



MEMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences de la Matière

Filière : Physique

Spécialité : Physique des Matériaux

Thème

Elaboration et Caractérisation d'un Matériau à Base de la Paille

Présenté par :
Melle BERREBIB Soumia

Dirigé par :
Dr. ADJMI Samah

Jury de la soutenance :

Dr. MEHDAOUI Soumaya	Présidente	MCB	Université Chadli Bendjedid-Al Tarf
Dr. BOUTARFA Hayette	Examinatrice	MCB	Université Chadli Bendjedid-Al Tarf
Dr. ADJMI Samah	Rapporteur	MCB	Université Chadli Bendjedid-Al Tarf

Promotion : Juillet/2019

Remerciement

Je tiens, en premier lieu, à dire et écrire « Elhamdo li Allah » donc à remercier le bon Dieu, le tout puissant, de m'avoir donné autant de courage et de patience pour mener à terme ce présent travail.

Ce travail a été réalisé au Laboratoire de physico-chimie des matériaux à l'université Chadli Ben Djedid El-Tarf ainsi qu'au laboratoire des matériaux avancée à Annaba ; il faut signaler qu'un stage d'un mois est effectué au Laboratoire national de l'habitat et de la construction à Ain Assal.

*Mes premiers remerciements s'adressent à mon encadrante **Dr. Adjmi samah** je tiens à le remercier de m'avoir proposé ce sujet et me diriger toutes la période de préparation du mémoire, qui j'espère pouvoir transmettre ma gratitude pour ses conseils, ses encouragements et pour tous les efforts qui a fait pour moi. Merci à lui pour son disponibilité, pour les discussions très intéressantes que nous avons pu avoir.*

*Je remercie **Docteur Mehdaoui Soumia** pour avoir accepté de présider le jury de ce travail, ainsi que **Docteur Boutarfa Hayette** de L'université d'El-Tarf, qui m'a fait l'honneur d'être examinatrice de ce mémoire .*

J'exprime ma reconnaissance à tous mes enseignants de l'Université Chadli Bendejedid El-Tarf.

Je remercie tous ceux qui ont participé de près ou de loin pour pouvoir mener mon travail `à terme,

Un remerciement spécial à mes très chers parents – que Dieu les gardes -, à ma sœur et mes frères, qui m'ont toujours soutenu durant mes années d'études autant financièrement que moralement. Ce travail est le fruit coûteux de tout un parcours pour lequel je vous serais toujours débitrice. Je leur dois en partie ce que je suis aujourd'hui

Merci à tous !

Dédicace

À Mes Chers Parents

*Aucune Dédicace Ne Saurait Exprimer Mon Respect,
Mon Amour Eternel Et Ma Considération Pour Les Sacrifices Que Vous
Avez Consentis Pour Mon Instruction Et Mon Bien Etre.*

*Je Vous Remercie Pour Tout Le Soutien Et L'amour Que Vous Me
Portez Depuis Mon Enfance Et J'espère Que Votre Bénédiction
M'accompagne Toujours.*

*Que Ce Modeste Travail Soit L'exaucement De Vos Vœux Tant
Formules,*

Le Fruit De Vos Innombrables Sacrifices.

*Puisse Dieu, Le Très Haut, Vous Accorder Sante, Bonheur Et
Longue Vie Et Faire En Sorte Que Jamais Je Ne Vous Déçoive.*

Je Dédie Aussi Ce Travail A :

Mes Frères, Mes Sœurs Et Leur Famille.

Mes Oncles, Mes Tantes Et Leur Famille.

Tous Mes Cousins Et Cousines.

Tous Mes Amis, Mes Collègues Et Tous Ceux Qui M'estiment

Soumia

Liste des figures

Liste des tableaux

INTRODUCTION GENERAL.....[1]

CHAPITRE 1 : ETUDE BIBLIOGRAPHIE

1^{er} PARTIE

LES NANOMATERIAUX[3]

1.1. Définition[3]

1.2. Classification des nanomatériaux[3]

1.3. Propriétés des nanomatériaux.....[4]

1.3.1. Propriétés physique[5]

1.3.1.1. Energie et diffusion[5]

1.3.1.2. Expansion thermique[6]

1.3.2. Propriétés mécanique[7]

1.3.2.1. La dureté[7]

1.3.2.2. La ductilité[7]

2^{eme} PARTIE

L'ARGILE .PAILLE MATERIAUX DE CONSTRUCTION

1.4. Paille[8]

1.4.1. Description.....[8]

1.4.2. Domaine D'utilisation [8]

1.5. L'Argile [10]

1.5.1. Minéralogie..... [10]

1.5.2. Classification des minéraux argileux..... [12]

1.6. Conclusion [13]

CHAPITRE 2 : TECHNIQUE DE CARACTERISATION EXPERIMENTAL

2.1. Broyage mécanique a haute énergie (mécanosynthèse).....[14]

2.1.1. Le Principe de broyage mécanique à haute énergie.....[14]

2.1.2. Les Types de broyeurs.....[15]

2.1.2.1. broyeur attribier.....[15]

2.1.2.2. Broyeurs vibratoires.....[16]

2.1.2.3. Broyeur Horizontal[17]

2.1.2.4. Broyeur planétaire.....[17]

2.2. Structure du poudre	[18]
2.2.1. Les mélanges ductiles-ductiles.....	[18]
2.2.2. les mélanges ductiles-fragile	[18]
2.2.3. les mélange fragile- fragile	[18]
2.3. La température de broyage.....	[19]
2.4. Temps de broyage.....	[19]
2.5. .la Microscopie électronique à balayage.....	[19]
2.6 Analyse par diffraction des rayons x.....	[21]
2.6.1. Principe de la technique.....	[21]
2.6.2. Dispositif expérimental.....	[22]
2.6.3. Calcul des paramètres cristallins.....	[23]
2.6.4. Calcul de la taille des grains.....	[23]
2.7. Conclusion	[25]

CHAPITRE 3: RESULTATS EXPERIMENTAL ET DISCUSSION

3.1. Préparation de l'échantillon	[26]
3.2. Condition expérimental de broyage	[28]
3.3. Description du broyage fritsh P7.....	[28]
3.4. Etude morphologie	[29]
3.5. Analyse par diffraction du rayon X.....	[30]
3.5.1. Spectre de l'échantillon à t=0 et a t=1h.....	[30]
3.5.2. Spectre de l'argile purifiée	[33]
3.5.3. Spectre de l'argile brute	[34]
3.6. Conclusion	[35]

CHAPITRE 4: ESSAIS DE SRAGE AU L.N.H.C

4.1. Présentation de l'essai.....	[37]
4.2. Préparation de l'échantillon	[38].
4.3. Principe de l'essai.....	[38]
4.4.1 ^{er} Essai au niveau de layoun	[41]
4.5.2 ^{eme} Essai mélange terre paille	[43]
4.6. Conclusion	[45]

Conclusion général.....[46]

Référence bibliographique[48]

Résumé

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES

Figure	Titre	Page
Fig.1.1.	Représentation schématique des grains et joints de grains d'un nanomatériau	3
Fig.1.2.	Différents classe des nanomatériaux	4
Fig.1.3	Proportion d'atome en surface en fonction de la taille d'une particule	5
Fig.1.4.	Constitution d'un mur en paille porteuse	9
Fig.1.5.	Schéma d'un tétraèdre de silicium et d'une couche tétraédrique	11
Fig.1.6	Schéma d'un octaèdre d'aluminium et d'une couche octaédrique	11
Fig.1.7.	Schéma des modèles structuraux des différents phyllosilicates	12
Fig.2.1.	Principe de mécanosynthèse	15
Fig.2.2.	Broyeur attribier	16
Fig.2.3.	Broyeur vibratoire	16
Fig.2.4.	Broyeur horizontal	17
Fig.2.5.	Schématisation d'un broyeur planétaire. et de l'action des billes pendant le processus	18
Fig.2.6.	(a) Schéma des produitsdes interactions entre le faisceau d'électrons et la matière, (b) du volume concerné par chacune de ces interactions	20
Fig.2.7	Microscope électronique à balayage (MEB)	21
Fig.2.8	Principe de diffraction d'un faisceau de rayon X par les plans cristallins de distance interréticulaire d_{hkl}	22
Fig.2.9	Configuration du goniomètre en mode θ - θ : a) goniomètre utilisé b) principe	23
Fig.3.1.	la composition du matériau étudié	24
Fig.3.2.	Echantillon préparé à $t=0$	26
Fig.3.3.	Pourcentage des éléments	26

LISTE DES FIGURES

Fig.3.4	Le mélange après séchage (après 45jours)	27
Fig.3.5	Boite à gants	28
Fig.3.6	Broyeur planétaire	28
Fig.3.7	Représentation schématique d'un broyeur planétaire	29
Fig.3.8	Le mélange avant [a] et après une heure de broyage[b]	29
Fig.3.9	Evolution morphologique des particules de poudres du mélange broyé pendant une heure	30
Fig.3.10	Spectres EDX de poudres obtenues après 1h de broyage	30
Fig.3.11	Evolution des diffractogrammes des rayons X de la poudre du $Fe_{70}Si_{20}Al_{10}$ en fonction du temps de broyage	31
Fig.3.12	Superposition de la réflexion de Bragg de l'intense (102) pour les différents temps de broyage	31
Fig.3.13	Diffractogrammes RX de l'argile purifiée	33
Fig3.14	Diffractogrammes RX de l'argile brute	33
Fig.4.1	Image réel de la boite de cisaillement	37
Fig.4.2	Matériaux utilisé	38
Fig.4.3	Principe de l'essai	39
Fig.4.4	Machine de cisaillement	40
Fig.4.5	schéma de la disposition	40
Fig.4.6	Variation de la contraiante en fonction de la déformation	42
Fig.4.7	Courbe intrinsèque des sols $\tau = (\sigma)$	42
Fig.4.8	Variation de la contrainte en fonction de la déformation (terre paille)	43
Fig.4.9	Courbe intrinsèque $\tau(\sigma)$ (terre, paille)	44

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Titres	Pages
Tableau 1.1.	Avantages et inconvénients de la paille dans la construction	10
Tableau 1.2	Caractéristiques des quelques argiles	13
Tableau 3.1	Résume la composition de l'échantillon (sa masse totale est égale à 105g)	27
Tableau 3.2	Calcule du paramètre de maille	32
Tableau 3.3	Liste de pic de l'argile purifié	34
Tableau 3.4	Liste de pic de l'argile brute	35
Tableau 4.1.	Etude de sol argile consistance	41
Tableau 4.2	Lecture machine de cisaillement	41
Tableau 4.3	Etude du mélange argile paille sable	43
Tableau 4.4	La lecture sur machine	43

Les nanomatériaux sont constitués de structures élémentaires dont au moins une des dimensions est comprise typiquement, mais non exclusivement, entre 1 et 100 nanomètres (nm). Cette caractéristique dimensionnelle confère à ces matériaux des propriétés ou des comportements particuliers, utilisés notamment pour de nouvelles applications technologiques.

Les propriétés des nanomatériaux varient notamment selon leur composition chimique, leur taille, leur surface spécifique, l'état de surface, ou encore la forme du nano-objet considéré. De plus, chaque nanomatériau peut être doté d'une réactivité ou d'un comportement différent selon la formulation et la matrice du produit fini qui le contient.

En raison des nombreuses applications innovantes que laissent entrevoir ces propriétés physiques, chimiques ou biologiques, les nanomatériaux représentent un domaine de la recherche scientifique et technique en pleine expansion.

Les nanomatériaux ne sont plus seulement confinés dans les laboratoires de recherche, mais sont désormais intégrés dans de nombreux procédés industriels et participent à la composition d'une grande variété de produits ou systèmes utilisés dans la vie courante (crèmes solaires, textiles, aliments, domaine des transports, etc.). Ces nanomatériaux sont présents dans des secteurs aussi variés que le bâtiment, l'automobile, l'emballage, la chimie, l'environnement, l'énergie ou la santé.

Ces nanomatériaux sont dits manufacturés, car ils sont produits intentionnellement, et sont introduits dans l'environnement par l'homme. Ils doivent être distingués de l'ensemble des particules d'échelle nanométrique présentes par exemple dans le milieu ambiant naturel ou issues involontairement de divers processus industriels ou domestiques. Les particules ultrafines issues de combustion font par exemple quant à elles l'objet d'études relatives à leurs dangers spécifiques. L'étude des dangers et l'évaluation des risques associés aux nanomatériaux manufacturés s'avèrent nécessaires dans la mesure où ces objets sont produits en raison de leurs propriétés nouvelles et spécifiques.

Dans notre mémoire, nous avons intéressé sur les matériaux de construction durable car aujourd'hui plus que jamais nous devons songer à rein venter

Nos pratiques de construction ,en éliminant les matériaux de construction ayant un cout environnemental trop élevé et en inventant des nouvelles manières de construire intégrant un approche cycle de vie .par ailleurs, le bois, l'argile et la paille ont toujours été utilisés pour la construction .parmi les avantages de ces matériaux de construction durable est que le bois et la paille fixent le CO₂ , en plus la terre est un matériau actif qui sert a

INTRODUCTION GENERAL

régulation automatique de l'humidité ,a cette effet ,une étude expérimental a été réalisée dans le but de caractériser un matériau de construction à base de la paille .

Notre mémoire est composé de quatre chapitres dont :

Le premier chapitre présente une étude bibliographique sur les nanomatériaux et les matériaux de construction durable tels que la paille et l'argile.

Le deuxième chapitre explique les différents techniques de caractérisation utilisées dans cette étude tels que le DRX et le MEB.

Le troisième chapitre présente les résultats expérimentaux avec discussion et une comparaison avec d'autres travaux.

Le dernier chapitre contenant les résultats trouvés au niveau du laboratoire national d'habitat et de construction dans lequel un stage d'un mois a été réalisé.

Enfin nous terminerons par une conclusion générale dans laquelle les principaux résultats seront mentionnés.

CHAPITRE 1 :

ETUDE BIBLIOGRAPHIE

1^{ERE} PARTIE : LES NANOMATERIAUX

1.1 Définition

Les nanomatériaux sont des matériaux constitués d'un ou quelques dizaines de milliers d'atomes dont les dimensions ne dépassent pas 100 nm. La notion de nanomatériaux a réellement émergé lorsque les céramistes et métallurgistes ont constaté que l'affinement de la microstructure de leurs matériaux modifiait leurs propriétés [1].

Ce type de matériaux à structure nanométrique, selon la taille des grains, 30 à 50 % du volume est occupé par les joints de grains ou interfaces [2]. (Voir fig.1.1) Ce qui conduit à des propriétés spécifiques, ou à des propriétés différentes de celles du matériau classique à grains micrométriques. Ces changements concernent aussi bien propriétés mécaniques, optique, magnétiques et électrique [2].

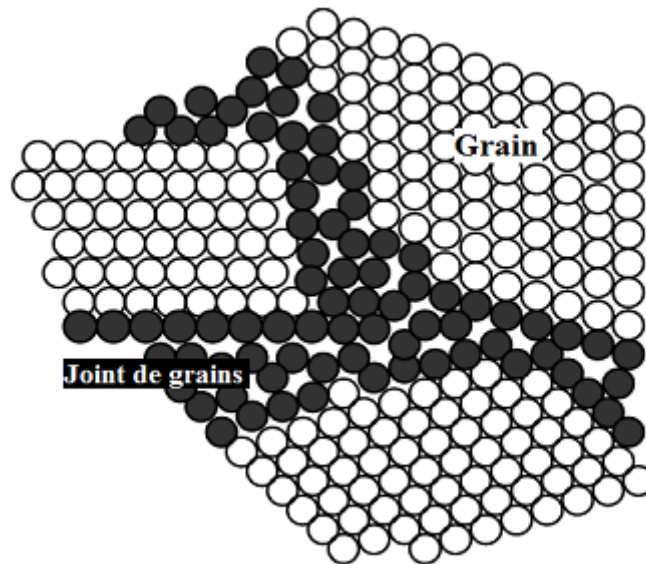


Fig.11.Représentation schématique des grains et joints de grains d'un nanomatériau[3]

1.2 Classification des nanomatériaux

Les nanomatériaux peuvent être classés, selon la dimension de leur nanostructure en quatre familles [5] ;(voir fig.1.2)

- **Matériaux de dimension 0** : les clusters d'atomes sous forme dispersée, aléatoire ou organisée.
- **Matériaux de dimension 1** : matériaux avec une structure lamellaire comme les nanofils ou les nanotubes.

- **Matériaux de dimension 2** : matériaux sous forme de couche mince, comme dans les dépôts d'agrégats ou de revêtements épais obtenus par projection plasma ou voie électrochimique.
- **Matériaux de dimension 3** : matériaux sous forme compacte comme dans les céramiques et les métaux nanostructurés.

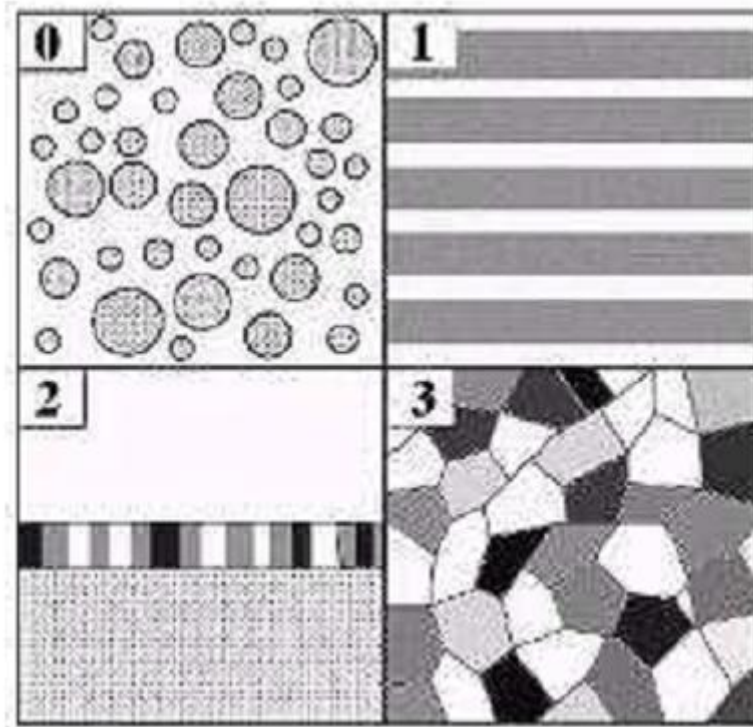


Fig.1.2. Différentes classe des nanomatériaux [5]

On peut également, classer les nanomatériaux selon leurs compositions chimiques, en quatre familles [6] : dans la première famille, toutes les cristallites et les régions interfaciales ont la même composition chimique. La seconde famille elle est constituée de cristallites de composition chimiques différentes. Quand la composition chimique des cristallites et des joints des grains est différentes, la troisième famille. Dans ce cas, un des atomes tend à ségréger préférentiellement dans la région intergranulaire. La quatrième famille est formée par des cristallites nanométriques sont dispersées dans une matrice de composition chimique différente [6]

1.3 Propriétés des nanomatériaux

Les structures nanométriques permettent alors d'obtenir de nouveaux matériaux présentant des propriétés physiques, mécaniques, électriques, magnétiques, optiques et

catalytiques particulières ou des combinaisons de propriétés originales, différant parfois des propriétés du même matériau à une échelle différente [5].

1.3.1 Propriétés physiques

La réduction de la taille des grains jusqu'à des dimensions de l'ordre des tailles caractéristiques des défauts qui gouvernent certaines propriétés comme les dislocations, les jonctions triples et les joints de grains, rend possible la compréhension et la maîtrise des phénomènes inexplicables à une échelle supérieure à 100 nm. La présence d'une importante proportion d'atomes dans les interfaces modifie la structure des matériaux nanocristallins et par conséquent, l'ensemble de leurs propriétés physiques [5].

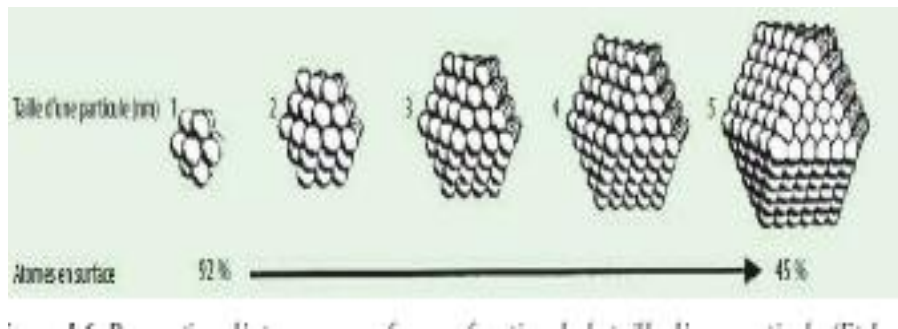


Fig.1.3. proportion d'atome en surface en fonction de la taille d'une particule [5].

1.3.1.1 Energies et diffusion

Les propriétés thermodynamiques et cinétiques des nanomatériaux sont essentiellement gouvernées par les joints des grains. Les énergies de surface ne sont plus négligeables vis à vis des énergies de volume d'où, l'introduction du terme de tension superficielle dans l'expression de l'enthalpie libre [5] :

$$G^* = G - 4\gamma_s \frac{V}{L}$$

Où

V est le volume atomique ;

L est la taille des grains

γ_s , l'énergie superficielle du grain fonction de son environnement.

Cette énergie est une fonction qui croit lorsque L décroît. Alors, l'ensemble des propriétés, liées à l'énergie du matériau, tels que la chaleur spécifique, le module d'élasticité et le coefficient de dilatation reflètent l'image d'une énergie plus réduite [5].

Les énergies d'activation de la diffusion dans les nanocristaux sont environ trois fois plus faibles que celles dans les cristaux micrométriques. Ainsi, à cause de la grande mobilité aux joints, la croissance des grains se fait à des températures relativement faibles mais la présence d'impuretés limite cette croissance par effet d'ancrage des joints, ce qui entraîne

une réduction de leur énergie et de la force motrice thermodynamique de la croissance des grains [7].

L'augmentation de la diffusivité peut avoir un effet significatif sur les propriétés mécaniques telles que la superplasticité, l'habilité de doper efficacement les nanomatériaux à des températures plus ou moins basses et surtout le pouvoir de synthétiser des matériaux contenant des éléments immiscibles à des températures plus basses que celles requises pour les matériaux à gros grains. Ceci est dû à l'augmentation de la limite de solubilité à l'état solide. L'élévation de la diffusivité est souvent attribuée à la présence de la porosité dans les échantillons consolidés [8]

1.3.1.2 L'expansion thermique

Ce coefficient des matériaux nanocristallins est plus grand que celui des matériaux à des grains micrométriques à cause du grand volume interfacial présent dans les nanomatériaux.

En effet, la mesure de la valeur du coefficient thermique du Cuivre nanocristallin, de taille de grain égale à 8 nm préparé par condensation sous gaz inerte, est de l'ordre de $31 \cdot 10^6 \text{K}^{-1}$; cette valeur égale deux fois celle du cuivre monocristallin [9]. Pour le Nickel nanocristallin électrodéposé, le coefficient d'expansion thermique est presque le même que celui du nickel polycristallin dans le domaine de température 140-500 K [10].

1.3.2. Propriétés mécaniques

Les propriétés mécaniques des nanomatériaux peuvent être affectées par les jonctions triples, les pores et les impuretés [5]. La réduction de la taille des grains affecte fortement les propriétés mécaniques [11].

1.3.2.1 La dureté

La dureté qualifie la capacité d'un matériau à résister à la déformation, les méthodes d'essais pour déterminer la dureté sont : l'essai brinelle, l'essai de rochwelle, l'essai de vickers et l'essai de shore

L'augmentation de la dureté a été observée dans les nanomatériaux préparés par mécanosynthèse et par électrodéposition [12-13]. Pour le cuivre et le palladium nanocristallin, préparés par condensation, dont les tailles des grains varient entre 3 et 50 nm, la dureté a augmenté d'un facteur de 2 à 5 fois [14].

1.3.2.2 La ductilité

En résistance des matériaux, la ductilité désigne la capacité d'un matériau à se déformer plastiquement sans se rompre ; par exemple ; l'or est un matériau très ductile fins donc il présente un allongement important avec une grande ténacité

L'intérêt porté aux nanomatériaux réside dans la possibilité de combiner une résistance mécanique et une ductilité élevées ; cette combinaison ouvrirait des perspectives intéressantes en termes de formabilité ou d'application sous contrainte. Afin d'associer ces deux propriétés, il faut une modification microstructurale des matériaux préparés qui vise l'influence de la nature des joints de grains sur la ductilité et une répartition bimodale de la taille des grains qui permet, également, de retarder l'apparition de la striction [15]

2^{EME} PARTIE : L'ARGILE, PAILLE : DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION

Aujourd'hui, dans fabricants, dans entrepreneurs, dans architecture et dans chercheurs proposent de redonner à l'architecture ses lettres de noblesse en adaptant les techniques traditionnelles en utilisant la paille et l'argile

1.4 .Paille

La paille est un sous-produit des cultures de céréales à grains constitué de la tige de céréales (blé, orge, riz, ...) coupées et dépouillées de leur grain (la paille est un matériau écologique fragile)

1.4.1 .Description

La paille de céréales, généralement de blé ou de seigle, est un coproduit de culture qui trouve des applications en construction sous des formes variées : en vrac, en petites bottes de moyenne densité ou en grandes bottes de haute densité, ou encore sous forme de panneaux compressés. Ses nombreuses qualités en font un matériau d'éco-construction par excellence : matière végétale, faible industrialisation, coût réduit, excellentes propriétés isolantes, ... Née aux Etats-Unis au milieu du XIX^e siècle avec l'apparition des botteuses mécaniques, elle a peu à peu été oubliée jusqu'à sa réapparition dans les années 1970.

1.4.2 .Domaine d'utilisation

La paille en vrac est généralement utilisée en mélange avec de la terre en plus ou moins grande proportion :

Dans la technique du torchis traditionnel où la proportion de la paille est faible par rapport au pourcentage de la terre.

Dans la technique dite « terre-paille » en revanche, la paille, qui est l'élément majoritaire, est liée avec une barbotine de terre argileuse, puis le mélange est compacté entre coffrages. Cette technique est majoritairement utilisée en remplissage de murs entre ossatures bois, et permet de combiner les qualités d'inertie et de régulation hygrothermique de la terre avec le caractère isolant de la paille (qui peut néanmoins être insuffisant si le mélange est trop lourd, c'est à dire trop riche en terre).

La paille en bottes est également utilisée dans différentes techniques constructives :

- La technique « Ossature bois », la plus courante, est dérivée de la construction

bois contemporaine, l'isolant classiquement utilisé étant remplacé par des bottes de paille dans les murs, toitures ou planchers. Cette technique peut être effectuée en atelier afin de réaliser des panneaux préfabriqués, qui seront ensuite acheminés et montés sur chantier pour constituer les parois.

- La technique « CST » (Cellule Tous Tension) utilisée pour la réalisation des murs, où les bottes généralement enduites d'une barbotine de terre crue et comprimées dans une ossature bois légère assurent à la fois un rôle contreventant et isolant, et partagent avec l'ossature bois un rôle porteur
- La technique « GREB », du nom du Groupe de Recherches Ecologiques de la Baie, qui a initié cette technique, dans les années 1990 au Québec. Elle consiste à construire une double ossature légère en bois, fixée sur des soubassements adaptés ou sur une fondation conventionnelle isolée, pour y installer les ballots de paille enrobés d'un mortier léger. Le mortier, coulé dans un coffrage autour des bottes, protège totalement la paille de l'extérieur tout en donnant un mur d'aspect régulier pouvant recevoir ensuite des finitions multiples. Le rôle porteur est également partagé avec l'ossature bois
- La technique « paille porteuse » (voir la figure ci-dessous), encore appelée Nebraska en raison de son origine, consiste à réaliser les murs sans ossature, par empilement de bottes de paille en quinconce qui seront ensuite compressées à l'aide de sangles et du poids du toit. Les bottes sont d'une densité plus élevée que les petites bottes et de grosses bottes peuvent être utilisées.

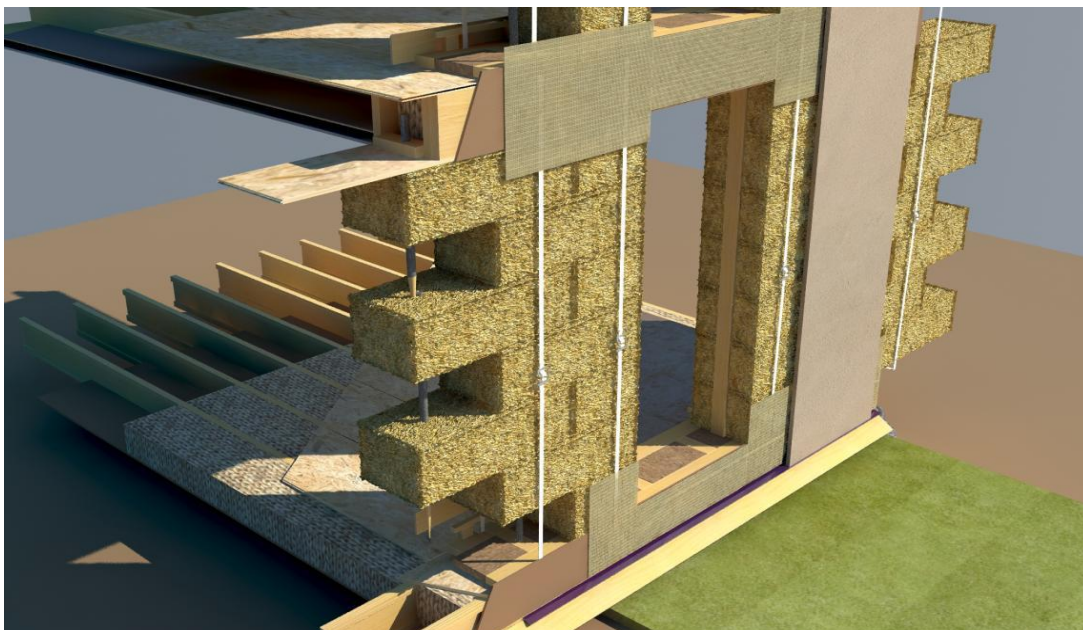


Fig1.4. Constitution d'un mur en paille porteuse

De par la nature du matériau paille très sensible à l'humidité, ces différentes techniques nécessitent d'apporter un soin tout particulier à certains détails constructifs tels l'étanchéité en bas de mur afin de protéger la paille des remontées capillaires, ou encore la gestion des tours de baies, particulièrement sur les façades enduites.

Dans le tableau ci-dessous on classe les avantages et les inconvénients de la paille :

Tableau 1.1. Avantages et inconvénients de la paille dans la construction

Avantage(s)	Inconvénient(s)
<ul style="list-style-type: none"> • Capacité d'isolation thermique et de déphasage. • Capacité de régulation hygrothermique. • Excellent bilan environnemental. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensibilité à l'humidité.

1.5 L'argile

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 [16].

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 [16].

1.5.1 Minéralogie

Les argiles sont des minéraux alumino-silicatés, le plus souvent de la famille des Phyllosilicates qui sont formés par l'empilement de feuillets élémentaires de très faible épaisseur (de 7 à 14 nm) [17].

Les feuillets sont constitués par l'association de deux à trois unités de base [18,19] : Des tétraèdres formés de quatre atomes d'oxygène équidistants munis au centre d'un atome de silicium ou d'aluminium

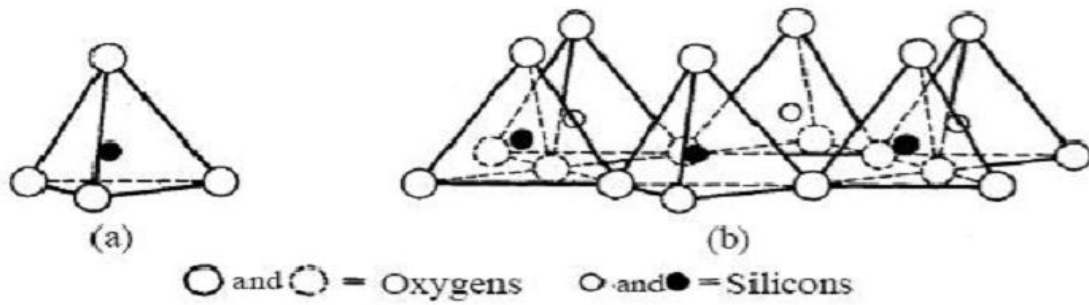


Figure 1.5 Schéma (a) d'un tétraèdre de silicium, et (b) d'une couche tétraédrique d'après Grim (1968) [25].

Des octaèdres formés de six atomes d'oxygène ou d'hydrogène munis au centre d'un atome d'aluminium ou de magnésium (Fig. I.4)

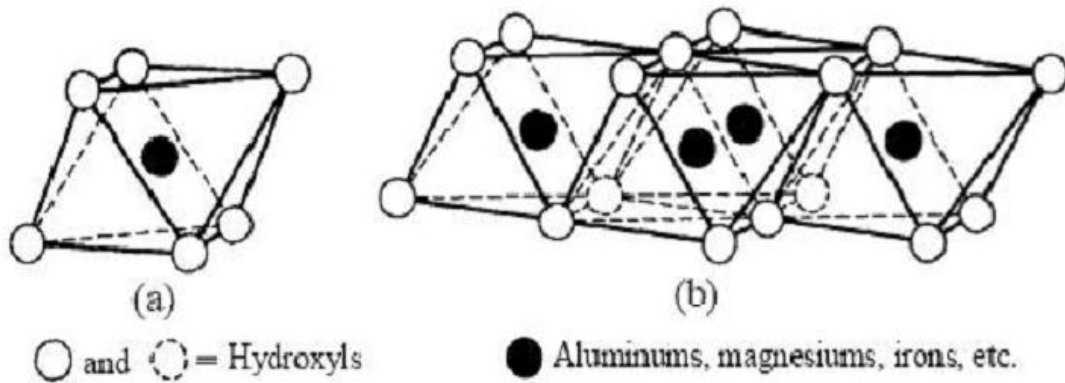


Fig.1.6. Schéma (a) d'un octaèdre d'aluminium et (b) d'une couche octaédrique d'après Grim (1968) [25].

Suivant le type d'argile, les particules se composent d'un nombre variable de feuillets. Les feuillets présentent une charge électrique dont l'origine et l'intensité expliquent en partie les comportements spécifiques des différents minéraux argileux (notamment les propriétés d'hydratation et de gonflement). En effet, des substitutions isomorphes se produisent fréquemment dans les feuillets; les cations situés au centre du réseau cristallin peuvent être remplacés par des cations de plus faible valence du milieu (dans les tétraèdres substitution du silicium Si^{4+} par de l'aluminium Al^{3+} et dans les octaèdres substitution l'aluminium Al^{3+} par du magnésium Mg^{2+}). Ces substitutions confèrent une charge négative aux feuillets. Cette charge est compensée par des cations (Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} le plus souvent) qui se placent à la surface des feuillets afin de ramener l'électro-neutralité [17, 19, 20].

1.5.2 Classification des minéraux argileux

Les minéraux argileux peuvent se classer en trois principaux types [22]

- Les minéraux de type 1 : 1 ou (ou T-O) à une couche d'octaèdre (O) et une couche de tétraèdre (T).
- Les minéraux de type 2 : 1 (ou T-O-T) à une couche d'octaèdre (O) encadrée par deux couches tétraédriques.
- Les minéraux de types 2 : 1 : 1 (ou T-O-T-O) à une couche d'octaèdres encadrée par deux couches tétraédriques, et un inter feuillet constitué par une couche d'octaèdres. (voir fig1.6)

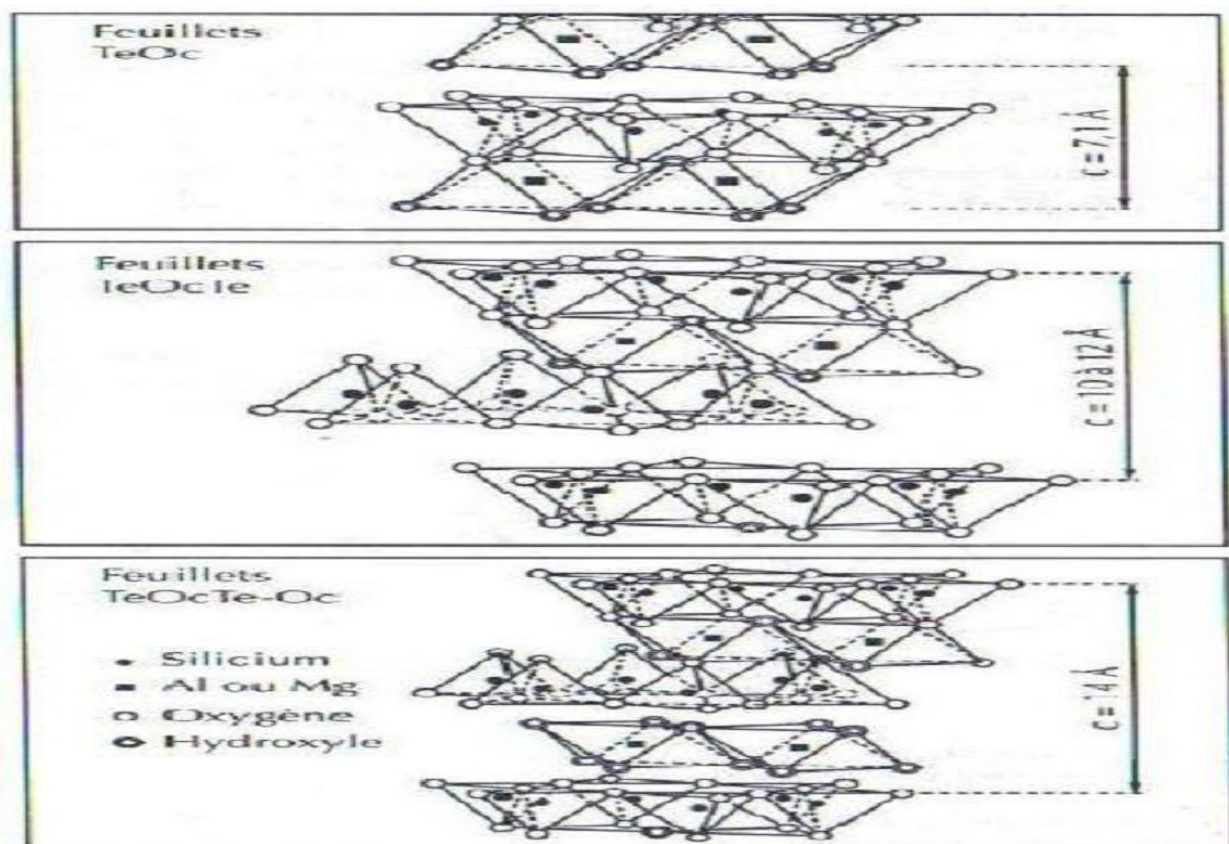
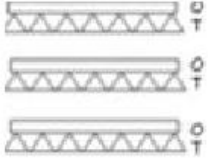
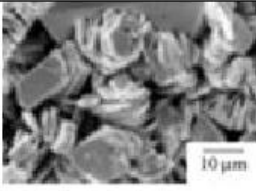
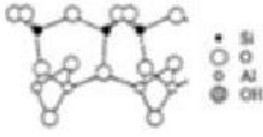
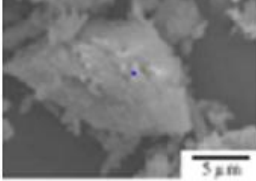
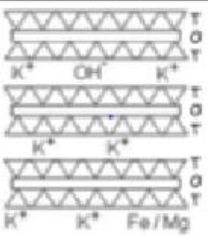
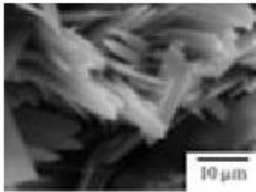
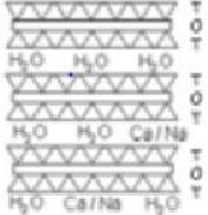
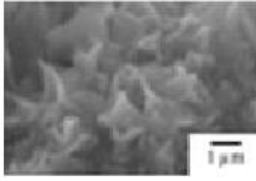


Figure 1.7. Schéma des modèles structuraux des différents phyllosilicates [23].

Tableau1.2 Caractéristiques des quelques argiles [24]

Argile	Type	Structure	Observation MEB	S _{BET} totale (m ² /g)	pH naturel
Kaolin	1 :1			10	4,8
Métakaolin	-			17	4,7
Illite	2 :1			100-175	8,0
montmorillonite	2 :1			700-800	8,0

1.6 Conclusion

Nous concluons, d’après l’étude bibliographique sur les nanomatériaux de construction durable tels que la paille et argile, que construction par ce genre de matériaux ayant un cout environnemental trop faible (pratiquement gratuit) et qu’il présente dans avantages tels que

- la paille fixe le co2
- la terre (l’argile) est un matériau actif
- économie local

CHAPITRE 2 :
TECHNIQUES
DE CARACTERISATION
EXPERIMENTAL

Dans ce chapitre, les techniques de caractérisation utilisées dans ce mémoire ont été élaborées, en commençant par la technique de broyage et puis l'analyse par diffraction du rayon X et le microscope électronique.

2.1 Broyage à haute énergie (Mécanosynthèse)

Deux termes sont couramment utilisés dans la littérature anglo-saxonne pour désigner le processus de broyage à haute énergie: «mechanical alloying » qui est la mécanosynthèse proprement dite, puissant outil permettant la production de poudres nanostructurées métastables à partir d'un mélange de poudres élémentaires (les poudres initiales ont une composition différente de celle du produit), et « mechanical milling ou grinding » qui est la mécanosynthèse «directe», broyage mécanique non réactif qui consiste à confiner des poudres (de métal pur, intermétallique, ou alliages) de composition stoechiométrique pour obtenir un matériau nanostructuré non nécessairement homogène [26].

Le broyage mécanique haut énergie est une technique puissante pour le mélange de poudres d'éléments purs ou combinés atteignant l'échelle atomique. Le processus de synthèse par broyage est décrit comme étant une succession d'évènements au cours desquels les particules se fracturent puis se ressoudent, ce qui permet la formation de structures plus fines dans lesquelles prennent place des réactions à l'état solide jusqu'à l'obtention d'un produit final ayant la même composition que le mélange initial [27].

2.1.1 Le principe de broyage mécanique à haute énergie

Le principe de broyage mécanique à haute énergie consiste à agiter une jarre contenant des billes d'acier non oxydable et de la poudre qui peut être un mélange de poudres d'éléments purs ou de poudres d'un pré-alliage. Grâce à la force centrifuge et sous l'effet des collisions répétées des billes entre elles et des billes avec la paroi de la jarre, le composé va être fracturé jusqu'à l'obtention de particules de dimension nanométrique [28].(voir fig(2.1))

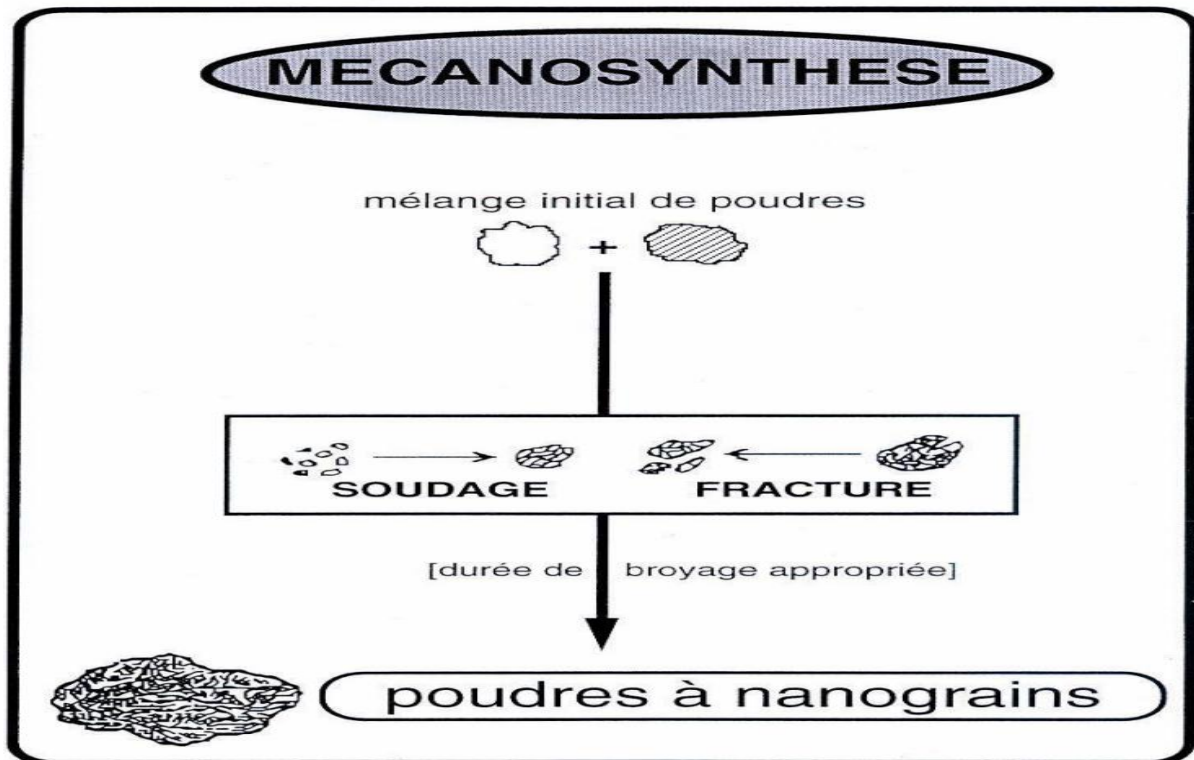


Fig. 2.1 Principe de mécanosynthèse [29].

2.1.2 Les Types de broyeurs

Il existe différents types de broyeurs qui peuvent être utilisés comme le broyeur attriteur, où les billes sont mises en mouvement par l'intermédiaire de palettes en rotation, ou encore le broyeur vibrant où le mouvement des billes est provoqué par des vibrations haute fréquence et le broyeur planétaire, où le mouvement des billes résulte de la rotation de la jarre [28].

2.1.2.1 broyeur attriteur

Les broyeurs de ce type sont constitués d'une cuve cylindrique munie d'un arbre tournant vertical sur lequel sont fixés des bras horizontaux entraînant les billes dans leur mouvement (voir Fig 2.2). Le broyage s'effectue par impact et par cisaillement. Les attriteurs utilisent des billes plus petites (quelques millimètres) et des vitesses de rotation (de l'arbre) nettement plus grandes (60 à 400 tr/min) que les broyeurs tambour.

Pour les matériaux durs (céramiques, carbures ou métaux durs), les attriteurs sont plus efficaces que les broyeurs tournants ou vibrants. Dans des mélanges de carbure de tungstène et de cobalt utilisés pour la fabrication d'outils coupants, ils permettent d'obtenir rapidement

une poudre très fine ($< 1\mu\text{m}$) avec une excellente répartition du cobalt. Ces broyeurs peuvent aussi être utilisés pour broyer des poudres métalliques sous atmosphère inerte [29].

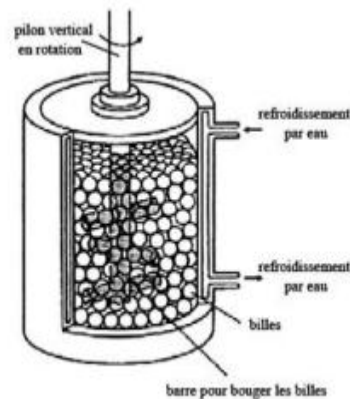


Fig.2.2 . Broyeur attriteur[29]

2.1.2.2 Broyeurs vibratoires

Fonctionnement de ce broyeur est basé sur un mouvement vibratoire à haute fréquence d'un cylindre contenant la poudre et les billes [30]. Ce dernier peut traiter une certaine quantité de poudre dans un temps relativement court.

Ils se présentent le plus souvent sous la forme d'un cylindre à axe horizontal animé d'un mouvement vibratoire. Les mouvements des billes et des particules de poudre dépendent de nombreux facteurs, dont la fréquence et l'amplitude de vibration, la courbure des parois de l'enceinte.

Les forces d'impact dépendent également de la masse des éléments broyant. Un broyage très énergétique peut être obtenu en utilisant des fréquences élevées et des amplitudes faibles. Les billes utilisées sont généralement plus petites que dans un broyeur à tambour. Ces broyeurs très énergétiques sont très efficaces pour produire des alliages à l'état solide et des métaux renforcés par dispersion d'oxydes [29].

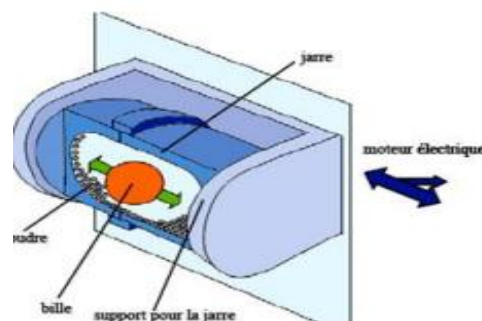


Fig.2.3. Broyeur vibratoire[29]

2.1.2.3 Broyeur Horizontal

Dans un tel type de broyeur, les poudres et les billes (on utilise parfois des barreaux, à la place des billes), sont mis dans un cylindre de diamètre supérieur à un mètre en général (voir fig 2.4). Le cylindre tourne autour de son axe central à une vitesse de rotation inférieure à la vitesse critique qui correspond au collage des billes (ou des barreaux) contre la surface intérieure du cylindre. Les broyeurs horizontaux permettent de traiter une grande quantité de poudre de l'ordre de 1 tonne avec un ajout de 10^6 billes (avec une masse de 10 tonnes). Cependant, ce broyeur est aussi bien adapté à la production industrielle que pour la recherche et développement [29].

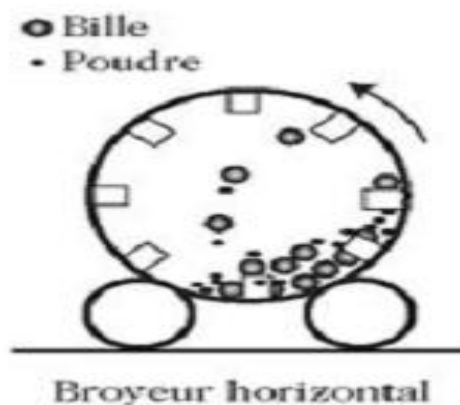


Fig.2.4. Broyeur horizontal[29]

2.1.2.4 Broyeur planétaire

Dans ces types de broyeurs connus comme broyeurs centrifuges, les jarres dans lesquelles on place des billes de 1 ou 2 cm de diamètre avec la poudre, sont fixées sur des satellites tournants, dans lesquels sont montés sur un plateau tournant. Les jarres de rayon r tournent avec une vitesse angulaire ω , le plateau de rayon R tourne avec une vitesse Ω . Le broyage agit soit par chocs, soit par frottements. Hors chauffage extérieur, la température moyenne du des jarres est comprise entre 50 et 120 °C, suivant la vitesse des billes; l'élévation locale de température est comprise entre 60 et 300 °C. Pour éviter que l'échauffement soit trop important, le broyage est en général réalisé en plusieurs cycles interrompus par des périodes de repos. Généralement, l'état stationnaire est stabilisé après 24 h à 100 h de broyage, suivant les matériaux broyés [31].

Les broyeurs planétaires les plus utilisés dans les laboratoires sont de type Fritsch pulvérisette (c'est-à-dire, capable de pulvériser et de réduire un solide en poudre ou en fines parcelles) P7, P6, P5 et P4.

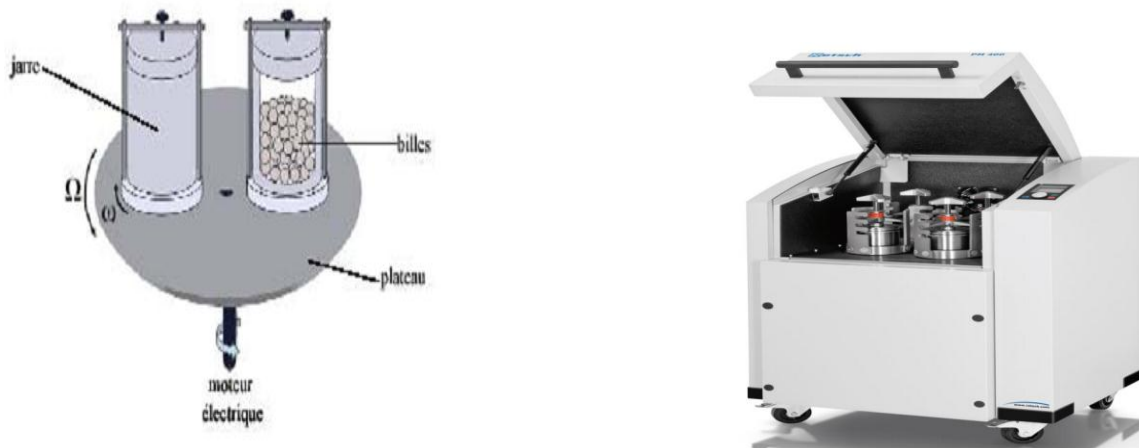


Fig .2. 5 . schématisation d'un broyeur planétaire [31] et de l'action des billes pendant le processus

Pour cette étude, nous avons utilisé le broyeur de type planétaire

2.1.3. la structure du poudre

La structure et la taille des particules des poudres broyées dépendent des propriétés mécaniques des poudres initiales. On distingue trois types de mélanges de poudres.

2.1.3.1. Les mélanges ductiles-ductiles

Le broyage de poudres ductiles-ductiles conduit à la formation d'une structure lamellaire alternée des éléments de départ durant les premières heures. Au cours du broyage, les déformations plastiques réduisent les différences entre les lamelles jusqu'à ce qu'elles ne soient plus détectables. Le broyage prolongé conduit à l'homogénéisation de la taille des particules[34].

2.1.3.2. Les mélanges fragiles-fragiles

Dans ce type de mélange, on s'attend à ce que le broyage ne conduise qu'à une réduction de la taille des particules sans mélange réel des éléments. Cependant certains cas des solutions solides d'éléments fragiles ont pu être élaborées[34].

2.1.3.3. Les mélanges ductiles-fragiles

Durant le broyage, les particules fragiles sont fragmentées et les fragments formés se mélangent aux particules ductiles. Une fine dispersion de la phase fragile dans La matrice ductile est réalisée si les particules fragiles ne sont pas solubles dans la matrice [34].

2.1.4. L'intensité de broyage

C'est un paramètre important en mécanosynthèse. L'intensité de broyage est une mesure de l'énergie de broyage qui est directement proportionnelle à la puissance générée au cours du processus de mécanosynthèse. Comme les particules de poudres sont sujettes à une grande énergie de collision, le produit final est influencé par l'intensité de broyage [35].

2.1.5. La température de broyage

La température a une influence sur le processus de formation du produit final. Une température élevée favorise l'augmentation de la taille des cristallites mais réduit leurs contraintes et la solubilité à l'état solide [34]. Il existe une différence entre la température des billes et celle de la paroi, de la jarre ainsi que pour les poudres ductiles et fragiles [34], la température dépend essentiellement du type de broyeur et des paramètres de broyage [33].

2.1.6. Temps de broyage

Le temps de broyage est un paramètre très important. Il est choisi de façon qu'un état stationnaire entre les phénomènes de fracture et de soudage des particules de poudre soit atteint à la fin du processus. L'état stationnaire signifie que la composition de chaque particule est proche de celle du mélange des poudres de départ [32].

2.2..La microscopie électronique à balayage

La microscopie électronique à balayage est une méthode qui permet l'observation d'un Échantillon à des grossissements qu'on ne peut pas atteindre en microscopie de lumière visible (de 35 à 100 000), avec une profondeur de champ importante ce qui permet l'observation d'échantillons rugueux [37].

La microscopie électronique à balayage repose sur l'irradiation de l'échantillon par un faisceau d'électrons focalisés d'énergie de quelques keV (5 à 20 keV) et la détection d'électrons réémis par l'échantillon. Le faisceau d'électrons étant très facilement arrêté, l'analyse doit être menée dans une chambre sous vide avec tous les inconvénients que cela peut comporter : limitation de la taille d'échantillon, problèmes de charge avec les échantillons isolants. Les interactions qui se produisent lors de l'irradiation d'un échantillon par un faisceau d'électrons sont de plusieurs sortes [37]. "Figure.2.6"

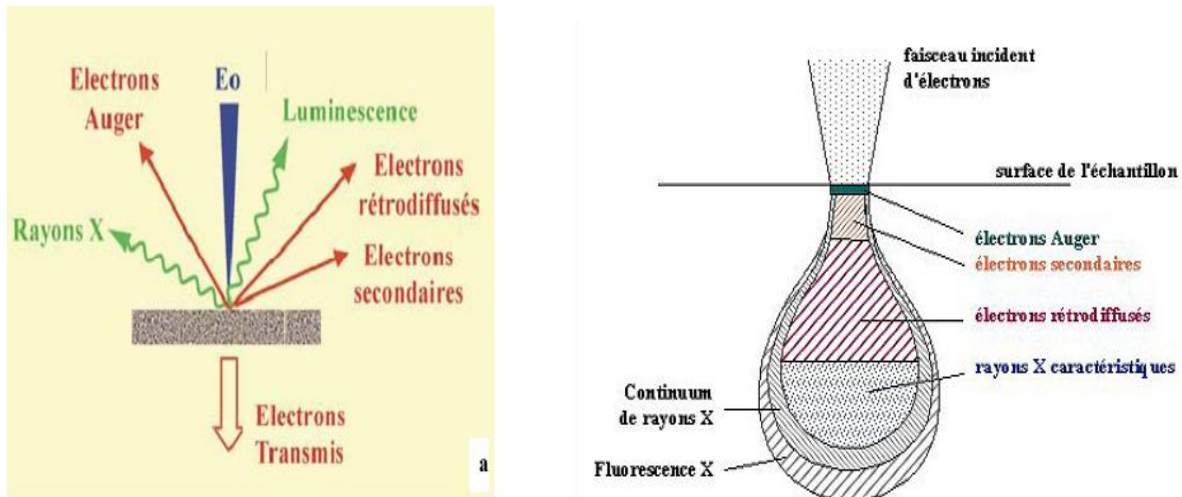


Figure.2.6. (a) Schéma des produits des interactions entre le faisceau d'électrons et la matière, (b) du volume concerné par chacune de ces interactions

L'émission d'électrons secondaires (SE) résulte de l'ionisation des atomes de l'échantillon par le faisceau d'électrons et constitue la première source de contraste électronique. Ces électrons arrachés aux atomes par le faisceau sont de faible énergie (< 50 eV) et ont donc un libre parcours moyen dans la matière très faible (10 nm). L'image formée par ce signal donnera donc des informations de nature topographique avec une grande résolution spatiale, il est utilisé dans notre cas pour une observation globale des échantillons, particulièrement la morphologie du support oxyde. Le métal étant en faible quantité et dispersé [37].

La deuxième grande source de contraste de l'imagerie électronique est constituée par les électrons rétrodiffusés (B.S.E. : Back Scattering Electron) à la suite d'interactions entre l'électron incident et les champs coulombiens des nuages électroniques des atomes de la cible. Ces électrons proviennent d'un volume plus important autour du point d'impact (taille caractéristique 100 nm) du fait de leur plus grande énergie. Le contraste de l'image obtenue par la détection de ces électrons est topographique dans une faible mesure mais et surtout un contraste dit atomique ou de composition, car il est fonction du nombre de charges des atomes présents dans le pixel irradié. En effet, le rendement de rétrodiffusion augmente de façon monotone avec le numéro atomique des atomes cibles [37].

Enfin l'échantillon irradié émet également des photons (sur un domaine qui s'étend du visible aux rayons X) qui proviennent des réarrangements du cortège électronique des atomes après une ionisation [37].



Figure.2.7. Microscope électronique à balayage (MEB)

2.3. Analyse par diffraction des rayons X

La caractérisation par diffraction de RX permet d'une part de compléter les informations obtenues par la microscopie électronique à balayage en ce qui concerne la formation des alliages et d'autre part d'étudier l'influence de l'ajout de Si sur les propriétés structurales et microstructurales des alliages nanostructurés élaborés. En plus de la détermination des phases en présence, l'analyse du profil des raies de diffraction permet de déterminer la taille moyenne des cristallites ainsi que les distorsions de réseau (ou microdéformations)[38].

2.3.1. Principe de la technique

La diffraction des rayons X est une technique non destructive permettant de caractériser des matériaux monocristallins et polycristallins sous forme de poudres, massifs ou en couches minces. Cette technique consiste à éclairer un cristal avec un faisceau de rayons X sous un angle d'incidence θ : ce faisceau est diffusé dans toutes les directions par les électrons des atomes du cristal, en conservant la même longueur d'onde (diffusion Thomson). Pour que l'intensité du rayonnement X réémise dans une direction donnée soit détectable, il faut noter que les rayonnements diffusés dans cette direction par les atomes du cristal soient en phase (interférences constructives): ils forment ainsi un faisceau diffracté (voir la figure II. 5). Cette condition de diffraction vérifie la loi de Bragg qui s'exprime sous la forme [36]

$$2d_{hkl} \cdot \sin(\theta) = n \cdot \lambda$$

Où :

θ est l'angle de Bragg,

n est appelé ordre de diffraction ;

λ est la longueur d'onde des rayons X ;

d_{hkl} est la distance interréticulaire ;

h, k et l sont les indices de Miller.

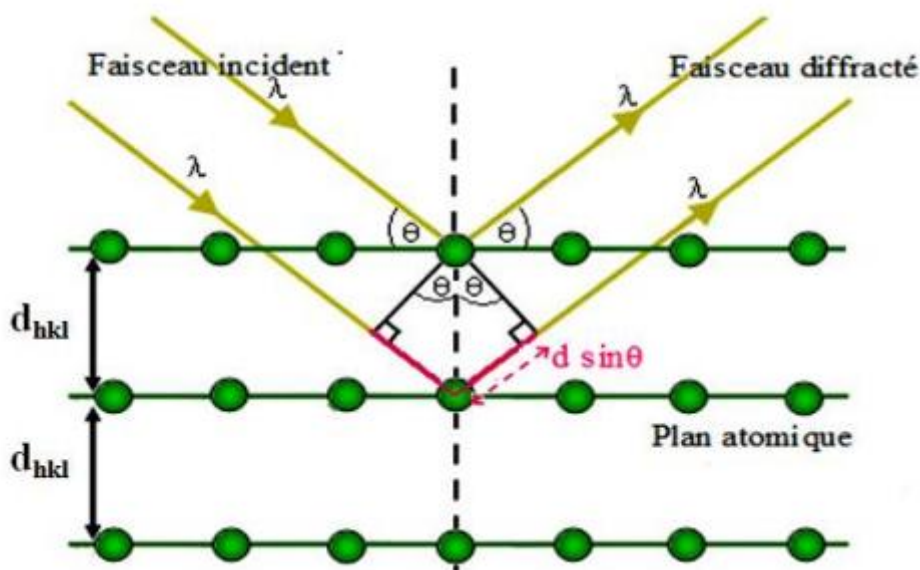


Fig .2.8.Principe de diffraction d'un faisceau de rayon X par les plans cristallins de distance interréticulaire d_{hkl}

2.4 Dispositif expérimental

Le diffractomètre utilisé est muni d'un goniomètre vertical de mode θ - θ (Fig. II.6). Ce mode permet de travailler en gardant l'échantillon immobile et faire varier symétriquement la position du tube à rayon X et du détecteur d'un angle θ . L'appareil est muni d'un codage optique permettant la lecture directe de la position angulaire sur le bras du goniomètre. Il permet de balayer une gamme d'acquisition comprise entre 10° et 140° avec une précision angulaire absolue de 0.0025° .

Ce diffractomètre est muni d'un tube à rayon X avec une anticathode en cuivre, d'un filtre monochromateur [39].

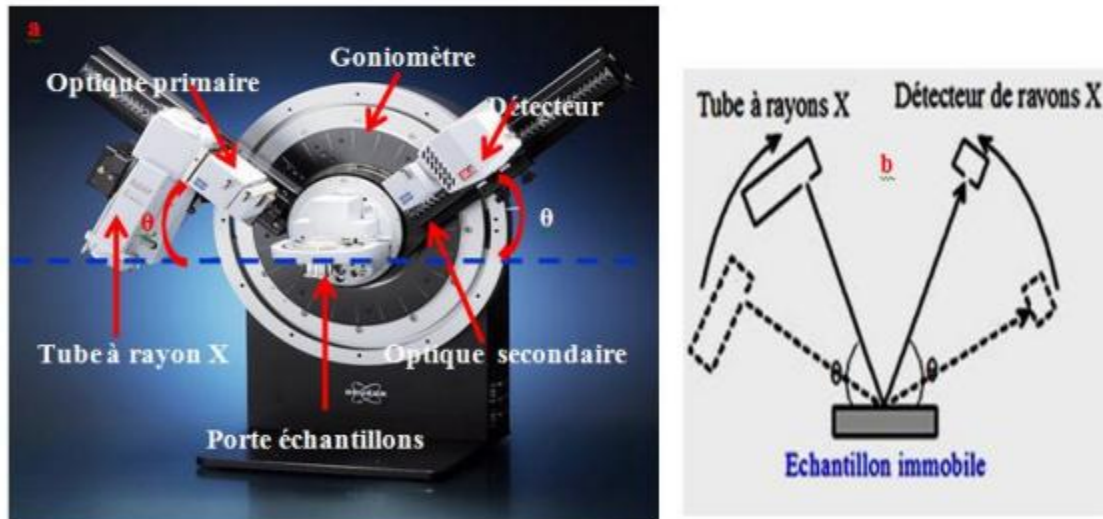


Fig. 2.9 .Configuration du goniomètre en mode θ - θ : a) goniomètre utilisé b) principe

2.3.3 Calcul des paramètres cristallins

Pour chaque type de structure cristalline la connaissance de la position de chaque pic et des indices (h, k, l) des plans diffractant associés permet de calculer les paramètres de maille moyens. Par exemple, le paramètre de maille des matériaux de structure cubique est relié aux indices (h, k, l) et à la position des pics $d_{h,k,l}$ [40] par la relation suivante

$$d_{hkl} = \frac{a}{(h^2 + k^2 + l^2)^{1/2}} \quad (II.2)$$

Où

a : est le paramètre de maille.

(hkl) : les indices de Miller pour le plan considéré.

La combinaison des équations II.1 et II.2 rend possible le calcul des paramètres de maille pour les deux systèmes :

$$d_{hkl} = \frac{n\lambda}{2\sin\theta} = \frac{a}{(h^2 + k^2 + l^2)^{1/2}} \quad a = \frac{n\lambda(h^2 + k^2 + l^2)^{1/2}}{2\sin\theta}$$

2.3.4 Calcul de la taille des grains

P. Sherrer est le premier en 1926 à énoncer que l'élargissement des raies de diffraction est dû principalement à la taille des cristaux [41]. En 1949, F. Bertaut propose de décrire le matériau comme un ensemble de Domaines Cohérents de Diffraction (DCD) à l'intérieur des particules [42],[43].

En général, la taille des cristallites est déterminée en mesurant la largeur à mi-hauteur du pic de Bragg de l'intensité maximale et en utilisant, en première approximation, la formule de Scherrer qui s'écrit [44].

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos\theta}$$

D: taille moyenne de cristallites.

λ : Longueur d'onde des rayons X.

θ : Angle de diffraction.

K: constante (K=0.9).

β : est la largeur à mi-hauteur.

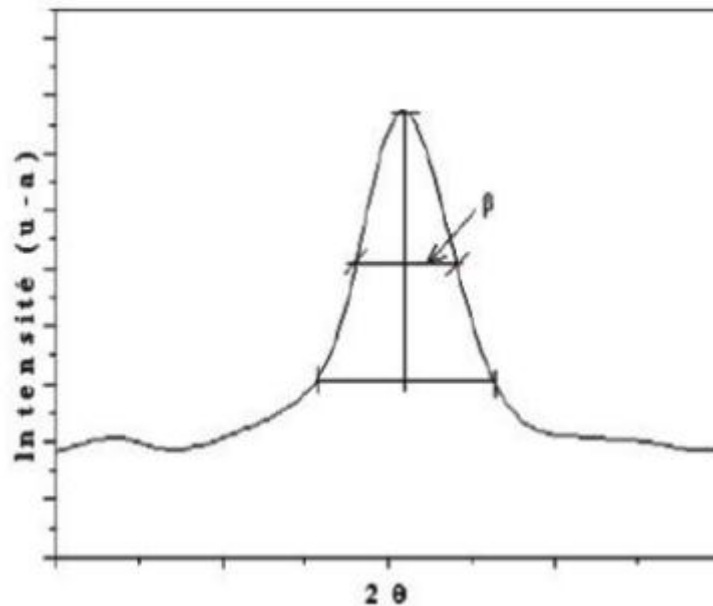


Fig.2.10.Illustration d'un pic de DRX

2.4 Conclusion

L'élaboration par la technique appelée mécanosynthèse a permis de synthétiser des nanopoudres ultrafines de mélange. Pour cette étude, nous avons utilisé le broyeur de type planétaire. Ces nanostructures ont été caractérisées par différentes méthodes de caractérisations : le microscope électronique à balayage (MEB) pour étude morphologie et la diffraction des rayons X (DRX) pour l'étude des propriétés structurales et microstructurales

CHAPITRE 3 :
RESULTAT ET
DISCUSSION

3.1. PREPARATION DE L'ECHANTILLON

Le matériau étudié dans ce mémoire est un matériau de construction dont l'élément de base est la paille ; le mélange préparé contient : 1)- la paille ; 2)- l'argile ; 3)- le sable et 4) l'eau. (Voir le tableau 3.1)

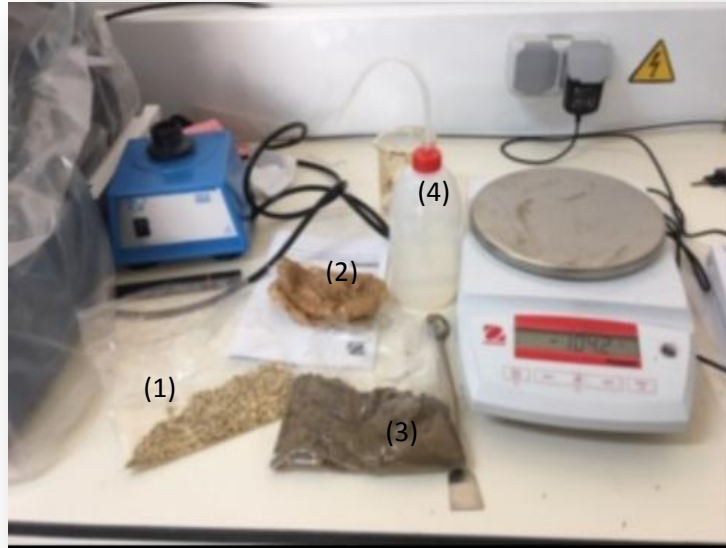


Fig. 3.1. La composition du matériau étudié

La méthode de préparation de l'échantillon consiste à :

- Peser les trois premiers éléments et puis on ajoute l'eau jusqu'à l'obtention d'une pâte d'une consistance ferme. (Voir Fig.3.2)



Fig.3.2. Echantillon préparé à $t=0$

Le tableau 3.1 résume la composition de l'échantillon (sa masse totale est égale à 105g)

Tableau 3.1 : Composition de l'échantillon

	Paille	Argile	Sable	Eau	Total
Quantité (g)	04	66	30	05	105
Pourcentage (%)	03.8	62.85	28.57	04.76	99.98

La figure 3.3 présente le pourcentage des éléments composants de notre échantillon dont on remarque que l'argile représente le composant dominant ; mais il faut signaler que le matériau de base utilisé dans notre mémoire est la « paille ».

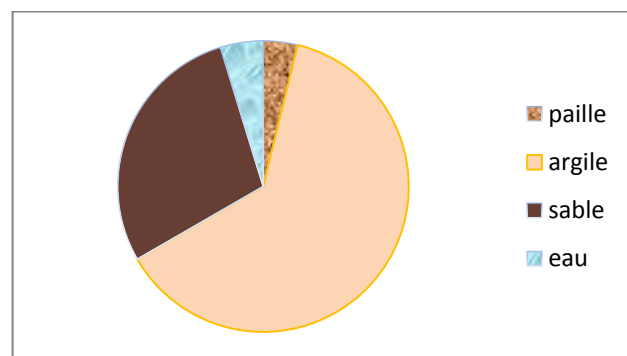


Fig.3.3 .Pourcentage des éléments

➤ Placer le matériau à l'air libre afin qu'il sèche, il faut noter qu'on a laissé le matériau dans cette étape pendant 45 jours (du 22/12/2018 jusqu'au 24/01/2019) ;



Fig.3.4. Le mélange après séchage (après 45 jours)

3.2 Condition expérimental de broyage

Le mélange de poudre nanostructure (argile, paille, sable) élaboré grâce à broyeur planétaire de type Fritsch P7 .à partir de poudre de taille de quelque micromètre.il est consisté d'un disque et une jarre en acier inoxydable de 60 ml, cinq bille de même type d'acier de diamètre 12 mm ,pour éviter la contamination en oxygène , les poudres avant et après broyage , ont été manipulées et récupérées dans une boite à gants sous atmosphère d'argon .le rapport massique bille /poudre est 20//6et la vitesse de rotation de disque est 385trs/min ,et réalisé dans une heure de tempe

➤ Broyer l'échantillon séché à l'aide d'un moulin à épices électrique dans le but d'avoir une poudre à l'échelle de quelques micromètres.

➤ Broyage de l'échantillon obtenu dans l'étape précédente à l'aide d'un **Broyeur Planétaire à billes PM 400** où on a placé une masse $m= 06g$ de l'échantillon et la laisser dans le broyeur pendant une heure pour avoir une taille à l'échelle nanométrique.



Fig.3.5. Boite à gants



Fig.3.6. Broyeur planétaire

3.3 Description du broyeur Fritsch P7

C'est un broyeur constitué d'un disque animé d'un mouvement de rotation avec une vitesse Ω , sur lequel on dépose quatre jarres tournant avec une vitesse w , dans le sens opposé du mouvement de disque (figure 7). Les forces centrifuges résultantes de ces mouvements agissent sur les poudres dans ces jarres par des phénomènes répétés de soudage, de fracture et de dessoudage des particules par une succession de chocs entre bille-poudre-bille et bille poudre-paroi de la jarre ce qui permet ainsi d'obtenir des poudres nanostructurées métastables.[45]

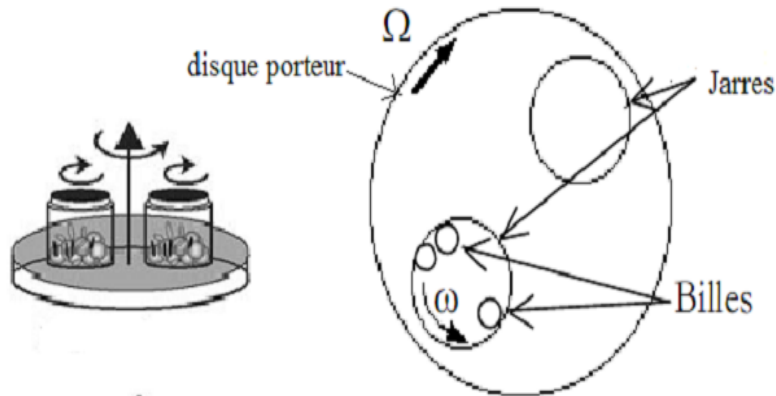


Fig. 3.7. Représentation schématique d'un broyeur planétaire [45]

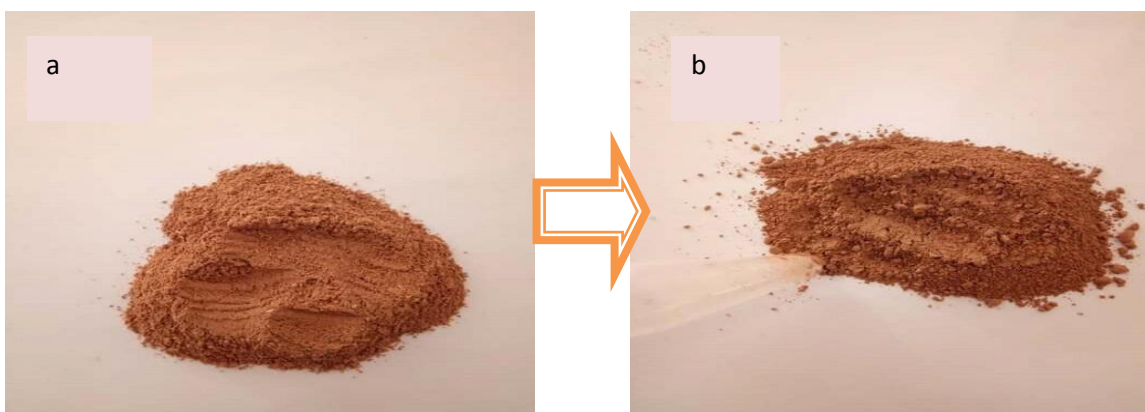


Fig. 3.8. Échantillon avant [a] et après une heure de broyage[b]

3.4 Etude morphologie :

La morphologie de nos échantillons a été observée en mode électron secondaire par microscope électronique à balayage

L'analyse de la composition chimique a été effectuée grâce à l'analyseur du rayon X par dispersion (EDX), couplé au microscope électronique à balayage

La figure montre l'évolution morphologie de la particule de l'échantillon

La morphologie de poudre montre :

- La dimension a échelle nanométrique (20um)
- l'existence de la particule sous forme des agrégats
- L'existence de fines particules, qui sont majoritaires, et de quelques une plus ou moins grosses
- Couleur gris majoritaire qui présente le fer (55.10%)

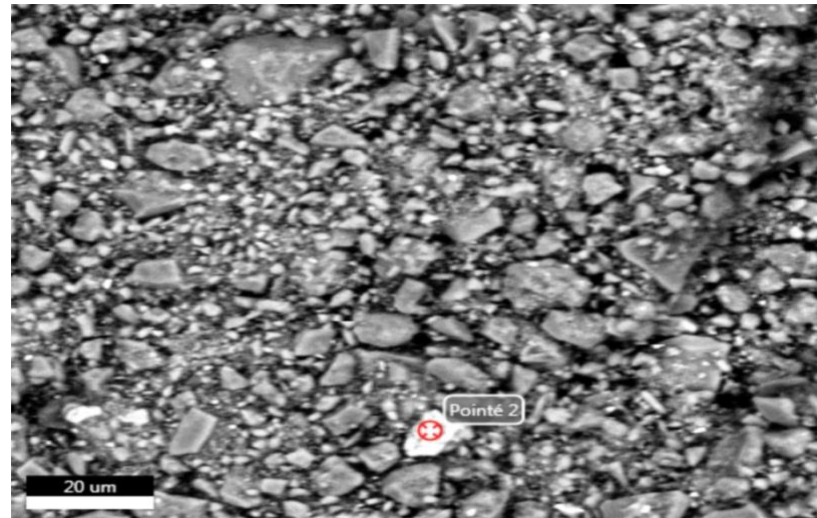


Fig3.9. Evolution morphologique des particules de poudres du mélange broyé pendant une heure

Le mélange ce comporte quatre élément qui le fer à 55% ; l'aluminium a 6% ; silicium a 16% ; oxygène à 21%

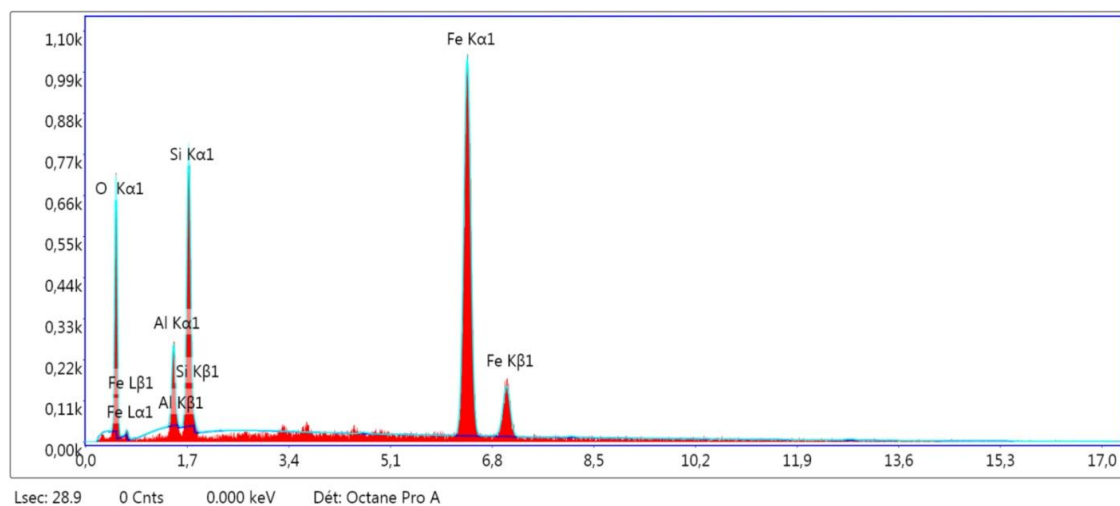


Fig.3.10. Spectres EDX de poudres obtenues après 1h de broyage

3.5 Analyse par diffraction des rayons X

La principale méthode utilisée pour l'investigation de la formation des phase , leurs Structures et microstructures est la diffraction des rayons X.

3.5.1 Spectre de l'échantillon a t=0 et a t= 1h

La figure (3.11) montre les diagrammes de diffraction de rayons X du mélange de Poudres argile sable paille. Avant et après le broyage (t=00h et t=01h) .

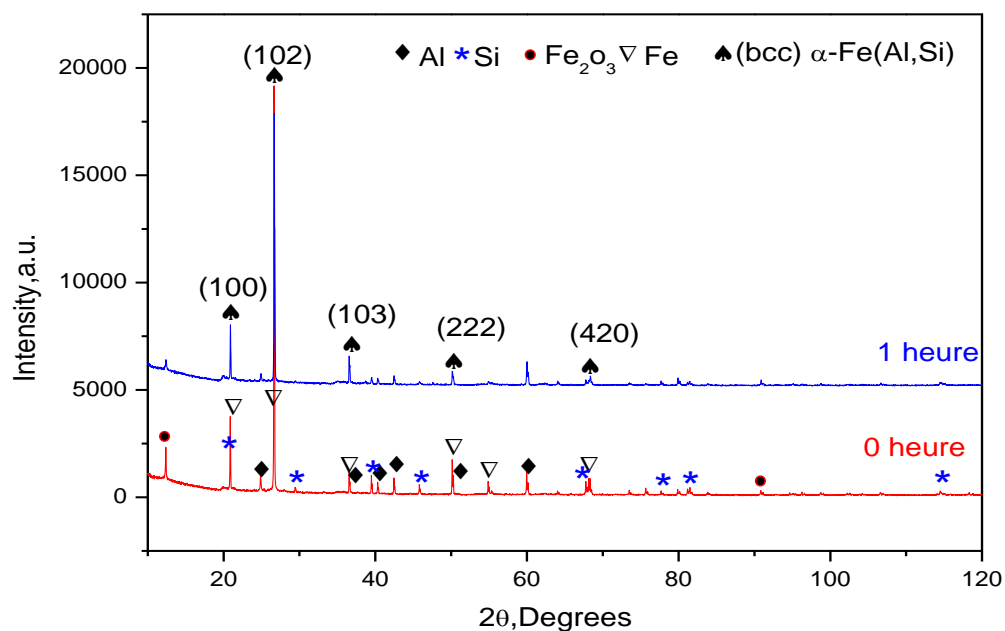


Fig.3.11. Evolution des diffractogrammes des rayons X de la poudre du Fe₇₀Si₂₀Al₁₀ en fonction de 2θ pour 00h et 01h de broyage.

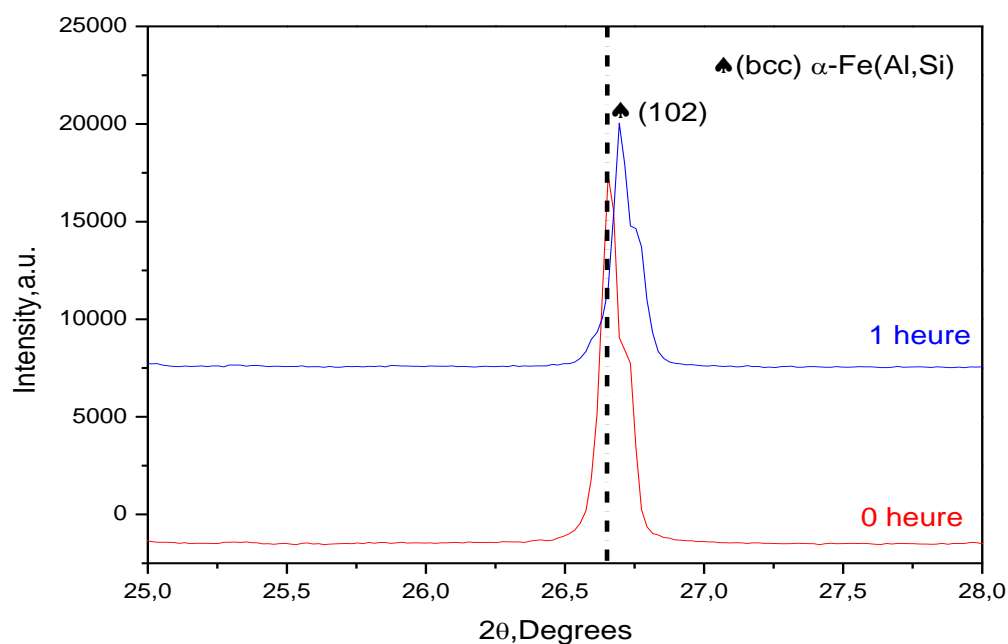


Fig.3.12. Superposition de la réflexion de Bragg de l'intense (102) pour les différents temps de broyage

L'évolution des spectres de diffraction des rayons X, obtenues à température ambiante, de l'alliage élaboré Fe₇₀Si₂₀Al₁₀ en fonction de 2θ est présentée dans la figure 3. 11, où le spectre de la poudre initiale avant le broyage est ajouté pour la comparaison. Ce dernier

montre la présence des pics de fer, aluminium et silicium. L'indexation des spectres a été faite en faisant référence aux fiches ASTM.

Nous constatons, sur les spectres obtenus sur la poudre broyée pendant 1 h les disparitions quasi-totales des raies de Al et Si mais est nécessaire d'augmenter le temps de broyage.

Nous avons aussi observé à partir de 1h un léger décalage des raies du fer vers les plus grands angles. Cela démontre que les atomes de Al et Si se sont dissous dans la matrice de Fe donnant lieu à la formation de la solution solide $\alpha\text{Fe}(\text{Al}, \text{Si})$, de structure cubique centré (c.c) (figure 3. 12).

Tableau.3.2.Calcul de paramètre de maille

N° pic	2 θ	h	K	l	a paramètre de maille (nm) (10^{-6})	Élément
1	20.98	1	0	0	2.22	Si ; Fe ; $\alpha\text{-Fe}(\text{Al}; \text{Si})$
2	26.43	1	0	2	3.96	Fe ; $\alpha\text{-Fe}(\text{Al}; \text{Si})$
3	37.05	1	0	3	4.11	Al ; $\alpha\text{-Fe}(\text{Al}; \text{Si})$ Fe
4	49.89	2	2	2	3.55	$\alpha\text{-Fe}(\text{Al}; \text{Si})$ Fe
5	68.85	4	2	0	3.75	Fe Si $\alpha\text{-Fe}(\text{Al}; \text{Si})$

Avec :

$$a = \frac{n\lambda(h^2 + k^2 + l^2)^{1/2}}{2\sin\theta}$$

Taille du grain

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos\theta}$$

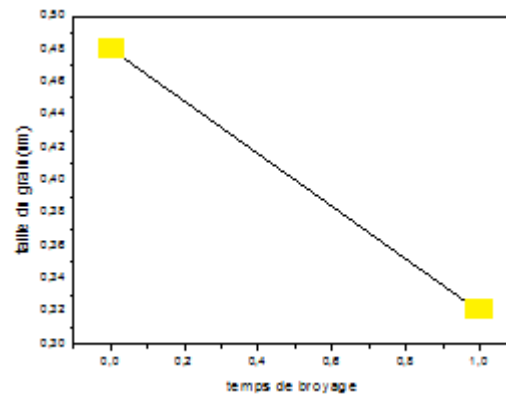


Figure 3. 13 : Evolution de la taille du grain en fonction du temps de broyage.

Figure 3.13 montre la variation de la taille moyenne des grains, $\langle D(\text{nm}) \rangle$, en fonction du temps de broyage, la diminution de la taille des grains (0.48 nm de 0h jusqu'à 0.32 nm après 1 heures de broyage) en fonction de broyage est due à un choc de haut énergie ou l'impact broyage à grande énergie est intensifié suite à un choc billes - billes et billes- parois à l'intérieur des jarres.

Dans le but de comparer le spectre trouvé dans notre étude, une comparaison a été réalisée avec [46],

3.6 Spectre de l'argile purifiée

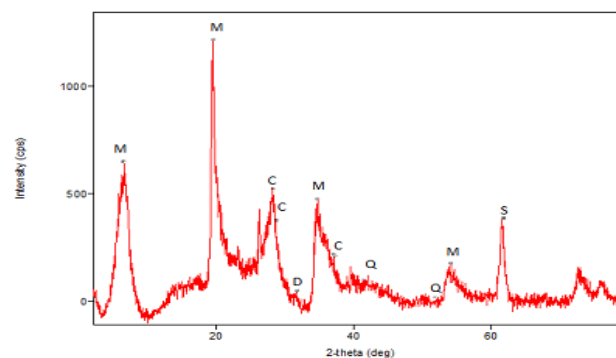


Fig. 3.14. Diffractogrammes RX de l'argile purifiée [46]

Composition minéralogique : *D* = Dolomite, *S* = Smectite, *Q* = Quartz, *C* = Calcite,

M = Montmorillonite.

La liste des pics de l'argile purifiée est la suivante :

No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(deg)	Attribution
0	6.000	12.375	340	2.55	M
1	19.317(17)	4.591(4)	681(48)	0.82(3)	M
2	28.31(3)	3.150(3)	287(31)	2.55(14)	C
3	34.56(5)	2.593(4)	239(28)	2.35(10)	M
4	53.86(15)	1.701(4)	59(14)	2.3(2)	M
5	61.49(3)	1.5069(7)	210(26)	0.87(3)	S

L'analyse spectrale indique que cette argile est composée de :

Quartz (SiO₂),

Calcite Ca(CO₃),

Dolomite (Ca Mg(CO₃)₂),

Smectite (S)

Et la montmorillonite (M)

En absence de la bentonite (B)

Il révèle principalement la présence de cinq pics intenses :

- Les pics représenté par la montmorillonite à $2\theta = 6^\circ$; 20° ; 35° et 54°
- Les pics apparait à 450 cps correspondent à la calcite, la Smectite ($2\theta = 62^\circ$)

Dans ce cas, la fraction argileuse de notre matériau est constituée de la montmorillonite comme argile majeure [46].

3.7 Spectre de l'argile brute

Le diffractogrammes des RX de l'argile brute est illustré par la figure.

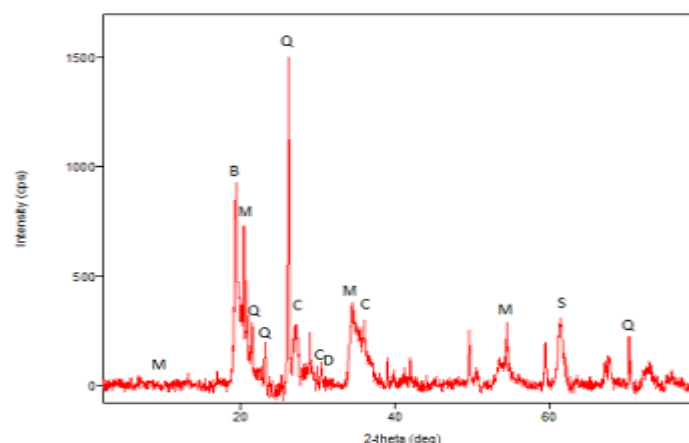


Fig. 3.15. Diffractogrammes RX de l'argile brute, avec sa composition minéralogique [46]

D = Dolomite, S = Smectite, Q = Quartz, C = Calcite, M = Montmorillonite, B = Bentonite.

➤ La liste des pics de l'argile brute [2] est comme suit :

No.	2-theta(deg)	d (ang.)	Height(cps)	FWHM(deg)	Attribution
1	19.237(12)	4.610(3)	562(43)	0.574(19)	M
2	20.332(6)	4.3642(13)	427(38)	0.099(9)	B
3	20.708(12)	4.286(2)	299(32)	0.080(18)	M
4	21.403(12)	4.148(2)	157(23)	0.16(2)	Q
5	26.135(9)	3.4069(12)	978(57)	0.168(9)	Q
6	27.13(6)	3.284(7)	159(23)	0.68(7)	C
7	29.03(10)	3.074(10)	66(15)	0.75(12)	D
8	34.34(3)	2.609(2)	205(26)	0.9(4)	M
9	35.68(9)	2.514(6)	128(21)	1.82(12)	C
10	41.95(3)	2.1520(15)	105(19)	0.14(5)	
11	49.594(15)	1.8366(5)	230(28)	0.137(19)	
12	54.52(4)	1.6819(11)	141(22)	0.49(8)	
13	54.9(2)	1.671(6)	21(8)	0.7(4)	
14	59.493(17)	1.5525(4)	156(23)	0.207(19)	
15	61.40(3)	1.5088(7)	183(25)	0.80(2)	S
16	67.85(2)	1.3803(4)	65(15)	0.70(6)	
17	70.385(16)	1.3366(3)	188(25)	0.133(12)	Q

L'analyse spectrale indique que l'argile brute utilisée est composée minéraux suivants de :

Quartz (SiO₂),

Calcite Ca(CO₃),

Dolomite (CaMg(CO₃)₂),

Smectite(S),

Montmorillonite (M),

Bentonite (B).

Le spectre révèle principalement la présence de deux éléments intenses,

➤ le plus grand correspond au Quartz a une intensité de 1500 cps correspondant à $2\theta = 25^\circ$ suivie par le Bentonite et la montmorillonite qui a une intensité environ 900 cps à

$2\theta = 19^\circ$ et 21° respectivement et

➤ les autres éléments correspondent à un mélange : Quartz, Smectite, dolomite, calcite, montmorillonite ; moins intense allons de [400, 200] cps, ce qui implique que notre argile est hétérogène.

3.8 Conclusion

L'élaboration des poudres nanostructures d'un matériau de construction durable a été réalisée avec succès, à l'aide du broyeur planétaire P4, a temps de broyage est une heure, Les poudres obtenu ont été caractérisées par microscope électronique à balayage (MEB) et la diffraction des rayons X (DRX).

On conclue que le mélange ce compose de trois éléments principales et à base de fer (50%) et on a un décalage des raies du fer vers le plus grande angle cela démontre que les atomes de Al et Si se sont dissous dans la matrice de Fe donnant lieu à la formation de la solution solide $\alpha\text{Fe}(\text{Al}, \text{Si})$, de structure cubique centré.

CHAPITRE 4 :
ESSAIS DU STAGE AU
L.N.H.C

ESSAI DE CISAILLEMENT A LA BOITE

4.1 Présentation de l'essai

Il s'agit de déterminer les caractéristiques mécaniques d'un sol. En procédant au cisaillement rectiligne d'un échantillon sous charge constante.

L'essai de cisaillement permet de tracer la courbe intrinsèque du Sol étudié, et de déterminer son angle de frottement interne ϕ et sa cohésion C .

Matériel utilisé (fig4.1)

L'échantillon de sol à étudier (glissement du terrain de layon a profondeur 1.00m/3.00m) est placé entre deux demi-boîtes qui peuvent se déplacer horizontalement l'une par rapport l'autre. Un piston permet d'exercer sur le sol une contrainte normale σ déterminé.



Fig. 4.1. Images réelle de la boîte de cisaillement.

4.2. Préparation de l'échantillon

Le mélange se compose en élément avec différents pourcentages :



3.4% paille ; 62.85% argile ; 28.57% sable ; 4.76% eau

Fig.4.2. Matériaux utilisés

4.3 Principe De L'Essai

Mise en place de l'échantillon dans la boîte

Les deux demi- boîtes étant verrouillées, on place successivement

- le fond de boîte,
- une pierre poreuse
- une plaque striée, les stries étant perpendiculaires au sens de cisaillement (les plaques perforées permettent les essais drainés, les plaques pleines sont utilisées pour les essais non drainés)
- l'échantillon de sol
- une plaque striée identique à la première
- une pierre poreuse
- le piston. (voir fig.4.3.).

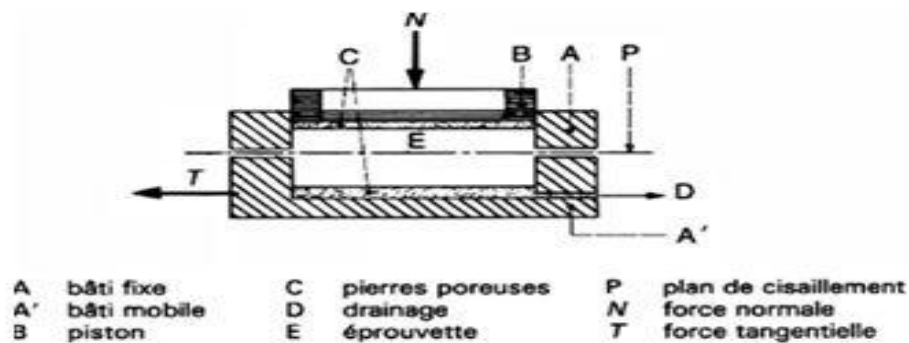


Fig.4.3. Principe de l'essai

Mise en place de la boîte sur la machine

- Placement de l'étrier de charge sur le piston de la boîte,
- Placement du comparateur vertical et mise à zéro de celui-ci
- Montage de l'anneau dynamométrique sur la machine
- Reliage à la boîte et bien compenser les jeux en mettant l'anneau légèrement en traction et en ramenant lentement le comparateur de l'anneau au zéro.



Fig. 4.4. machine de cisaillement

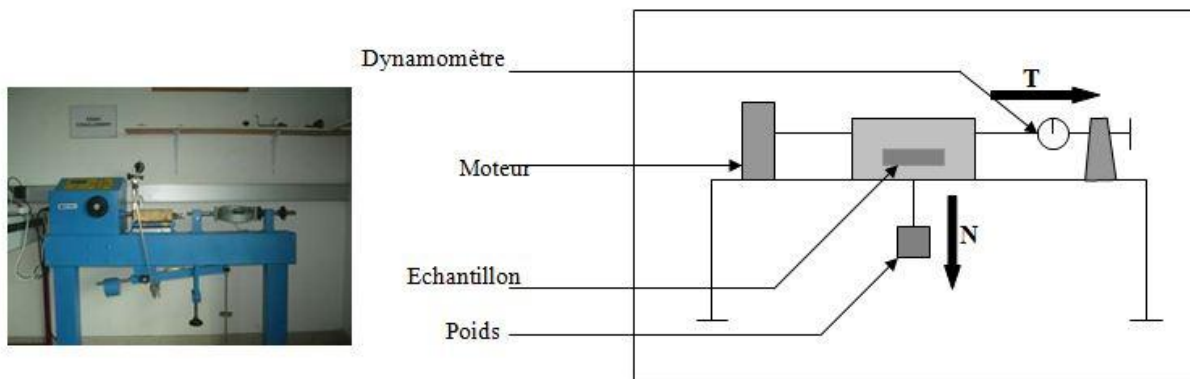


Fig.4.5. schéma de la disposition

1^{er} .essai :Au niveau de layoun

Profondeur :(1.00m/3.00m)

Nature du sol : argile consistante

Teneur en eau			
N° Échantillon	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>
N° des tares	3	N14	15
Poids humide +tare (g)	65.20	63.53	75.89
Poids sec +tare(g)	59.09	57.65	68.84
Poids de la tare(g)	19.56	18.86	21.11
Poids de l'eau(g)	6.11	5.88	7.05
Poids du sol sec (g)	39.53	38.79	47.73
Teneur en eau (w)	15.46	15.16	14.77

Avec

$$W = \frac{\text{poids de l'eau}}{\text{poids du sol sec}} * 100 = \frac{P_{\text{humide+tare}} - P_{\text{sec+tare}}}{P_{\text{s+tare}} - P_{\text{tare}}}$$

Tableu.4.2.La lecture sur machine :

Déformation	Lecture à l'anneau échantillon <i>I</i> (0.5bars)	Lecture à l'anneau échantillon <i>II</i> (1 bars)	Lecture à l'anneau échantillon <i>III</i> (1.5bars)
0.25	15	30	50
0.50	18	32	55
0.75	20	34	60
1.00	21	36	70
1.25	22	38	80
1.50	24	40	85
1.75	30	45	86
2.00	32	55	91
2.25	33	60	93
2.50	38	63	95
2.75	39	66	95
3.00	40	68	96
3.25	41	72	98

3.50	43	68	104
3.75	45	72	106
4.00	50	68	112
4.25	54	70	116
4.50	60	75	120
4.75	66	78	122
5.25	67	84	124
5.50	70	90	124
5.75	71	95	124
6.00	72	100	125

Ce graphe est résumé ces valeurs

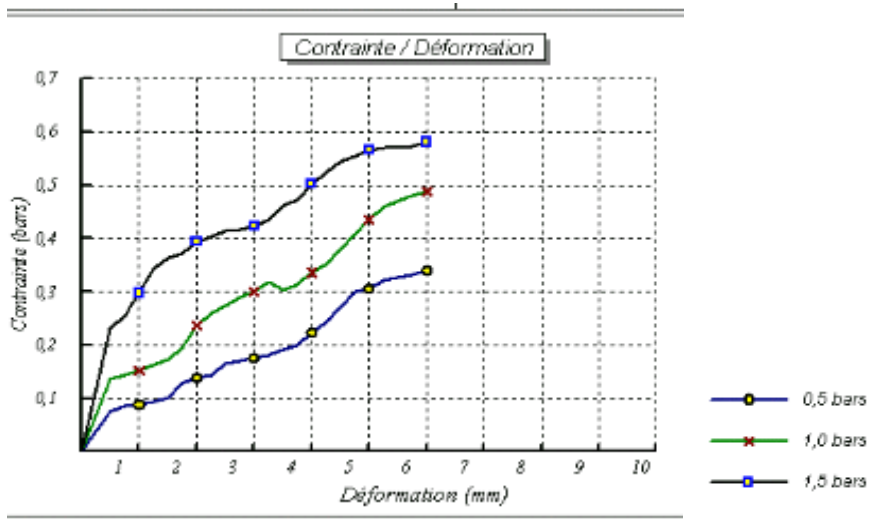


Fig .4.6. Variation de la contrainte en fonction de la déformation

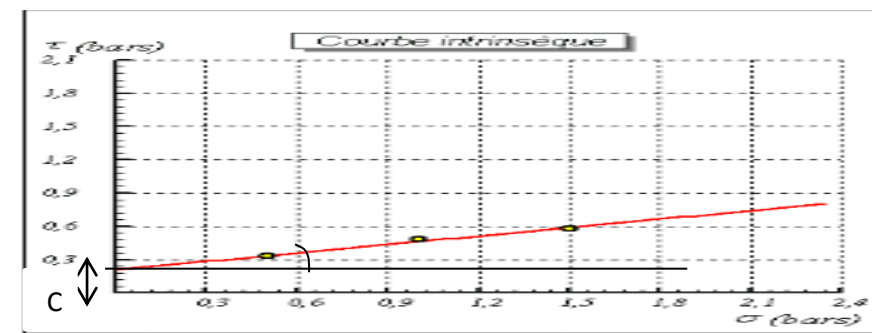


Fig.4.7. Courbe intrinsèque des sols $\tau = (\sigma)$

Point de cohésion 0.21bars se fait un angle de frottement avec la courbe cette angle =14.27°

2^{ème} Essai : mélange (argile paille sable eau)

Argile a profondeur 1.00m/3.00

Teneur en eau			
N° Échantillon	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>
N° des tares	2	015	U21
Poids humide +tare (g)	70.17	69.13	68.16
Poids sec +tare(g)	55.98	56.05	55.48
Poids de la tare(g)	18.82	21.02	22.67
Poids de l'eau(g)	14.19	13.08	12.81
Poids du sol sec (g)	37.16	35.03	32.31
Teneur en eau (w)	38.18	35.31	38.64

Déformation	Lecture à l'anneau échantillon <i>I</i> (0.5bars)	Lecture à l'anneau échantillon <i>II</i> (1 bars)	Lecture à l'anneau échantillon <i>III</i> (1.5bars)
0.25	25	30	40
0.50	27	41	54
0.75	26	33	63
1.00	24	52	68
1.25	12	60	74
1.50	18	64	79
1.75	30	65	82
2.00	38	67	90
2.25	46	60	100
2.50	50	62	105
2.75	45	60	112
3.00	43	58	105
3.25	44	58	112
3.50	41	60	114
3.75	40	63	114
4.00	55	75	114

4.25	61	79	117
4.50	65	84	109
4.75	69	85	112
5.25	72	91	111
5.50	77	94	105
5.75	80	91	80
6.00	84	100	106

Ce graphe est résumé ces valeurs :

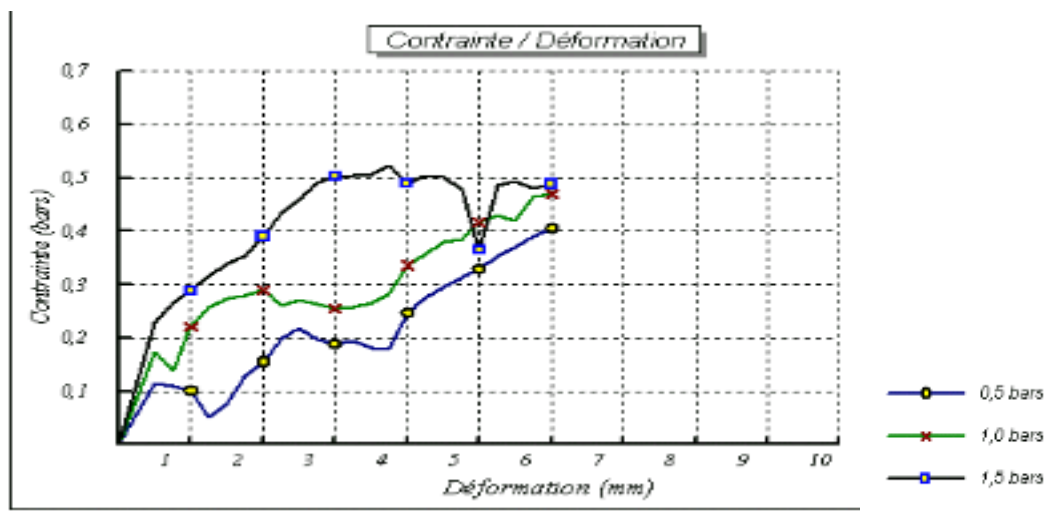


Fig.4.8. variation de la contrainte en fonction de la déformation (terre paille)

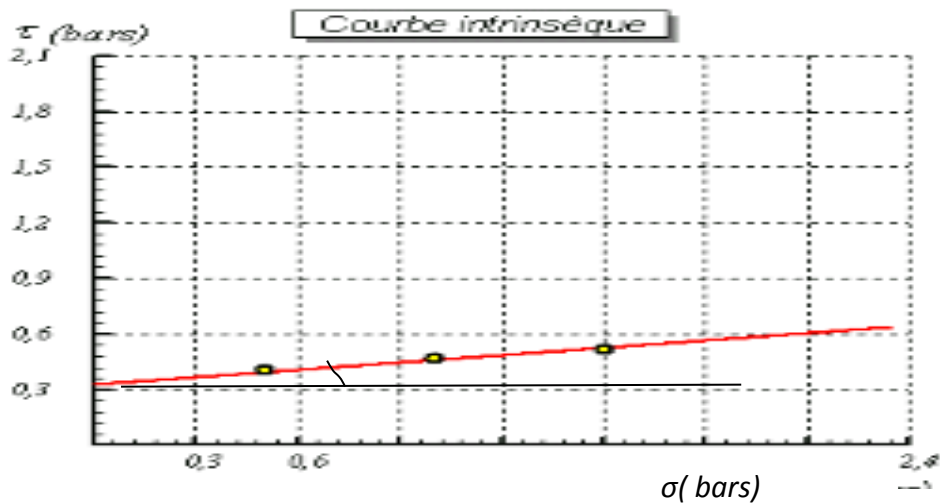


Fig.4.9. Courbe intrinsèque $\tau(\sigma)$ (terre paille)

Point de cohésion 0.33bars se fait un angle de frottement avec la courbe cette angle =7.46°.

Conclusion

Nous concluons, d'après les résultats trouvés au niveau du L.N.H.C que

- L'échantillon a un comportement sableux lorsque l'angle de frottement est faible ($<30^\circ$).
- Sinon pour l'angle de frottement supérieur à 30° , l'échantillon a un comportement argileux.

Dans notre cas, au niveau de la village de Layoun l'échantillon prélevé du terrain à profondeur 1.00m/3.00m est sableux .

Conclusion Général

CONCLUSION GENERAL

Cette étude expérimental avait pour objectif la caractérisation d'un matériau de construction durable par deux méthode différente tels que la diffraction du rayon X (DRX) et le microscope électronique à balayage (MEB).

Dans ce travail, nos avants utilisé un matériau de construction durable qui contient (3.8%) de paille ; (28.57%) du sable ; (4.76 %) de l'eau et (62.85%) d'argile de la région d'El Taref ; qui subit à un protocole expérimental spécifique pendant la préparation de l'échantillon tels que le séchage et le broyage par un broyeur planétaire de type Frische P7 pendant 1h.

Les résultats de caractérisation par MEB de l'unité de recherche matériaux avancée-Annaba (URMA) nous a donné la composition chimique de notre matériau qui sont : le Fer ,le Silicium et l'Aluminium avec la présence de l'oxygène et ça revient que le processus de préparation de l'échantillon n'est pas effectué dans le milieu inerte. La morphologie de l'échantillon montre : La dimension a échelle nanométrique (20um), l'existence de la particule sous forme des agrégats, L'existence de fines particules, qui sont majoritaires, et de quelques une plus ou moins grosses, Couleur gris majoritaire qui présente le fer (55.10%).

Le DRX (analyse par DRX se sont fait au niveau de laboratoire physico-chimie des matériaux, université El Tarf) a montré principalement que le Fer est un élément intense qui a une intensité 502.29 cps ; Le silicium une intensité 210.30 cps ; Puis L'aluminium a une intensité 60.92 cps.

Nous avons aussi observé qu'à partir de une heure de broyage un léger décalage des raies du fer vers les plus grands angles. Celà montre que les atomes de Al et Si se sont dissous dans la matrice de Fe donnant lieu à la formation de la solution solide $\alpha\text{Fe}(\text{Al}, \text{Si})$, de structure cubique centré.

Il faut juste noter qu'une analyse a été faite sur l'échantillon sans broyage (t=0) ou le spectre avait presque les mêmes intensités des éléments.

Donc ces résultats expérimentaux nous a permis à conclure que ce type de matériau de construction prélevé de la région d'el taref contient de fer.

En perspective ou propose de continuer l'étude de ce geure de matériaux de construction, vu qu'ils ont un impact environnemental importante et plein d'avantages en traitant les points suivant :

CONCLUSION GENERAL

- Utilisation d'autres méthodes de caractérisation telle que l'infrarouge ;
- Caractérisation physico-chimie tels que la détermination le taux d'humidité et mesure le Ph .

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] Marc Depuis, Serie Augo, "Nanomatériaux" Paris 2001
- [2] E. Gaffet And L.Yousfi, "Crystal To Non-Equilibrium Phase Transition Induced By Ball Milling", *Mat.Sci.For.*88-90(1992), 51-58
- [3] -Rice A., Et Al, *Nanostructured Materials*, V.8, N° 7, (1997) 855.
- [4] AFSSET (Agence Française De Sécurité Sanitaire De l'Environnement Et Du Travail), « Les Nanomatériaux », France, 2006.
- [5] Etchat-Salas Et Bergaya2008l'enjeu Des Nanomatériaux Vol .XI-N°5 **178**
- [6] R. Baccino, D.S. Filippio, F. Moret, A. Lefort, G. Webb, "PM94, Powder Metallurgy World Congress", Paris. Editions De Physique, Les Ulis. Vol. II, (1994) 1239
- [7] E.P. George, C.L. White, J.A. Horton, *Scripta. Metall. Mater.*, 25 (6) (1991) 1259.
- [8] B. S. Bokstain, H. D. Böse, L. I. Trusov And T.P .Khvostantseva, *Nanostruct. Mater.* 6(1995), 873.
- [9] C. Suryanarayana, *Inter. Mat. Rev*, 40 (1995), 41.
- [10] T. Turi And U. Erb, *Mat. Eng*, A204 (1995), 34.
- [11] T. Goldman And F. B. Pickering, *Iron. Steel. Inst.* 205 (1967), 653.
- [12] J. S. Jang And C.C. Koch, *Scripta. Met.*(1990), *Mater.* 24 , 1599.
- [13] G. D. Hughes, S. D. Smith, C. S. Pande, H. R. Johnson And R. W. Armstrong, *Scripta. Met. Mater.* 20 (1986), 93.
- [14] G. W. Nieman, G. R. Weertman And R. W. Siegel, *J. Mater. Res.* 6 (1991), 1012.
- [15] Y. M. Wang, M. Chen, F. Zhou And E Ma, *Nature*, 419 (2002), 912.
- [16] M.HARRAT(2007) « Contribution A L'amélioration Du Procédé De Fabrication De La Céramique Etude Sur Site : Unité Maghreb Céramique De Touggourt ». Mémoire Magister De L'université De Kasdi Merbah De Ouargla,
- [17] C.BARRAL,(2008) « Etude Des Transferts D'eau Et De Gaz Dans Les Géomatériaux Argileux Utilisés Dans Les Couvertures Des Installations De Stockage Des Déchets Non Dangereux (ISDND) ».Thèse De Doctorat De L'institut National Des Sciences Appliquées De Lyon,
- [18] H.GABORIAU, « Propriétés Des Bentonites ». *Géo-Bento, Etanchéité Par Géosynthétiques Bentonitiques: Etat De L'art*, Paris, 2-3 February (1997), 2-43.
- [19] F.MADSEN, Et Al,(1994), «Characteristics And Sealing Effect Of Bentonites». *Geosynthetic Clay Liners*, 73-98.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- [20] S.R.MEER, C.H.BENSON, (2004), «In Service Hydraulic Conductivity Of Gels Used In Landfill Cover. Laboratory And Field Studies». Geo Engineering Report No. 04 17, Geo Engineering Program, Dept. Of Civil And Environmental Engineering, University Of Wisconsin-Madison, Madison, USA, 2004, 107 P
- [21] E.R.GRIM, (1968), « Clay Mineralogy ». 2nd Edition, New York: Mcgraw-Hill Book Compagny
- [22] T.CHERIFI, K.HARBI,(2005/2006) « Analyses Physico-Chimiques Des Sous-Produits Du Kaolin GW1 Et GW2 Du Complexe d'El Milia ».Mémoire De Fin D'étude De L'université De Béjaia,
- [23] L.BOUNA,(2012) « Fonctionnalisation Des Minéraux Argileux D'origine Marocaine Par Tio₂ En Vue De L'élimination Par Photo Catalyse De Micropolluants Organiques Des Milieux Aqueux ». Mémoire De Doctorat De L'université De Toulouse
- [24] E.PRUD'HOMME (2011) , « Rôle Du Cation Alcalin Et Des Renforts Minéraux Et Végétaux Sur Les Mécanismes De Formation De Géopolymères Poreux Ou Denses ».Thèse De Doctorat De L'université De Limoges, .
- [25] E.R.GRIM, (1968), « Clay Mineralogy ». 2nd Edition, New York: Mcgraw-Hill Book Compagny.
- [26] AZZAZA.S.(2009). Propriétés Microstructurales Et Magnétiques D'un Alliage Nanostructuré A Base De Feco. Thèse De Doctorat. Université Badji Mokhtar-Annaba
- [27] Boudinar .N. (2011), Élaboration Et Etudes Structurales Et Microstructurales Des Poudres Nanostructurées A Base De Fer, Thèse De Doctorat.
- [28] Boukherroub .N. (2015) . Effet Des Conditions De Broyage Sur Les Propriétés Structurales Et Magnétiques Des Nanomatériaux Feal Elaborés Par Mécanosynthèse .Thèse De Doctorat. universite m'hamed bougara- boumerdes
- [29]YOUNES. A . Détermination Des Paramètres Nanostructuraux A Base De Fe_x Co_y Ni_z Et Alliages Par Des Méthodes De Contrôle Non Destructif (CND).
- [30]Y. S. Kwon, K. B. Gerasimov, S. K. Toon, Ball Temperatures During Mechanical Alloying In.Planetary Mills, J. All. Comp. 346 (2002) 276-281
- [31]A. Guittoum, (2008). Etude Des Propriétés Structurales, Microstructurales Et Magnétiques Des Nanoparticules Feni, Thèse Doctorat, Université Ferhat Abbas De Setif, .
- [32] GHERIB.M. (2013). Elaboration Et Caractérisation Des Matériaux Nanostructurées Et Leurs Propriétés (Physiques Et Mécaniques).Thèse De Doctorat. Université Badji Mokhtar Annaba

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- [33] Gaffet E., A.Kohler .Matériaux (Rouen) (2002).
- [34] Kwon Y. S, K. B. Gerasimov, S. K. Toon, J. All. Comp. 346 (2002) 276
- [35] Eckert J, Mater. Sci. Forum, Vol. 88-90 (1992) 679
- [36] Pierre Gravereau (2012)“Introduction A La Pratique De La Diffraction Des Rayons X Par Les Poudres”, ICMCB-CNRS, Université Bordeaux 1 .
- [37] DJEGHBOUB .W . (2010) . Nanoparticules D'or Et D'argent Déposées Sur Oxyde De Cérium Synthétisées Sous Irradiation. Mémoire De Magister. universite mentouri constantine
- [38]
- [39] Suryanarayana C., Marcel Dekker, USA (2004)
- [40] Suryanarayanan, R., & Mitchell, A. G. (1985). Evaluation Of Two Concepts Of Crystallinit Using Calcium Gluceptate As A Model Compound.International Journal Of Pharmaceutics, 24(1), 1-17.
- [41] Young, R. A., & Wiles, D. B. (1982). Profile Shape Functions In Rietveld Refinements Journal Of Applied Crystallography, 15(4), 430-438.
- [42] Novikov, V. (2002). Concise Dictionary Of Materials Science:Structure And Characterization Of Polycrystalline Materials. CRC Press
- [43] Hauk, V. (Ed.). Structural And Residual Stress Analysis By Nondestructive Methods: Evaluation-Application-Assessment. Elsevier. (1997).
- [44] Scherrer, P. (1912). Bestimmungde rinnerens truktur Und Der Größe Von Kolloidteil chenmittelsröntgenstrahlen (Pp. 387-409). Springer Berlin Heidelberg.
- [45] GHERIB.M. (2013). Elaboration Et Caractérisation Des Matériaux Nanostructurées Et Leurs Propriétés (Physiques Et Mécaniques).Thèse De Doctorat. Université Badji Mokhtar Annaba
- [46] Fekhar Nacereddine ,(2017), Etude Spectrométrique De La Matière Argileuse De La Région De Hammam Boughrara., Diplôme De Master, Universite Abou Bekr Belkaid – Tlemcen

Résumé

En Algérie, la construction des habitats par des matériaux de construction durable tels que l'argile et la paille est utilisée sa fait dans siècles et comme ce type de matériau a connu un développement ces années pour utiliser dans architecture moderne. Le mélange sous forme de poudre nanostructuré a été préparé par le broyage mécanique à haute énergie dans un broyeur planétaire type Fritsch P7. Une étude expérimentale a été faite sur matériaux contenant la paille et l'argile dans lequel l'échantillon est caractérisé par le DRX et le MEB.

Mot clés : Nanomatériaux, Paille, Argile, Broyeur planétaire, DRX, MEB,

Abstract

In Algeria, the construction of habitats by sustainable building materials such as clay and straw is used its done in centuries and as this type of material has been developing these years to use in modern architecture. The nanostructured powder mixture was prepared by high energy mechanical grinding in a Fritsch P7 planetary mill. An experimental study was made on materials containing straw and clay in which the sample is characterized by DRX and SEM.

Key words: nanomaterials, straw, clay, planetary mill, XRD, SEM.

تلخيص

في الجزائر ، بناء العمران بواسطة مواد بناء مستدامة تمثل الطين و القش مستعمل على مدى القرون .و بما ان هذا النوع من المواد عرف تطور السنوات الاخيرة لاستخدامه في الهندسة المعمارية الحديثة. تم تحضير الخليط المطحون لمسحوق نانوي بواسطة الطحن الميكانيكي ذو الطاقة العالية في مطحنة من نوع Fritsh-P7.

تم اجراء دراسة تجريبية على العينة التي تحتوي على الطين و القش بواسطة تقنيتين هما انكسار الاشعة السينية.

الكلمات المفتاحية: المواد النانوية ، القش ، الطين ، مطحنة

(fritsh-P7) انكسار الاشعة السينية; مسح المجهر الإلكتروني

