



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER

En Génie Mécanique

Option : Génie des matériaux

Présenté par :

Oualha Bochra & Safer lina manar

Thème

ÉTUDE DE L'INFLUENCE DE LA GRANULOMETRIE SUR LES PROPRIETES MECANQUES DES CERAMIQUES PAR PHOTOGRAPHIE DE SPECKLE.

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Qualité
Benhamadouche Lamia	MAA	Président
Zemmamouche Redouane	MCB	Encadreur
Bedda Abdelmalek	MAA	Examineur

Année Universitaire : 2020/2021

N° d'ordre : GM/2020/2021

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

REMERCIEMENTS

Louange à dieu le tout puissant qui m'a donné le courage, la volonté, l'espérance et la patience pour finaliser ce travail.

J'adresse mes plus profonds remerciements et les témoignages de mes gratitudees à mon professeur Monsieur ZEMMAMOUCHÉ REDOUANE professeur à l'université, Mohammed Boudiaf qui a assuré avec son expérience et sa patience l'adirection de ce travail.

Mes remerciements vont aussi à tous les professeurs pour avoir accepté d'examiner ce travail.

J'adresse aussi mes plus vifs remerciements à tous les membres du laboratoire de sciences technologiques

Je n'oublie pas aussi de remercier tous mes collègues

département de Mécanique de Précision en particulier et ceux de la faculté des sciences de l'ingénieur et de l'université Ferhat Abbas Sétif en général.

Ma reconnaissance va à ma petite et grande famille et à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.



Dédicaces

Je dédie cet ouvrage

À ma maman qui m'a soutenu et encouragé durant ces années d'études qu'elle trouve ici se témoigne de ma profonde reconnaissance. À mon cher

Père Safer R.A.B.E.H il a toujours été ma source d'inspiration

À mes sœurs et frères ceux qui ont partagé avec moi tous les moments d'

émotion lors de la réalisation de ce travail ils m'en chaleureusement

supporté et encouragé tout au long de mon Parcours, à ma binôme qui

m'a aidée ou alha bohra et mes coPines fouzia omaima... et toutes mes

amies qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite Plus de succès

À ma grande famille, mes Proches et à ceux qui me donnent de l'amour et

de la vivacité

À tous ceux que j'aime

MERTI



Dédicaces

Je dédie ce travail :

*À vous mes parents qui m'avez soutenue pendant
quelques décennies, qui m'ont toujours laissée libre de
mes choix, fait confiance et encouragée*

*À mes amis SAFERLI NAIMANAR
BENYOUNES FOUZIANES RIN
pour leur plein soutien*

À mon fiancé pour son aide, disponibilité et précieux,

*À tous ma famille, à tous ceux qui m'ont soutenu de
près ou de loin*



Table des matières

Remerciement

Dédicace

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction Générale..... I

Chapitre I

I.1 Définition des céramiques.....	3
I.2 structures des céramiques	4
I.2.1. Céramiques ioniques	5
I.2.2. Les céramiques covalentes :.....	5
I.3. Les Céramiques traditionnelles.....	6
I.3.1. Les matières plastique	7
I.3.2 Les dégraissants.....	10
I.3.3 Les fondants	10
I.4. Céramique technique	10
I.4.1. Les Céramiques à base d'oxydes.....	10
I.4.2 Les Céramiques non-oxydes	11
I.5. Traitements des poudres :	12
I.5.1 Concassage.....	12
I.5.2 Broyage	13
I.5.3 Le tamisage :	14
I.6. Mise en œuvre des céramiques par pressage ;	16
I.6.1 Mise en forme par voie sèche :	16

I.6.1.1 Le pressage uniaxial	16
I.6.1.2 Le pressage isostatique.....	18
I.7 frittages des céramiques	20
I.7.1 Le frittage en phase solide.....	20
I.7.2 Le frittage en phase liquide	21
I.8. Propriétés mécaniques des céramiques	22
I.8.1 Elasticité :	22
I.8.2 Dureté :	22
I.8.3 Résistance mécanique :.....	23
I.8.4 Résistance à la rupture des céramiques	23
I.8.5 Module de rupture.....	25
I.8.6 Essai de compression	25
I.8.7 Résistance aux chocs thermiques.....	25
I.9 Défaut dans les céramiques	26
I.9.1 Défauts Ponctuels.....	26
I.9.2 Défauts linéaires ou dislocations.....	28
I.9.3 Défauts bidimensionnels	29

Chapitre II

II.1 Phénomène de Speckle :	32
II.2 Types et démentions du speckle	33
II.2.1 Speckle àbjectif.....	33
II.2.2 Speckle subjectif	34
II.3 Photographie de speckle :	35
II.3.1. Photographie de speckle focalisée	35
II.3.2. Photographie de speckle non focalisé	36

II.3.3 Corrélation de l'intensité et de l'amplitude	38
II.3.4 Détermination des déplacements par photographie de speckle digitale	39

Chapitre III

III.1 Matière première	42
III.2 Composition chimique de kaolin	42
III.3 Les étapes de travaille	43
III.3.1 processus de broyage	43
III.3.2 Tamisage :	43
III.3.3 pressages à uniaxial	45
III.3.4 frittage	46
III.3.5 polissages	46
III.3.6 Montage expérimental	46
Résultats expérimentaux	47
1. Représentation des figures de speckle et les champs de déformations correspondants	47
2. Champs de déformations du premier échantillon	50
3. Champs de déformations du deuxième échantillon	55
4. Champs de déformations du troisième échantillon	60
5. Champs de déformations du quatrième échantillon	67
6. Interprétation des résultats	74
Conclusion générale	76

Références

Résumé

Liste des figures

Chapitre I

Fig. I.1 Les liaisons ioniques.....	5
Fig. I.2 Liaison covalente	6
Fig. I.3 Les céramiques traditionnelles	7
Fig. I.4 Type d'argile.....	8
Fig. I.5 Morphologie des cristaux de kaolinite.....	9
Fig. I.6 Céramique technique	11
Fig. I.7 Exemples de céramiques non oxyde.....	11
Fig. I.8 Différents types de concasseurs : (a) à mâchoires ; (b) rotatif ; (c) à rouleaux et (d) à marteaux	13
Fig. I.9 Schéma de principe du pressage uniaxial.....	17
Fig. I.10 Illustration des étapes de compactage et évolution de la porosité.....	18
Fig. I.11 Principe du procédé de pressage en moule humide	19
Fig. I.12 Principe du procédé de pressage en moule sec.....	19
Fig. I.13 Formation de col entre deux particules sphériques	21
Fig. I.14 Diagramme schématique du frittage en phase liquide.....	22
Fig. I.15 1 type de défaut ponctuel dans un cristal (A) lacune;(b) atome étranger interstitiel;(B') atome auto-interstitiel;(C.C) atomes étrangers en substitution.	27
Fig. I.16 Mécanisme de migration lacunaire des atomes dans un réseau cristallin : changement de position entre atomes et lacunes (1 à 6).....	27
Fig. I.17 Géométrie des dislocations dans un cristal à réseau cubique (a) réseau sans défaut;(b) dislocation-coin. Pour les deux types de dislocations ont indiqué le vecteur qui caractérisé le déplacement des atomes du réseau cristallin, appelé vecteur de burgers b	29

Fig. I.18 défauts bidimensionnels	30
Fig. I.19 Types de joints;(a) joint de flexion ;(b) joint de torsion	31

Chapitre II

Fig. II.1 contour microscopique d'une surface diffusante.....	32
Fig. II.2 Figure de speckle produite par une plaque d'Aluminium recouverte d'une poudre blanche diffusante.....	33
Fig. II.3 Formation du speckle objectif	33
Fig. II.4 formation du speckle subjectif	34
Fig. II.5 Arrangement optique de photographie de speckle focalisé	36
Fig. II.6: Arrangement optique de la photographie speckle non focalisé.....	37
Fig. II.7 suivi du déplacement des grain de speckle par corrélation l'image de la fugure de spekle est divisée en sous images.	40
Fig. II.8 champs des déplacements mesurés par notre algorithme de corrélation(DSP). (a) Translation dans le plan,(b)rotation dans le plan	41

Chapitre III

Fig. III.1 la machine de broyage.....	43
Fig. III.2 les tamis en différents diamètres	44
Fig. III.3: Poudres obtenues après tamisage.....	44
Fig. III.4 l' appareil de pressage à sec	45
Fig. III.5: dernier résultats.....	46
Fig. III.6 Montage expérimental.....	47
Fig. III.7 Figures de speckle pour différents états de déformations	48

Fig. III.8 Champs de déformations résultants de la compression de l'échantillon de la figure 3.2	49
Fig. III.9 une courbe représentant les changements d'allongement on fonction de la force applique à l'échantillon.	52
Fig. III.10 un graphique qui étudie les changements de contrainte en termes de force appliquée à l'échantillon.....	54
Fig. III.11 Champs de déformation du premier échantillon	54
Fig. III.12. Les champs de déformations obtenus à la fin de l'essai de compression	55
Fig. III.13 une courbe représentant les changements d'allongement on fonction de la force applique à l'échantillon.	56
Fig. III.14 un graphique qui étudie les changements de contrainte en termes de force appliquée à l'échantillon.....	59
Fig. III.15. Les champs de déformations obtenus au milieu de l'essai de compression.....	59
Fig. III.16. Les champs de déformations obtenus à la fin de l'essai de compression	60
Fig. III.17 une courbe représentant les changements d'allongement on fonction de la force applique à l'échantillon.	62
Fig. III.18 un graphique qui étudie les changements de contrainte en termes de force appliquée à l'échantillon.....	65
Fig. III.19 Les champs de déformations obtenus au milieu de l'essai de compression.....	66
Fig. III.20. Les champs de déformations obtenus à la fin de l'essai de compression	67
Fig. III.21: une courbe représentant les changements d'allongement on fonction de la force applique à l'échantillon.	69
Fig. III.22 un graphique qui étudie les changements de contrainte en termes de force appliquée à l'échantillon.....	72
Fig. III.23 Les champs de déformations obtenus au début de l'essai de compression	73

Fig. III.24 Les champs de déformations obtenus au milieu de l'essai de compression 73

Fig. III.25. Les champs de déformations obtenus à la fin de l'essai de compression 74

Liste des tableaux

Tableau I.1 caractéristiques importantes de poudres pour la mise en œuvre en céramiques	8
--	---



INTRODUCTION
GÉNÉRALE

Introduction Générale

Les céramiques de grande diffusion gardent toujours les plus grandes parts du marché mondial. Cette position est due à l'abondance des matières premières les constituants et au faible coût de leur production. Ce sont en majorité des céramiques silicatées, constituées de matières premières minérales, dont les argiles. Parmi tous les minéraux argileux, le kaolin reste l'un des plus fréquemment utilisés et souhaités pour la fabrication des céramiques de grande diffusion. L'éventail d'applications des céramiques est immense et à côté des céramiques thermomécaniques, le domaine des céramiques pour l'électronique est une composante très vaste, Parmi les composants électroniques les plus utilisés, les condensateurs. L'Algérie est un pays qui regorge de minéraux naturels à bon marché et qui ne sont pas utilisés jusqu'à maintenant à leur juste valeur, surtout dans le domaine de la céramique. Objectif de valoriser ces matières premières en les identifiant par les différentes méthodes d'analyses contemporaines et de leur trouver des applications industrielles à grande ou petite échelle.

Notre travail a pour objectif l'étude de l'influence de la granulométrie sur les propriétés mécaniques de céramique par photographie de spéculaire.

Cette étude s'intéresse à traiter les propriétés mécaniques de céramiques par voie optique par une nouvelle expérience qui est le spéculaire. Lorsqu'un objet diffusant est éclairé par un faisceau laser, ce phénomène est dû au relief microscopique de la surface et la cohérence de la lumière laser.

Dans le premier chapitre on a défini les céramiques, la structure des céramiques, ainsi que les différents types de liaisons (liaisons chimiques et physiques), les céramiques (traditionnelles et techniques), les propriétés mécaniques (densité, comportement à la fusion et température de fusion, module d'élasticité, ténacité, facteurs influençant la résistance mécanique) et physiques (thermique, électriques, optique), et enfin les défauts ponctuels, les défauts linéaires ou dislocations et les défauts bidimensionnels.

Dans le deuxième chapitre on a défini le phénomène de spéculaire, ainsi que ces propriétés statistiques, types et déviations du spéculaire. On démontre l'importance de la photographie de spéculaire (focalisé et non focalisé) et de la corrélation de spéculaire pour mesurer les déplacements et les déformations d'objets.

Introduction Générale

Le troisième chapitre est consacré à la partie expérimentale. Dans cette partie nous discutons l'application de la photographie de spéculum pour déterminer les propriétés mécaniques relatives aux essais de compression des céramiques.



CHAPITRE I

I.1 Définition des céramiques

Définition 1 :

Céramique vient du "keramikos" qui signifie terre cuite ou terre à porter. Depuis des millénaires, les potiers ont choisi des matières premières argileuses qui ont la propriété de donner avec l'eau une pâte plastique qui se modèle aisément et qui devient dure, solide et inaltérable après cuisson.

C'est la définition que donne le Larousse 3 volumes (édition de 1970) : << art de fabriquer les poteries, fondé sur la propriété des argiles des donner avec l'eau une pâte plastique facile à façonner, devenant dure, solide et inaltérable après cuisson >>.

Ainsi le terme <<céramique>>, après avoir signifié les poteries, s'est étendu à toute une gamme de produits, les céramiques traditionnelles telle la porcelaine, la poterie, les appareils sanitaires, les briques, les tuiles et tous les produits constitués essentiellement de silicates. Les céramiques silicatées sont élaborées essentiellement à partir d'alumino-silicates naturels plus ou moins complexes que sont les argiles et qui présentent une pâte plastique permettant une mise en forme facile d'objets.

Puis, progressivement, ont été inclus des matériaux non silicatés comme les oxydes, les carbures, les nitrures, les borures... appelés céramiques techniques. Ainsi le terme <<céramiques>> ne se limitait plus au cas particulier des produits à base de silicates (essentiellement l'argile).

Définition 2 :

L'analyse précédent montre à l'évidence que la définition du Larousse, pour le terme céramique, n'est pas satisfaisante et qu'il est nécessaire, aujourd'hui, de mieux définir ce terme, de nombreuses définition en ont été proposées et ont revues récemment.

D'une manière générale, nous considérerons qu'un matériau céramique est un solide inorganique non métallique. C'est la définition de la céramique au sens large du terme. Ainsi, les céramiques ne sont pas définies par rapport à une technologie (dont l'étape majeure serait le frittage) mais par référence à une nature chimique. Les matériaux inorganiques non métalliques obtenus par fusion, comme les verres et les réfractaires électro fondus, et les liants hydrauliques,

(ciment, bétons, plâtre) obtenus par prise à partir d'un milieu aqueux, font donc partie de la classe des matériaux céramiques. D'après cette définition, le graphite et le diamant ainsi que la glace font également partie des céramiques.

On peut donc définir la céramique comme étant le domaine scientifique, technique et industriel qui s'occupe de la fabrication et de propriétés des solides inorganiques non métalliques.

I.2 structures des céramiques

Les principales propriétés physique, thermiques et chimiques des céramiques sont dominées par la nature des liaisons interatomiques et leur structure cristalline. Les liaisons interatomiques des céramiques sont essentiellement des liaisons forts, iono-covalentes. Dans certains matériaux (silicates, graphite), il existe cependant des liaisons faibles de type van der Waals [1].

Toutefois, une autre caractéristique, leur microstructure, joue également un rôle très important sur les propriétés des céramiques, en particulier les propriétés mécaniques.[1]

Les liaisons ioniques et covalentes impliquent tous les électrons de valence des atomes en présence. Il n'y a donc pas d'électrons libres et les céramiques sont, en général, de mauvais conducteur de la chaleur et de l'électricité. Elles sont fréquemment utilisées comme diélectriques et isolants thermiques.[1]

Certains matériaux céramiques, de par leur structure cristalline, présentent des propriétés ferroélectriques (BaTiO_3), piézoélectriques (quartz, PZT), ferrimagnétiques (ferrites).[1]

Les liaisons ioniques et covalentes étant des liaisons fortes et stable, leurs températures de fusion sont donc généralement très élevées. C'est pour cette raison que certaines sont utilisées comme matériaux réfractaires ou comme conteneurs à haute températures. Du fait également de stabilité des liaisons chimique, les céramiques possèdent une grande inertie chimique et sont donc peu sujettes à la dégradation par corrosion.[1]

En ce qui concerne les propriétés mécaniques, les céramiques sont caractérisées par l'absence de plasticité (elles ont un comportement fragile), une dureté et une rigidité élevées, une faible résistance à la traction et une bonne résistance à la compression.[1]

I.2.1. Céramiques ioniques

Les céramiques ioniques sont typiquement des composés d'un métal et d'un non métal. L'attraction électrostatique entre charges de signes opposés constitue la source principale de liaison. Les ions adoptent un empilement dense afin de minimiser les distances entre charges de signes opposés. Cet empilement est aussi contrôlé par une restriction que les charges de même signe ne se touchent pas. La structure de ce type de céramique est généralement cristalline.

Ex : Na a 8e⁻ au total et 1e⁻ sur la couche périphérique, le Cl a 7 e⁻ sur la couche périphérique. Ce qui donne le NaCl (chlorure de sodium, sel de cuisine). Il se constitue un édifice très stable, très compact (Figure 1.1).

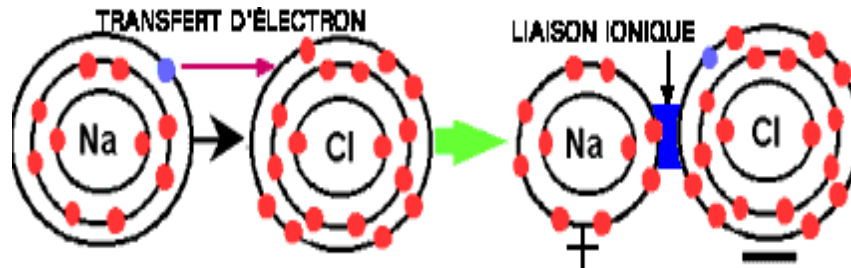


Fig. I.1 Les liaisons ioniques

I.2.2. Les céramiques covalentes :

Les céramiques covalentes sont composées de deux non-métaux comme la silice SiO₂, ou, à l'occasion, simplement des éléments purs comme le diamant C, ou le silicium Si. Un atome d'une céramique de ce type se lie en partageant des électrons avec ses voisins pour produire un nombre fixé de liaisons directionnelles. L'énergie est minimum, non par le développement d'un empilement dense comme pour les céramiques ioniques, mais par la formation de chaînes, feuillets ou réseaux. Les céramiques à liaisons covalentes sont plus fréquemment amorphes.

Ex : Le carbure de silicium (SiC) :

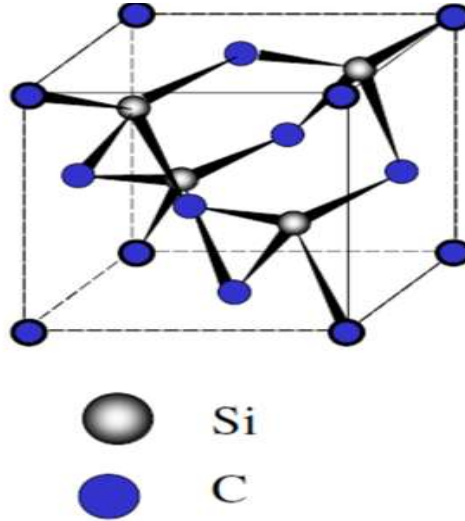


Fig. I.2 Liaison covalente

I.3. Les Céramiques traditionnelles

Les céramiques traditionnelles modernes parfois appelées conventionnelles ou silicatées, se distinguent des autres céramiques par le fait qu'elles sont obtenues à partir d'une ou plusieurs matières premières minérales naturelles dont l'un des constituants au moins est une argile riche en phyllosilicates.[1]

Elle sont utilisées en tant que produits pour le bâtiment (sanitaires, carreaux de sol et de mur , briques, tuiles...) et articles domestiques (vaisselle , objet décoratifs, poterie);c'est -à- dire dans des domaines où la remarquable tenue en température des céramique ne constitue pas un atout déterminant par rapport aux matériaux concurrent tels les pierres (naturelles ou reconstituées), les métaux, les liants minéraux ou les polymères . Les choix d'une solution céramique, souvent, plus onéreuse, se fait essentiellement par référence à la durabilité (inertie chimique face aux agents corrosifs, stabilité face au rayonnement lumineux, faible sensibilité aux variations climatiques...) et à des critères (esthétiques, historiques, psychologiques) qui relèvent autant de l'héritage culturel de l'acheteur que de l'originalité du concepteur.[1]



Fig. I.3 Les céramiques traditionnelles

I.3.1. Les matières plastique

La matière première de base des céramiques traditionnelles est l'argile. Ce terme est utilisé pour désigner un ensemble constitué de grains de tailles inférieure à $2\ \mu\text{m}$, riche en phyllosilicates (aluminosilicates hydratés de structure lamellaire) et susceptible de former une suspension colloïdale dans l'eau. Parmi les phyllosilicates présents dans les argiles, on peut distinguer les silicates d'alumine, tels la kaolinite et l'illite, des produits contenant dans leur réseau cristallin des alcalins ou des alcalino-terreux, tels les micas (muscovite et illite) et les smectites. Mélangée à une certaine quantité d'eau, la poudre d'argile forme une pâte plastique, malléable et cohésive, semble à celle utilisée par le potier sur son tour.

Cette plasticité est due à la forme en plaquette des grains de phyllosilicates et à leur forte affinité pour l'eau liquide. Les céramistes ont l'habitude de classer les argiles en fonction de leur plasticité (aptitude à la mise en forme) et leur comportement à la cuisson.[1]

Chapitre I

- ❖ Les argiles rouges sont surtout utilisées pour la fabrication des produits de terre cuite. Leur forte teneur en fer (plusieurs % massiques en équivalent Fe_2O_3) est à l'origine de la couleur brun rouge des tessons après cuisson.
- ❖ Les argiles plastiques grésantes se distinguent par la forte plasticité des pâtes qu'elles forment avec l'eau et l'apparition d'un abondant flux visqueux (phénomène de grésage) durant la cuisson.
- ❖ Les argiles réfractaires sont constituées très majoritairement de kaolinite.
- ❖ Les produits appelés ball clay sont des argiles plastiques présentant un caractère réfractaire marqué. [1]

a. Argiles :

Le mot argile provient du latin Argilla. Ce même mot est dérivé du grec argillos, dont la racine, argos, signifie " d'une blancheur éclatante ". Du XIIe au XVIe siècle, argile se disait "Ardille", puis ce mot est devenu "arzille", puis "arsille" pour finir en "argile".

Le terme générique, « argile » est couramment utilisé pour désigner différentes roches sédimentaires, cristaux, présentant une forte teneur en minéraux. Il n'existe pas une mais des argiles. Selon leurs composition et concentration en minéraux, les différentes argiles ont des structures et des propriétés différentes.



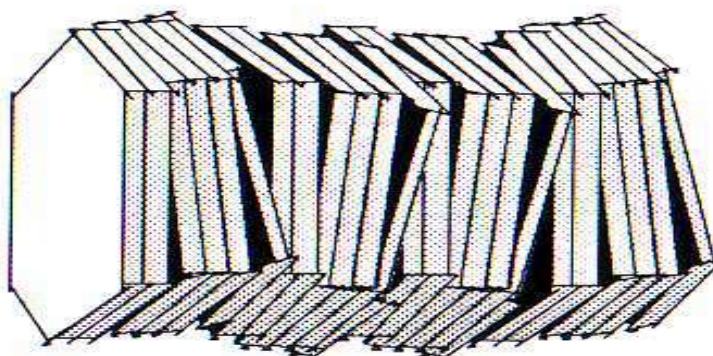
Fig. I.4 Type d'argile

b. Kaolin :

Le terme **kaolin** a été utilisé, pour longtemps, pour désigner l'argile chinoise extraite du village « Kauling » [5]. Actuellement, le terme kaolin désigne les minéraux ayant une composition en kaolinite ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) supérieure à 50%. [6] Ils peuvent être différents selon les conditions géologiques de leur formation, leurs compositions minéralogiques moyennes et leurs propriétés physiques et chimiques. [7] Il existe une multitude de kaolins, ce qui nécessite leur caractérisation convenable pour déterminer de façon rationnelle l'utilisation appropriée de chacun d'eux. [7]

Le kaolin est souvent blanchâtre. La présence d'impuretés, particulièrement à base de fer ou de titane, donne au kaolin une certaine coloration. Généralement, le kaolin naturel brut contient d'autres impuretés telles que le quartz, feldspath... [8] Le kaolin présente une grande surface spécifique (comprise entre 10 et 100 m^2/g) et une masse volumique d'environ $2,6 \text{ g}/\text{cm}^3$.

Le kaolin est largement utilisé dans la fabrication en porcelaine, des ustensiles isolants électriques, des sanitaires et des matériaux réfractaires. [9] L'usage du kaolin dans l'industrie des réfractaires provient du fait qu'il présente l'avantage d'être très peu onéreux et disponible en gisements facilement exploitables. [10] Le kaolin calciné est utilisé dans la formulation de ces matériaux pour réduire le rétrécissement et augmenter la réfractarité. [7]



kaolinite

Fig. I.5 Morphologie des cristaux de kaolinite [11]

1.3.2 Les dégraissants

Bien que facile à mettre en forme, une pâte constituée uniquement d'argile serait trop déformable pour permettre la manipulation sans dommage de la préforme. De plus le séchage et cuisson d'une telle préforme s'accompagnerait d'une importante contraction (retrait) qui rendrait difficile la maîtrise de la forme et des dimensions de la pièce finale.[1]

Pour limiter ces effets indésirables, des produits non plastiques doivent être présents dans le mélange minéral initial. Ces constituants, appelés dégraissants, se présentent sous la forme de grains relativement gros ($>10\ \mu\text{m}$). Les dégraissants les plus communément employés sont le sable, le calcaire, les feldspaths, des chamottes et des rebuts de céramique broyés.[1]

1.3.3 Les fondants

Le frittage des mélanges minéraux riches en silicates, tels ceux utilisés pour fabriquer les céramiques traditionnelles, fait intervenir l'écoulement d'un flux visqueux riche en silice. Pour que celui-ci ait une influence significative sur l'évolution de la microstructure (consolidation et densification), il faut qu'il puisse représenter une fraction volumique importante et que sa viscosité soit inférieure à environ $10^7\ \text{Pa.s}$. Afin d'abaisser la température de frittage, il est d'usage d'introduire dans les mélanges initiaux des minéraux, appelés fondants, qui sont à la fois formateurs de flux et pourvoyeurs d'éléments fluidifiants (alcalins, alcalino-terreux ou certains éléments de transition).

Ces fondants peuvent être des phyllosilicates riches en alcalins (micas ou smectites) ou des minéraux non plastiques comme les feldspaths ou la craie. Ces derniers se comportent alors comme des dégraissants pendant la mise en forme et comme des fondants pendant le frittage.[1]

I.4. Céramique technique

I.4.1. Les Céramiques à base d'oxydes

Les céramiques oxydes se caractérisent par une température de fusion très élevée, une grande stabilité chimique même à haute température, une résistance à l'oxydation évidente, une dureté élevée ... L'ensemble de ces propriétés sont liées aux caractères fortement ioniques de leur liaisons.

Parmi les oxydes les plus utilisés pour des applications thermomécaniques citons l'oxyde d'aluminium appelé communément alumine, l'oxyde de zirconium (la zircone) et la cordiérite ($2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$). [1]



Fig. I.6 Céramique technique

I.4.2 Les Céramiques non-oxydes

Les céramiques non-oxydes se caractérisent par des températures de fusion ou de décomposition élevées, une bonne stabilité chimique même à haut température, une assez bonne résistance à l'oxydation, des duretés et des résistances mécaniques très élevées ... Toutes ces propriétés sont liées au caractère fortement covalent de leurs liaisons interatomiques. Dès lors, on retrouvera ces céramiques en tant qu'abrasifs et outils de coup grâce à leur dureté exceptionnelle et leur bonne ténacité ainsi que comme éléments de structure à moyenne et haute température en milieu corrosif en raison bonne tenue mécanique [1]

Parmi les non-oxydes les plus utilisés pour les applications thermomécaniques, figurent les carbures de silicium, de bore et de titane, de bore et de tungstène .



Fig. I.7 Exemples de céramiques non oxyde

I.5. Traitements des poudres :

I.5.1 Concassage

Le concassage est généralement relatif à des grandes entités qui peuvent atteindre des tailles de plusieurs dizaines de centimètres et les réduits à des dimensions de l'ordre du millimètre ou de quelques centaines de microns.

Les concasseurs (à mâchoires, rotatif, à rouleaux et à marteaux)

Les concasseurs rotatifs et à mâchoires mettent en œuvre un produit grossier (pouvant avoir plusieurs dizaines de centimètres de « diamètre») et le réduisent par impacts, compression et cisaillement jusqu'à une dimension voisine de 5 mm. Les concasseurs à mâchoires permettent d'obtenir des fragments dont les dimensions linéaires sont approximativement dix fois plus faibles que celles des morceaux à traiter. Les concasseurs rotatifs ne permettent que l'obtention d'un rapport plus faible entre les dimensions des morceaux à broyer et celles des fragments traités (rapport de réduction de 1 à 4). Ces deux types de concasseurs ne produisent que relativement peu de farine (fragments très fins).

Des concasseurs à rouleaux de tailles très différentes peuvent être utilisés pour réduire les dimensions du produit jusqu'à l'obtention d'une taille de grains de l'ordre du millimètre. Ils peuvent également traiter des lots de matières premières de faible importance, en ajustant l'espacement des rouleaux, pour atteindre des tailles de grains de l'ordre du micron. Lorsqu'ils traitent des matières dures, les broyeurs à cylindres sont le plus souvent alimentés par l'intermédiaire de concasseurs à mâchoires qui peuvent être éventuellement montés sur le même bâti.

Les concasseurs à marteaux sont d'usages polyvalents. Ils sont essentiellement constitués de pièces percutantes, tournant rapidement dans de robustes carters. Les matières à broyer, introduites dans ces appareils, sont frappées par les pièces en mouvement et violemment projetées contre les parois. En variant la taille de l'écran à travers duquel le produit concassé est forcé, la taille des particules peut atteindre des fractions de mm. Ces concasseurs sont utilisés dans les premières étapes de la production de poudres céramiques associées avec l'industrie des minéraux aluminosilicates et ont des capacités de production de l'ordre de la tonne par heure. Ils ont un bon rendement lorsqu'ils sont alimentés par des argiles sèches ou des matières premières peu dures. Ils

peuvent être usés assez rapidement par les matières premières dures. Ils ne permettent pas le concassage des argiles humides. [2]

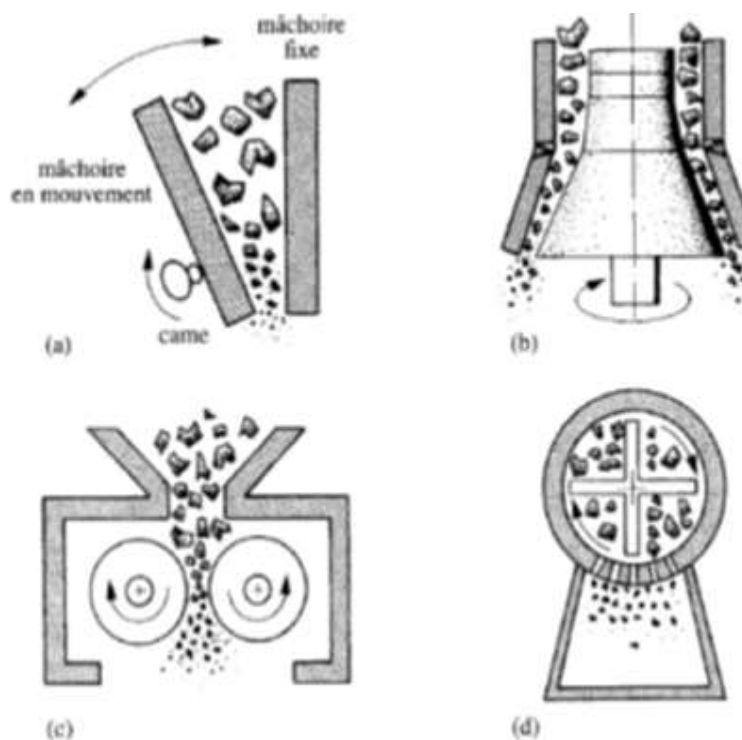


Fig. I.8 Différents types de concasseurs : (a) à mâchoires ; (b) rotatif ; (c) à rouleaux et (d) à marteaux [2]

I.5.2 Broyage

Le broyage réduit les particules obtenues par concassage jusqu'à quelques dizaines de microns, voire moins. Le broyage fin produit des particules submicroniques, dont le «diamètre» est typiquement compris entre 1 et 0,1 micron. Les poudres produites par voie chimique sont souvent soumises, après leur synthèse et avant l'étape de formage, à une modification de leur distribution de tailles par broyage. Cela peut être fait par le fournisseur ou l'utilisateur lui-même (par au moins un léger broyage pour éliminer une petite population d'agglomérats). La plupart de ces modifications incluent une étape de classification en plus de l'étape de réduction de taille. Un inconvénient majeur du broyage des poudres céramiques est la contamination des poudres broyées due à l'usure des corps broyant (billes, pots, paliers).

Le matériau utilisé dans la fabrication des corps broyants est donc choisi en fonction des poudres à broyer, de sa dureté mais aussi en fonction de l'effet de contamination sur l'échantillon à broyer.[2]

I.5.3 Le tamisage :

Le tamisage est une méthode très simple, bon marché et fiable. La méthode consiste à faire passer la poudre à sec ou en milieu humide à travers une tour constituée d'un empilement de tamis que l'on fait vibrer. Il n'y a pas vraiment de limite supérieure à la taille des grains qu'il permet de caractériser. Par contre, au-dessous de 50 μm , le tamisage à sec devient difficile. Cependant, avec une poudre en suspension, une limite inférieure de 5 μm peut être atteinte bien que la méthode ne soit pas toujours facile à mettre en œuvre. Si les particules ne sont pas sphériques, la maille du tamis ne correspondra pas au diamètre réel. Pour des raisons de précision, des précautions doivent être prises lors du nettoyage et de la manipulation des tamis avec des ouvertures inférieures à 250 μm .

Le tamisage est souvent utilisé avec les poudres granulées préparées par atomisation destinées au pressage à sec (50-500 μm). Il est aussi particulièrement utilisé pour la classification de poudres et l'élimination d'agglomérats de grande taille ou de particules fines non souhaitées.[2]

Tableau 1.1.7 ; caractéristiques importantes de poudres pour la mise en œuvre en céramiques [2]

Caractéristique		Méthode
Caractéristiques physiques des particules individuelles	Taille et distribution de tailles	Sédimentation, etc.
	Morphologie et facteur de forme	Microscopie et analyse d'image
	Surface spécifique	Adsorption de gaz (N_2) $>0,1\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$
	Densité absolue	Pycnomètre à He adsorption-désorption de gaz (He)
	Porosité (structure interne)	

Chapitre I

Caractéristiques physiques de l'ensemble de particules (poudre)	Densité apparente Frottement interne Ecoulement compactage	Brute (poured), tassée(tapped) Angle de repos, test de cisaillement (cellule de jenike) Débitimère de hall (rapport de hausner) Pressage uni-axial
Caractéristiques chimiques	Composition chimique (Pureté, additifs organique) Homogénéité	Analyse chimique, pectroscopies Analyse Thermogravimétrie, fluorescence X Microscopies optiques et électronique
Phase	Phase cristalline	Diffraction des rayons-X

D'autres paramètres très importants sont les propriétés granulométriques (taille, distribution de taille), les propriétés morphologiques et l'état d'agglomération de la poudre. La taille et la distribution de taille des particules influencent la façon dont elles s'arrangent lors des opérations de mise en forme et, par conséquent, l'évolution de la microstructure pendant le frittage. La morphologie des particules a également une grande influence sur leur empilement lors de la mise en forme d'un compact de poudre. La méthode de mise en forme utilisée pour produire un compact de poudre (ou corps cru, ou céramique verte) impliquera d'utiliser une poudre possédant certaines caractéristiques spécifiques. [2]

Ces caractéristiques doivent être définies avant de sélectionner une poudre ou devraient être modifiées. Les poudres utilisées dans la plupart des céramiques ont des granulométries moyennes de l'ordre de 0,1 à 5 μm et, en conséquence, une surface spécifique relative ment élevée se situant entre 5 et 15 $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$. Les caractéristiques et la chimie de surface jouent ainsi un rôle important dans les différents phénomènes aux interfaces induits aux points de contact entre particules à travers l'interface poudre-liquide/dispersant, ainsi qu'aux interfaces grain-grain (joints de grains) dans la céramique finale. [2]

La caractérisation des poudres n'est pas seulement importante du point de vue scientifique pour la fabrication des céramiques, mais également du point de vue technologie de production. Il est important de vérifier, régulièrement, que les caractéristiques des poudres restent constantes de lot à lot lors de la fabrication des céramiques. Le stockage et l'évolution possible d'une poudre et de ses caractéristiques dans le temps sont également deux aspects import de la poudre qui peut minimiser d'éventuels problèmes. [2]

I.6. Mise en œuvre des céramiques par pressage ;

I .6.1 Mise en forme par voie sèche :

Le pressage à sec est une méthode de mise en forme de pièces céramiques de géométrie relativement simple, couramment utilisée et économique. Les deux principaux modes de pressage sont le pressage uniaxial et le pressage isostatique.

I.6.1.1 Le pressage uniaxial

Le moule d'une presse uniaxiale est constitué de deux pistons pénétrant dans une matrice généralement en acier trempé ou en alliage carbure de tungstène-cobalt (WC-Co). On peut réaliser ainsi des pièces de complexité variable, par l'application d'une force axiale, qui génère des contraintes radiales, assurant le molage de la poudre contre les parois verticales des outils. Le procédé de compaction est constitué de plusieurs étapes : remplissage, fermeture de l'outil, application de la force, décharge et finalement l'éjection de l'échantillon.

Le pressage uniaxial peut être effectué par déplacement d'un seul piston (pressage dit à action simple) ou dans deux directions opposées (pressage dit à double action). La pression exercée est le plus souvent de l'ordre de 30 MPa dans le cas de matières premières argileuses, et peut atteindre 300 ou 400 MPa dans le cas de céramiques d'oxydes.

Un des plus grands problèmes pour une compaction uniaxiale concerne la distribution de contraintes à l'intérieur du comprimé. Les contraintes générées par la compression deviennent plus faibles quand on s'éloigne du poinçon qui applique la charge, à cause du frottement entre la poudre et les parois de la matrice. Cette différence de contraintes produit une différence dans la densité à l'intérieur du compact : la densité est plus élevée près des outils et plus faible au centre de l'échantillon. Ceci crée des propriétés hétérogènes dans le compact.

Chapitre I

Finalement l'éjection du comprimé par déplacement du piston inférieur est une étape délicate à cause du relâchement localisé des contraintes et du frottement avec les parois de la matrice. Ces efforts peuvent causer la fissuration du comprimé. [2]

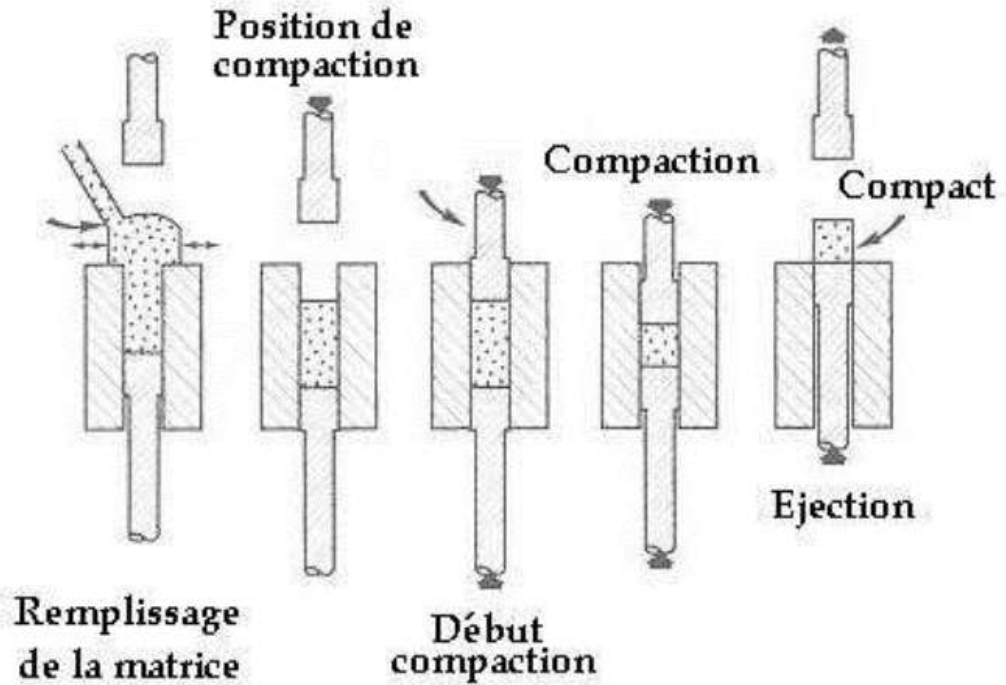


Fig. I.9 Schéma de principe du pressage uniaxial [2]

La séquence des étapes intervenant lors du pressage est décrite selon trois stades (fig.6.2):

Stade 1 : réarrangement des particules entre eux sans déformation de ceux-ci.

Stade 2 : Fragmentation des gros grains et diminution de la porosité entre les grains (porosité intergranulaire).

Stade 3 : Elimination de la porosité présente dans les granules (porosité intragranulaire).

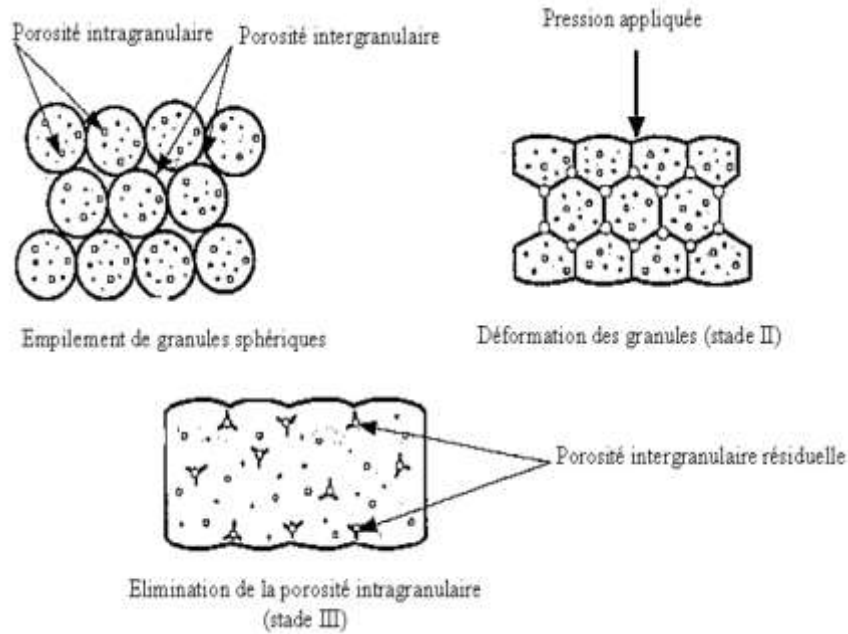


Fig. I.10 Illustration des étapes de compactage et évolution de la porosité

1.6.1.2 Le pressage isostatique

Le pressage isostatique met en œuvre un moule plastique rempli de la poudre à presser. Ce moule est disposé dans une enceinte où la pression est appliquée par l'intermédiaire d'un liquide ou d'un gaz. Le pressage isostatique à froid est utilisé pour réaliser des pièces de formes compliquées à deux ou trois dimensions, pour des pièces de formes plus allongées comme des tubes et des pièces de plus grands volumes.

Cette méthode offre l'avantage de permettre une répartition homogène de la pression au sein de la pièce et permet, ainsi, de produire des pièces avec une densité élevée et très uniforme (billes de broyage, ...). Dans la pratique, deux types de pressage isostatique sont employés : pressage en moule humide et pressage en moule sec : [2]

a. Pressage en moule humide

Le moule déformable (caoutchouc synthétique, silicone, polyuréthane) est rempli de la poudre puis il est fermé pour assurer l'étanchéité. Ensuite, il est désaéré puis immergé dans le liquide contenu dans la chambre pour être comprimé. Ce procédé est utilisé dans la fabrication des pièces pleines : sphères, petites séries de pièces complexes. Le débit de production est relativement lent.

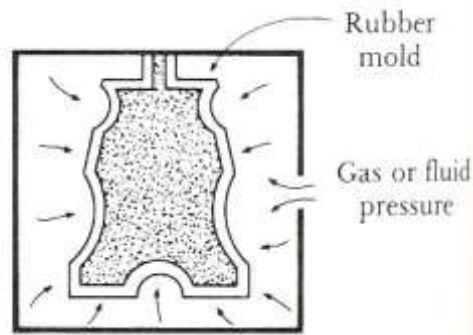


Fig. I.11 Principe du procédé de pressage en moule humide [2]

b. Pressage en moule sec

Les presses isostatiques dites à moules secs, ont des moules souples fixés dans l'enceinte du fluide de pression et comportent un noyau central métallique entouré par le moule souple et séparé de celui-ci par la matière première à presser. C'est ce noyau central qui constitue le moule sec à proprement parler. Comparativement au cas précédent, les flux de production sont plus rapides et plus facilement automatisés. Ces presses dites à moules secs sont par exemple utilisées pour mettre en forme des tubes [2]

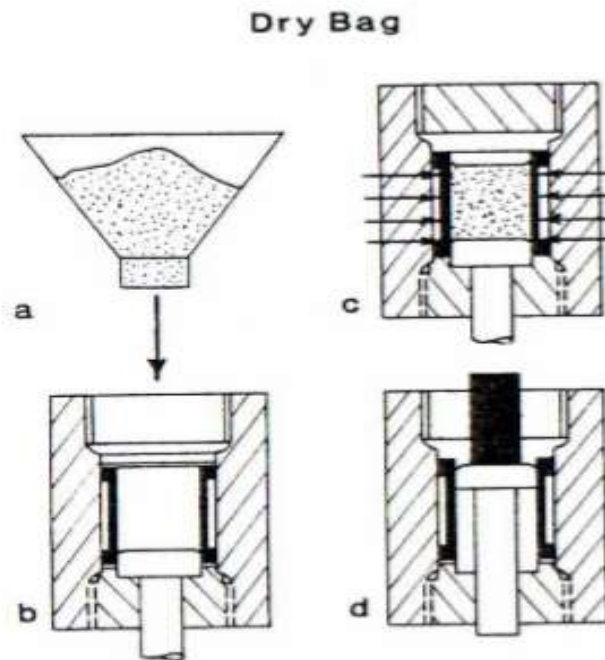


Fig. I.12 Principe du procédé de pressage en moule sec [2].

I.7 frittages des céramiques

La dernière étape dans la production des céramiques est la consolidation par frittage, au cours de laquelle la pièce acquiert la résistance et les dimensions du composant final. Le frittage est un traitement thermique effectué à une température au-dessous du point de fusion du composant principal du matériau qui permet la génération de liaisons fortes entre les particules par diffusion de matière. Dans la plupart des cas, le frittage est accompagné d'un retrait (réduction des dimensions de la pièce) et donc d'une densification (réduction de volume de la pièce). Le cycle de frittage comprend généralement une période de chauffage à la température de frittage, ensuite une période isotherme et finalement un refroidissement. Les vitesses de chauffage et refroidissement doivent être contrôlées pour éviter une fissuration, surtout dans les matériaux céramiques. L'élimination des lubrifiants et liants ajoutés à la poudre avant la mise en forme se déroule au début de la période de chauffage. [2]

Le frittage peut se faire en phase solide ou en présence d'une phase liquide. D'autres méthodes de consolidation d'une poudre sont le frittage réactif et le frittage sous pression.

I.7.1 Le frittage en phase solide

La poudre est chauffée à haute température mais aucun des constituants ne fond. Les liaisons entre les particules se font principalement par déplacement d'atomes, on parle de diffusion de matière à l'état solide. La densification est produite par la soudure et le changement de forme des grains. Ce frittage peut donc être monophasé, à un constituant, ou polyphasé. On peut de façon ponctuelle ajouter des additifs qui permettent, sans créer de phase liquide, d'accélérer la densification. Ce mode de frittage est particulièrement utilisé pour les céramiques techniques dont la pureté des joints de grains est importante pour les propriétés d'usage : thermo-mécaniques (outil de coupe, barrières thermiques, combustible nucléaire), électriques ou magnétiques (diélectriques, supraconducteurs), optiques, [2]

Dans le cas du frittage à l'état solide, on admet l'existence de trois stades :

- a. **Formation de ponts** : Les particules en contact commencent à s'unir par formation de ponts suite à la diffusion des espèces chimiques les composants. (Pas de retrait macroscopique). [2]

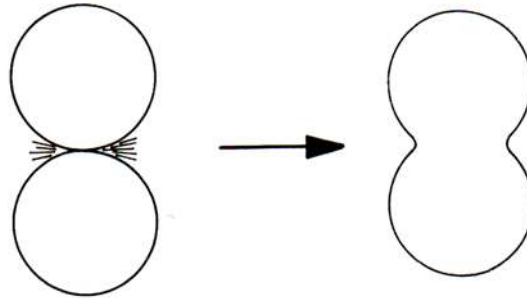


Fig.1.13. Formation de col entre deux particules sphériques.

- b. Densification des comprimés et croissance des grains :** Les particules commencent à perdre leur identité et ont tendance à arrondir les arêtes vives et à former une structure poreuse. La porosité formée est continue et ouverte. Lorsque le frittage se poursuit, on peut observer une croissance des grains. A ce stade, on peut enregistrer un retrait
- c. Formation de porosité fermée :** Les pores ont tendance à prendre des formes sphériques isolées dans la masse du produit. A ce moment la vitesse de densification subit un ralentissement et le retrait de l'échantillon devient beaucoup moins marqué. Si l'on n'atteint pas une densification complète, il arrivera un certain moment à partir duquel la continuation du traitement devient pratiquement inutile.

I.7.2 Le frittage en phase liquide

Dans ce procédé de frittage l'un des constituants (minoritaire) du mélange de poudres passe en phase liquide. Comme dans le frittage en phase solide la réduction de l'énergie interfaciale est la force motrice. La propriété de mouillage de la phase solide par la phase liquide est importante pour réaliser le frittage. La densification durant le frittage en phase liquide se déroule en 3 étapes : réarrangement, dissolution - précipitation et grossissement de grains.

Pendant le chauffage pour atteindre la température de fusion d'un des composants, une densification en phase solide peut se produire. Elle peut être consécutive d'une mauvaise répartition du liquide. Une fois que la phase de plus bas point de fusion devient liquide, l'étape de réarrangement de grains est activée. Ensuite il y a un ajustement de forme des grains qui conduit à une élimination de pores importante. Finalement pendant la dernière étape une croissance microstructurale est observée, au cours de laquelle la taille moyenne des grains et des pores augmente continuellement.[2]

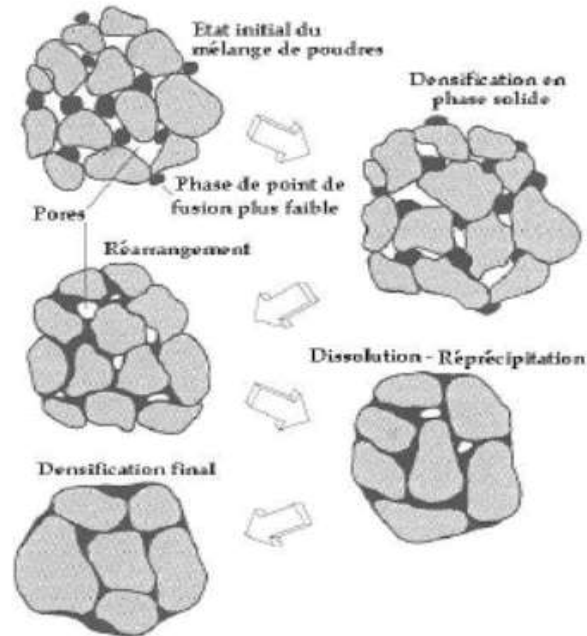


Fig.1.14. Diagramme schématique du frittage en phase liquide

I.8. Propriétés mécaniques des céramiques

I.8.1 Elasticité :

Les modules d'élasticité ou modules d'Young dépendent de la rigidité de la liaison et de la densité surfacique des liaisons. Une liaison peut être caractérisée par la raideur S (N/m) d'un ressort et le module d'Young E est de l'ordre de :

$$E = \frac{S}{r_0} \quad (1.1)$$

Avec r_0 le rayon atomique. [2]

I.8.2 Dureté :

Les matériaux céramiques présentent des duretés généralement élevées du fait de leurs fortes liaisons. Le diamant est le matériau le plus dur ($HV= 9000$). Le corindon (Al_2O_3), le carbure de silicium (SiC) et bien sûr, le diamant (C), sont utilisés comme abrasifs : ils peuvent couper, meuler ou polir à peu près tout, y compris le verre, qui est lui-même un solide très dur. [2]

I.8.3 Résistance mécanique :

La résistance mécanique varie beaucoup pour un matériau donné : elle dépend de la taille de grains, du durcissement, du renforcement, de la porosité ...

Dans le cas des métaux, la liaison métallique non localisée n'empêche pas le mouvement des dislocations tandis que les liaisons dirigées covalentes ou ioniques des céramiques bloquent les dislocations (résistance de réseau est forte).

Les céramiques étant fragiles, leur résistance mécanique dépend essentiellement de la taille des défauts (fissures) présents dans le matériau. Cette taille est liée à la microstructure obtenue après élaboration (présence de pores, défauts, fissures ...). D'une manière générale, du fait de la distribution en taille des défauts, la résistance mécanique des céramiques est largement distribuée.

La résistance mécanique diminue de manière sensible avec la fraction volumique de pores. Par exemple pour l'alumine, la résistance en flexion peut varier de 300 MPa pour une alumine dense à 50 MPa pour une alumine avec 30% de pores.

Il faut noter que certains matériaux céramiques ioniques, à l'état monocristallin, avec la structure NaCl ou fluorite, présentent un comportement ductile du au mouvement de dislocations. Les céramiques polycristallines peuvent également avoir un comportement ductile à hautes températures.

Les céramiques sont les seuls matériaux résistants au-dessus de 1000°C, la plupart des métaux se ramollissent vers 800°C et les polymères ayant des résistances faibles au-dessus de 200°C.[2]

I.8.4 Résistance à la rupture des céramiques

Le prix à payer lorsqu'on fait le choix d'un matériau à très forte friction de réseau, c'est la fragilité : la ténacité est faible. Même à l'extrémité d'une fissure, où existe une très forte concentration de contraintes, la friction de réseau rend les glissements très difficiles. C'est la plasticité en tête de fissure qui confère aux métaux leur ténacité élevée : de l'énergie est absorbée dans la zone plastique, ce qui rend beaucoup plus difficile la propagation de la fissure. Bien qu'un peu de déformation plastique puisse apparaître également en tête de fissure dans les céramiques, elle reste toujours très limitée ; l'énergie absorbée est faible et la ténacité est basse.

Chapitre I

Le résultat est que les céramiques ont des valeurs de ténacité K_{IC} qui sont en gros un cinquantième de celles des bons métaux ductiles. De plus, elles contiennent pratiquement toujours des fissures et des cavités. Les fissures apparaissent de plusieurs manières. Le plus souvent, les méthodes d'élaboration laissent subsister de petites cavités : les produits frittés, par exemple, contiennent généralement de petits pores anguleux à l'échelle de la taille des poudres (ou des grains). Les contraintes thermiques liées au refroidissement ou au cyclage thermique peuvent produire de petites fissures. Même s'il n'y a pas de fissures liées à l'élaboration ou au choc thermique, la corrosion (souvent par l'eau) ou l'abrasion (par les poussières) sont suffisantes pour faire apparaître des fissures en surface de n'importe quelle céramique. Et si elles ne se sont pas formées autrement, les fissures apparaissent pendant la mise en charge d'un solide fragile, provoquées par les effets de l'anisotropie de l'élasticité des grains ou par un glissement plus facile sur un système isolé.

L'usage qu'on peut faire en construction d'une céramique est donc conditionné par sa faible ténacité et par la longueur des microfissures qu'elle contient. Dans un échantillon donné, si la plus longue microfissure a une longueur $2a_m$, alors la résistance à la traction est simplement :

$$R_{mt} = \frac{K_c}{\sqrt{\pi a_m}} \quad (1.2)$$

En vertu de l'équation qui gouverne la propagation brutale des fissures. Quelques céramiques techniques ont des résistances à la traction de l'ordre de la moitié de celle d'un acier, soit environ 200 MPa. Avec une ténacité typique de 2 MPa.m^{1/2}, la plus longue microfissure y mesure donc 60 % μ m, ce qui est du même ordre que la taille des particules de poudre d'origine. La poterie, la brique et la pierre ont en général des résistances à la traction beaucoup plus faibles, de l'ordre de 20 MPa. Ceci correspond à des longueurs de défauts de l'ordre de 2 mm pour une ténacité typique de 1 MPa.m^{1/2}. La résistance à la traction des ciments et bétons est encore plus faible, jusqu'à 2 MPa dans les grandes sections, ce qui implique la présence d'au moins une fissure de 6 mm de long au minimum pour une ténacité de 0,2 MPa.m^{1/2}.

Il y a deux manières d'améliorer la résistance mécanique des céramiques : diminuer la longueur des microfissures en contrôlant soigneusement la qualité, et augmenter la ténacité par alliage ou par constitution d'un composite à partir de cette céramique. [2]

I.8.5 Module de rupture

Il est difficile d'effectuer des essais de traction sur les matériaux fragiles : les éprouvettes ont tendance à se briser prématurément à l'endroit où elles sont amarrées à la machine de traction. La méthode la plus courante pour tester les céramiques est l'essai de flexion-trois points, qui permet de mesurer le module de rupture. Le dispositif d'essai est schématisé sur la figure et le module de rupture est calculé selon la formule : [2]

$$\sigma_r = \frac{3Fl}{2b a^2} \quad (1.3)$$

I.8.6 Essai de compression

De nombreuses céramiques supportent bien les efforts de compression, ce qui évite les risques (et les incertitudes) liés à l'essai de traction. L'essai de compression mesure la résistance à la compression R_{mc}

Cet essai est très utilisé sur des échantillons de dimension standard de ciments et de bétons pour les contrôles de qualité pendant une construction.

Pour les métaux (ou n'importe quel autre solide plastique), la résistance mesurée en compression est la même que celle mesurée en traction. Mais il n'en est pas de même pour les solides fragiles pour eux, la résistance à la compression est environ 15 fois plus élevée, soit : [2]

$$R_{mc} = 15R_{mt} \quad (1.4)$$

I.8.7 Résistance aux chocs thermiques

La rupture provoquée par de brutales variations de température est un problème typique des céramiques. Mais tandis que certaines (comme le verre ordinaire), ne pourront encaisser qu'un « choc » thermique de 80 °C avant de casser, d'autres (comme le nitrure de silicium), pourront supporter une variation brutale de 500 °C, ce qui est assez pour permettre d'envisager leur utilisation dans des environnements aussi hostiles qu'un moteur à combustion interne.

Une manière de mesurer la résistance aux chocs thermiques consiste à laisser tomber dans de l'eau froide un échantillon de céramique chauffé à des températures de plus en plus élevées. L'écart maximum de température ΔT (en K) auquel il survit sans se casser donne une mesure de sa résistance au choc thermique. Si son coefficient de dilatation thermique est α , la couche superficielle brutalement refroidie subit une contraction $\alpha \Delta T$.

Mais elle fait partie d'un solide beaucoup plus volumineux qui est encore chaud, et ceci l'astreint à conserver sa dimension initiale : elle doit donc supporter une contrainte de traction élastique $E\alpha\Delta T$. Si cette contrainte excède la résistance à la traction R_{mp} la surface de la pièce se fissure et finalement s'écaille. [2]

Donc la température maximale supportable ΔT est donnée par la relation :

$$E\alpha\Delta T = R_{mt} \quad (1.5)$$

1.9 Défaut dans les céramiques

1.9.1 Défauts Ponctuels

a. Lacunes et atomes étrangers

Lorsqu'un défaut existe à l'échelle d'un atome, on parle alors d'un défaut ponctuel (Fig. I.15), en dépit du fait que ce défaut occupe un certain volume. Comme tous les défauts, les défauts ponctuels déforment le réseau et génèrent un champ recontraite dans le cristal qui englobe un volume largement plus grand que celui du défaut même. Celui-ci est représenté schématiquement par des flèches à la Fig. I.15. On distingue trois types principaux de défauts ponctuels :

- ❖ La lacune caractérise l'absence d'un atome d'un site normal du réseau cristallin (A).
- ❖ L'interstitiel apparaît lorsqu'un atome étranger de petite taille (s'insère dans les espaces vides du réseau cristallin (§ 4.2.2). Lorsqu'un atome constitutif du cristal est placé en insertion, on a affaire à un auto-interstitiel (B').
- ❖ L'atome en substitution résulte du remplacement d'un atome constitutif du cristal placé en position régulière par un atome étranger (C, C'). [3]

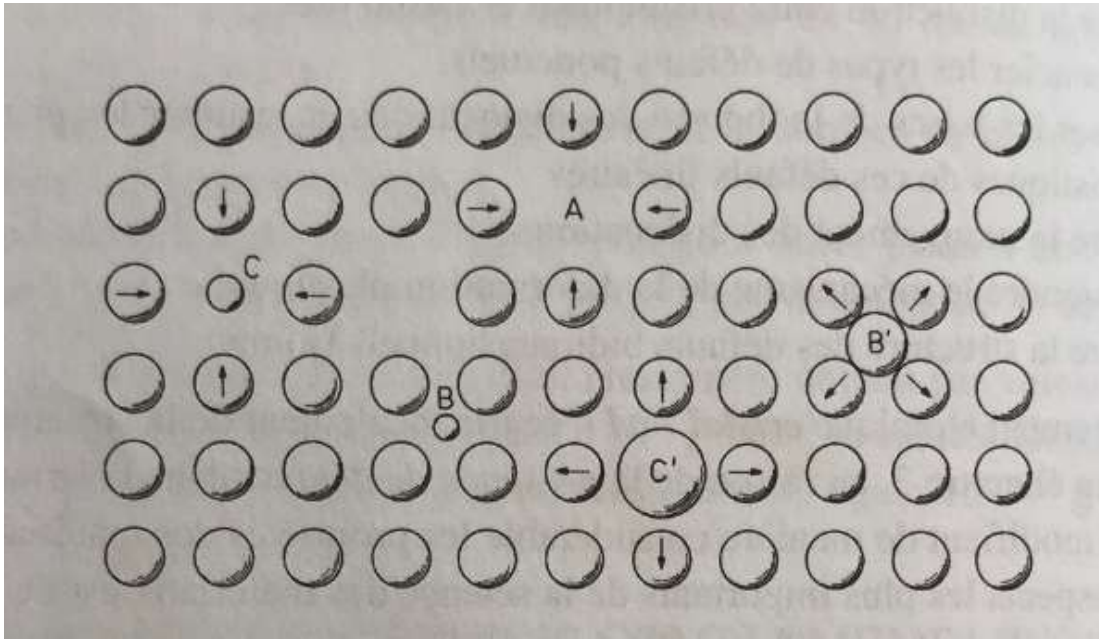


Fig. I.15 1 type de défaut ponctuel dans un cristal (A) lacune;(b) atome étranger interstitiel;(B') atome auto-interstitiel;(C.C) atomes étrangers en substitution. [3]

Les lacunes constituent un type de défaut ponctuel très important car elles facilitent le déplacement des atomes du cristal. Ce phénomène, appelé diffusion, est esquissé à la Fig. I.16. La diffusion contrôle dans une large mesure le comportement des matériaux à haute température (fluage, traitements thermiques). [3]

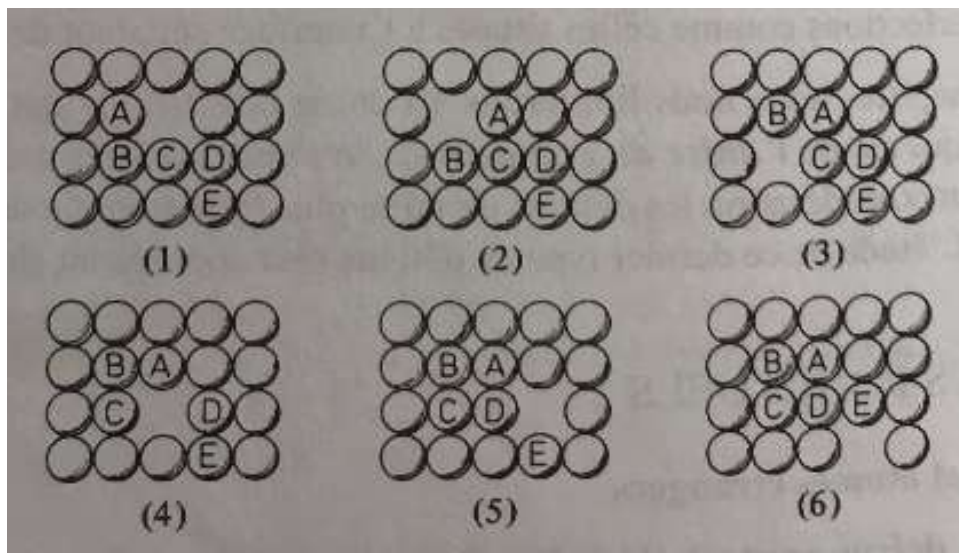


Fig. I.16 Mécanisme de migration lacunaire des atomes dans un réseau cristallin : changement de position entre atomes et lacunes (1 à 6). [3]

I.9.2 Défauts linéaires ou dislocations

a. Géométrie des dislocations

La dislocation est un défaut du cristal qui résulte d'une perturbation de la structure centrée autour d'une ligne (rangée réticulaire). Pour nous aider à percevoir la géométrie de ce défaut, imaginons l'expérience suivante : coupons un cristal à réseau cubique idéal (Fig. I.17 (a)) selon un plan ABCD en déplaçant sa partie supérieure d'une distance interatomique. Pour permettre de reformer les liaisons interatomiques, il est nécessaire que le déplacement s'effectue le long du plan de coupe ABCD. Il existe dans ce plan deux directions de déplacement particulières :

- ❖ Lorsque le déplacement des atomes est effectué dans une direction perpendiculaire à la ligne AB (fig. 7.11(b)), on comprime la partie supérieure du cristal et on observe la formation d'un plan réticulaire, ABEF qui se termine à l'intérieur du cristal le long de la ligne de dislocation (ligne AB). Ce plan d'atomes supplémentaires s'enfonce donc comme un coin dans le cristal, d'où le nom dislocation-coin donné à ce type de défaut. A l'extérieur du cristal, on observe la formation d'une marche CC'DD' dont la largeur caractérise le déplacement des atomes le long du plan de coupe.
- ❖ Si le déplacement des atomes se fait parallèlement à la ligne de dislocation AB (Fig. I.17 (c)), on induit une torsion hélicoïdale du cristal qui a la ligne AB comme axe. Ce défaut linéaire est appelé dislocation-vis. Les signes extérieurs du glissement des atomes sont les marches ADD' et BCC'. Tout autre déplacement dans le plan ABCD formant un angle quelconque avec la ligne AB produit une dislocation mixte, c'est-à-dire une dislocation ayant en même temps une composante-vis et une composante-coin. La Fig. I.17 donne une autre représentation de la dislocation-coin. C'est une dislocation-coin positive (symbole 1) avec le plan supplémentaire au-dessus du plan de déplacement. Dans la partie du cristal située au-dessus de la ligne de dislocation, le cristal est en compression. En dessous de la ligne de dislocation, au contraire, les atomes sont écartés et le cristal est en traction.

Le déplacement des atomes en dehors de leur position d'équilibre au voisinage de la ligne de dislocation augmente par conséquent l'énergie interne du système. Si on fait effectuer à la figure 7.12 une rotation de 180° autour de la ligne de dislocation, on obtient une dislocation-coin négative (symbole T) [3]

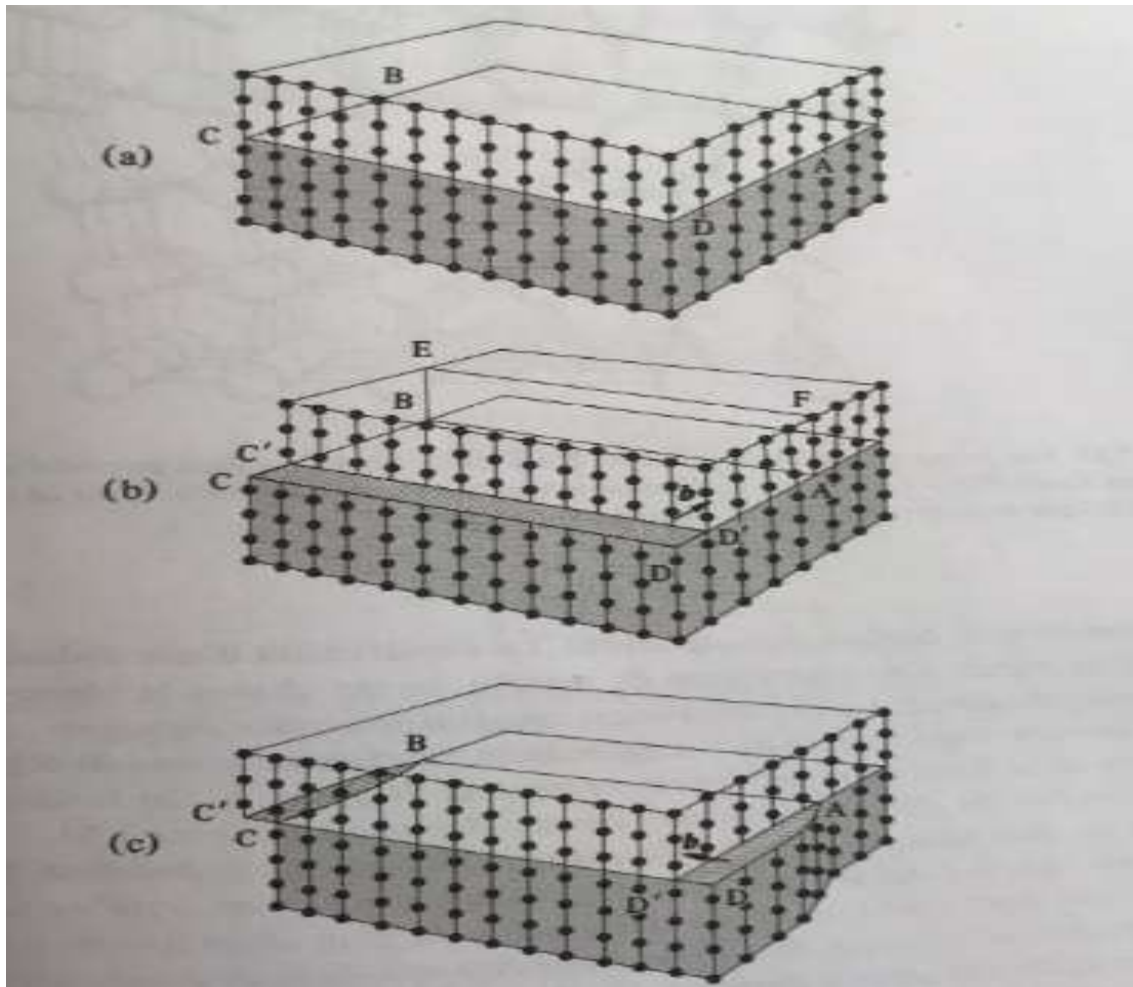


Fig. I.17 Géométrie des dislocations dans un cristal à réseau cubique (a) réseau sans défaut;(b) dislocation-coin. Pour les deux types de dislocations ont indiqué le vecteur qui caractérise le déplacement des atomes du réseau cristallin, appelé vecteur de burgers b . [3]

I.9.3 Défauts bidimensionnels

a. Joints de grains

Nous avons vu précédemment (fig. 3.3 (b)) qu'un grand nombre de matériaux ont une structure polycristalline, c'est-à-dire une structure formée de cristaux de petite taille (grains). Les régions où les grains se touchent sont appelées joints de grains.

Ceux-ci constituent des zones de transition caractérisées par une structure plus ou moins perturbée permettant l'accommodation géométrique et cristallographique des cristaux. Dans la plupart des cas, les grains ont la forme de polyèdres à facettes multiples et la structure du joint dépend de l'orientation des faces de ces polyèdres, les unes par rapport aux autres. La Fig. I.18

Chapitre I

donne une vue schématique au microscope optique de la coupe effectuée dans un matériau polycristallin après polissage et attaque chimique. Les joints de grains des matériaux métalliques sont plus facilement attaqués par des acides que le cristal, ce qui les rend visibles au microscope optique (chap. 10). On reconnaît sur la figure des lignes continues, représentant les joints de grains, et des lignes en tireté schématisant les sous-joints.

La différenciation entre sous-joints et joints se fait en général sur la base de la valeur de l'angle de rotation θ entre les grains situés de part et d'autre du joint. Si θ est inférieur à 10° , on considère qu'il s'agit de sous-joints. [3]

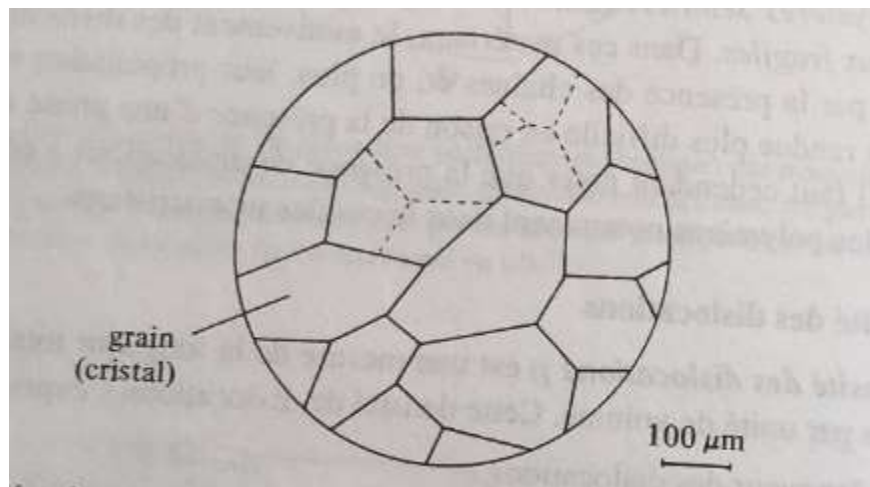


Fig. I.18 défauts bidimensionnels [3]

Il existe deux types de joints simples : les joints de flexion qui contiennent l'axe de rotation des grains (Fig. I.19 (a)) et les joints de torsion qui sont perpendiculaires à cet axe (Fig. I.19 (b)). Les joints peuvent être décrits en termes de réseaux de dislocations. On distingue entre sous-joints de flexion, dont la structure peut être considérée comme un ensemble de dislocations-coin parallèles, et sous-joints de torsion, caractérisés par un réseau de dislocations-vis. Nous nous limiterons au cas des joints de flexion. La figure 7.24 (a) décrit la structure cristalline de deux grains à réseau cubique simple faisant entre eux un angle de désorientation θ de quelques degrés. Dans le joint de grains décrit à la figure 7.24 (b), on voit que le raccord entre les grains se fait par l'intermédiaire d'une série régulière de dislocations-coin. Tant que l'angle θ entre les grains reste petit, il est possible d'identifier les dislocations-coin. Tant que l'angle θ entre les grains reste petit, il est possible d'identifier les dislocations individuelles qui sont séparées d'une distance D donnée par :

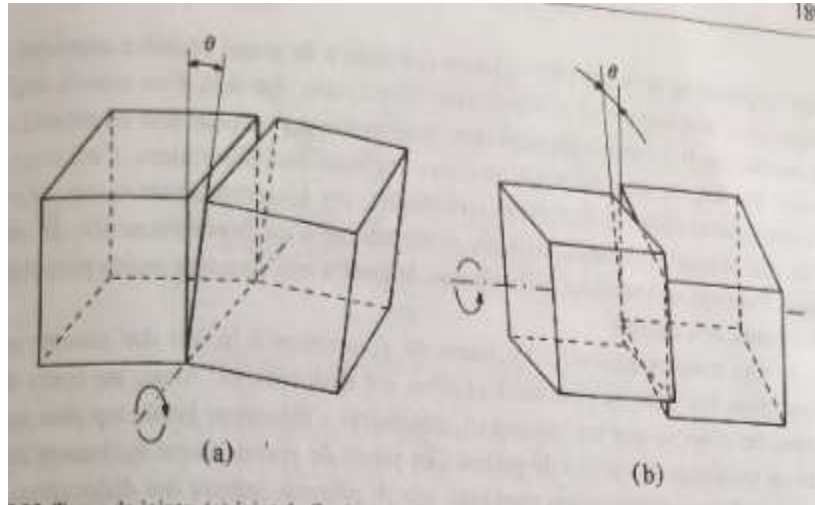


Fig. I.19 Types de joints;(a) joint de flexion ;(b) joint de torsion [3]



CHAPITRE II

II.1 Phénomène de Speckle :

Lorsqu'un objet diffusant est éclairé par un faisceau laser, on a toujours l'impression que sa surface est recouverte d'une structure granulaire très fine répartie aléatoirement dans sa figure de diffraction, appelée speckle .

Ce phénomène est dû au relief microscopique de la surface et la cohérence de la lumière laser. Si les variations d'épaisseur de telle surface sont supérieures ou égales à la longueur d'onde du laser, la lumière diffusée par chaque point de cette surface interfère avec un très grand nombre d'ondes lumineuses réfléchies par les autres points voisins comme le montre la figure 1.1 .

Le résultat de cette superposition d'ondes dont la phase est aléatoirement répartie, produit la figure d'interférence granulaire appelé speckle objectif. Si la surface éclairée par la lumière laser est observée à travers un système optique, cette dernière présente aussi une figure de speckle et dans ce cas on l'appelle speckle subjectif. Un exemple [14] d'une figure de speckle est représenté par la figure 1.2.

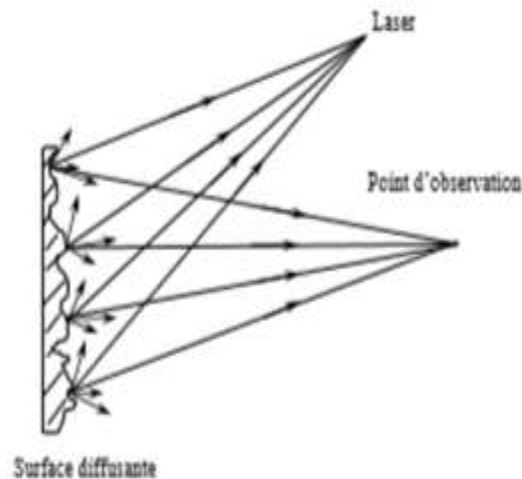


Fig. II.1 contour microscopique d'une surface diffusante [14]

L'intensité résultante dans un point donné sur l'écran d'observation est déterminée par la somme des amplitudes complexes des différents rayons lumineux qui arrivent à ce point. Si l'amplitude résultante est nulle, un speckle noir est observé par contre si tous les rayons qui arrivent sur ce point sont en phase, un speckle brillant est obtenu

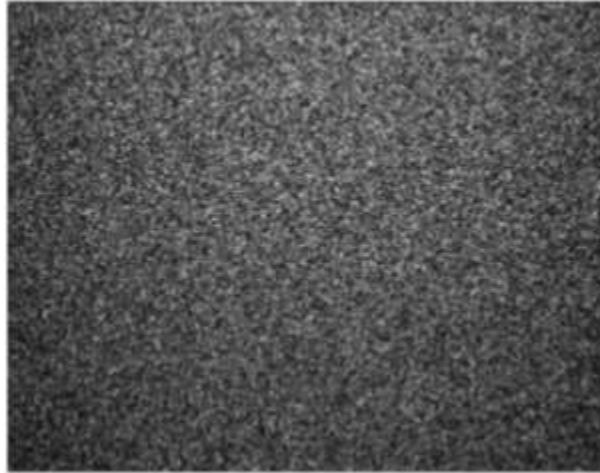


Fig. II.2 Figure de speckle produite par une plaque d'Aluminium recouverte d'une poudre blanche diffusante [14]

II.2 Types et démentions du speckle

II.2.1 Speckle àbjectif

Les dimensions moyennes latérales et longitudinales pour lesquelles l'amplitude, l'intensité ou la phase du speckle présentent une relation stable, sont données par les relations suivantes [3,4]:

$$\langle sl \rangle = 1.22\lambda d_0 D \quad (2.1)$$

$$\langle sL \rangle = 8\lambda d_0^2 D^2 \quad (2.2)$$

Où λ est la longueur d'onde du laser, D le diamètre de la surface éclairée et d_0 la distance d'observation [14]

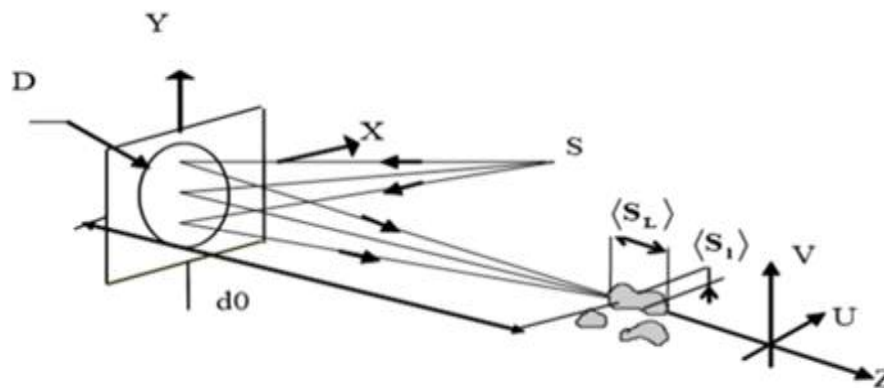


Fig. II.3 Formation du speckle objectif [14]

II.2.2 Speckle subjectif

La figure 1.4 montre ce type d'arrangement. Les dimensions du speckle vont dépendre du système optique à travers lequel l'objet est observé. Dans du laser, D le diamètre de la surface éclairée et d_0 la distance d'observation

Speckle subjectif La figure 1.5, montre ce type d'arrangement. Les dimensions du speckle vont dépendre du système optique à travers lequel l'objet est observé. Dans ce cas les dimensions des grains de speckle sont données par la limite de résolution du système optique qui correspond aux diamètres du disque d'AIRY. Les dimensions latérales et longitudinales des grains de speckle subjectif formée dans le plan image d'une lentille de diamètre (a), et situé à une distance d_i de la lentille, sont données par [4,5]:

$$\langle Sl \rangle = 1.22 \lambda d_i = 1.22 \lambda (1 + g) F \quad (2.3)$$

$$\langle SL \rangle = 88 \lambda d_i^2 a^2 = 8 \lambda (1 + g) 2 F^2 \quad (2.4)$$

Où « F » est le nombre d'ouverture qui est le rapport entre la distance focale et le diamètre de l'ouverture de la lentille.

« g » est le grandissement de la lentille qui le rapport (d_i/d_0); où d_i et d_0 sont respectivement les distances lentille-image et lentille-objet. [14]

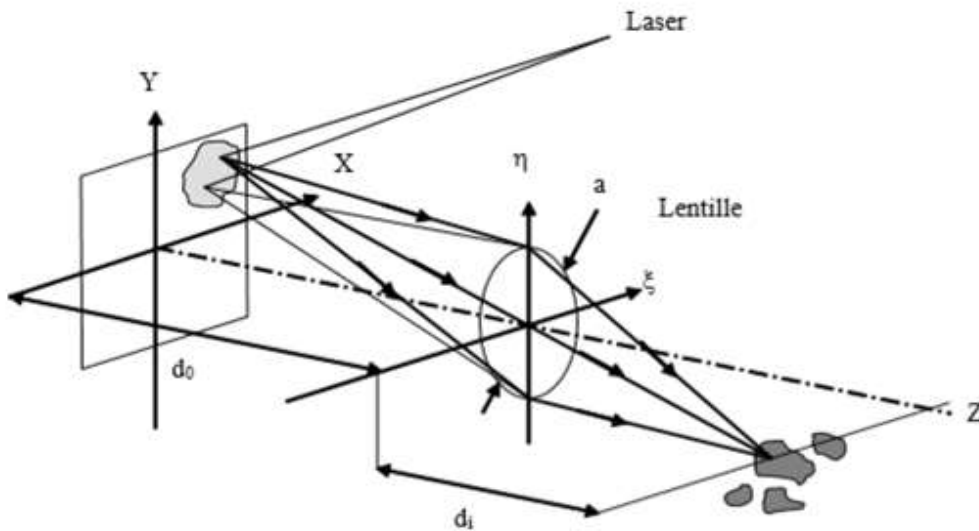


Fig. II.4 formations du speckle subjectif [14]

II.3 Photographie de speckle :

La photographie de speckle est une technique qui rend simple la mesure des déplacements dans le plan en utilisant des systèmes optiques simples. La procédure générale consiste à éclairer l'objet par un seul faisceau laser et faire un enregistrement photographique sur une seule plaque photographique de l'objet avant et après déplacement. La plaque développée est appelée specklogramme à double exposition [6].

Le plan d'enregistrement des figures de speckle doit être situé soit dans le plan image de l'objet ou bien dans le plan focal ou bien dans un plan intermédiaire du système optique.

Par conséquent, on distingue deux types de photographie de speckle selon la position du plan d'enregistrement, la photographie de speckle focalisée et non-focalisée. En général, la technique de photographie de speckle focalisée génère des franges sensibles aux déplacements dans le plan, par contre la photographie de speckle non-focalisée est sensible aux déplacements hors du plan [14]

II.3.1. Photographie de speckle focalisée

La méthode de photographie de speckle focalisée à double exposition développée par Archbal et al. [7], J.N. Butters et J.A. Leendertz [8], Archbal et Ennos [9], est la technique la plus utilisée pour déterminer les composantes de déplacement dans le plan basé sur l'effet speckle. Considérant la procédure d'enregistrement du specklogramme à double exposition illustrée dans la Fig. II.5.

Une surface diffusante est éclairée par un faisceau laser divergent. La lentille L de focale f et d'ouverture numérique F forme dans le plan (X, Y) l'image de la surface objet. La plaque photographique est exposée à deux reprises, l'une avant et l'autre après déplacement.

En tenant compte du principe de l'optique géométrique, les distances o et i séparant l'objet et la lentille d'une part et la lentille et le plan d'enregistrement d'autre part, sont reliées à la distance focale f de la lentille par la relation $\frac{1}{o} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f}$. [14]

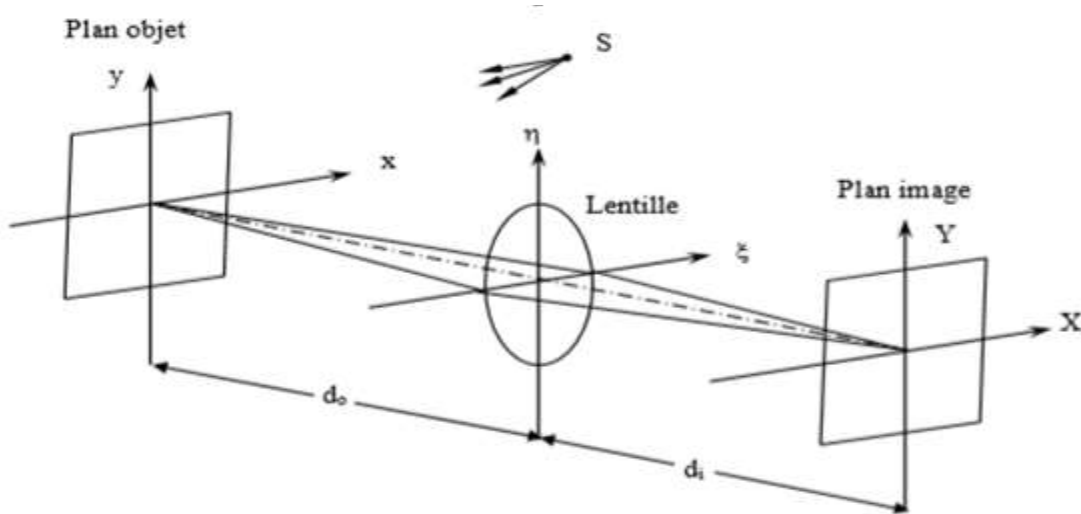


Fig. II.5 Arrangement optique de photographie de speckle focalisé [14]

La distribution d'amplitude de chaque point (X, Y) dans l'image de l'objet est exprimée par [10,11] :

$$U(X,Y) = K \iiint U_0(x,y) \cdot PL(\xi,\eta) \cdot \exp\{-ik[\xi(X + gx) + \eta(Y + gy)]\} d\xi d\eta \quad (2.5)$$

K est une constante complexe, $U_0(x, y)$ représente la distribution d'amplitude juste devant la surface objet, $PL(\xi,\eta)$ est la fonction pupillaire, et g est le grandissement du système optique.

La distribution d'intensité enregistrée sur la plaque avant déplacement est proportionnelle à $[U(X, Y)U^*(X,Y)] = I(X,Y)$.

II.3.2. Photographie de speckle non focalisé

Plusieurs méthodes de photographie de speckle n'exigent pas la focalisation de la surface objet sur le plan image. C'est à dire que l'objet peut être placé en avant ou en arrière par rapport à son plan objet (voir Figure 1.7). Cette méthode est largement utilisée pour mesurer les différentes composantes de déformations. En conséquence, les caractéristiques du déplacement de speckle dans le plan image seront modifiées. L'espace de franges produites par cette technique dépend de la forme du front d'onde d'éclairage et de la position du plan d'enregistrement [6].

Par un choix convenable de la géométrie d'éclairage et de la position du plan d'enregistrement, on peut séparer les déplacements hors du plan et rendre les décalages des grains de speckle sensibles seulement à ce type de mouvement. [14]

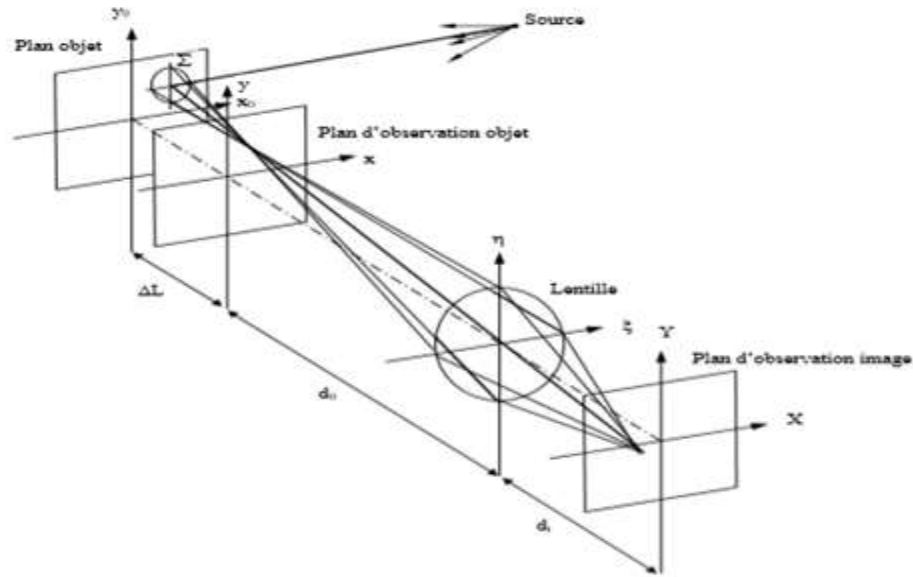


Fig. II.6: Arrangement optique de la photographie speckle non focalisé [14]

Le plan d'observation image enregistre la figure de speckle produite dans le plan d'observation objet (x, y) (représenté par la surface Σ), homothétique de la pupille de la lentille d'enregistrement. Le specklogramme développé peut être analysé par l'une des techniques de filtrage spatial discutées dans les paragraphes qui suivent. [14]

La méthode à double exposition (mesure des rotations hors du plan) proposée par Tiziani [12], est un exemple de photographie de speckle non focalisée. La technique nécessite un enregistrement du specklogramme dans le plan focal image de la lentille d'imagerie. La surface objet est éclairée par un faisceau parallèle sous un certain angle par rapport à la normale.

Le speckle produit dans le plan focal image reste stationnaire lorsque l'objet se déplace latéralement dans son plan. A la présence d'inclinaison hors du plan, la figure de speckle dans le plan focal sera translatée latéralement. Les composantes de rotation seront ainsi déterminées à partir des franges modulant le halo de diffraction obtenue. L'utilisation d'un faisceau parallèle dans le système de Tiziani pose des limites sur les dimensions de l'objet à étudier. Pour cela Gregory [13] a proposé une configuration insensible aux composantes de déplacement dans le plan et fonctionnant en éclairage divergent. Le specklogramme est enregistré, non pas dans le plan focal de la lentille, mais dans un plan conjugué de la source d'éclairage si la surface diffusante était un miroir.

Ce plan est appelé plan d'inclinaison, qui est insensible aux déplacements dans le plan de l'objet, et les décalages des grains de speckle dans ce plan sont dus seulement aux inclinaisons hors du plan. Chiang et Juang [14] ont proposé une méthode pour la mesure des pentes d'objets déformés. Cette technique est conçue pour l'étude de la flexion des plaques.

Le champ de déplacement dans le plan peut être négligé devant le champ de déplacement hors du plan en éclairant l'objet par une onde plane, en choisissant un plan d'observation objet défocalisé et en limitant l'observation à des régions situées au voisinage de l'axe optique. [14]

II.3.3 Corrélation de l'intensité et de l'amplitude

Si l'amplitude complexe du champ de speckle peut être représentée par un processus aléatoire Gaussien, la fonction de corrélation de l'intensité sera exprimée par les fonctions de corrélations des amplitudes complexes $U_1(X, Y)$ et $U_2(X, Y)$ par [21]

$$\begin{aligned} & : \langle I_1(X, Y) \cdot I_2(X + X^-, Y + Y^-) \rangle \\ & = \langle U_1(X, Y) \cdot U_1^*(X, Y) \cdot U_2(X + X^-, Y + Y^-) \cdot U_2^*(X + X^-, Y + Y^-) \rangle \\ & = \langle I_1(X, Y) \rangle \langle I_2(X + X^-, Y + Y^-) \rangle + |\langle U_1(X, Y) U_2^*(X + X^-, Y + Y^-) \rangle|^2 \end{aligned} \quad (2.6)$$

Le premier terme de l'équation (2.6) est le produit entre les intensités moyennes avant et après déformation de l'objet et qui est constant.

Le second terme exprime la variation totale dans la corrélation de surface et qui est égale à la corrélation de la fluctuation d'intensité $\Delta I = I - \langle I \rangle$,

donc on aura:

$$|\langle U_1(R) U_2^*(R + R^-) \rangle|^2 = \langle \Delta I_1(R) \Delta I_2(R + R^-) \rangle \quad (2.7)$$

Ainsi, la corrélation de l'intensité se réduit à la corrélation d'amplitude.

La fonction de corrélation de l'amplitude complexe est calculée par l'application de l'intégrale de diffraction Fresnel- Kirchhoff d'une onde qui se propage du point source au plan d'observation en passant par l'objet. Dans ce cas, l'étude du déplacement du speckle peut être faite selon une des deux configurations optiques suivantes :

- Speckle objectif ;

- Speckle subjectif. [14]

II.3.4 Détermination des déplacements par photographie de speckle digitale

La photographie speckle digitale (DSP) est une méthode non interférométrique pour la mesure des déformations. Les techniques DSP utilisent des montages optiques simples semblables à ceux présentés par les figures 1.4 et 1.5. L'objet à étudier est éclairé par une source laser et une figure de speckle est obtenue sur une caméra CCD. Les mesures sont réalisées en analysant les déplacements de cette figure de speckle. Généralement, cette analyse se fait à partir de deux images du speckle. On prend la première alors que le système est dans son état initial. Cette image est l'image de référence. Ensuite, on fait subir à l'objet une déformation, qui provoque un déplacement des grains de speckle dans le plan image. On enregistre alors une seconde image qui pourra être comparée à la référence. [14]

La DSP fonctionne avec le principe de corrélation d'images numériques. L'algorithme de calcul par DSP ne suit pas le mouvement des grains de speckle individuel ; mais le déplacement d'un certain nombre de grains de speckle qui agissent en tant que sous-image (Fig.1.13). La taille des sous-images détermine la résolution spatiale du champ de déplacement. Si la taille des sous-images devient très faible, la corrélation entre les images avant et après déplacement diminuera.

L'algorithme trouve la similarité statistique entre les sous images de référence et les différentes sous-images de l'image déplacée. La corrélation est développée pour chaque paire de sous images pour donner le déplacement moyen de chaque paire. Ce processus est répété pour tous les autres sous-images de l'image déplacée trouvée, jusqu'à ce que l'ensemble du champ de déplacement soit déterminée. La hauteur du pic de corrélation fournit le degré de similitude entre les sous-images et par conséquent, il détermine la précision de la mesure. [14]

Il existe plusieurs méthodes pour le calcul des mouvements du speckle par corrélation. L'algorithme développé dans notre travail est basé sur l'algorithme proposé par Sjödaahl [22], qui calcule le champ de déplacement avec une précision de l'ordre du sous pixel. Les dimensions typiques des sous images proposées par Sjödaahl sont de l'ordre (32x32 pixels). [14]

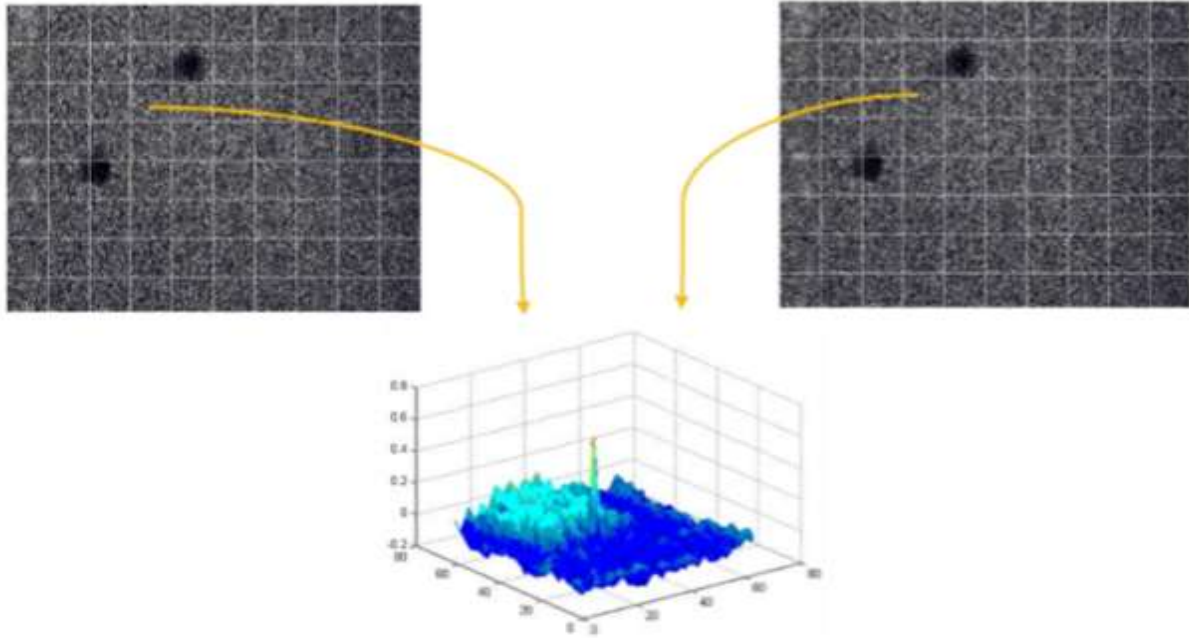


Fig. II.7 suivi du déplacement des grain de speckle par corrélation l'image de la fugure de spekle est divisée en sous images.

Si on considère deux images h_1 et h_2 avant et après déplacement de l'objet de dimensions $N \times M$, la détermination du déplacement d'une image par rapport à l'autre consiste à déterminer le déplacement de chaque point sur h_2 relatif au point correspondant sur h_1 .

On suppose que le déplacement est suffisamment petit, on peut considérer que ce déplacement est constant dans des petites sous images de h_1 et h_2 . Le résultat de cette opération peut révéler le déplacement moyen entre ces sous images. Si une sou image carrée de côté n_1 de h_1 est dénotée par h_{s1} et la sous image correspondante de côté n_2 de h_2 est dénotée par h_{s2} , la corrélation entre h_{s1} et h_{s2} est définie par :

$$c(k, l) = \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{m-1} [h_{s2} * (i, j) h_{s1}(k + i, l + j)], \quad k, l = 0, 1, \dots, m - 1 \quad (1.52) \quad m-1 \quad j=0 \quad m-1 \quad i=0$$

$$c(k, l) = \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{m-1} [h_{s2}^*(i, j) h_{s1}(k + i, l + j)], \quad k, l = 0, 1, \dots, m - 1 \quad (1)$$

$$m = n_1 + n_2$$

Chapitre II

Par la définition des transformées de Fourier discrètes, on peut réécrire l'équation (2.11) comme suit :

$$c(k,l) = \mathcal{F}^{-1}(Hs2 * Hs1) \quad (2.8)$$

k et l , sont les indices de la matrice, \mathcal{F}^{-1} est la transformé de Fourier inverse et le produit est effectué élément par élément. Ce calcul est similaire au filtrage point par point de la photographie de speckle classique. Dans ce cas, la zone hs du specklogramme éclairée par le faisceau laser est la somme de $hs1$ et $hs2$, et la figure de diffraction est représentée par $|\mathcal{F}(hs)|^2 = Hs * Hs$. La transformée de Fourier de cette figure de diffraction est la fonction d'autocorrélation de hs , c'est elle qui donne le déplacement. Chaque point de $c(k,l)$ représente le taux de corrélation entre $hs1$ et $hs2$. La position de la valeur maximale de $c(k,l)$, indique le déplacement moyen de $hs2$ par rapport à $hs1$. [14]

Le champ de déplacement résultant est représenté par une figure de flèches (Fig. II.8). Chaque flèche dans l'image représente un déplacement dans une sous-image. La longueur de chaque flèche représente l'amplitude de déplacement et la direction de la flèche indique la direction du déplacement. Si le déplacement entre les sous-images est grand, beaucoup de bruit est introduit dans la figure de déplacement, indiquant ainsi la présence d'une décorrélation.

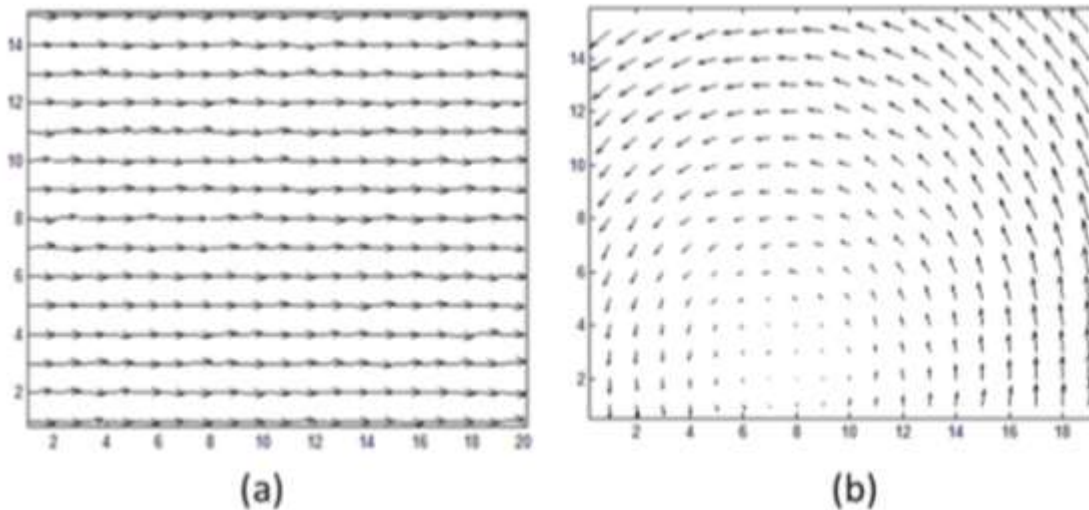


Fig. II.8 champs des déplacements mesurés par notre algorithme de corrélation (DSP). (a) Translation dans le plan, (b) rotation dans le plan [14]



CHAPITRE III

Chapitre III

Ce chapitre est consacré à la présentation des résultats expérimentaux de l'application de la technique de photographie de speckle pour la mesure des déformations et les contraintes de compression dans des pièces en céramique. Nous étudions l'effet de la variation des diamètres des poudres (effet de la porosité) lors de la fabrication des échantillons sur le comportement de ces pièces lors des essais de compressions.

III.1 Matière première

On utilise le kaolin de Tamazarth KT2 Le kaolin est souvent blanchâtre. La présence d'impuretés, particulièrement à base de fer ou de titane, donne au kaolin une certaine coloration. Généralement, le kaolin naturel brut contient d'autres impuretés telles que le quartz, feldspath... [Laur 04] [Saik 03].

Le kaolin présente une grande surface spécifique (comprise entre 10 et 100 m²/g) et une masse volumique d'environ 2,6 g/cm³ Le kaolin est largement utilisé dans la fabrication des ustensiles en porcelaine, des isolants électriques, des sanitaires et des matériaux réfractaires [Ants 01] [Ogac 05].

L'usage du kaolin dans l'industrie des réfractaires provient du fait qu'il présente l'avantage d'être très peu onéreux et disponible en gisements facilement exploitables [Koll 02] [Saad 93]. Le kaolin calciné est utilisé dans la formulation de ces matériaux pour réduire le rétrécissement et augmenter la réfractaire

III.2 Composition chimique de kaolin

Composition chimique et minéralogique de kaolin KT2 La composition chimique du kaolin enrichi (KT2) donné par le centre de recherche pétrographique et géochimique dans le service d'analyse des roches et des minéraux, est portée sur le tableau

Eléments	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	CaO	MgO	P.F
I.C.P	48,85	33,07	2,53	2,92	0,07	0,28	0,06	0,38	11,57

I.C.P : induction de couplage par plasma.

P.F : perte au feu à 1000°C

III.3 Les étapes de travail

Cette étude est pour l'objectif étude des propriétés mécanique des matériaux céramique (KT2) suivi les étapes suivent :

III.3.1 processus de broyage

Les poudres ont été élaborées par voie solide à l'aide d'un broyeur (Fig. III.1). Le but est de réduire et d'homogénéiser les tailles de grains des poudres afin d'augmenter leur surface spécifique et d'améliorer ainsi le frittage.



Fig. III.1 la machine de broyage

III.3.2 Tamisage :

Dans cette étape on a fait le tamisage, on a utilisé les tamis avec des diamètres déferents (80_100_160_200) en μm (Fig. III.2).



Fig. III.2 les tamis en différents diamètres



III.3.3 pressages à uniaxial

La mise en forme ou compactage des échantillons a été effectuée, en utilisant le pressage uniaxial jusqu'à 40 KN. (Fig. III.4)

Quatre séries d'échantillons ont été préparés ; de forme cylindrique (pastilles) d'environ de 27.5 mm de diamètre et de 6 mm d'épaisseur.

- La première série constituée de trois échantillons élaborés d'une poudre de diamètre inférieur à 80 μm .
- La deuxième série constituée de trois échantillons élaborés d'une poudre de diamètre comprise entre 80 μm et 100 μm ($80 \mu\text{m} < \phi < 100 \mu\text{m}$).
- La troisième série constituée de trois échantillons élaborés d'une poudre de diamètre comprise entre 100 μm et 160 μm ($100 \mu\text{m} < \phi < 160 \mu\text{m}$).
- La quatrième série constituée de trois échantillons élaborés d'une poudre de diamètre comprise entre 160 μm et 200 μm ($160 \mu\text{m} < \phi < 200 \mu\text{m}$).



Fig. III.4 l'appareil de pressage à sec



Fig. III.5 dernier résultat

III.3.4 frittages

Après avoir obtenu les échantillons, nous avons fait la température suivante

Nous avons utilisé la première température 600°C pendant deux heures puis nous avons fait le processus de refroidissement de l'échantillon

Nous avons répété le processus en utilisant une température à 1100°C et avons laissé l'échantillons pendant deux heures, puis nous avons refait le processus de refroidissement pour préparer les échantillons à l'étude

III.3.5 polissages

Nous avons frotté l'échantillon afin d'obtenir une surface lisse à l'aide de papier spécial (papier vert 120) , et nous avons obtenu-il une surface lisse et nous l'avons peint

III.3.6. Montage expérimental

Les techniques DSP utilisent des montages optiques simples comme présenté dans la Fig. III.7. La lumière émise par une diode laser vert avec une longueur d'onde de 532 nm. Une pièce en céramique de diamètre 27.5 mm monté sur une machine de traction, est illuminée par le faisceau élargi. Un objectif photographique (OP) permet de former l'image de la pièce sur la caméra CCD (600 x 800 pixel). La caméra CCD est raccordée à un ordinateur muni d'une carte d'acquisition vidéo pour enregistrées les images qui sont numérisées sur 8 bits.

Après l'acquisition des différentes images correspondant aux deux états de déformations, le déplacement est calculé par un algorithme développé avec Matlab. Les mesures sont réalisées en analysant les déplacements de cette figure de speckle. Généralement,

cette analyse se fait à partir de deux images du speckle. On prend la première alors que le système est dans son état initial. Cette image est l'image de référence. Ensuite, on fait subir à l'objet une déformation, qui provoque un déplacement des grains de speckle dans le plan image. On enregistre alors une succession d'images qui pourra être comparée à la référence. Les échantillons ont été caractérisés mécaniquement par l'essai de traction brésilien.

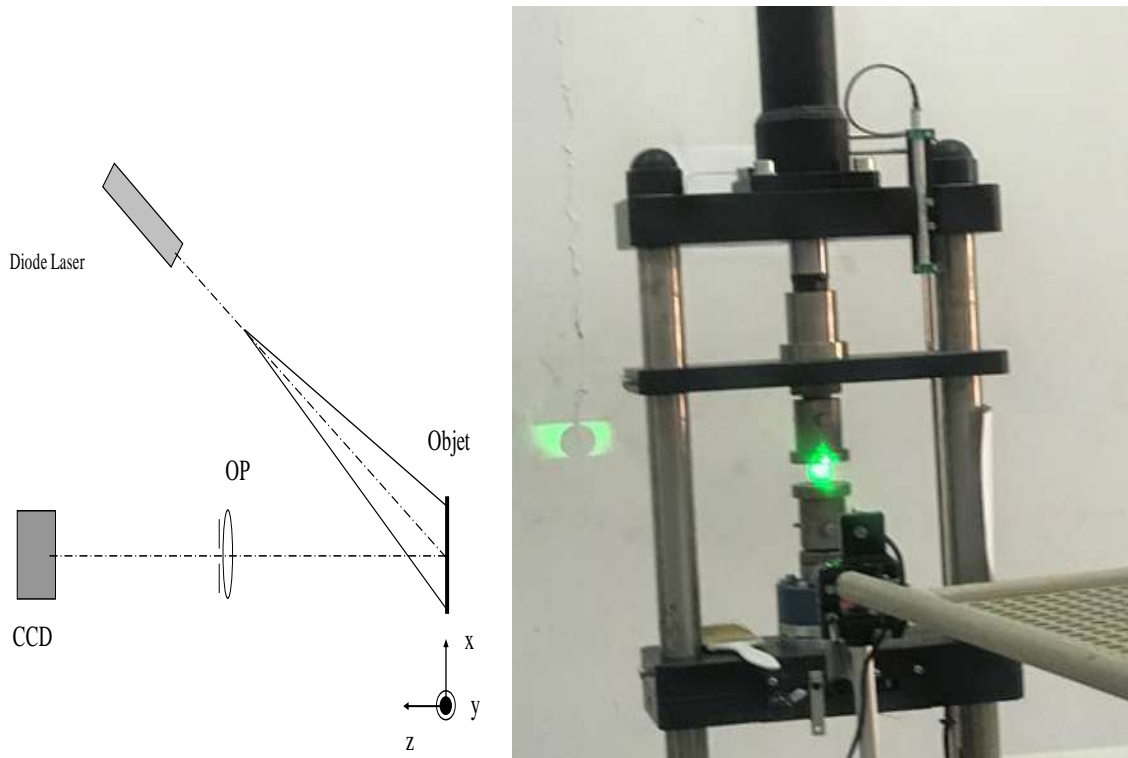


Fig. III.6 Montage expérimental

Résultats expérimentaux

1. Représentation des figures de speckle et les champs de déformations correspondants

On représente ci-dessous des figures de speckle obtenues pendant les essais de compressions sur un échantillon élaboré avec une poudre de diamètres compris entre $100\ \mu\text{m}$ et $160\ \mu\text{m}$ ($80\ \mu\text{m} < \phi < 100\ \mu\text{m}$) sous une pression $40\ \text{KN}$.

Les figures sont à titre d'exemple pour différents états de déformations jusqu'à la rupture, ainsi que les champs de déformations entre une figure de speckle de référence et les autres états de déformations calculés par un algorithme de corrélation de speckle. (Fig.3.2) et (Fig.3.3)

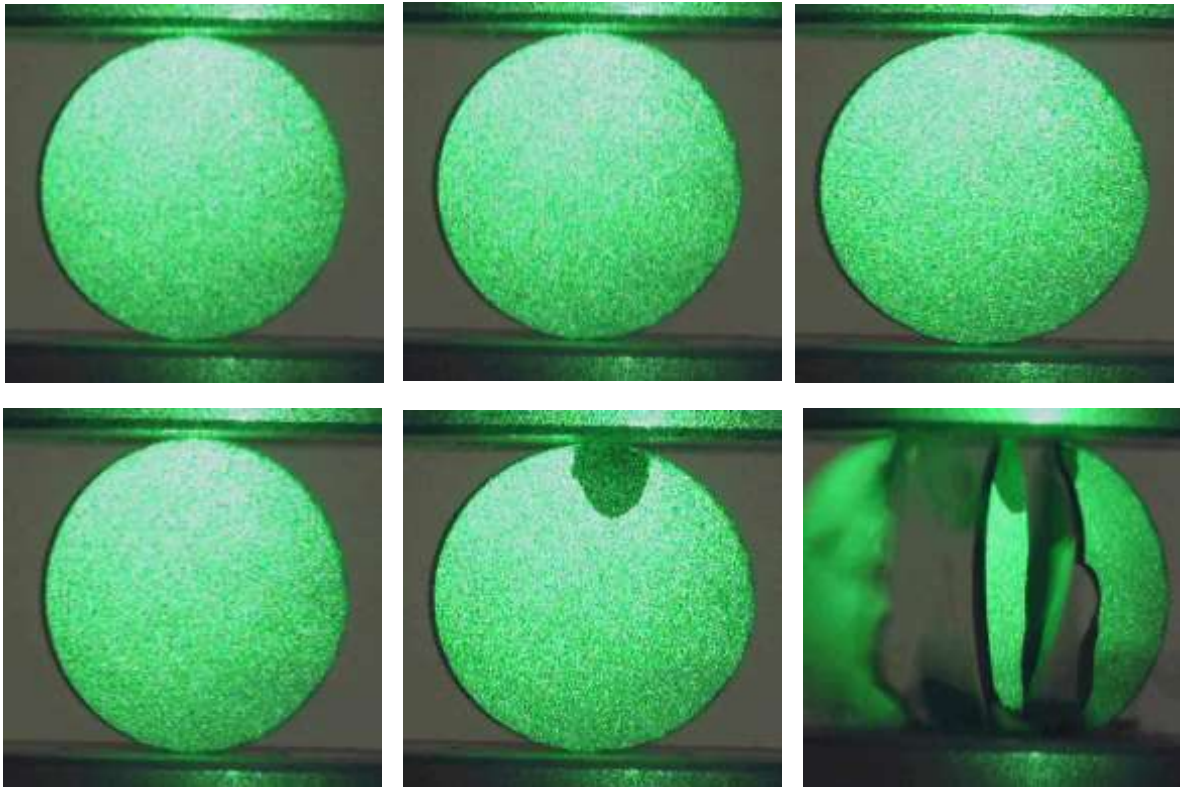


Fig. III.7 Figures de speckle pour différents états de déformations

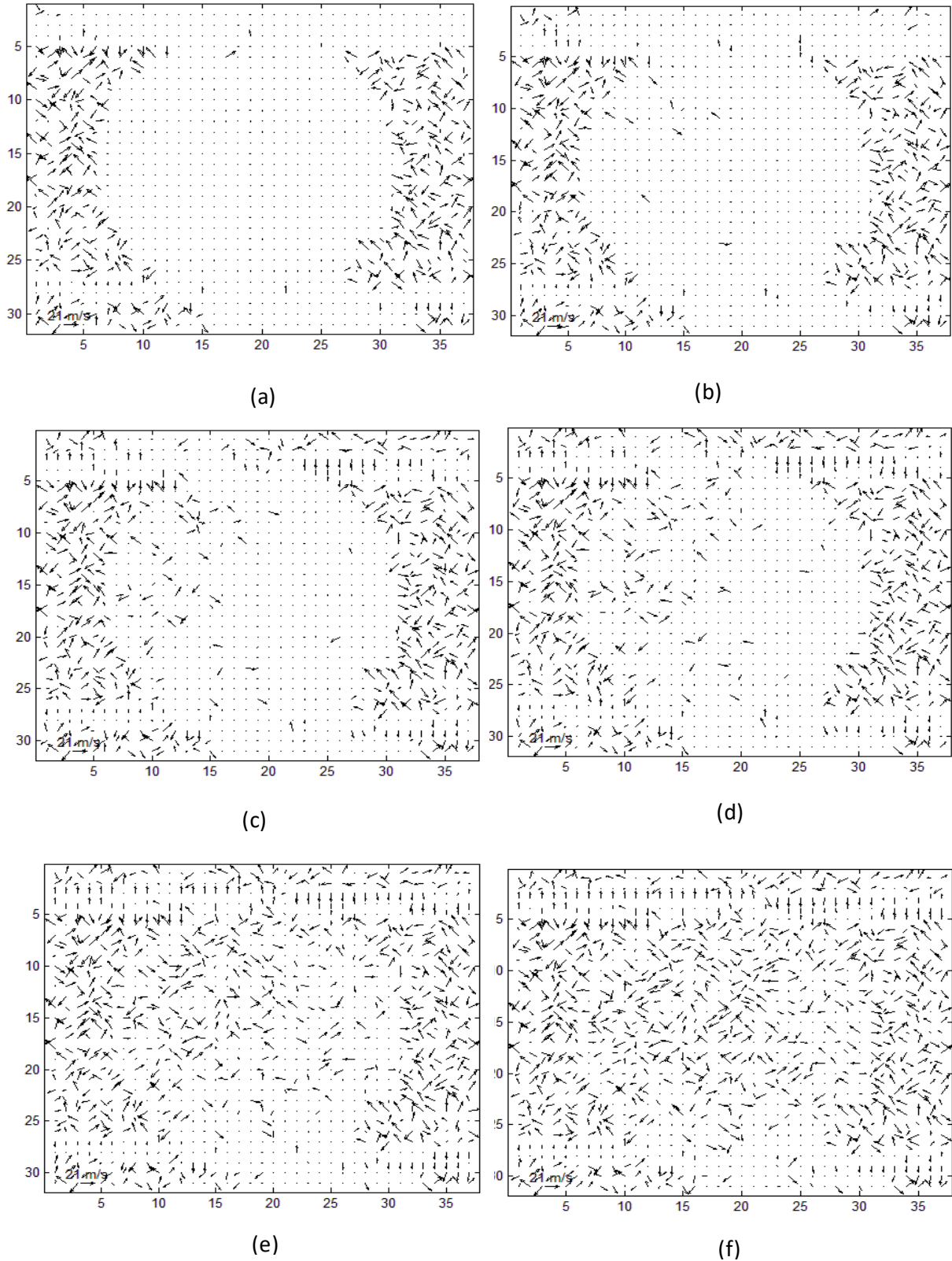


Fig. III.8 Champs de déformations résultants de la compression de l'échantillon de la figure 3.2

Chapitre III

2. Champs de déformations du premier échantillon

Le premier échantillon est élaboré à partir d'une poudre de diamètres inférieur à 80 μm ($\phi < 80 \mu\text{m}$) sous une pression de l'ordre de 40 KN.

Résultats de l'essai de compression sur le premier échantillon

L (mm)	F (kN)
0	0
-0,0004	0,02
-0,0008	0,04
0,029	0,05
0,0286	0,07
0,0082	0,09
0,0072	0,14
0,0066	0,17
0,016	0,2
0,0254	0,23
0,0348	0,26
0,0438	0,31
0,0424	0,38
0,0508	0,46
0,049	0,55
0,0472	0,64
0,0552	0,74
0,0626	0,87
0,0792	1,04
0,0954	1,23
0,1054	1,23
0,1072	1,64
0,1216	1,92
0,1258	2,21
0,149	2,55
0,1514	2,93

Chapitre III

0,4338	3,31
1,3728	1,36
1,6782	0,09
1,808	0,1
1,898	0,1
1,918	0,1

Résultats de l'essai de compression sur le deuxième échantillon

L (mm)	F (kN)
0	0
0,0898	0,01
0,1092	0,04
0,1086	0,07
0,108	0,1
0,1076	0,12
0,0972	0,14
0,0966	0,17
0,116	0,2
0,1456	0,22
0,1552	0,24
0,1548	0,26
0,1542	0,29
0,1536	0,32
0,153	0,35
0,152	0,4
0,1508	0,46
0,1692	0,54
0,1672	0,64
0,1754	0,73
0,1734	0,83
0,1678	1,11
0,2036	1,32
0,2192	1,54

Chapitre III

0,2242	1,79
0,2386	2,07
0,2422	2,39
0,2546	2,77
0,2668	3,16
0,2686	3,57
0,8822	3,89
1,649	0,55

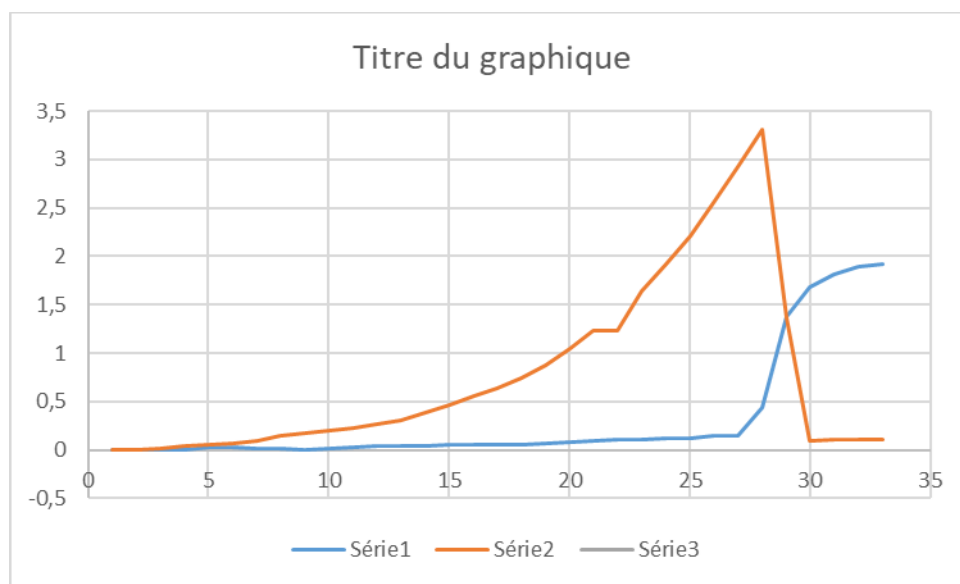


Fig. III.9 une courbe représentant les changements d'allongement on fonction de la force applique à l'échantillon.

Dans ce cas, l'échantillon de diamètre 80 on observe que plus la force est grande, plus la contraction de l'échantillon est importante par rapport à son premier diamètre on note la réfraction de l'échantillon à la plus grande valeur de la force 3,31KN

L (mm)	F (kN)
0	0
-0,0004	0,02
-0,0008	0,04
0,029	0,05
0,0286	0,07
0,0082	0,09

Chapitre III

0,0072	0,14
0,0066	0,17
0,016	0,2
0,0254	0,23
0,0348	0,26
0,0438	0,31
0,0424	0,38
0,0508	0,46
0,049	0,55
0,0472	0,64
0,0552	0,74
0,0626	0,87
0,0792	1,04
0,0954	1,23
0,1054	1,23
0,1072	1,64
0,1216	1,92
0,1258	2,21
0,149	2,55
0,1514	2,93
0,4338	3,31
1,3728	1,36
1,6782	0,09
1,808	0,1
1,898	0,1
1,918	0,1

CORR 80

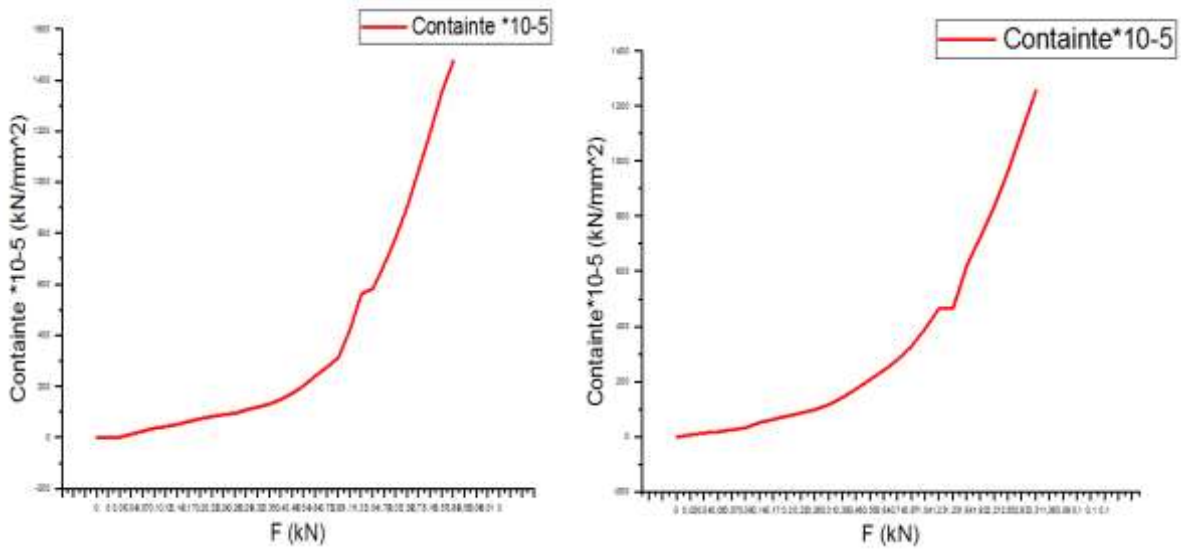


Fig. III.10 un graphique qui étude les changements de contrainte en termes de force appliquée à l'échantillon

Les champs de déformations obtenus au début de l'essai de compression :

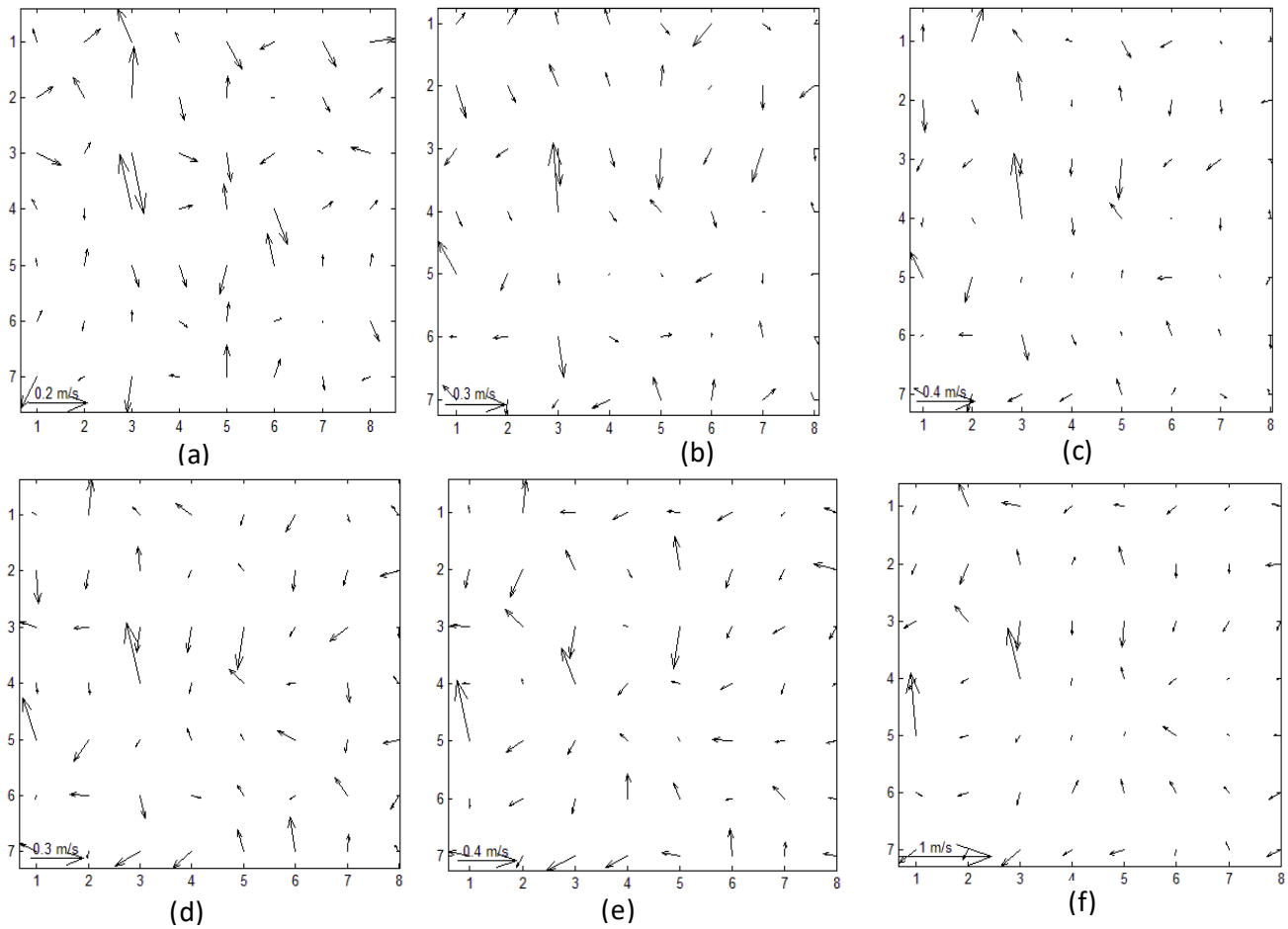


Fig. III.11 Champs de déformation du premier échantillon

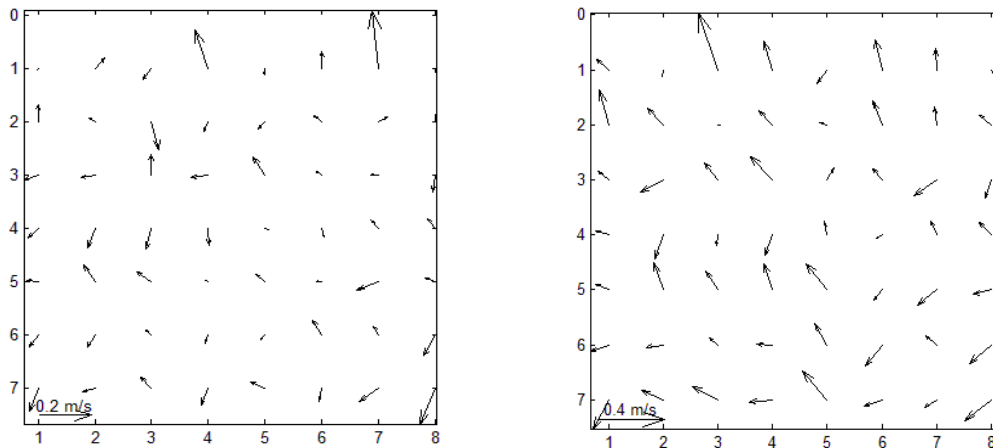


Fig. III.12. Les champs de déformations obtenus à la fin de l'essai de compression

3. Champs de déformations du deuxième échantillon

Le deuxième échantillon est élaboré à partir d'une poudre de diamètres compris entre 80 μm et 100 μm ($80 \mu\text{m} < \phi < 100 \mu\text{m}$) sous une pression de l'ordre de 40 kN.

Les champs de déformations obtenus au début de l'essai de compression

L (mm)	F (kN)
0	0
-0,0004	0,02
-0,001	0,05
0,0086	0,07
0,0082	0,09
0,0078	0,11
-0,0028	0,14
0,0168	0,16
0,0266	0,17
0,0362	0,19
0,0356	0,22
0,035	0,25
0,0342	0,29
0,0338	0,31
0,0332	0,34
0,0326	0,37
0,0316	0,42
0,0504	0,48
0,0486	0,57
0,0566	0,67
0,0646	0,77
0,0846	0,77

Chapitre III

0,0888	1,06
0,085	1,25
0,1008	1,46
0,1162	1,69
0,111	1,95
0,125	2,25
0,1384	2,58
0,1514	2,93
0,1638	3,31
0,1558	3,71
0,1878	4,11
0,2	4,5
0,2022	4,89
0,2148	5,26
0,2348	5,26
0,2414	5,93
0,2344	6,28
0,2474	6,63
0,4308	6,46
1,6172	3,64
1,8364	0,18
1,8674	0,13
1,8776	0,12
1,8878	0,11

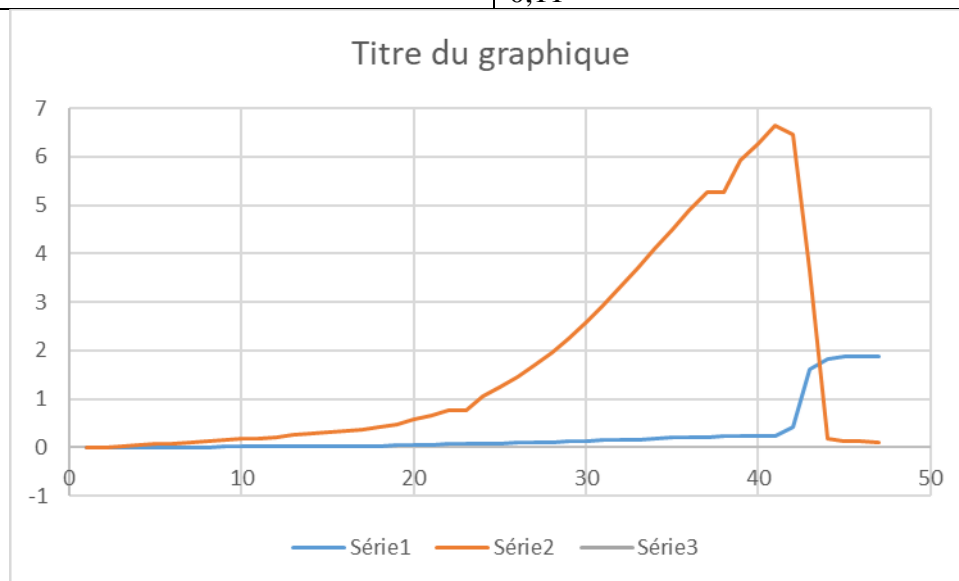


Fig. III.13 une courbe représentant les changements d'allongement on fonction de la force applique à l'échantillon.

Dans ce cas, l'échantillon de diamètre (80-100) on observe que plus la force est grande, plus la contraction de l'échantillon est importante par rapport à son premier diamètre on note la réfraction de l'échantillon à la plus grande valeur de la force 6,46KN

Chapitre III

L (mm)	F (kN)
0	0
-0,0004	0,02
-0,001	0,05
0,0086	0,07
0,0082	0,09
0,0078	0,11
-0,0028	0,14
0,0168	0,16
0,0266	0,17
0,0362	0,19
0,0356	0,22
0,035	0,25
0,0342	0,29
0,0338	0,31
0,0332	0,34
0,0326	0,37
0,0316	0,42
0,0504	0,48
0,0486	0,57
0,0566	0,67
0,0646	0,77
0,0846	0,77
0,0888	1,06
0,085	1,25
0,1008	1,46
0,1162	1,69
0,111	1,95
0,125	2,25
0,1384	2,58
0,1514	2,93
0,1638	3,31
0,1558	3,71
0,1878	4,11
0,2	4,5
0,2022	4,89
0,2148	5,26
0,2348	5,26
0,2414	5,93
0,2344	6,28
0,2474	6,63
0,4308	6,46
1,6172	3,64
1,8364	0,18
1,8674	0,13
1,8776	0,12

CORR 80_100

Chapitre III

L (mm)	F (kN)	Containte *10-5
0	0	0
-0,0006	0,03	11.20
0,0294	0,03	11.20
0,0288	0,06	22.41
0,0682	0,09	33.62
0,0478	0,11	41.09
0,0274	0,13	48.56
0,0268	0,16	59.77
0,0162	0,19	70.97
0,0156	0,22	82.21
0,005	0,25	93.39
0,0044	0,28	104.60
0,0036	0,32	119.54
0,0028	0,36	134.84
0,0016	0,42	156.90
-4,00E-04	0,52	194.25
-0,0026	0,63	235.35
0,0018	0,91	339.95
0,0276	1,12	418.40
0,0434	1,33	496.85
0,0488	1,56	582.27
0,0434	1,83	683.65
0,0674	2,13	795.72
0,0804	2,48	926.46
0,1026	2,87	1072.15
0,1044	3,28	1225.23
0,1064	3,68	1374.75
0,1282	4,09	1520.44
0,1302	4,49	1677.34
0,132	4,9	1830.05
0,1542	5,29	1976.20
0,3042	5,29	892.84
0,3622	2,39	328.74
0,6524	0,88	321.27
0,6928	0,86	291.38
0,7044	0,78	274.68

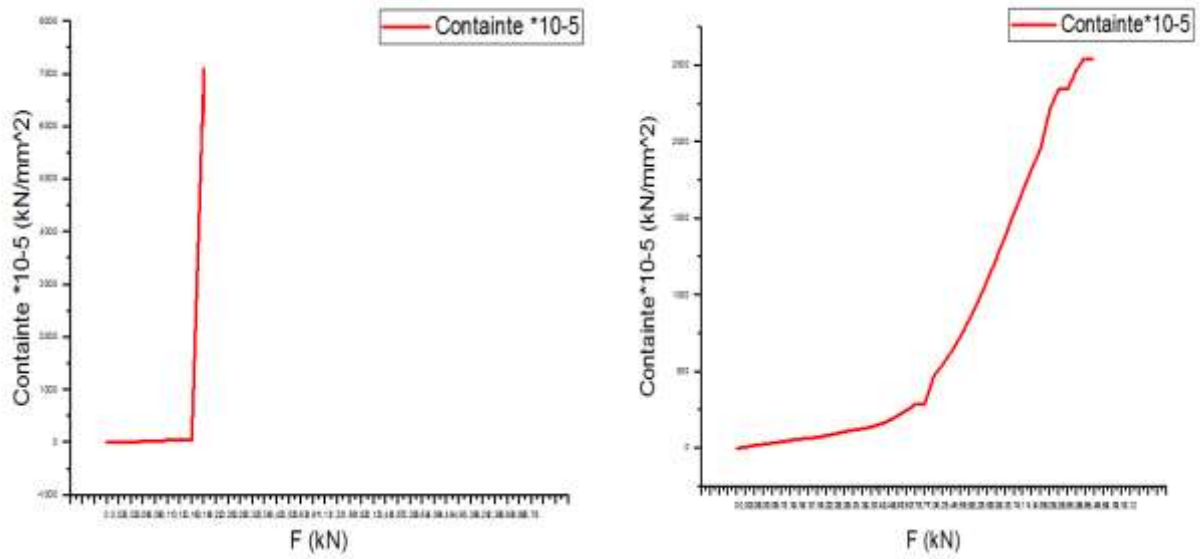


Fig. III.14 un graphique qui étudie les changements de contrainte en termes de force appliquée à l'échantillon

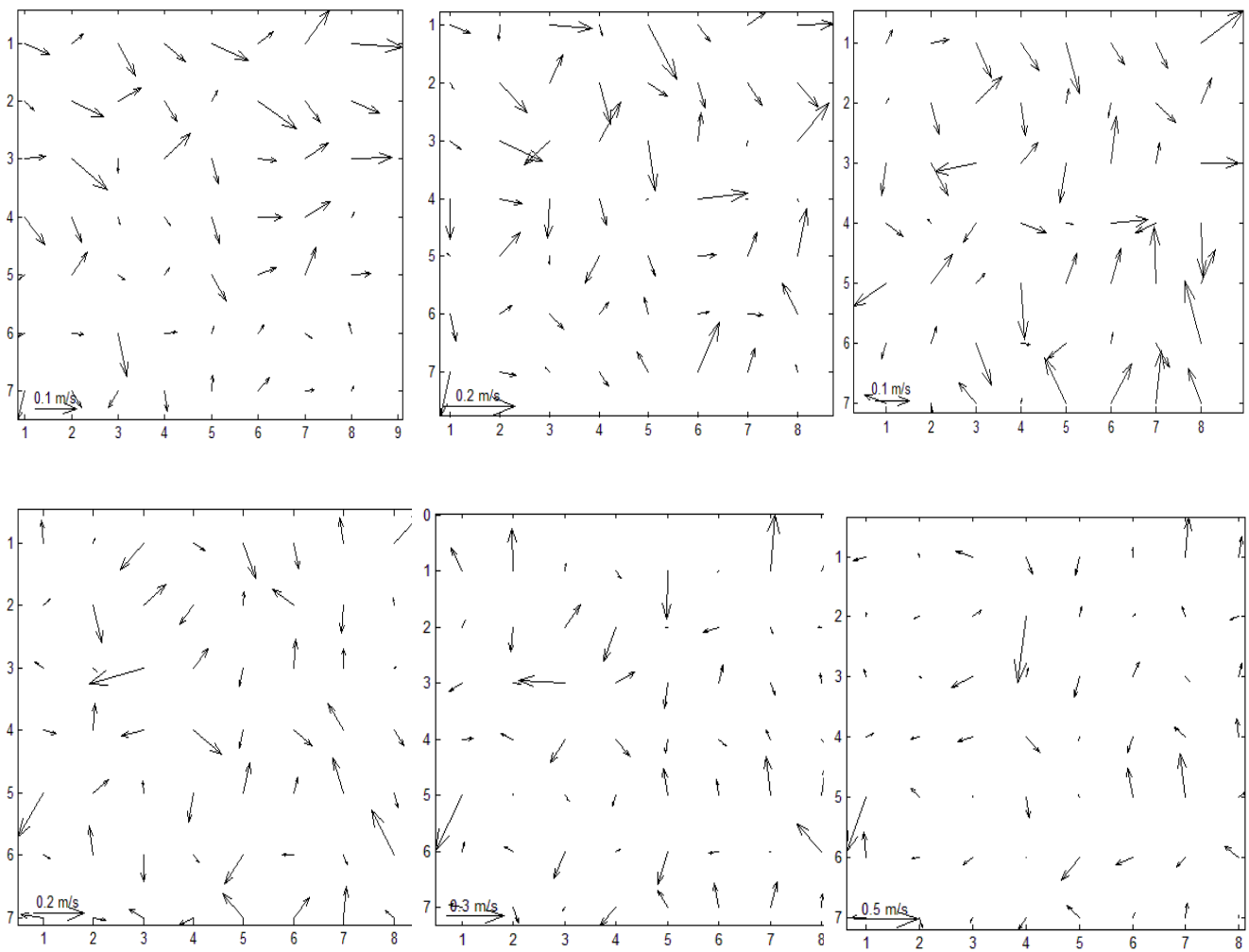


Fig. III.15. Les champs de déformations obtenus au milieu de l'essai de compression

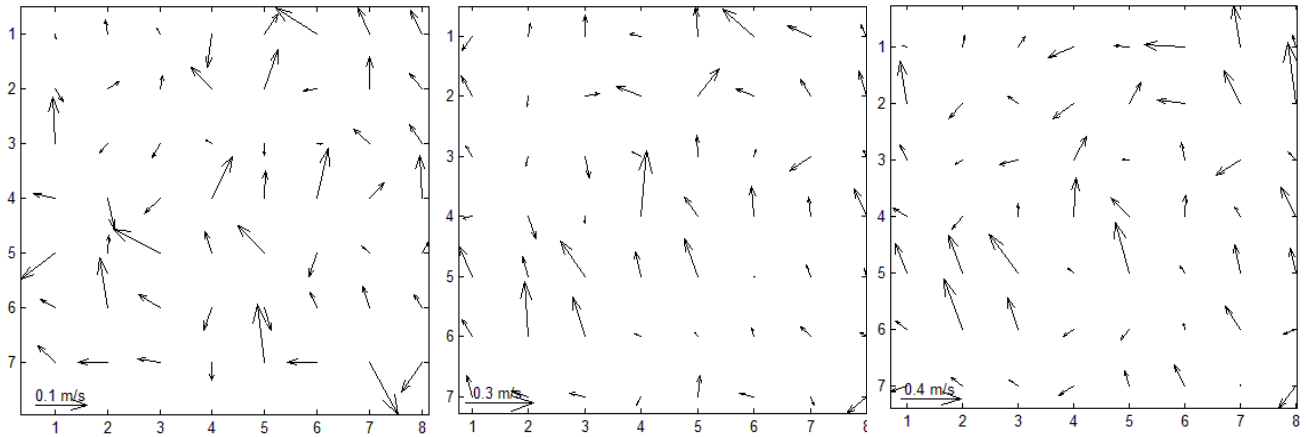
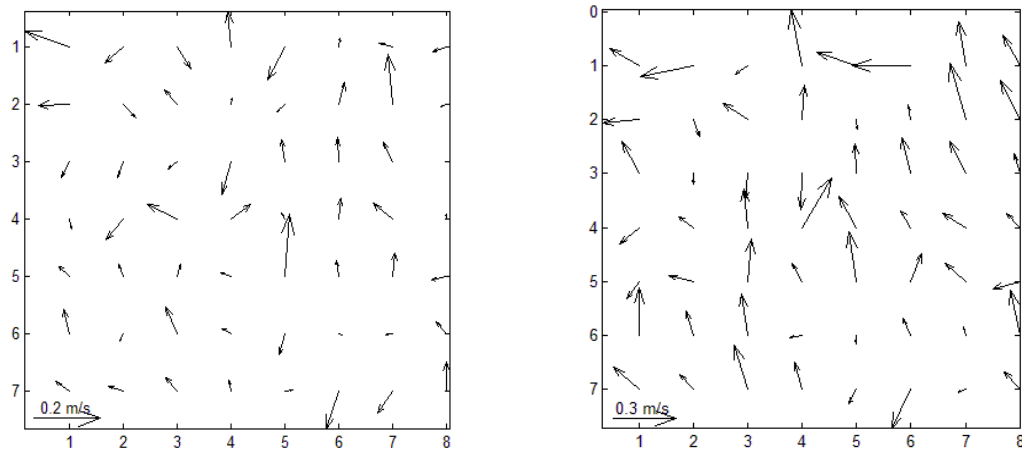


Fig. III.16. Les champs de déformations obtenus à la fin de l'essai de compression



4. Champs de déformations du troisième échantillon

Le troisième échantillon est élaboré à partir d'une poudre de diamètres compris entre 100 μm et 160 μm ($100 \mu\text{m} < \phi < 160 \mu\text{m}$) sous une pression de l'ordre de 40 KN.

L (mm)	F (kN)
0	0
0,0094	0,03
0,039	0,05
0,0988	0,06
0,0884	0,08
0,0178	0,11
-0,0028	0,14
-0,0036	0,18
-0,0042	0,21

Chapitre III

-0,0048	0,24
0,0034	0,33
0,012	0,4
0,0202	0,49
0,0182	0,59
0,0264	0,68
0,0242	0,79
0,0314	0,93
0,0476	1,12
0,0434	1,33
0,0586	1,57
0,0732	1,84
0,0872	2,14
0,09	2,5
0,0922	2,89
0,1122	2,89
0,1266	3,67
0,1276	4,12
0,1396	4,52
0,1418	4,91
0,1538	5,31
0,266	5,7
0,9082	3,59
1,1048	0,26
1,1538	0,31
1,1748	0,26
1,1658	0,21
1,1482	0,09
1,1488	0,06
1,1588	0,06
1,1688	0,06
1,1888	0,06
1,1892	0,04

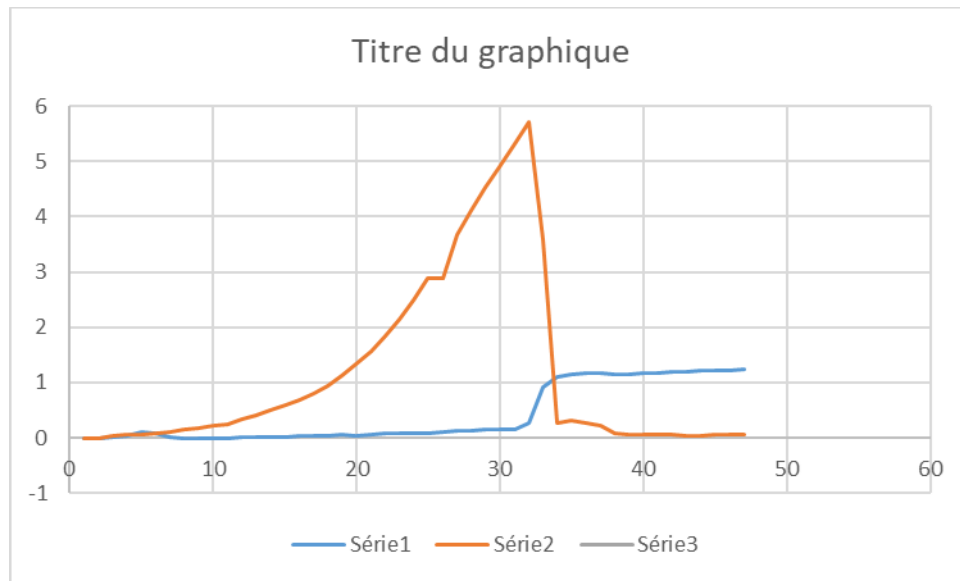


Fig. III.17 une courbe représentant les changements d'allongement on fonction de la force applique à l'échantillon.

Dans ce cas, l'échantillon de diamètre (100- 160) on observe que plus la force est grande, plus la contraction de l'échantillon est importante par rapport à son premier diamètre on note la réfraction de l'échantillon à la plus grande valeur de la force 5.7KN

F (kN)	(contrainte *10 ⁻⁵)
0	0
0,03	11.77
0,05	19.62
0,06	23.55
0,08	31.40
0,11	43.18
0,14	54.59
0,18	70.66
0,21	82.43
0,24	94.21
0,33	129.54
0,4	157.02
0,49	192.95
0,59	231.61
0,68	266.94

Chapitre III

0,79	310.12
0,93	365.68
1,12	439.67
1,33	522.11
1,57	616.33
1,84	722.32
2,14	840.09
2,5	981.42
2,89	1134.52
2,89	1440.72
3,67	1617.38
4,12	1774.41
4,52	1927.51
4,91	2084.54
5,31	2037.64
5,7	140.93
3,59	10.20
0,26	12.16
0,31	10.20
0,26	8.24
0,21	3.53
0,09	2.3
0,06	1.57
0,06	1.57
0,06	1.97
0,06	1.97
0,04	1.97

CORR 100_160

L (mm)	F (kN)	Containte 10-5
0	0	0
-0,002	0,1	39.25
0	0	0

Chapitre III

-0,0006	0,03	11.77
-0,001	0,05	19.62
0,009	0,05	19.62
0,0086	0,07	27.48
0,0076	0,12	47.17
0,007	0,15	58.88
0,0062	0,19	74.69
0,0056	0,22	86.36
0,0052	0,24	94.21
0,0046	0,27	105.99
0,0036	0,32	125.62
0,0022	0,39	153.10
0,0102	0,49	192.36
0,0178	0,61	239.46
0,0252	0,74	290.50
0,0418	0,91	357.24
0,048	1,1	431.82
0,0638	1,31	514.27
0,0738	1,31	514.27
0,074	1,8	706.63
0,0776	2,12	832.25
0,0804	2,48	977.41
0,1026	2,87	1126.68
0,1146	3,27	1283.71
0,1264	3,68	1444.66
0,1282	4,09	1605.62
0,12	4,5	1766.57
0,142	4,9	1923.60
0,154	5,3	2080.63
0,1662	5,69	2233.73
0,1686	6,07	2622.38
0,1724	6,38	2504.71
0,1872	6,64	2606.68

Chapitre III

0,2072	6,64	2606.68
0,1952	7,24	2842.22
0,1988	7,56	2967.84
0,2128	7,86	3085.62
0,2282	8,09	3175.91
0,2336	8,32	3266.20
0,2486	8,57	3364.34

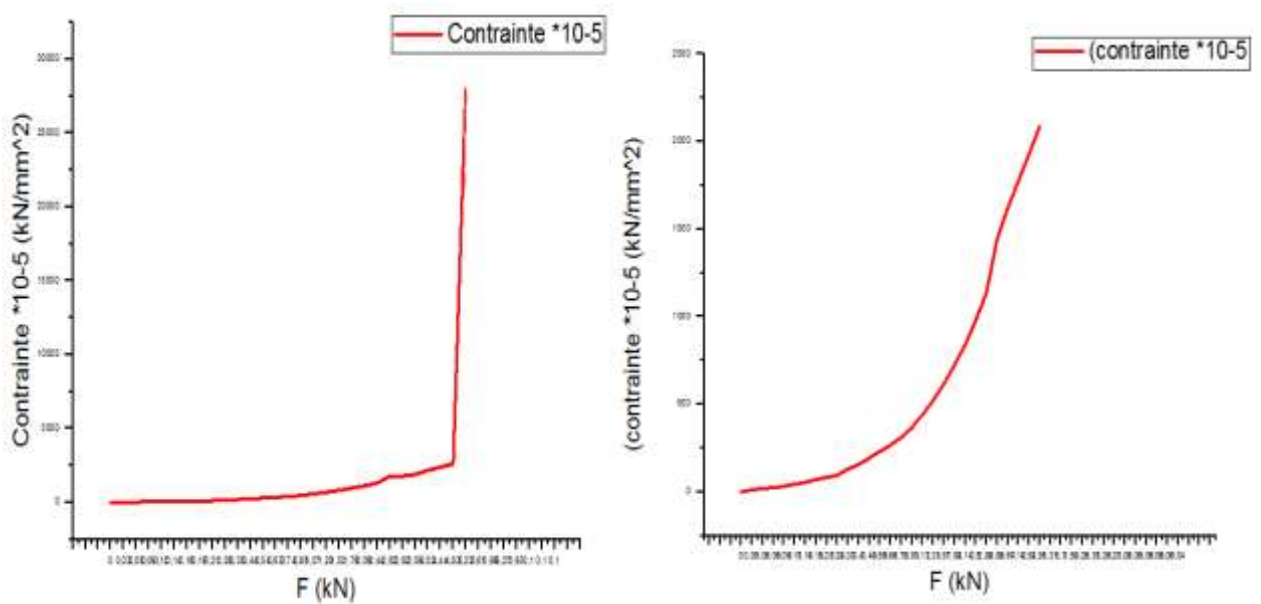


Fig. III.18 un graphique qui étudie les changements de contrainte en termes de force appliquée à l'échantillon

Les champs de déformations obtenus au début de l'essai de compression

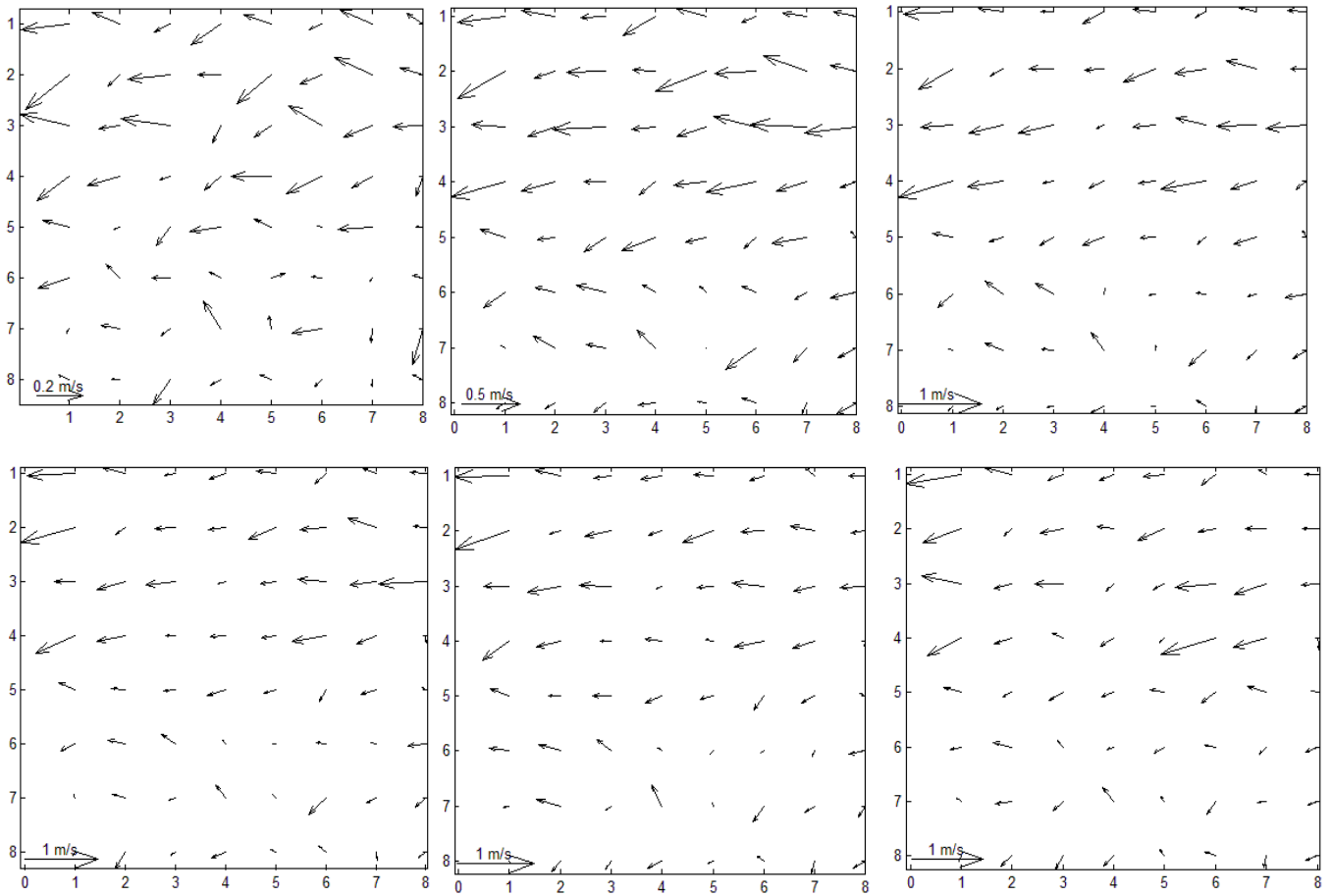


Fig. III.19 Les champs de déformations obtenus au milieu de l'essai de compression

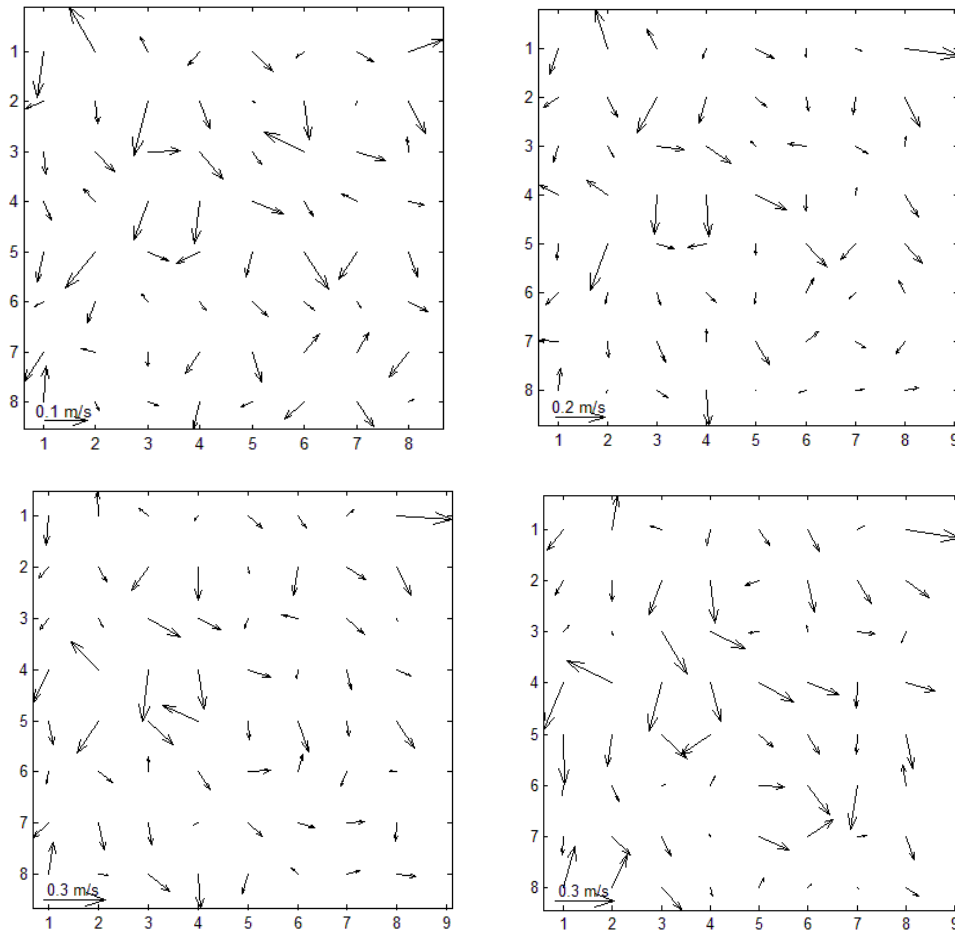
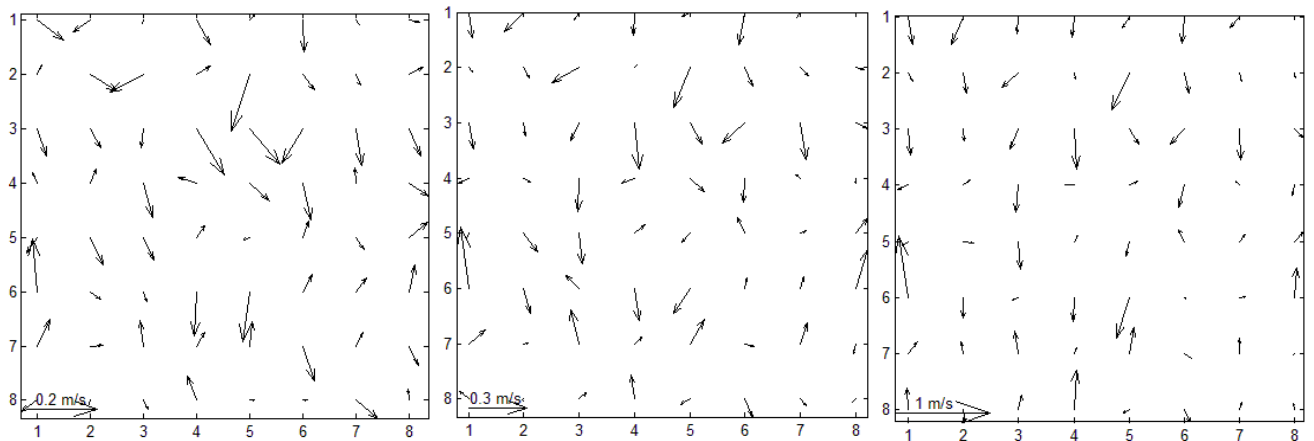


Fig. III.20. Les champs de déformations obtenus à la fin de l'essai de compression



5. Champs de déformations du quatrième échantillon

Le troisième échantillon est élaboré à partir d'une poudre de diamètres compris entre 160 μm et 200 μm ($160 \mu\text{m} < \phi < 200 \mu\text{m}$) sous une pression de l'ordre de 40 KN.

Chapitre III

L (mm)	F (kN)
0	0
0,0094	0,03
0,009	0,05
0,0082	0,09
0,0276	0,12
0,0472	0,14
0,0568	0,16
0,0662	0,19
0,0658	0,21
0,0644	0,28
0,073	0,35
0,0712	0,44
0,0792	0,54
0,0774	0,63
0,0952	0,74
0,1024	0,88
0,1186	1,07
0,1244	1,28
0,1396	1,52
0,1442	1,79
0,1382	2,09
0,1612	2,44
0,1836	2,82
0,1936	2,82
0,1784	3,58
0,1996	4,02
0,2212	4,44
0,2234	4,83
0,2356	5,22
0,2378	5,61
0,2504	5,98
0,8746	6,27

Chapitre III

1,7614	0,93
1,998	0,1
2,098	0,1
2,168	0,1
2,208	0,1

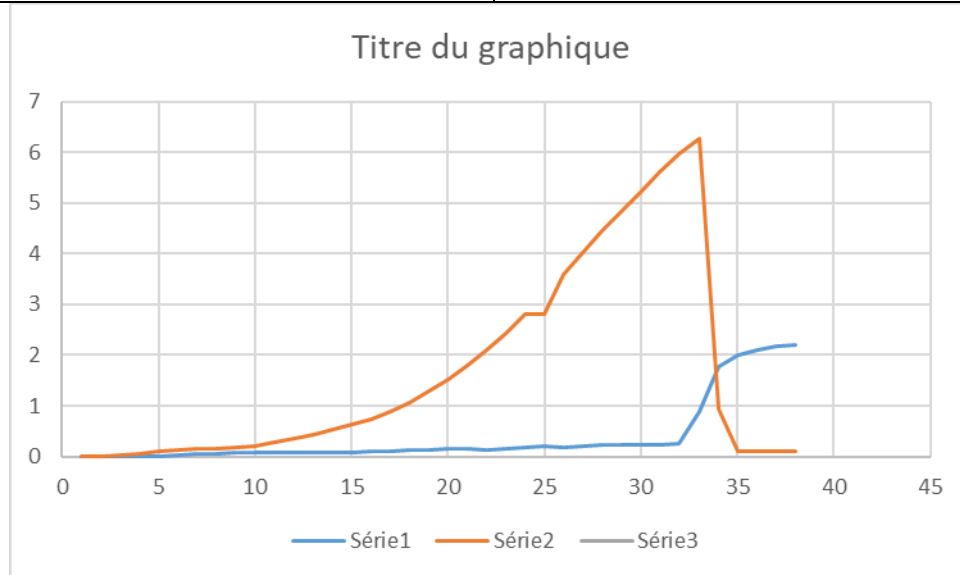


Fig. III.21: une courbe représentant les changements d'allongement on fonction de la force applique à l'échantillon.

L'échantillon de diamètre (160_200) on observe que plus la force est grande, plus la contraction de l'échantillon est importante par rapport à son premier diamètre on note la réfraction de l'échantillon à la plus grande valeur de la force 6,72KN

F (kN)	Contrainte *10-5
0	0
0,03	16.19
0,05	26.99
0,09	48.99
0,12	64.59
0,14	75.58
0,16	86.38
0,19	102.58
0,21	113.37
0,28	151.17

Chapitre III

0,35	188.96
0,44	237.55
0,54	291.54
0,63	340*13
0,74	399.52
0,88	475.69
1,07	577.69
1,28	691.07
1,52	820.64
1,79	966.41
2,09	1128.38
2,44	1317.35
2,82	1782.35
2,82	1782.32
3,58	1900.44
4,02	2170.99
4,44	2397.14
4,83	2607.70
5,22	28018.27
5,61	3028.85
5,98	3180.002
6,27	3385.16
0,93	3741.14
0,1	5.39
0,1	5.39

Chapitre III

L (mm)	F (kN)	Contrainte10-5
0	0	0
0,0196	0,02	10.79
0,0188	0,06	32.39
0,1284	0,08	43.19
0,168	0,1	53.98
0,1476	0,12	64.78
0,127	0,15	80.98
0,1262	0,19	102.58
0,125	0,25	134.97
0,1242	0,29	156.57
0,1234	0,33	178.16
0,122	0,4	215.95
0,1302	0,49	264.55
0,1284	0,58	313.14
0,1464	0,68	367.13
0,1444	0,78	421.12
0,1522	0,89	480.50
0,149	1,05	560.89
0,1448	1,26	680.27
0,1502	1,49	804.44
0,165	1,75	944.82
0,1792	2,04	1101.39
0,1992	2,04	1101.39
0,2054	2,73	1473.92
0,2066	3,17	1711.47
0,2082	3,59	1911.24
0,2298	4,01	2164.99
0,2316	4,42	2368.35
0,2334	4,83	2607.70
0,2454	5,23	2823.66
0,2376	5,62	3244.78
0,2598	6,01	3439.15

Chapitre III

0,2526	6,37	3439.15
0,2556	6,72	3628.11
0,2686	7,07	3817.08
0,272	7,4	3995.24
0,2656	7,72	4168.01
1,1056	7,72	4168.01
1,7914	0,43	232.15
1,97	0	0
2,039	0,05	26.99
2,0588	0,06	32.39
2,0888	0,06	32.39

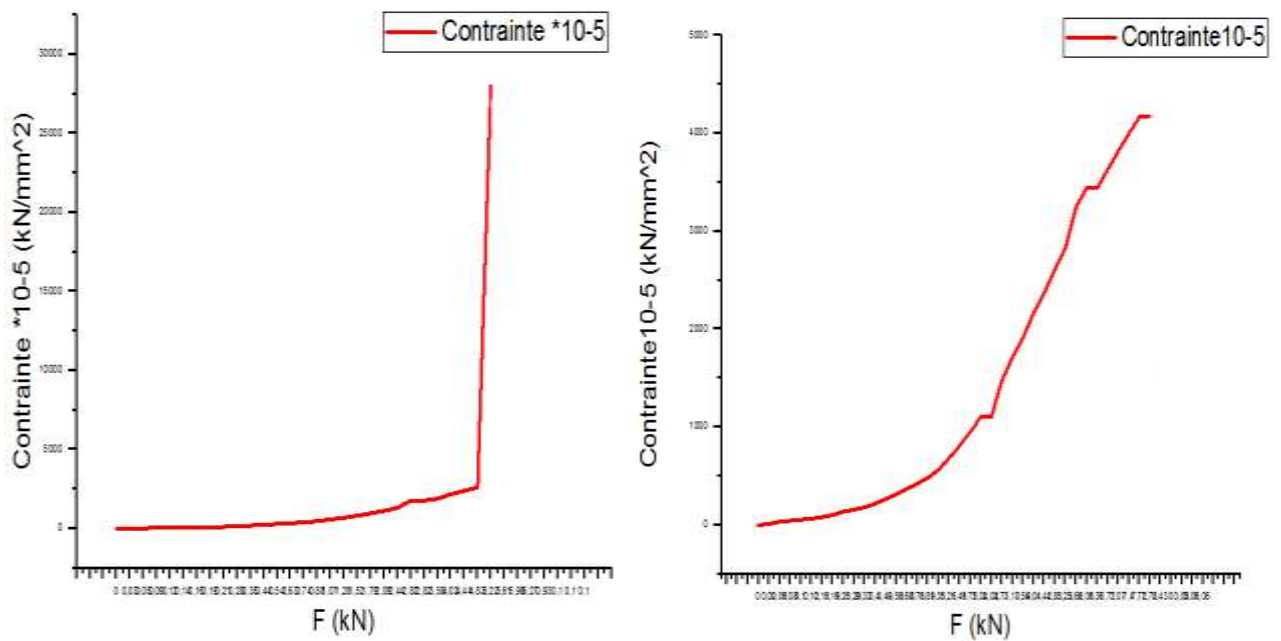


Fig. III.22 un graphique qui étudie les changements de contrainte en termes de force appliquée à l'échantillon

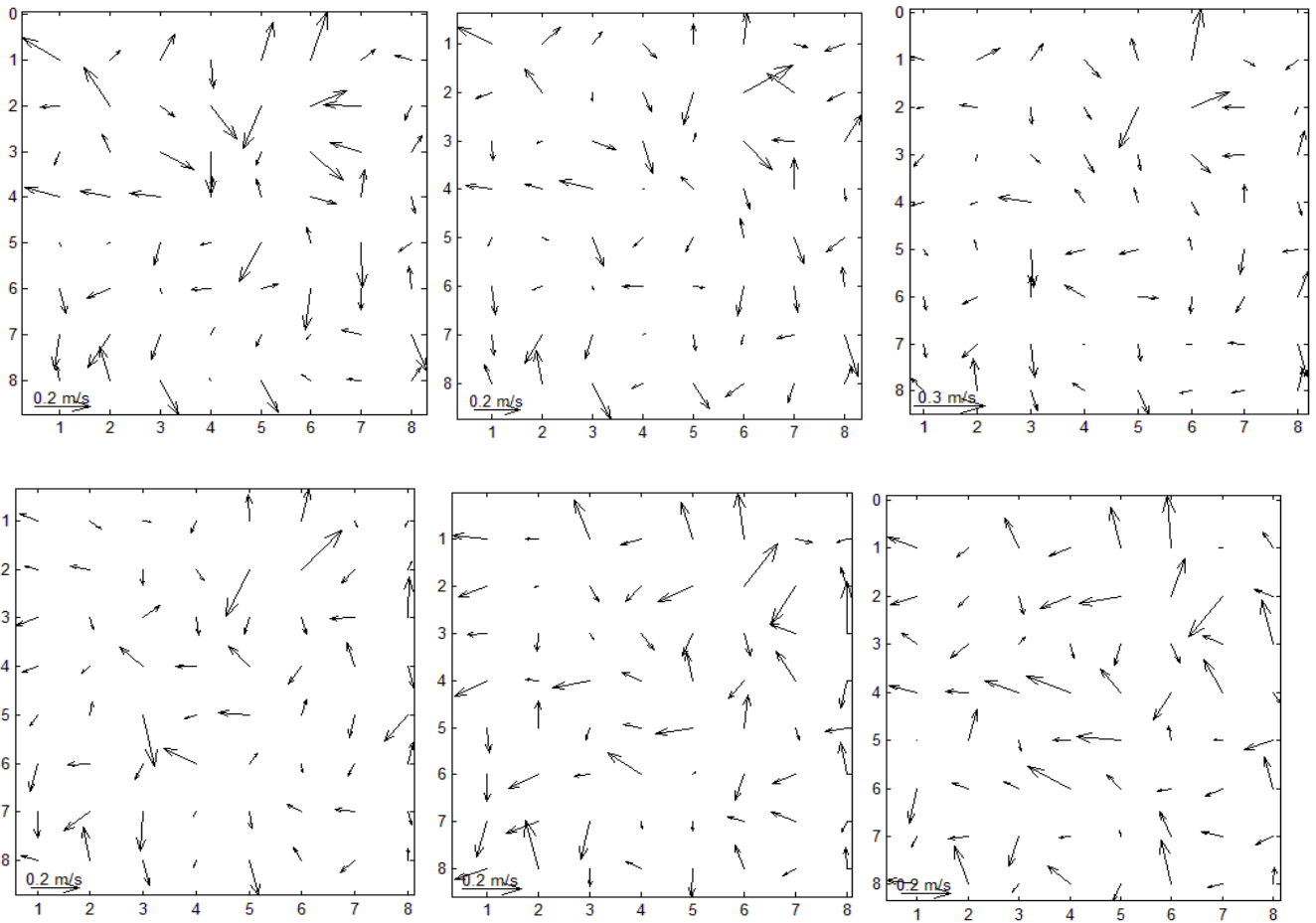


Fig. III.23 Les champs de déformations obtenus au début de l'essai de compression

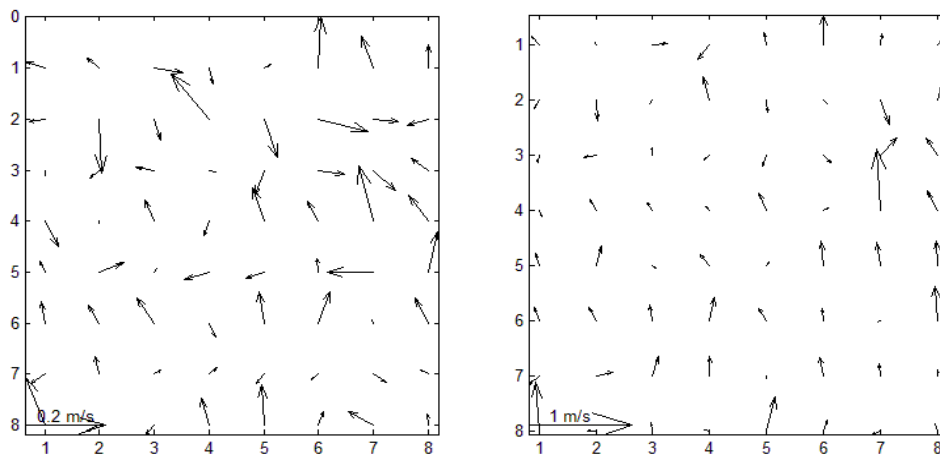


Fig. III.24 Les champs de déformations obtenus au milieu de l'essai de compression

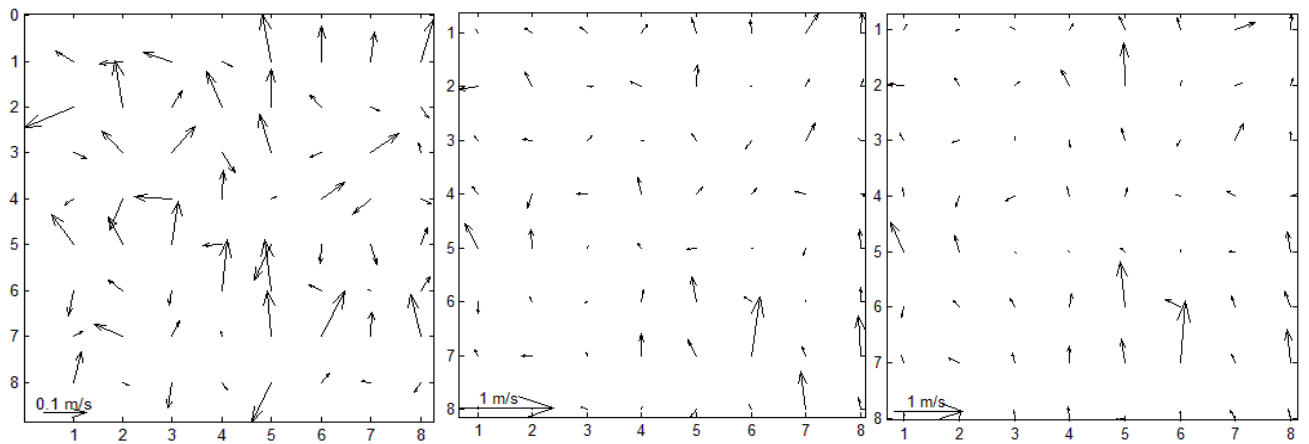


Fig. III.25. Les champs de déformations obtenus à la fin de l'essai de compression

flèche

6. Interprétation des résultats

80 μm Corr 80 μm

Au départ, on note que l'apparition de flèches au niveau de l'axe hiérarchique indique le contrôle de la force de pression

Et à la fin, on remarque que les flèches apparaissent dans le sens horizontal sur l'axe des virgules, indiquant la traction l'échantillon se casse lorsque la valeur maximale de la contrainte de l'échantillon est atteinte $1477.06 \cdot 10^{-5}$

80 μm et 100 cor 80 μm et 100

Au début de l'expérience, on remarque que les flèches apparaissent sur l'axe de la commande, ce qui signifie que la force de pression est dominante Les champs de déformations obtenus au milieu de l'essai de compression les fléchés apparaissent horizontalement selon l'axe des intervalles en fonction des traction Les champs de déformations obtenus à la fin de l'essai de compression on note que la force de pression et dominante car les flèches apparaissent horizontalement sur l'axe de y

La fracture de l'échantillon se produit à une valeur de contrainte maximale de $1976,20 \cdot 10^{-5}$

100 μm et 160 corr 100 μm et 160

Au début de l'expérience, on remarque que les flèches apparaissent sur l'axe de la commande, ce qui signifie que la force de pression est dominante Les champs de déformations

Chapitre III

obtenus au milieu de l'essai de compression les flèches apparaissent horizontalement selon l'axe des intervalles en fonction des traction Les champs de déformations obtenus à la fin de l'essai de compression on note que la force de pression est dominante car les flèches apparaissent horizontalement sur l'axe de y

La fracture de l'échantillon se produit à une valeur de contrainte maximale $2048,20 \cdot 10^{-5}$

160 μm et 200 CORR 160 μm et 200

Les champs de déformations obtenus au début de l'essai de compression on remarque un mélange entre force de pression et traction car les flèches sont dans les direction x et y Les champs de déformations obtenus à la fin de l'essai de compression on remarque les flèches apparaissent dans le sens vertical, pression est dominante La fracture de l'échantillon se produit à une valeur de contrainte maximale $\cdot 10^{-5}$.



CONCLUSION
GÉNÉRALE

Conclusion générale

Conclusion générale

Le but de ce travail est d'étudier les propriétés mécaniques d'une céramique par la technique de la photographie de speckle où l'on constate que plus le diamètre des grains utilisés dans la fabrication de l'échantillon est grand, plus l'échantillon est dur et donc plus résistant à la rupture, c'est-à-dire que la contrainte à la rupture est grande. On note également sur les champs de déformations résultants, que plus le diamètre de la poudre est grand, plus les déformations de tractions et de compressions sont petites. Cela se traduit par le grand nombre de champs de déformation qui en résultent. La résistance à la compression se manifeste par la variation de la direction des déformations (traction + compression) vers une direction de déformation dominante (compression) jusqu'à la rupture.

On peut justifier ces résultats par la présence de la poudre fine entre les gros grains (temps de tamisage insuffisant) qui permet de fermer les pores intergranulaires et donc avoir des échantillons plus denses et plus durs.

Références biographiques

[1] ; Gilbert Fantozzi, Jean-Claude Niépce, Guillaume Bonnefont, Les Céramiques industrielles propriétés, mise en forme et applications

[2] ; Jean-Marie Haussonne, Claude Carry, Paul Bowen, James Borton, Céramiques et verres

[3] ; Jean.P.Mercier, Gérald Zambelli, Wilfried Kurz, introduction à la science des matériaux

[4] ; Kolli Mostafa, Elaboration et Caractérisation thermomécanique de réfractaires à bas de kaolin DD 3

[5] ; P. Y. Chen, M. L. Lin, Z. Zheng, On the origin of the name kaolin and kaolin

deposits of the Kauling and Dazhou areas, Kiangsi, China, Applied Clay Science, 1997, Vol. 12,

[6] ; [Andr 06] F. Andreola, E. Castellini, J. M. F. Ferreira, S. Olhero, M. Romagnoli, Effect of sodium hexametaphosphate and ageing on the rheological behaviour of kaolin dispersions, Applied Clay Science, 2006, Vol. 31

[7]; H. H. Murray, Traditional and new applications for kaolin, smectite, and palygorskite : a general overview, Applied Clay Science, 2000, Vol.17

[8]; N. K. L. G. Laure, Transformations thermiques, organisation structurale et frittage des composés kaolinite-muscovite, Thèse de Doctorat, Université de Limoges, 2004.

[9] V. N. Antsiferov, S. E. Porozova, V. Y. Bekker, N. O. Makarova and V. I.

Karmanov, A Comparative Characterization of Kaolins of Provenance from the Prosyankovskoe and Kyshtymkoe Deposits Subjected to Mechanochemical Activation in an Aqueous Medium, Refractories and Industrial Ceramics, 2001, Vol.42, Nos.9-10,

[10] M. Kolli, M. Hamidouche, K. Loucif, H. Osmani, M/A. Majoubi, N. Bouaouadja,

M. Gonon, G Fantozzi, Caractérisation Rhéologique des kaolins de Djebel Debbagh, 6ème

Références biographiques

Congrès de la Société Algérienne de Chimie "SAC'2002",

[11] A. Meunier, Argiles, Contemporary Publishing International (Paris), 2003, 433 p.

[12] Djeci Hamza theme doctorat étude et élaboration

[14] ; Zemamouche Radouane thèse

Résumé

L'objectif de ce travail est d'utiliser la métrologie optique afin de savoir les propriétés de la céramique par une méthode technologique sophistiquée, le spackel, ce dernier est une technologie à base de laser grâce à laquelle les propriétés des céramiques sont connues et ces résultats apparaissent sous la forme de flèches dirigées qui se traduisent parmi les propriétés qui ont rendu cette technique importante, c'est qu'elle soit une méthode de mesure sans contact, sa précision de mesure est de l'ordre d'onde, les résultats sont précis et rapides comme indiqué dans la partie application.

Il existe plusieurs types de céramiques (céramique technique, céramiques traditionnelles) et elles sont utilisées dans plusieurs domaines tels que l'industrie, la médecine, etc., dans cette étude nous avons utilisé une sorte de céramique kaolin (kt2) pour connaître et étudier ses propriétés.

Lorsque les caractéristiques sont connues, le domaine d'utilisation peut être déterminé.

summary

The objective of this work is to use optical metrology in order to know the properties of ceramic by a sophisticated technological method, the spackel, the latter is laser based technology thanks to which the properties of ceramics are known. These results appear in the form of directed arrows which translate among the properties which made this technique important, it is that it is contact measurement, precision and the wave order, the results are precise and fast as indicated in the application part.

There are several types of ceramics (traditional ceramic, technical ceramics) and they are used in several fields such as the medicine industry, in this study we used the kaolin ceramic to know and study its properties, when the characteristics are known, the field of use can be determined.

ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو استعمال علم القياس البصري من أجل معرفة خصائص مادة السيراميك وذلك من خلال تقنية سباكل, هذه الأخيرة هي تقنية حديثة تعتمد على الليزر ومن خلال تسليطه على قطعة السيراميك يمكن معرفة الخصائص الميكانيكية و نلاحظ النتيجة على شكل أسهم موجهة و من بين الخصائص التي جعلت هذه التقنية مهمة هي أنها طريقة قياس بعديا أي دون ملامسة و دقة القياس بالنسبة لها يكون حسب طول الموجة تتميز نتائجها بدقة و السرعة كما هو موضح في الجزء التطبيقي

يوجد عدة أنواع من السيراميك أو بما يعرف قديما بالكراميكوس و هي كلمة من أصول اغريقية ويستعمل في عدة مجالات كالصناعة و الطب و في الصناعات التقليدية و الحديثة و في هذه الدراسة سنستعمل المادة الأولية هي الكولا من أجل معرفة خصائصها و بالتالي معرفة مجال استعمالها لأن الخصائص هي التي تحدد مجال الاستعمال