elle est principalement composée de minéraux tels que la kaolinite, l'illite et la montmorillonite.

- La kaolinite est le minéral argileux le plus courant et souvent utilisé comme indicateur de présence d'argile.
- L'illite est un autre minéral argileux commun qui peut donner à l'argile une texture friable
- La montmorillonite est un minéral argileux expansible qui peut permettre à l'argile de se dilater lorsqu'elle est exposée à l'eau.

En plus de ces minéraux argileux, l'argile peut également contenir d'autres minéraux tels que le quartz, le feldspath et le mica, qui peuvent avoir des effets sur les propriétés physique de la brique. Par exemple la présence de quartz dans l'argile peut rendre la brique

plus résistante à l'abrasion, tandis que la présence de mica peut donner à la brique une texture brillante ou chatoyante. La composition minéralogique exacte de la matière première pour la fabrication des briques rouges peut varier en fonction de l'emplacement géographique et des conditions géologique locales. [4]

I.3 Argiles

I.3.1 Définition d'argile

Le terme argile vient du mot grec « argilos », dont la racine argos signifie blanc, ce sont des aluminosilicates dont la structure est formée d'un empilement de feuillets. Il n'existe pas de définition unique du terme « argile ». Ce mot englobe deux connotations, l'une liée à la taille des grains et l'autre à la minéralogie.

Cette définition dépend de la discipline concernée : Le géologue ou le pédologue considèrent comme « argile » tout minéral de faible granulométrie, la limite étant fixée à 2 ou 4 microns selon les cas. Les ingénieurs s'attachent plutôt aux propriétés de plasticité des matériaux argileux quel que soit leur taille. Les céramistes regroupent les matériaux selon leurs comportements au chauffage. [3]



Figure I.3-1 : Extraction d'argile

I.3.2 Minéralogie des argiles

Les minéraux argileux sont de très petites particules très actives sur le plan électrochimique. Lorsque le pourcentage d'argile augmente, l'influence de la portion argileuse sur le comportement global du sol augmente proportionnellement.

Les minéraux argileux sont des substances cristallines qui sont essentiellement dérivées des modifications chimiques de certains minéraux qui composent le matériau d'origine. La famille des minéraux argileux comprend tous les silicates hydratés appartenant au groupe des phyllosilicates. Chimiquement, ce sont des aluminosilicates hydratés ajoutés à d'autres ions métalliques [13]. Ils sont constitués de très petites particules aplaties qui ne peuvent être vues qu'au microscope électronique, et les cristaux apparaissent sous forme de plaques ou de plaquettes minces. Leurs formules chimiques se généralisent comme suit [14] :



I.3.3 Structure des argiles

Les particules d'argile se présentent sous la forme d'un empilement de feuillets formées par la liaison de deux unités structurales de base, formées par la juxtaposition de couches structurales tétraédriques (silice) et octaédriques (aluminium). Les couches structurales sont à leur tour formées d'unités structurales de base par empilement d'ions ou d'hydroxydes en disposition hexagonale ou compacte. [15]

I.3.4 Dispositions des oxygènes [15]

Il existe deux arrangements, l'un valable pour les ions oxygènes exclusivement, l'autre pour les ions oxygènes et les hydroxyles. Nous commençons par ce dernier qui, d'ailleurs est le plus simple, il s'agit de l'assemblage compact.

Dans une première approche, on peut considérer que les atomes ont une forme d'une sphère et sont en contact dans des plans successifs, ils sont disposés de telle façon que les centres de ces sphères se situent sur des droites parallèles entre elles, les sphères appartenant à deux rangs contigus sont décalées d'un rayon, les centres des deux sphères appartenant à une ligne voisine sont situés au sommet d'un triangle équilatéral (**Figure I.3-2**).

La deuxième approche, est un arrangement qui s'applique exclusivement aux ions oxygènes est obtenu à partir du précédent en retirant une sphère sur deux tous les deux rangs, comme on peut le constater, chaque cavité est limitée par 6 sphères, on pourrait y situer un hexagone, on l'appelle parfois un plan hexagonal (**Figure I.3-3**). En superposant un plan hexagonal et un plan compact on obtient des tétraèdres et si on dispose de deux plans compacts on forme un octaèdre.

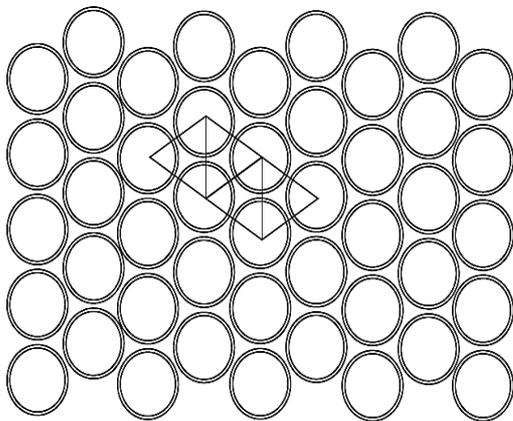


Figure I.3-2 : Représentation d'un plan compact des oxygènes

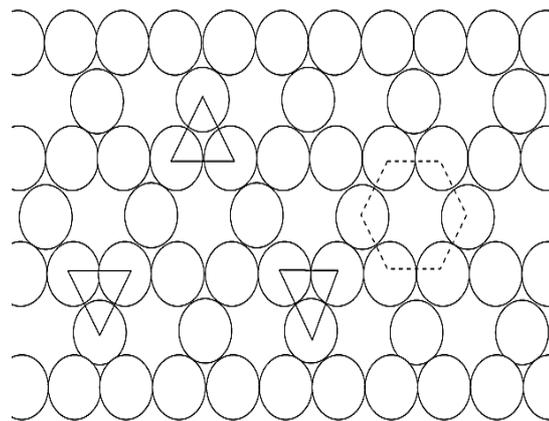


Figure I.3-3: Représentation d'un plan hexagonal des oxygènes

L'empilement des plans hexagonaux et des plans compacts, dont le nombre est constant et qui forme le feuillet est la base de la constitution de la structure des minéraux argileux. Il existe plusieurs groupes de minéraux argileux, parmi eux, trois sont définis par l'épaisseur de leurs feuillets, chacun correspondant à l'empilement d'un nombre variable de couches d'oxygènes et d'hydroxyles. [15]

- a) **Types (7Å)** : sont formés de trois plans, un hexagonal et deux compacts, ils appartiennent à la série 1/1.
- b) **Types (10Å)** : constitués également par deux plans compacts et deux plans hexagonaux, ils appartiennent à la série 2/1.

- c) **Types (14Å)**: est constitué par un ensemble de quatre plans d'hydroxyles compacts (deux couches tétraédriques et deux couches octaédriques). Cette classification est couramment utilisée. [15]

I.3.4.1 Unité structurale tétraédrique [15]

L'unité structurale tétraédrique est formée d'un tétraèdre au sommet duquel quatre ions d'oxygène (O^{2-})enserrent un ion de silicium (Si^{4+}), équidistant de chacun d'eux. Ce tétraèdre est matérialisé par la présence d'une cavité comprise entre trois sphères en contact, d'une couche hexagonale d'oxygène, et une sphère de la couche contiguë d'oxygène. (**Figure I.3-4**)

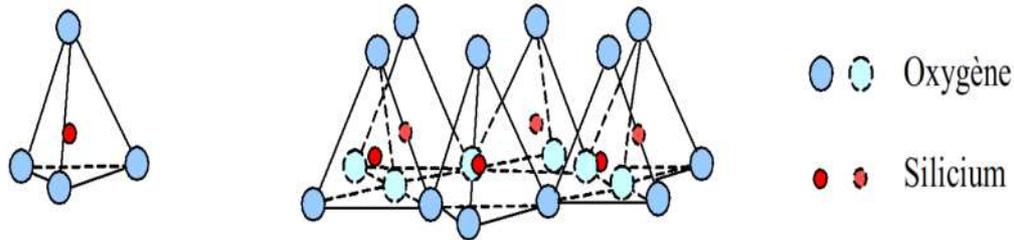


Figure I.3-4: couche structural tétraédrique [15]

I.3.4.2 Unité structurale octaédrique [15]

L'unité structurale octaédrique est formée d'un octaèdre au centre duquel un ion d'aluminium (Al^{3+}) ou de magnésium (Mg^{2+}) est équidistant aux six hydroxydes (OH^-) aux sommets. Ces octaèdres se combinent pour former des couches planes dites couches octaédriques et la liaison avec la couche tétraédrique se fait au niveau des oxygènes. (**Figure I.3-5**).

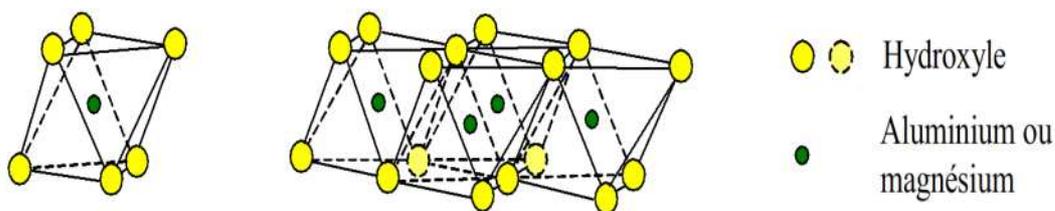


Figure I.3-5: couche structural octaédrique [15]

La représentation de la structure minéralogique d'une particule d'argile est donnée par l'organigramme suivant (**Figure I.3-6**)

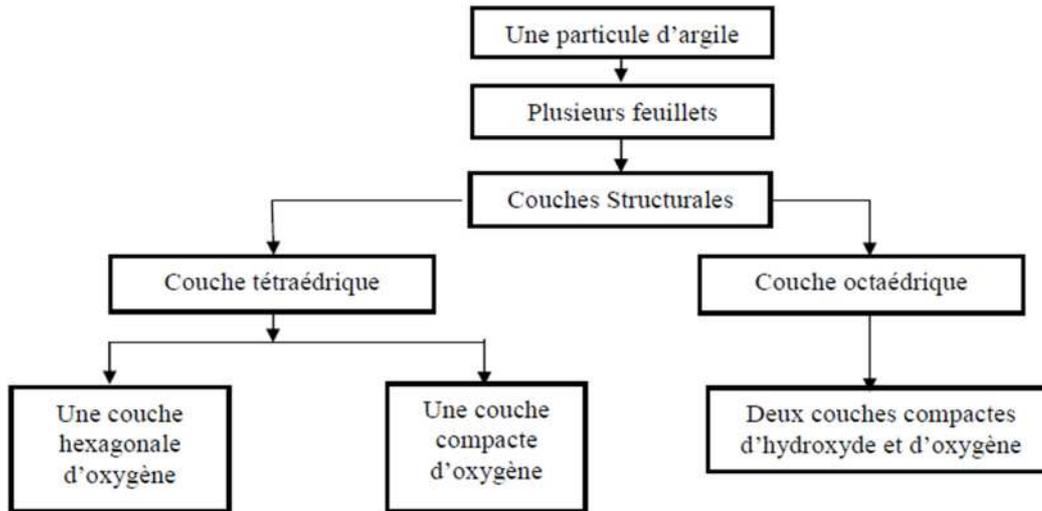


Figure I.3-6: Représentation de la structure minéralogique d'une particule d'argile [15]

Les types de minéraux argileux peuvent être distingués par : [15]

- ✓ Nombre de couches (une ou deux couches) d'octaèdres et de tétraèdres dans la feuille de base.
- ✓ Equidistant entre deux pièces dans des conditions naturelles.
- ✓ Changements d'équidistance entre deux tranches sous différents traitements.

I.3.4.3 La kaolinite

Au niveau d'une couche d'octaèdres et d'une couche de tétraèdres, l'épaisseur du feuillet élémentaire est de 7 Å.

Ces flocons élémentaires sont très fortement collés les uns aux autres par leurs faces inférieures, avec des liaisons hydrogène entre les groupements hydroxyles en bas des flocons et les oxygènes en haut du flocon en dessous. Ainsi, il constitue une particule primaire [16], constituée de 70 à 100 flocons adjacents. L'halloysite est le résultat de l'ajout de couches d'eau entre les flocons, donc dans ce cas l'équidistance entre les flocons hydratés est variable.

La formule générale des dalles de kaolinite est donnée par [14]



F.Ch.I.2

La vue isométrique de la structure de la kaolinite est représentée dans (**Figure I.3 7**).

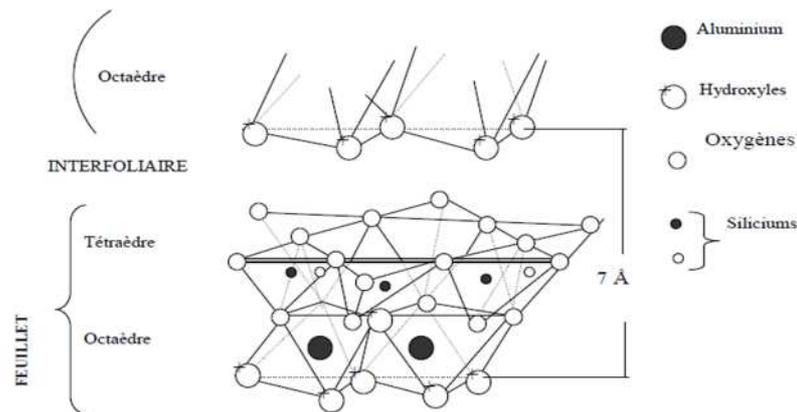


Figure I.3-7:vue isométrique de la structure atomique de la kaolinite [14]

I.3.4.4 L'illite

Dans une couche octaédrique flanquée de deux couches tétraédriques, les feuillets 10 Å équidistants sont solidement liés les uns aux autres par des ions potassium (K^+), donc l'isométrie est constante. La performance se situe entre la kaolinite et la montmorillonite, sa formule chimique et la vue isométrique sont donné dans (F.Ch.I.3) et (Figure I.3-8)



F.Ch.I.3

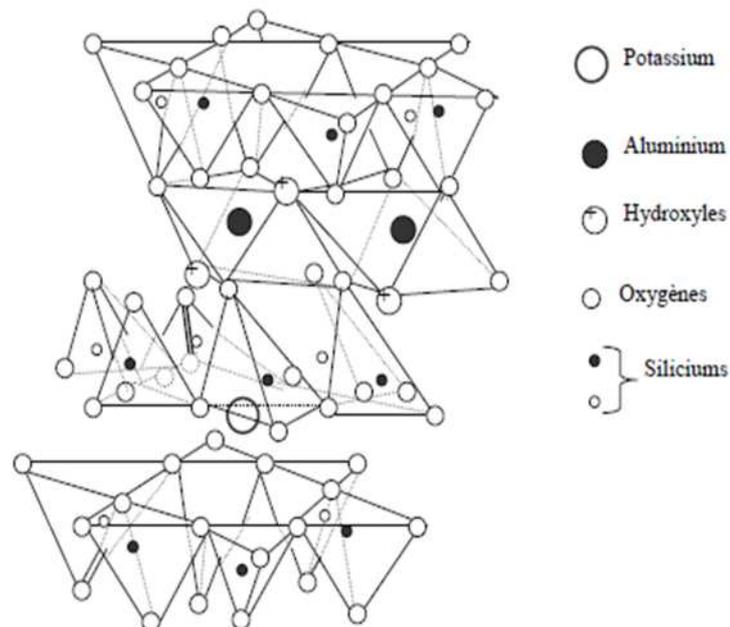


Figure I.3-8:Vue isométrique de la structure atomique de l'illite [17]

I.3.4.5 La montmorillonite

Au niveau des couches octaédriques flanquant les deux couches tétraédriques, les flocons de 10 Å d'épaisseur sont très faiblement liés les uns aux autres ; entre les couches, il peut également y avoir des couches d'eau précipitée, qui peuvent atteindre 9 Å d'épaisseur. Par conséquent, le matériau est en expansion. La montmorillonite peut exister sous forme de monocristaux jusqu'à 10 Å d'épaisseur. Pour la vermiculite, l'absorption d'eau est limitée à 2

couches de molécules d'eau. La formule générale de la montmorillonite exprimée en (F.Ch.I.4). [17]



F.Ch.I.4

La vue isométrique de la structure atomique de la montmorillonite est représentée dans (Figure I.3- 9).

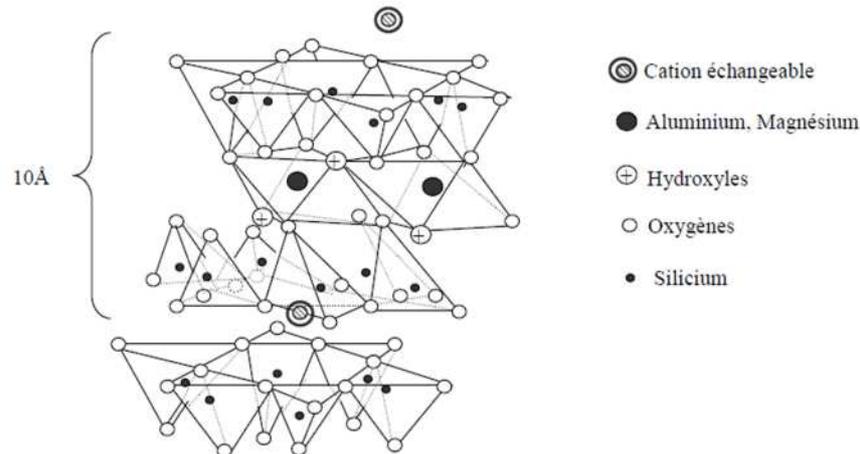


Figure I.3-9: Vue isométrique de la structure atomique de la montmorillonite [17]

I.4 Procéder de fabrication des briques :

Les matières premières (argile, sable) sont caractérisées de manière précise par la briqueterie, puis mélangées à de l'eau pour former un matériau homogène, la recette obtenue est ensuite mise en forme, puis séchée et cuite pour obtenir une terre cuite finie [18]. Le procédé de fabrication de brique est partagé en cinq étapes principales à savoir :

I.4.1 Extraction des matières premières

En ce qui concerne la matière première, la matière argileuse sera extraite directement du gisement à l'aide de pelles mécaniques ou d'excavatrices, etc. Après extraction, l'argile sera transportée à la briqueterie par camion. Par commodité, les briqueteries sont souvent installées à proximité des gisements d'argile pour limiter les déplacements et ainsi réduire l'énergie nécessaire au transport. L'extraction de l'argile se fait généralement en été, elle sera donc stockée pendant un an, permettant une phase de maturation. Cela permet une extraction dans de bonnes conditions climatiques. [12]

I.4.2 Préparation de la pâte

Après extraction, il entre dans l'étape de préparation de la pâte d'argile. Cette préparation se fait en quatre étapes principales : broyage, mouillage homogène, suivi d'un dosage et d'un mélange des matières premières.

- **Le broyage** : homogénéise l'argile en brisant les mottes d'argile à l'aide d'un broyeur à meules verticales ou d'un broyeur à cylindres (également appelé laminoir). L'argile peut ainsi être pulvérisée, éliminant ainsi les diverses inclusions dans l'argile que l'on

peut rencontrer (pyrite, chaux) ($(\text{Fe}_2, \text{CaO}, \text{Ca}(\text{OH})_2)$), qui pourraient nuire à la structure du produit fini.

- **Le mouillage homogène** : sert à ajuster l'humidité de la pâte, en effet, la quantité d'eau présente dans l'argile aura une grande influence sur la plasticité du matériau. Cela modifiera également les conditions de moulage et de séchage du produit, [22].
- **Dosage** Une fois le matériau argileux broyé et humidifié, des additifs peuvent être incorporés au mélange pour modifier les propriétés du matériau, notamment en termes de couleur (ajout de pigments).
- **Mélange** Cette étape consiste à réhomogénéiser le matériau tout en remouillant le mélange soit en ajoutant de l'eau directement dans le mélangeur, soit en ajoutant de la vapeur sous pression, ce qui augmentera la plasticité du système. [19]

La préparation du matériau est une étape cruciale dans la fabrication des briques en terre cuite, en effet une mauvaise homogénéité de la pâte peut entraîner des fissures pendant la suite du processus.

I.4.3 Façonnage

Le matériau est ensuite mis en forme pour lui donner la forme souhaitée. Différentes méthodes de formage peuvent être utilisées : formage à la main, pressage ou extrusion. [19]

- **Le moulage à la main** est la méthode la plus ancienne. Ce qui était auparavant fabriqué directement par l'homme est désormais remplacé par des machines, tout en conservant les mêmes principes ancestraux. Une quantité d'argile est mise dans le coffrage en bois, pré-poncée pour éviter que la pâte ne colle aux parois, et compactée pour bien remplir le coffrage. Retirez l'excédent, puis retournez le moule pour libérer les briques.
- **Pressage et/ou Extrusion** est la méthode la plus rapide et la plus largement utilisée aujourd'hui.

Sous vide, l'hélice aspire l'argile dans l'extrudeuse (ou mouleuse) pour qu'elle forme une sorte de « boudin » de section rectangulaire en sortie de filière ou gueulard (**Figure I.4-1**). Il va ensuite être coupé à intervalles réguliers afin de former une brique dont les côtés de sectionnement sont relativement grossiers. Cette technique est très utilisée car le rendement de fabrication est beaucoup plus important que pour les autres méthodes.

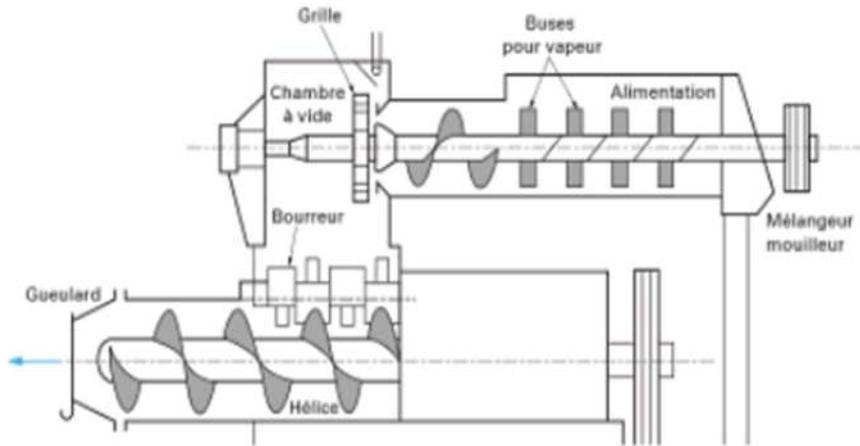


Figure I.4-1:Schéma d'une extrudeuse [19]

I.4.4 Séchage

Les briques sont ensuite séchées pour éliminer l'eau résiduelle, renforçant ainsi le matériau. En effet, rapporté au poids sec, le produit contient 15 à 30 % d'eau. A la fin du séchage, il ne reste que 2% d'eau dans la matrice. Cette étape est relativement délicate : les temps et températures de séchage doivent être choisis avec soin pour ne pas fragiliser le matériau et ainsi éviter les fissures. [20]

En effet, lors du processus de séchage, des modifications de la structure du matériau peuvent être observées, notamment le rapprochement des particules conduisant au retrait et à l'agglomération du produit. L'élimination des produits argileux (illustrée à la **figureI.4-2**) peut être divisée en trois étapes principales :

- L'eau autour des particules d'argile se rétracte d'une quantité correspondant à la quantité d'eau prélevée, l'eau éliminée à ce stade correspond à de l'eau colloïdale (**figureI.4-2 a et b**),
- Diminution du retrait induisant un contact entre les particules ; le départ de l'eau est compensé par une formation de porosité, dépendant fortement de l'arrangement entre les particules lors du façonnage (**figureI.4-2 c**),
- Fin du retrait : tout le départ d'eau est compensé par la formation de porosité ; l'eau éliminée dans cette phase correspond à l'eau d'interposition (**figureI.4-2 d**).

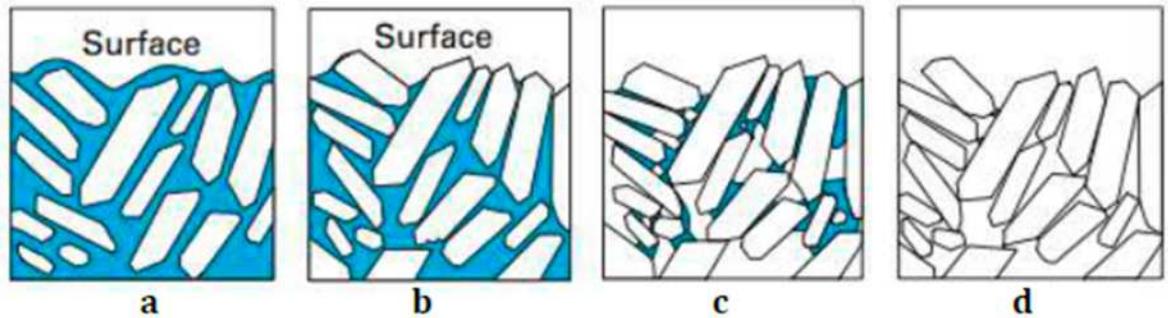


Figure I.4-2:comportements du mélange argileux au cours du séchage [18]

Avec

- Le bleu sur la figure représente l'eau.
- Le noir sur la figure représente les particules argileuses

Dans la fabrication des carreaux de terre cuite, cette phase de séchage est assez longue, prenant en moyenne 2 à 4 jours sur une période d'environ 5 jours. Généralement, le cycle de séchage industriel peut être divisé en trois périodes [19]

- Le premier processus dans lequel la température de la tablette d'argile est élevée, dans une atmosphère humide, jusqu'à ce qu'elle atteigne la température humide de l'air. Lorsque la température est stable, le taux d'évaporation reste constant tant que de l'eau est présente à la surface du produit. Cette étape est encore limitée par la condensation qui peut se produire lorsqu'une chambre froide est introduite dans un environnement chaud et humide.
- La deuxième période correspond à l'apport d'air plus sec, en veillant à ne pas former de croûte sèche à la surface du matériau. Le risque de fissuration à ce stade est très élevé, la vitesse d'évaporation doit être maîtrisée pour ne pas fragiliser le matériau.
- Durant la troisième et dernière période, le séchage est accéléré en augmentant la température et en diminuant l'humidité relative de l'air. Le matériau étant suffisamment résistant à ce moment, les risques de fissuration sont très faibles.

I.4.5 Cuisson

Les briques sont cuites en dernier pour leur donner une meilleure résistance mécanique contre les conditions extérieures. La cuisson s'effectue dans un four dont la température est progressivement augmentée jusqu'à atteindre une température de cuisson comprise entre 850 et 1150°C selon le type d'argile utilisé. Lors de la cuisson, de nombreux composés volatils sont libérés qui participent à la formation de pores [20]. En effet, sous l'influence de la température, de nombreuses réactions chimiques et physiques se produisent, entraînant des modifications des matériaux en termes de porosité, de densité, de taille, voire de résistance mécanique [19].

- **Jusqu'à 200°C** : dégagement de l'eau résiduelle au séchage et de l'eau d'hydratation.
- **Entre 200 et 450°C** : élimination des matières organiques par oxydations dans l'air conduisant à une augmentation de la porosité.
- **Vers 350°C** : décomposition des hydrates non argileux avec notamment transformation des hydroxydes de fer en oxydes. Suivant l'oxydation du milieu, On

assiste soit à une formation d'oxyde ferrique Fe_2O_3 de couleur rouge (milieu oxydant) soit à une formation de magnétite Fe_3O_4 de couleur bleu-noir. Cette coloration également appelée « cœur noir » n'a pas forcément d'influence sur les propriétés du produit final. Toutefois, le consommateur peut être gêné par ce défaut esthétique.

- **Entre 400 et 650°C :** destructions des minéraux argileux avec départ de l'eau de constitution. Début du retrait de cuisson : décomposition de la kaolinite, de l'illite vers 550-580°C et de montmorillonite vers 650°C.
- **573°C :** point quartz correspondant à la transformation cristallographique du quartz. Aux alentours de cette température, l'argile est très peu plastique mais également peu solide voire friable. Cet état correspond au passage de la terre séchée à la céramique.
- **Entre 750 et 850°C :** décomposition des sulfures, sulfate, halogénure et des carbonates de chaux en chaux vive liée à un dégagement de CO_2
- **Entre 800°C et la température maximale de cuisson 1150°C :** vitrification liée à une diminution de la porosité ainsi qu'une augmentation du retrait de cuisson.

Après un plateau à la température maximale de cuisson, la température du four est descendue jusqu'à la température ambiante.

L'augmentation de la température de cuisson entraîne la formation de pores de plus grosse taille mais également une fermeture de ces pores et par conséquent une diminution de la porosité ouverte [21]

I.5 Conclusion

En conclusion, la fabrication de briques est un processus complexe qui implique plusieurs étapes, notamment la préparation de la terre, le mélange, le moulage, le séchage et la cuisson.

Les produits en terre cuite sont capables de nombreuses fonctions et constituent donc une solution efficace et économique. La terre cuite est parfaitement adaptée aux préoccupations environnementales croissantes. Il répond aux exigences du développement durable et est considéré comme l'un des matériaux les plus sains.

Aujourd'hui, la fabrication des briques est une industrie importante dans de nombreux pays, et les briques sont utilisées pour une variété de projet de construction, allant des maisons individuelles aux grands bâtiments commerciaux. Bien que les techniques de fabrication de briques aient évolué au fil du temps, la demande pour ces matériaux reste forte,

Ces dernières années, un grand nombre de problèmes liés à la fabrication de brique ont été résolus, concernant les produits, leur mise en œuvre et le procédé. Ces matériaux ont un bel avenir en raison de leur capacité d'adaptation au passé, et nul doute qu'ils s'adapteront aux futurs défis qui les attendent.

II CHAPITRE PRESENTATION DU SITE

II.1.2 Situation géographique de la briqueterie Ksal AIN L'ORAK

La carrière d'argile exploitée par la SARL BRIQUETERIE KSAL, elle est située au Sud de chef-lieu de la Wilaya.

Géographiquement, la briqueterie est comprise entre les parallèles 33° 24'et 33° 23' de l'altitude Nord et entre les méridiens de longitude 0° 44' à l'Est.[24] (**Figure II.1-2**).

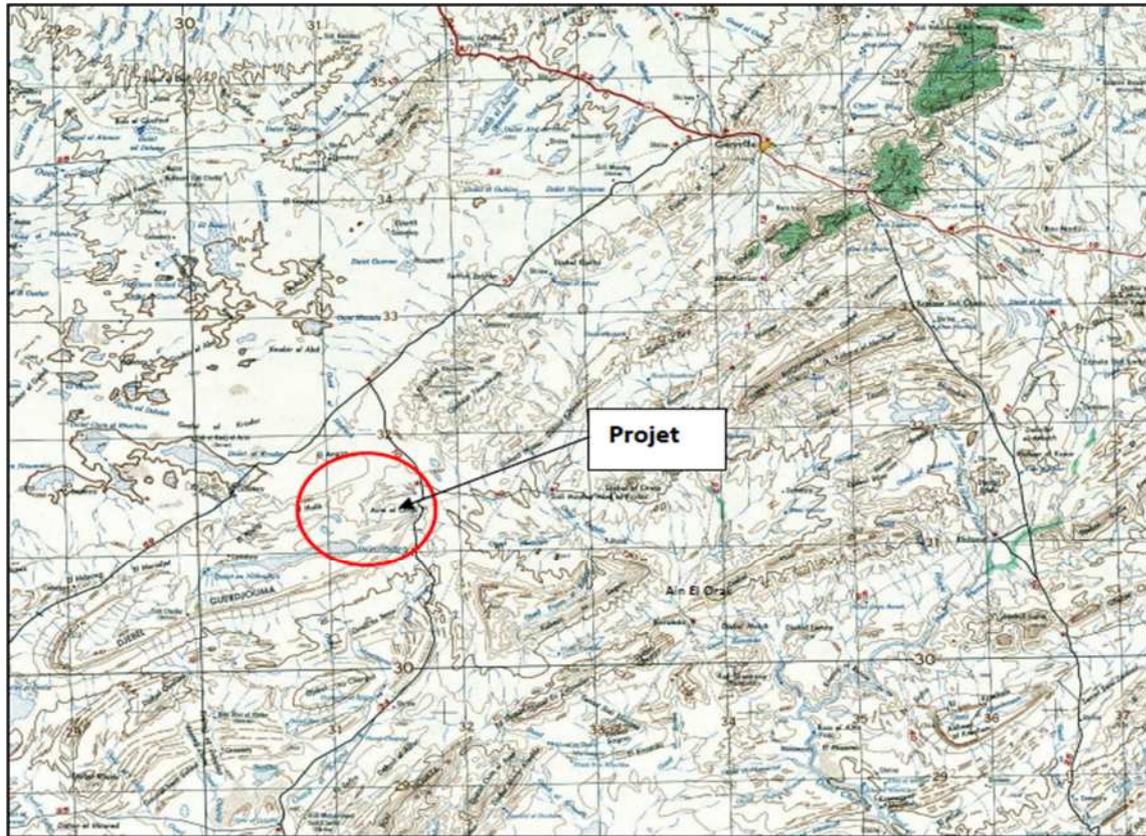


Figure II.1-2: Situation géographique de la briqueterie Ksal [24]

II.1.3 Milieux physiques

II.1.3.1 Géologie : Litho-stratigraphie

D'un point de vue géologique, l'Algérie est subdivisée en deux domaines qui s'opposent par leur histoire et leur structure géologique :

- Un domaine septentrional ou l'Algérie du Nord, qui fait partie de la chaîne alpine, édifié au cours du Tertiaire et qui demeure encore instable aujourd'hui.
- L'Algérie saharienne, domaine relativement stable depuis la fin du Précambrien, constitué d'un socle déformé par les orogènes éburnéenne et panafricaine, d'une couverture paléozoïque généralement tabulaire affectée localement de plis hercyniens et d'une couverture méso-cénozoïque tabulaire.

La frontière entre ces deux domaines est délimitée par l'accident sud-atlasique qui suit le revers sud de l'Atlas saharien. [24]

La région étudiée appartient au premier domaine et fait partie de l'Atlas saharien, une chaîne intracontinentale formée au Tertiaire, et qui constitue l'avant-pays déformé de la chaîne alpine d'Afrique Nord ou chaîne.

1. Dogger (série d'EL Bayadh) 1000 à 1500 m d'épaisseur

- a. **Bathonien** : constitue l'affleurement le plus ancien de la région. Il correspond à la formation des argiles silteuses d'EL Aouidja (ou série **IA** d'EL Bayadh, 400 à 500 m d'épaisseur) [23]
- b. **Callovo-oxfordien** : est représenté par :

La formation dite zone de passage : (ou série **IB** d'EL Bayadh, 300 m d'épaisseur) constituée de combes argilo-silteuse ou s'intercalent des bancs gréseux décimétrique ; elle est délimitée à la base et au sommet par des barres gréseuses massives.

La formation des grès et dolomie de Kerakda (grès inférieur) ou (série **IB** d'EL Bayadh, 900 m d'épaisseur au maximum) correspond à une formation de grès massifs à intercalation argileuses. [23]

2. Crétacé

- a. **Crétacé inférieur** : il montre deux séries détritiques : Néocomien-Barrémien et Albien inférieur, séparées par l'intervalle carbonaté de l'Aptien. [23]
 - Le Néocomien-Barrémien : formation fluviatile représentée par une épaisse série continentale de grès grossiers à dragées de quartz (Grès à dragées Inférieurs) intercalés de minces niveaux argileux souvent rouges.
 - L'aptien : caractérisé par une formation carbonatée (20 à 30 m d'épaisseur) qui se présente comme une corniche formant un excellent repère géomorphologique. Ce repère disparaît dans la série crétacée du Milok à Laghouat, où l'Aptien apparaît sous forme d'une combe argileuse (argiles vertes à gypses) avec intercalation de quelques bancs gréseux à géodes de gypse.
 - L'albien : qui comprend une formation inférieure fluviatile détritique de grès à dragées de quartz (Grès Supérieurs) à grandes stratifications obliques (Albien inférieur) et une formation supérieure essentiellement marneuse où s'intercalent des bancs calcaires fins, blancs, parfois dolomitiques à laminations algaires de type Stromatolithes (Albien supérieur).
- b. **Crétacé supérieur** : est caractérisé par des dépôts de plateforme carbonatée
 - Le cénomanien : est composé de trois formations :
 - i. Une formation marneuse gris noire intercalée de bancs calcaires ;
 - ii. Une formation marneuse à gypse caractéristique du Cénomanien
 - iii. Des barres calcaires, plus ou moins dolomitisées, riches en bioclastes avec des nodules et lits de silex. [23]
 - Le turonien : (60 m d'épaisseur) composé de deux ensembles calcaires surmontés par une barre massive dolomitique.
 - Le sénonien : (160 m d'épaisseur) est composé de trois ensembles :
 - i. Un ensemble inférieur qui comprend des calcaires crayeux à silex
 - ii. Un ensemble médian constitué de marnes gypseuses, admettant des intercalations de bancs de gypse, de calcaires dolomitiques ou de cargneules
 - iii. Un ensemble supérieur qui débute par une succession de bancs calcaires bioclastiques puis comprend des niveaux calcaires béchiques

3. Tertiaire continental : Il correspond aux terrains d'âge Eo-Oligocène essentiellement continentaux avec des argiles rouges, des grès et des conglomérats, dans lesquels s'intercalent des bancs de calcaires lacustres. [23]

4. Quaternaire : les terrains quaternaires couvrent une importante superficie dans l'Atlas Saharien au sens large, constitués principalement de dépôts alluviaux parfois très épais (plusieurs dizaines de mètres). [23]

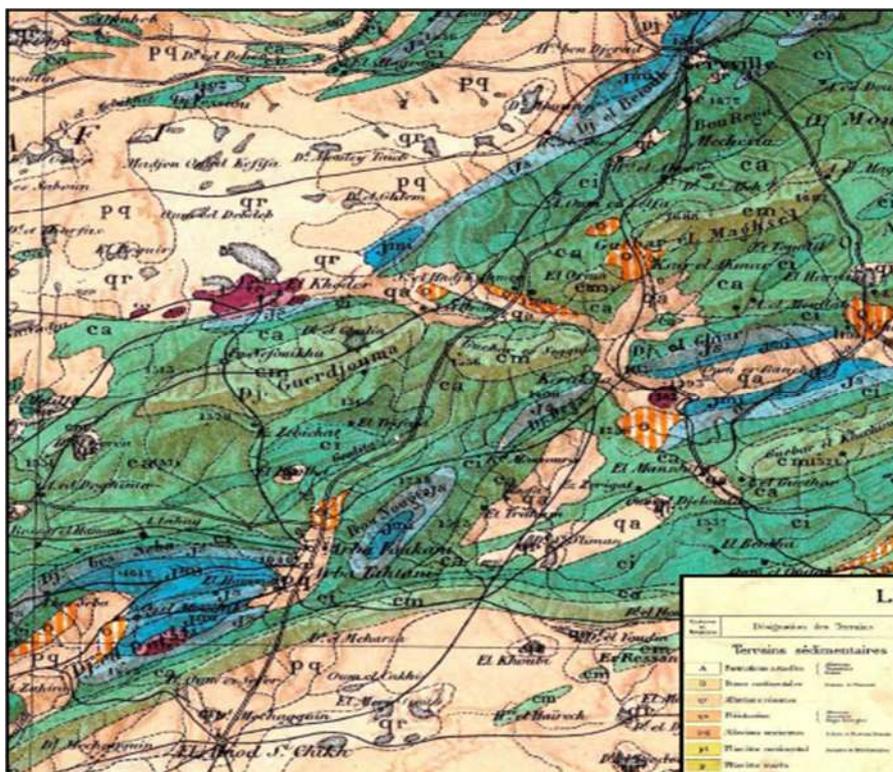
II.1.3.2 Hydrologie

La Wilaya est inscrite sur deux versants, limités par la ligne de partage des eaux passant le long de l'Atlas Saharien. La zone Nord est drainée vers le Chott Chergui qui constitue l'exutoire de tout le bassin versant des Hautes Plaines Oranais, les piémonts Sud de l'Atlas Saharien déversent leurs eaux de précipitations dans le bassin versant du Sahara où s'inscrivent les 3/4 du territoire de la Wilaya. [24]

Les Oueds :

- De l'Ouest à Est : Oued Kef Lazreg - Oued Tousmouline - Oued Kef Lahmar Oued Hamaimat - Oued Hanacha et Oued Mehairigua drainent les piémonts Nord de l'Atlas Saharien vers Chott Echergui. [24]
- Au Sud de l'Atlas Saharien, les oueds les plus importants sont : Oued Namous qui constitue la limite de la Wilaya avec celle de Naama.

Les Oueds El Gharbi - Mazar - El Kabech - Saggueur présentent un cours parallèle entre eux orientés vers le Sud – Est



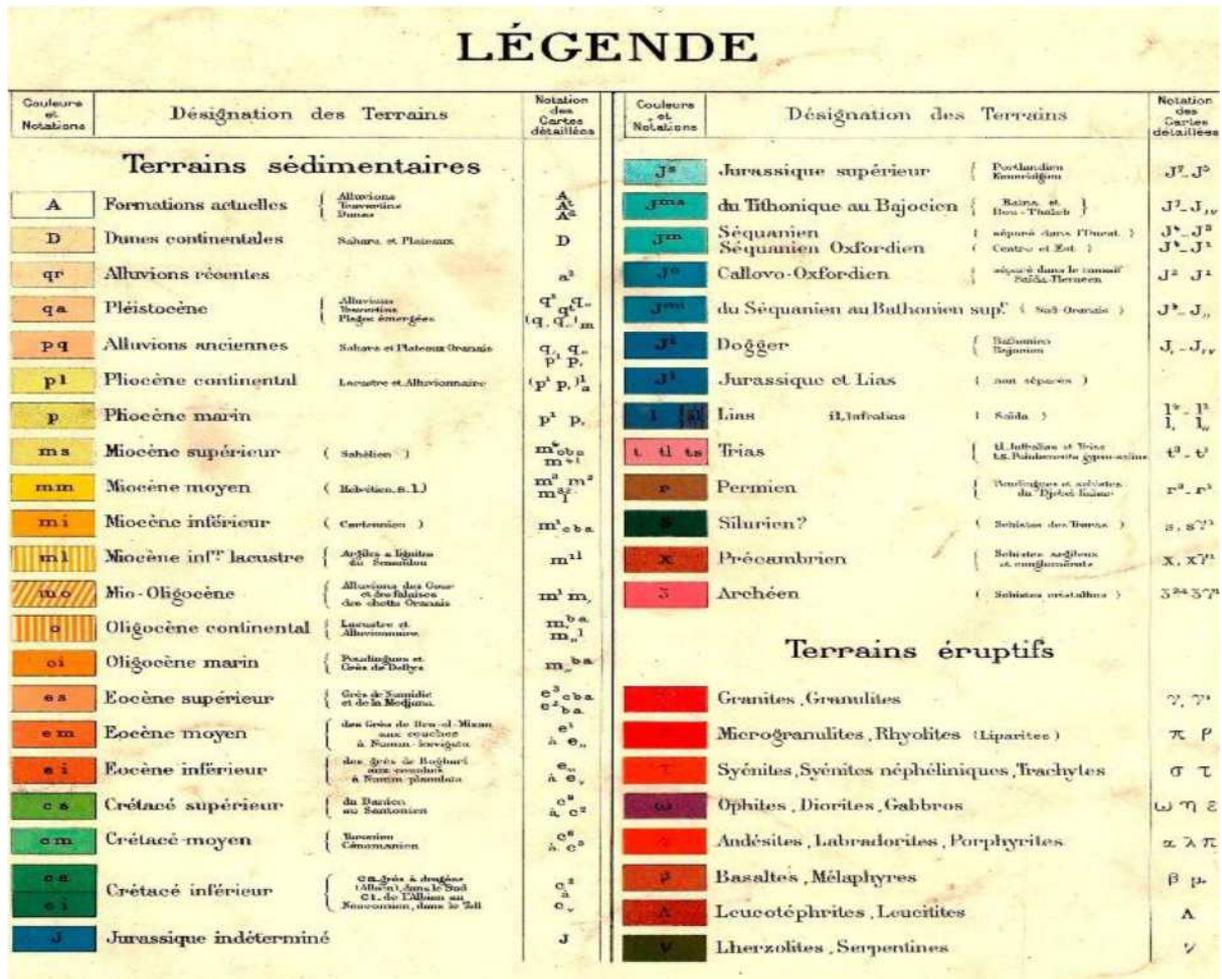


Figure II.1-3 carte géologique de la wilaya d'EL Bayadh [24]

II.1.3.3 Climat

Sur le plan climatologique, la wilaya est caractérisée par deux périodes principales qui expriment le contraste important durant l'année à savoir :

II.1.3.3.1 Pluviométrie

Les précipitations moyennes annuelles fluctuent selon une fourchette de même la pluviosité augmente de l'Ouest vers l'Est (gradient longitudinal : 214 mm par ans à Naama et plus de 300 mm par ans à El Bayadh). [24]

II.1.3.3.2 Evaporation

L'évaporation moyenne annuelle mesurée au pichet est de l'ordre de (622.57 mm). Les mois avril, mai, juin, juillet, août, septembre sont les mois qui présentent le plus grand taux d'évaporation (40 % du total annuel). Une répartition temporelle plus ou moins symétrique des évaporations mensuelles moyennes. [24]

II.1.3.3.3 Température

La température est un facteur fondamental à la caractérisation de climat d'une région, il est lié à la radiation solaire, sa variation influe sur la transformation des eaux en vapeur que ce soit en surface ou bien dans le sous-sol par conséquence elle agit sur la salinité des eaux. (Un hiver froid de température moyenne de 6° C et un Eté chaud de 36° C). [24]

II.2 Présentation de la carrière

II.2.1 La carrière

La briqueterie de Ain l'Orak se compose d'une carrière à ciel ouvert situé à côté d'elle qui à 1277m à 1292 m d'altitude et d'une surface de 17 hectares dans un réserve géologique global de 2152450 m³ soit 5796370 T dans 2060690 m³ soit 5357794 T sont exploitable, avec une production annuelle de 96720 m³ /ans. [24]

Elément de la carrière :

- Profondeur de la carrière : 20m
- Angle du talus de la carrière : 45°
- Hauteur du gradin : 04m
- Angle du gradin : 87°
- Berme : 04m [24]

II.2.1.1 Classement de la carrière

Au sens du décret exécutif n°07-144 du 19 Mai 2007 fixant la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement, les carrières d'agrégats sont considérées comme installations classées dans la rubrique 2517, dont leur classement dépend de la superficie exploitée. Dans notre cas, la superficie du gisement est de 17 ha, c'est donc une installation classée de 2eme catégorie, soumise par conséquent à autorisation de Wali.

Les coordonnées du périmètre d'exploitation sont les suivantes : [24]

Tableau II.2-1:les cordonnées de périmètre d'exploitation UTM NS

Point	X	Y
01	290800	3698000
02	290800	3697700
03	290700	3697700
04	290700	3697600
05	290600	3697600
06	290600	3697500
07	290200	3697500
08	290200	3697600
09	290300	3697600
10	290300	3697700
11	290400	3697700
12	290400	3697800
13	290500	3697800
14	290500	3697900
15	290600	3697900
16	290600	3698000

Le levé topographique du gisement est donné dans la figure (**Figure II.2-1**).

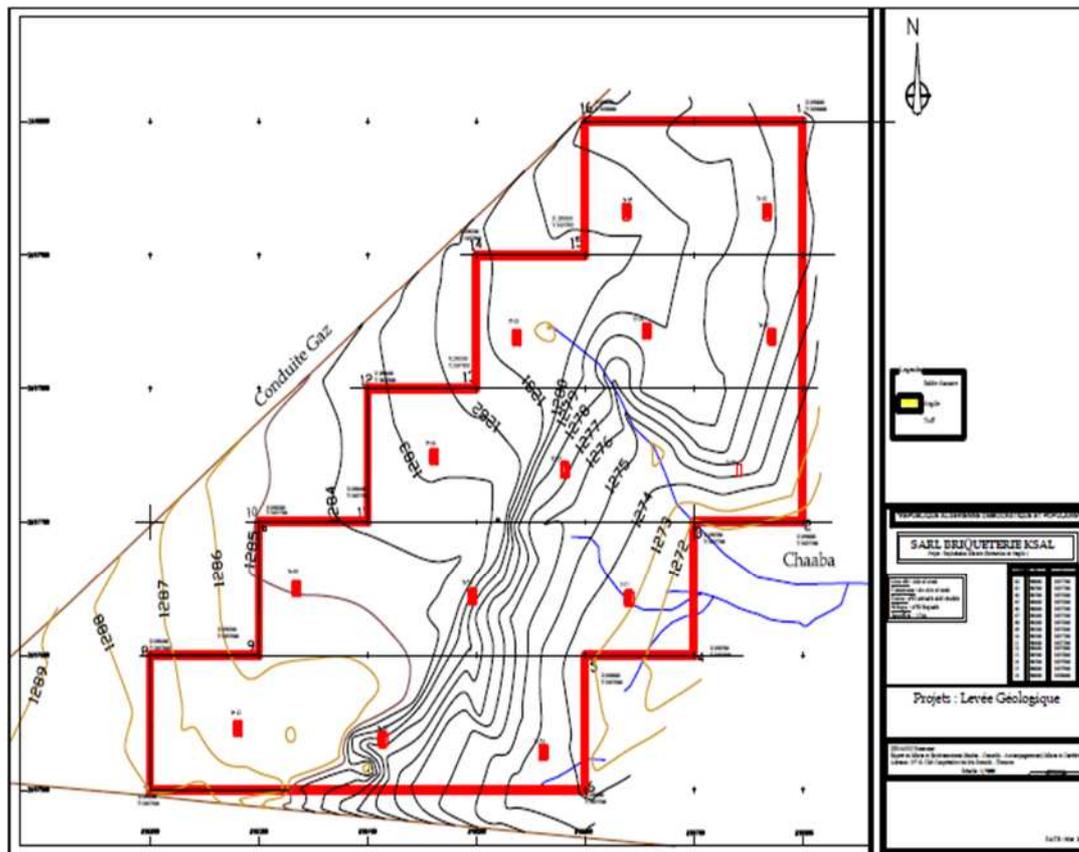


Figure II.2-1:levé topographique du gisement [24]

II.2.1.2 Méthode d'exploitation

La méthode d'exploitation au niveau de la carrière d'argile, s'effectue à ciel ouvert et par gradins, elle consiste à une succession de réalisation de travaux dans un ordre bien déterminé se caractérisent par un développement des travaux : La hauteur des gradins est de l'ordre de 04 m [24] L'extraction en carrière comprend deux étapes :

- L'étape des travaux préparatoires qui consiste à aménager les pistes d'accès au gisement et à ouvrir les gradins en vue de la production.
- L'étape des travaux d'extraction proprement dite qui consiste à l'abattage d'argile, chargement et son transport vers l'unité de fabrication de briques. [24]

Les réserves sont estimées (2 060 690 m³ soit 5 357 794 Tonne) en tenant compte des limites d'exploitation.

Exposition du problème :

Durant le stage qui a duré 25 jours au sein de la briqueterie KSAL, les responsables ont exposé le problème rencontré qui se résume à une mauvaise production ou la brique produite par la SARL est une brique friable, pleine de fissure horizontale et vertical, une mauvaise couleur et des petites graines de couleur blanche sur la brique.

III CHAPITRE MATERIELS ET METHODES D'ANALYSE

III. Chapitre Matériels et méthodes d'analyse

Introduction

Ce chapitre est consacré à la présentation de différentes techniques d'analyses et caractérisations utilisés, ainsi le matériel en vue d'analyser les échantillons d'argile et de produit de brique.

III.1 Echantillonnage :

Notre échantillonnage est effectué sur trois phases de prélèvement avec un total de 29 échantillons le long du procédé de fabrication.

- **En carrière**

L'échantillonnage est réalisé au niveau de la base de carrière d'Ain l'Orak El-Bayadh qui à une profondeur de 09 mètre le 14 mars 2023 à partir de 8h **suivant** la méthode d'échantillonnage par profil suivant la norme **ISO 28590 :2017**, et ceux par pelletage à la pelle en inox (non contaminé), allons jusqu'à 40 cm de profondeur (**Figure III.1-1**) et le (**Tableau III.1-1**). Les échantillons une fois prélevés on était mis dans des sacs en plastique spéciale pour la préservation des échantillons pour éviter la contamination.



Figure III.1-1:plan d'échantillonnage

Tableau III.1-1: Identification des échantillons

Echantillon	Cordonné	
	Nord	Est
01	33°23'59''	0°44'46''
02	33°23'59''	0°44'45''
03	33°21'59''	0°44'45''
04	33°24'00''	0°44'46''

05	32°24'00''	0°44'45''
06	33°24'00''	0°44'45''

- **Préparation mécanique :**

Dans les trois machines de préparation mécanique (concasseur, broyeur et mélangeur) on a fait des prélèvements au profit du temps dans une journée (15 mars 2023) avec un intervalle de 4h commençant le (14 mars 2023) à 21 :00 jusqu'à (15 mars 2023) à 17 :00. Les échantillons une fois prélevés on était mis dans des sacs en plastique spéciale pour la préservation des échantillons afin éviter la contamination.

- **Phase production**

On à procéder à un seul prélèvement au niveau de chaque machine (laminoir, la mouleuse, séchoir et le four) durant la journée du 16 mars 2023. Les échantillons une fois prélevés on était mis dans des sacs en plastique spéciale pour la préservation des échantillons pour afin éviter la contamination.

Après la fin du stage effectué au sein de la briqueterie Ksal Ain l'Orak, les échantillons on était transporté à Bejaia vers le campus Targa Ouzmour au laboratoire LTMGP

Les échantillons de mélangeur, laminoir et mouleuse (**Figure III.1-2**) une fois au laboratoire sont étalés sur des sacs en plastique à une épaisseur égale aux plus gros cailloux pendant 15 jours selon la norme **ISO 11464** afin de les sécher à l'air libre



Figure III.1-2: : Etalage des échantillons pour sécher au LTMGP

III.2 Analyse granulométrique :

Afin de préparer les échantillons pour des analyses au laboratoire, une éventuelle préparation mécanique sera nécessaire. Après séchage à l'air libre des échantillons humide, les échantillons seront directement passés dans un concasseur à mâchoire FRITSCH afin de réduire leurs dimensions à des diamètres inférieurs à 1 cm ($d < 1$ cm). Les échantillons obtenus seront tamisés sur une série de tamis (**Figure III.2-1**), norme AFNOR NF X31-101, d'ordre de 4mm, 2mm, 1mm, 0,5mm, 0,25mm, 0,125mm, 0,063mm et fond de tamis.

Il est à noter que l'amplitude est de 5 et la durée est de 30 min.



Figure III.2-1: Opération de tamisage des échantillons

La série de tamis sera établie suivant une suite géométrique de raison de "2" selon la norme NF X 11-501. Une fois que les classes granulométriques (min, max) sont définies, plusieurs coefficients seront calculés en se basant sur les différents paramètres de positionnement, à savoir :

La médiane (moyenne) : correspond à D_{50} ;

Les quartiles : correspondent aux D_{25} , D_{75} ;

Les percentiles : correspondent aux D_1 , D_{16} , D_{84} , D_{95} , D_{99} .

Avec :

$$D_{\phi} = -\log_2 (D_{mm}) = -3,32193 \log_{10} (D_{mm}) \quad [29]$$

Tableau III.2-1: calcul des tamis et rendement en vue de la réalisation des courbes granulométriques

Ouverture des tamis (mm)	Masse des refus partiels $R_i(g)$	Masse des refus cumulés $R_n(g)$	Rendement des refus cumulés	Rendement des tamis cumulés
4	m_1	m_1	$R1=100*(m1 /M)$	$T1=100-R1$
2	m_2	$m_1+ m_2$	$R2=100*(m2/M)$	$T2=100-R2$
1	m_3	$m_1 + m_2+m_3$	$R3=100*(m3/M)$	$T3=100-R3$
0,5	m_4$	.....	R4=100*(m4/M)$	$T4=100-R4$
0,25	m_5$	.....	R5=100*(m5/M)$	$T5=100-R5$
0,125	m_6$	.....	R6=100*(m6/M)$	$T6=100-R6$
0,063	m_7$	.....	R7=100*(m7/M)$	$T7=100-R7$
>0,063 (fond de tamis)	M_8$	.....	R8=100*(m8/M)$	$T8=100-R8$

III.2.1 Coefficient de Courbure (C_c) : [07]

$$C_c = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad \text{Eq (1)}$$

$C_c < 3$ La granulométrie est uniforme ou encore serrée.

$C_c > 3$ La granulométrie est variée ou encore étalée.

III.2.2 Coefficient d'Uniformité (Cu) : [07]

$$CU = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}} \quad \text{Eq (2)}$$

1 < Cu < 3 : bien graduée

Cu > 3 / Cu < 1 : mal graduée

III.2.3 Ecart type : [08]

$$\sigma = \sqrt{\frac{D_{84}}{D_{16}}} \quad \text{Eq (3)}$$

- ✓ Le classement est mauvais lors que o s'éloigne de 1
- ✓ Le classement est optimal lors que $\sigma = 1$

III.2.4 Paramètres de dispersion : [31]

Le plus ou moins bon classement d'un échantillon peut être connu en observant la pente de la courbe cumulative ou l'étalement de la courbe de fréquence. Des indices permettent de mesurer ce classement.

- ✓ **Indice de Trask (Sorting-Index So): [31]**

$$So(mm) = \sqrt{\frac{D_{25}}{D_{75}}} \quad \text{Eq (4)}$$

- ✓ 1 à 1,17 Très bien classé
- ✓ 1,17 à 1,20 Bien classé
- ✓ 1,20 à 1,35 Assez bien classé
- ✓ 1,35 à 1,87 Moyennement classé
- ✓ 1,87 à 2,75 Mal classé
- ✓ 2,75 Très mal classé
- ✓ **Indice de dispersion de Folk et Ward : [31]**

Qui fait intervenir les extrémités de la courbe dans la définition du classement

$$DFW\emptyset = \frac{D_{84\emptyset} - D_{16\emptyset}}{4} + \frac{D_{95\emptyset} - D_{5\emptyset}}{6,6} \quad \text{Eq (5)}$$

III.2.5 Paramètres d'asymétrie [31]

Mesure l'allure de la distribution de part et d'autre de la médiane, ils sont nécessaires à la bonne définition d'une courbe granulométrique.

- ✓ **Indice d'asymétrie de Trask : [31]**

$$ast = \frac{D_{25} \cdot D_{75}}{D_{50}^2} \quad \text{Eq (6)}$$

- ✓ **Indice d'asymétrie de Krumbein : [31]**

$$sk\emptyset = \frac{D_{25\emptyset} + D_{75\emptyset} - 2 \cdot D_{50\emptyset}}{2} \quad \text{Eq (7)}$$

- ✓ SK = 0 (ou ast = 1) le mode coïncide avec la médiane et la moyenne, les fractions fines et grossières sont classées symétriquement par rapport à la médiane
- ✓ SK > 0 (ou ast < 1), la fraction grossière est plus importante donc mieux classée que la fraction fine. La médiane et le mode se situent à gauche de la moyenne,
- ✓ SK < 0 (ou ast > 1), la fraction fine est mieux classée que la fraction grossière. La médiane et le mode sont cette fois à droite de la moyenne.

✓ **Indice d'asymétrie de Folk et Ward :** [32]

$$Ski = \frac{D_{16\phi} + D_{84\phi} - 2 * D_{50\phi}}{2 * (D_{84\phi} - D_{16\phi})} + \frac{D_{5\phi} + D_{95\phi} - 2 * D_{50\phi}}{2 * (D_{95\phi} - D_{5\phi})} \quad \text{Eq (8)}$$

- ✓ [+0.3; +0.1]: Très fine et irrégulier
- ✓ [+0.1; +0.3]: Fine et irrégulier
- ✓ [+0.1-0.1]: Symétrique
- ✓ [-0.1; -0.3] Grossier irrégulier
- ✓ [-0.3;-0.1]: Très grossier et irrégulier

La loi de calcul de ϕ est $D\phi = \log_2 Dmm$

III.2.6 Paramètres d'acuité [09]

✓ **Indice d'acuité (ou Kurtosis) de Krumbein et Pettijohn:** [31]

$$K = \frac{D_{75} - D_{25}}{2(D_{90} - D_{10})} \quad \text{Eq (9)}$$

✓ **Indice d'acuité (ou Kurtosis) de Folk et Ward :** [31]

$$kg\phi = \frac{D_{95\phi} - D_{5\phi}}{2,44(D_{75\phi} - D_{25\phi})} \quad \text{Eq (10)}$$

La valeur de K varie autour de 1 ; ainsi si :

- ✓ $0,67 < K < 0,90$ la courbe est dite platykurtique
- ✓ $0,90 < K < 1,11$ la courbe est dite mésokurtique, elle est platykurtique
- ✓ $1,11 < K < 1,50$ la courbe est dite leptokurtique

III.2.7 Porosité : [30]

La porosité d'un sédiment naturel est une propriété difficile à estimer théoriquement. Elle dépend des caractéristiques physiques des grains qui composent le sédiment et varie dans le temps et sur la profondeur avec le tassement.

$$P = 0,13 + \frac{0,21}{(D_{50} + 0,002)^{0,21}} \quad \text{Eq (11)}$$

Une fois que les courbes granulométriques sont réalisées, une étape intermédiaire de préparation d'échantillon représentatif aux masses des lots récupérés sur le terrain sera réalisée. Habituellement, la préparation des échantillons pour d'éventuelles analyses physico-chimiques se fait suivant la technique des quartages suivant la loi de Richards [6]. Pour notre cas d'étude une méthode de quartage mécanique plus sophistiquée a été utilisée de façon à minimiser les risques d'erreur sur la composition des sols liés à leur hétérogénéité, ainsi d'obtenir des masses d'échantillons représentatifs des lots prélevés sur le terrain, et qui seront les analyses et tests.

Le quartage est réalisé au niveau de l'échantillonneur Retsch (**Figure III.2.2**) qui contient 8 jarres en verre de silice. Grâce à cette manipulation, l'erreur liée à l'échantillonnage est presque négligeable. La masse représentative des sols est ainsi préparée aux traitements physico-chimiques.



Figure III.2-2: Echantillonneur à jarres, LTMGP

Nb : après l'analyse granulométrique on à procéder à mélanger les échantillons des machine suivante (concasseur, broyeur et mélangeur) et on a obtenu un échantillon représentatif pour chaque une d'entre elles, en arrivant à l'analyse DRX on a mélangé les échantillons de la carrière (1_2_3_4 et 5) afin d'avoir l'échantillon représentatif moyen pour la base de la carrière

III.3 Bleu de méthylène (NF EN 933-9)

Selon la norme (NF EN 933-9), cet essai (**figure III.3-1**) permet de mesurer la capacité des éléments fins à absorber de bleu de méthylène, les matières organiques et les hydroxydes de fer cette capacité rend compte globalement de l'activité de surface de ces éléments. [25]

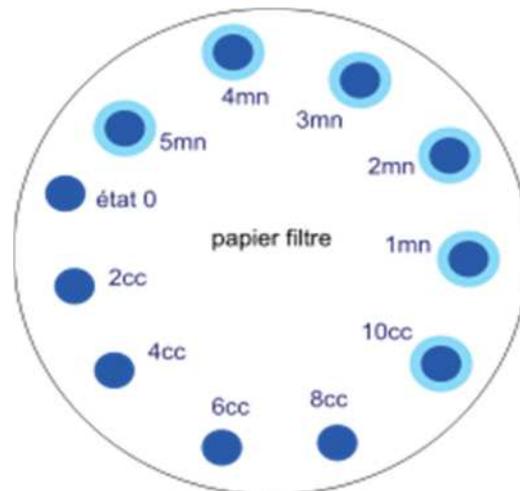


Figure III.3-1:exemple sur test bleu de méthylène

III.3.1 Mode opératoire

- ✓ On prendre 10 grammes de sol sec passé au tamis 5mm.
- ✓ On met la prise d'essai à tremper dans un béccher avec 100 cm d'eau.

- ✓ A l'aide de l'agitateur (700 tr/min), on disperse la suspension pendant 5 min.
- ✓ A l'aide du dispositif de dosage, on introduit 5 cm³ de bleu et on agite à (400 tr/min) pendant 1 min.
- ✓ A l'aide d'une baguette, on dépose une goutte de la suspension sur du papier filtre (l'essai de la tâche). [25]
- ✓ **Test négatif**
Si le test est négatif (tâche sans auréole), on ajoute 5 cm³ de bleu et on refait l'essai de la tâche (Opération 5) après une minute.

Cette opération sera répétée autant de fois qu'il sera nécessaire jusqu'à ce que le test de la tâche soit positif (tâche avec auréole). [26]

✓ **Test positif**

Si le test est positif (tâche avec auréole), on procède à 5 essais successifs (un test par minute) sans ajouter de bleu.

Si les 5 essais sont positifs, l'essai est terminé.

- ✓ Si au cours de ces tests de la tâche, l'une des tâches deviendra sans auréole, on ajoute uniquement 2,5 cm³ et on reprend les tests de la tâche jusqu'à ce que les 5 essais soient positifs. [26]

On appelle « valeur de bleu » des fines, la quantité exprimée en gramme de bleu de méthylène, elle est donnée par Eq (12)

$$VBS = \frac{v}{m} \quad \text{Eq (12)}$$

- La valeur du bleu du sol est sans unité

Avec :

V : Volume de bleu ajouté en cm³

m : la masse de l'échantillon en gramme

On distingue les valeurs suivantes

$VBS \leq 0,2$: sols sableux (sol insensible à l'eau)

$0,2 < VBS \leq 2,5$: sols limoneux (sol peu plastique et sensible à l'eau)

$2,5 < VBS \leq 6$: sols limono-argileux, (sol de plasticité moyenne)

$6 < VBS \leq 8$: sols argileux

$VBS > 8$: sols très argileux. [27]

III.4 Humidité

Teneur en poids ou matière sèche calculée selon la norme NF ISO 11465

Une masse ($100 \pm 0,005$) g de chaque sol sec tamisé à 2 mm a été placée dans une étuve, puis séchée à 105 ± 3 °C pendant 24 heures, (**figure III.4-1**) puis les capsules ont été retirées et laissées refroidir. Le pourcentage de perte de masse causée par le four, représentant le taux d'humidité [41] exprimé par Eq (13)

$$H (\%) = \left(\frac{m_0 - m_1}{m_0} \right) * 100 \quad \text{Eq (13)}$$

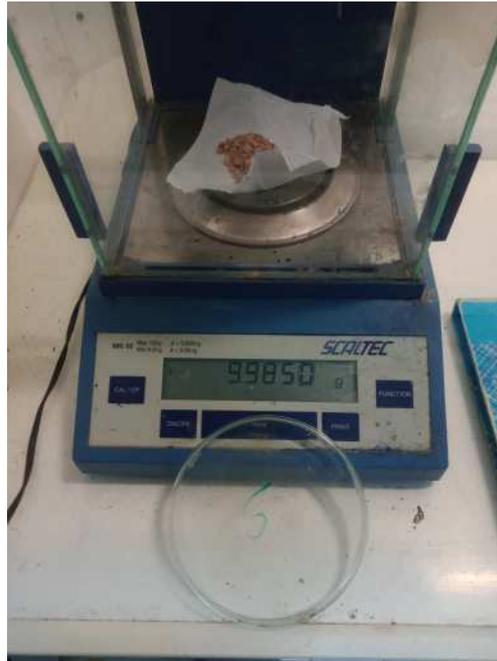


Figure III.4-1: calcul des masses après séchage test humidité

III.4.1 Mesure de conductivité électrique

La conductivité électrique est une mesure qui donne une approximation de la concentration des sels solubles présents dans l'échantillon

III.4.1.1 Principe

La norme utilisée est la NF X 31-113 qui est basée sur l'extraction des sels d'un échantillon, solubles dans l'eau, dans des conditions bien définies et dans un rapport sol sec/eau égal à un 1/5 (m/m) [28]

III.4.1.2 Mode opératoire

On Pèse 10 g de l'échantillon de sol pour le test, on le met dans un flacon en polyéthylène, on ajoute 50 ml d'eau distillée, on couvre hermétiquement le flacon, on le place dans un agitateur mécanique à déplacement horizontal et on remue pendant 30 minutes. Après filtration, la conductivité de la solution résultante a été mesurée avec un conductimètre. (**Figure III.4-2**) [28]



Figure III.4-2:conductimètre

III.5 Calcule du pH

III.5.1 Par H₂O

III.5.2 Principe et théorie

Le pH se définit comme le logarithme négatif de l'activité de l'ion hydrogène Exprimé par l'équation Eq.III.14.

$$pH = -\log_{10} a_{H^+} \quad \text{Eq.III. (14)}$$

Il est mesuré à l'aide d'une électrode de verre, dont le potentiel varie en fonction de la concentration des ions hydrogènes suivant l'équation de Nernst. Ce potentiel est mesuré par rapport à une électrode de référence à l'aide d'un potentiomètre à haute impédance communément appelé pH-mètre [33] (**Figure III.5-1**)



Figure III.5-1:pH-mètre

III.5.3 Appareillage

- PH-mètre avec une électrode pour mesurer le pH ;
- Agitateur mécanique (environ 280 oscillations par minute) ;
- Plaque magnétique ;
- Balance analytique dans la sensibilité est de 0,1 mg ;
- Culière calibrée de 10 cm³ ;

L'eau utilisée pour la préparation des réactifs et des solutions étalons est de l'eau distillée ou déminéralisée.

À moins d'indications contraires, les solutions préparées peuvent se conserver indéfiniment à la température ambiante. Cependant, elles doivent être refaites s'il y a un changement de couleur à la solution ou s'il y a formation d'un précipité. [33]

III.5.4 Protocole

- On vérifie la condition de l'électrode et on dégage l'orifice de l'électrode.

- L'étalonnage du pH-mètre s'effectue avec les solutions tampons chaque jour d'utilisation.

III.5.5 Préparation des échantillons

- On homogénéise l'échantillon non séché avec une spatule afin d'obtenir un échantillon représentatif.
- Un poids d'échantillon non séché est mis en contact avec un poids identique d'eau la densité de l'eau étant voisine de 1, un volume d'eau identique au poids d'échantillon pesé peut être utilisé.
- On agite pendant 5 minutes à la température de la pièce avec un agitateur mécanique.
- Si le volume de surnageant n'est pas suffisant pour mesurer le pH, on répète l'extraction sur une nouvelle portion d'échantillon en utilisant un rapport solide : eau de 1 : 2 et en poursuivant si nécessaire avec 1 : 3, 1 : 4, etc.
- On laisse décanter le solide et mesurer le pH sur la portion liquide uniquement.
- On rince abondamment l'électrode entre chaque échantillon.[33]

III.6 Ph au KCL :

III.6.1 Principe :

Une suspension de matrice solide est préparée dans 5 fois son volume d'une solution 1 M de KCl. Le pH est mesuré à l'aide d'un pH-mètre (norme ISO 10390 :2005 – Qualité du sol – Détermination du pH.) [34]

III.6.2 Préparation des échantillons

Conformément à la procédure S-I-1, les échantillons sont séchés à l'air ou dans une étuve ventilée à une température inférieure à 40 °C. Ils sont alors émottés et tamisés au travers d'un tamis de 2 mm d'ouverture de mailles.[34]

III.6.3 Appareillage :

- PH-mètre équipé d'un système de contrôle et d'ajustement de température, comportant une électrode en verre et une électrode de référence ou un dispositif d'électrodes groupées. Dans le cas de valeurs de pH > 10, il convient d'utiliser une électrode spécialement adaptée à cette gamme.
- Thermomètre d'une précision de 1 °C.
- Agitateur ou mélangeur.
- Bouteille d'échantillonnage en verre borosilicaté ou en polyéthylène fermant hermétiquement d'une capacité d'au moins 50 ml.
- Cuillère de dosage d'une capacité connue, d'au moins 5.0 ml [34]

III.6.4 Préparation de la suspension :

- On prélever à l'aide de la cuillère de capacité connue d'au moins 5 ml, une quantité d'échantillon équivalent à 5 ml et représentative de l'échantillon ;
- On transfère ce volume dans une bouteille d'échantillonnage et on ajoute 5 fois son volume de la solution de KCl 1M ;

- On agiter ou mélanger à l'aide d'un mélangeur durant (60 ou 10) minutes et on attend au moins 1 heure (pas plus de 3) en recouvrant l'échantillon afin d'éviter l'entrée d'air.

III.6.5 Etalonnage du pH-mètre :

On étalonne le pH-mètre à l'aide des solutions tampon à disposition à une température de 20 °C ou à 25°C via une sonde de température ; le critère d'acceptation est fixé par la pente effective de la droite qui devra être entre 98.0 et 100.6 %.[34]

III.6.6 Mesure du pH :

On mesure la température de la suspension qui doit être identique à celles des étalons (pas plus de 1 °C de différence).

On mesure le pH dans le surnageant pendant ou immédiatement après une légère agitation de façon à faire la mesure dans une solution homogène. On relève le pH lorsque l'équilibre est atteint et on note les valeurs à la 2e décimale près (variation maximale de 0.02 unités sur une période de 5s).[34].

III.7 Limite d'Atterberg

III.7.1 Principe

Dans les sols fins, la surface spécifique des particules (rapport de la surface de la particule à son volume) est grande, et l'eau joue un rôle très important en agissant sur les forces qui s'exercent entre les particules. Les propriétés des sols fins évoluent des solides « W faible » aux liquides « W élevé ». Entre ces deux états, pour un taux d'humidité moyen, le sol présente une plasticité, c'est-à-dire qu'il est capable de se déformer rapidement et significativement sans se rompre, se fissurer ou changer de volume, et sans présenter de déformation réversible significative. L'état solide lui-même peut être divisé en deux états : l'un est l'état dans lequel l'eau absorbée est toujours en place, appelé état solide rétractable, et l'autre est un état dans lequel l'eau adsorbée a complètement disparu, qui est appelé état solide non rétractable. Le rétrécissement est la réduction de volume qui se produit avec l'élimination de l'eau adsorbée. [39]



Figure III.7-1: appareil de Casagrande

Pour les sols fins, on définit :

- Une limite de plasticité ; qui sépare l'état plastique de l'état solide
- Une limite de liquidité ; qui sépare l'état plastique de l'état liquide

III.7.2 Matériel utilisé :

- Etuve
- Appareil de Casagrande
- Outil a rainuré
- Tares, spatule, balance électronique [39]

III.7.3 Mode opératoire

III.7.3.1 Limite de liquidité :

- On prend environ 200 gr de sol préalablement tamisé au tamis 0.4 mm par voie humide et séché.
- On mélange la totalité de la prise de telle sorte à obtenir une pate homogène et presque fluide.
- On prendre une partie de la pâte et l'étaler dans la coupelle de l'appareil de Casagrande à l'aide de la spatule.
- On fait une rainure dans cette pate de telle sorte à la diviser en deux. L'outil a rainuré devra être tenu perpendiculairement à la coupelle en présentant sa partie biseauté face à la direction du mouvement.
- On soumet la coupelle et le matériau qu'elle contient à des chocs répétés avec une cadence de 2 coups par seconde.
- On arrête les chocs quand les deux lèvres se rejoignent sur environ 1cm, on note le nombre de coups N correspondant.
- On prélève des deux côtés des lèvres à l'endroit où elles se sont refermées environ 5 gr de sol. Afin d'en déterminer la teneur en eau.
- On réhomogénéise le sol et le sécher un peu puis on reprend les opérations de 3 à 7. IL faut au moins trois essais avec un nombre de coups croissant et de préférence bien étalé entre 15 et 35.[39]

III.7.3.2 Limite de plasticité :

- On prend un peu de matériau et on forme une petite boule.
- On roule à la main sur la plaque de marbre cette boule de telle sorte à obtenir un bâtonnet.

Trois cas peuvent se présenter :

- Le bâtonnet confectionné commence à se fissurer quand il atteint une longueur de 15 cm et un diamètre de 3mm. Dans ce cas, le sol est à la limite de plasticité et il faut la mesurer.
- Le sol est encore fluide et on n'arrive pas à confectionner le bâtonnet. Il faut sécher un peu le matériau.

- Le bâtonnet commence à se fissurer trop tôt, le matériau est sec. Il faut l'humidifier un peu.

Il faut réaliser au moins deux essais pour la limite de plasticité.[39]

III.7.3.3 Calcul et résultats :

Pour le calcul de la limite de liquidité, on a la relation :

$$W_L = W_N \cdot (N/25)^{0.121} \quad \text{Eq.III. (15)}$$

Avec :

W_N est la teneur en eau correspondant au nombre de coups N . On fera la moyenne des trois essais.

On procède à la classification selon le diagramme de Casagrande [39]

III.7.4 Caractérisation minéralogique par diffraction à rayon X

III.7.4.1 Définition de la DRX :

C'est 'une méthode d'analyse minéralogique des phases cristallisés, elle s'applique sur des poudres ou des échantillons massifs. Elle sert à la détermination des phases minérales et leurs quantifications. [35]

III.7.4.2 Principe de l'analyse

La diffraction des rayons X est l'application d'un rayonnement de longueur d'onde ($0,1 < \lambda < 10 \text{ nm}$) à des échantillons orientés ou non orientés. En utilisant le rayonnement électromagnétique du cuivre, sa longueur d'onde est $\text{Cu K}\alpha = 1,542 \text{ \AA}$. Ce rayonnement pénètre dans le cristal, absorbe une partie de l'énergie et excite les atomes, qui émettent un rayonnement dans toutes les directions. Le rayonnement émis depuis le plan atomique en phase produira un faisceau cohérent qui pourra être détecté.

Si on détermine la direction du signal, on se rend compte qu'on a une loi très simple : si on trace des plans imaginaires parallèles passant par l'atome, et si on appelle la distance entre ces plans (ou distance inter-réseaux) d , alors l'intervention est constructive si :

$$n \cdot \lambda = 2 d_{hkl} \cdot (\sin \theta_{hkl}) \quad \text{Eq.III (16)}$$

Avec :

- θ : angle entre le faisceau incident et le réseau plan (en °)
- n : est un nombre entier appelé «ordre de diffraction»,
- λ : est la longueur d'onde des rayons X. (en nm)
- d : distance entre deux plans parallèles successifs du réseau cristallin (en Å)
- hkl : indice de Miller : désignent la direction considérée dans le cristal [41]

En effet, le chemin supplémentaire parcouru par le deuxième rayon est $2d \cdot \sin(\theta)$. (Figure III.7-2)

Les interférences sont constructives si la différence de chemin introduit un déphasage Multiple de 2π , c'est-à-dire si le chemin supplémentaire est un multiple de λ . [38]

Les analyses ont été réalisées au plateau d'analyse technique physico-chimique de Bejaia (Figure III.7-3)

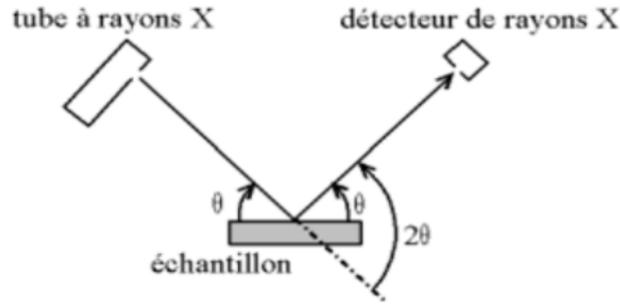


Figure III.7-2: Principe de l'analyse par DRX



Figure III.7-3: appareil DRX

III.7.5 Analyse chimique par fluorescence des rayons X

III.7.5.1 Définition :

La spectrométrie de fluorescence X est une méthode d'analyse élémentaire, donc permet de déterminer les concentrations en éléments purs. Cependant, les éléments sont souvent présents sous la forme de composés (molécules, cristaux polyatomiques) dans le matériau initial. Il peut donc être souhaitable de présenter des pourcentages de composés plutôt que d'éléments. On exprime par exemple souvent des concentrations en oxyde, en particulier en géochimie ou pour les ciments [36]. Les analyses ont été réalisées au plateau technique d'analyse physico-chimique de Bejaia avec l'appareil Quantum RX200 (Figure III.7-4)



Figure III.7-4:appareil FRX

III.7.5.2 Principe de fonctionnement

Quand un matériau est soumis à un rayonnement de faible longueur d'onde et donc de forte énergie, comme les rayons X, les rayons gamma ou bien un faisceau d'électrons ou d'ions suffisamment accélérés, les atomes constituant le matériau peuvent subir une ionisation, c'est-à-dire qu'un ou plusieurs électrons peuvent être éjectés des couches électroniques (on parle aussi d'orbitales atomiques) de chacun de ces atomes.

Le rayonnement fluorescent peut donc être analysé de façon équivalente en énergie par le logiciel d'analyse, à partir des concentrations en éléments et des formules chimiques on parle d'analyse dispersive en énergie ou en longueur d'onde.

Le spectre du matériau analysé est l'intensité du rayonnement en fonction de l'énergie, généralement exprimée en électronvolts (eV) ou en longueur d'onde. C'est un outil puissant (**Figure III.7-5**) (Pour l'analyse chimique élémentaire, branche de la chimie analytique.[37]).

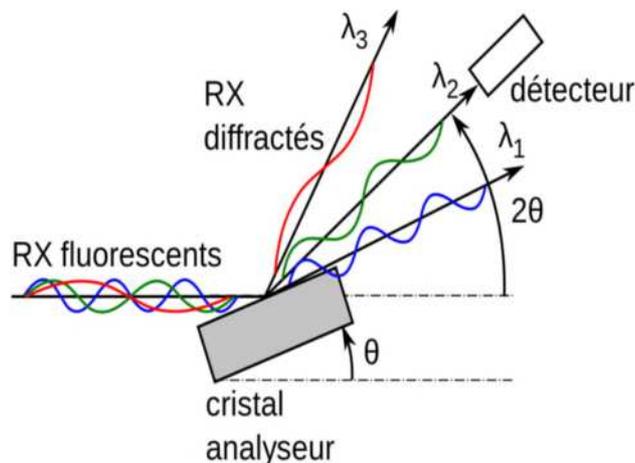


Figure III.7-5:Principe de base de l'analyse par FX

III.8 Conclusion

Notre travail est effectué grâce à ces techniques que nous avons utilisées au début, l'échantillonnage effectué consiste à prendre un échantillon représentatif qui permettra d'identifier l'ensemble du site d'étude.

La préparation mécanique consiste à diminuer les volumes de nos échantillons ainsi l'étude granulométrique avec tous ces paramètres et les autres techniques pour but d'identifier la nature de sol, et aussi elles servent à préparer les échantillons pour les analyses de caractérisation

Les analyses de caractérisation FRX et DRX permettent d'identifier les compositions chimiques de nos échantillons afin de trouver une solution au problème à l'étude.

IV CHAPITRE RESULTATS ET DISCUSSIONS

IV. Chapitre résultats et discussion

Introduction

Dans ce chapitre, on présentera en général, les résultats de distribution granulométrique, les essais de classifications des sols, analyse chimique élémentaire frx et l'analyse DRX de l'ensemble des échantillons prélevés.

Les discussions et interprétations seront ainsi discutées dans ce chapitre.

IV.1 Analyse granulométrique

Les résultats sont sous forme de courbe granulométrique, le calcul des rendements ainsi que les paramètres granulométriques seront présentés dans ce qui suit :

Echantillon prélevé de la carrière n° 01 :

Cordonné : 33°23'59''N 0°44'46''E

Masse : 2920 (g)

Dans le tableau (IV.1-1), on présentera les résultats des rendements, refus cumulés et des tamis cumulés

Tableau IV.1-1 : calcul des refus cumulés et des tamis cumulés de l'échantillon prélevé de la carrière n01

Ouverture des tamis (mm)	Masse des refus partiel Ri(g)	Masse des refus cumulés Rn(g)	Rendement des refus cumulé Rn %	Rendement des tamis cumulés Ti %
4	0	0	0	100
2	902,60	902,60	31,00	69,00
1	536,00	1438,60	49,41	50,59
0,5	454,30	1892,90	65,01	34,99
0,25	437,20	2330,10	80,03	19,97
0,125	324,20	2654,30	91,16	8,84
0,063	219,10	2873,40	98,68	1,32
>0,063	37,80	2911,20	100,00	00,00
Total	2911,20	/	/	/

(Figure IV.1-1) présente la distribution granulométrique de l'échantillon étudié

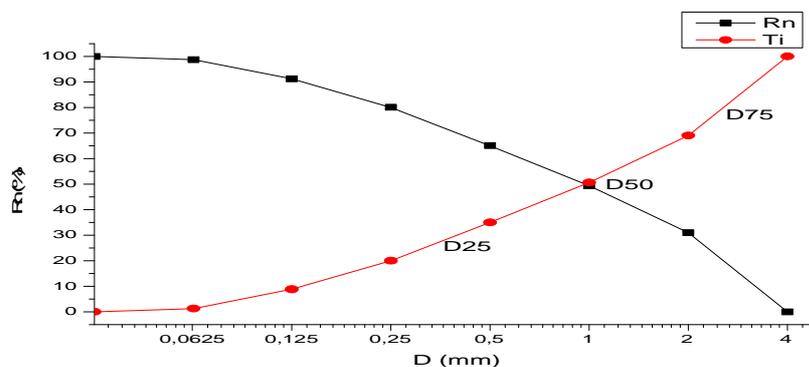


Figure IV.1-1 : distribution granulométrique de l'échantillon prélevé de la carrière n01

Les paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la carrière n01 seront présentés dans le tableau (IV.1-2)

Tableau IV.1-2 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la carrière n01

Coefficient et indice	Valeur	Commentaire
Cc	10,92	Granulométrie est variée ou encore étalée.
Cu	0,82	Mal graduée
$\hat{\sigma}$	3,83	Le classement est mauvais
S0	0,37	Une faible dispersion
DFWØ	0,35485051	Variation est relativement régulière
Ast	0,75	Distribution asymétrique avec une queue plus longue sur le côté droit
SkØ	0,09783475	Symétrique
skiØ	0,44498567	Très fine et irrégulier
K	1,80	Très platykurtique
KgØ	0,72605476	Platykurtique

- **Interprétation et discussion**

Comme la montre, l'analyse granulométrique (tableau IV.2-1, la figure IV.1-1) et les paramètres enregistrés dans le tableau (IV.1-2), nous constatons que la granulométrie de l'échantillon prélevé de la carrière n 01 est varié, étalée, mal graduée, très fine et irrégulier de porosité modéré.

Echantillon prélevé de la carrière n° 02 :

Cordonné : 33°23'59''N 0°44'45''E

Masse : 3800 (g)

Dans le tableau (IV.1-3), on présentera les résultats des rendements, refus cumulés et des tamis cumulés.

Tableau IV.1-3 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques carrière n02

Ouverture des tamis (mm)	Masse des refus partiel Ri(g)	Masse des refus cumulés Rn(g)	Rendement des refus cumulé Rn%	Rendement des tamis cumulés Ti %
4	0	0	0	100
2	1543,80	1543,80	40,69	59,31
1	771,50	2315,30	61,02	38,98
0,5	563,20	2878,50	75,87	24,13
0,25	441,10	3319,60	87,5	12,5
0,125	281,30	3600,90	94,92	5,08
0,063	165,00	3765,90	99,27	0,73
>0,063	27,70	3793,60	100,00	00,00
Total	3793,60	/	/	/

(Figure IV.1-2) présente la distribution granulométrique de l'échantillon étudié

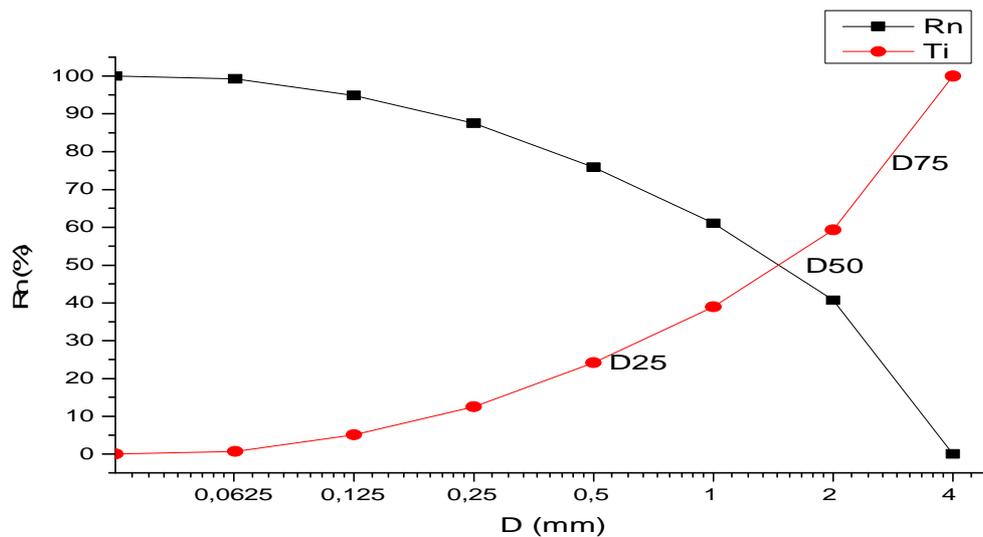


Figure IV.1-2 : distribution granulométrique de l'échantillon prélevé de la carrière n02.

Les paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la carrière n02 seront présentés dans le tableau (IV.1-4)

Tableau IV.1-4 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la carrière n02

Coefficient et indice	Valeur	Commentaire
Cc	10,63	Granulométrie est variée ou encore étalée.
Cu	1,13	Bien graduée

δ	3,18	Le classement est mauvais
S0	0,44	Une faible dispersion
DFWØ	0,3681232	Variation est relativement régulière
Ast	0,63	Distribution asymétrique avec une queue plus longue sur le côté droit
SkØ	0,0331133	Symétrique
skiØ	0,20564408	Fine et irrégulier
K	1,80	Très platykurtique
KgØ	0,69281811	Platykurtique
P	0,32	Porosité modérer

• **Interprétation et discussion**

Comme la montre, l'analyse granulométrique (tableau **IV.1-3**, la figure **III.1-2**) et les paramètres enregistrés dans le tableau (**III.1-4**), nous constatons que la granulométrie de l'échantillon prélevé de la carrière n 02 est varié, étalée, Bien graduée, fine et irrégulier de porosité modéré.

Echantillon prélevé de la carrière n° 03 :

Cordonné : 33°21'59''N 0°44'45''E

Masse : 3065 (g)

Dans le tableau (**IV.1-5**), on présentera les résultats des rendements, refus cumulés et des tamis cumulés.

Tableau IV.1-5 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques carrière n 03

Ouverture des tamis (mm)	Masse des refus partiel Ri(g)	Masse des refus cumulés Rn(g)	Rendement des refus cumulé Rn %	Rendement des tamis cumulés Ti %
4	0	0	0	100
2	1169,30	1169,30	38,24	61,76
1	576,20	1745,50	57,08	42,92
0,5	392,80	2138,30	69,92	30,08
0,25	367,10	2505,40	81,92	18,08
0,125	306,80	2812,20	91,95	8,05
0,063	198,00	3010,20	98,42	1,58
>0,063	47,80	3058,00	100,00	00,00
Total	3058,00	/	/	/

La figure (Figure IV.1-3) présente la distribution granulométrique de l'échantillon étudié

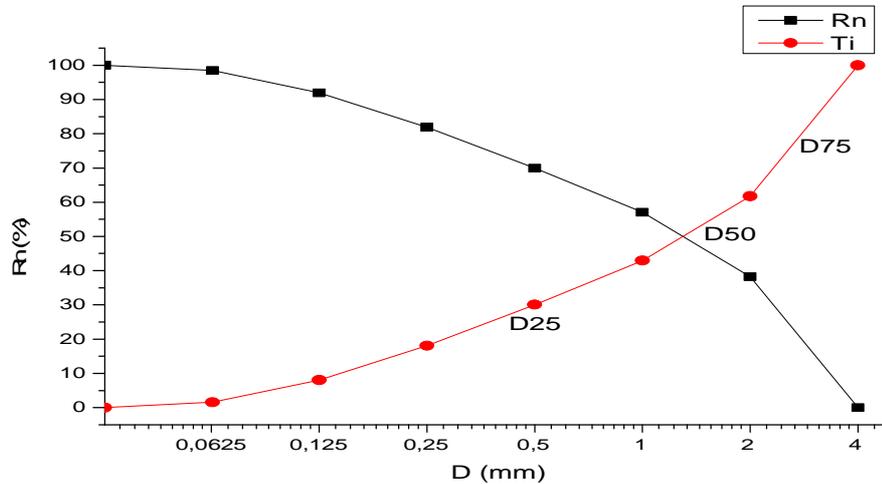


Figure IV.1-3 : distribution granulométrique de l'échantillon prélevé de la carrière n03

Les paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la carrière n03 seront présentés dans le tableau (IV.1-6)

Tableau IV.1-6 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la Carrière n03

Coefficient et indice	Valeur	Commentaire
Cc	16,57	Granulométrie est variée ou encore étalée.
Cu	2,22	Bien graduée
δ	3,77	Le classement est mauvais
S0	0,38	Une faible dispersion
DFWØ	0,3715896	Variation faible
Ast	0,56	Distribution asymétrique avec une queue plus longue sur le côté droit
SkØ	0,04966995	Symétrique
skiØ	0,27443214	Fine et irrégulier
K	1,95	platykurtique
KgØ	0,67235778	Platykurtique

P	0,33	Porosité modérer
----------	------	------------------

- **Interprétation et discussion**

Comme la montre, l'analyse granulométrique (tableau **IV.1-5**, la figure **IV.1-3**) et les paramètres enregistrés dans le tableau (**IV.1-6**), nous constatons que la granulométrie de l'échantillon prélevé de la carrière n est varié, étalée, Bien graduée, fine et irrégulier de porosité modéré.

Echantillon prélevé de la carrière n° 04

Cordonné : 33°24'00''N 0°44'46''E

Masse : 4433,2 (g)

Dans le tableau (**III.1-7**), on présentera les résultats des rendements, refus cumulés et des tamis cumulés.

Tableau IV.1-7 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques carrière n 04

Ouverture des tamis (mm)	Masse des refus partiel Ri(g)	Masse des refus cumulés Rn(g)	Rendement des refus cumulé Rn%	Rendement des tamis cumulés Ti %
4	00,00	00,00	00,00	100,00
2	1528,70	1528,70	34,57	65,43
1	718,00	2246,70	50,81	49,19
0,5	661,10	2907,80	65,26	34,24
0,25	561,40	3469,20	77,95	21,55
0,125	479,40	3948,60	88,79	10,71
0,063	339,20	4287,80	96,46	3,04
>0,063	134,40	4422,20	100,00	00,00
Total	4422,20	/	/	/

La figure (**IV-1.4**) présente la distribution granulométrique de l'échantillon étudié

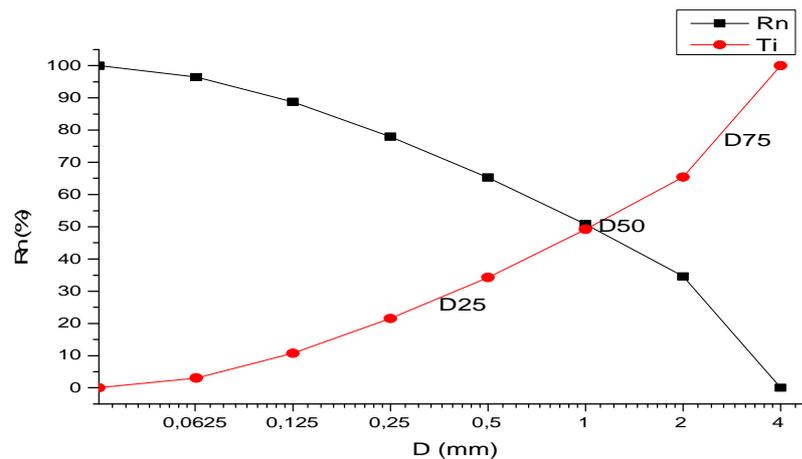


Figure IV.1-4 : distribution granulométrique de l'échantillon prélevé de la carrière n04

Les paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la carrière n04 seront présentés dans le tableau (IV.1-8)

Tableau IV.1-8 Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la carrière n04

Coefficient et indice	Valeur	Commentaire
Cc	14,36	Granulométrie est variée ou encore étalée.
Cu	0,92	Mal graduée
δ	4,13	Le classement est mauvais
S0	0,35	Une faible dispersion
DFWØ	0,36691452	Variation est relativement régulière
Ast	0,68	Distribution asymétrique avec une queue plus longue sur le côté droit
SkØ	0,0993399	Symétrique
skiØ	0,41379524	Très fine et irrégulier
K	1,95	platykurtique

- Interprétation et discussion**

Comme la montre, l'analyse granulométrique (tableau IV.1-7, la figure IV.1-4) et les paramètres enregistrés dans le tableau (IV.1-8), nous constatons que la granulométrie de l'échantillon prélevé de la carrière n 04est varié, étalée, mal graduée, très fine et irrégulier de porosité modéré.

Echantillon prélevé de la carrière n° 05 :

Cordonné : 33°24'00''N 0°44'45''E

Masse : 4285(g)

Dans le tableau (IV.1-9), on présentera les résultats des rendements, refus cumulés et des tamis cumulés.

Tableau IV.1-9 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques carrière n05

Ouvertures des tamis (mm)	Masse des refus partiel Ri (g)	Masse des refus cumulés Rn(g)	Rendement des refus cumulés Rn %	Rendement des tamis cumulés Ti %
4	00,00	00,00	00,00	100,00
2	1565,80	1565,80	36,59	63,41
1	717,10	2282,90	53,35	46,65
0,5	568,10	2851,00	66,63	33,37
0,25	380,00	3231,00	75,51	24,49
0,125	421,40	3652,40	85,36	14,64
0,063	537,60	4190	97,92	2,07
>0,063	88,90	4278,90	100,00	00,00
TOTAL	4278,90	/	/	/

La figure (IV.1-5) présente la distribution granulométrique de l'échantillon étudié

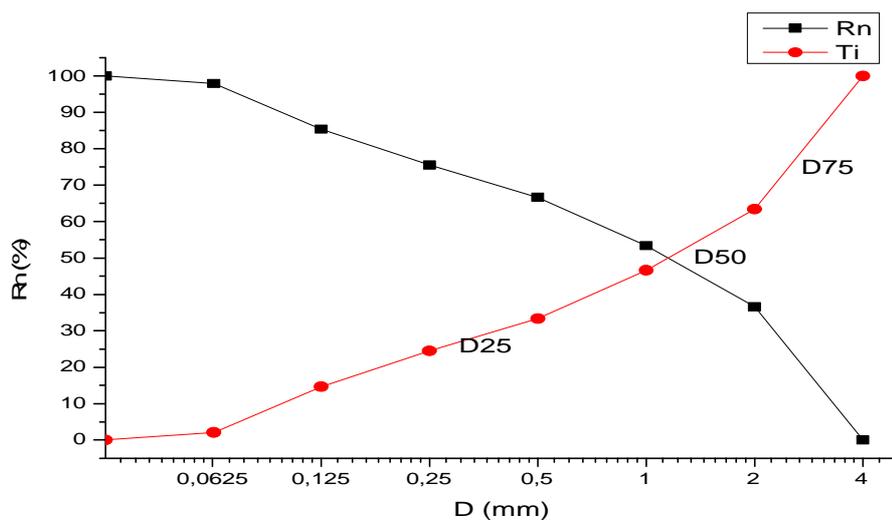


Figure IV.1-5 : distribution granulométrique de l'échantillon prélevé de la carrière n05

Les paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la carrière n05 seront présentés dans le tableau (IV.1-10)

Tableau IV.1-10 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la carrière n05

Coefficient et indice	Valeur	Commentaire
Cc	19,33	Granulométrie est variée ou encore étalée.
Cu	0,92	Mal graduée
δ	4,76	Le classement est mauvais
S0	0,32	Une faible dispersion
DFWØ	0,3745999	Variation faible
Ast	0,50	Distribution asymétrique avec une queue plus longue sur le côté droit
SkØ	0,07074205	Symétrique
skiØ	0,34128217	Très fine et irrégulier
K	2,07	platykurtique
KgØ	0,65426744	Très Platykurtique
P	0,33	Porosité modérer

- **Interprétation et discussion**

Comme la montre, l'analyse granulométrique (tableau IV.1-9, la figure IV.1-5) et les paramètres enregistrés dans le tableau (IV.1-10), nous constatons que la granulométrie de l'échantillon prélevé de la carrière n 05 est varié, étalée, mal graduée, très fine et irrégulier de porosité modéré.

Echantillon prélevé de la carrière n° 06 (la nouvelle zone d'extraction) :

Cordonné : 33°24'00''N 0°44'45''E

Masse : 1857.8

Dans le tableau (IV.1-11), on présentera les résultats des rendements, refus cumulés et des tamis cumulés.

Tableau IV.1-11 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques carrière n06

Ouvertures des tamis (mm)	Masse de refus Ri(g)	Masse des refus cumulés Rn (g)	Rendement des refus cumulés Rn %	Rendement des tamis cumulés Ti %
4	00,00	00,00	00,00	100,00
2	446,30	446,30	24,06	75,94
1	361,80	808,10	43,56	56,44
0,5	313,70	1121,80	60,47	39,53
0,25	287,40	1409,20	75,88	24,12
0,125	219,40	1628,60	87,71	12,28
0,063	207,80	1836,40	98,91	1,07
>0,063	18,80	1855,20	100,00	00,00
TOTAL	1855,20	/	/	/

La figure (Figure IV.1-6) présente la distribution granulométrique de l'échantillon étudié

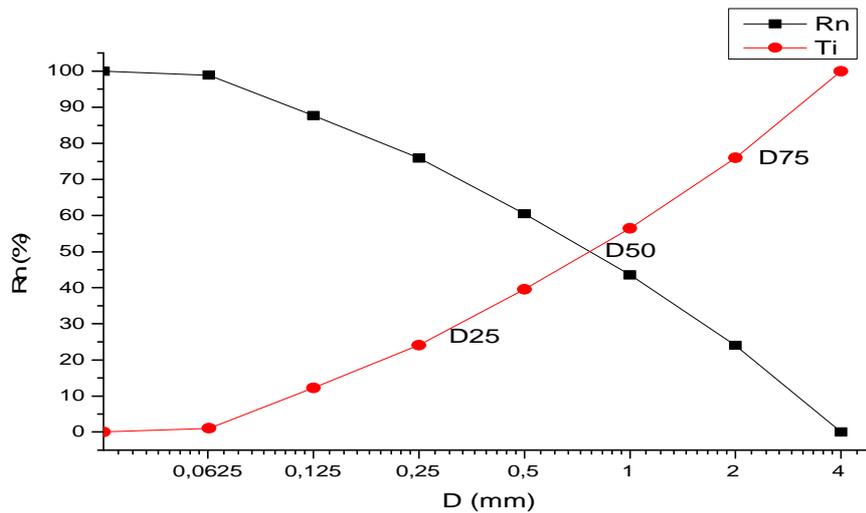


Figure IV.1-6 : distribution granulométrique de l'échantillon prélevé de la carrière n06

Les paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la carrière n06 seront présentés dans le tableau (IV.1-12)

Tableau IV.1-12 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la carrière n06

Coefficient et indice	Valeur	Commentaire
Cc	11,30	Granulométrie est variée ou encore étalée.
Cu	0,91	Mal graduée
δ	4,10	Le classement est mauvais
S0	0,37	Une faible dispersion

DFW\emptyset	0,33252412	Variation faible
Ast	0,87	Distribution asymétrique avec une queue plus longue sur le côté droit
Sk\emptyset	0,10084505	Symétrique
ski\emptyset	0,5414326	Très fine et irrégulier
K	1,55	leptokurtique
Kg\emptyset	0,82948856	Platykurtique
P	0,35	Porosité modéré

- **Interprétation et discussion**

Comme la montre, l'analyse granulométrique (tableau **IV.1-11**, la figure **IV.1-6**) et les paramètres enregistrés dans le tableau (**IV.1-12**), nous constatons que la granulométrie de l'échantillon prélevé de la carrière n 06 est varié, étalée, mal graduée, très fine et irrégulier de porosité modéré.

Echantillon prélevé du concasseur n° 01 :

Temps de prélèvement : 21 :00

Masse : 1824 (g)

Dans le tableau (**IV.1-13**), on présentera les résultats des rendements, refus cumulés et des tamis cumulés.

Tableau IV.1-13 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques concasseur n01

Ouvertures des tamis (mm)	Masse des refus Ri (g)	Masse des refus cumulés Rn (g)	Rendement des refus cumulés Rn %	Rendement des tamis cumulés Ti %
4	00,00	00,00	00,00	100,00
2	533,50	533,50	29,5	70,50
1	316,30	849,80	46,99	53,01
0,5	267,00	1116,80	61,75	38,25
0,25	456,90	1573,70	87,01	12,99
0,125	174,50	1748,20	96,66	3,34
0,063	56,60	1804,80	99,79	0,21
>0,063	03,80	1808,60	100,00	00,00
Total	1808,60	/	/	/

La figure (**III.1-7**) présente la distribution granulométrique de l'échantillon étudié

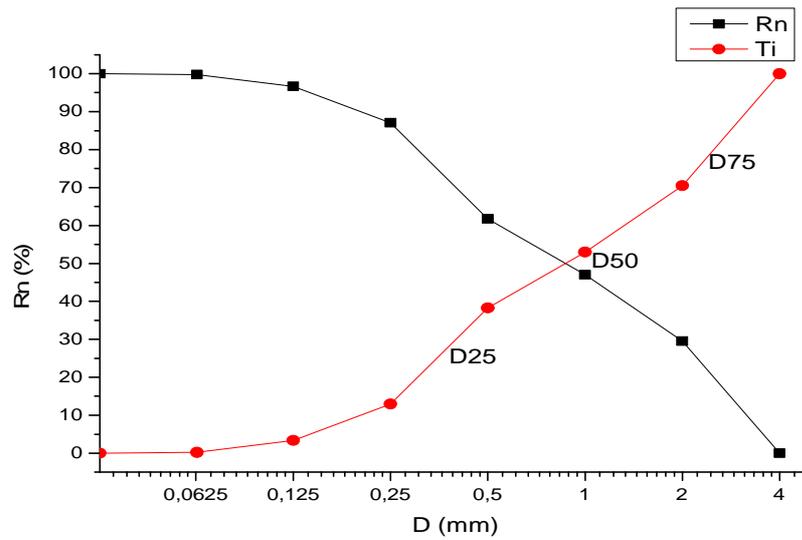


Figure IV.1-7 : distribution granulométrique de l'échantillon prélevé du concasseur n01

Les paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé du concasseur n01 seront présentés dans le tableau (IV.1-14)

Tableau IV.1-14 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la concasseur n01

Coefficient et indice	Valeur	Commentaire
Cc	6,55	Granulométrie est variée ou encore étalée.
Cu	0,58	Mal graduée
δ	3,19	Le classement est mauvais
S0	0,39	Une faible dispersion
DFWØ	0,34141819	Variation faible
Ast	1,02	Distribution asymétrique avec une queue plus longue sur le côté droit
SkØ	0,12492745	Symétrique
skiØ	0,54998991	Très fine et irrégulier
K	1,71	Très platykurtique

• **Interprétation et discussion**

Comme la montre, l'analyse granulométrique (tableau IV.1-13, la figure IV.1-7) et les paramètres enregistrés dans le tableau (IV.1-14), nous constatons que la granulométrie de

l'échantillon prélevé de la concasseur n 01 est varié, étalée, mal graduée, très fine et irrégulier de porosité modéré.

- **Echantillon prélevé du concasseur n° 02 :**

Temps de prélèvement : 01 :00

Masse : 1313,2 (g)

Dans le tableau (IV.1-15), on présentera les résultats des rendements, refus cumulés et des tamis cumulés.

Tableau IV.1-15 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques concasseur n 02

Ouvertures des tamis (mm)	Masse des refus Ri (g)	Masse des refus cumulés Rn (g)	Rendement des refus cumulés Rn %	Rendement des tamis cumulés Ti %
4	00,00	00,00	00,00	100,00
2	304,10	304,10	23,24	76,76
1	267,90	572,00	43,71	56,29
0,5	233,20	805,20	61,53	38,47
0,25	246,60	1051,80	80,37	19,63
0,125	178,70	1230,50	94,02	5,98
0,063	74,20	1304,70	99,69	0,31
>0,063	4,00	1308,70	100,00	00,00
Total	1308,7	/	/	/

La figure (Figure III.1-8) présente la distribution granulométrique de l'échantillon étudié

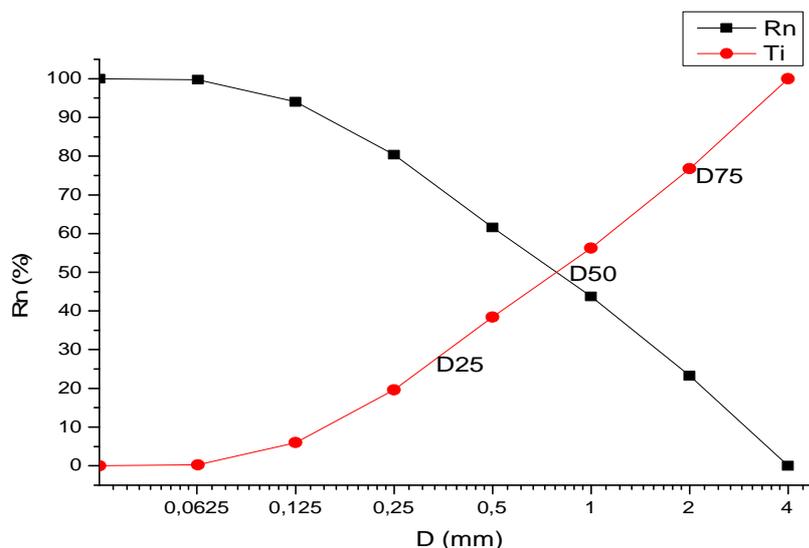


Figure IV.1-8 : distribution granulométrique de l'échantillon prélevé du concasseur n02

Les paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé du concasseur n02 seront présentés dans le tableau (IV.1-16)

Tableau IV.1-16 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la concasseur n02

Coefficient et indice	Valeur	Commentaire
Cc	7,53	Granulométrie est variée ou encore étalée.
Cu	0,76	Mal graduée
δ	3,52	Le classement est mauvais
S0	0,40	Une faible dispersion
DFWØ	0,32392652	Variation faible
Ast	0,93	Distribution asymétrique avec une queue plus longue sur le côté droit
SkØ	0,0933193	Symétrique
skiØ	0,54501523	Très fine et irrégulier
K	1,46	leptokurtique
KgØ	0,86636232	Platykurtique
P	0,35	Porosité modérer

- **Interprétation et discussion**

Comme la montre, l'analyse granulométrique (tableau **IV.1-15**, la figure **IV.1-8**) et les paramètres enregistrés dans le tableau (**IV.1-16**), nous constatons que la granulométrie de l'échantillon prélevé de la concasseur n 02 est varié, étalée, mal graduée, très fine et irrégulier de porosité modéré.

Echantillon prélevé de concasseur n° 03 :

Temps de prélèvement : 05 :00

Masse : 1498,1 (g)

Dans le tableau (**IV.1-17**), on présentera les résultats des rendements, refus cumulés et des tamis cumulés.

Tableau IV.1-17 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques concasseur n03

Ouvertures des tamis (mm)	Masse des refus Ri (g)	Masse des refus cumulés Rn (g)	Rendement des refus cumulés Rn %	Rendement des tamis cumulés Ti %
4	00,00	00,00	00,00	100,00
2	222,20	222,20	14,88	85,12
1	297,70	519,90	34,82	65,18
0,5	271,70	791,60	53,02	46,98
0,25	493,40	1285,00	86,07	13,93
0,125	152,60	1437,60	96,29	3,71
0,063	50,00	1487,60	99,63	0,37
>0,063	5,50	1493,10	100,00	00,00
Total	1493,10	/	/	/

(Figure III.1-9) présente la distribution granulométrique de l'échantillon étudié

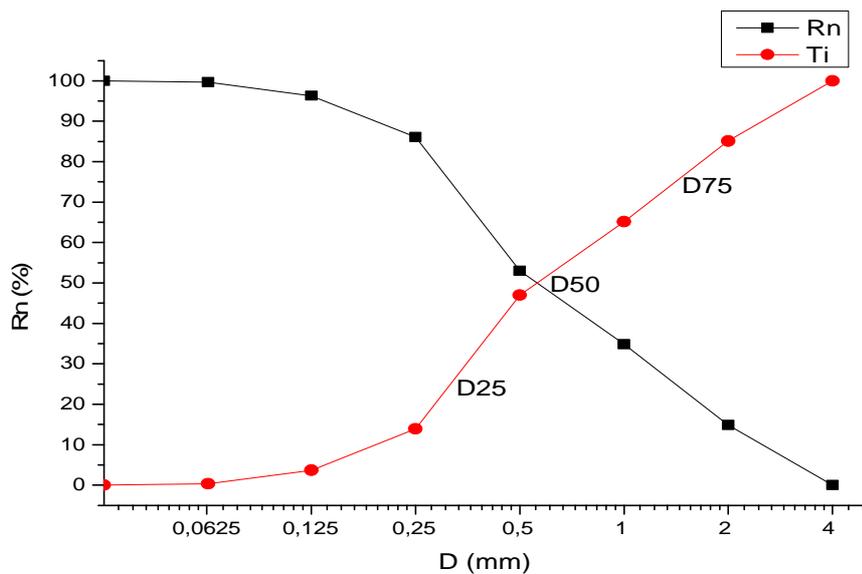


Figure IV.1-9 : distribution granulométrique de l'échantillon prélevé du concasseur n03

Les paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé du concasseur n03 seront présentés dans le tableau (IV.1-18)

Tableau IV.1-18 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la concasseur n03

Coefficient et indice	Valeur	Commentaire
Cc	4,32	Granulométrie est variée ou encore étalée.
Cu	0,74	Mal graduée

δ	2,72	Le classement est mauvais
S0	0,47	Une faible dispersion
DFWØ	0,26358369	Variation très faible
Ast	1,39	Distribution asymétrique avec une queue plus longue sur le côté droit
SkØ	0,090309	Symétrique
skiØ	0,67782974	Très fine et irrégulier
K	1,05	leptokurtique
KgØ	1,13263785	leptokurtique

- **Interprétation et discussion**

Comme la montre, l'analyse granulométrique (tableau **IV.1-17**, la figure **IV.1-9**) et les paramètres enregistrés dans le tableau (**IV.1-18**), nous constatons que la granulométrie de l'échantillon prélevé de la concasseur n 03 est varié, étalée, mal graduée, très fine et irrégulier de porosité modéré.

Echantillon prélevé de concasseur n° 04 :

Temps de prélèvement : 09 :00

Masse : 2080 (g)

Dans le tableau (**IV.1-19**), on présentera les résultats des rendements, refus cumulés et des tamis cumulés.

Tableau IV.1-19 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques concasseur n04

Ouvertures des tamis (mm)	Masse des refus Ri (g)	Masse des refus cumulés Rn (g)	Rendement des refus cumulés Rn %	Rendement des tamis cumulés Ti %
4	00,00	00,00	00,00	100,00
2	674,00	674,00	32,46	67,54
1	370,00	1044,00	50,28	49,72
0,5	258,40	1302,40	62,72	37,28
0,25	320,60	1623,00	78,16	21,84
0,125	312,40	1935,40	93,20	6,80
0,063	126,10	2061,50	99,27	0,73
>0,063	15,20	2076,70	100,00	00,00
Total	2076,70	/	/	/

(Figure III.1-10) présente la distribution granulométrique de l'échantillon étudié

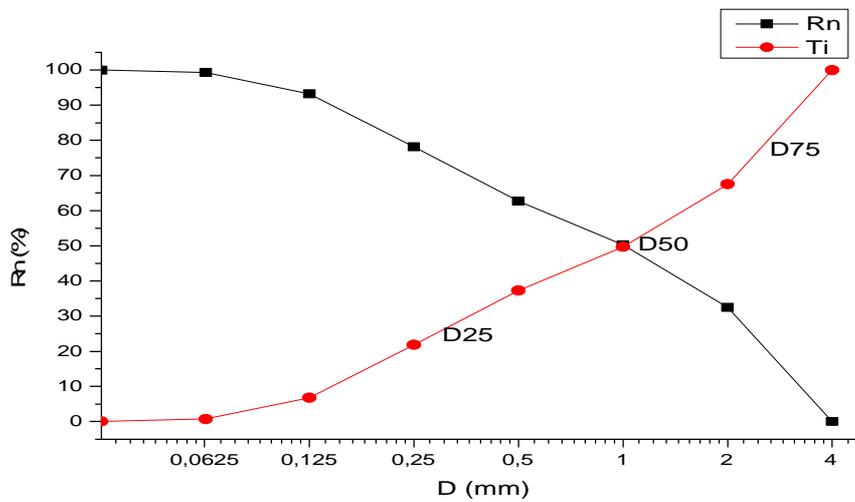


Figure IV.1-10 : distribution granulométrique de l'échantillon prélevé du concasseur n04

Les paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé du concasseur n06 seront présentés dans le tableau (IV.1-24)

Tableau IV.1-20 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la concasseur n04

Coefficient et indice	Valeur	Commentaire
Cc	10,64	Granulométrie est variée ou encore étalée.
Cu	0,62	Mal graduée
δ	3,87	Le classement est mauvais
S0	0,35	Une faible dispersion
DFWØ	0,35906949	Variation est relativement régulière
Ast	0,64	Distribution asymétrique avec une queue plus longue sur le côté droit
SkØ	0,090309	Symétrique
skiØ	0,43056604	Très fine et irrégulier
K	1,91	platykurtique
KgØ	0,69632341	Platykurtique

• **Interprétation et discussion**

Comme la montre, l'analyse granulométrique (tableau IV.1-19, la figure IV.1-10) et les paramètres enregistrés dans le tableau (IV.1-20), nous constatons que la granulométrie de l'échantillon prélevé de la concasseur n 04 est varié, étalée, mal graduée, très fine et irrégulier de porosité modéré.

Echantillon prélevé de concasseur n° 05 :

Temps de prélèvement : 13 :00

Masse : 2001,7 (g)

Dans le tableau (IV.1-21), on présentera les résultats des rendements, refus cumulés et des tamis cumulés.

Tableau IV.1-21 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques concasseur n05

Ouvertures des tamis (mm)	Masse des refus Ri (g)	Masse des refus cumulés Rn (g)	Rendement des refus cumulés Rn %	Rendement des tamis cumulés TI %
4	0	0	0	100
2	646,70	646,7	32,28	67,72
1	319,70	966,4	48,24	51,76
0,5	227,90	1194,3	59,61	40,39
0,25	389,50	1583,8	79,05	20,95
0,125	301,00	1884,8	94,07	5,93
0,063	107,50	1992,3	99,44	0,56
>0,063	11,30	2003,6	100	00
Total	2003,60	/	/	/

(Figure III.1-11) présente la distribution granulométrique de l'échantillon étudié

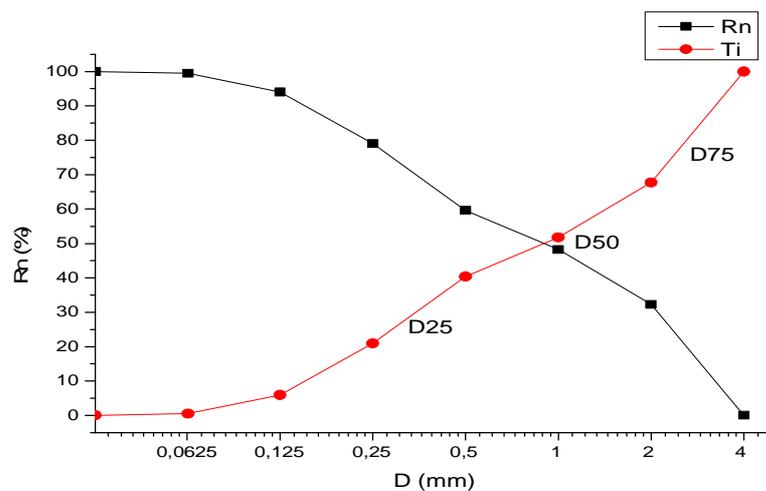


Figure IV.1-11 : distribution granulométrique de l'échantillon prélevé du concasseur n05

Les paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé du concasseur n05 seront présentés dans le tableau (IV.1-22)

Tableau IV.1-22 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la concasseur n05

Coefficient et indice	Valeur	Commentaire
Cc	9,47	Granulométrie est variée ou encore étalée.
Cu	0,54	Mal graduée
δ	3,86	Le classement est mauvais
S0	0,35	Une faible dispersion
DFWØ	0,35649249	Variation est relativement régulière
Ast	0,85	Distribution asymétrique avec une queue plus longue sur le côté droit
SkØ	0,12492745	Symétrique
skiØ	0,50941496	Très fine et irrégulier
K	1,87	platykurtique
KgØ	0,69853832	Platykurtique

- **Interprétation et discussion**

Comme la montre, l'analyse granulométrique (tableau IV.1-21, la figure IV.1-11) et les paramètres enregistrés dans le tableau (IV.1-22), nous constatons que la granulométrie de l'échantillon prélevé de la concasseur n 05 est varié, étalée, mal graduée, très fine et irrégulier de porosité modéré.

Echantillon prélevé du concasseur n° 06 :

Temps de prélèvement : 17 :00

Masse : 1860 (g)

Dans le tableau (IV.1-23), on présentera les résultats des rendements, refus cumulés et des tamis cumulés.

Tableau IV.1-23 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques concasseur n06

Ouvertures des tamis (mm)	Masse des refus Ri (g)	Masse des refus cumulés Rn (g)	Rendement des refus cumulés Rn %	Rendement des tamis cumulés Ti %

4	0	0	0	100
2	667,50	667,50	35,99	64,01
1	339,90	1007,40	54,32	45,68
0,5	285,90	1293,30	69,73	30,27
0,25	274,70	1568,00	84,54	15,46
0,125	209,80	1777,80	95,85	4,15
0,063	70,80	1848,60	99,67	0,33
>0,063	6,10	1854,70	100	00
Total	1854,70	/	/	/

(Figure III.1-12) présente la distribution granulométrique de l'échantillon étudié

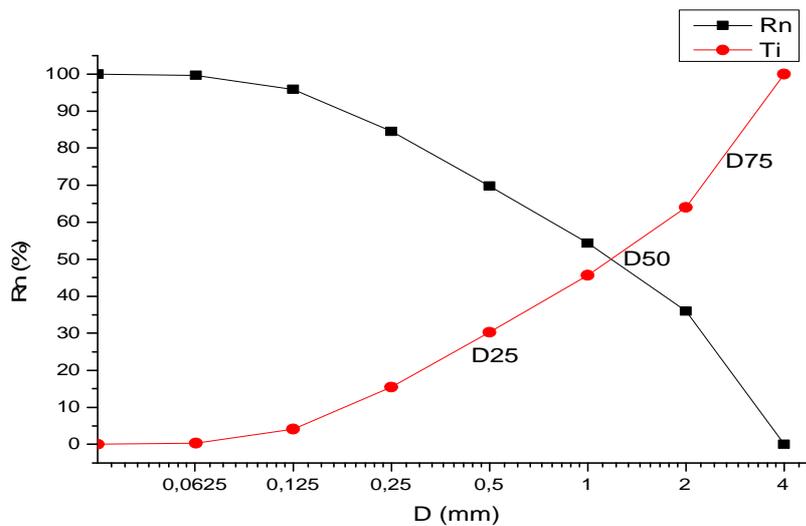


Figure IV.1-12 : distribution granulométrique de l'échantillon prélevé du concasseur n06

Les paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé du concasseur n06 seront présentés dans le tableau (IV.1-24)

Tableau IV.1-24 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la concasseur n06

Coefficient et indice	Valeur	Commentaire
Cc	10,18	Granulométrie est variée ou encore étalée.
Cu	0,82	Mal graduée
δ	3,43	Le classement est mauvais
S0	0,40	Une faible dispersion
DFWØ	0,36207979	Variation est relativement régulière
Ast	0,70	Distribution asymétrique avec une queue plus longue

		sur le côté droit
SkØ	0,0782678	Symétrique
skiØ	0,36084971	Très fine et irrégulier
K	1,86	platykurtique
KgØ	0,68962799	Platykurtique
P	0,33	Porosité modérer

- **Interprétation et discussion**

Comme la montre, l'analyse granulométrique (tableau **IV.1-23**, la figure **IV.1-12**) et les paramètres enregistrés dans le tableau (**IV.1-24**), nous constatons que la granulométrie de l'échantillon prélevé de la concasseur n 06 est varié, étalée, mal graduée, très fine et irrégulier de porosité modéré.

- **Echantillon prélevé de broyeur n° 01 :**

Temps de prélèvement : 21 :00

Masse : 1815 (g)

Dans le tableau (**IV.1-25**), on présentera les résultats des rendements, refus cumulés et des tamis cumulés.

Tableau IV.1-25 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques broyeur n01

Ouvertures des tamis (mm)	Masse des refus Ri (g)	Masse des refus cumulés Rn (g)	Rendement des refus cumulés Rn %	Rendement des tamis cumulés Ti %
4	0	0	0	100
2	1031,20	1031,20	57,10	42,90
1	331,90	1363,10	75,48	24,52
0,5	178,40	1541,50	85,36	14,64
0,25	128,50	1670,00	92,47	7,53
0,125	91,40	1761,40	97,51	2,49
0,063	36,80	1798,20	99,56	0,44
>0,063	7,80	1806,00	100	0
Total	1806,00	/	/	/

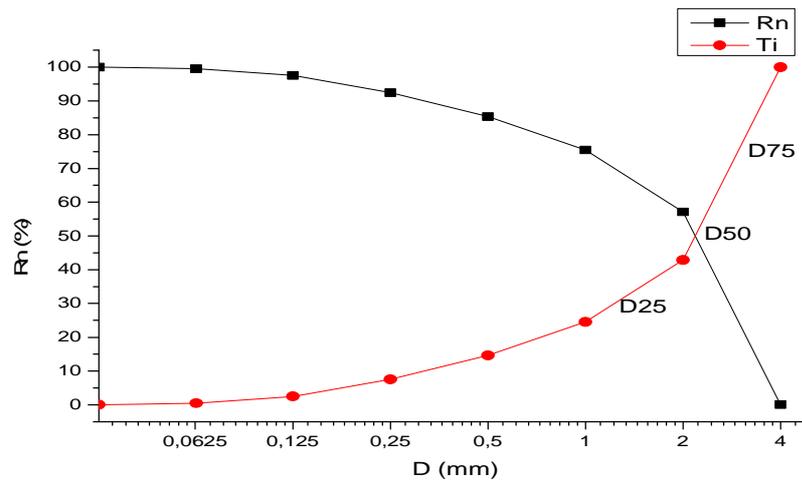


Figure IV.1-13 : distribution granulométrique de l'échantillon prélevé de la broyeur n01

Les paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la broyeur n01 seront présentés dans le tableau (IV.1-26)

Tableau IV.1-26 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la broyeur n 01

Coefficient et indice	Valeur	Commentaire
Cc	7,94	Granulométrie est variée ou encore étalée.
Cu	1,98	Bien graduée
δ	2,45	Le classement est mauvais
S0	0,59	Une faible dispersion
DFWØ	0,36994762	Variation est relativement régulière
Ast	0,63	Distribution asymétrique avec une queue plus longue sur le côté droit
SkØ	-0,060206	Symétrique
skiØ	-0,15477909	Grossier irrégulier
K	1,32	leptokurtique
KgØ	0,75840798	Platykurtique
P	0,31	Porosité modérer

• **Interprétation et discussion**

Comme la montre, l'analyse granulométrique (tableau IV.1-25, la figure IV.1-13) et les paramètres enregistrés dans le tableau (IV.1-26), nous constatons que la granulométrie de l'échantillon prélevé de la broyeur n 01 est varié, étalée, Bien graduée, Grossier irrégulier de porosité modéré.

Echantillon prélevé de broyeur n° 02 :

Temps de prélèvement : 01 :00

Masse : 1740(g)

Dans le tableau (IV.1-27), on présentera les résultats des rendements, refus cumulés et des tamis cumulés.

Tableau IV.1-27 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques broyeur n02

Ouvertures des tamis (mm)	Masse des refus Ri (g)	Masse des refus cumulés Rn (g)	Rendement des refus cumulés Rn %	Rendement des tamis cumulés Ti %
4	0	0	0	100
2	646,30	646,30	37,21	62,79
1	424,60	1070,90	61,66	38,34
0,5	266,10	1337,00	76,99	23,01
0,25	217,70	1554,70	89,52	10,48
0,125	138,10	1692,80	97,47	2,53
0,063	40,90	1733,70	99,83	0,17
>0,063	3,00	1736,70	100,00	0,00
Total	1736,70	/	/	/

(Figure III.1-14) présente la distribution granulométrique de l'échantillon étudié

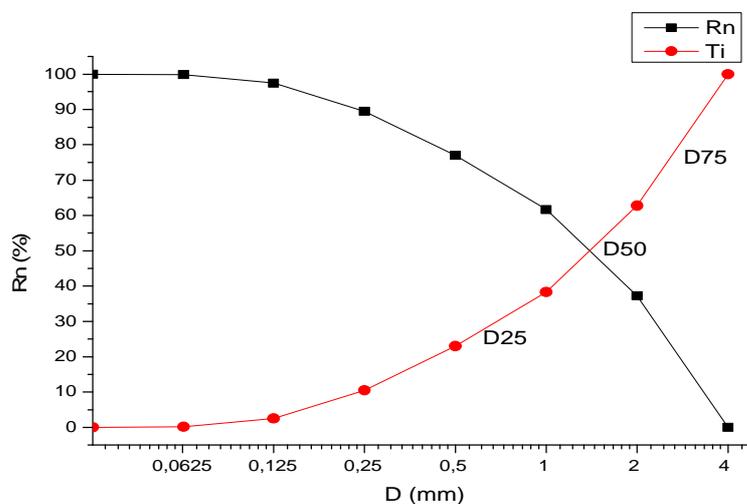


Figure IV.1-14 : distribution granulométrique de l'échantillon prélevé de la broyeur n02

Les paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la broyeur n02 seront présentés dans le tableau (IV.1-28)

Tableau IV.1-28 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la broyeur n02

Coefficient et indice	Valeur	Commentaire
Cc	7,71	Granulométrie est variée ou encore étalée.
Cu	1,10	Bien graduée
ø	3,00	Le classement est mauvais
S0	0,47	Une faible dispersion
DFWø	0,35786081	Variation est relativement régulière
Ast	0,71	Distribution asymétrique avec une queue plus longue sur le côté droit
Skø	0,04063905	Symétrique
skiø	0,24318399	Fine et irrégulier
K	1,65	leptokurtique
Kgø	0,73350147	Platykurtique
P	0,33	Porosité modérer

- **Interprétation et discussion**

Comme la montre, l'analyse granulométrique (tableau IV.1-27, la figure IV.1-27) et les paramètres enregistrés dans le tableau (IV.1-28), nous constatons que la granulométrie de l'échantillon prélevé de la broyeur n 02 est varié, étalée, Bien graduée, Fine et irrégulier de porosité modéré.

Echantillon prélevé de broyeur n° 03 :

Temps de prélèvement : 05 :00

Masse : 1973,7 (g)

Dans le tableau (IV.1-29), on présentera les résultats des rendements, refus cumulés et des tamis cumulés.

Tableau IV.1-29 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques broyeur n03

Ouvertures des tamis (mm)	Masse des refus Ri (g)	Masse des refus cumulés Rn (g)	Rendement des refus cumulés Rn %	Rendement des tamis cumulés Ti %
4	0	0	0	100
2	669,20	669,20	32,74	67,26
1	525,70	1194,90	58,46	41,54
0,5	290,60	1485,50	72,67	27,33
0,25	288,30	1773,80	86,78	13,22
0,125	200,80	1974,60	96,60	3,40
0,063	60,00	2034,60	99,54	0,46
>0,063	9,50	2044,10	100,00	0,00
Total	2044,10	/	/	/

(Figure III.1-15) présente la distribution granulométrique de l'échantillon étudié

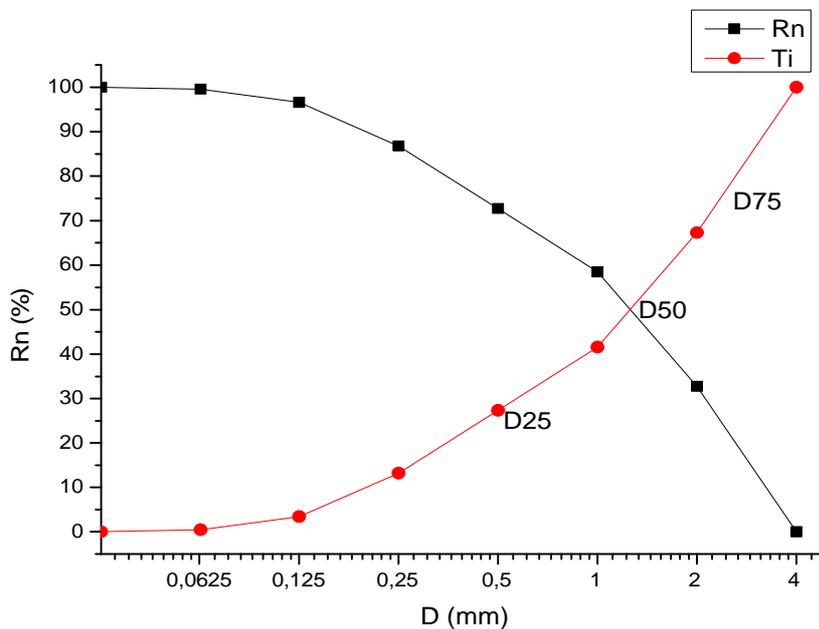


Figure IV.1-15 : distribution granulométrique de l'échantillon prélevé de la broyeur n03

Les paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la broyeur n03 seront présentés dans le tableau (IV.1-30)

Tableau IV.1-30 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la broyeur n03

Coefficient et indice	Valeur	Commentaire
Cc	8,20	Granulométrie est variée ou encore étalée.
Cu	0,99	Mal graduée
∂	3,18	Le classement est mauvais
S0	0,43	Une faible dispersion
DFW∅	0,3488071	Variation faible
Ast	0,66	Distribution asymétrique avec une queue plus longue sur le côté droit
Sk∅	0,04364935	Symétrique
ski∅	0,29693342	Fine et irrégulier
K	1,69	leptokurtique
Kg∅	0,73813407	Platykurtique
P	0,33	Porosité modérer

- **Interprétation et discussion**

Comme la montre, l'analyse granulométrique (tableau **IV.1-29** la figure **IV.1-29**) et les paramètres enregistrés dans le tableau (**IV.1-30**), nous constatons que la granulométrie de l'échantillon prélevé de la broyeur n 03 est varié, étalée, mal graduée, très fine et irrégulier de porosité modéré.

- **Echantillon prélevé de broyeur n° 04 :**

Temps de prélèvement : 09 :00

Masse : 2178(g)

Dans le tableau (**IV.1-31**), on présentera les résultats des rendements, refus cumulés et des tamis cumulés.

Tableau IV.1-31 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques broyeur n04

Ouvertures des tamis (mm)	Masse des refus Ri (g)	Masse des refus cumulés Rn (g)	Rendement des refus cumulés Rn %	Rendement des tamis cumulés Ti %
4	0	0	0	100
2	745,80	745,80	34,31	65,69

1	555,40	1301,20	59,86	40,14
0,5	306,70	1607,90	73,97	26,03
0,25	257,20	1865,10	85,80	14,20
0,125	213,60	2078,70	95,63	4,37
0,063	74,20	2152,90	99,04	0,96
>0,063	20,80	2173,70	100,00	0,00
Total	2173,7	/	/	/

(Figure IV.1-16) présente la distribution granulométrique de l'échantillon étudié

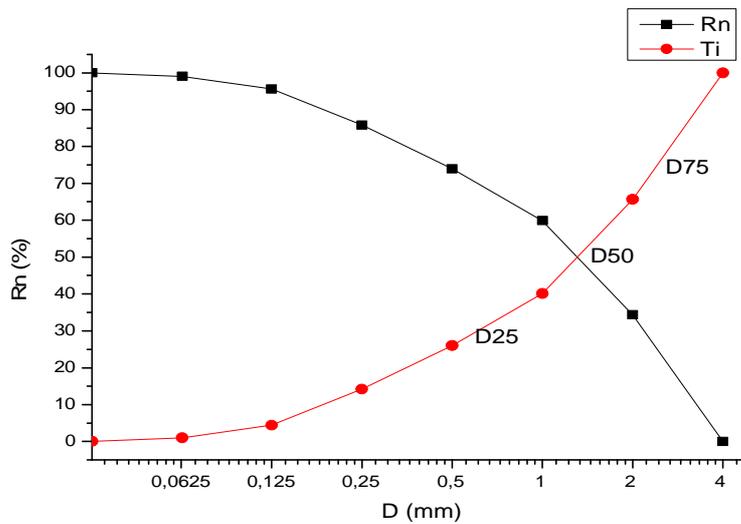


Figure IV.1-16 : distribution granulométrique de l'échantillon prélevé de la broyeur n0

Les paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la broyeur n04 seront présentés dans le tableau (IV.1-32)

Tableau IV.1-32 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la broyeur n04

Coefficient et indice	Valeur	Commentaire
Cc	9,50	Granulométrie est variée ou encore étalée.
Cu	1,17	Bien graduée
δ	3,27	Le classement est mauvais
S0	0,44	Une faible dispersion
DFWØ	0,35635566	Variation est relativement régulière
Ast	0,67	Distribution asymétrique avec une queue plus longue sur le côté droit

SkØ	0,04063905	Symétrique
skiØ	0,27162668	Fine et irrégulier
K	1,67	leptokurtique
KgØ	0,74110252	Platykurtique
P	0,33	Porosité modérer

- **Interprétation et discussion**

Comme la montre, l'analyse granulométrique (tableau **IV.1-31**, la figure **IV.1-31**) et les paramètres enregistrés dans le tableau (**IV.1-32**), nous constatons que la granulométrie de l'échantillon prélevé de la broyeur n 04 est varié, étalée, Bien graduée, fine et irrégulier de porosité modéré.

Echantillon prélevé de broyeur n° 05 :

Temps de prélèvement : 13 :00

Masse : 3190(g)

Dans le tableau (**IV.1-33**), on présentera les résultats des rendements, refus cumulés et des tamis cumulés.

Tableau IV.1-33 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques broyeur n05

Ouvertures des tamis (mm)	Masse des refus Ri (g)	Masse des refus cumulés Rn (g)	Rendement des refus cumulés Rn %	Rendement des tamis cumulés Ti %
4	0	0	0	100
2	993,60	993,60	31,18	68,82
1	767,20	1760,80	55,26	44,74
0,5	492,10	2252,90	70,71	29,29
0,25	450,90	2703,80	84,86	15,14
0,125	339,20	3043,00	95,51	4,49
0,063	116,80	3159,80	99,17	0,83
>0,063	26,40	3186,20	100,00	0,00
Total	3186,2	/	/	/

(Figure **III.1-17**) présente la distribution granulométrique de l'échantillon étudié

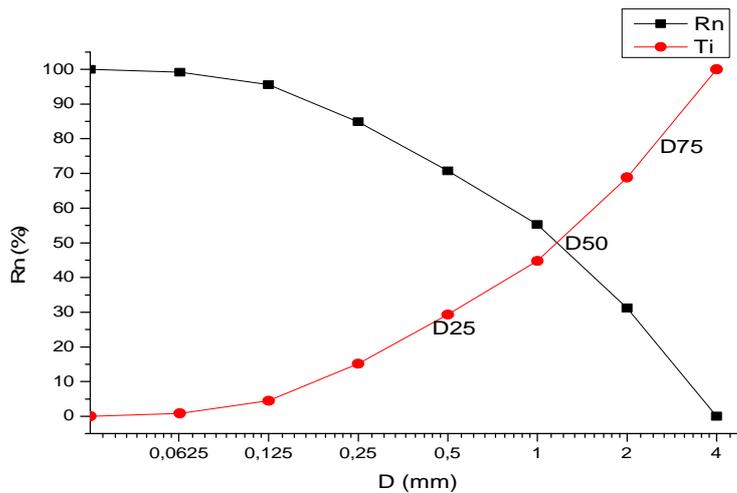


Figure IV.1-17 : distribution granulométrique de l'échantillon prélevé de la broyeur n05

Les paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la broyeur n05 seront présentés dans le tableau (IV.1-34)

Tableau IV.1-34 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la broyeur n05

Coefficient et indice	Valeur	Commentaire
Cc	9,12	Granulométrie est variée ou encore étalée.
Cu	0,99	Mal graduée
δ	3,28	Le classement est mauvais
S0	0,42	Une faible dispersion
DFWØ	0,34851064	Variation faible
Ast	0,68	Distribution asymétrique avec une queue plus longue sur le côté droit
SkØ	0,0571957	Symétrique
skiØ	0,34711857	Très fine et irrégulier
K	1,69	leptokurtique
KgØ	0,74417601	Platykurtique
P	0,33	Porosité modérer

• **Interprétation et discussion**

Comme la montre, l'analyse granulométrique (tableau IV.1-23, la figure IV.1-23) et les paramètres enregistrés dans le tableau (IV.1-24), nous constatons que la granulométrie de l'échantillon prélevé de la broyeur n 05 est varié, étalée, mal graduée, très fine et irrégulier de porosité modéré.

Echantillon prélevé de broyeur n° 06 :

Temps de prélèvement : 17 :00

Masse : 1825(g)

Dans le tableau (IV.1-35), on présentera les résultats des rendements, refus cumulés et des tamis cumulés.

Tableau IV.1-35 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques broyeur n06

Ouvertures des tamis (mm)	Masse des refus Ri (g)	Masse des refus cumulés Rn (g)	Rendement des refus cumulés Rn %	Rendement des tamis cumulés Ti %
4	0	0	0	100
2	843,00	843,00	46,26	53,74
1	315,50	1158,50	63,57	36,43
0,5	252,90	1411,40	77,45	22,55
0,25	195,70	1607,10	88,19	11,81
0,125	130,20	1737,30	95,34	4,66
0,063	72,90	1810,20	99,34	0,66
>0,063	12,10	1822,30	100,00	0,00
Total	1822,30	/	/	/

(Figure III.1-18) présente la distribution granulométrique de l'échantillon étudié

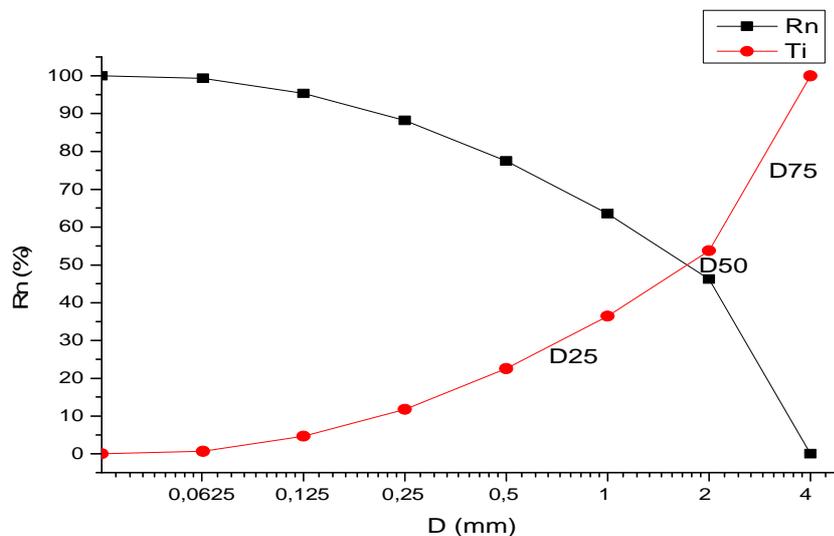


Figure IV.1-18 : distribution granulométrique de l'échantillon prélevé de la broyeur n06

Les paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la broyeur n06 seront présentés dans le tableau (IV.1-36)

Tableau IV.1-36 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la broyeur n06

Coefficient et indice	Valeur	Commentaire
Cc	10,95	Granulométrie est variée ou encore étalée.
Cu	1,18	Bien graduée
δ	3,13	Le classement est mauvais
S0	0,45	Une faible dispersion
DFWØ	0,37596822	Variation faible
Ast	0,52	Distribution asymétrique avec une queue plus longue sur le côté droit
SkØ	-0,01956695	Symétrique
skiØ	0,05786365	Symétrique
K	1,84	platykurtique
KgØ	0,67183172	Platykurtique
P	0,32	Porosité modérer

- **Interprétation et discussion**

Comme la montre, l'analyse granulométrique (tableau IV.1-35, la figure IV.1-18) et les paramètres enregistrés dans le tableau (IV.1-36), nous constatons que la granulométrie de l'échantillon prélevé de la broyeur n 06 06 est varié, étalée, Bien graduée, Symétrique de porosité modéré.

Echantillon prélevé de mélangeur n° 01 :

Temps de prélèvement : 21 :00

Masse : 1475(g)

Dans le tableau (IV.1-37), on présentera les résultats des rendements, refus cumulés et des tamis cumulés.

Tableau IV.1-37 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques mélangeur n01

Ouvertures des tamis (mm)	Masse des refus Ri (g)	Masse des refus cumulés Rn (g)	Rendement des refus cumulés Rn %	Rendement des tamis cumulés Ti %
4	0	0	0	100
2	410,90	410,90	27,98	72,02
1	245,40	656,30	44,69	55,31
0,5	200,50	856,80	58,34	41,66
0,25	216,00	1072,80	73,05	26,95
0,125	183,20	1256,00	85,52	14,48
0,063	156,20	1412,20	96,16	3,84
>0,063	56,50	1468,70	100	0,00
Total	1468,70	/	/	/

(Figure IV.1-19) présente la distribution granulométrique de l'échantillon étudié

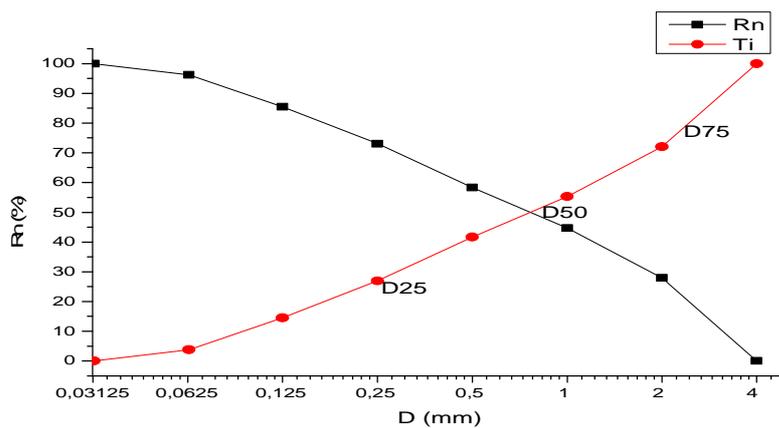


Figure IV.1-19 : distribution granulométrique de l'échantillon prélevé de mélangeur n01

Les paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de de mélangeur n01 seront présentés dans le tableau (IV.1-38)

Tableau IV.1-38 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la mélangeur n01

Coefficient et indice	Valeur	Commentaire
Cc	13,44	Granulométrie est variée ou encore étalée.
Cu	0,72	Mal graduée
δ	4,54	Le classement est mauvais
S0	0,28	Une faible dispersion

DFWØ	0,35017542	Variation est relativement régulière
Ast	1,05	Distribution asymétrique avec une queue plus longue sur le côté droit
SkØ	0,21824675	Symétrique
skiØ	0,55121207	Très fine et irrégulier
K	2,42	platykurtique
KgØ	0,56210717	Très Platykurtique
P	0,35	Porosité modérer

- **Interprétation et discussion**

Comme la montre, l'analyse granulométrique (tableau IV.1-39, la figure IV.1-19) et les paramètres enregistrés dans le tableau (IV.1-40), nous constatons que la granulométrie de l'échantillon prélevé mélangeur n 01 est varié, étalée, mal graduée, très fine et irrégulier de porosité modéré.

Echantillon prélevé de mélangeur n° 02 :

Temps de prélèvement : 01 :00

Masse : 1755(g)

Dans le tableau (IV.1-39), on présentera les résultats des rendements, refus cumulés et des tamis cumulés.

Tableau IV.1-39 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques mélangeur n02

Ouvertures des tamis (mm)	Masse des refus Ri (g)	Masse des refus cumulés Rn (g)	Rendement des refus cumulés Rn %	Rendement des tamis cumulés Ti %
4	0	0	0	100
2	1089,30	1089,30	62,20	37,80
1	251,10	1340,40	76,53	23,47
0,5	155,10	1495,50	85,39	14,61
0,25	106,0	1601,50	91,44	8,56
0,125	69,70	1671,20	95,42	4,58
0,063	43,10	1714,30	97,88	2,12
>0,063	37,10	1751,40	100,00	0,00
Total	1751,40	/	/	/

(Figure IV.1-20) présente la distribution granulométrique de l'échantillon étudié

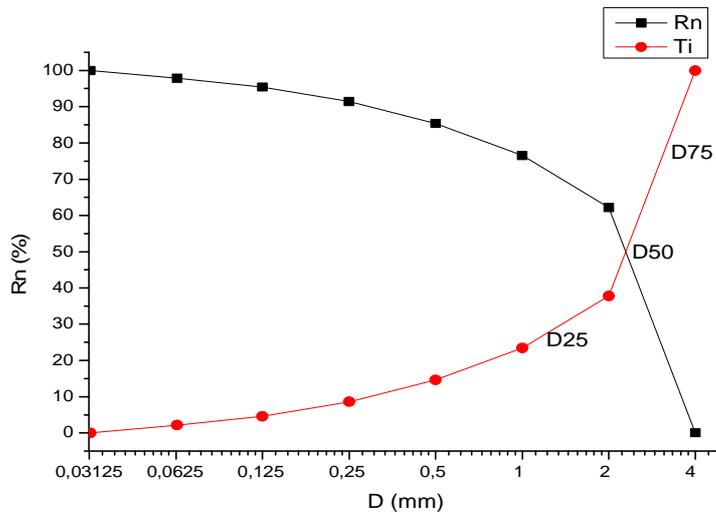


Figure IV.1-20 : distribution granulométrique de l'échantillon prélevé de mélangeur n02

Les paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de de mélangeur n02 seront présentés dans le tableau (IV.1-40)

Tableau IV.1-40 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la mélangeur n02

Coefficient et indice	Valeur	Commentaire
Cc	8,83	Granulométrie est variée ou encore étalée.
Cu	2,53	Bien graduée
δ	2,46	Le classement est mauvais
S0	0,60	Une faible dispersion
DFWØ	0,37599103	Variation faible
Ast	0,63	Distribution asymétrique avec une queue plus longue sur le côté droit
SkØ	-0,06773175	Symétrique
skiØ	-0,21073103	Grossier irrégulier
K	1,26	leptokurtique
KgØ	0,76502732	Platykurtique
P	0,31	Porosité modérer

• **Interprétation et discussion**

Comme la montre, l'analyse granulométrique (tableau IV.1-41, la figure IV.1-20) et les paramètres enregistrés dans le tableau (IV.1-42), nous constatons que la granulométrie de l'échantillon prélevé mélangeur n 02 est varié, étalée, Bien graduée, Grossier irrégulier de porosité modéré.

Echantillon prélevé de mélangeur n° 03 :

Temps de prélèvement : 05 :00

Masse : 1565(g)

Dans le tableau (IV.1-41), on présentera les résultats des rendements, refus cumulés et des tamis cumulés.

Tableau IV.1-41 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques mélangeur n 03

Ouvertures des tamis (mm)	Masse des refus Ri (g)	Masse des refus cumulés Rn (g)	Rendement des refus cumulés Rn %	Rendement des tamis cumulés Ti %
4	0	0	0	100
2	934,10	934,1	59,95	40,05
1	230,50	1164,6	74,74	25,26
0,5	145,10	1309,7	84,05	15,95
0,25	104,90	1414,6	90,78	9,22
0,125	72,20	1486,8	95,42	4,58
0,063	40,10	1526,9	97,99	2,01
>0,063	31,30	1558,2	100,00	0,00
Total	1558,20	/	/	/

(Figure IV.1-21) présente la distribution granulométrique de l'échantillon étudié

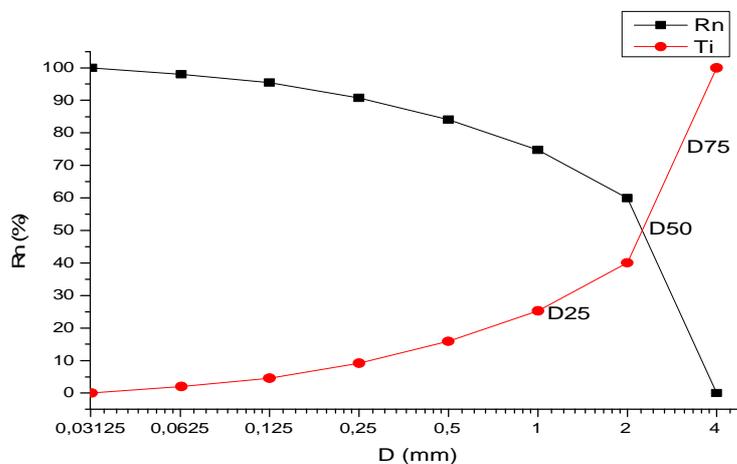


Figure IV.1-21 : distribution granulométrique de l'échantillon prélevé de mélangeur n 03

Les paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de de mélangeur n 03 seront présentés dans le tableau (IV.1-42)

Tableau IV.1-42 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la mélangeur n03

Coefficient et indice	Valeur	Commentaire
Cc	1,21	La granulométrie est uniforme ou encore serrée.
Cu	0,30	Mal graduée
δ	2,58	Le classement est mauvais
S0	0,57	Une faible dispersion
DFWØ	0,37824875	Variation faible
Ast	0,59	Distribution asymétrique avec une queue plus longue sur le côté droit
SkØ	-0,0752575	Symétrique
skiØ	-0,19669161	Grossier irrégulier
K	2,27	platykurtique
KgØ	0,73851647	Platykurtique
P	0,31	Porosité modérer

- **Interprétation et discussion**

Comme la montre, l'analyse granulométrique (tableau IV.1-43, la figure IV.1-21) et les paramètres enregistrés dans le tableau (IV.1-44), nous constatons que la granulométrie de l'échantillon prélevé du mélangeur est variée, étalée, mal graduée, Grossier irrégulier de porosité modéré.

Echantillon prélevé de mélangeur n° 04 :

Temps de prélèvement : 09 :00

Masse : 2198(g)

Dans le tableau (IV.1-43), on présentera les résultats des rendements, refus cumulés et des tamis cumulés.

Tableau IV.1-43 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques mélangeur n04

Ouvertures des tamis (mm)	Masse des refus Ri (g)	Masse des refus cumulés Rn (g)	Rendement des refus cumulés Rn %	Rendement des tamis cumulés Ti %
4	0	0	0	100

2	1587,90	1587,90	72,41	27,59
1	230,70	1818,60	82,93	17,07
0,5	146,70	1965,30	89,62	10,38
0,25	102,30	2067,60	94,29	5,71
0,125	56,80	2124,40	96,88	3,12
0,063	45,40	2169,80	98,95	1,05
>0,063	23,10	2192,90	100,00	0,00
Total	2192,90	/	/	/

(Figure IV.1-22) présente la distribution granulométrique de l'échantillon étudié

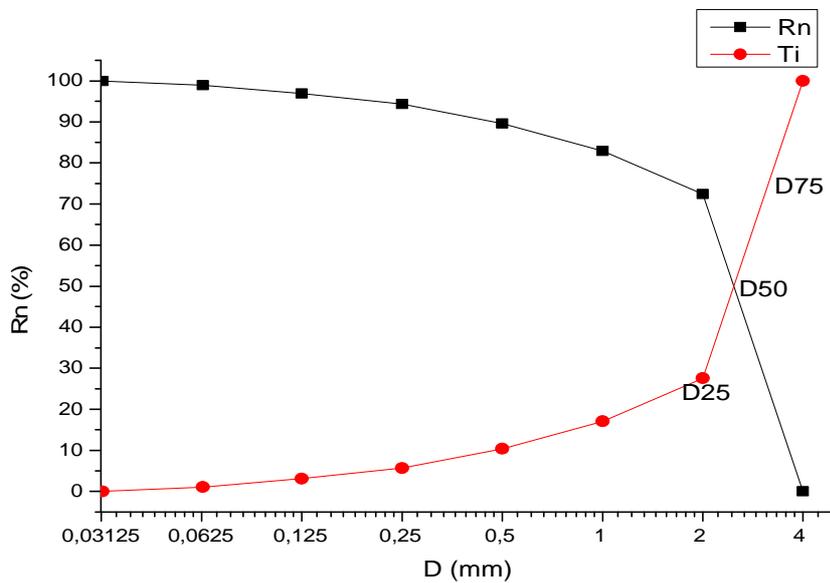


Figure IV.1-22 : distribution granulométrique de l'échantillon prélevé de mélangeur n04

Les paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de de mélangeur n04 seront présentés dans le tableau (IV.1-44)

Tableau IV.1-44 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la mélangeur n04

Coefficient et indice	Valeur	Commentaire
Cc	5,79	Granulométrie est variée ou encore étalée.
Cu	3,26	Mal graduée
δ	1,96	Le classement est mauvais
S0	0,73	Une faible dispersion
DFWØ	0,35580833	Variation est relativement régulière

Ast	0,86	Distribution asymétrique avec une queue plus longue sur le côté droit
SkØ	-0,0180618	Symétrique
skiØ	-0,25085611	Grossier irrégulier
K	0,49	mesokurtique
KgØ	1,01336178	mesokurtique
P	0,30	Porosité modéré

• **Interprétation et discussion**

Comme la montre, l'analyse granulométrique (tableau IV.1-43, la figure IV.1-22) et les paramètres enregistrés dans le tableau (IV.1-44), nous constatons que la granulométrie de l'échantillon prélevé de la mélangeur n 04 est varié, étalée, mal graduée, Grossier irrégulier de porosité modéré.

Echantillon prélevé de mélangeur n° 05 :

Temps de prélèvement : 13 :00

Masse : 1560(g)

Dans le tableau (IV.1-45), on présentera les résultats des rendements, refus cumulés et des tamis cumulés.

Tableau IV.1-45 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques mélangeur n 05

Ouvertures des tamis (mm)	Masse des refus Ri (g)	Masse des refus cumulés Rn (g)	Rendement des refus cumulés Rn %	Rendement des tamis cumulés Ti %
4	0	0	0	100
2	476,30	476,30	30,63	69,37
1	265,40	741,70	47,70	52,30
0,5	201,40	943,10	60,65	39,35
0,25	200,90	1144,00	73,57	26,43
0,125	193,30	1337,30	86,01	13,99
0,063	145,30	1482,60	95,35	4,65
>0,063	72,30	1554,90	100,00	0,00
Total	1554,90	/	/	/

(Figure IV.1-23) présente la distribution granulométrique de l'échantillon étudié

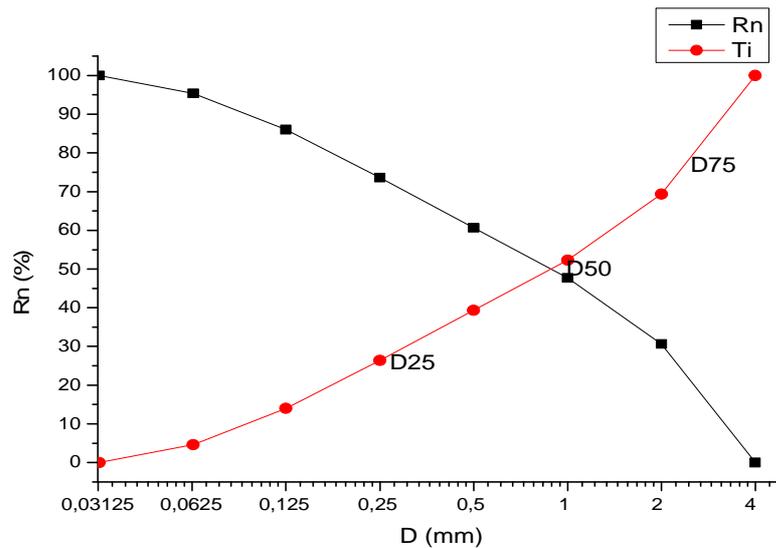


Figure IV.1-23 : distribution granulométrique de l'échantillon prélevé de mélangeur n05

Les paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de de mélangeur n05 seront présentés dans le tableau (IV.1-46)

Tableau IV.1-46 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la mélangeur n05

Coefficient et indice	Valeur	Commentaire
Cc	15,22	Granulométrie est variée ou encore étalée.
Cu	0,73	Mal graduée
δ	4,64	Le classement est mauvais
S0	0,31	Une faible dispersion
DFWØ	0,36148685	Variation est relativement régulière
Ast	0,65	Distribution asymétrique avec une queue plus longue sur le côté droit
SkØ	0,1113811	Symétrique
skiØ	0,48614658	Très fine et irrégulier
K	1,94	platykurtique
KgØ	0,7003024	Platykurtique
P	0,35	Porosité modérer

• **Interprétation et discussion**

Comme la montre, l'analyse granulométrique (tableau IV.1-45, la figure IV.1-23) et les paramètres enregistrés dans le tableau (IV.1-46), nous constatons que la granulométrie de l'échantillon prélevé de la mélangeur n05 est varié, étalée, mal graduée, très fine et irrégulier de porosité modéré.

Echantillon prélevé de mélangeur n° 06 :

Temps de prélèvement : 17 :00

Masse : 2100(g)

Dans le tableau (IV.1-47), on présentera les résultats des rendements, refus cumulés et des tamis cumulés.

Tableau IV.1-47 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques mélangeur n06

Ouvertures des tamis (mm)	Masse des refus Ri (g)	Masse des refus cumulés Rn (g)	Rendement des refus cumulés Rn %	Rendement des tamis cumulés Ti %
4	0	0	0	100
2	1462,10	1462,10	69,71	30,29
1	273,70	1735,80	82,76	17,24
0,5	144,60	1880,40	89,65	10,35
0,25	93,00	1973,40	94,09	5,91
0,125	61,10	2034,50	97,00	3,00
0,063	37,60	2072,10	98,79	1,21
>0,063	25,30	2097,40	100,00	0,00
Total	2097,40	/	/	/

(Figure IV.1-24) présente la distribution granulométrique de l'échantillon étudié

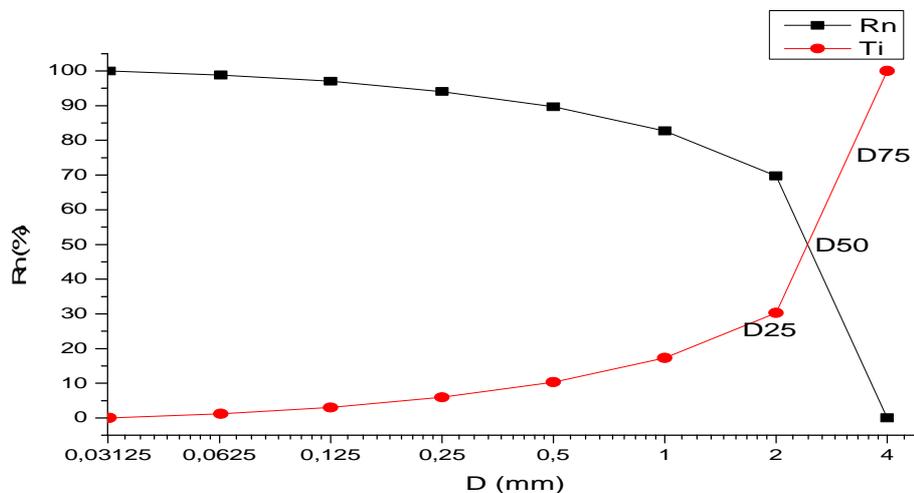


Figure IV.1-24 : distribution granulométrique de l'échantillon prélevé de mélangeur n06

Les paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de de mélangeur n06 seront présentés dans le tableau (IV.1-48)

Tableau IV.1-48 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la mélangeur n06

Coefficien et indice	Valeur	Commentaire
Cc	5,70	Granulométrie est variée ou encore étalée.
Cu	1,07	Bien graduée
ø	1,97	Le classement est mauvais
S0	0,70	Une faible dispersion
DFWø	0,35430318	Variation est relativement régulière
Ast	0,80	Distribution asymétrique avec une queue plus longue sur le côté droit
Skø	-0,03461845	Symétrique
skiø	-0,2328079	Grossier irrégulier
K	0,74	mesokurtique
Kgø	0,91894919	Mesokurtique
P	0,30	Porosité modérer

- **Interprétation et discussion**

Comme la montre, l'analyse granulométrique (tableau IV.1-47, la figure IV.1-24) et les paramètres enregistrés dans le tableau (IV.1-48), nous constatons que la granulométrie de l'échantillon prélevé de la mélangeur n06 est varié, étalée, Bien graduée, Grossier irrégulier de porosité modéré.

Echantillon prélevé de sable :

Masse : 1150 (g).

Dans le tableau (IV.1-49), on présentera les résultats des rendements, refus cumulés et des tamis cumulés.

Tableau IV.1-49 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques de sable

Ouvertures des tamis (mm)	Masse des refus Ri (g)	Masse des refus cumulés Rn (g)	Rendement des refus cumulés Rn %	Rendement des tamis cumulés Ti %
4	0	0	0	100

2	2,20	2,20	0,19	99,81
1	1,60	3,80	0,33	99,67
0,5	10,40	14,20	1,24	98,76
0,25	647,40	661,60	57,65	42,35
0,125	414,90	1076,50	93,80	6,20
0,063	66,10	1142,60	99,56	0,44
>0,063	5,00	1147,60	100,00	0,00
Total	1147,60	/	/	/

(Figure IV.1-25)) présente la distribution granulométrique de l'échantillon étudié

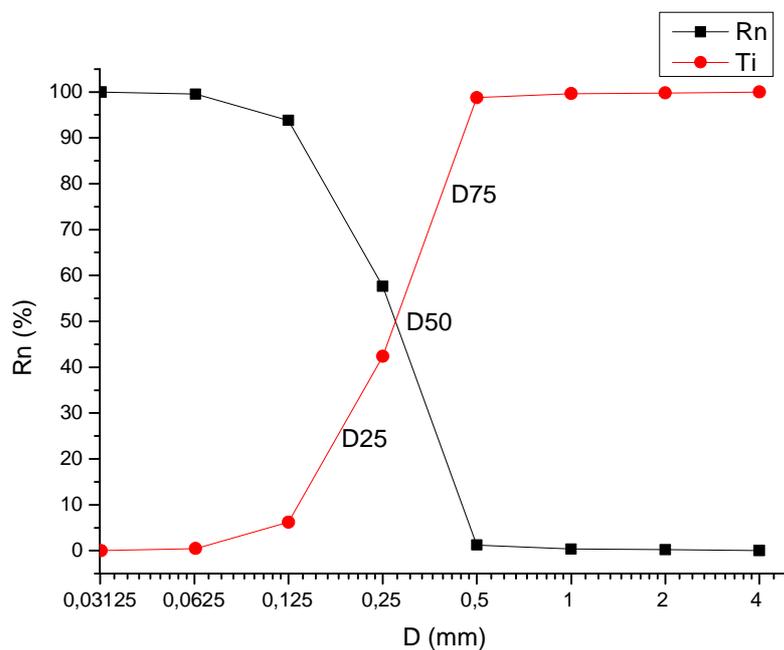


Figure IV.1-25 : distribution granulométrique de l'échantillon prélevé de sable

Les paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de sable seront présentés dans le tableau (IV.1-50)

Tableau IV.1-50 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de sable

Coefficient et indice	Valeur	Commentaire
Cc	2,31	La granulométrie est uniforme ou encore serrée.
Cu	0,93	Mal graduée
δ	1,65	Le classement est mauvais
S0	0,70	Une faible dispersion
DFWØ	0,03644287	Très faible variation

Ast	0,91	Distribution asymétrique avec une queue plus longue sur le côté droit
SkØ	0,00150515	Symétrique
skiØ	0,07900208	Symétrique
K	0,34	mesokurtique
KgØ	0,79810181	Platykurtique
P	0,41	Porosité élevé

- **Interprétation et discussion**

Comme la montre, l'analyse granulométrique (tableau **IV.1-49**, la figure **IV.1-25**) et les paramètres enregistrés dans le tableau (**IV.1-50**), nous constatons que la granulométrie de l'échantillon prélevé de sable est variée, étalée, mal graduée, Symétrique de porosité modéré.

Echantillon prélevé de laminoir :

Masse : 1690(g)

Dans le tableau (**IV.1-51**), on présentera les résultats des rendements, refus cumulés et des tamis cumulés.

Tableau IV.1-51 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques de laminoir

Ouvertures des tamis (mm)	Masse des refus Ri (g)	Masse des refus cumulés Rn (g)	Rendement des refus cumulés Rn %	Rendement des tamis cumulés Ti %
4	0	0	0	100
2	1230,30	1230,30	72,85	27,15
1	195,60	1425,90	84,43	15,57
0,5	107,50	1533,40	90,79	9,21
0,25	68,20	1601,60	94,83	5,17
0,125	44,40	1646,00	97,46	2,54
0,063	25,980	1671,98	99,00	1,00
>0,063	16,90	1688,88	100,00	0,00
Total	1688,88	/	/	/

(Figure **IV.1-26**) présente la distribution granulométrique de l'échantillon étudié

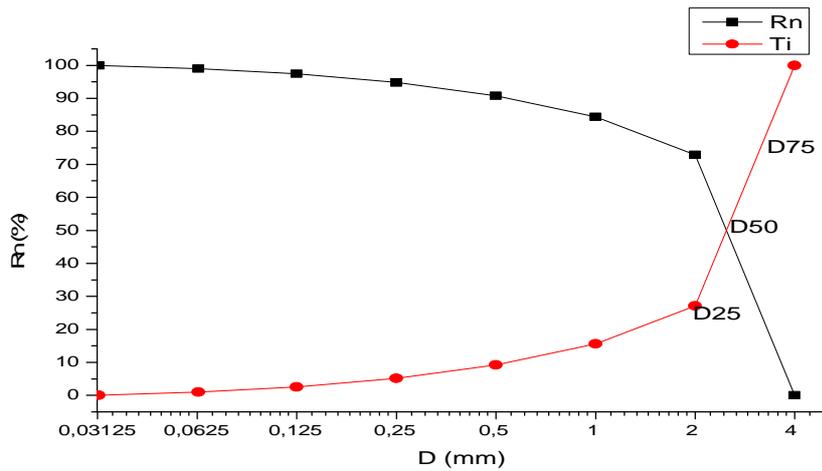


Figure IV.1-26 : distribution granulométrique de l'échantillon prélevé de laminoir

Les paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de de laminoir seront présentés dans le tableau (IV.1-52)

Tableau IV.1-52 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de laminoir

Coefficient et indice	Valeur	Commentaire
Cc	5,06	Granulométrie est variée ou encore étalée.
Cu	2,85	Bien graduée
$\hat{\sigma}$	1,84	Le classement est mauvais
S0	0,75	Une faible dispersion
DFWØ	0,34586522	Faible variation
Ast	0,91	Distribution asymétrique avec une queue plus longue sur le côté droit
SkØ	-0,0060206	Symétrique
skiØ	-0,23696448	Grossier irrégulier
K	0,42	mesokurtique
KgØ	1,06616774	Mesokurtique
P	0,30	Porosité modérer

• **Interprétation et discussion**

Comme la montre, l'analyse granulométrique (tableau IV.1-51, la figure IV.1-26) et les paramètres enregistrés dans le tableau (IV.1-52), nous constatons que la granulométrie de l'échantillon prélevé de laminoir est variée, étalée, Bien graduée, Grossier irrégulier de porosité modéré.

Echantillon prélevé de brique sortie de la mouleuse :

Masse : 3105(g)

Dans le tableau (IV.1-53), on présentera les résultats des rendements, refus cumulés et des tamis cumulés.

Tableau IV.1-53 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques de la mouleuse.

Ouvertures des tamis (mm)	Masse des refus Ri (g)	Masse des refus cumulés Rn (g)	Rendement des refus cumulés Rn %	Rendement des tamis cumulés Ti %
4	0	0	0	100
2	1525,70	1525,70	49,16	50,84
1	501,40	2027,10	65,31	34,69
0,5	364,10	865,50	77,04	22,96
0,25	266,10	630,20	85,62	14,38
0,125	196,10	462,20	91,94	8,06
0,063	167,80	363,90	97,34	2,66
>0,063	82,50	250,30	100,00	0,00
Total	3103,70	/	/	/

(Figure IV.1-27) présente la distribution granulométrique de l'échantillon étudié

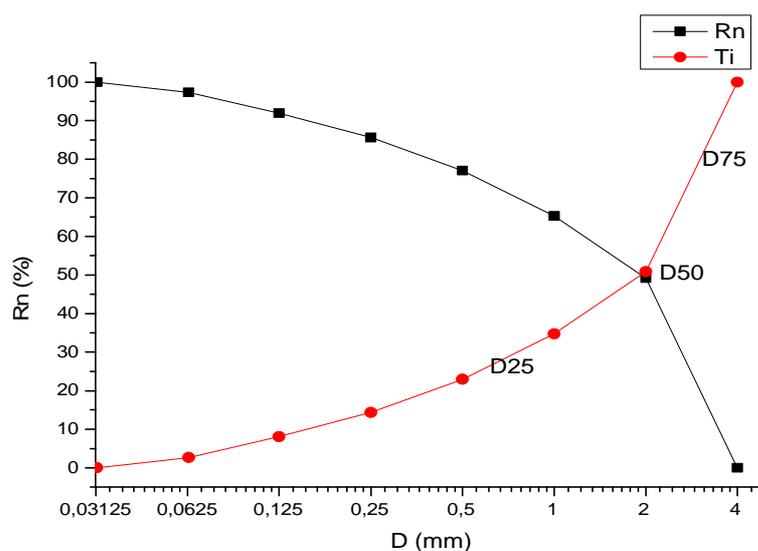


Figure IV.1-27 : distribution granulométrique de l'échantillon prélevé de la mouleuse

Les paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la mouleuse seront présentés dans le tableau (IV.1-54)

Tableau IV.1-54 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de la mouleuse.

Coefficient et indice	Valeur	Commentaire
Cc	15,20	Granulométrie est variée ou encore étalée.
Cu	1,69	Bien graduée
δ	3,38	Le classement est mauvais
S0	0,45	Une faible dispersion
DFWØ	0,38547803	Faible variation
Ast	0,42	Distribution asymétrique avec une queue plus longue sur le côté droit
SkØ	-0,0722472	Symétrique
skiØ	-0,07385962	Symétrique
K	1,89	platykurtique
KgØ	0,66190338	Très Platykurtique
P	0,31	Porosité modérer

- **Interprétation et discussion**

Comme la montre, l'analyse granulométrique (tableau IV.1-53, la figure IV.1-27) et les paramètres enregistrés dans le tableau (IV.1-54), nous constatons que la granulométrie de l'échantillon prélevé de la mouleuse est variée, étalée, Bien graduée, Symétrique de porosité modéré.

Echantillon prélevé de brique sortie séchoir :

Masse : 3210 (g).

Dans le tableau (IV.1-55), on présentera les résultats des rendements, refus cumulés et des tamis cumulés.

Tableau IV.1-55 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques sortie séchoir.

Ouvertures des tamis (mm)	Masse des refus Ri (g)	Masse des refus cumulés Rn (g)	Rendement des refus cumulés Rn %	Rendement des tamis cumulés Ti %
4	0	0	0	100
2	2026,10	2026,10	63,19	36,81
1	475,20	2501,30	78,01	21,99
0,5	298,90	2800,20	87,33	12,67
0,25	192,80	2993,00	93,35	6,65
0,125	110,50	3103,50	96,79	3,21
0,063	60,40	3163,90	98,68	1,32
>0,063	42,40	3206,30	100,00	0,00
Total	3206,30	/	/	/

(Figure IV.1-28) présente la distribution granulométrique de l'échantillon étudié

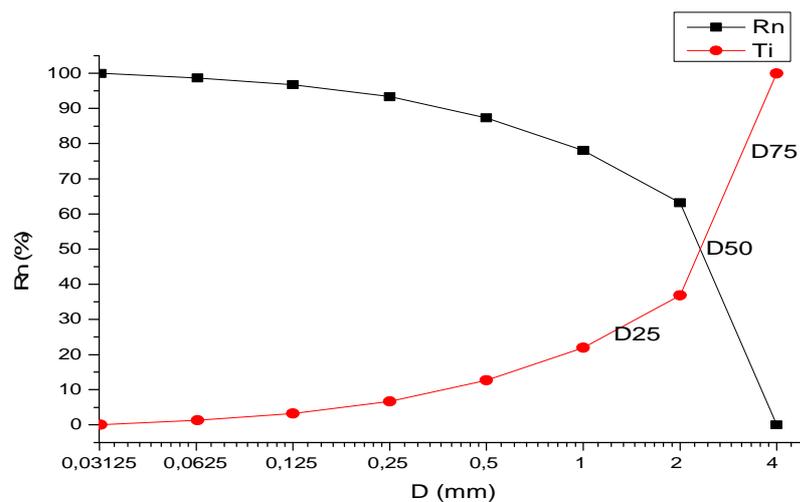


Figure IV.1-28 : distribution granulométrique de l'échantillon prélevé de sortie séchoir

Les paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de sortie séchoir seront présentés dans le tableau (IV.1-56)

Tableau IV.1-56 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé sortie séchoir.

Coefficient et indice	Valeur	Commentaire
Cc	6,97	Granulométrie est variée ou encore étalée.
Cu	2,20	Bien graduée

δ	2,27	Le classement est mauvais
S0	0,62	Une faible dispersion
DFWØ	0,368146	Variation est relativement régulière
Ast	0,66	Distribution asymétrique avec une queue plus longue sur le côté droit
SkØ	-0,06472145	Symétrique
skiØ	-0,20421279	Grossier irrégulier
K	1,19	leptokurtique
KgØ	0,78064012	Platykurtique
P	0,31	Porosité modéré

- **Interprétation et discussion**

Comme la montre, l'analyse granulométrique (tableau **IV.1-55**, la figure **IV.1-28**) et les paramètres enregistrés dans le tableau (**IV.1-56**), nous constatons que la granulométrie de l'échantillon prélevé sortie séchoir est varié, étalée, Bien graduée, Grossier irrégulier de porosité modéré.

Echantillon prélevé de brique sortie four

Masse : 1670 (g).

Dans le tableau (**IV.1-57**) on présentera les résultats des rendements, refus cumulés et des tamis cumulés.

Tableau IV.1-57 : calcul des proportions massique en vue de la réalisation des courbes granulométriques sortie four.

Ouvertures des tamis (mm)	Masse des refus Ri (g)	Masse des refus cumulés Rn (g)	Rendement des refus cumulés Rn %	Rendement des tamis cumulés Ti %
4	0	0	0	100
2	1032,10	1032,10	62,32	37,68
1	241,80	1273,90	76,93	23,07
0,5	142,50	1416,40	85,53	14,47
0,25	93,60	1510,00	91,18	8,82

0,125	73,70	1583,70	95,63	4,37
0,063	49,90	1633,60	98,65	1,35
>0,063	22,40	1656,00	100,00	0,00
Total	1656,00	/	/	/

(Figure IV.1-28) présente la distribution granulométrique de l'échantillon étudié

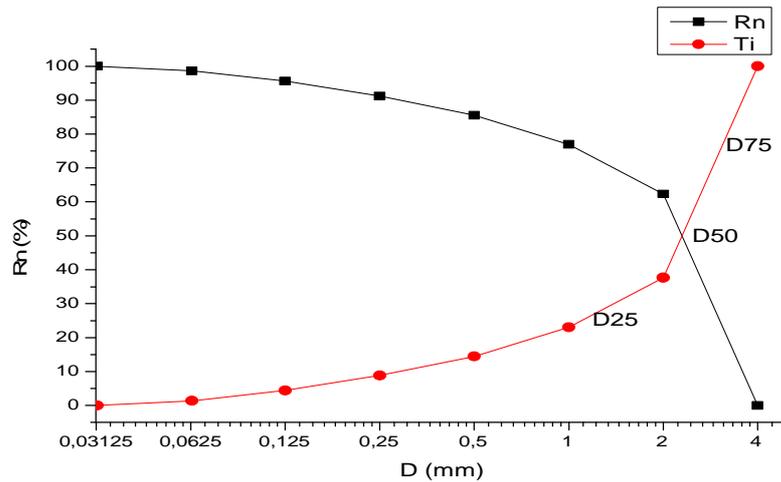


Figure IV.1-29 : distribution granulométrique de l'échantillon prélevé de sortie four

Les paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé de sortie four seront présentés dans le tableau (IV.1-58)

Tableau IV.1-58 : Paramètres granulométriques de l'échantillon prélevé sortie four

Coefficient et indice	Valeur	Commentaire
Cc	8,83	Granulométrie est variée ou encore étalée.
Cu	2,60	Bien graduée
δ	2,42	Le classement est mauvais
S0	0,60	Une faible dispersion
DFWØ	0,37569456	Faible variation
Ast	0,63	Distribution asymétrique avec une queue plus longue sur le côté droit
SkØ	-0,07074205	Symétrique
skiØ	-0,21048586	Grossier irrégulier
K	1,23	leptokurtique

KgØ	0,77507857	Platykurtique
P	0,31	Porosité modérer

- **Interprétation et discussion**

Comme la montre, l'analyse granulométrique (tableau **IV.1-57**, la figure **IV.1-29**) et les paramètres enregistrés dans le tableau (**IV.1-58**), nous constatons que la granulométrie de l'échantillon prélevé de sortie four est varié, étalée, Bien graduée, Grossier irrégulier de porosité modéré.

Conclusion

L'étude granulométrique de l'argile, et produit de brique révèle une distribution homogène des paramètres granulométriques déterminés, excepté quelques hétérogénéités de faible intensité sont enregistrés dans certains paramètres d'un échantillon à l'autre.

Ces différences n'influent guère sur l'état global de la matière utilisé pour l'attribuer à la fabrication de brique.

IV.2 Analyse en bleu de méthylène :

L'essai de bleu de méthylène détermine la nature des échantillons étudié. Les résultats de l'analyse en bleu de méthylène sont donnés dans le tableau (**IV.2-1** et l'histogramme (**IV.2-1**) suivant :

Tableau IV.2-1 : Les résultats de l'analyse en bleu de méthylène

Echantillons	Le volume de solution de bleu de méthylène absorbé (ml)	vbs	Commentaire
Carrière n° 01	165	5,50	Sols limono-argileux, (sol de plasticité moyenne).
Carrière n° 02	140	4,66	Sols limono-argileux, (sol de plasticité moyenne).
Carrière n° 03	150	5	Sols limono-argileux, (sol de plasticité moyenne).
Carrière n° 04	155	5,16	Sols limono-argileux, (sol de plasticité moyenne).
Carrière n° 05	110	3,66	Sols limono-argileux, (sol de plasticité

			moyenne).
Carrière n° 06	170	5,66	Sols limono-argileux, (sol de plasticité moyenne).
Echantillon représentatif de concasseur	150	5	Sols limono-argileux, (sol de plasticité moyenne).
Echantillon représentatif de broyeur	150	5	Sols limono-argileux, (sol de plasticité moyenne).
Echantillon représentatif de mélangeur	164	5,46	Sols limono-argileux, (sol de plasticité moyenne).
Echantillon de sable	70	2,33	Sols limoneux (sol peu plastique et sensible à l'eau).
Echantillon de laminoir	154	5,13	Sols limono-argileux, (sol de plasticité moyenne).
Echantillon de brique sortie mouleuse	145	4,83	Sols limono-argileux, (sol de plasticité moyenne).
Echantillon de brique sortie séchoir	187	6,23	Sols argileux
Echantillon de brique sortie four	65	2,16	Sols limoneux (sol peu plastique et sensible à l'eau).

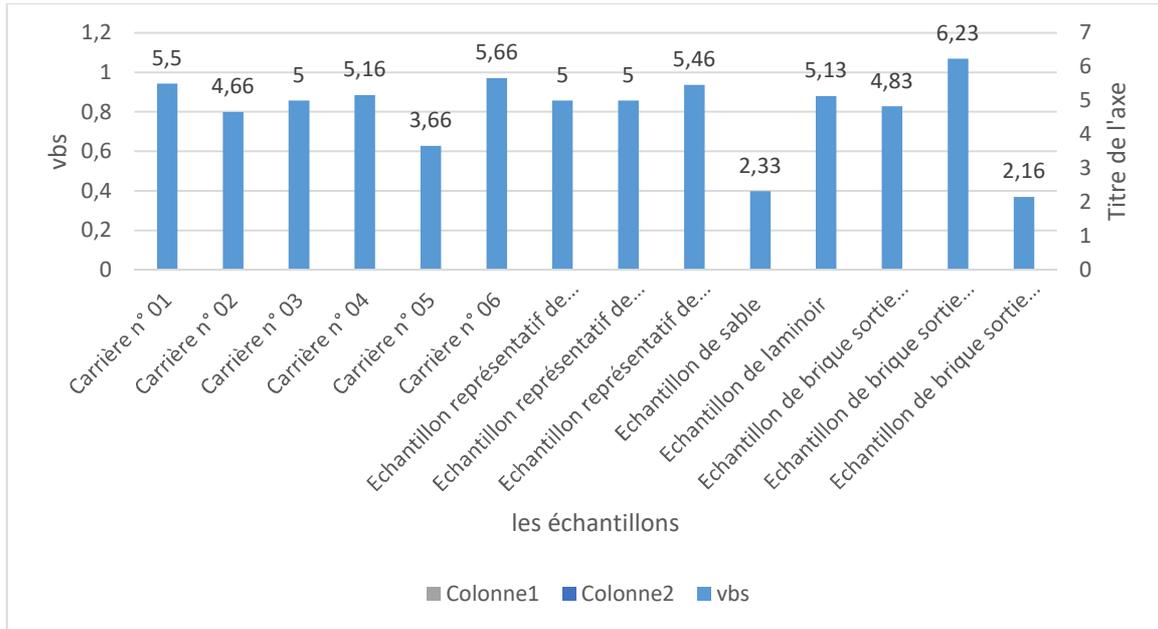


Figure IV.2-1 : histogramme des résultats de bleu de méthylène

Interprétation :

D’après les résultats obtenus de test bleu de méthylène, le sol utilisé par la briqueterie « Sarl Ksal » est une argile limono-argileux.

IV.3 Résultats d’Analyse d’humidité :

L’essai d’humidité permet de savoir la teneur en eau existantes dans les différents échantillons qu’on a étudié. Les résultats de l’analyse d’humidité sont donnés dans le tableau (Tableau IV.3-1) et l’histogramme (Figure IV.3-1) suivant :

Tableau IV.3-1 : résultats d’analyse d’humidité

Echantillon	Masse avant séchage (g)	Masse après séchage (g)	H (%)	Commentaire
Carrière n° 01	100	95,460	4,54	Faible humidité
Carrière n° 02	100	94,745	5,255	Faible humidité
Carrière n° 03	100	98,445	1,555	Faible humidité
Carrière n° 04	100	96,615	3,385	Faible humidité
Carrière n° 05	100	99,850	0,15	Très Faible humidité
Carrière n° 06	100	98,751	1,249	Faible humidité
3Echantillon représentatif de concasseur	100	96,420	3,58	Faible humidité
Echantillon	100	90,920	9,08	Un peu

représentatif de broyeur				Faible humidité
Echantillon représentatif de mélangeur	100	95,756	4,244	Faible humidité
Echantillon de sable	100	99,817	0,183	Très Faible humidité
Echantillon de laminoir	100	98,015	1,985	Faible humidité
Echantillon de brique sortie mouleuse	100	64,457	35,543	Très fort humidité
Echantillon de brique sortie séchoir	100	96,576	3,425	Faible humidité
Echantillon de brique sortie four	100	99,323	0,677	Très Faible humidité

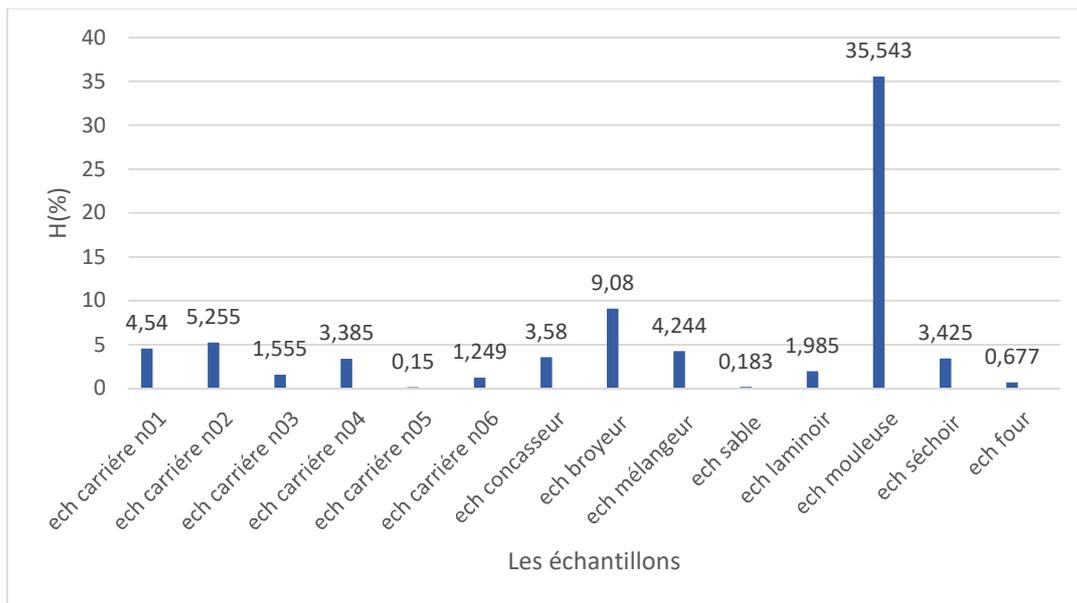


Figure IV.3-1 : histogramme d'analyse d'humidité

Interprétation

Les échantillons étudiés représentent un faible pourcentage d'humidité sauf l'échantillon de brique sortie mouleuse qui a un pourcentage très élevé qui dépasse les 35%, dû à l'étape de préparation (sortie mouleuse).

IV.4 Résultats d'Analyse de conductivité électrique :

Les résultats de l'analyse de conductivité électrique sont donnés dans le tableau (IV.4-1) et l'histogramme (IV.4-1)

Tableau IV.4-1 : résultats de test de conductivité

LES Échantillons	Conductivité en (µS/cm)
Carrière n° 01	173
Carrière n° 02	174
Carrière n° 03	281
Carrière n° 04	163
Carrière n° 05	82,5
Carrière n° 06	158
Echantillon représentatif de concasseur	128
Echantillon représentatif de broyeur	160
Echantillon représentatif de mélangeur	148
Echantillon de sable	119
Echantillon de laminoir	186,8
Echantillon de brique sortie mouleuse	205
Echantillon de brique sortie séchoir	275
Echantillon de brique sortie four	155

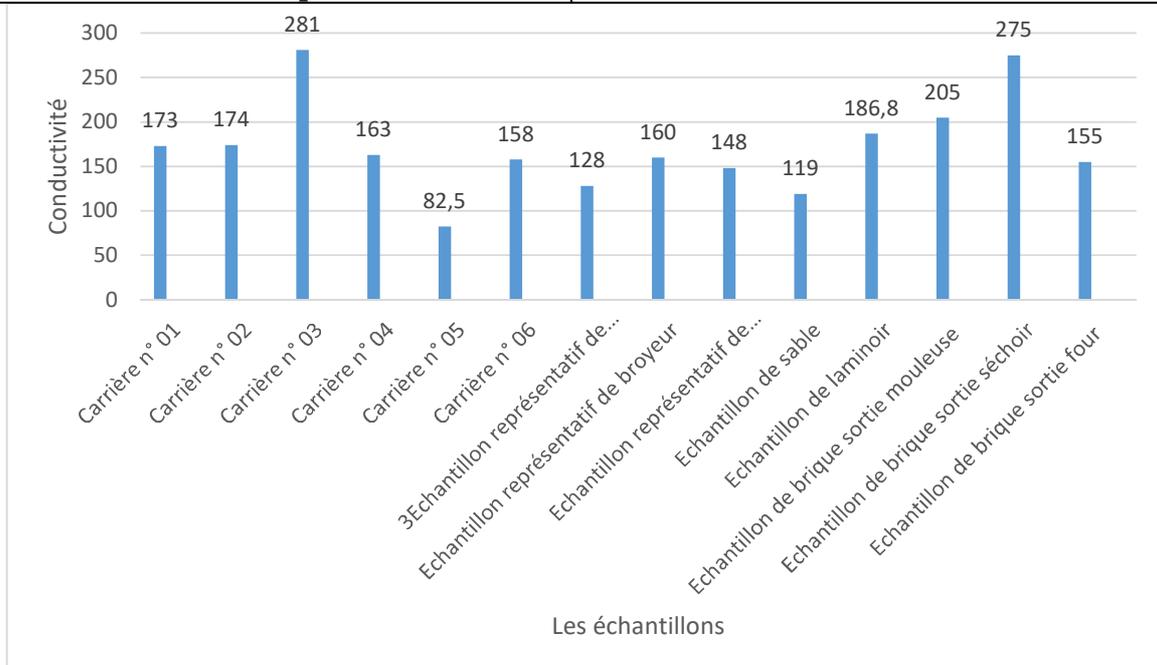


Figure IV.4-1 : histogramme résultats de conductivité

Interprétation :

Selon l'échelle de Durand J.H (1983), la valeur obtenue respecte les normes et indique que les échantillons étudiés ne représentent aucune salinité et leurs effets sur le rendement est négligeable, **norme ISO-11265-1994.**

IV.5 Résultats d'analyse de pH

Les résultats d'analyse de pH H₂O et pH KCl nous permettent de savoir la solubilité et la toxicité des échantillons étudiés, les résultats obtenus des tests sont donnés respectivement dans les tableaux (IV.5-1) et (IV.6-1) et les histogrammes (IV.5-1) et (IV.6-1)

Résultats d'analyse pH H₂O

Présentation des résultats de test pH H₂O

Tableau IV.5-1 : résultats obtenus de test pH

Les échantillons	pH H ₂ O
Carrière n° 01	8,96
Carrière n° 02	8,77
Carrière n° 03	8,60
Carrière n° 04	8,60
Carrière n° 05	8,51
Carrière n° 06	8,67
Echantillon représentatif de concasseur	8,55
Echantillon représentatif de broyeur	8,53
Echantillon représentatif de mélangeur	8,40
Echantillon de sable	8,01
Echantillon de laminoir	7,01
Echantillon de brique sortie mouleuse	7,92
Echantillon de brique sortie séchoir	8,12
Echantillon de brique sortie four	10,8

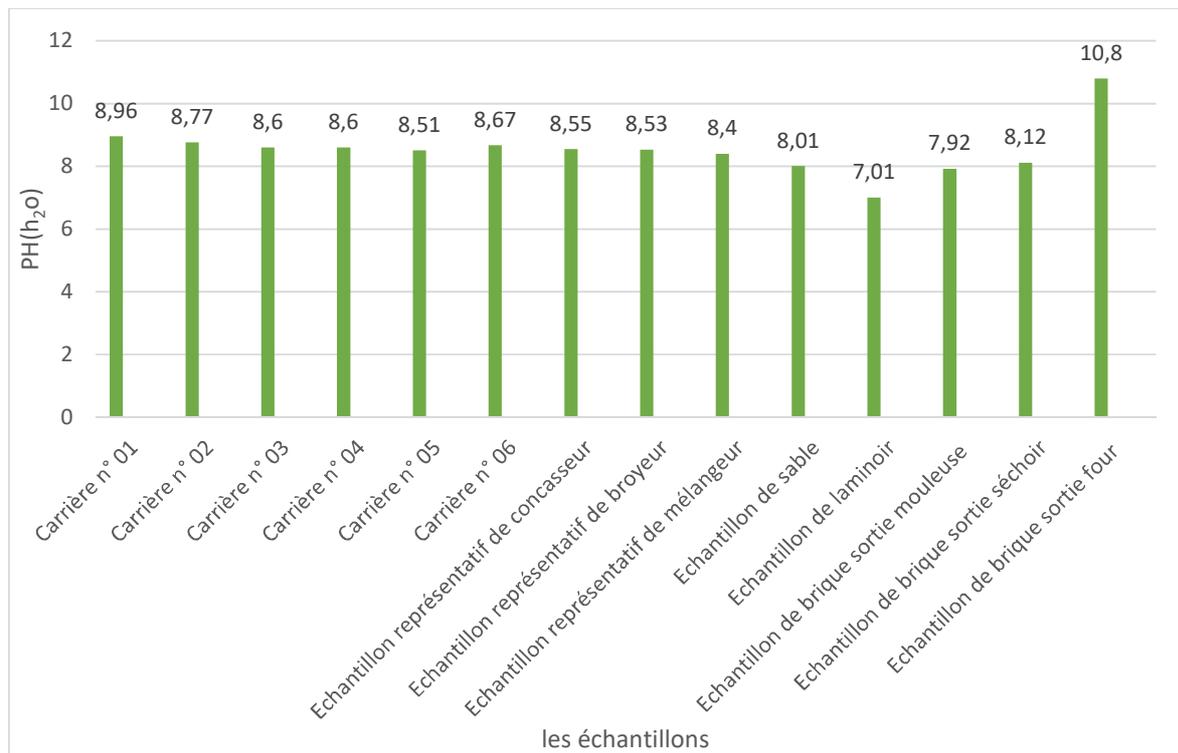


Figure IV.5-1 : histogramme résultats d'analyse de ph

IV.6 Résultats d'analyse Ph KCL

Présentation des résultats de test pH KCL

Tableau IV.6-1 : résultats obtenu de test PH KCL

Les échantillons	PH (KCL)
Carrière n° 01	8,01
Carrière n° 02	7,62
Carrière n° 03	8,06
Carrière n° 04	7,96
Carrière n° 05	8,23
Carrière n° 06	8,03
Echantillon représentatif de concasseur	8,17
Echantillon représentatif de broyeur	8,19
Echantillon représentatif de mélangeur	8,08
Echantillon de sable	8,81
Echantillon de laminoir	8,01
Echantillon de brique sortie mouleuse	8,14
Echantillon de brique sortie séchoir	8,05
Echantillon de brique sortie four	11,82

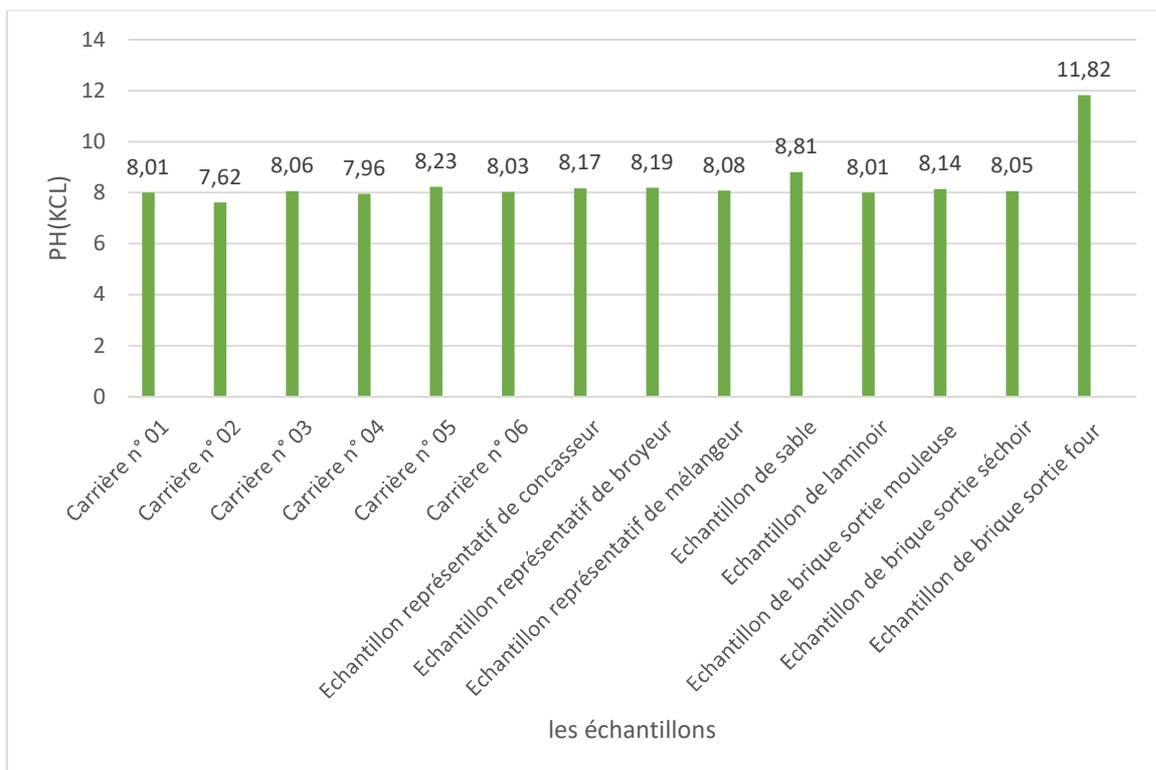


Figure IV.6-1 : histogramme analyse de PH KCL

Interprétation :

En général, le pH oscille entre 7,5 et 11 pour les différents échantillons étudiés, donc notre argile est une argile alcaline.

Il est à noter que les variations de concentrations en calcium et en aluminium échangeables sont aussi reliées au pH.

Lorsque le pH est supérieur à 7, le calcium occupe au moins les deux tiers de la capacité d'échange cationique (CEC). Il la sature à plus de 98% à pH égal à 8,2 [42]

IV.7 Limite d'Atterberg :

Les limites d'Atterberg sont des constantes physiques conventionnelles qui marquent les seuils entre le passage d'un sol de l'état liquide à l'état plastique (limite de liquidité WL) et le passage d'un sol de l'état plastique à l'état solide (limite de plasticité WP).

Les essais sur les limites d'Atterberg nous permettent d'identifier nos échantillons et caractériser leurs états au moyen de leur indice de consistance.

Les résultats sont représentés dans les tableaux et l'histogramme suivant :

IV.7.1 Limite de liquidité :

Tableau IV.7-1 : limite de liquidité

Échantillons	Masse de tare m1	Masse du sol humide + la tare m2	Masse du sol sec + la tare m3	Nombre de coups	Teneur en eau w (%) $= \frac{m3 - m2}{m3 - m1} * 100$	Moyenne de teneur en eau
Carrier n01	7,4	17,2	14,1	33	46,27	50,36
	7,5	15,7	12,8	25	54,72	
	7,5	13,7	11,4	14	58,97	
Carrier n02	7,4	15,3	12,6	26	51,92	52,40
	7,5	16,2	13,0	16	58,18	
Carrier n03	7,5	16,6	13,6	31	49,18	50,27
	7,5	17,7	14,2	20	52,24	
Carrier n04	7,1	14,9	12,2	32	52,94	53,16
	7,4	18,3	14,5	17	53,52	
Carrier n05	7,4	16,2	14,1	32	31,34	33,74
	7,4	16,1	13,8	20	35,94	
Carrier n06	19,1	28,0	25,0	21	50,85	53,04
	18,4	28,0	24,6	31	54,84	
Concasseur	7,4	16,4	14,1	30	34,33	37,12
	7,4	17,4	14,3	15	44,93	
Broyeur	7,4	16,9	14,6	32	31,94	33,69
	7,1	14,9	12,8	16	36,84	
Mélangeur	7,5	16,2	13,2	33	52,63	49,07
	18,4	29,9	24,3	17	44,07	
Laminoir	7,5	13,8	11,9	32	43,18	45,52
	7,4	13,6	11,6	20	47,62	
La mouleuse	7,5	16,9	14,0	34	44,62	48,74
	7,2	14,0	11,7	21	51,11	
Séchoir	7,4	14,0	12,1	32	40,43	47,46
	7,4	16,6	13,2	17	58,62	

IV.7.2 Limite de plasticité

Tableau IV.7-2 : limite de plasticités

Échantillons	Masse de tare	Masse du sol humide + la tare	Masse du sol sec + la tare	Wp moyenne
Carrier n01	7,5	9,2	8,9	24,04
	7,4	9,3	8,9	
Carrier n02	7,4	9,7	9,3	23,85
	7,4	9,3	8,9	
Carrier n03	7,2	8,7	8,4	23,21
	7,5	9,2	8,9	
Carrier n04	9,5	11,1	10,9	15,47
	7,5	9,6	9,3	
Carrier n05	7,4	8,9	8,8	8,11
	7,3	8,5	8,4	
Carrier n06	18,5	19,6	19,4	18,25
	17,8	20,2	19,9	
Concasseur	7,4	8,9	8,7	20,19
	7,4	8,9	8,6	
Broyeur	7,5	16,9	14,6	16,78
	7,5	14,9	12,8	
Mélangeur	7,4	8,5	8,3	26,49
	7,4	9,1	8,7	
Laminoir	17,8	20,1	19,8	12,50
	19,1	20,2	20,1	
La mouleuse	9,5	10,8	10,6	21,59
	7,3	8,3	8,1	
Séchoir	7,5	9,2	8,8	26,09
	7,5	9,2	8,9	

IV.7.3 L'indice de plasticité :

D'après l'échelle des limites d'Atterberg typique pour les sols, les résultats de l'indice de plasticité pour les échantillons étudiés sont représentés dans (**Tableau IV.7-3**) et l'histogramme (**Figure IV.7-1**) suivant :

Tableau IV.7-3 : l'indice de plasticité

Echantillons	IP	Commentaire
Carrière n01	26,31	Argile kaolinite
Carrière n	28,54	Argile kaolinite
Carrière n	27,05	Argile kaolinite
Carrière n	37,68	Argile kaolinite
Carrière n	25,62	Argile kaolinite

Carrière n	34,78	Argile kaolinite
Concasseur	16,92	Argile kaolinite
Broyeur	16,72	Argile kaolinite
Mélangeur	22,57	Argile kaolinite
Laminoir	33,02	Argile kaolinite
La mouleuse	27,14	Argile kaolinite
Séchoir	21,36	Argile kaolinite

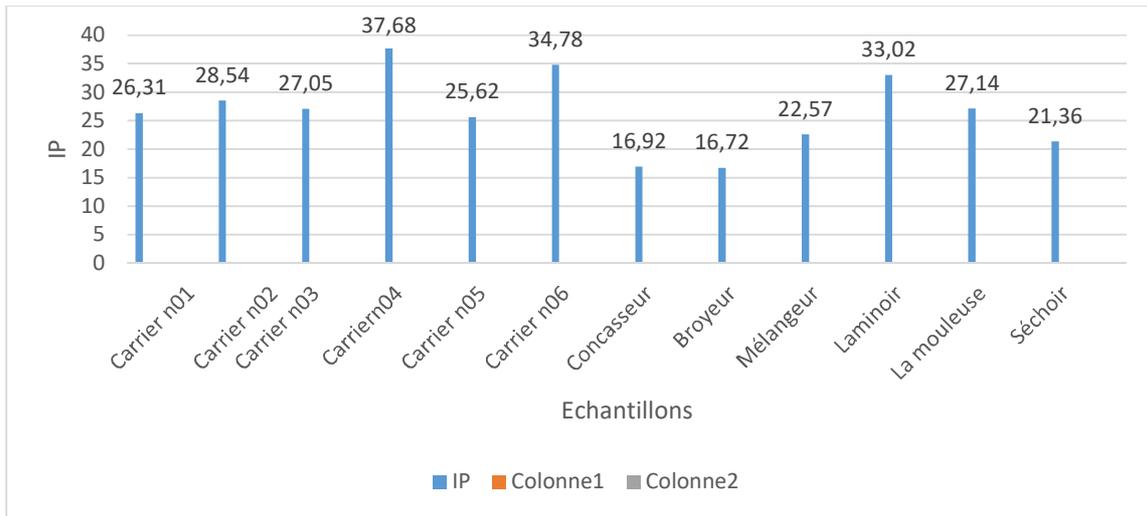


Figure IV.7-1 : histogramme de l'indice de plasticité

Interprétations

On conclut que les échantillons (sable et brique sortie de four) sont des sols insensibles à l'eau et l'essai de limite d'Atterberg ne s'applique pas sur eux. Par contre l'autre échantillon répond favorablement à l'essai, et d'après les résultats obtenus on a constaté que l'ensemble des échantillons étudiés à part (sable et brique sortie de four) sont des argiles kaoliniques.

IV.8 Résultats d'analyse FRX pour les échantillons suivants :

Les résultats de cette caractérisation dans le but de connaître quantitativement le contenu des échantillons étudiés est représenté ci-dessous

Echantillon carrière n° 01

La composition chimique de l'échantillon de sol extrait de la carrière n01 est donnée dans le **Tableau IV.8-1** & suivant :

Tableau IV.8-1 : les composants chimiques de l'échantillon carrière n01

Les oxydes	%
Al ₂ O ₃	11,904
SO ₂	2,183
CaO	12,327
Cr ₂ O ₃	0,152
Fe ₂ O ₃	4,360

CuO	0,029
Rb ₂ O	0,090
Y ₂ O ₃	0,017
Ta ₂ O ₅	0,0467
MgO	2,935
SiO ₂	38,958
K ₂ O	2,409
TiO ₂	6,140
MnO ₂	0,355
NiO	0,027
ZnO	0,088
SrO	0,162
ZrO ₂	0,181
PbO	0,026

Echantillon carrière n° 02

La composition chimique de l'échantillon de sol extrait de la carrière n02 est donnée dans le (Tableau IV.8-2) suivant :

Tableau IV.8-2 : les composants chimiques de l'échantillon carrière n02

Oxydes	%
Al ₂ O ₃	13,132
SO ₂	1,539
CaO	12,229
Cr ₂ O ₃	0,190
Fe ₂ O ₃	4,732
CuO	0,034
As ₂ O ₃	0,006
SrO	0,166
ZrO ₂	0,208
MgO	3,349
SiO ₂	43,921
K ₂ O	2,650
TiO ₂	5,443
MnO ₂	0,389
NiO	0,036
ZnO	0,082
Rb ₂ O	0,098
Y ₂ O ₃	0,020
PbO	0,009

Echantillon carrière n°03

La composition chimique de l'échantillon de sol extrait de la carrière n03 est donnée dans le **Tableau IV.8-3** suivant :

Tableau IV.8-3 : les composants chimiques de l'échantillon carrière n03

Oxyde	%
Al ₂ O ₃	13,396
P ₂ O ₅	0,523
K ₂ O	2,529
TiO ₂	6,248
MnO ₂	0,422
NiO	0,026
ZnO	0,088
SrO	0,143
ZrO ₂	0,251
MgO	3,001
SiO ₂	42,958
SO ₂	1,556
CaO	12,159
VO ₂	0,308
Fe ₂ O ₃	4,389
CuO	0,040
Rb ₂ O	0,087
Y ₂ O ₃	0,049
PbO	0,020

Echantillon carrière n°04

La composition chimique de l'échantillon de sol extrait de la carrière n04 est donnée dans le **Tableau IV.8-4** suivant :

Tableau IV.8-4 : les composants chimiques de l'échantillon carrière n04

Oxyde	%
Al ₂ O ₃	14,209
P ₂ O ₅	0,518
K ₂ O	2,770
TiO ₂	6,682
MnO ₂	0,4864
CuO	28,710
Rb ₂ O	0,099
Y ₂ O ₃	30,605
Nb ₂ O ₅	0,013
MgO	3,349
SiO ₂	43,343
SO ₂	1,318
CaO	13,880
Cr ₂ O ₃	0,166

Fe ₂ O ₃	4,889
ZnO	0,077
SrO	0,173
ZrO ₂	0,263
PbO	0,021

Echantillon carrière n°05

La composition chimique de l'échantillon de sol extrait de la carrière n05 est donnée dans le **Tableau IV.8-5** suivants :

Tableau IV.8-5 : les composants chimiques de l'échantillon carrière n05

Oxyde	%
Al ₂ O ₃	11,715
SO ₂	1,055
CaO	14,537
MnO ₂	0,535
CuO	0,029
Rb ₂ O	0,074
Y ₂ O ₃	0,021
Nb ₂ O ₅	0,013
MgO	2,454
SiO ₂	29,023
K ₂ O	2,282
TiO ₂	4,564
Fe ₂ O ₃	4,927
ZnO	0,064
ZrO ₂	0,252
SrO	0,117
PbO	0,014

Echantillon carrière n°06

La composition chimique de l'échantillon de sol extrait de la carrière n06 est donnée dans le **Tableau IV.8-6** suivant :

Tableau IV.8-6 : les composants chimiques de l'échantillon carrière n06

Oxyde	%
Al ₂ O ₃	15,645
ZnO	0,082
K ₂ O	3,3729
TiO ₂	7,162
MnO ₂	0,594
NiO	0,041
ZrO ₂	0,165
SrO	0,157

Nb ₂ O ₅	0,018
MgO	3,731
SiO ₂	41,739
SO ₂	0,976
CaO	12,690
Cr ₂ O ₃	0,167
Fe ₂ O ₃	6,133
CuO	0,049
Rb ₂ O	0,112
Y ₂ O ₃	0,021
PbO	0,024

Echantillon laminoir

La composition chimique de l'échantillon extrait de laminoir est donnée dans le **Tableau IV.8-7** suivant :

Tableau IV.8-7 : les composants chimiques de l'échantillon laminoir

Oxyde	%
Al ₂ O ₃	14,832
K ₂ O	3,144
TiO ₂	6,059
MnO ₂	0,685
NiO	0,037
ZnO	0,087
SrO	0,141
ZrO ₂	0,168
MgO	3,598
SiO ₂	42,081
SO ₂	1,162
CaO	13,698
Fe ₂ O ₃	5,218
CuO	0,073
Rb ₂ O	0,102
Y ₂ O ₃	0,019
PbO	0,020

Echantillon la mouleuse

La composition chimique de l'échantillon extrait de la mouleuse est donnée dans le **Tableau IV.8-8** suivants :

Tableau IV.8-8 : les composants chimiques de l'échantillon la mouleuse

Oxyde	%
Al ₂ O ₃	14,889
P ₂ O ₅	0,379
K ₂ O	3,119
TiO ₂	6,691
MnO ₂	0,636

NiO	0,047
ZnO	0,071
SrO	0,154
ZrO ₂	0,182
MgO	3,664
SiO ₂	44,049
SO ₂	1,390
CaO	14,411
Ta ₂ O ₅	0,057
Fe ₂ O ₃	5,275
CuO	0,043
Rb ₂ O	0,099
Y ₂ O ₃	20,573
Nb ₂ O ₅	0,013
PbO	0,021

Echantillon séchoir

La composition chimique de l'échantillon extrait de séchoir est donnée dans le **Tableau IV.8-9** suivant :

Tableau IV.8-9 : les composants chimiques de l'échantillon sorti séchoir

Oxyde	%
Al ₂ O ₃	14,795
K ₂ O	3,156
TiO ₂	6,147
MnO ₂	0,677
NiO	0,0277
ZnO	0,090
SrO	0,155
ZrO ₂	0,177
MgO	3,366
SiO ₂	40,969
SO ₂	1,584
CaO	12,905
Fe ₂ O ₃	5,547
CuO	0,052
Rb ₂ O	0,103
Y ₂ O ₃	0,021
PbO	0,024

Echantillon four

La composition chimique de l'échantillon de brique extrait de four est donnée dans le **Tableau IV.8-10** suivant :

Tableau IV.8-10 : les composants chimiques de l'échantillon sorti four

Oxyde	%
Al ₂ O ₃	12,716
Cr ₂ O ₃	0,191
K ₂ O	2,987
TiO ₂	5,582
MnO ₂	0,632
NiO	0,040
ZnO	0,072
SrO	0,163
ZrO ₂	0,213
MgO	3,018
SiO ₂	51,687
SO ₂	1,693
CaO	13,334
VO ₂	0,281
Fe ₂ O ₃	5,604
CuO	0,041
Rb ₂ O	0,110
Y ₂ O ₃	0,019
PbO	0,023
Nb ₂ O ₅	0,015

Echantillon concasseur

La composition chimique de l'échantillon de sol extrait de concasseur est donnée dans le **Tableau IV.8-11** suivant :

Tableau IV.8-11 : les composants chimiques de l'échantillon concasseur

Oxyde	%
Al ₂ O ₃	13,189
P ₂ O ₅	0,381
K ₂ O	2,674
TiO ₂	5,918
MnO ₂	0,682
NiO	0,028
ZnO	0,053
SrO	0,117
ZrO ₂	0,203
MgO	2,951
SiO ₂	45,632
SO ₂	0,881

CaO	12,257
Fe ₂ O ₃	4,117
CuO	0,0271
Rb ₂ O	0,088
Y ₂ O ₃	0,017
PbO	0,025

Echantillon broyeur

La composition chimique de l'échantillon de sol extrait de broyeur est donnée dans le **Tableau IV.8-12** suivant :

Tableau IV.8-12 : les composants chimiques de l'échantillon broyeur

Oxyde	%
Al ₂ O ₃	13,529
P ₂ O ₅	0,270
K ₂ O	2,770
TiO ₂	5,5825
MnO ₂	0,653
NiO	0,033
ZnO	0,0555
SrO	0,118
ZrO ₂	0,142
MgO	3,084
SiO ₂	44,969
SO ₂	0,857
CaO	12,145
Nb ₂ O ₅	0,011
Fe ₂ O ₃	4,260
CuO	0,032
Rb ₂ O	0,080
Y ₂ O ₃	0,015
PbO	0,019
Ta ₂ O ₅	0,045

Echantillon Mélangeur

La composition chimique de l'échantillon de sol extrait de mélangeur est donnée dans le **Tableau IV.8-13** suivant :

Tableau IV.8-13 : les composants chimiques de l'échantillon mélangeur

Oxyde	%
Al ₂ O ₃	15,191
K ₂ O	3,156
TiO ₂	6,614
MnO ₂	0,660
NiO	0,036

ZnO	0,068
SrO	0,146
ZrO ₂	0,175
MgO	3,830
SiO ₂	45,568
SO ₂	1,411
CaO	14,356
VO ₂	0,259
Fe ₂ O ₃	5,018
CuO	0,039
Rb ₂ O	0,109
Y ₂ O ₃	0,018
PbO	0,0172
Cr ₂ O ₃	0,152

Echantillon sable

La composition chimique de l'échantillon de sable est donnée dans le (**Tableau IV.8-14**) suivant :

Tableau IV.8-14: les composants chimiques de l'échantillon de sable

Oxyde	%
Al ₂ O ₃	2,437
K ₂ O	5,249
TiO ₂	1,683
ZnO	0,007
SrO	0,020
ZrO ₂	0,102
SiO ₂	46,338
CaO	6,973
Fe ₂ O ₃	6,438
CuO	0,009
Rb ₂ O	0,0141

NB :

Pour une meilleure lisibilité de nos résultats, compositions chimiques, ils sont comparés aux normes standards (**tableau III.9-15**), comme illustré sur l'ensemble des figures (**Figure IV.8-1. Figure IV.8-2. Figure IV.8-3. Figure IV.8-4. Figure IV.8-5. Figure IV.8-6. Figure IV.8-7**) qui suivent :

Tableau IV.8-15 : des pourcentages d'oxyde des briques de référence par fluorescence X [43]

Oxydes (%)	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	SO ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	TiO ₂	MnO
Max	1,7	67,8	14,2	0,6	16,3	2,6	1,4	2,4	2,4	0,2
Min	1,3	62,8	10,4	0	8,44	2,1	0,6	2,2	1,5	0

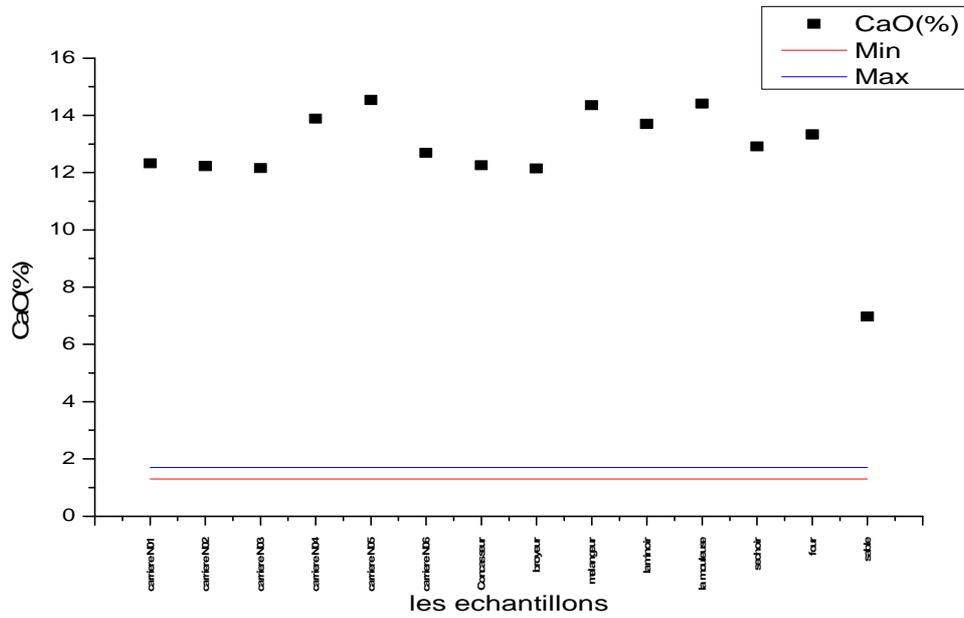


Figure IV.8-1 : comparaison de pourcentage de CaO dans les normes max et min avec nos résultats

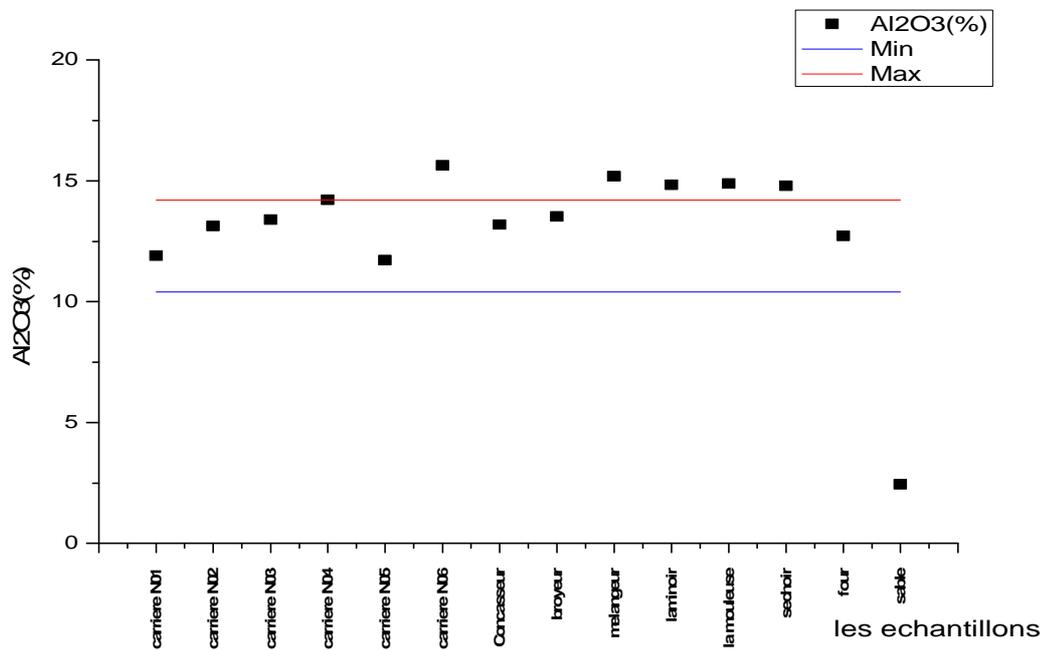


Figure IV.8-2 : comparaison de pourcentage de Al₂O₃ dans les normes max et min avec nos résultats

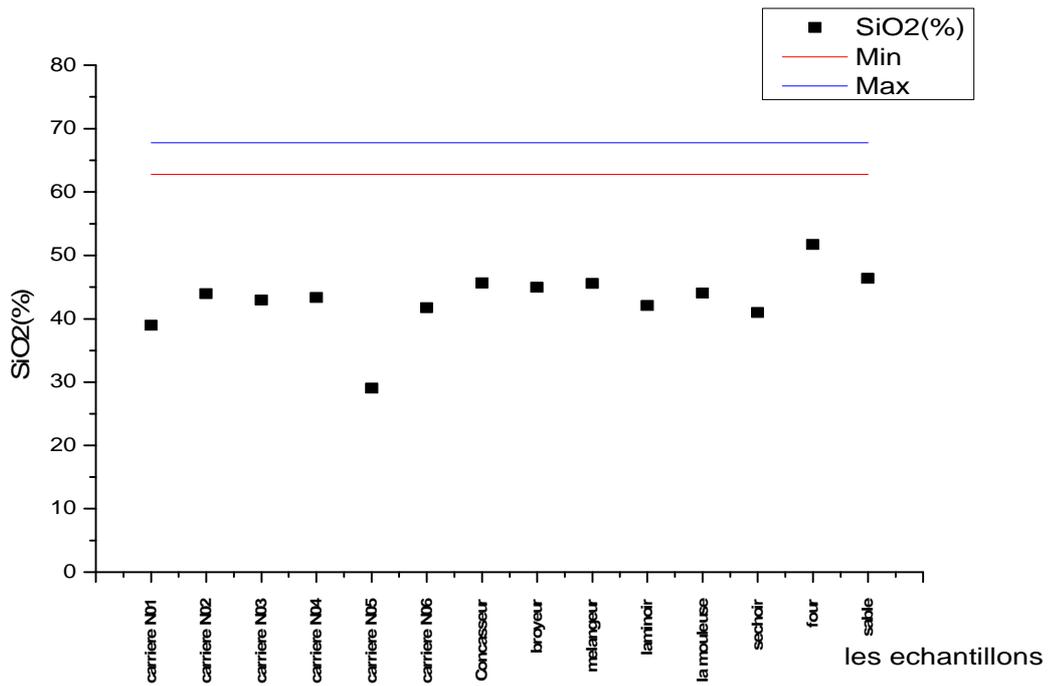


Figure IV.8-3 : comparaison de pourcentage de SiO₂ dans les normes max et min avec nos résultats

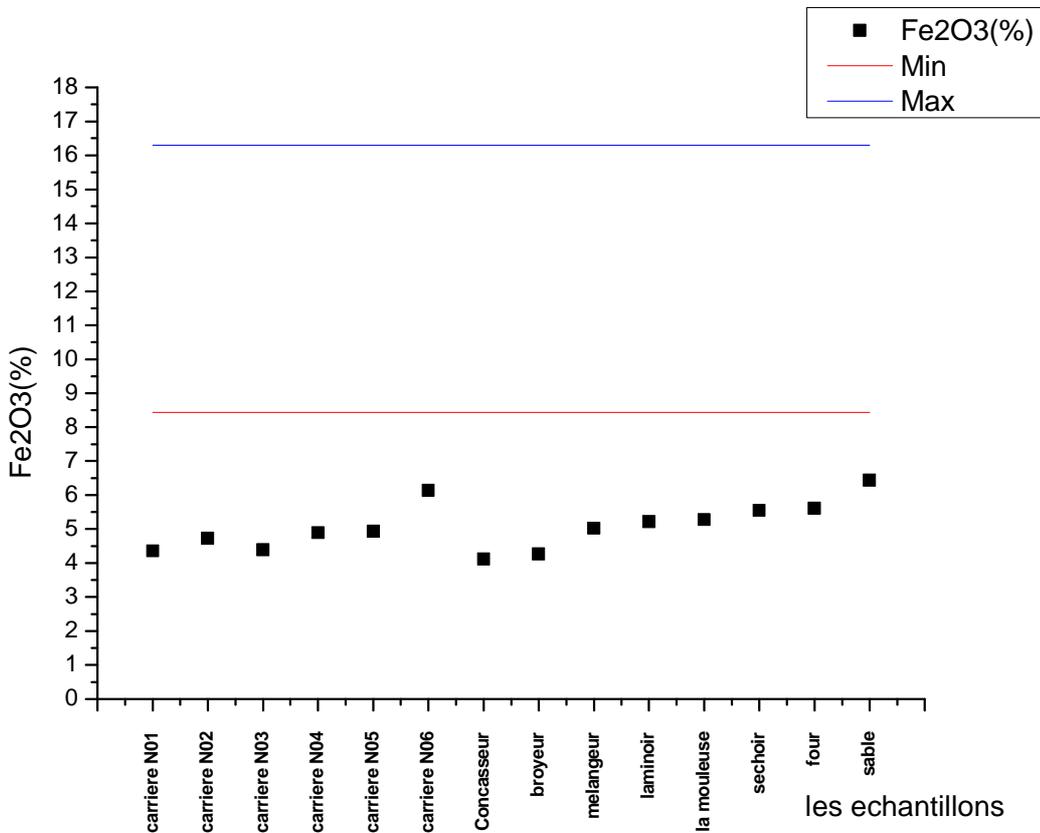


Figure IV.8-4 : comparaison de pourcentage de FeO₃ dans les normes max et min avec nos résultats

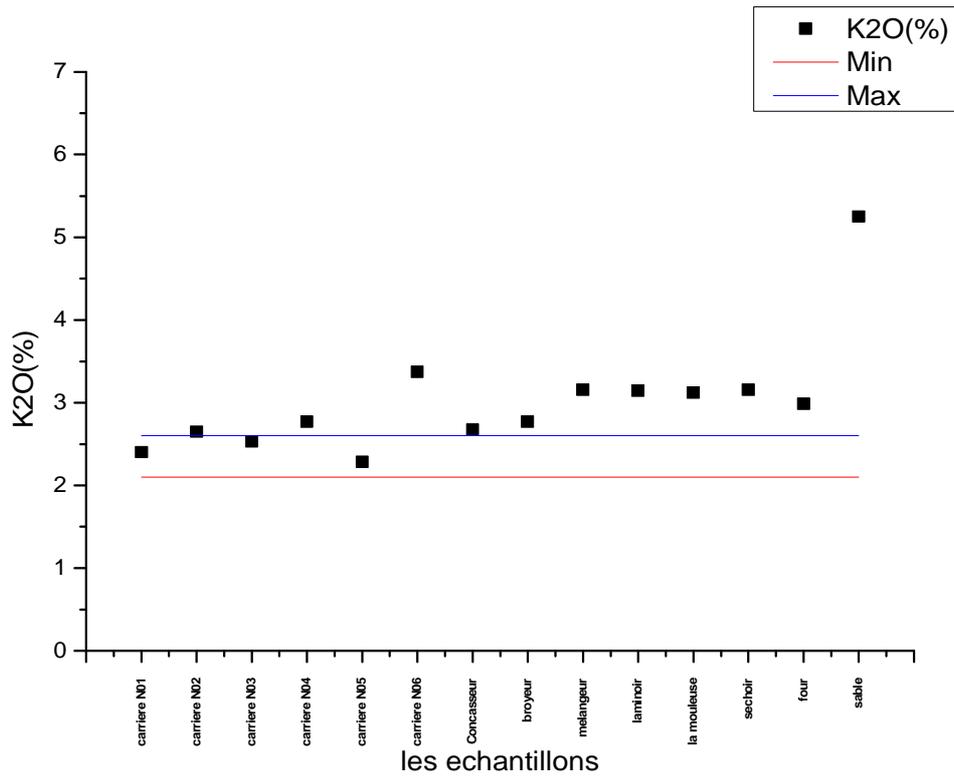


Figure IV.8-5 : comparaison de pourcentage de K₂O dans les normes max et min avec nos résultats

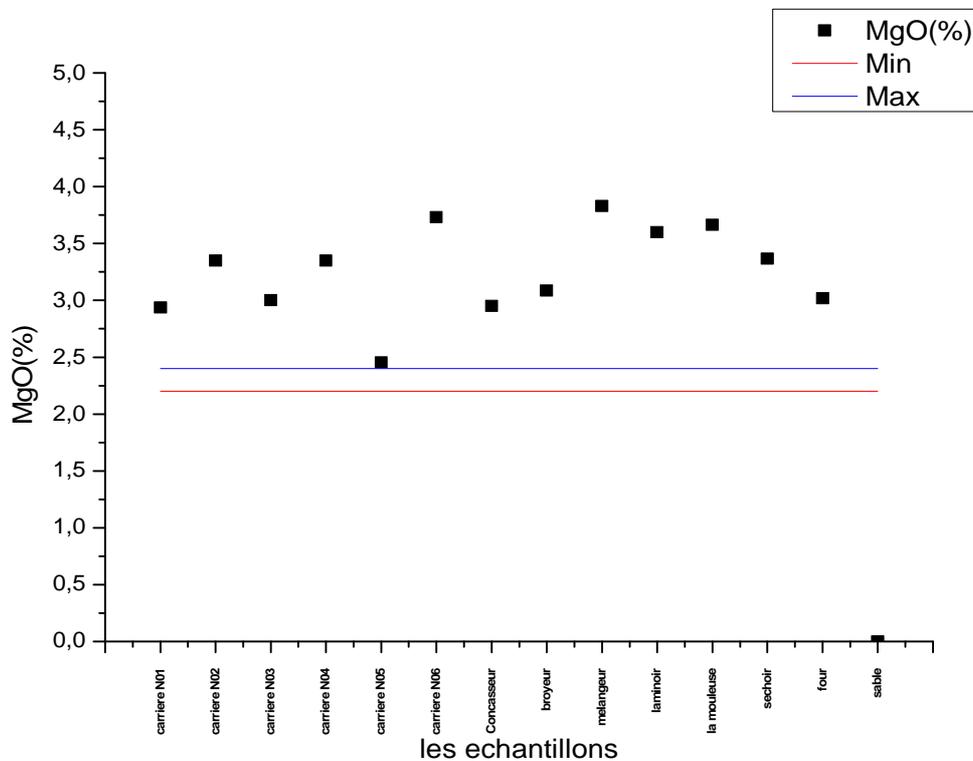


Figure IV.8-6 : comparaison de pourcentage de MgO dans les normes max et min avec nos résultats

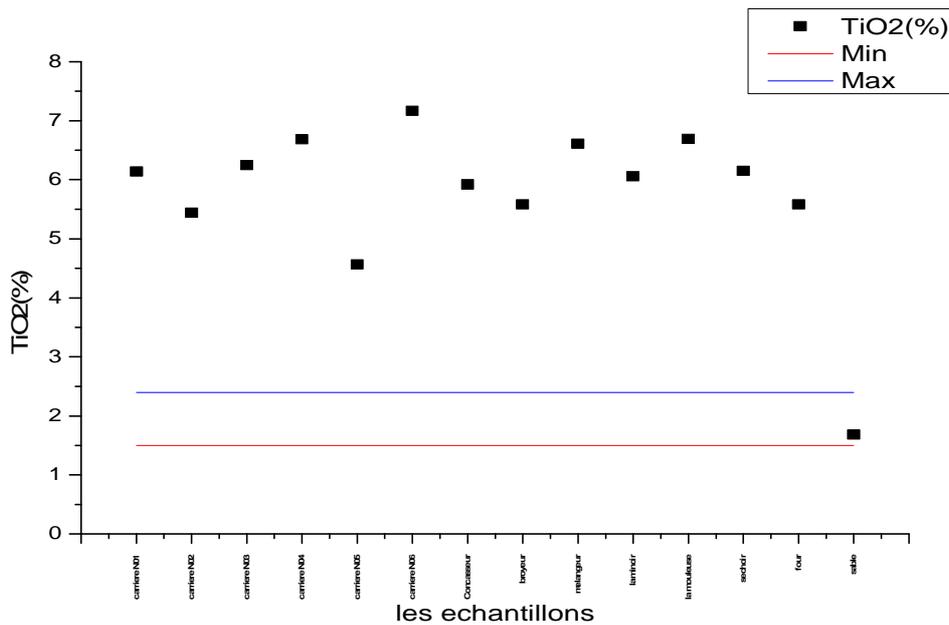


Figure IV.8-7 : comparaison de pourcentage de TiO₂ dans les normes max et min avec nos résultats

Remarque

Les valeurs maximale et minimale sont représentées respectivement en bleu et rouge
 Les oxydes qui n’existent pas dans nos échantillons : SO₃, Na₂O, MnO

Interprétation frx

D’après l’étude réalisé par la fluorescence X, on à constater que les échantillons analysés présentent des résultats presque similaires. A cet effet plusieurs éléments ont été déterminé voir les tableau (**Tableau IV.8-1 Tableau IV.8-2. Tableau IV.8-3. Tableau IV.8-4. Tableau IV.8-5 Tableau IV.8-6. Tableau IV.8-7. Tableau IV.8-8. Tableau IV.8-9. Tableau IV.8-10. Tableau IV.8-11. Tableau IV.8-12. Tableau IV.8-13. Tableau IV.8-14 de frx**)

Une étude de comparaison entre les résultats de l’analyse de fluorescence X et les normes standards on constate donc que le problème rencontré pour la brique de la Sarl Ksal Ain l’Orak El Bayadh est lier :

- Aux taux de SiO₂ qui sont très bas, proche de la norme minimale ;
- Aux taux de TiO₂ qui sont très élevé par rapport à la norme max, deux fois presque la norme ;
- Aux taux de CaO qui sont très élevé, par rapport à la norme max, presque de six (6) fois ;
- Le sable utilisé est de mauvaise qualité, taux de SiO₂ très bas

IV.9 Analyse de diffraction des rayons X :

Les résultats d’analyse par DRX qui ont était faite au PTAPC Bejaia sont présente dans les figures suivantes :

Remarque : les échantillons (carrière n01-02-03-04-05) ont été mélangé et quarté afin d'avoir un échantillon représentatif moyen, les échantillons (broyeur, sable et brique sortie mouleuse) ont été exclus de l'analyse à cause du manque de matériel.

Echantillon représentatifs moyenne carrière

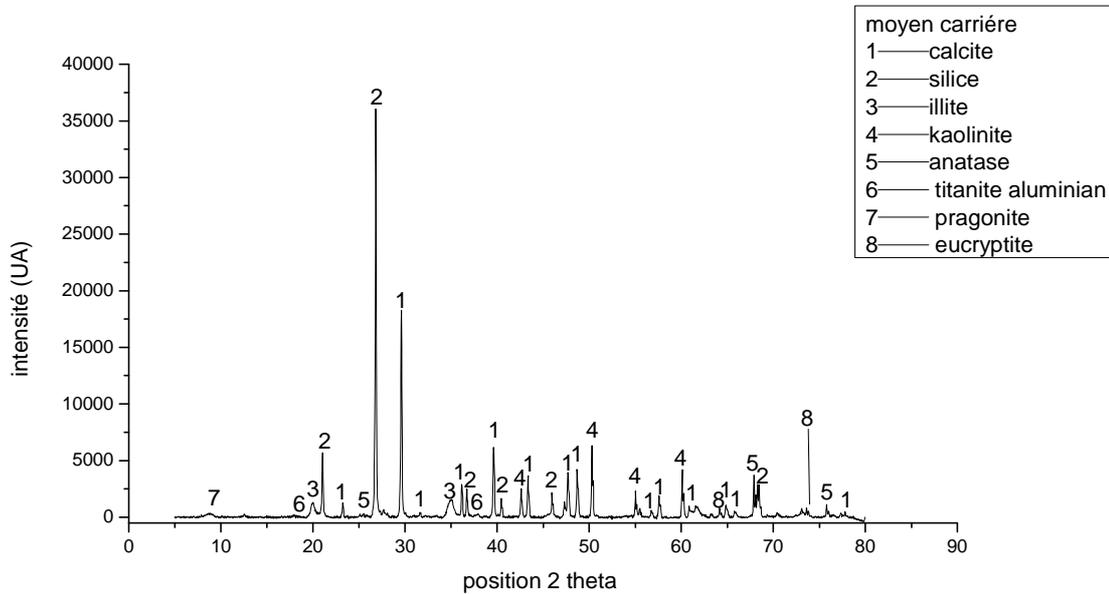


Figure IV.9-1 : spectre de l'analyse DRX sur l'échantillon moyenne carrière

Echantillon prélevé de la carrière n06

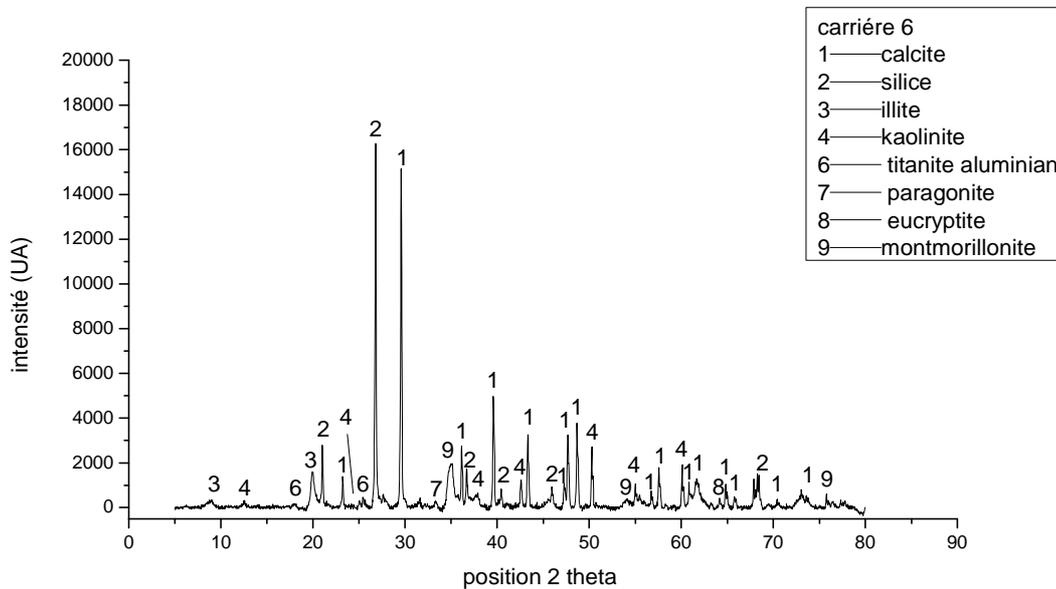


Figure IV.9-2 : spectre de l'analyse DRX sur l'échantillon carrière N06

Echantillon de concasseur

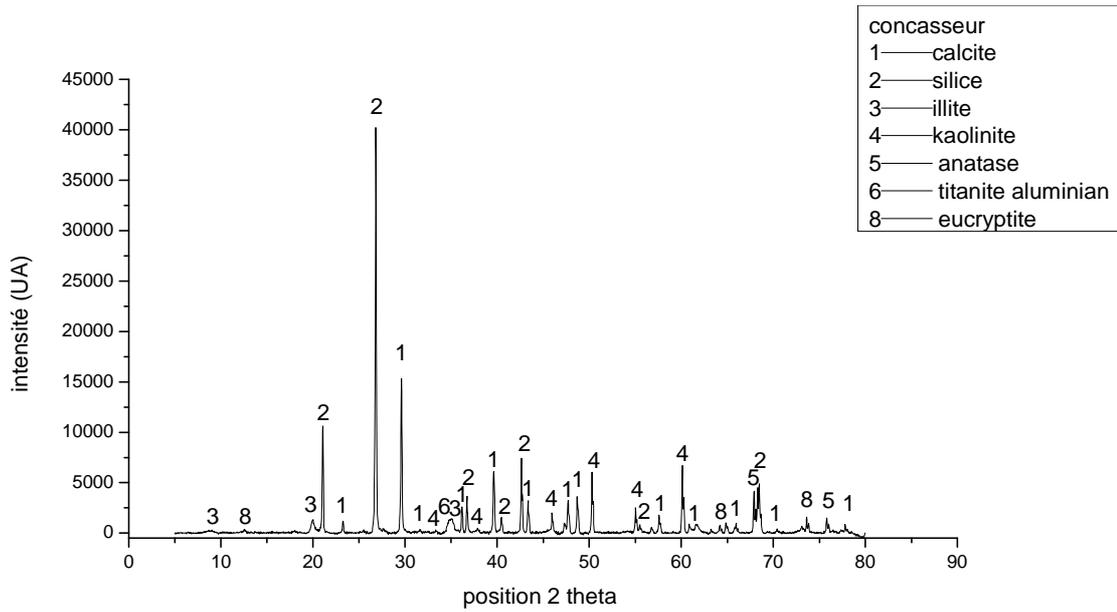


Figure IV.9-3 : spectre de l'analyse DRX sur l'échantillon concasseur

Echantillons mélangeur

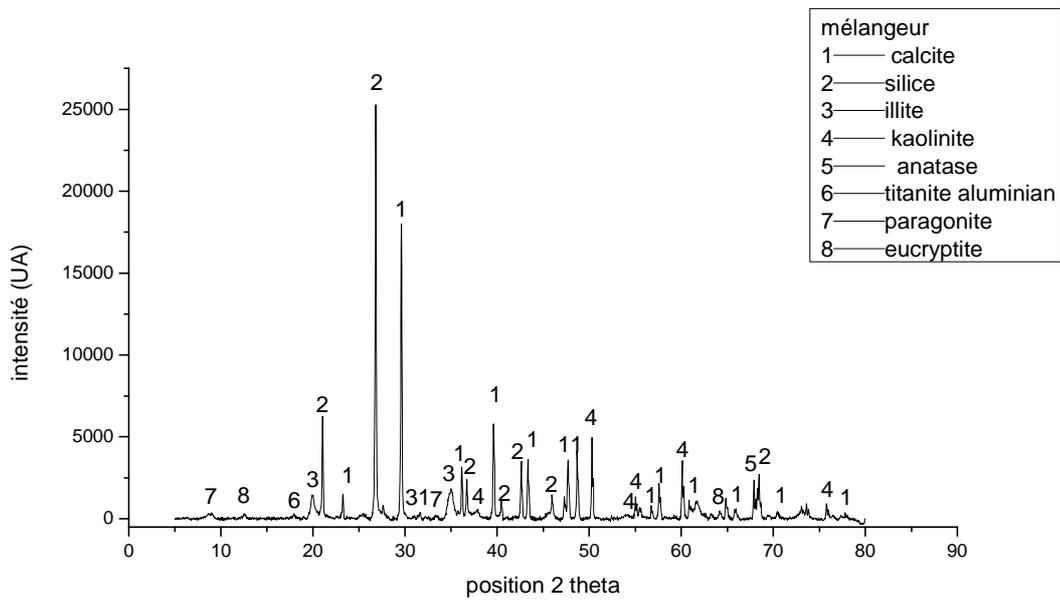


Figure IV.9-4 : spectre de l'analyse DRX sur l'échantillon mélangeur

Echantillon laminoir

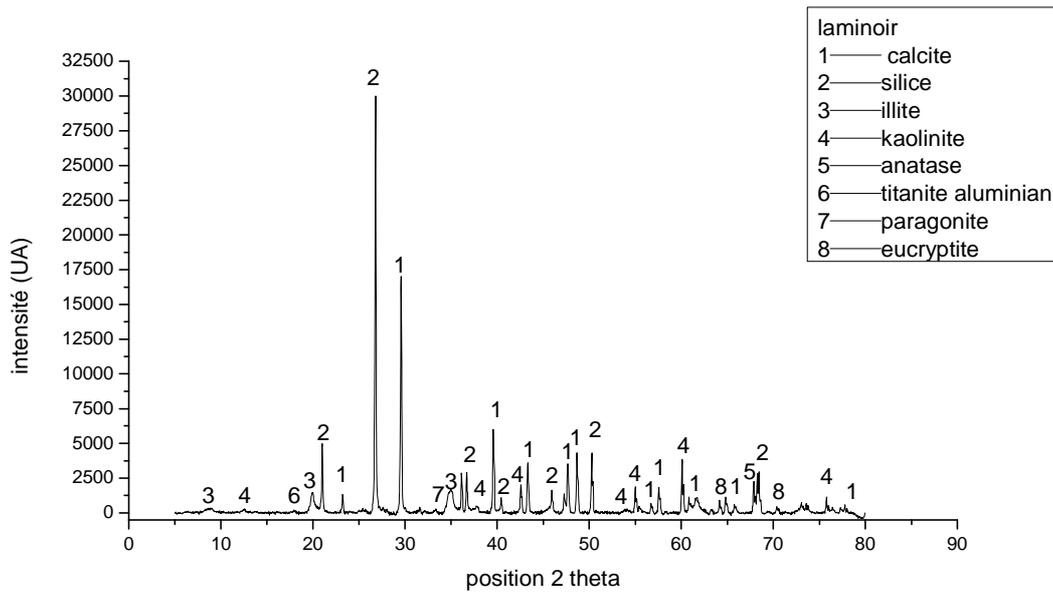


Figure IV.9-5 : spectre de l'analyse DRX sur l'échantillon laminoir

Echantillon de séchoir

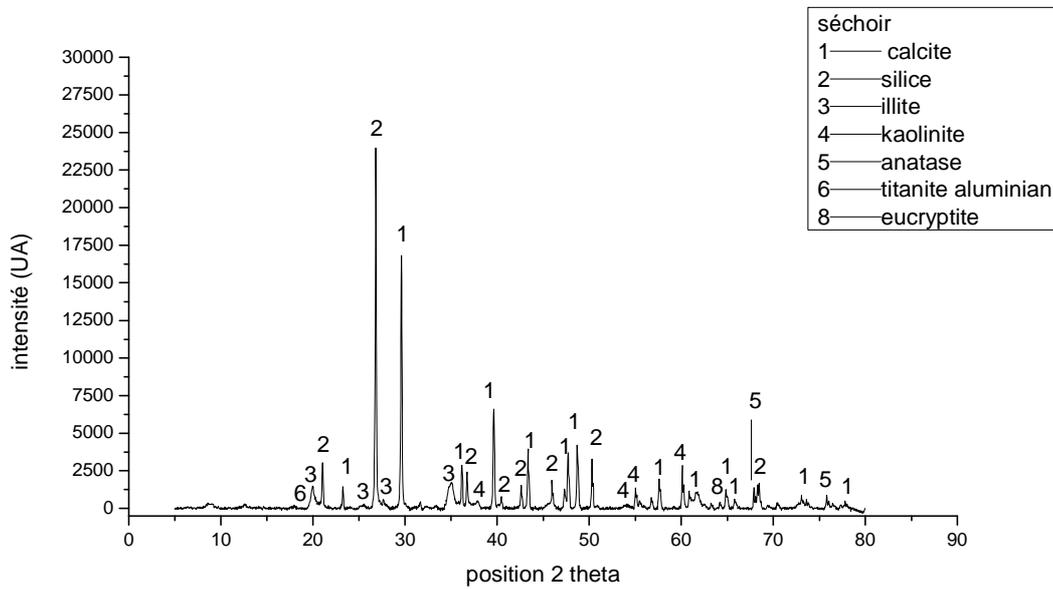


Figure IV.9-6 : spectre de l'analyse DRX sur l'échantillon séchoir

Echantillon four

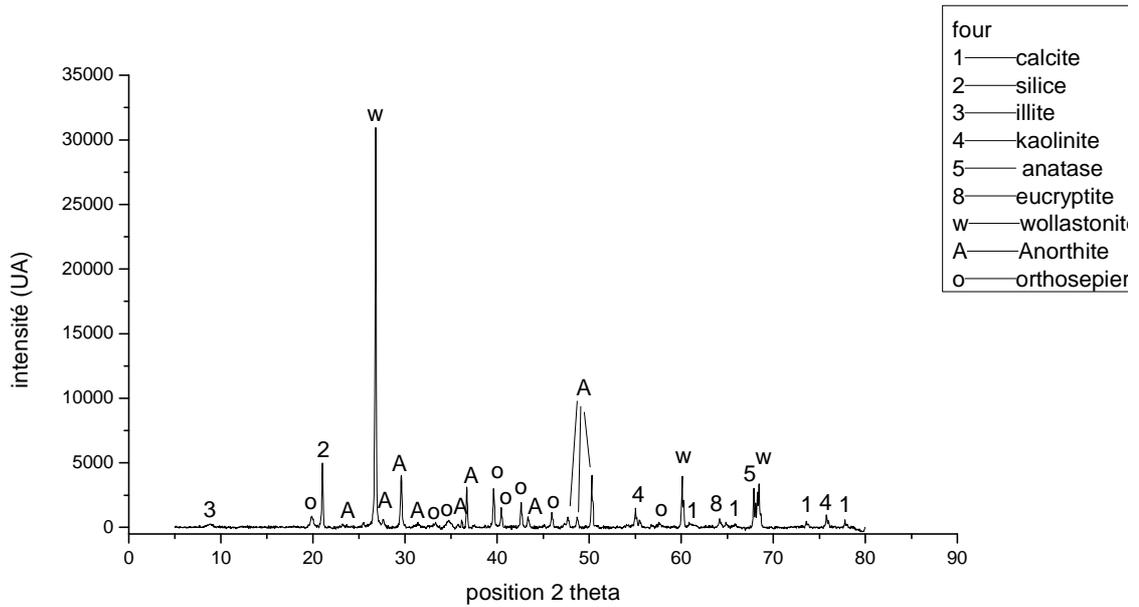


Figure IV.9-7 : spectre de l’analyse DRX sur l’échantillon four

Interprétation

Les résultats obtenus montrent que l’argile utilisée par la Sarl Ksal Ain l’Orak El Bayadh Est constituée de minéraux principales, à savoir : la kaolinite, l’illite, la silice et la calcite, par contre l’échantillon de sortie de four est composé principalement de l’orthosepeirite, l’anorthite et la wollastonite causé de l’exposition de l’échantillon a une grande température qui dépasse 800 °C. D’autres phases cristallisées sont également détectées dans cette argile comme la montre le tableau (**Tableau III.9-1**), ci-dessus.

Tableau IV.9-1 : phase minéralogique existante dans les échantillons de sols et de brique

N	Composante minéralogique	Composition chimique
1	calcite	(Mg.063Ca.936) (CO ₃)
2	silice	SiO ₂
3	Illite	(K, H ₃ O) (Al,Mg,Fe)2(Si,Al) ₄ O ₁₀ [(OH)2,(H ₂ O)]
4	Kaolinite	Al₂Si₂O₅(OH)₄
5	anatase	TiO ₂
6	Titanite aluminian	Ca (Ti, Al) (SiO ₄)
7	paragonite	Na Al ₂ (Si ₃ Al) O ₁₀
8	eucryptite	LiAlSiO ₄
9	Montmorillonite	NaO ₃ (Al,Mg)2Si ₄ O ₁₀
w	wollastonite	Ca SiO ₃
A	Anorthite	Ca Al ₂ Si ₂ O ₈
O	Orthoserpierite	CaCu ₄ (S O ₄) ₂ (OH) ₆

IV.10 Conclusion

La fabrication de brique est un processus complexe qui se concentre essentiellement sur la composition chimique de la matière première et la façon de son traitement

Les résultats présentés dans ce chapitre montrent la nature du sol étudié qui est argileux kaolinite, la séquence de la composition minéralogique entre les phases étudiées comme les montrent la DRX, les variations de compositions chimiques de sols, ainsi le taux de chaque composition comme le montre l'analyse de fluorescence X qui influence directement sur la qualité de produit final.

Conclusion générale

Cette étude porté essentiellement sur le suivi des paramètres de l'argile depuis l'extraction dans la carrière jusqu' à sa transformation en produit (brique) dans le four ainsi que les ajouts utilisé (sable).

D'après les résultats obtenus, on tire les conclusions suivantes :

- L'analyse granulométrique et ces paramètres nous déterminent une mauvaise classification et distribution dans les échantillons étudiés.
- L'analyse de bleu de méthylène nous détermine que les échantillons étudier sont des sols limono-argileux, (sol de plasticité moyenne).
- Le teste d'humidité indique un faible pourcentage d'eau dans les échantillons étudier sauf la brique sortie mouleuse qui à pourcentage élevé.
- Le teste pH indique que nos échantillons sont alcalins ou peut alcalins qui ne représente aucune toxicité
- L'analyse de limite d'Atterberg détermine que les échantillons étudiés sont des argiles kaolinites.
- L'analyse de diffraction des rayons X détermine que les échantillons étudier sont des argiles constitue kaolinite, illite, silice et de calcite ainsi une variation d'autre éléments.
- L'analyse par fluorescence X détermine une forte concentration en CaO qui dépasse la norme d'industrie, le pourcentage de l'alumine est situé aux milieux de la norme ou il dépasse avec une petite quantité, par contre la silice (SiO_2) est très loin de la norme avec des valeurs inférieurs au pourcentage minimale, le pourcentage de TiO_2 avec des valeurs supérieures par rapport à la norme ainsi que le MgO, le K_2O se positions au milieux de la norme ou il dépasse avec des valeurs pas vraiment importantes .

Enfin, grâce à ces résultats on peut dire que l'argile utilisé par la Sarl Ksal est une argile riche en kaolinite et illite qui sont des éléments essentielle pour la fabrication de brique, mais aussi des fortes concentrations de CaO et de TiO_2 qui influence directement sur la qualité de produit final. La température qui joue un rôle très important doit être augmentée de 800°C jusqu'au moins 1000°C pour la transformation de la CaO. Le sable utilisé qui est de mauvaise qualité doit être remplacé par un sable qui contient des teneurs élevées en silice.

Ressource bibliographique

Chapitre I

- [1] Rahmani.M.B.Said.A Influence des caractéristiques minéralogiques des argiles sur la fabrication des briques (Cas gisement TAMADNINE, briqueterie ADRAR 30/06/2018.université de bejaia.
- [2] Fédération Belge de la Brique. Fabrication de brique. info@brique.be
- [3] kaolin et argile kaoliniques mémento. Rapport final BRGM/RP-67334-FR Février 2018
- [4] Louis. Miesbach. Livre. La fabrication des briques et des tuiles. Edition Charles Gerold Et Fils. 1855.
- [5] martinez et Al. Fabrication of Metal and Alloy Components by Additive Manufacturing: Examples of 3D Materials Science, 2012
- [6] Université de lorraine. <https://www.univ-lorraine.fr>
- [7] Weng. PMMA/graphite nanosheets composite and its conducting properties.2003
- [8] Russ.GR. DENSITY-DEPENDENT SPILLOVER FROM A MARINE RESERVE: LONG-TERM EVIDENCE.2005.
- [9] Faria. J. Hydrophobic Zeolites for Biofuel Upgrading Reactions at the Liquid–Liquid Interface in Water/Oil Emulsions. 2012
- [10] pérez-villarejo. Properties of fired clay bricks with incorporated biomasses: cases of olive stone flour and wheat straw residues.,2012
- [11] Hauglustaine.JM. Etude énergétique et typologique du parc résidentiel wallon en vue d'en dégager des pistes de rénovation prioritaires, 2009
- [12] Bories. C. Etude de la caractéristique d'un « POROGENE » d'origine bio source et mécanisme mis en œuvre pour l'obtention d'une brique de construction micro poreuse à haute performance thermique et mécanique. 2015.Université de Toulouse.
- [13] Robert D. Holtz, William D. Kovacs. Introduction à la géotechnique. 1991
- [14] hafsi. B. Interaction à température ambiante, de l'hydrogène atomique et de l'ammoniac avec la surface clivée propre du phosphore d'indium.1993
- [15] Harrat. M. Contribution à l'amélioration du procédé de fabrication de la céramique. 2007.université d'Ouargla.
- [16] Mering. Oberlin. Etude par micro-diffraction électronique des relations d'ordre-désordre dans les substitutions des phyllosilicates. 1971
- [17] BENAÏSSA. M. Étude expérimentale sur la stabilisation des sols gonflants de la région de Mostaganem et de Relizane. 2011. Université de Mostaganem.
- [18] kornmann. M. Classification des sols argileux .2009
- [19] kornmann. M. Matériaux de construction en terre cuite : fabrication et propriétés.2005
- [20] demir and orthen., 2003
- [21] jordan et al., 2008
- [22] **Saiahet al. (2010).**

Chapiter II

- [23] s. Abed 1982
- [24] audit environnementale

- [25] GORISSE F. ; « Essais et contrôle des bétons », Edition Eyrolles, vol.2, Paris ; 1978.
- [26] TP géotechnique appliqué univ batna
- [27] Paul Flon. (1985) Pratique et interprétation de l'essai au bleu de méthylène en géotechnique routière. étude produite par le ministère de transport au Québec
- [28] Kebir T. (2012). Etude de contamination, d'accumulation et de mobilité de quelques métaux lourds dans des légumes, des fruits et des sols agricoles situés près d'une décharge industrielle de l'usine al zinc de la ville de Ghazaouet. Thèse de doctorat. Université de Tlemcen
- [29] Thior M, Sané T, Sy O, Descroix L, Ndiaye L.G. et al (2019) caractéristique granulométriques et dynamique sédimentaire entre les différentes unités géomorphologiques du littoral de la casamance (Senegal. Revue ivoirienne des sciences et technologies,
- [30] Blampain O. (2009). Dynamique sédimentaire multi classe : de l'étude des processus à la modélisation en manche. Interfaces continentales, environnement. Thèse de doctorat. Université de Rouen, France.
- [31] Fournier J, Bonnot-Courtois C, Paris R, Voldoire O, et le Vot M.(2012). Analyse granulométrique, principes et méthodes. Document technique. CNRS, Dinard
- [32] Blott S.J. et Pye K. (2001). Gradistat : a grain size distribution and statistics package for the analyse of un consolidated sediment. Earth Surf. Process. Landf.26
- [33] center d'expertise en analyses environmental du Québec. Détermination du pH : méthode électrométrique .MA.100. (2014).
- [34] instituts scientifique de service publique (ISSeP).(2014). Détermination du pH Kcl. Ministère de l'environnement. Belgique
- [35] **MOUSSACEB, K., &** (2007). Optimisation de système de gestions de L'homogénéisation du cru et du processus de fabrication du ciment. (Laboratoire de Technologie des matériaux et de génien de procédés, thèse doctorat, UAMB).
- [36] **MOUSSACEB. K (boues d'usines)** cours master II VRM. UAMB.2018/2019.
- [37] **BIANCHINI, A.** (2010). Activité antifongique des bactéries lactiques : Facteurs influantsur la production et la stabilité des composés antifongiques de La ctobacillus plantarum et effets des composés antifongiques sur la croissance et la production d'aflatoxines par Aspergillus Spp. Université de Nebraska-Lincoln.
- [38] **AYADI, B., &BOUNOUALA, M. (2010).** Caractérisation et choix d'un schéma de traitement du minerai cuivre-fer de DOUAMIS (Ouenza-Algérie). Mémoire de magister, université d'Annaba.
- [39] TP n°05 mécanique des sols génie civil université de Saida 2022/2023
- [40] Holzapffel T. (1985). Les minéraux argileux : préparation, analyse diffractométrique et détermination. Société géologique du nord, 12, 15-43.
- [41] Sahnoune Rachid. (2021) caractérisation/ remédiation des sources contaminants (déchets minier et/ou industriels) et évaluation à la fois de leurs stabilités et potentialités à mobiliser les espèces minérales. Thèse doctorat. Université de Bejaia
- [42] A.Perns-Debuyser et D.Tessier, influence du pH sur les propriété du sol, Rev-Sci.Eau,15(n°special),2002

[43] Adèle. Grellier. Des fines de brique de terre cuite comme liants de substitution dans les ciments et les matériaux alcali-activité. These doctorat. Cotutelle entre l'école-Mines-télécom Lille Douai et l'université de Liège.2020.

Résumé

En Algérie, le domaine de construction représente l'un des secteurs essentiels, pour l'emploi et l'habitat. La production de brique est l'un des facteurs qui encourage ce secteur en fournissant le meilleur matériau de construction, avec des propriétés physiques qui répondent aux exigences du climat et de la nature du pays.

L'objectif de cette étude est d'identifier la problématique rencontrée par la Sarl Ksal El Bayadh sa production de brique qui est constituée sur l'effet de la composition chimique des argiles sur la qualité de brique.

Cette étude a montré que l'argile utilisée est une argile kaolinite qui contient des teneurs très élevées en calcite, aussi l'existence des autres phases minéralogiques.

Après l'étude on constate que les teneurs élevées de TiO_2 et de CaO , la faible teneur en SiO_2 , ont une influence directe sur la qualité de produit final. Ainsi la mauvaise qualité de sable.

Mots clé : brique, argile, kaolinite, calcite, phase minéralogique, TiO_2 , CaO , SiO_2

Abstract :

In Algeria, the construction sector represents one of the essential industries for employment and housing. Brick production is one of the factors that encourage this sector by providing the best construction material, with physical properties that meet the requirements of the climate and the nature of the country.

The objective of this study is to identify the problems encountered by Sarl Ksal El Bayadh during its brick production, which are related to the effect of the chemical composition of clays on the quality of bricks.

This study has shown that the clay used is kaolinite clay that contains very high levels of calcite, as well as the presence of other mineral phases.

After the study, it is observed that the high levels of TiO_2 and CaO , along with the low level of SiO_2 , have a direct influence on the quality of the final product. Additionally, the poor quality of sand also contributes to this issue.

Keywords : brick, clay, kaolinite, calcite, mineralogical phase, TiO_2 , CaO , SiO_2

الملخص:

في الجزائر، يمثل قطاع البناء أحد القطاعات الأساسية من حيث التوظيف والإسكان. إن إنتاج الطوب يعد أحد العوامل التي تشجع هذا القطاع من خلال توفير أفضل مادة بناء، ذات خصائص فيزيائية تلبى متطلبات المناخ وطبيعة البلد.

هدف هذه الدراسة هو تحديد المشكلة التي تواجهها شركة كسال البيض في إنتاج الطوب والتي تعتمد على تأثير التركيبة الكيميائية للطين على جودة الطوب.

أظهرت هذه الدراسة أن الطين المستخدم هو طين كاولينيت يحتوي على نسب عالية جداً من الكالسيت، وكذلك وجود مركبات معدنية أخرى.

بعد الدراسة، نلاحظ أن نسب الـ TiO_2 و CaO العالية ونسبة الـ SiO_2 المنخفضة لها تأثير مباشر على جودة المنتج النهائي. وبالتالي، تؤثر سوء جودة الرمل على ذلك.

كلمات مفتاحية: طوب، طين، كاولينيت، كالسيت، مرحلة معدنية، SiO_2 ، CaO ، TiO_2