

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR**

**ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA**

**FACULTE DE TECHNOLOGIE**

**DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE**

**MEMOIRE**

Présenté pour l'obtention du diplôme de

**MASTER**

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : fabrication mécanique et productique

**Par :**

Berihan ilimass

Azegagh nabil

**Thème**

---

**Etude des propriétés mécaniques des céramique de l'usinage SCS SOUMMAM Béjaia**

---

Soutenu le 21 / septembre /2022 devant le jury composé de:

Mr.	Harrouche. F	Président
Mr.	Bensaid. N	Rapporteur
M <sup>me</sup> .	Himed. L	Examineur

**Année Universitaire 2021-2022**

## 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 : BENSAÏD NASREDDINE » professeur à l'université, ABDE RAHMANE MIRZA de BEJAJA qui a assuré avec son expérience et sa patience la direction de ce travail.*

*Mes remerciements vont aussi « M. : HAROUCHE FAIEH » et « Mlle: HJMED LINDA » à tous les professeurs pour avoir accepté d'examiner ce travail. J'adresse aussi mes plus vifs remerciements à tous les membres du Hall technologie Je n'oublie pas aussi de remercier tous mes collègues département de Mécanique de Précision en particulier et ceux de la faculté technologie de l'université ABDE RAHMANE MIRZA en général.*

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

ALLEGH NABI

BERHAN LIMASS



**Chapitre I : Généralités sur les céramiques et sur les propriétés mécaniques**

I.1	Définition : .....	2
I.2	Caractéristiques des céramiques : .....	2
I.3	Classification des céramiques .....	3
I.3.1	Les céramiques techniques .....	3
I.3.1.1	Les Céramiques à base d'oxydes .....	4
I.3.1.2	Les Céramiques non-oxydes .....	4
I.4	Les Céramiques traditionnelles .....	4
I.4.1	Les matières plastiques.....	6
I.4.2	Les dégraissants.....	8
I.4.3	Les fondants .....	8
I.5	Domaine d'utilisation de la céramique :.....	8
I.6	Procédés de fabrication des produits céramiques.....	10
I.6.1	Matière première .....	10
I.6.2	Mise en forme.....	11
I.6.3	Séchage.....	15
I.7	Le Frittage .....	16
I.8	Les propriétés mécaniques .....	18
I.8.1	Contraintes et déformations .....	19
I.8.2	La contrainte.....	20
I.8.3	Caractérisation des propriétés mécaniques.....	21
I.8.4	Les essais mécaniques .....	21
I.8.4.1	Essai de traction .....	21
I.8.4.1.1	Les éprouvettes.....	22
I.8.4.1.2	Description générale d'une machine de traction.....	23
I.8.4.1.3	Diagramme contrainte-déformation en traction des différents matériaux 24	
I.8.4.1.4	Les propriétés de traction .....	27
I.8.4.2	L'essai de dureté .....	29
I.8.4.3	Essai BRINELL .....	30

I.8.5	L'essai VICKERS .....	31
I.8.6	L'essai ROCKWELL .....	32
I.8.7	L'essai de résilience .....	33
I.8.7.1	Les éprouvettes .....	34
I.8.7.2	Principe de l'essai .....	35
I.8.8	L'essai de flexion .....	36
I.9	Les carreaux de sol et de mur (Carrelage) :.....	36
I.9.1	Définition .....	36
I.9.2	La composition des carreaux en céramique .....	37
I.9.3	Procédé de fabrication des carreaux céramiques.....	37
I.9.4	Classifications .....	41
I.9.5	Domaines d'emploi .....	44
II.1	Matériaux et objectif .....	46
II.1.1	Le matériau utilisé .....	46
II.1.2	But de travail .....	46
II.2	Les essais appliqués .....	46
Pour l'étude de notre carrelage, on a appliqués plusieurs essais, et ce sont les suivant :.....		46
II.2.1	L'essai de résilience .....	46
II.2.1.1	But de l'essai :.....	46
II.2.1.2	Le matériau utilisé.....	46
II.2.1.2.1	Les carreaux de sol :.....	46
II.2.1.2.2	Les carreaux de mur (Faïence):.....	49
II.2.2	Essai de dureté.....	52
II.2.3	L'essai de la résistance à la chaleur : .....	54

## Liste des figures

<b>Figure 1:</b> quelques exemples sur les céramiques techniques.....	3
<b>Figure 2:</b> Quelques exemples sur les céramiques traditionnels .....	5
<b>Figure 3:</b> type d'argile .....	7
<b>Figure 4:</b> Première étape de fabrication de céramique [3] .....	11
<b>Figure 5:</b> Deuxième étape de fabrication de céramique [3] .....	12
<b>Figure 6:</b> Procédé de coulage en bande (a) [16] ; moule de coulage étapes (b).....	13
<b>Figure 7:</b> Injection plastique.....	13
<b>Figure 8:</b> Schéma du pressage axial et pressage isostatique. [8].....	15
<b>Figure 9:</b> Troisième étape de fabrication de céramique [3] .....	16
<b>Figure 10:</b> Le frittage des particules de céramiques.....	17
<b>Figure 11:</b> Traction simple : a) force et allongement. b) Déformations dans les trois directions [10] .....	22
<b>Figure 12:</b> Eprouvette de traction : a) cylindrique, b) prismatique. [14] .....	23
<b>Figure 13:</b> Machine d'essai de traction [12] .....	24
<b>Figure 14:</b> Courbe contrainte-déformation. Comportement fragile [9].....	25
<b>Figure 15:</b> Courbe contrainte-déformation. Comportement ductile [9] .....	26
<b>Figure 16:</b> Courbe contrainte-déformation. Comportement élastique non linéaire [10].....	26
<b>Figure 17:</b> Courbe contrainte-déformation. Deux matériaux avec des rigidités et des ductilités différentes [10] .....	28
<b>Figure 18:</b> Courbe contrainte-déformation. Ténacité = surface sous la courbe [10] .....	29
<b>Figure 19:</b> Duromètre universel [14].....	29
<b>Figure 20:</b> Essai de brinell [14] .....	31
<b>Figure 21:</b> Principe de l'essai de dureté VICKERS [10] .....	32
<b>Figure 22:</b> Principe de l'essai de dureté ROCKWELL b et ROCKWELL c [10] .....	33
<b>Figure 23:</b> Une machine de Charpy [9].....	34
<b>Figure 24:</b> Eprouvettes Charpy standardisées [11] .....	34
<b>Figure 25:</b> Essai de flexion « trois points » d'une poutre [12]. .....	36
<b>Figure 26:</b> broyeur du mélange; buse placé à l'intérieure de la chambre de séchage [18] .....	38
<b>Figure 27:</b> moule destiné au pressage [18].....	39

## *Liste des figures*

<b>Figure 28:</b> Carreaux vitrifiés non émaillé (grés cérame) [18].....	42
<b>Figure 29:</b> Carreaux vitrifiés émaillé (grés étiré) [18] .....	42
<b>Figure 30:</b> Carreaux poreux non émaillé (de terre cuite) [18].....	43
<b>Figure 31:</b> carreaux de terre cuite émaillé [18] .....	44
<b>Figure 32:</b> Mouton pendule de Charpy .....	47
<b>Figure 33:</b> Résilience pour les éprouvettes en carreau de sol .....	49
<b>Figure 34:</b> Résilience pour les éprouvettes en carreaux de murs (Faïence).....	50
<b>Figure 35:</b> Le d'uroomètre du L'ENMTP .....	52
<b>Figure 36:</b> L'empreinte de pénétration.....	53
<b>Figure 37:</b> Dureté Rockwell des éprouvettes de carreau de sol. ....	54
<b>Figure 38:</b> four de hall technologie .....	55
<b>Figure 39:</b> Microscope optique .....	55
<b>Figure 40:</b> Une fissure apparue avant la déformation .....	56
<b>Figure 41:</b> L'empreinte prise par le microscope après la déformation .....	56
<b>Figure 42:</b> la vue interne de l'empreinte déformée .....	57

## **Liste des tableaux**

<b>Tableau 1:</b> La résilience des éprouvettes en carreau de sol .....	48
<b>Tableau 2:</b> La résilience des éprouvettes en carreau de mur (Faïence) .....	50
<b>Tableau 3:</b> Dureté Rockwell des éprouvettes de carreau en céramique.....	53

# Introduction générale

## **Introduction générale**

Les céramiques, suite à la richesse et à la diversité de leurs propriétés, sont présentes dans de multiples branches d'activité depuis les industries les plus classiques comme la sidérurgie par exemple, jusqu'à l'aérospatiale où les propriétés exigées vont à l'extrême limite des technologies les plus modernes.

Dans nos jours la céramique est utilisée dans plusieurs domaines, parmi ces domaines on trouve la mécanique, l'aéronautique, l'aérospatiale, électrotechniques et la médecine .....

En Algérie plusieurs entreprises spécialisée dans la fabrication des carreaux céramiques en différent format et chaque entreprise a son propre systèmes et moyenne ce qui nous a induit à déterminer les propriétés mécaniques des céramiques de l'usinage SCS SOUMMAM Bejaia.

Aujourd'hui l'ingénieur peut calculer et déterminer facilement les charges admissibles en connaissant les caractéristiques mécaniques du matériau à utiliser.

L'objectif de notre travail c'est de déterminer les propriétés mécaniques de céramique (les carreaux de sol et de mur) dépendent des conditions d'application des efforts, par des essais mécaniques (résilience, dureté et la résistance à la chaleur).

Le manuscrit de mémoire est organisé en deux chapitres :

**Le chapitre I** comprend une recherche bibliographique exclusivement dirigée vers les généralités sur les céramiques, les étapes et les procédés de fabrication des carrelages, et décrit les caractéristiques et les propriétés mécaniques des matériaux concernent la déformation d'un matériau soumis à une force, qui est déterminé par des essais mécaniques (traction, dureté, résilience).

**Le chapitre II** est consacré à la présentation des résultats expérimentaux et discussions de la résistance des carrelages (carreaux en céramique) de l'usinage SCS SOUMMAM Bejaia par des essais mécaniques et leurs résistances à la chaleur et au feu.

# Chapitre I : Généralités sur les céramiques et sur les propriétés mécaniques

## I.1 Définition :

Le mot céramique vient du grec keramikos est signifié argile ou terre à potier. L'académie des sciences des Etats-Unis a pour sa part, donné une définition des céramiques qui nous semble à la vérité que sont des matériaux non organique, non métalliques, formés ou consolidés à haute température. Les céramiques doivent leurs qualités distinctives tant à leur composition qu'à leur modalités d'élaboration. Les premières céramiques employées étaient les silicates, utilisées pour la réalisation des poteries émaillées. Elles ont connu ensuite une utilisation plus étendue allant de la porcelaine culinaire aux appareils sanitaires. Les oxydes purs, les carbures, les borures, les nitrures, les siliciures, les sulfures ont été successivement inclus dans la catégorie des céramiques. Il faut, tout de même, distinguer deux types de matériaux:

- Les céramiques traditionnelles, issues de matières premières naturelles (argile, Feldspath, kaolin, quartz) et généralement mises en œuvre par coulée (barbotine) suivi d'une cuisson.
- Les céramiques techniques, mises en forme à partir d'une poudre synthétisée ou modifiée par voie chimique. La densification et la consolidation de la céramique sont obtenues par un traitement thermique appelé frittage.

On peut considérer que les matériaux minéraux mise en forme par prise hydraulique (plâtre, ciment, etc.) font partie des céramiques. [1]

## I.2 Caractéristiques des céramiques :

Les propriétés caractéristiques des produits céramiques sont [2] :

- ♣ Leur résistance à l'usure ;
- ♣ Leur durée de vie ;
- ♣ Leur inertie chimique ;
- ♣ Leur absence de toxicité ;
- ♣ Leur résistance à la chaleur ;

# Chapitre I : Généralités sur les céramiques et sur les propriétés mécaniques

- ♣ Leur résistance au feu ;
- ♣ Leur résistance électrique (en général) et parfois même, une porosité spécifique

## I.3 Classification des céramiques

### I.3.1 Les céramiques techniques

Les céramiques techniques sont présentes dans des secteurs nouveaux et en pleine expansion comme l'électronique, l'aérospatiale, l'automobile, le biomédical. Leurs composés sont essentiellement non silicatés et les matières premières employées sont synthétiques (oxydes, carbures, nitrures, ...) [10].



Bougie automobile en céramique



Des polies en céramique



Les roulements en céramique



Isolateur électrique

**Figure 1:** quelques exemples sur les céramiques techniques

# Chapitre I : Généralités sur les céramiques et sur les propriétés mécaniques

## I.3.1.1 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 ( $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ ). [7]

## I.3.1.2 Les Céramiques non-oxydes

Les céramiques non-oxydes se caractérisent par des températures de fusion ou de décomposition élevée, 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 [7]

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.

## I.4 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 . [7]

Elles 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,

## Chapitre I : Généralités sur les céramiques et sur les propriétés mécaniques

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. [7]



Les poteries

la porcelaine



La faïence

**Figure 2:** Quelques exemples sur les céramiques traditionnels

# Chapitre I : Généralités sur les céramiques et sur les propriétés mécaniques

## I.4.1 Les matières plastiques

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'halloysite, 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.[7]

- ❖ Les argiles rouges sont surtout utilisées pour la fabrication des produits de terre cuite. Leur forte teneur en fer (plusieurs % massiques en équivalent  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) 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. [7]

### 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 compositions et concentration en minéraux, les différentes argiles ont des structures et des propriétés différentes.

## Chapitre I : Généralités sur les céramiques et sur les propriétés mécaniques



**Figure 3:** type d'argile

### **b. Kaolin :**

Le terme kaolin a été utilisé, pour longtemps, pour désigner l'argile chinoise extraite du village « Kauling ». 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%. Ils peuvent être différents selon les conditions géologiques de leur formation, leurs compositions minéralogiques moyennes et leurs propriétés physiques et chimiques. Il existe une multitude de kaolins, ce qui nécessite leur caractérisation convenable pour déterminer de façon rationnelle l'utilisation appropriée de chacun d'eux. [6]

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... [6] Le kaolin présente une grande surface spécifique (comprise entre 10 et 100  $\text{m}^2/\text{g}$ ) 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. 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. Le kaolin calciné est utilisé dans la formulation de ces matériaux pour réduire le rétrécissement et augmenter la réflectivité. [6]

# Chapitre I : Généralités sur les céramiques et sur les propriétés mécaniques

## I.4.2 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. [7]

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. [7]

## I.4.3 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 107 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. [7]

## I.5 Domaine d'utilisation de la céramique :

Les principaux domaines, qui sont définis par les produits céramiques fabriqués, sont les suivant [2] :

## Chapitre I : Généralités sur les céramiques et sur les propriétés mécaniques

- Les carreaux pour sols et murs (carrelages) : Les carreaux céramiques pour sols et murs sont d'importants produits de revêtement pour sols et murs qui sont utilisés dans l'industrie du bâtiment et du logement.
- Les briques et les tuiles : Le plus souvent, les briques et les tuiles ont une appellation qui désigne non pas la technique de façonnage utilisée, mais l'usage auquel elles sont destinées
- Les céramiques ornementales (céramiques domestiques) : La fabrication des céramiques domestiques englobe la vaisselle, les objets artificiels et de fantaisie en porcelaine, en faïence et en grès fin. Les produits types sont les assiettes, les plats, les tasses, les coupes, les carafes et les vases.
- Les produits réfractaires : Les produits réfractaires s'utilisent généralement dans les industries les plus consommatrices d'énergie, comme la métallurgie, l'industrie cimentière, la pétrochimie et l'industrie verrière.
- Les appareils sanitaires : Des produits céramiques types sont les cuvettes pour sanitaires, les lavabos, les citernes et les bornes-fontaines. Ces produits sont principalement en porcelaine vitreuse (imitation de porcelaine) ou en faïence.
- Les céramiques techniques : Les céramiques techniques s'utilisent dans de nombreuses industries et concernent à la fois les produits établis, comme les isolants, et les nouvelles applications.
- Les tuyaux en grès : Les tuyaux et raccords en grès sont utilisés pour les canaux de drainage et les égouts, mais aussi pour les réservoirs à acides et pour les produits destinés aux bâtiments pour animaux.
- Les granulats d'argile expansée : Ils s'utilisent comme matériau meuble pour l'aménagement paysager ou comme matériau lié par ciment dans l'industrie de la construction.
- Les abrasifs inorganiques : Les produits abrasifs qui sont des outils couramment utilisés pour travailler toutes sortes de matières : non seulement pour le broyage, mais aussi pour le tronçonnage, le polissage, le dressage, l'affûtage etc. de métaux, plastiques, bois, verre, pierres etc.

# Chapitre I : Généralités sur les céramiques et sur les propriétés mécaniques

## I.6 Procédés de fabrication des produits céramiques

### I.6.1 Matière première

Les traitements que peut subir une matière première consistent en un concassage mécanique ou manuel selon les moyens disponibles, suivie d'un tamisage humide ou sec. Il est recommandé que le matériau utilisé comporte une bonne quantité de sable dégraissant ou de chamotte. Ceci aidera la pièce à supporter son poids lors du façonnage et du séchage.

L'eau est ensuite ajoutée à la matière première d'une manière progressive jusqu'à l'obtention de la consistance souhaitée qui permet une bonne malléabilité dans le travail. Après l'addition de l'eau à la matière première, cette dernière est malaxée soit par une malaxeuse, soit manuellement pour homogénéiser la distribution de l'eau, la pâte ainsi formée est pétrie afin de dégager le maximum de bulles d'air. Elle peut être gardée par la suite dans un stock pour plusieurs semaines ce qui aide à l'amélioration de sa plasticité par le processus de pourrissage.

Selon le produit et la méthode de confection, la pâte peut être soit liquide, plastique ou granulée [5].

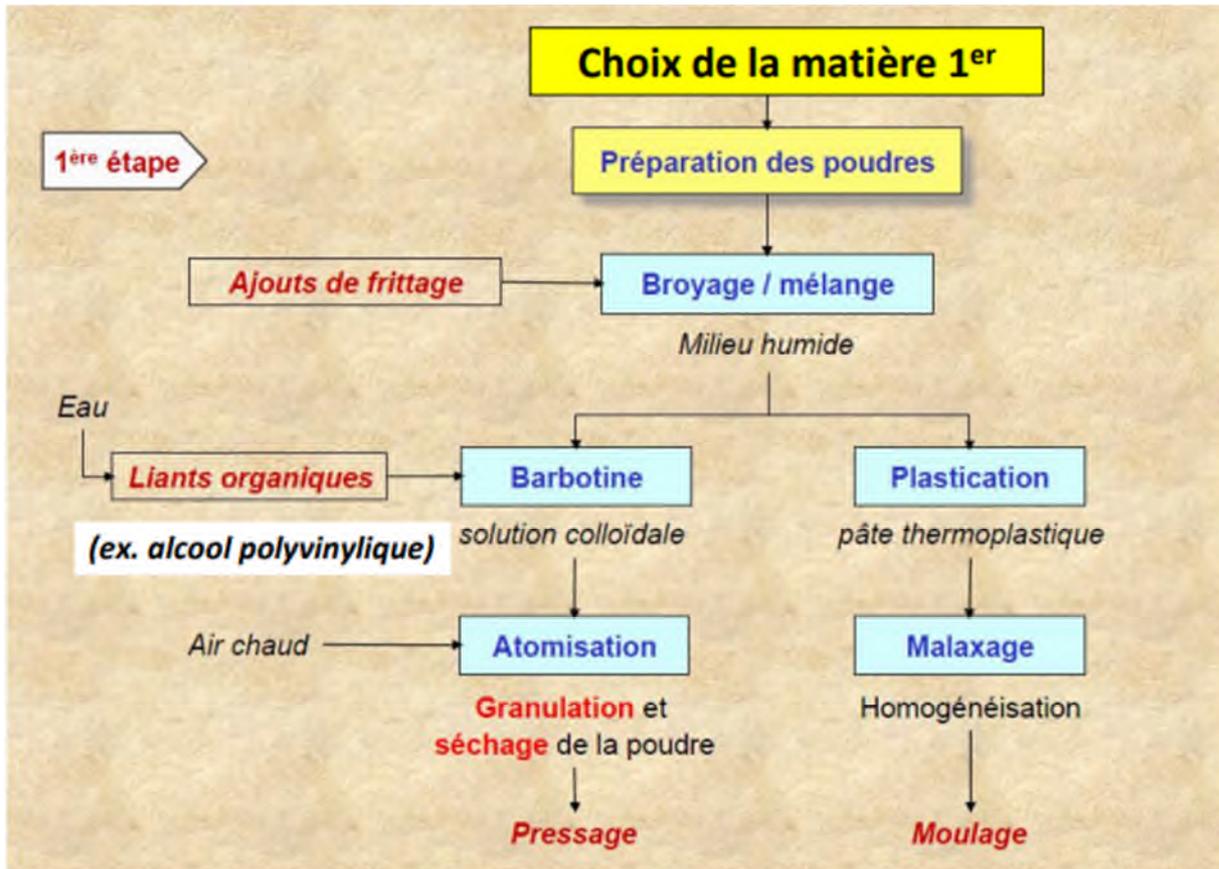


Figure 4: Première étape de fabrication de céramique [3]

## I.6.2 Mise en forme

La mise en forme est un thème essentiel dans la fabrication des céramiques (figure .12). Les propriétés intrinsèques des céramiques, fragilité, dureté et très haut point de fusion, limite l'utilisation des méthodes classiques.

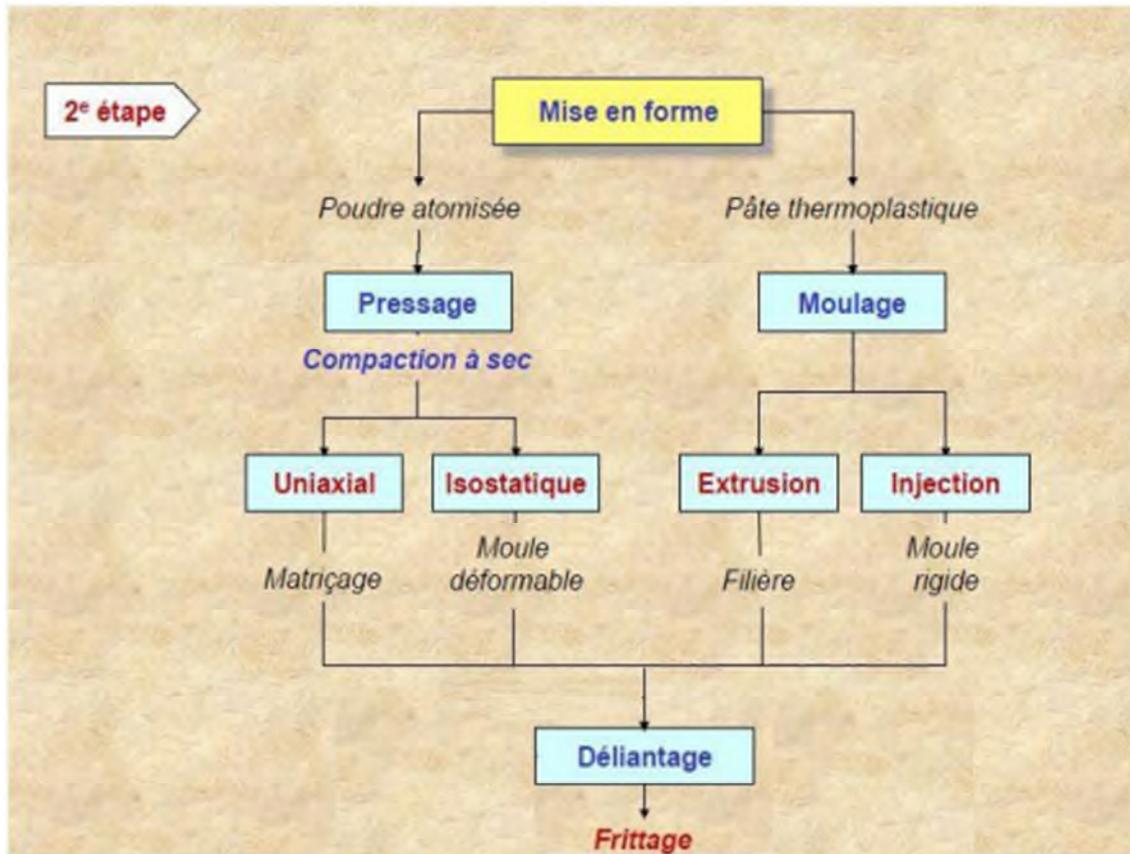
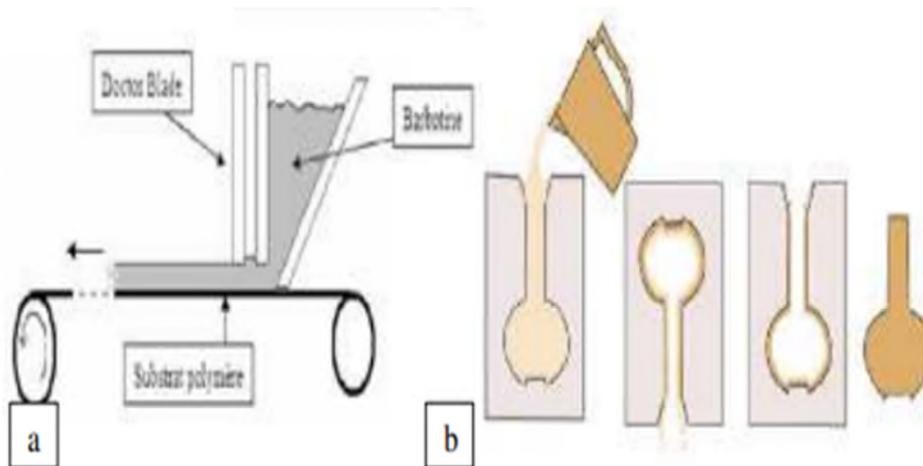


Figure 5: Deuxième étape de fabrication de céramique [3]

## a) Voie liquide

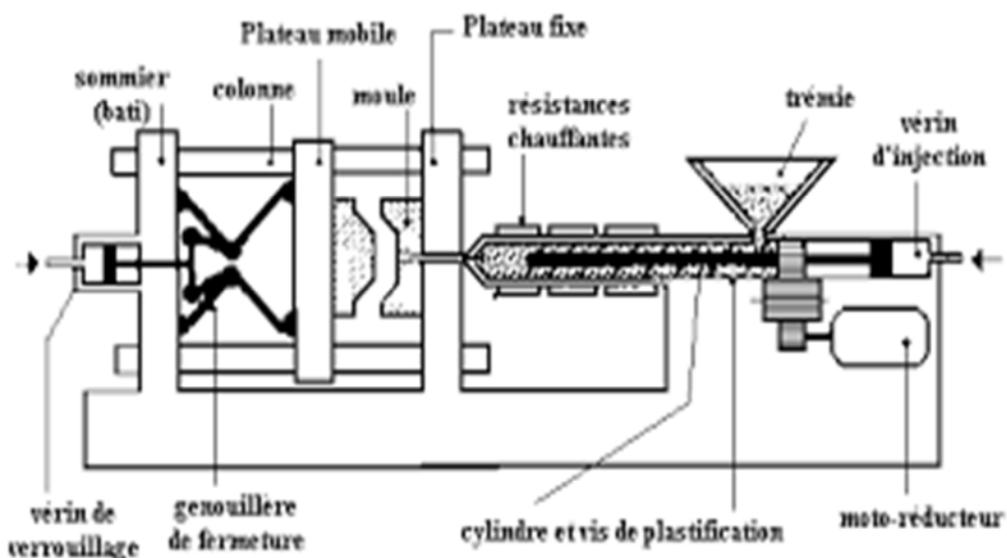
Dans les procédés en voie liquide, les poudres céramiques sont dispersées dans un solvant (eau, alcool) pour aboutir à une suspension (ou barbotine dans le cas de suspensions argileuses) aux propriétés souhaitées. Les procédés exploitant la voie liquide sont par exemple le coulage en moule et le coulage en bande [16].



**Figure 6:** Procédé de coulage en bande (a) [16] ; moule de coulage étapes (b)

## Voie plastique

Les procédés en voie plastique utilisent la déformation d'une pâte pour mettre en forme l'objet à fabriquer. Si les pâtes argileuses sont naturellement plastiques, il n'en est rien pour les poudres de céramiques techniques qui nécessitent d'être mélangées avec des matériaux organiques pour obtenir ce comportement rhéologique assimilé aux fluides anormaux. Les objets céramiques sont ensuite mis en forme par extrusion ou par injection.



**Figure 7:** Injection plastique.

# Chapitre I : Généralités sur les céramiques et sur les propriétés mécaniques

## Voie sèche

Les procédés par voie sèche granulaire ont pour but d'agglomérer de façon contrôlée les poudres fines pour leur conférer une bonne aptitude à l'écoulement pour le remplissage des moules ainsi qu'une plasticité suffisante pour se déformer sous l'action du pressage. Une façon d'y parvenir est par exemple de réaliser une suspension, de la pulvériser sous forme de gouttelettes qui seront séchées par un courant d'air chaud (procédé d'atomisation). Les granules obtenus sont des amas sphériques des grains de la poudre initiale, et contiennent également les liants et les plastifiants préalablement ajoutés à la suspension.

### ❖ Mise en forme par pressage uni axial (matriçage)

- Pour réaliser des pièces simples (joints, bagues, carreau...).
- Compactage (20 à 150 MPa) : piston simple ou double effet.

### ❖ Mise en forme par pressage isostatique

Le pressage isostatique inclut certains produits hauts de gamme nécessitent une densification uniforme qui peut s'obtenir en appliquant la même pression sur toutes les surfaces. Dans une presse isostatique, on remplit des moules en caoutchouc ou en polyuréthane de poudre céramique et on les place dans une cuve remplie de liquide. On applique ensuite une pression hydrostatique élevée, puis on démoule les produits. Cette méthode est employée dans les secteurs des réfractaires et des céramiques techniques ainsi que dans la fabrication des carreaux et de la vaisselle de table.

## Chapitre I : Généralités sur les céramiques et sur les propriétés mécaniques

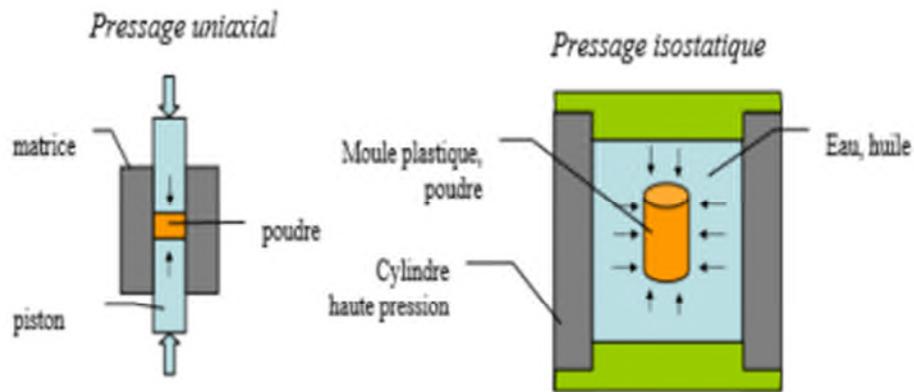


Figure 8: Schéma du pressage axial et pressage isostatique. [8]

### I.6.3 Séchage

Quel que soit le mode de façonnage utilisé, la pâte céramique contient une quantité d'eau qu'elle est nécessaire d'évacuer avant la cuisson afin d'éviter la fente ou la casse de la pièce, dues à un échauffement trop rapide [4]. Les méthodes conventionnelles de séchage impliquent le départ du liquide par évaporation. Cette opération nécessite un apport thermique important pour amener l'eau à se retirer du produit et pour assurer le transfert de masse. L'apport de chaleur sous pression atmosphérique peut se faire par conduction, par rayonnement ou par convection, ce dernier mode est plus utilisé car il permet un transfert simultané de chaleur et de masse (vapeur issue du produit). Le fluide sécheur utilisé habituellement soit l'air chaud, soit la vapeur d'eau surchauffée. Au contact du produit à sécher, la vapeur qui n'est pas saturée en eau se refroidit en cédant une partie de sa chaleur sensible, évaporant ainsi l'eau contenue dans le produit. [17]

❖ Effet du séchage :

-Durcissement

Au fur et à mesure que les pâtes perdent de l'eau, leur plasticité diminue et elles deviennent rigides, ce qui permet leur manipulation.

-Retrait et perte du poids

L'eau qui s'évapore provoque une perte de masse et une diminution de volume. Il y a deux phases :

-Le retrait est proportionnel à la masse d'eau éliminée : c'est le départ de l'eau libre (colloïdale)

## Chapitre I : Généralités sur les céramiques et sur les propriétés mécaniques

-L'eau continue de s'évaporer sans retrait de la pâte, celle-ci devient poreuse et le volume des pores correspond au volume d'eau éliminé dans cette phase : c'est le départ de l'eau d'interposition ou l'eau liée, Ces différentes phases sont mises en évidence par la « courbe de Bigot ». C'est dans la première phase que peuvent se produire les accidents tels que déformations, fentes, gerces...

Le séchage peut se faire à l'ombre, à l'air libre sous les rayons du soleil ou les deux respectivement à l'échelle industrielle, le séchage peut être effectué par séchoir pour accélérer le processus [5].

### I.7 Le Frittage

Le frittage est un procédé (thermique) qui consiste à chauffer une poudre sans atteindre la fusion. Sous l'effet de la chaleur, les grains sont soudés, ce qui forme la cohésion de la pièce.

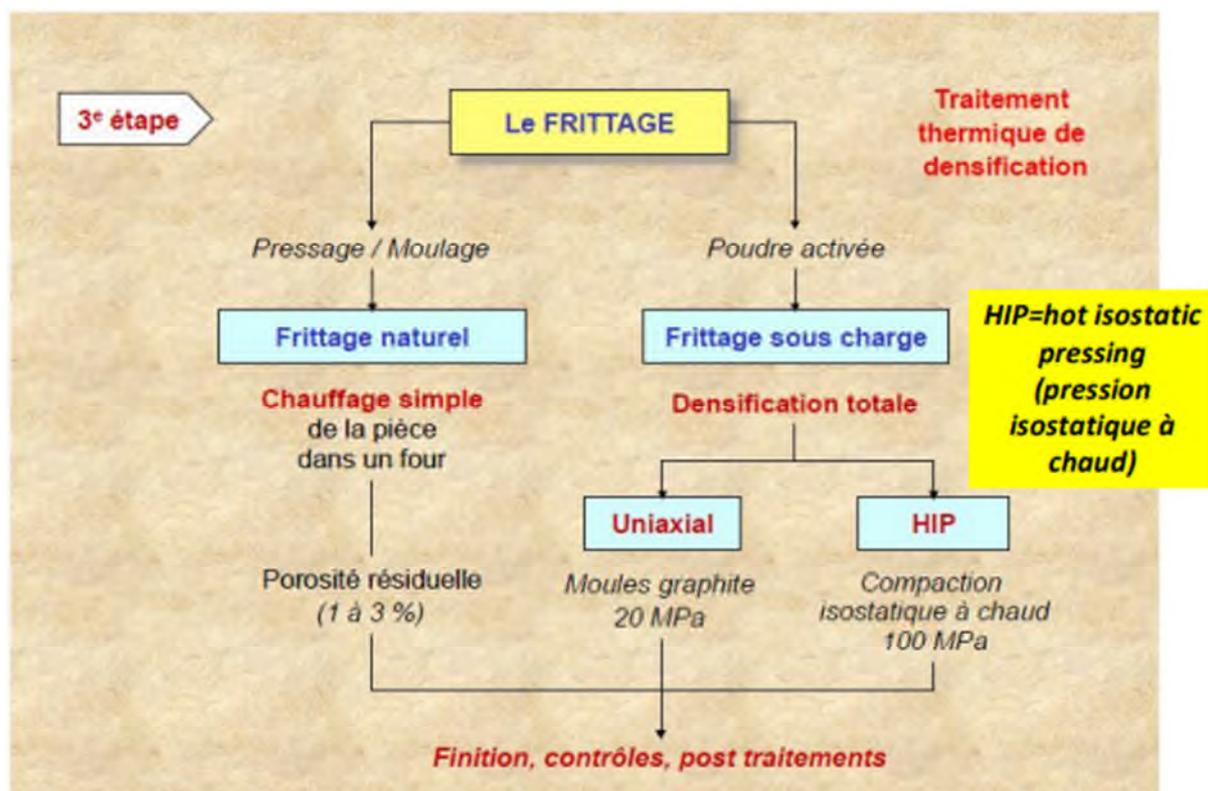


Figure 9: Troisième étape de fabrication de céramique [3]

## Chapitre I : Généralités sur les céramiques et sur les propriétés mécaniques

Généralement, on distingue trois types de frittage [3] :

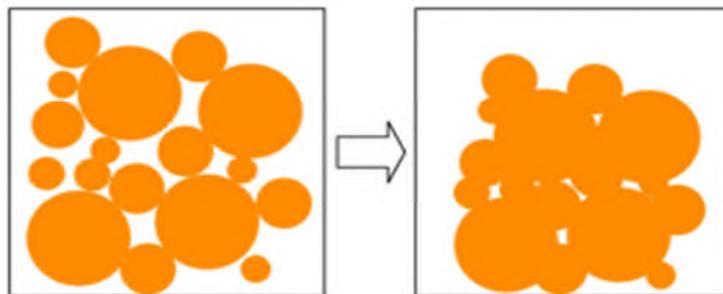
→ En phase solide : tous les constituants restent à l'état solide tout le long du frittage. La densification passe par un changement de forme des grains. Le transport de matière se fait par diffusion en phase solide et aux joints de grains.

→ En phase liquide : formation d'un liquide visqueux qui remplit plus ou moins complètement les espaces poreux du compact initial. La densification se produit principalement par mise en solution et précipitation du solide, permettant un transport de matière rapide.

→ Réactif : Deux ou plusieurs constituants entrent en réaction pendant le frittage. La densification se fait par précipitation du nouveau composé.

Les paramètres qui influent sur la microstructure et par conséquent les propriétés finales du matériau céramique, sont:

- La composition du système
- La granulométrie de la poudre
- La densité de mélange cru
- Le cycle thermique ( $T$ ,  $dT/dt$ ,  $t$ )
- La pression



**Figure 10:** Le frittage des particules de céramiques

# Chapitre I : Généralités sur les céramiques et sur les propriétés mécaniques

## Les avantages du frittage:

- ♣ Maîtriser la densité de la matière ;
- ♣ D'obtenir des matériaux durs mais fragiles, à porosité contrôlée, et inertes chimiquement (bonne tenue à la corrosion);
- ♣ Obtention du matériau de bonne tenue à la température;
- ♣ Maîtriser les dimensions des pièces: absence de changement d'état, des variations de volume et de dimensions (absence du retrait).

Les grandes catégories de propriétés Il y a six(06) grandes catégories de [15] :

- Mécaniques
- Électriques
- Thermiques
- Magnétiques
- Optiques
- Chimiques

## I.8 Les propriétés mécaniques

Tous les matériaux interagissent avec des agents extérieurs lorsqu'ils sont utilisés. Les Propriétés mécaniques concernent la déformation d'un matériau soumis à une force. On ne peut pas calculer ni déterminer les charges admissibles sans connaître les caractéristiques mécaniques du matériau à utiliser.

Les propriétés mécaniques courantes des métaux sont liées aux concepts usuels d'élasticité et de plasticité. Elles résultent des différentes orientations des cristaux et de la présence des joints. Les propriétés mécaniques dépendent de la température d'utilisation, de l'état de surface, des conditions d'application des efforts, de la vitesse de déformation. Elles sont déterminées, avec un certain intervalle de précision, au moyen d'essais normalisés. Pour assurer une bonne résistance du produit fini (structure), il faut:

## Chapitre I : Généralités sur les céramiques et sur les propriétés mécaniques

- ♣ Une bonne connaissance des propriétés et des caractéristiques mécaniques des matériaux.
- ♣ Une identification des sollicitations (force, déformation...) auxquelles sont soumises les pièces.
- ♣ Un dimensionnement (sections) optimal des pièces en fonction de la nature et des propriétés des efforts.

Pour prédire le comportement en service d'un matériau, on doit connaître des caractéristiques aussi bien à l'échelle microscopique qu'à l'échelle macroscopique. [14]

Les principales sont [15]:

- La résistance : caractérise la contrainte maximale que peut supporter un matériau avant de se rompre
- La dureté: résistance d'un matériau à la pénétration
- La ductilité: capacité du matériau à se déformer de manière irréversible avant de rompre
- La rigidité: fonction de l'intensité des liaisons entre atomes ou molécules (module d'Young)
- La ténacité: capacité d'un matériau à emmagasiner de l'énergie avant sa rupture

### I.8.1 Contraintes et déformations

L'effet des forces sur différents matériaux est expliqué par Robert HOOKE (1635- 1703), de façon empirique à l'échelle macroscopique : un matériau à l'état solide ne résiste à une force appliquée qu'en se déformant sous l'action de cette force. Les matériaux sont élastiques. Il établit une règle, la loi de HOOKE, selon laquelle l'allongement est toujours proportionnel à la force appliquée. Cette loi n'est rigoureusement vraie que pour les céramiques, le verre, la plupart des minéraux et les métaux les plus durs.

La considération des conditions qui règnent en chaque point d'un matériau soumis à des forces mécaniques conduit aux notions de contrainte et de déformation. La définition claire et utilisable de ces deux notions est due à Augustin CAUCHY (1789-1857). Quand on soumet un corps à l'action de forces extérieures, des contraintes

## Chapitre I : Généralités sur les céramiques et sur les propriétés mécaniques

s'établissent par réaction, à l'intérieur de ce corps. À ces contraintes sont associées des déformations.

Pour s'affranchir de la dépendance des dimensions du matériau, les paramètres contraints et déformation sont utilisés. [10]

### I.8.2 La contrainte

La contrainte est déterminée avec quelle intensité les atomes du matériau sont écartés les uns des autres ou comprimés les uns sur les autres. Cette contrainte est, pour une traction simple, la force qui agit sur une unité de surface du matériau [10].

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (\text{I.1})$$

Elle se mesure en Pascal (Pa).

Les trois principales contraintes sont la traction, la compression et le cisaillement qui sont définies plus loin.

### I.4.2. La déformation

La déformation indique dans quelles proportions les liaisons inter atomiques (à l'échelle microscopique) et la structure elle-même (l'objet, à l'échelle macroscopique) ont été déformées. La déformation, pour une traction simple, est le rapport de l'allongement à la longueur initiale [10].

$$\epsilon = \frac{(L - L_0)}{L_0} \quad (\text{I.2})$$

L'allongement est sans unité

# Chapitre I : Généralités sur les céramiques et sur les propriétés mécaniques

## I.8.3 Caractérisation des propriétés mécaniques

Pour pouvoir utiliser raisonnablement les matériaux de restauration ou prothétiques en clinique, il est essentiel de déterminer les conditions de déformation et de rupture des matériaux.

Afin de caractériser le comportement mécanique d'un ou de plusieurs matériaux soumis à des forces extérieures qui engendrent des contraintes et des déformations, on a recours à un certain nombre d'essais mécaniques.

Ces essais mécaniques doivent mettre en jeu des états de contrainte simples et connus, d'interprétation facile et non équivoque. De plus ils doivent être reproductibles. C'est pourquoi des organismes nationaux et internationaux normalisent ces essais (AFNOR, ISO, CEN).

La normalisation des essais porte sur [14]:

- ♣ La géométrie de l'éprouvette (une éprouvette est une pièce de dimensions normalisées utilisée lors d'essais mécaniques visant à déterminer le comportement du matériau soumis à différents efforts mécaniques comme le traction, la torsion, la flexion...)
- ♣ La préparation de cette éprouvette
- ♣ Les machines d'essai et leur étalonnage,
- ♣ Les techniques expérimentales mises en œuvre
- ♣ Le dépouillement et la présentation des données.

## I.8.4 Les essais mécaniques

Les essais mécaniques sont des expériences dont le but est de caractériser les lois de comportement des matériaux.

### I.8.4.1 Essai de traction

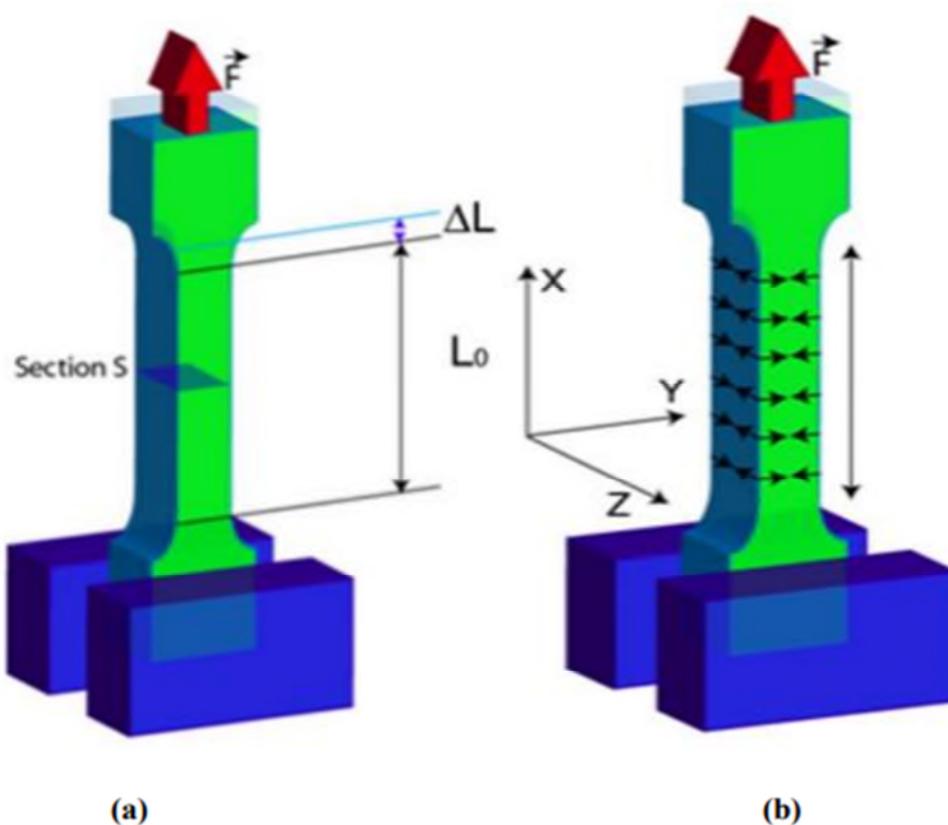
Parmi tous les essais mécaniques, l'essai de traction est certainement l'essai le plus fondamental. Il consiste à placer une éprouvette du matériau à étudier à deux efforts  $F$  de tension de sens opposés et de même valeurs absolues entre les mâchoires d'une machine de traction qui tire sur le matériau jusqu'à sa rupture. On enregistre la force et l'allongement, que l'on peut convertir en contrainte déformation. Son exécution est facile et les résultats obtenus servent à dimensionner toutes sortes des pièces allant d'un pignon microscopique jusqu'à la structure métallique d'un grand hall. Dans la

## Chapitre I : Généralités sur les céramiques et sur les propriétés mécaniques

recherche on l'applique pour la caractérisation de nouveaux matériaux et dans industrie pour les contrôles périodiques servant à surveiller la qualité des alliages, des polymères et des céramiques [10].

Cet essai a comme objectif :

- De faire connaître le fonctionnement d'une machine de traction et des capteurs qui y sont appliqués;
- De mesurer des courbes de traction sur des alliages d'aluminium, de cuivre et des aciers;
- D'interpréter les résultats obtenus: déterminer la limite élastique, l'allongement à rupture etc.
- D'estimer la précision de mesure.



**Figure 11:** Traction simple : a) force et allongement. b) Déformations dans les trois directions [10]

### I.8.4.1.1 Les éprouvettes

## Chapitre I : Généralités sur les céramiques et sur les propriétés mécaniques

L'essai est le plus souvent normalisé. La forme de l'éprouvette est soit cylindrique, soit prismatique. L'éprouvette fixée par ses têtes entre les mâchoires d'une machine de traction, est soumise à un effort de traction suivant son axe. Une longueur de base  $L$  est définie par la distance séparant les deux repères que constituent les points d'attache de l'extensomètre. Les repères sont à tracer très finement, afin qu'ils ne puissent pas constituer des amorces de rupture.

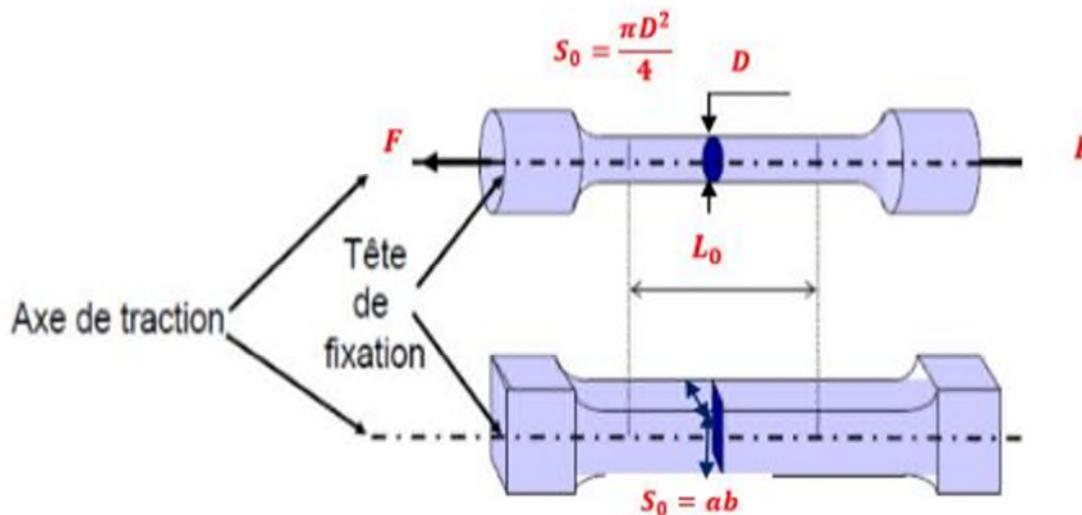


Figure 12: Eprouvette de traction : a) cylindrique, b) prismatique. [14]

### I.8.4.1.2 Description générale d'une machine de traction

Une machine de traction est constituée d'un bâti portant une traverse mobile. L'éprouvette de traction, vissée ou enserrée entre des mors, selon sa géométrie, est amarrée à sa partie inférieure (dans le cas d'une machine mécanique) ou au vérin de traction (dans le cas d'une machine hydraulique). Le déplacement de la traverse vers le haut réalise la traction. Une machine de traction comporte une cellule de charge, qui permet de mesurer l'effort appliqué à l'éprouvette et le déplacement de l'éprouvette peut être suivi de diverses façons. Les dispositifs expérimentaux sont généralement asservis et peuvent être pilotés à vitesse de montée en charge, à charge constante, à vitesse de déformation constante, etc. selon ce qui peut être proposé par le système de pilotage [12].



**Figure 13:** Machine d'essai de traction [12]

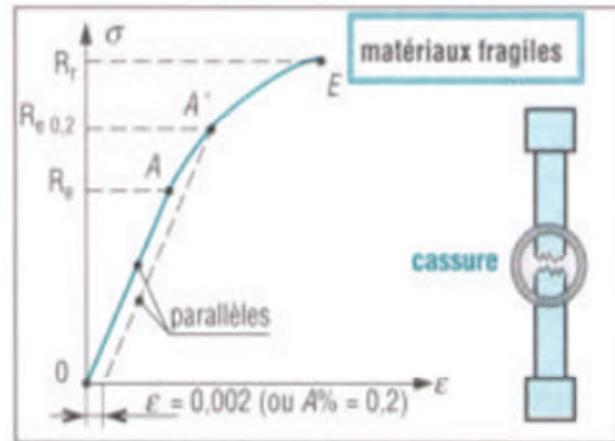
### I.8.4.1.3 Diagramme contrainte-déformation en traction des différents matériaux

Si l'on analyse les courbes de traction de l'ensemble des matériaux on retrouve trois comportements possibles.

**Un comportement fragile :** Le matériau ne présente pas de domaine de déformation plastique, la rupture se produit alors que les déformations sont purement élastiques. Le verre, les céramiques et les polymères thermodurcissables sont des matériaux à rupture fragile.

Dans le cas des céramiques dentaires, la phase cristalline dans sa matrice vitreuse constitue l'obstacle majeur aux dislocations. La limite élastique de ces matériaux est très élevée car le déplacement des dislocations est très difficile à température ambiante. Cela est dû à la présence de liaisons covalentes et à l'alternance du signe des ions qui entraîne une modification des plans de glissement. [10]

## Chapitre I : Généralités sur les céramiques et sur les propriétés mécaniques

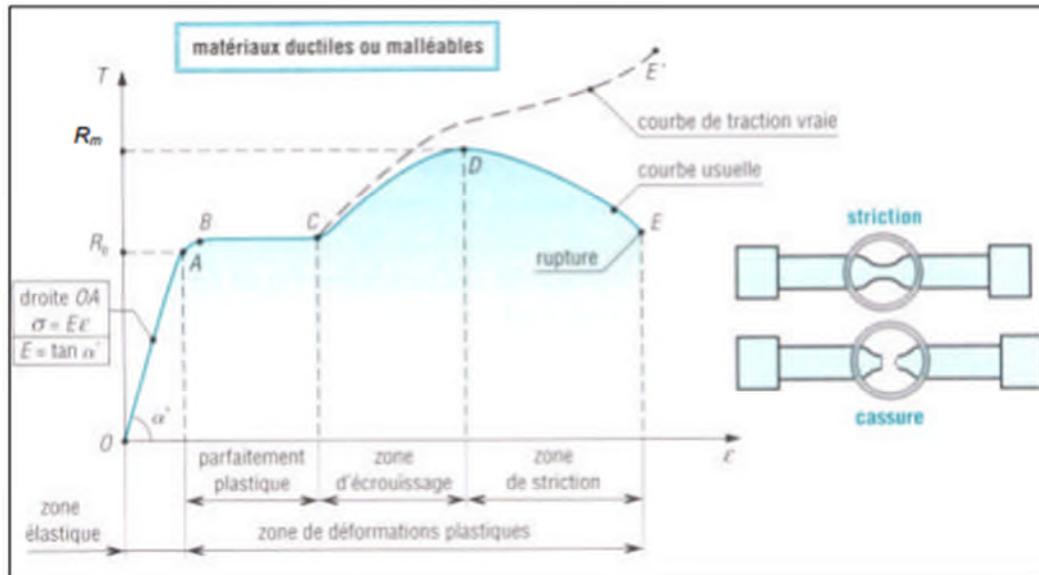


**Figure 14:** Courbe contrainte-déformation. Comportement fragile [9].

**Un comportement ductile :** Une déformation plastique irréversible suit la déformation élastique réversible. La majorité des métaux et des alliages et certains polymères thermoplastiques présentant ce type de comportement.

Dans les métaux, les liaisons interatomiques ne constituent pas un obstacle majeur à la propagation des dislocations. Les métaux sont donc des matériaux ductiles avec de faibles limites d'élasticité. Aussi, divers procédés permettent d'élever la limite élastique des métaux par blocage des dislocations. Parmi les obstacles qui permettent un durcissement des métaux on distingue : les atomes étrangers, les autres dislocations, les particules précipités et les joints de grains. [10]

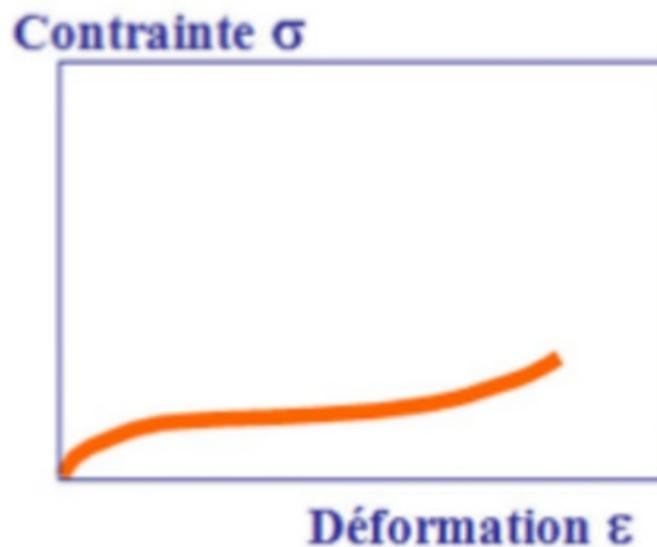
## Chapitre I : Généralités sur les céramiques et sur les propriétés mécaniques



**Figure 15:** Courbe contrainte-déformation. Comportement ductile [9]

**Un comportement élastique non linéaire :** La déformation élastique n'est pas proportionnelle à la charge qui la provoque. Un tel comportement est caractéristique de certains polymères thermoplastiques et des élastomères.

La force de rétraction élastique est engendrée par des mouvements browniens (agitation thermique des molécules) qui agitent les segments de chaînes macromoléculaires et cette force est très faible. [10]



**Figure 16:** Courbe contrainte-déformation. Comportement élastique non linéaire [10]

# Chapitre I : Généralités sur les céramiques et sur les propriétés mécaniques

## I.8.4.1.4 Les propriétés de traction

On peut déterminer avec un essai de traction [12] :

- Limite conventionnelle d'élasticité  $Re_{0,2}$ , On utilise cette détermination pour les courbes de traction où le palier de fin de limite élastique n'apparaît pas nettement. Pour la mesure de  $Re_{0,2}$  on tolère une légère déformation permanente de 0,2% ( $A\% = 0,2$ ) ;
- Limite d'élasticité (MPa) :

$$Re = \frac{F_e}{S_0} \quad (I.3)$$

- Résistance à la traction en MPa :

$$Rm = \frac{F_m}{S_0} \quad (I.4)$$

- Allongement à la rupture :

$$A\% = 100 \times \frac{(L - L_0)}{L_0} \quad (I.5)$$

Dans cette expression,  $L_0$  et  $L$  sont respectivement les longueurs initiale et finale après rupture en mm.

- Striction à la rupture :

$$Z\% = 100 \times \frac{(S - S_0)}{S_0} \quad (I.6)$$

Dans cette expression,  $S_0$  et  $S$  sont respectivement les sections initiale et finale après rupture en  $mm^2$ .

- Module d'Young en MPa, représenté par la pente de la courbe dans sa partie linéaire :

$$E = \frac{d\sigma}{d\varepsilon} \quad (I.7)$$

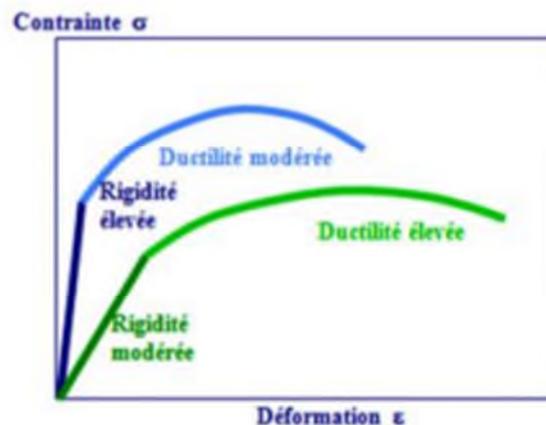
On peut également définir certaines caractéristiques déterminées par l'essai de traction :

## Chapitre I : Généralités sur les céramiques et sur les propriétés mécaniques

o **la rigidité** : est fonction de l'énergie des liaisons entre les atomes ou les molécules constituant le matériau. On mesure la rigidité principalement par le module d'YOUNG. Plus ce module est élevé, plus le matériau est rigide.

o **la résistance** : caractérise la contrainte maximale qu'un matériau supporte avant de se rompre. Cette résistance est fonction de l'intensité des liaisons mais également de la forme des pièces ou de ses défauts.

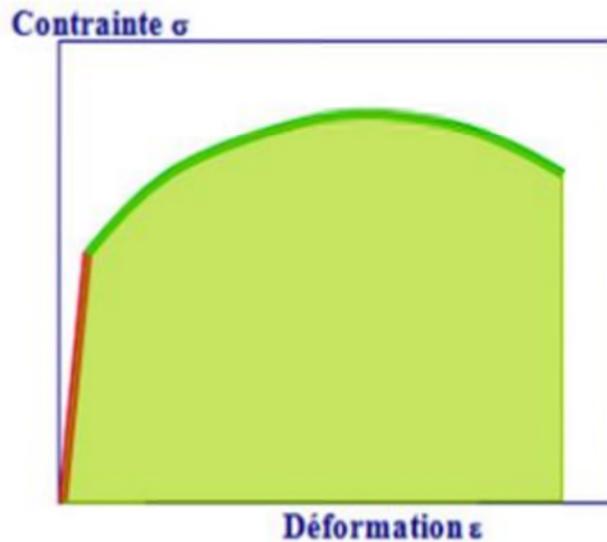
o **la ductilité** : correspond à la capacité d'un matériau à se déformer de façon permanente avant de se rompre. Plus l'allongement à la rupture est élevé, plus le matériau est considéré comme ductile. A l'opposé, lorsque la déformation permanente est très réduite ou nulle, on parle d'un matériau fragile. Un matériau fragile peut présenter une résistance très élevée (figure 6).



**Figure 17:** Courbe contrainte-déformation. Deux matériaux avec des rigidités et des ductilités différentes [10]

- **la ténacité** : qui représente la quantité d'énergie absorbée à la rupture par un matériau. Elle caractérise la résistance à la propagation brutale de fissures. Sa valeur est égale à l'aire de la surface sous la courbe contrainte-déformation. Cette caractéristique est importante pour les céramiques.

## Chapitre I : Généralités sur les céramiques et sur les propriétés mécaniques



**Figure 18:** Courbe contrainte-déformation. Ténacité = surface sous la courbe [10]

### I.8.4.2 L'essai de dureté

La dureté peut être définie comme une mesure de la résistance à la déformation plastique localisée. Les méthodes de mesure de la dureté sont basées sur la pénétration forcée d'un indenteur à la surface d'un matériau. Une valeur de dureté est déterminée par la mesure de la dimension ou de la profondeur de l'empreinte faite par l'indenteur soumis à des charges et des vitesses d'application contrôlées. Les tests de dureté ont été réalisés au moyen d'un duromètre universel à indenteur Brinell, Rockwell et Vickers. [10]



**Figure 19:** Duromètre universel [14]

## Chapitre I : Généralités sur les céramiques et sur les propriétés mécaniques

### I.8.4.3 Essai BRINELL

Johan August BRINELL (1849–1925), ingénieur métallurgiste suédois, travaillait sur la transformation des aciers en fonction de la température. Il avait besoin d'un test rapide non destructif pour déterminer la dureté des différents aciers testés. Il met au point son test de dureté BRINELL basé sur un indenteur bille, pour alliages métalliques peu durs. L'essai consiste à imprimer dans la pièce une bille en acier ou en carbure de tungstène de diamètre «  $D$  » sous une charge «  $F$  » et à mesurer le diamètre «  $d$  » de l'empreinte. La force  $F$  étant exprimée en kgf, le diamètre de l'empreinte «  $d$  » est en mm et la dureté Brinell  $HB$  est exprimée en kgf /mm<sup>2</sup> selon la relation suivante [14,10] :

$$HB = \frac{2F}{(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (I.5)$$

Avec :

$$d = \frac{(d_1 + d_2)}{2} \quad (I.6)$$

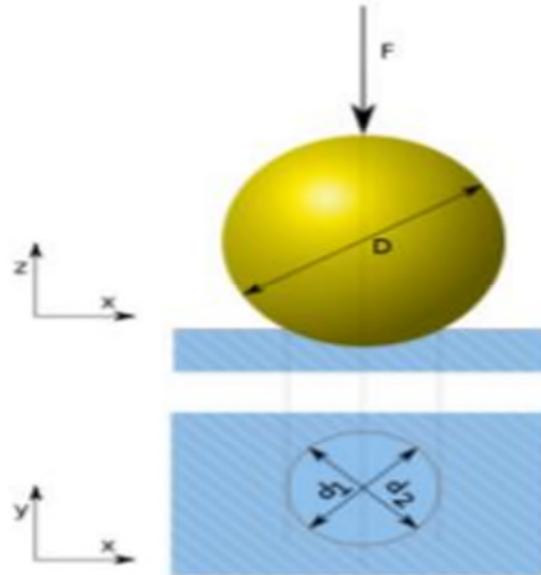


Figure 20: Essai de brinell [14]

## I.8.5 L'essai VICKERS

SMITH et SANDLAND, ingénieurs chez VICKERS Ltd GB ont besoin de tester des matériaux trop durs pour le test BRINELL. En 1925, ils conçoivent une pyramide de diamant. Cette pyramide de diamant à base carrée a un angle au sommet de  $136^\circ$ . Après l'indentation, on mesure la moyenne des diagonales  $d_1$  et  $d_2$  de l'empreinte en microscopie optique. L'essai VICKERS est adapté pour les alliages durs et les céramiques. La force  $F$  étant exprimée en  $kgf$ , le diamètre de l'empreinte est en  $mm$  et la dureté Vickers est exprimée en  $kgf/mm^2$  selon la relation suivante [10] :

$$(I.7) \quad HV = 1.8454 \frac{F}{d_2}$$

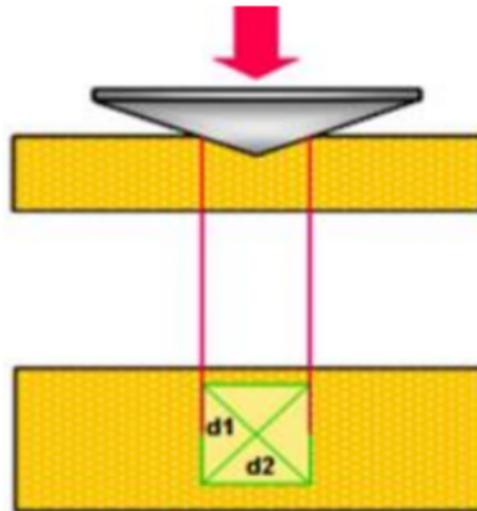


Figure 21: Principe de l'essai de dureté VICKERS [10]

### I.8.6 L'essai ROCKWELL

Stanley ROCKWELL travaille comme métallurgiste dans une usine de roulements à billes. Il vérifie les traitements thermiques par des tests de dureté. L'essai BRINNEL donne une indentation trop grosse. L'essai VICKERS est trop long. En 1922, ROCKWELL conçoit un nouveau système avec différents pénétrateurs, adapté aux métaux et aux plastiques avec une large gamme de matériaux testés. [10]

Le Pénétrateur :

- soit bille en acier de diamètre 1,59 mm = Rockwell b pour les matériaux mous comme les alliages de cuivre
- soit cône en diamant d'angle au sommet  $120^\circ$  et dont l'extrémité est une calotte sphérique de rayon 0,1mm = Rockwell c, pour les matériaux plus durs comme l'acier.

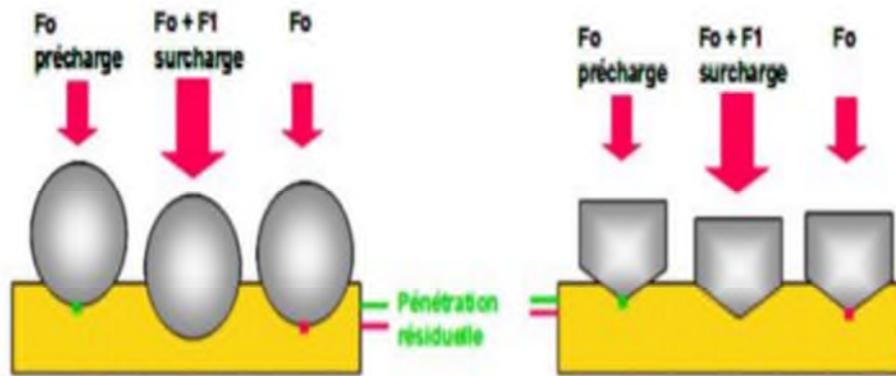
Précharge  $F_0$  faible de 10 daN = niveau de référence

Surcharge  $F_1$  de 60 à 150 daN

Charge  $F_2 = F_0$  à nouveau de 10 daN

On mesure la profondeur de l'empreinte = différence des 2 positions ( $F_2 - F_1$ )

## Chapitre I : Généralités sur les céramiques et sur les propriétés mécaniques



**Figure 22:** Principe de l'essai de dureté ROCKWELL b et ROCKWELL c [10]

En fonction du type d'indenteur et de la valeur de la charge appliquée on détermine différents types de duretés ROCKWELL (échelle de A à H, de K à M, P, R, S, V) adaptées aux différents types de matériaux. [10]

### I.8.7 L'essai de résilience

L'essai de flexion par choc sur éprouvette entaillée Charpy a pour but de mesurer la résistance d'un matériau à la rupture. Il est fréquemment appelé essai de résilience Charpy ou même essai Charpy. Il porte le nom de l'ingénieur français Georges Charpy (1865-1945) qui en fut un des principaux théoriciens et promoteurs. Il mit en particulier au point la machine qui permet de réaliser l'essai et qui est appelée Mouton Charpy [12].

Les essais de résilience permettent de caractériser la fragilisation d'un matériau. Ils consistent à rompre une éprouvette entaillée (l'entaille a pour but de fragiliser le matériau) - éprouvette Charpy - sous l'impact d'un "mouton-pendule". On mesure l'énergie absorbée par la rupture, ce qui permet de remonter à la résilience du matériau (énergie absorbée ramenée à la surface (en  $J/cm^2$ )). [13]

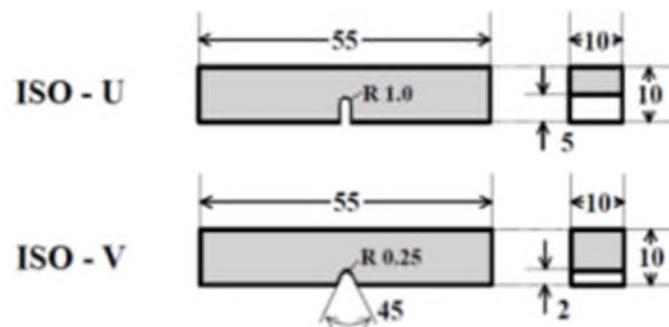
## Chapitre I : Généralités sur les céramiques et sur les propriétés mécaniques



**Figure 23:** Une machine de Charpy [9].

### I.8.7.1 Les éprouvettes

Une éprouvette Charpy est un barreau de section  $10 \times 10 \text{ mm}^2$  entaillée en son milieu. Deux types d'éprouvettes existent, les éprouvettes KCU et KCV, selon que l'entaille a une forme de U ou de V. Les différences essentielles entre ces types d'éprouvettes sont la surface de matière testée et le rayon de courbure de l'entaille et donc la triaxialité des contraintes. Les éprouvettes KCU ne sont pratiquement plus utilisées et ne servent plus qu'à des comparaisons avec des résultats anciens (suivi de vieillissements thermiques, notamment) [11].



**Figure 24:** Eprouvettes Charpy standardisées [11]

# Chapitre I : Généralités sur les céramiques et sur les propriétés mécaniques

## I.8.7.2 Principe de l'essai

Le mouton pendule (ou mouton de Charpy) Un marteau de masse  $m$  est fixé à l'extrémité d'un pendule. Ce pendule peut tourner dans le plan vertical autour d'un axe horizontal. L'éprouvette repose sur un support et se trouve au point le plus bas sur la trajectoire du marteau. Pour effectuer un essai, on écarte le bras jusqu'à ce que le marteau atteigne sa position initiale et on le lâche. Quand le pendule vient frapper l'éprouvette, il a une énergie cinétique qui est égale à l'énergie potentielle qu'il avait à sa position de départ  $mgH$ ,  $h$  étant la hauteur du marteau par rapport à sa position d'équilibre. Après la rupture, le marteau remonte. Dans son point culminant (hauteur  $h$ ), l'énergie cinétique résiduelle s'est de nouveau transformée en énergie potentielle  $mgh$ . [11]

L'énergie obtenue (en négligeant les frottements) est égale à [12]:

$$K = m.g.H - m.g.h \quad (\text{I.8})$$

$m$  = masse du mouton-pendule [kg]

$g$  = Accélération terrestre. [ $m.s^{-2}$ ] (9,80665)

$H$  = hauteur du mouton-pendule à sa position de départ [m]

$h$  = hauteur du mouton-pendule à sa position d'arrivée [m]

$$K = \frac{W_0 - W_1}{S} \quad (\text{I.9})$$

$S$  = surface [ $cm^2$ ];

$W_0$  = l'énergie initiale [J] ;

$W_1$  = l'énergie obtenue [J] ;

## Chapitre I : Généralités sur les céramiques et sur les propriétés mécaniques

$K$  = la résilience [ $J/cm^2$ ] ;

### I.8.8 L'essai de flexion

L'essai de flexion 3 points permet également de mesurer la résistance à la rupture d'un matériau. Une barrette du matériau à tester est placée sur deux appuis et l'on applique au centre de la barrette une force croissante jusqu'à rupture. Comme l'essai de compression, l'essai de flexion ne permet généralement pas d'atteindre la rupture des matériaux ductiles. L'essai de flexion est surtout adapté aux matériaux fragiles. Cet essai se caractérise par la simplicité du montage de l'éprouvette et sa géométrie simple (peu ou pas d'usinage). Lors du test, la partie supérieure est en compression et la partie inférieure en traction [12].



**Figure 25:** Essai de flexion « trois points » d'une poutre [12].

## I.9 Les carreaux de sol et de mur (Carrelage) :

### I.9.1 Définition

Les carreaux céramiques sont des dalles minces faites d'argiles et/ou d'autres matières inorganiques et généralement utilisées pour recouvrir des sols et des murs. Les

## Chapitre I : Généralités sur les céramiques et sur les propriétés mécaniques

carreaux céramiques sont usuellement façonnés par extrusion ou par pressage à sec à température ambiante, puis séchés et enfin cuits à des températures suffisantes pour développer les propriétés requises. Les formes de carreaux les plus répandues sont le carré et le rectangle, mais on trouve également d'autres formes polygonales (hexagone, octogone etc.). Quant aux dimensions, elles vont de quelques centimètres de côté (mosaïques) à des dalles de 60 à 100 cm de côté. L'épaisseur varie d'environ 5 mm pour du carrelage mural à plus de 25 mm pour certains carreaux extrudés. Il existe sur le marché plusieurs types de carreaux céramiques : façonnés par pressage à sec ou par extrusion ; à pâte poreuse, compacte ou vitrifiée ; à pâte blanche (blanchâtre) ou colorée (rougeâtre) ; émaillés ou non émaillés. Le terme de carrelage désigne à l'origine l'action de poser des carreaux, puis, par métonymie, le résultat de cette action. [2].

### I.9.2 La composition des carreaux en céramique

Les matières premières de fabrication des carrelages sont [2] :

- Argile ou terre.
- Quartz.
- Feldspath qui se vitrifie sous la chaleur.
- Kaolin qui est un adjuvant.
- La chamotte.
- Le carbonate de calcium (calcite).
- La dolomite et le talc.

### I.9.3 Procédé de fabrication des carreaux céramiques

#### 1) Préparation de la matière première

Le mélange de matière première passe dans un broyeur qui réduira en pâte humide (barbotine) de grains plus ou moins fins en fonction du type de produit le mélange de terre et de matières premières. La barbotine est introduite dans des buses placées à

## Chapitre I : Généralités sur les céramiques et sur les propriétés mécaniques

l'intérieur de la chambre de séchage, au moyen d'une pompe à piston à haute pression ajustable. A l'extrémité des buses, la barbotine est nébulisée en fines particules et tombe dans un contre-courant d'air chaud qui vient du générateur. De cette manière le séchage est presque immédiat et la poudre formée tombe au fond où elle est évacuée par une vanne tournante. L'air humide est aspiré par un ventilateur à travers un groupe de cyclones, où les petites quantités de poudre fine qu'il contient encore sont collectées, puis l'air est rejeté dans l'atmosphère au travers de filtres. [18]

La poudre peut être obtenue à la granulométrie et humidité résiduelle requises, en réglant la pression de la pompe, le diamètre des buses, la température et le débit de l'air. [18]



**Figure 26:** broyeur du mélange; buse placé à l'intérieure de la chambre de séchage [18]

### 2) Pressage du carrelage

La poudre obtenue lors de l'atomisation et injectée dans un moule qui lui donnera le format désiré. A l'intérieur du moule la presse agit avec une charge qui peut aller jusqu'à

## Chapitre I : Généralités sur les céramiques et sur les propriétés mécaniques

5000 tonnes. La plaque ainsi obtenue a déjà une résistance qui peut lui permettre d'être transportée et de passer aux différentes étapes de la fabrication. [18]



**Figure 27:** moule destiné au pressage [18]

### 3) Nettoyage

Le ramasseur de presse a la fonction de réceptionner les carreaux qui sortent du moule de la presse, de les parachever, basculer, broser puis de les envoyer à la phase successive de séchage. Il est constitué d'un tapis roulant mobile et emboîtable avec commande mécanique pour laisser libre l'accès au moule de la presse, un basculeur universel qui bascule les batteries de carreaux à 180° et de deux groupes de brosse pour le lissage des carreaux. Un jeu de racleurs de parachèvement est disponible en option. [18]

### 4) Séchage

Les carreaux sont chargés sur des balancelles à rouleaux, qui après avoir été soumises au premier stade de séchage, sont enveloppées dans un fort courant d'air chaud humide, mélangé à de l'air chaud sec. Dosant convenablement les deux airs, nous avons abouti à un bon séchage. Par des fentes placées à l'horizontale dans la tour du séchoir, l'air est équitablement distribué sur tout le plan de chargement de la balancelle. [18]

Le deuxième stade, auquel les carreaux seront soumis, consiste en un fort courant d'air sec autorisant une humidité en sortie du produit qui change de 0÷0,5 %. Le troisième et dernier stade est celui qui donne la température aux carreaux requise pour l'émaillage. Les températures sont contrôlées et affichées par des appareillages thermorégulateurs appropriés. Le fonctionnement complet de la machine est géré au moyen de l'automate programmable. [18]

# Chapitre I : Généralités sur les céramiques et sur les propriétés mécaniques

## 5) Emaillage

### a) Émaillage à sec

Plusieurs techniques d'émaillage sont appliquées en fonction du type de produit que l'on veut obtenir :

La particularité de cette technique est celle d'appliquer l'émail à n'importe quel endroit du carreau dans une quantité et des couleurs définies électroniquement selon un programme graphique sélectionné qui s'affiche sur un écran en dotation. Avec les systèmes de gestion électronique, on peut donc décorer les carreaux de façon CENTRÉE, c'est à dire tous égaux, en mode RANDOM à savoir avec des décors différents mais contrôlés sur des carreaux qui transitent rapidement sur la ligne. [18]

### b) Émaillage humide

Avec cette technique, le carreau passe sous des buses qui propulsent de l'émail liquide. Il peut y avoir plusieurs buses successives ou en parallèle pour enrober la céramique d'émail afin d'obtenir les différents effets souhaités. [18]

## 6) Cuisson

### FOUR A ROULEAU

Ces fours ont été conçus sur la base des exigences spécifiques du produit et de l'installation et sont dotés de toutes les solutions technologiques en mesure de garantir d'excellents niveaux de qualité productive et de fiabilité.

Les caractéristiques principales sont [18] :

- Possibilité de cuire des carreaux émaillés et non émaillés, monocuisson et bi-cuisson, grès cérame et applications en troisième cuisson, température de cuisson jusqu'à 1.300°
- Faibles consommations d'énergie,
- Installation de combustion dotée de brûleurs testés selon des paramètres particulièrement sévères et qui peuvent travailler aussi bien en atmosphère réductrice qu'oxydante en garantissant toujours un produit cuit uniformément,
- Les rouleaux sont actionnés avec des engrenages coniques à dents droites garantissant la plus grande fiabilité et des coûts d'entretien réduits,

## Chapitre I : Généralités sur les céramiques et sur les propriétés mécaniques

- Il ne nécessite aucun type de fondation,

### 7) Contrôle

Le contrôle de la nuance est la seule opération qui demande de la main d'œuvre bien qu'il existe des systèmes de contrôle par caméra. En effet, ce contrôle délicat est difficilement réalisable automatiquement car il demande une grande finesse. Il permet la détection des défauts du tesson, les contrôles de planéité ainsi que les contrôles d'aspect des carreaux [18]

### 8) mise en carton et en palette

A la fin de la chaîne se trouvent des robots pour la mise en palette. Ces robots sont reliés au système informatique qui transmet les informations pour chaque paquet d'environ 1 m<sup>2</sup> de carrelage. En fonction des choix (qualité des produits) et des nuances le robot mettra le paquet sur l'une ou l'autre des palettes qui se trouvent dans la zone de travail. La dernière opération, lorsque la palette est pleine, un gerbeur la prendra pour la houer et la mettre automatiquement en place dans le stock de la céramique. [18]

## I.9.4 Classifications

La gamme des produits dans laquelle on peut choisir les carreaux céramiques pour les murs et sols se différencie selon les modes d'utilisation, cependant on peut identifier 4 grandes classes de carreaux [18] :

### a) Carreaux vitrifiés ou très peu poreux non émaillés

Les carreaux vitrifiés non émaillés sont, dans leur grande majorité, les carreaux de grès cérame fin vitrifié ou carreaux dits porcelaines.

De caractère traditionnel ou rustique, les carreaux de grès cérame fin vitrifié ont pour principales propriétés :

- Une ingéivité totale ;
- Une résistance mécanique très élevée,
- Une porosité pratiquement nulle ou très faible, particulièrement adaptée au grand trafic.

## Chapitre I : Généralités sur les céramiques et sur les propriétés mécaniques

La vitrification développée au cours de la cuisson leur assure un parfait état de surface et une grande facilité d'entretien.

Parmi les carreaux vitrifiés et très peu poreux, on distingue également les carreaux de grès étiré. Le procédé de fabrication et l'humidité nécessaire au façonnage ne permettent pas d'avoir des tolérances dimensionnelles aussi rigoureuses que pour les produits pressés. [18]



**Figure 28:** Carreaux vitrifiés non émaillés (grès cérame) [18]

### b) Carreaux vitrifiés ou très peu poreux émaillés

Pour des raisons d'ordre esthétique ou décoratif, les carreaux de grès cérame fin vitrifié et les carreaux de grès étiré peuvent être émaillés.



**Figure 29:** Carreaux vitrifiés émaillés (grès étiré) [18]

## Chapitre I : Généralités sur les céramiques et sur les propriétés mécaniques

### c) Carreaux poreux non émaillés

Ce groupe est essentiellement constitué par les carreaux de terre cuite. Selon le degré de cuisson, ils présentent une dureté plus ou moins grande. Ils subissent généralement, après pose et périodiquement ensuite, un traitement de surface devant faciliter leur entretien et préserver leur bon aspect. [20]



**Figure 30:** Carreaux poreux non émaillé (de terre cuite) [18]

### d) Carreaux poreux émaillés

L'élément principal de ce groupe est formé par les carreaux de faïence fine d'une variété considérable, tant du point de vue de la forme que de celui des coloris. Ces carreaux sont surtout réservés aux revêtements muraux. Les carreaux de terre cuite émaillés font également partie de cette catégorie. Le tesson et l'émail sont généralement cuits à basse température, au voisinage de 980 °C, parfois moins pour l'émail qui, de plus, est moins dure que celui de la faïence fine. [18]

## Chapitre I : Généralités sur les céramiques et sur les propriétés mécaniques



**Figure 31:** carreaux de terre cuite émaillé [18]

### I.9.5 Domaines d'emploi

1. Pour un revêtement de sol posé en extérieur

Il faut pouvoir assurer [18] :

- Une ingéivité totale ;
- Une imperméabilité à l'eau et, dans certains cas, aux huiles et graisses ;
- Une excellente résistance mécanique et à l'usure.

Dans certains cas, pour les marches d'escalier notamment, il faut également pouvoir se déplacer en toute sécurité sans risque de glisser. Peuvent convenir les carreaux vitrifiés non émaillés et parfois émaillés [18] :

- Les carreaux de grès cérame fin vitrifié ;
- Les carreaux de grès étiré, sous réserve que leur porosité soit faible.

2. Pour un revêtement de sol posé en intérieur

À l'exception de l'ingéivité, les exigences demeurent identiques. Par conséquent, peuvent convenir tous les produits (attention : ne sont pas visés les revêtements des plans de travail des cuisines, les étals alimentaires et les paillasse de laboratoires). Cependant, dès à présent, il faut noter que l'emploi des carreaux de faïence au sol est limité à la salle de bains. [18]

Les classifications sont des guides qui doivent être utilisés avec bon sens et s'adapter aux cas d'espèces qui peuvent se présenter.

3. Pour un revêtement mural extérieur

La qualité primordiale requise est la parfaite ingéivité en tout pays où le gel a le moindre risque de survenir. Donc, tous les carreaux vitrifiés non émaillés et émaillés sont à conseiller. [18]

4. Pour un revêtement mural intérieur

## Chapitre I : Généralités sur les céramiques et sur les propriétés mécaniques

Le gel n'étant plus à redouter, les contraintes mécaniques étant peu importantes s'il n'y a pas de défaut de construction, tous les matériaux conviennent, qu'ils soient poreux ou non, émaillés ou non. [18]

### II.1 Matériaux et objectif

#### II.1.1 Le matériau utilisé

Dans ce chapitre le matériau utilisé est les carreaux de sol et de mur.

#### II.1.2 But de travail

L'objectif de notre travail c'est de déterminer les propriétés mécaniques de céramique pour cela on a appliqué trois essais : résilience, dureté et la résistance à la chaleur.

### II.2 Les essais appliqués

Pour l'étude de notre carrelage, on a appliqués plusieurs essais, et ce sont les suivant :

#### II.2.1 L'essai de résilience

##### II.2.1.1 But de l'essai :

Les essais de résilience permettent de caractériser la fragilisation d'un matériau. Ils consistent à rompre une éprouvette entaillée à la forme d'une barre à section transversale carré, pour but de mesurer la résistance d'un matériau à la rupture sous l'action d'un choc.

##### II.2.1.2 Le matériau utilisé

Durant cet essai on a étudié deux types de carreaux de céramiques:

- Carreaux de sol
- Carreaux de mur (Faience)

##### II.2.1.2.1 Les carreaux de sol :

Les éprouvettes sont de forme rectangulaire avec une longueur  $L$ , une largeur  $l$  et une épaisseur  $e$  :

$$e = 8\text{mm}$$

$$L = 55\text{ mm}$$

$$l = 10\text{ mm}$$

### La machine utilisée :

L'appareillage utilisé dans cet essai est une machine spéciale dite « mouton pendule de type MT3016 » disponible au niveau du hall technologie avec une énergie initiale de 15 joule



Figure 32: Mouton pendule de Charpy

### La procédure de l'essai :

On a découpé dix (10) éprouvettes avec des entailles de 2[mm]. Chaque éprouvette est placée sur deux appuis, elle doit être centrée. On lâche le pendule d'une hauteur bien déterminée de façon à frapper l'éprouvette. La hauteur de montée du pendule après le choc permet de déterminer l'énergie nécessaire pour rompre l'éprouvette et on va lire l'énergie de rupture. Répéter l'opération pour toutes les éprouvettes.

### Résultats obtenu :

On applique l'équation(II.12) :

$$K = \frac{W_0 - W_1}{S}$$

S= surface [ $cm^2$ ] ;

$W_0$  = l'énergie initiale [J] ;

$W_1$ = l'énergie obtenue [J] ;

K = la résilience [ $J/cm^2$ ] ;

### La résilience des éprouvettes en carreau de sol

Eprouvette	Surface ( $cm^2$ )	$W_0$ (J)	$W_1$ (J)	K ( $J/cm^2$ )
E1	0.6	15	1.5	<b>22.5</b>
E2	0.6	15	1.7	<b>22.16</b>
E3	0.6	15	1.4	<b>22.66</b>
E4	0.6	15	2	<b>21.66</b>
E5	0.6	15	1.7	<b>22.16</b>
E6	0.6	15	1.6	<b>22.33</b>
E7	0.6	15	1.5	<b>22.5</b>
E8	0.6	15	1.4	<b>22.66</b>
E9	0.6	15	1.5	<b>22.5</b>
E10	0.6	15	1.8	<b>22</b>

**Tableau 1:** La résilience des éprouvettes en carreau de sol

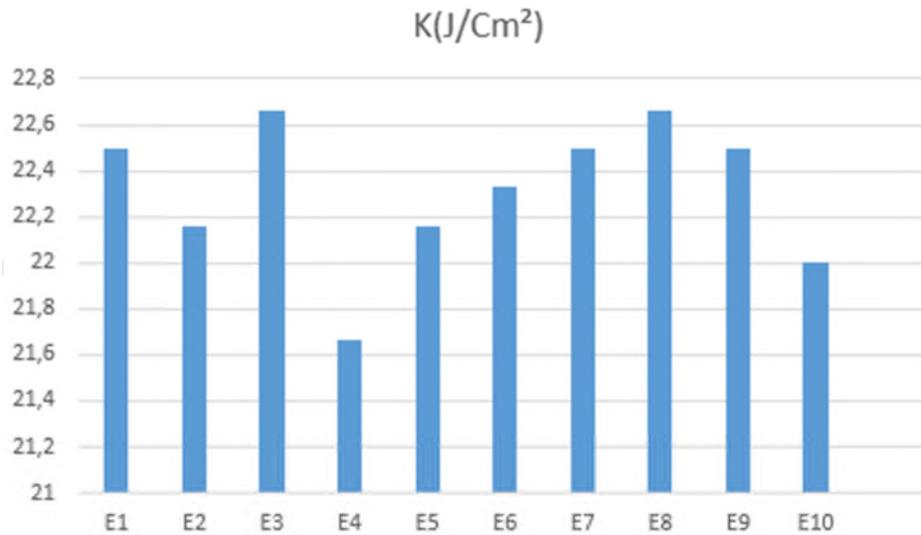


Figure 33: Résilience pour les éprouvettes en carreau de sol

Calcule la moyenne arithmétique de la résilience des carreaux de sol :

$$\bar{x} = \frac{1}{10} [22.5+22.16+22.66+21.66+22.16+22.33+22.5+22.66+22.5+22] = 22.313$$

Calcule de l'écart type :

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i^n (X_i - \bar{x})^2} = 0.301$$

La résilience des carreaux de sol est :

$$K = 22.313 \pm 0.301 \text{ J/cm}^2$$

### II.2.1.2.2 Les carreaux de mur (Faïence):

Dans cette étape on va suivre la même démarche que les carreaux de sol mais dans ce cas l'épaisseur des éprouvettes est différent

$$e = 10 \text{ mm}$$

$$L = 55 \text{ mm}$$

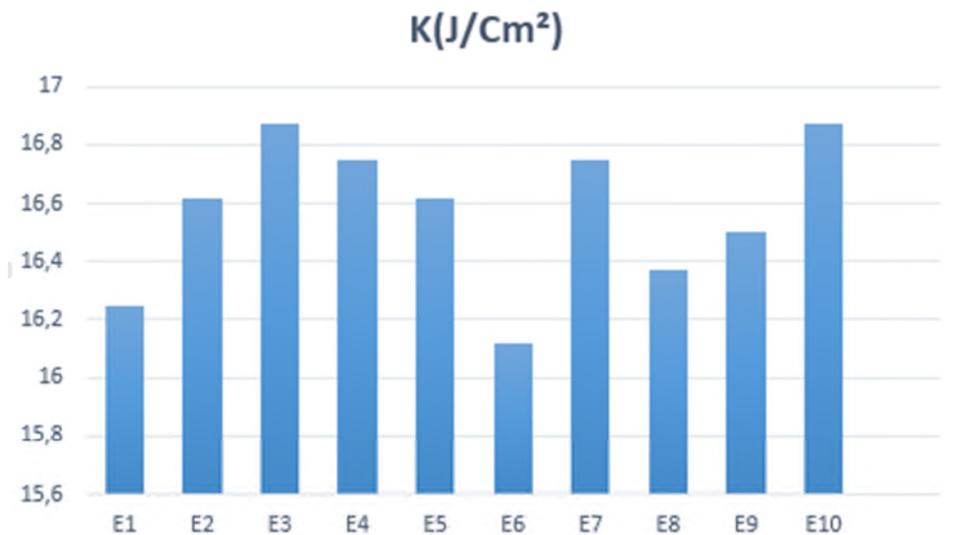
$$l = 10 \text{ mm}$$

### La résilience des éprouvettes en carreau de mur (Faïence)

Éprouvette	Surface	W <sub>0</sub> (J)	W <sub>1</sub> (J)	K (J/Cm <sup>2</sup> )
E1	0.8	15	2	16.25

E2	0.8	15	1.7	16.62
E3	0.8	15	1.5	16.87
E4	0.8	15	1.6	16.75
E5	0.8	15	1.7	16.62
E6	0.8	15	2.1	16.12
E7	0.8	15	1.6	16.75
E8	0.8	15	1.9	16.37
E9	0.8	15	1.8	16.50
E10	0.8	15	1.5	16.87

**Tableau 2:** La résilience des éprouvettes en carreau de mur (Faïence)



**Figure 34:** Résilience pour les éprouvettes en carreaux de murs (Faïence)

Calcule la moyenne arithmétique de la résilience des carreaux de murs (faïence) :

$$\bar{x} = \frac{1}{10} [16.25 + 16.62 + 16.87 + 16.75 + 16.62 + 16.12 + 16.75 + 16.37 + 16.50 + 16.87]$$

$$\bar{x} = 16.647 \text{ J/cm}^2$$

Calcul de l'écart type :

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i^n (X_i - \bar{x})^2} = 0.254$$

La résilience des carreaux de murs (faïence) est :

$$\mathbf{K} = 16.647 \pm 0.254 \text{ J/cm}^2$$

### Discussion

D'après les résultats obtenus, on remarque que la valeur de la résilience de ces céramiques est différente à cause de la différence d'épaisseur entre ces carreaux.

### II.2.2 Essai de dureté

Les tests de dureté sont réalisés au moyen d'un duromètre universel disponible au niveau de L'ENMTP de Bejaia

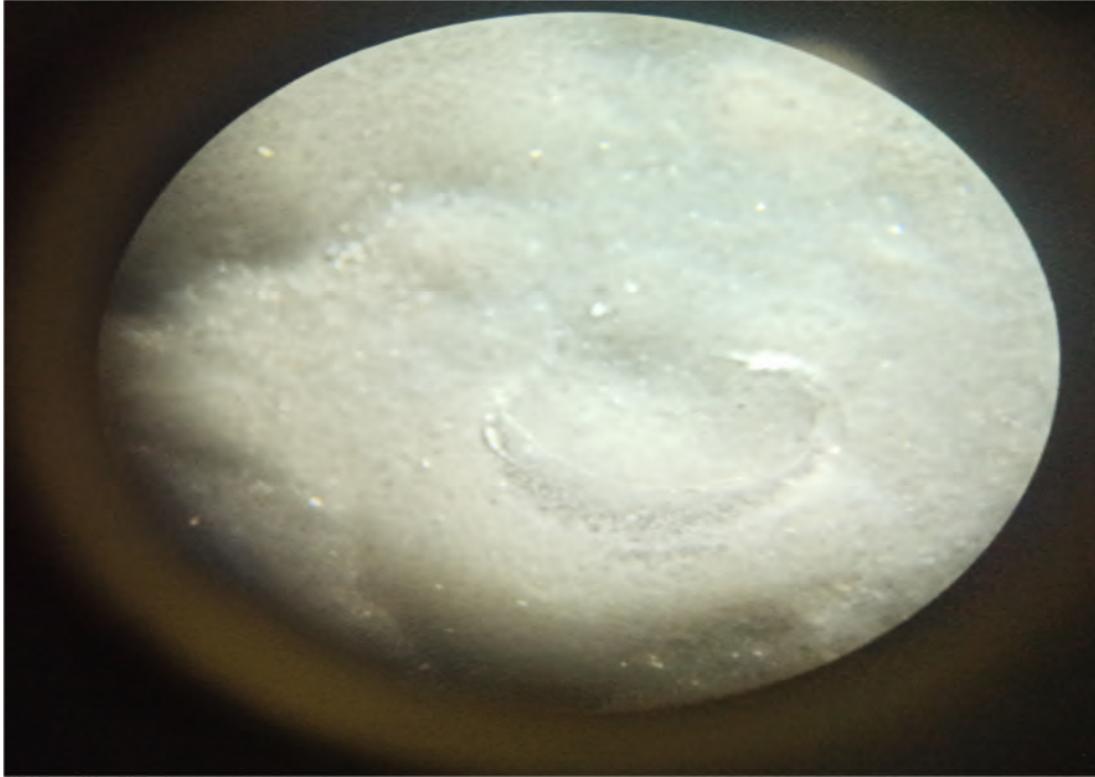
#### Procédure de l'essai :

On a réalisé les essais par un d'uromètre sur des surfaces lisses des éprouvettes en céramique, avec une charge de 153 N, et un pénétrateur bille en diamant (essai C) de diamètre 2.5 mm.apres 30 seconds d'application de la charge, on a lu le valeur de dureté de notre matériau. On a répété l'opération pendant dix essais. Ensuite, on a examiné une photographie de l'empreinte de la bille par un microscope optique.



**Figure 35:** Le duromètre du L'ENMTP

On a détecté l'empreinte avec un microscope optique disponible au niveau du hall technologie.

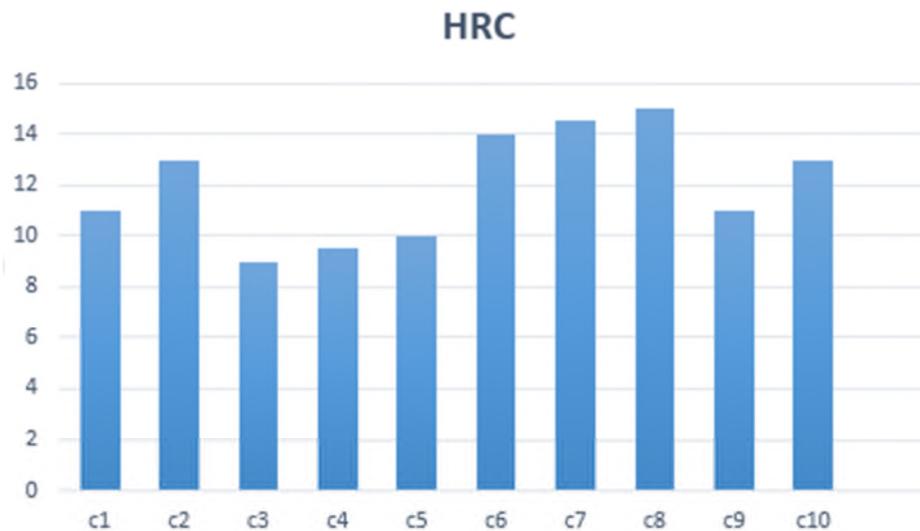


**Figure 36:** L’empreinte de pénétration

### Dureté Rockwell des éprouvettes de carreau en céramique.

Force (N)	L'éprouvette	Dureté Rockwell HRC
153	c1	11
153	c2	13
153	c3	9
153	c4	9.5
153	c5	10
153	c6	14
153	c7	14.5
153	c8	15
153	c9	11
153	c10	13

**Tableau 3:** Dureté Rockwell des éprouvettes de carreau en céramique.



**Figure 37:** Dureté Rockwell des éprouvettes de carreau de sol.

Calcul de moyenne arithmétique de dureté Rockwell (HRC) des carreaux en céramique :

$$\bar{x} = \frac{1}{10} [11+13+9+9.5+10+14+14.5+15+11+13] = 12$$

Calcul de l'écart type :

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i^n (X_i - \bar{x})^2} = 2.10$$

La dureté Rockwell (HRC) de carreau de sol est :

$$\text{HRC} = 12 \pm 2.10$$

### II.2.3 L'essai de la résistance à la chaleur :

#### Procédure de l'essai :

Dans cet essai on a appliqué des températures différentes pour observer les différents changements sur le morceau de céramique.

Le matériel utilisé :

## Chapitre II : Partie expérimentale

- Des morceaux de carreaux de sol
- Les fours à hautes température (1200 °C) qui sont disponible au niveau de hall technologie de l'université de Bejaia.



**Figure 38:** four de hall technologie

- Un microscope pour prendre les empreintes.

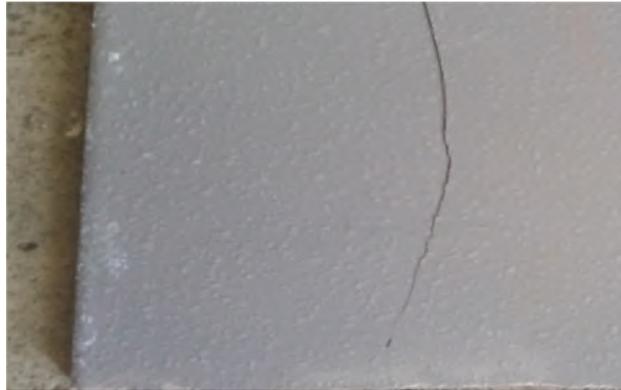


**Figure 39:** Microscope optique

## Chapitre II : Partie expérimentale

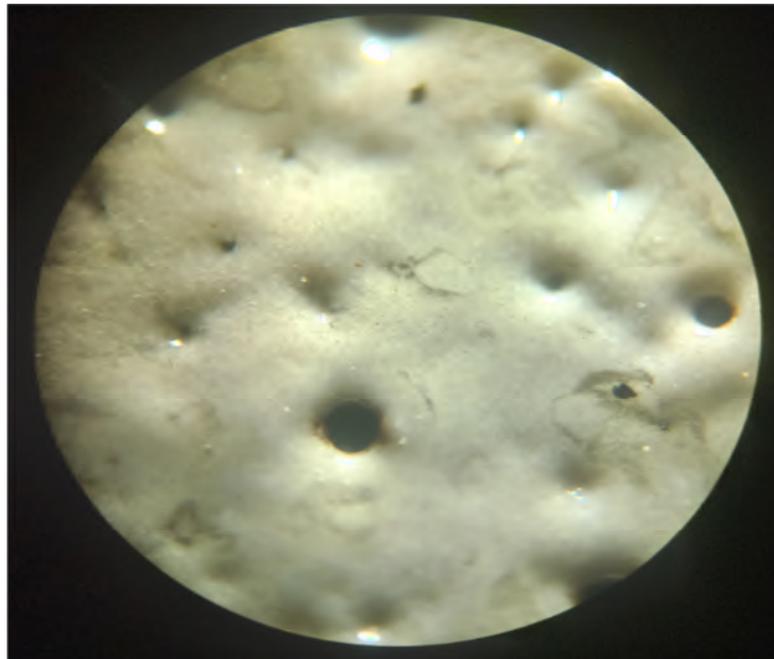
Les essais :

- À des températures basses de 200 jusqu'à 800 °C il y'a aucun changement sur la forme structurel de notre échantillon.
- À la température entre 900 et 1000 °C on a remarqué une apparition des petites fissures sur le carreau de sol



**Figure 40:** Une fissure apparue avant la déformation

- À la température 1147 °C on a remarqué que le carreau de carrelage a été fendu et qu'il y'avait des grandes déformations.



**Figure 41:** L'empreinte prise par le microscope après la déformation



**Figure 42:** la vue interne de l’empreinte déformée

En fin on peut dire que les carreaux de sol résistent bien à la température la plus grande et on le considère comme un très bon isolant thermique.

### Conclusion

Les carreaux de céramique sont devenus des éléments de construction très courants, dont les propriétés particulières sont toujours très appréciées. Aujourd'hui, ils sont produits en énormes quantités. Ils satisfont aux exigences les plus diverses, qu'elles soient techniques, hygiéniques ou autres. Les ouvrages carrelés ont une longévité exceptionnelle. De nombreux sols ou murs carrelés ayant résisté à l'usure du temps et toujours visibles actuellement en témoignent. Cette longévité est aussi favorisée par la simplicité qu'il y a à rénover ou réparer un ouvrage carrelé. En effet, le remplacement de carreaux dans une surface ne se voit pratiquement pas. Ainsi, la diversité de leurs types élargit leurs domaines d'emploi, incluant des murs et des sols à différentes utilisations.

Dans notre étude, on a déterminé la résilience, la dureté de carrelage (carreaux en céramique) et la résistance de cette céramique à la chaleur.

D'après ces études et ces essais qu'on a effectués, elles ont prouvé que le carrelage (carreaux en céramique) de l'usine SCS SOUMMAM Bejaia résiste bien à des hautes températures et il répond aussi à la norme internationale UPEC et aussi à celle de glissement.

### Résumé

Il existe plusieurs types de céramiques (céramique technique céramique traditionnelles) et elles sont utilisées dans plusieurs domaines tels que l'industrie la médecine .... etc, dans cette étude nous avons utilisé sorte de céramique traditionnelle.

L'objectif de ce travail est de déterminé la résilience, la dureté de carrelage (carreaux en céramique) de l'usinage SCS SOUMMAM Bejaia et la résistance de cette céramique à la chaleur.

### Abstract

There are several types of ceramics (traditional ceramic technical ceramics) and they are used in several fields such as the medicine industry.... etc, in this study we used a kind of traditional ceramics.

The objective of this work is to determine the resilience, the hardness of the tiles (ceramic tiles) of the SCS SOUMMAM Bejaia machining and the resistance of this ceramic to heat.

### Références & Bibliographie

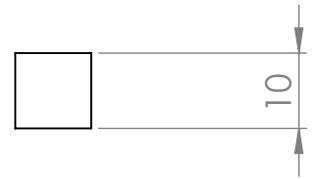
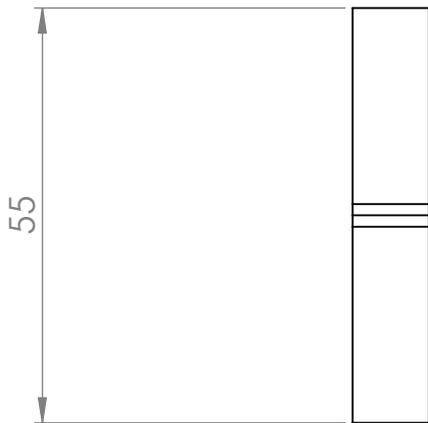
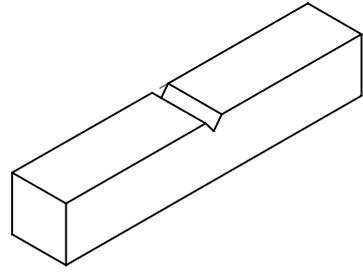
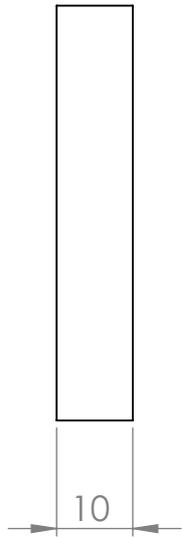
- [1] James-Mean-Marie Haussonne ; Claud Carry ; Paul Bowen ; James Barton. « Céramique et verres » : université romandes, Lausanne.
- [2] COMMISSION EUROPÉENNE, « Fabrication des céramiques », Août 2007
- [3] Mr. SAFI Brahim, « Procédés et mise en forme des matériaux ; Les produits céramiques », université Boumerdes
- [4] technologie céramique, matériaux, modelage, façonnage, émaux et émaillage, cuisson, décoration et contrôle, le ministère de l'éducation nationale et la CICF, 2015.
- [5] E. B. E. I. Hicham, Caractérisation des argiles utilisées dans le secteur de la terre cuite de la région de Marrakech en vue d'améliorer la qualité des produits, Thèse de doctorat : Géologie appliquée, géoressource. Faculté des Science Semlalia, 2017.
- [6] Oualha B. & Safer L. Mémoire, « ETUDE DE L'INFLUENCE DE LA GRANULOMETRIE SUR LES PROPRIETES MECANIQUES DES CERAMIQUES PAR PHOTOGRAPHIE DE SPECKLE », université Mohamed Boudiaf M'sila, 2021.
- [7] ; Gilbert Fantozzi, Jean-Claude Niépce, Guillaume Bonnefont, Les Céramiques industrielles propriétés, mise en forme et applications
- [8] L.GREMILLARD, « comportement des matériaux biomédicales » ENSAM, Paris ; 30 janvier 2003.
- [9] GONNET, « résistance des matériaux » ; université de bourgogne, 2003.
- [10] B. JACQUOT, « Propriétés mécaniques des Biomatériaux utilisés en Odontologie » Société Francophone de Biomatériaux Dentaires, 2009-2010.
- [11] C. Dénéreaz, « Essai de flexion par choc sur un barreau entaillé (résilience) » ; février 2015
- [12] HANI Walid MAROUF Djilali, «Etude des propriétés mécanique de céramique - Carrelage» UNIVERSITE Abderrahmane MIRA BEJAIA, 2018.
- [13] MarcBlétry, « Méthodes de caractérisation mécanique des matériaux » ; 2006-2007
- [14] Taâmallah O. « Effet des traitements mécaniques de surface (TMS) sur l'érouissage et la ténacité d'un acier » ; Université BADJI Mokhtar Annaba ; 2012.
- [15] Beauquis S. Joulaud C. Lomello M. Poulet G. ; « propriétés mécaniques des matériaux »
- [16] BECH-CHAR H. Mémoire, «PROCÉDÉ DE FABRICATION DES CARREAUX CÉRAMIQUES ET ÉTUDE DES FACTEURS INFLUENÇANT LA RÉSISTANCE À LA FLEXION DES CARREAUX CRÛS» ; 2021.

## Références & Bibliographie

[17] R. LAMLOUMI, Comportement des matériaux minéraux de grande diffusion lors du séchage : étude expérimentale et modélisation, Thèse de doctorat: PROCEDES CERAMIQUES ET TRAITEMENTS DE SURFACE. L'UNIVERSITE DE LIMOGES, 2015.

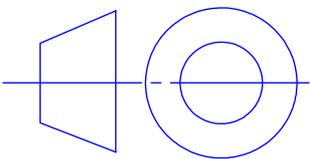
[18] Z. Mohammed, Fabrication des carreaux, Rapport d'étude : sous le cadre du cours des procédés céramiques pour la 4ème année GPMC. UNIVERSITE CADI AYYAD, 2013.





UNIVERSITE Abderrahmane MIRA BEJAIA

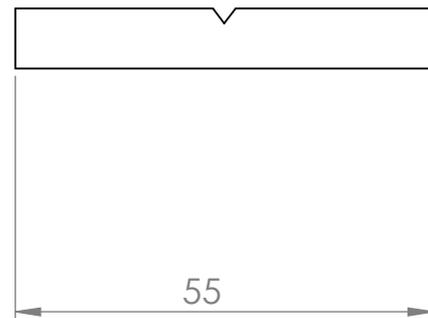
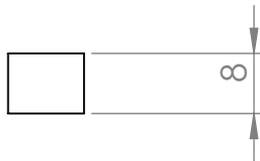
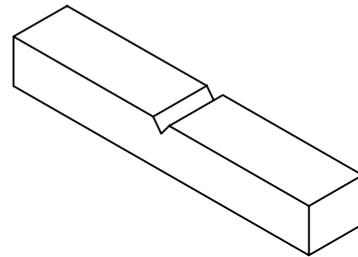
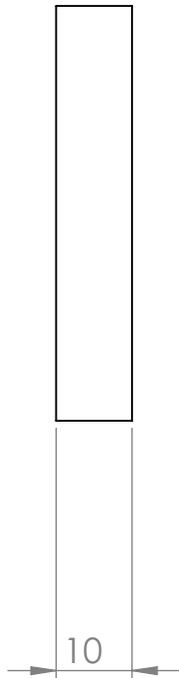
Nabil & Ilimass



Les vues de l'éprouvette  
de la faïence

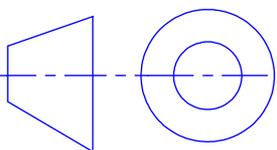
Fait le 21/09/2022

Echelle 1 : 1



UNIVERSITE Abderrahmane MIRA BEJAIA

Ilimass & Nabil



Les vues de l'éprouvette de  
carrelage

Le 21/09/2022

Echelle 1: 1