

**01 République Algérienne Démocratique et Populaire**

**Ministère de l'Enseignement Supérieur**

**Et de la recherche scientifique**

**UNIVERSITE Abderrahmane MIRA BEJAIA**

**Faculté de Technologie**

**Département de Génie Mécaniques**

**MEMOIRE**

Présenté pour l'obtention du diplôme de

**MASTER**

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Fabrication mécanique

**Par :**

HANI Walid

MAROUF Djilali

**Thème**

---

**Etude des propriétés mécanique de céramique -Carrelage**

---

Soutenu le 01/07/2018 devant le jury composé de :

M<sup>r</sup>. M<sup>ed</sup>. A. SAHALI

Président

M<sup>me</sup>. Adjouadi. N

Rapporteur

M<sup>r</sup>. R. younes

Examineur

**Année Universitaire 2017-2018**



# REMERCIEMENTS

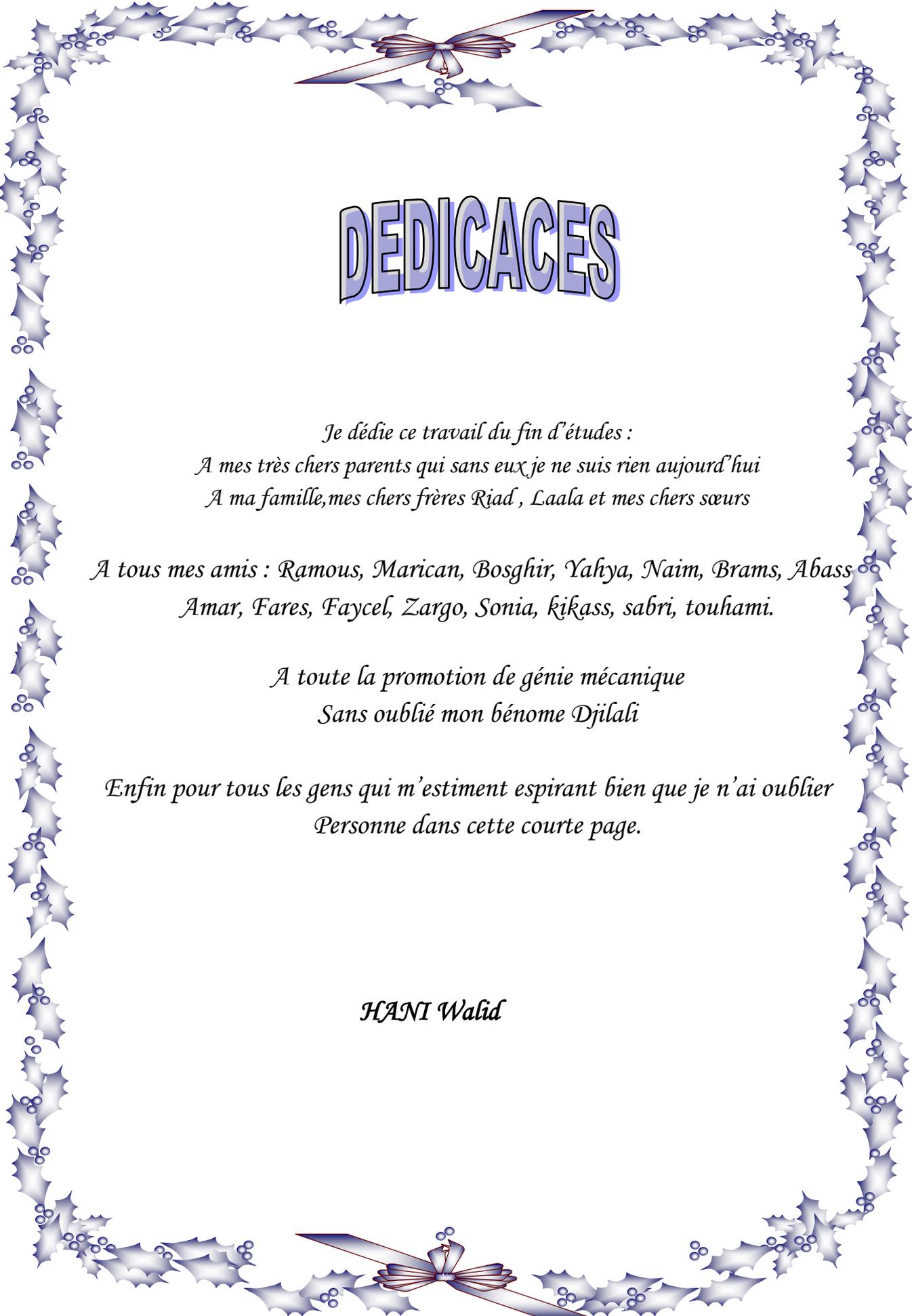
*Je tiens à remercier particulièrement mon encadreur « Melle: ADJOUADI .N » pour avoir eu, le long de ce parcours, la patience d'assurer mon encadrement et de m'avoir dans l'élaboration de ce mémoire. Je tiens également à remercier « Mr: YOUNES .R » pour m'avoir donné l'occasion de réaliser les essais de résilience et de dureté au sein du hall technologie de l'université targa ouzamour (bejaia). ainsi que « Mr: AMGHAR » pour m'avoir donné l'occasion de réaliser les analyses de DRX.*

*Mes remerciements vont aussi au Président du jury, pour avoir accepté de présider le jury de soutenance de mon travail et aux membres du Jury, Pour avoir accepté d'examiner ce travail et diriger la soutenance.*

*Merci à tous*

*HANI Walid*

*MAROUF Djilali*



# DEDICACES

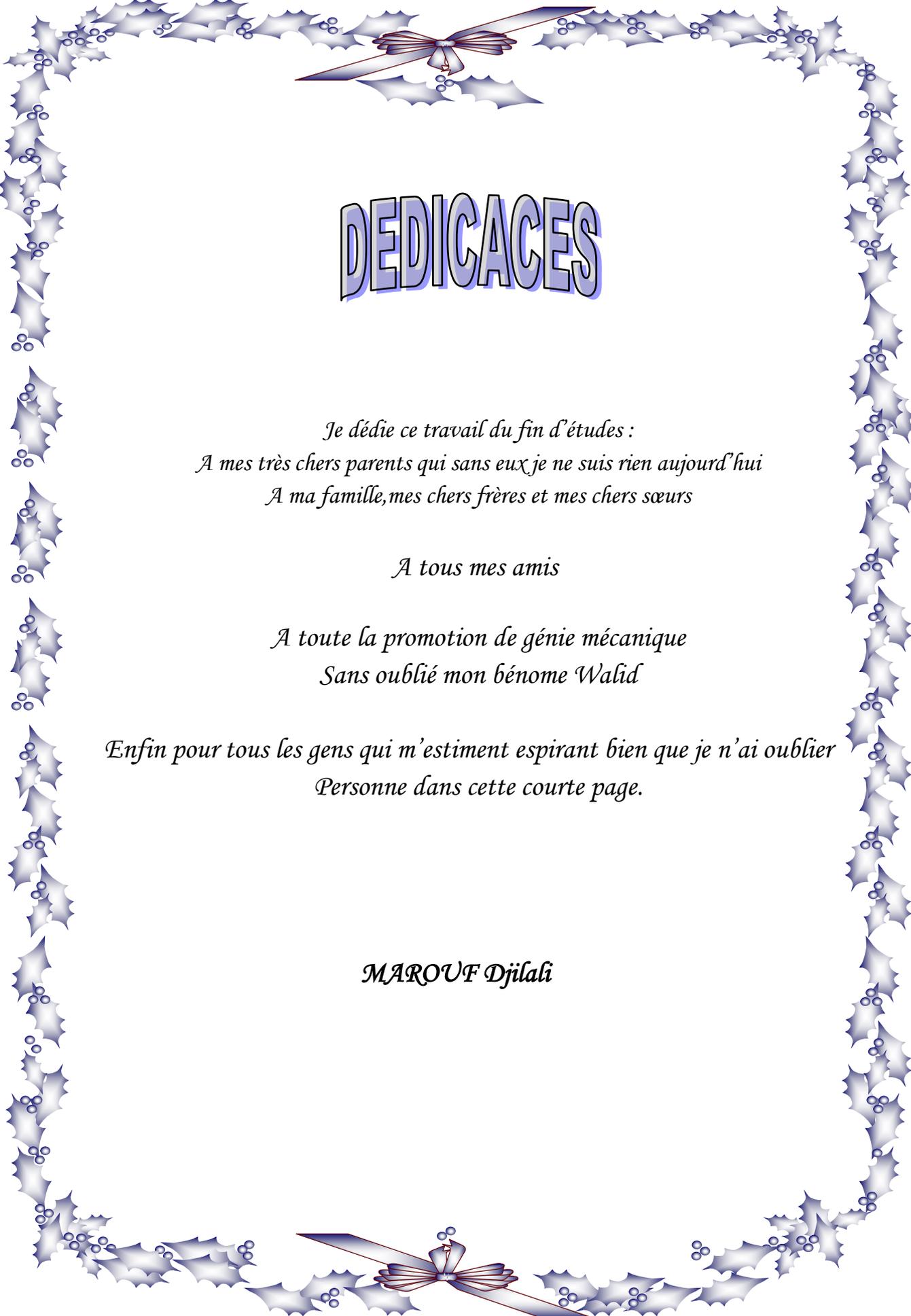
*Je dédie ce travail du fin d'études :  
A mes très chers parents qui sans eux je ne suis rien aujourd'hui  
A ma famille, mes chers frères Riad , Laala et mes chers sœurs*

*A tous mes amis : Ramous, Marican, Bosghir, Yahya, Naim, Brams, Abass  
Amar, Fares, Faycel, Zargo, Sonia, kıkass, sabri, touhami.*

*A toute la promotion de génie mécanique  
Sans oublié mon bénome Djilali*

*Enfin pour tous les gens qui m'estiment espérant bien que je n'ai oublier  
Personne dans cette courte page.*

*HANI Walid*



# DEDICACES

*Je dédie ce travail du fin d'études :  
A mes très chers parents qui sans eux je ne suis rien aujourd'hui  
A ma famille, mes chers frères et mes chers sœurs*

*A tous mes amis*

*A toute la promotion de génie mécanique  
Sans oublié mon bénome Walid*

*Enfin pour tous les gens qui m'estiment espérant bien que je n'ai oublier  
Personne dans cette courte page.*

**MAROUF Djilali**

# *Sommaire*

# Sommaire

<b>Introduction générale</b> .....	1
Chapitre I : Généralités sur les céramique	
I.1. Introduction .....	2
I. 2. Origines historiques .....	2
I. 3. Caractéristiques des céramiques .....	3
I.4. Classification des céramiques .....	3
I.4.1.Les céramiques traditionnelles (silico-alumineux) .....	3
I.4.2.Les céramiques techniques.....	5
I. 5. Les matières premières des céramiques.....	6
I.5.1. Matières premières plastiques .....	6
I. 5.3.Matières premières des vernis et couleurs.....	7
I. 6. Secteurs de la céramique.....	7
I.7. Procédés de Fabrication des pièces céramiques .....	8
I.7.1. Pressage.....	9
I.7.2.Extrusion .....	9
I.7.3. Coulage en barbotine.....	10
I. 8. Etapes de fabrication et mise en forme .....	11
I.9.le Frittage .....	14
I.10.les carreaux de sol et de mur(Carrelage).....	15
I.10.1. Definition .....	15
I.10.2. Le procédé de fabrication de carrelage.....	16
I.10.3. La composition des carreaux en céramique .....	16
I.10.4. L'émaillage.....	17
I.10.5. principe de fabrication des carreaux en céramique .....	17
I.10.6. Les type des matériaux .....	18
I.10.7. Pose de carreaux .....	22
I.10.8. Normes de carrelage.....	24

I.10.8.1. La norme UPEC.....	24
I.10.8.2. La norme de résistance au glissement .....	25
I.10.8.3. La norme de classement des choix .....	25
<b>Chapitre II : généralités sur les propriétés mécaniques</b>	
II.1.Introduction.....	26
II.2. Les grandes catégories de propriétés .....	26
II.3. Les propriétés mécaniques.....	26
II.4. Contraintes et déformations.....	27
II.4.1. La contrainte .....	28
II.4.2. La déformation.....	28
I.5. Caractérisation des propriétés mécaniques .....	29
II.6. Les essais mécaniques .....	29
II.6.1.Essai de traction .....	29
II.6.1.1. Les éprouvettes.....	31
II.6.1.2. Description générale d'une machine de traction.....	31
II.6.1.3. Diagramme contrainte-déformation en traction des différents matériaux.....	32
II.6.1.4. Les propriétés de traction .....	34
II.6.2. L'essai de dureté .....	37
II.6.2.1. Essai BRINELL.....	37
II.6.2.2. L'essai VICKERS .....	38
II.6.2.3. L'essai ROCKWELL .....	39
II.6.3. L'essai de résilience .....	40
II.6.3.1. Les éprouvettes.....	41
II.6.3.2. Principe de l'essai.....	42
II.6.5. L'essai de flexion.....	43
II.7. Les propriétés mécaniques des céramiques.....	43
II.8. Facteurs influençant la résistance mécanique des céramiques.....	43
 <b>Chapitre III : Partie expérimentale</b>	
III.1.Introduction .....	45
III.2. Les essais appliqués .....	45

III .2.1. L'essai de résilience.....	45
III.2.1.1. But de l'essai.....	45
III.2.1.2. Le matériau utilisé.....	45
III.2.1.2.1. les carreaux en céramique.....	45
III.2.1.2.2. les careaux en ciment.....	49
III.2.2. Essai de dureté.....	53
III.3. Détermination des matières premières des carreaux.....	55
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>59</b>
<b>Références Bibliographiques</b>	

## Liste des figures

<b>Figure I.1:</b> Exemple de céramiques traditionnelles : (a)-Les porcelaines, (b)-Les poteries, .... 4 (c)-Les faïences, (d)-Le grés. .... 4	4
<b>Figure I.2 :</b> Quelques exemples de céramiques technique..... 5	5
<b>Figure I.3 :</b> Kaolin..... 6	6
<b>Figure I.4 :</b> Feldspath et quartz ..... 7	7
<b>Figure I.5 :</b> Schéma du pressage axial et pressage isostatique..... 9	9
<b>Figure I.6 :</b> Schéma de principe de l'extrusion ..... 10	10
<b>Figure I.7 :</b> Les étapes de fabrication de céramique ..... 12	12
<b>Figure I.8 :</b> Première étape de fabrication de céramique ..... 13	13
<b>Figure I.9 :</b> Deuxième étape de fabrication de céramique ..... 13	13
<b>Figure I.10 :</b> Troisième étape de fabrication de céramique ..... 14	14
Figure I.11 : Le frittage des particules de céramiques..... 15	15
<b>Figure I.12 :</b> Les revêtements en pierres naturelles ..... 18	18
<b>Figure I.13 :</b> Les carreaux de terre cuite ..... 19	19
<b>Figure I.14 :</b> Les produits verriers..... 19	19
<b>Figure I.15 :</b> Les carreaux de ciment ..... 20	20
<b>Figure I.16 :</b> Les grès cérames pleine masse..... 20	20
<b>Figure I.17 :</b> Les grès cérames émaillés ..... 21	21
<b>Figure I.18</b> Les grès étirés ..... 21	21
<b>Figure I.19 :</b> Les grès pressés émaillés ..... 22	22
<b>Figure I.20 :</b> Les carreaux de faïence ..... 22	22
<b>Figure I.21:</b> Les types de pose de carrelage. .... 23	23
<b>Figure II.1 :</b> Traction simple : a) force et allongement. b) Déformations dans les trois directions ..... 30	30
<b>Figure II.2 :</b> Eprouvette de traction : a) cylindrique, b) prismatique ..... 31	31
<b>Figure II.3 :</b> Machine d'essai de traction ..... 32	32
<b>Figure II.4 :</b> Courbe contrainte-déformation. Comportement fragile ..... 33	33
<b>Figure II.5 :</b> Courbe contrainte-déformation. Comportement ductile..... 33	33
<b>Figure II.6 :</b> Courbe contrainte-déformation. Comportement élastique non linéaire ..... 34	34

<b>Figure II.7</b> : Courbe contrainte-déformation. Deux matériaux avec des rigidités et des ductilités différentes .....	36
<b>Figure II.8</b> : Courbe contrainte-déformation. Ténacité = surface sous la courbe .....	36
<b>Figure II.9</b> : Duromètre universel .....	37
<b>Figure II.10</b> : Essai de brinell .....	38
<b>Figure II.11</b> : Principe de l'essai de dureté VICKERS.....	39
<b>Figure II.12</b> : Principe de l'essai de dureté ROCKWELL b et ROCKWELL c.....	40
<b>Figure II.13</b> : Une machine de Charpy .....	41
<b>Figure II.14</b> : Eprouvettes Charpy standardisées .....	41
<b>Figure II.16</b> : Essai de flexion « trois points » d'une poutre .....	43
<b>Figure III.1</b> : L'éprouvette en céramique. ....	46
<b>Figure III.2</b> : Mouton pendule de Charpy.....	46
<b>Figure III.3</b> : Résilience pour les éprouvettes en céramique trempé dans l'eau.....	47
<b>Figure III.4</b> : Résilience pour les éprouvettes en céramique à sec .....	48
<b>Figure III.5</b> : Mouton pendule Charpy de 25joule.....	49
<b>Figure III.6</b> : L'éprouvette en ciment. ....	50
<b>Figure III.7</b> : Résilience pour les éprouvettes en Ciment trempées dans l'eau .....	51
<b>Figure III.8</b> : Résilience pour les éprouvettes en Ciment à sec .....	52
<b>Figure III.9</b> : Duromètre universel.....	53
<b>Figure III.10</b> : Microscope optique.....	53
<b>Figure. III.12</b> : Dureté Rockwell des éprouvettes de carreau en céramique.....	54
<b>Figure III.11</b> : L'empreinte de pénétration .....	55
<b>Figure II.13</b> : Appareil de mesure Philips PW 1710.....	55
<b>Figure III.14</b> : 1. Spectre de diffraction X obtenu pour l'éprouvette en ciment.....	56
<b>Figure III.15</b> : Spectre de diffraction X obtenu pour l'éprouvette en céramique .....	56
<b>Figure III.16</b> : Identification de la poudre de céramique par Highscore muni de la base de données PDF 2 .....	57
<b>Figure III.17</b> : Identification de la poudre de carrelage en ciment par Highscore muni de la base de données PDF 2.....	57

### Liste des tableaux

<b>Tableau I.2</b> :Les modes de façonnages d'après Schaller, & al. (1981) .....	11
<b>Tableau III.1</b> : La résilience des éprouvettes en céramique trempées dans l'eau .....	47
<b>Tableau III.2</b> : Résilience pour les éprouvettes en céramique à sec.....	48
<b>Tableau III.3</b> : Résilience pour les éprouvettes en Ciment trempées dans l'eau.....	50
<b>Tableau III.4</b> : Résilience pour les éprouvettes en Ciment à sec.....	51
<b>Tableau III.5</b> : Dureté Rockwell des éprouvettes de carreau en céramique. ....	54

*Introduction*  
*générale*

## Introduction générale

Le terme «céramique» désigne, en règle générale, les matériaux inorganiques et non métalliques, de matière première plastique et non plastique à base d'argile, transformés de façon permanente par cuisson, pour donner généralement un mélange de nouveaux minéraux et de phases vitreuses, destinées à la fabrication de produits céramiques par cuisson, notamment de tuiles, de briques, de pierres réfractaires, de grès ou de porcelaines, et de carrelages.[ 1]

Les propriétés caractéristiques des céramiques sont leur grande résistance mécanique, leur résistance à l'usure et leur longévité. Chimiquement inertes, elles sont non toxiques, résistent à la chaleur et au feu. Ils ont généralement des propriétés isolantes et parfois une porosité spécifique.

Le but de notre travail de recherche est de déterminer les propriétés mécaniques de carrelage (les carreaux de sol), par des essais mécaniques.

Ce manuscrit se divise en trois (03) 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.

**Le chapitre II** décrit les caractéristiques et les propriétés mécaniques des matériaux concernant la déformation d'un matériau soumis à une force, qui est déterminé par des essais mécaniques (traction, dureté, résilience).

**Le chapitre III** est consacré à la présentation des résultats expérimentaux et discussions de la résistance des carrelages (carreaux en céramique et carreaux en ciment) par des essais mécaniques et on a déterminé les matières premières de nos éprouvettes avec DRX.

*Chapitre I :*  
*Généralité sur*  
*les céramiques*

## I.1. Introduction

Le mot céramique vient du grec *keramikos* est signifie argile ou terre à potier. L'académie des sciences des Etats-Unis a pour sa part, donné une définition des céramiques qui nous semble a 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. Deux grandes catégories de céramiques peuvent tout de même être distinguées :

- 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. Origines historiques :

Il est plus que probable que les premières céramiques sont apparues dès que l'homme a su maîtriser le feu.les archéologue estiment à 30000 ans l'âge des premières terres cuites que l'on a retrouvées un peut partout dans le monde. Le plus vieux site archéologue est connu est situé en Tchéquie et été daté 27000 ans avant Jésus-Christ. Des poteries peintes datant de 5000 ans avant Jésus-Christ, Ont été découvertes en Asie mineure, consistant en des tessons de terres cuites poreuses peu colorées, décorée après cuisson par un pigment brun-rouge. On a ainsi trouvé des poteries, des tuiles et des briques recouvertes d'un émail bleu réalisées vers 2000 ans avant Jésus-Christ en Asie mineure, en Mésopotamie et en Egypte. [1]

### I. 3. 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 ;
- leur résistance au feu ;
- leur résistance électrique (en général) et parfois même, une porosité spécifique.

### I.4. Classification des céramiques

#### I.4.1. Les céramiques traditionnelles (silico-alumineux) :

Elles sont issues de matières premières naturelles (argile, feldspath, kaolin, quartz) et généralement mises en œuvre par coulée (barbotine). Les céramiques "traditionnelles" sont présentes dans de nombreux secteurs d'activités tels que les matériaux de construction (briques, tuiles, ...), les sanitaires, le culinaire, le revêtement (carrelages, faïences), les réfractaires (fours,...). Leur fabrication s'effectue à partir de matières premières minérales silicatées naturelles [7].



(a)



(b)



(c)



(d)

**Figure I.1:** Exemple de céramiques traditionnelles : (a)-Les porcelaines, (b)-Les poteries, (c)-Les faiences, (d)-Le grés. [7]

Les céramiques sont classées en fonction de la température de frittage (encore improprement appelée température de « fusion » ou de “cuisson”) [7] :

- \* **Haute fusion** : 1289 à 1390°C (dents artificielles des prothèses amovibles)
- \* **Moyenne fusion** : 1090 à 1260°C
- \* **Basse fusion** : 870 à 1065°C
- \* **Très basse fusion** 660 à 780°C

#### I.4.2. 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].



**Figure I.2** : Quelques exemples de céramiques technique [7]

## I. 5. Les matières premières des céramiques

Les matières premières sont classées en trois catégories [1] :

### I.5.1. Matières premières plastiques :

Sont des matières de base :

- Les argiles : on distingue par exemple les argiles sableuse, argiles siliceuses et les argiles et argiles calcaires.
- **La kaolinite (Argile kaolin)** : La kaolinite de couleur blanche neigeée grasse au toucher, savonneuse, plastique. [7] le kaolin est composé de cristaux qui ont une forme feuilletée, ce type de structure cristalline est à l'origine des propriétés (comme la viscosité) du kaolin. Le kaolin fond à des températures élevées; par conséquent, on l'utilise comme isolant thermique. En raison de sa plasticité, de sa couleur pâle et de sa résistance, le kaolin est utilisé dans la fabrication de porcelaine.
- **Montmorillonite (Argile bentonite)** : Par rapport aux autres argiles, la bentonite a la propriété de gonfler au contact de l'eau en donnant un gel plus ou moins épais [7].



**Figure I.3** : Kaolin [18]

**I.5.2. Matières premières non plastique** : elles sont également appelées matières dégraissante, car leur adjonction aux argiles diminue la plasticité de celles-ci, les rendant moins onctueuses au toucher, les principales sont :

- Les feldspaths : sont des roches dures composées essentiellement de silice, d'alumine et d'alcalins.
- Le quartz : sous forme de sable.
- Le talc [7] : Il donne avec les argiles des cristallisations qui confèrent au tesson une bonne résistance au choc thermique et une dilatation peu élevée. est un silicate de magnésium hydrate.
- Les chamottes : on appelle chamotte dans contexte des céramiques traditionnelles une composition argileuse calcinée.



Figure I.4 : Feldspath et quartz [19,20]

### I. 5.3. Matières premières des vernis et couleurs :

- Les matières premières principales des vernis sont la silice sous forme de sable très purs, la craie et la chaux.
- Les couleurs céramiques peuvent être réalisées par la mise en œuvre de sorte de vernis colorés par de composantes métallique, ou des pigments colorés recouverts d'un vernis transparent.

### I. 6. Secteurs de la céramique :

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

- **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.

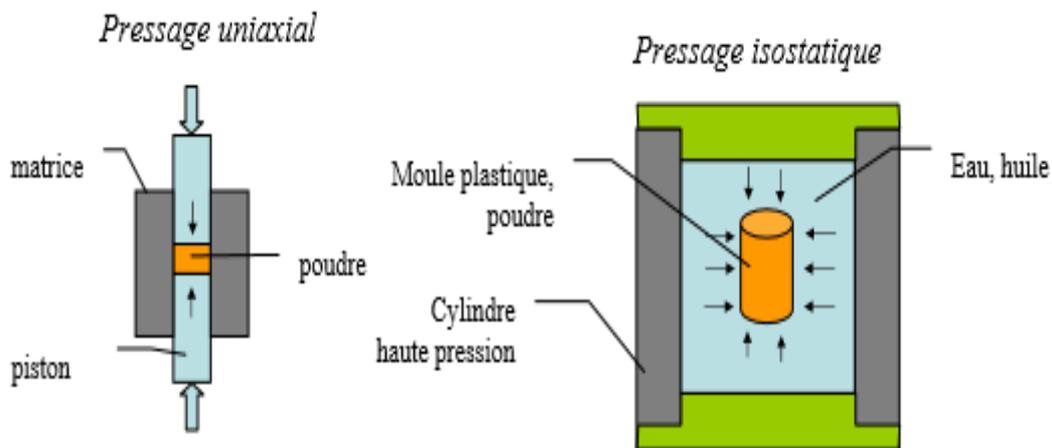
### I.7. Procédés de Fabrication des pièces céramiques

Les produits céramiques traditionnels ont toujours été façonnés à partir de matières premières à l'état plastique et cette opération, pendant des millénaires, a été manuelle. La méthode utilisée pour façonner les produits peut influencer de manière considérable sur les propriétés définitives de ceux-ci, et la gamme des techniques de façonnage s'est considérablement développée entre les différents secteurs de l'industrie céramique. [3]

### I.7.1. Pressage

Le pressage mécanique s'emploie encore dans la briqueterie (par ex. pressage par voie semi-sèche) et la fabrication des produits réfractaires. On charge les moules avec un volume prédéfini de granulés d'argile et l'on applique une pression généralement par le haut et par le bas, les pistons étant entraînés par l'action des cames et aidés par de lourds volant.

Les presses hydrauliques actuelles disposent d'une force de compactage élevée, d'une forte productivité, de cohérence et sont faciles à régler 2014/2015 [7].



**Figure I.5** : Schéma du pressage axial et pressage isostatique. [8]

### I.7.2. Extrusion

L'extrusion s'utilise couramment pour la fabrication des briques et blocs d'argile, des tuyaux en grès et des carreaux céramiques pour sols et murs. Ce procédé sert également à fabriquer des « dalles » semi-finies qui seront ensuite pressées pour former des tuiles, des réfractaires etc. L'extrusion exige une matière première plastique, donc une teneur en argile généralement importante [7].

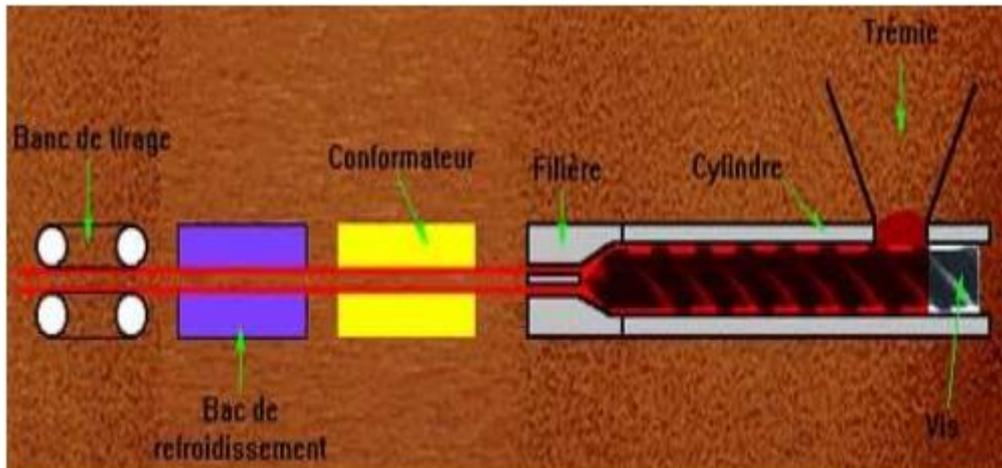


Figure I.6 : Schéma de principe de l'extrusion [7]

### I.7.3. Coulage en barbotine

Ce procédé est très largement utilisé dans la fabrication des appareils sanitaires, de la vaisselle et des objets décoratifs ainsi que pour la fabrication des céramiques techniques et des produits réfractaires spéciaux et complexes. On mélange la matière minérale finement broyée avec de l'eau pour produire une barbotine d'argile (suspension aqueuse stable) que l'on verse dans un moule poreux traditionnellement en plâtre à gypse durci. La capillarité du moule extrait le liquide de la suspension pour former une coulée extrêmement solide sur la surface interne du moule. Les appareils sanitaires sont de relativement grande taille et sont formés par un coulage classique en barbotine ou (plus directement) dans des machines de coulage sous pression [7].

**Tableau I.2** : Les modes de façonnages d'après Schaller, & al. (1981) [7]

<p style="text-align: center;"><b><i>Coulage :</i></b></p> <p>La matière première est dosée, pulvérisée, puis mélangée avec de l'eau et afin d'obtenir de la barbotine. Qui sera versé dans des moules en plâtre.</p>	<p style="text-align: center;"><b><i>Façonnage en pâte plastique :</i></b></p> <p>La matière première est préparée sous arrosage avec un taux d'humidité de 15 à 20%.</p>	<p style="text-align: center;"><b><i>Pressage en poudre :</i></b></p> <p>La matière première est souvent préparée sous arrosage mais son taux d'humidité est ramené de 5 à 7% dans des tours de pulvérisation. Dans l'industrie des réfractaires, la matière première est mélangée à sec est souvent pressé avec un taux d'humidité inférieur à 2%.</p>
<p>-Porcelaine</p> <p>-Sanitaire</p> <p>-Porcelaine électrotechniques</p> <p>-Produits réfractaires</p>	<p>-Briques</p> <p>- Tuiles</p> <p>-Porcelaine électrotechnique</p> <p>-Objets en grés</p> <p>-Grés émaillés</p>	<p>-Produits réfractaires</p> <p>-Revêtements de sol et de mur</p> <p>-Objets en grés</p> <p>-Carreaux de grés-cérame</p> <p>-Céramiques techniques</p>

## I. 8. Etapes de fabrication et mise en forme

Les principales étapes de fabrication d'un produit céramique ne dépendent globalement ni des matières utilisées, ni du produit final. Ce procédé se compose des étapes suivantes [2]:

- extraction des matières premières et transport jusqu'à l'usine de céramique (ni l'une ni l'autre de ces étapes n'étant traitée par le présent document) ;
- Stockage des matières premières ;
- préparation des matières premières ;
- façonnage ;
- séchage ;
- traitement de surface ;
- cuisson (frittage) et traitement ultérieur.

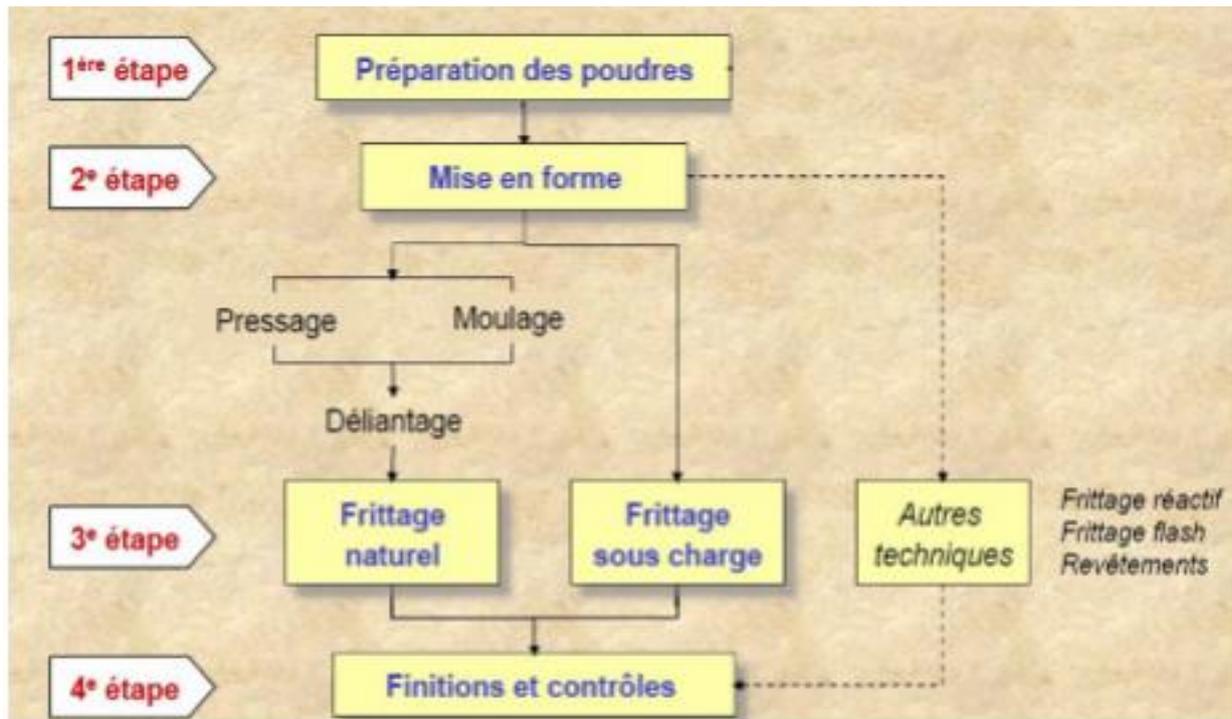


Figure I.7 : Les étapes de fabrication de céramique [6]

La préparation des matières premières comporte différentes opérations et techniques, en fonction du type ou de la forme de la pâte à fabriquer. Le dosage des matières premières se fait par voie gravimétrique, en tenant compte de leur teneur en eau. Les morceaux les plus gros sont préconcassés dans des broyeurs à cylindres ou des machines à forets, après le broyage les matières premières passent par une autre variante qui est le procédé d'élutriation et d'homogénéisation des matières premières dosées, qui s'effectue dans de larges cuves. Après avoir été finement broyée (jusqu'à obtention d'une dimension de particule inférieure à 0,1 mm), la suspension est progressivement tamisée et stockée dans des cuves de stockage agitées (figure I.7).

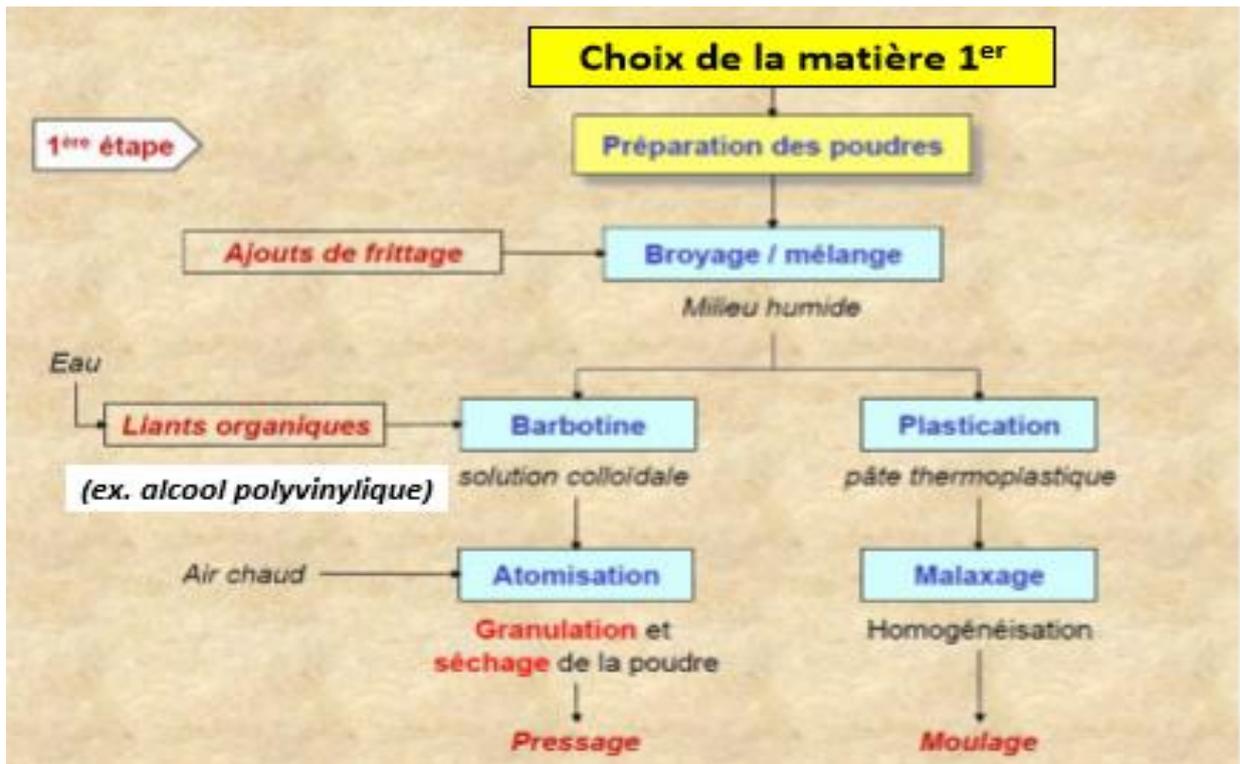


Figure I.8 : Première étape de fabrication de céramique [6]

Elle est ensuite transformée soit en une pâte plastique (« pâte d'extrusion »), soit en une « poudre de pressage ».

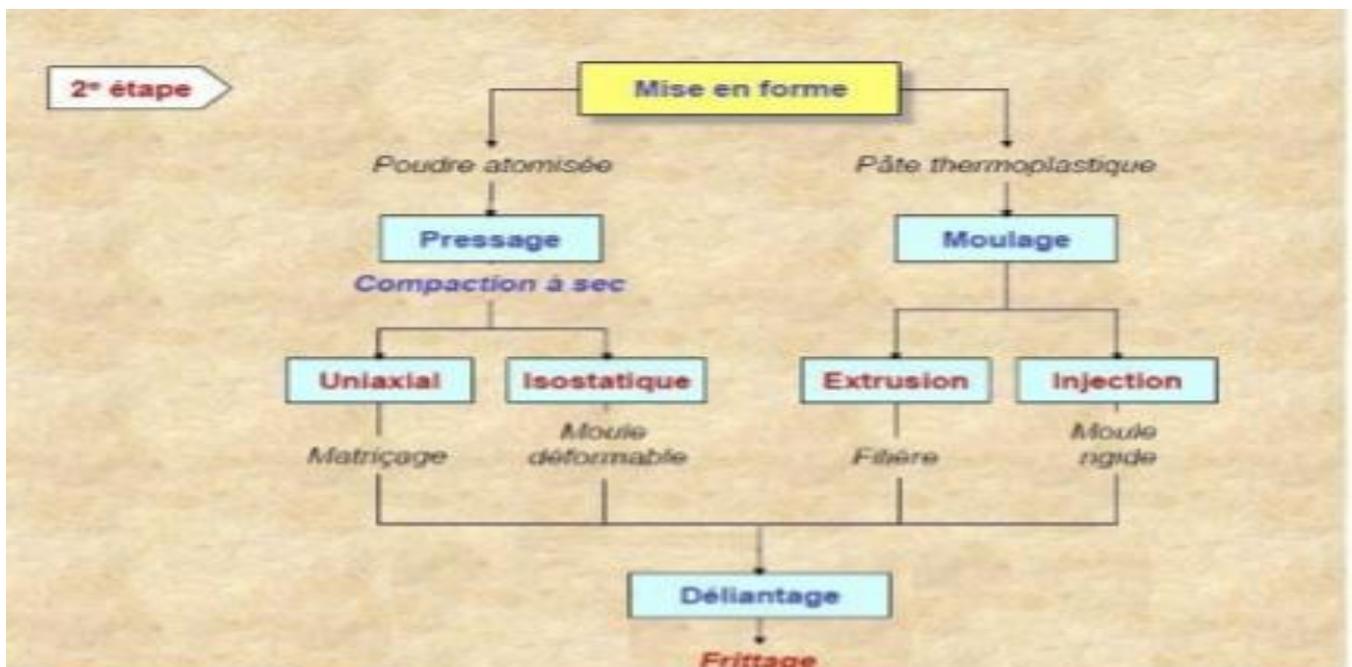
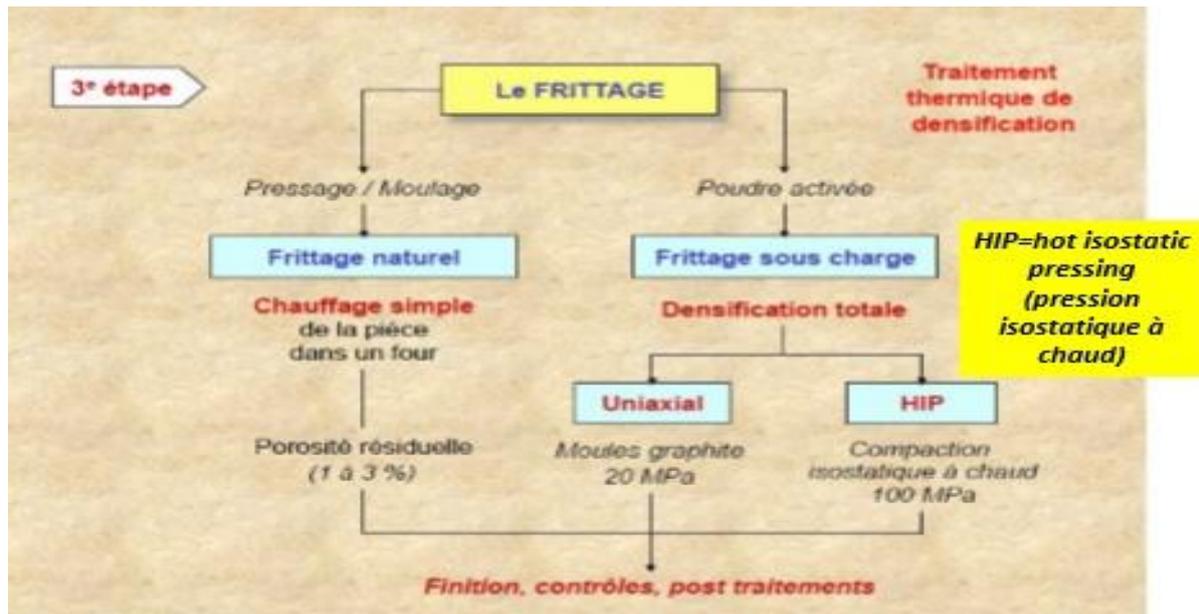


Figure I.9 : Deuxième étape de fabrication de céramique [6]

Après la matière première subit une dernière étape de cuisson (frittage) au four avant d'être conditionné pour la vente (figure I.9).



**Figure I.10** : Troisième étape de fabrication de céramique [6]

La plupart des céramiques modernes sont préparées à partir de poudres consolidées (mise en forme) et sont densifiées par un traitement thermique (le frittage). [6]

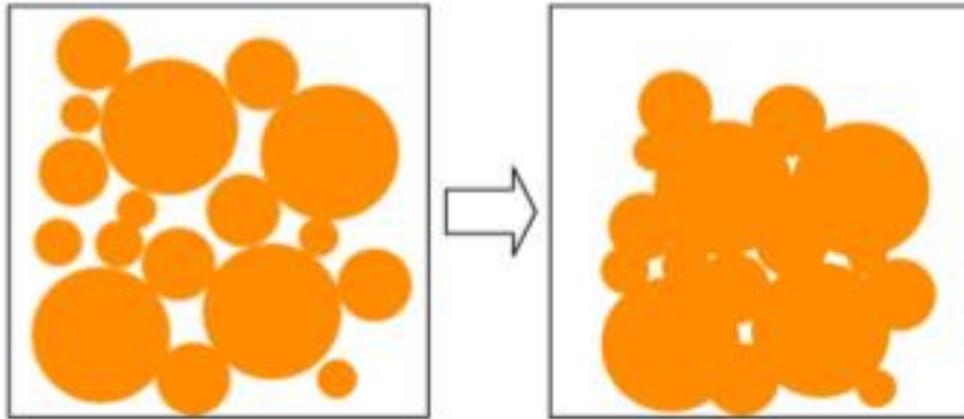
### I.9.le Frittage

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. Généralement, on distingue trois types de frittage [6] :

- **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 I.11** : Le frittage des particules de céramiques [6]

#### **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).

### **I.10. Les carreaux de sol et de mur (Carrelage) :**

#### **I.10.1. 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 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.10.2. Le procédé de fabrication de carrelage**

Le procédé de fabrication des carreaux pour sols et murs consiste en une série d'étapes successives qui se résume aux étapes suivantes [2] :

- stockage des matières premières
- préparation de la pâte (poudre de pressage (procédé par voie sèche ou humide) ou pâte d'extrusion)
- façonnage
- séchage de la pâte crue
- préparation de l'émail et émaillage
- cuisson (avec ou sans émaillage)
- Polissage
- triage et conditionnement.

### **I.10.3. 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.10.4. L'émaillage**

Dans l'émaillage des carreaux céramiques pour sols et murs, on emploie des matières premières de nature vitreuse (frittés). Les frittés sont des composés vitreux, insolubles dans l'eau, qui sont préparés à partir de matières cristallines fabriquées par une fusion à haute température (1500 °C) suivie d'un refroidissement rapide. Les frites sont fournies à l'industrie du carrelage par des fabricants de frittés. A part les frittés, les principaux composants de l'émail sont la silice (vitrifiant) ainsi que les additifs qui servent de fondants et d'agents colorants (bases, terres alcalines, bore, plomb etc.), d'opacifiants (zirconium, titane etc.) et d'agents colorants (fer, chrome, cobalt, manganèse etc.). Dans le procédé de préparation de l'émail, on broie généralement les frittés et les additifs dans un broyeur discontinu à boulets et à tambour jusqu'à obtention d'un rejet prédéfini. On fait passer cet émail à travers des tamis vibrants. On règle ensuite les conditions de la suspension aqueuse. Les caractéristiques de la suspension vont dépendre de la méthode d'application à utiliser. On peut formuler toutes sortes d'émaux, en fonction du type de produit, de la température de cuisson, et des effets et propriétés souhaités pour le produit fini. Matières premières de l'émail sont frites, kaolin, sable, pigments, opacifiants. [2]

#### **I.10.5. principe de fabrication des carreaux en céramique :**

Les matières premières sont mélangées et broyées de manière à former une pâte fine et homogène appelée barbotine. Cette barbotine est ensuite séchée via un atomiseur qui permet d'en extraire l'eau pour n'en retenir que la poudre. Cette poudre est ensuite injectée dans un moule de la taille et de la forme recherchée du carreau, puis est enfin pressée. Après pressage, le carreau est nettoyé puis soumis à plusieurs étapes de séchage pour faire tomber son taux d'humidité de 5-6 % à environ 0,5 %. Le carreau sera ensuite émaillé. Afin de lui donner l'aspect recherché, il existe trois types d'émaillage : l'émaillage à sec, l'émaillage humide et la sérigraphie. Le zircon (ou silicate de zirconium  $ZrSiO_4$ ) est utilisé pour l'opacification des émaux. Le carreau subit une dernière étape de cuisson au four avant d'être conditionné pour la vente [2].

### I.10.6. Les type des matériaux

Le carrelage est un terme générique qui englobe plusieurs types de matériaux [4]:

➤ **La pierre naturelle :**

La pierre naturelle, carreaux ou dalles est utilisée depuis des siècles comme revêtement de sol. Elle apporte du cachet, de l'originalité et un charme incomparable du fait de son esthétique unique, avec une riche variété de nuances du blanc au noir en passant par des bleus, des gris et bruns et des états de surface bruts ou lisses. Elle convient aux murs, aux sols, à l'intérieur comme à l'extérieur. La pierre naturelle est résistante, peu sensible à l'usure et elle conserve son coloris dans le temps. En revanche, selon sa porosité, elle nécessite souvent un traitement après la pose pour résister à l'eau (hydrofuge), aux diverses agressions et aux taches comme la graisse. Elle doit être entretenue régulièrement.



**Figure I.12 :** Les revêtements en pierres naturelles [4]

➤ **La terre cuite :**

Les carreaux de terre cuite sont souvent issus de fabrications artisanales. Ils sont fabriqués à partir d'argile et de sable. L'argile extraite du gisement est mise à sécher, puis débarrassée de ses impuretés, puis broyée et mélangée avec de l'eau pour la rendre plastique. Elle est ensuite calibrée dans des moules, pressée (ou étirée puis découpée), remise en séchage dans une étuve, puis cuite dans des fours entre 1 000 et 1 200 °C. Selon l'argile utilisée ou le mélange de terres, la gamme de couleurs s'étend du jaune pâle au brun foncé en

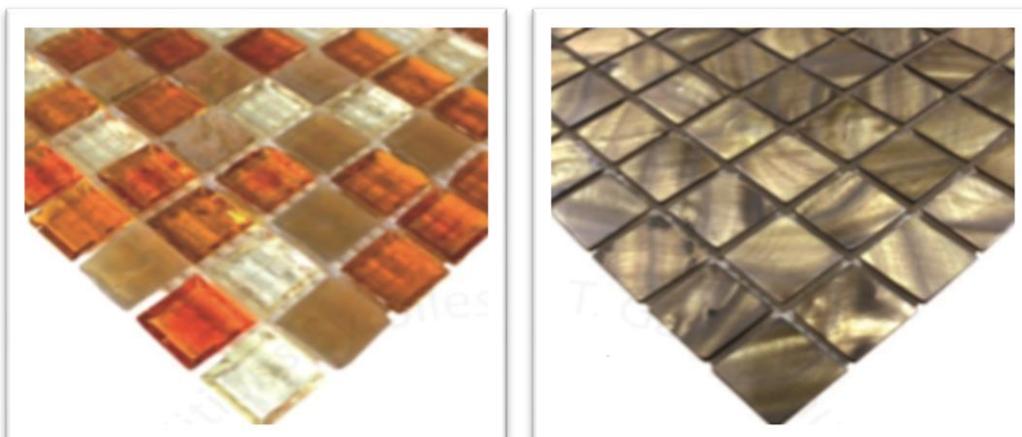
passant par des nuances d'orange et de rouge. Le moulage permet de réaliser de nombreuses formes (carré, rectangle, octogone...) dont la plus connue est le carreau hexagonal, très utilisé dans les immeubles haussmanniens du XIXe siècle.



**Figure I.13** : Les carreaux de terre cuite [4]

➤ **Les produits verriers :**

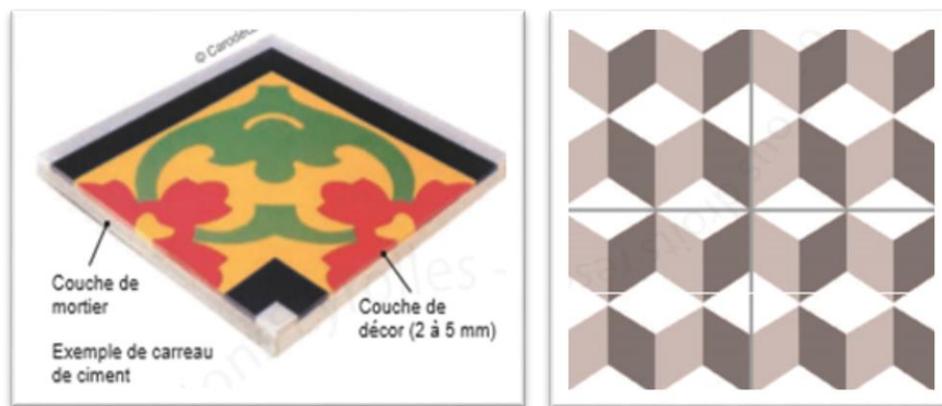
Les pâtes de verre sont de petits carreaux destinés aux mosaïques. Elles sont généralement collées sur des trames, sous forme de dalles. Leur aspect décoratif est incontestable, le verre apportant de la profondeur. Les carreaux peuvent être unis, irisés ou présenter un aspect métallique, avec des rendus mats, brillants ou satinés. Ils sont composés d'un mélange de verre et de pigments colorés. Les formats individuels sont compris entre 15 × 15 mm et 50 × 50 mm environ, avec une épaisseur de 4 à 10 mm.



**Figure I.14** : Les produits verriers [4]

➤ **Les carreaux de ciment :**

Ce type de revêtement est souvent de fabrication artisanale. Très utilisés au début du XXe siècle dans les maisons bourgeoises, les carreaux de ciment reviennent à la mode. Ils sont fabriqués à partir de mortier (ciment et sable) et de poudres de marbre pigmentées. Les motifs et les couleurs sont répartis sur une base de ciment selon la technique du pochoir à l'aide de moules



**Figure I.15 :** Les carreaux de ciment [4]

➤ **Les grès cérames pleine masse :**

Ces carreaux sont réputés de grande qualité. Le terme plein masse signifie que le biscuit est de même couleur que la surface.



**Figure I.16 :** Les grès cérames pleine masse [4]

- **Les grès cérames émaillés :**

Ce sont des grès cérames pleine masse recouverts d'une couche d'émail à chaud permettant la parfaite fusion entre l'émail et le biscuit. Ce dernier peut être teinté pour se rapprocher de la couleur de la couche d'émail.



**Figure I.17 :** Les grès cérames émaillés [4]

- **Les grès étirés :**

Ils se composent d'argiles sélectionnées et d'un fondant (composants similaires au grès cérame) permettant d'obtenir une pâte, qui est étirée (et non pressée) à travers une filière lui donnant son profil, puis cuite à 1 100 °C. Les carreaux sont plus durs que la terre cuite, mais peuvent en reprendre l'aspect rustique et la couleur chaude.



**Figure I.18 :** Les grès étirés [4]

- **Les grès pressés émaillés :**

Les carreaux de grès émaillé se composent d'un biscuit en grès (argile et feldspaths) pressé. Ils sont recouverts d'un émaillage de surface qui les rend résistants à l'usure, parfaitement étanche. La résistance est fonction de la nature de l'émail. Ce sont les carreaux

de céramique les plus répandus. Ils peuvent être utilisés à l'intérieur pour les sols, les murs ou les plans de travail. Les teintes et les décors sont très variés.



**Figure I.19** : Les grès pressés émaillés [4]

- **La faïence :**

Les carreaux en faïence sont des céramiques composées d'un biscuit poreux pressé à base de kaolin. Ils sont recouverts d'un émail qui peut être opaque, transparent, mat, brillant ou nuage. Les faïences offrent les décors les plus riches, parfois réalisés à la main, et les plus nombreux (figure 7).



**Figure I.20** : Les carreaux de faïence [4]

### **I.10.7. Pose de carreaux**

Les carreaux s'utilisent aussi bien en intérieur qu'en extérieur, mais il est vrai qu'à l'extérieur la pose de carrelage rencontre de nombreuses contraintes (intempéries, gel,

amplitude thermique). En théorie le grès cérame qui est plus adapté aux extérieurs qu'un grès classique. Il existe des mortiers et des solutions de drainage spécifiques pour l'extérieur .Il existe plusieurs types de pose, les principaux sont les suivants [17] :

- la pose droite (au carrément) qui comme son nom l'indique vise à poser le carrelage de manière rectiligne ;
- la pose diagonale qui vise à poser le carrelage de manière rectiligne, les joints formant un quadrillage parfait avec un angle à 45 degrés par rapport au mur ;
- la pose décalée ;
- la pose en pipe composée de deux formats de carreaux ;
- le multi format ou opus qui comme son nom l'indique est composé de plusieurs formats de carreaux ;
- la pose à bâton rompus qui, comme un parquet, s'utilise avec des formats rectangulaires posés en équerre ;
- la pose en chevrons qui nécessite des carreaux spécifiquement créés à cet effet ;
- l'opus insert un qui vise à poser des carreaux cassés, donc informes, afin de créer un motif.

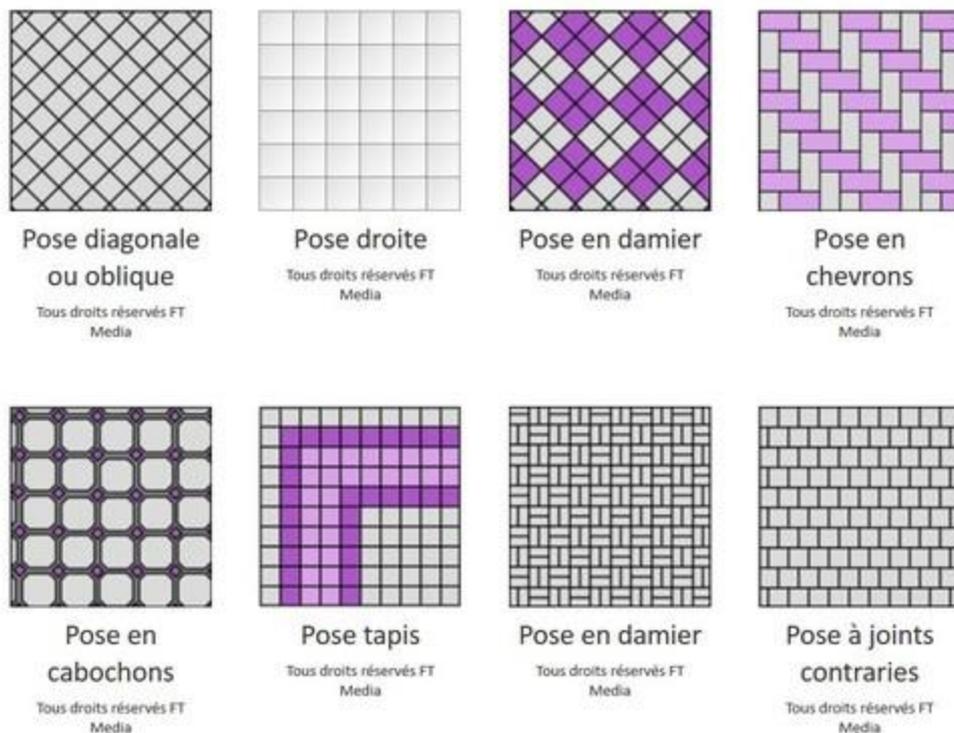


Figure I.21 : Les types de pose de carrelage. [17]

**Techniques de pose :**

- La pose traditionnelle ou pose scellée : La pose scellée est la méthode la plus traditionnelle. Elle consiste à poser les carreaux sur une chape au mortier (sable, ciment et eau) ;
- La pose collée : La pose dite collée consiste à poser les carreaux avec un mortier-colle directement sur un support, soit une chape ancienne, soit du carrelage existant ;
- La pose flottante en filière sèche (sans ciment colle ni eau).

**I.10.8. Normes de carrelage**

Le carrelage est classé selon les normes suivant [17] :

**I.10.8.1. La norme UPEC**

Le CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) est un organisme de contrôle officiel d'état qui réalise des tests sur les carrelages et leur attribue un classement NF UPEC. Ce classement, sur la base des contraintes associées aux locaux, permet de définir si le carrelage est approprié au type de local considéré. Un carrelage est adapté à l'usage prévu quand son classement UPEC est au moins égal à celui du local considéré. Ce classement UPEC est constitué de 4 lettres :

- U pour l'usure : résistance à l'usure de piétinement (marche ou passage);
- P pour le poinçonnement : résistance mécanique au déplacement d'objet mobile ou fixe (pieds de meubles ou talons aiguille);
- E pour la résistance à l'eau ;
- C pour la résistance aux agents chimiques courants.

Ces lettres sont suivies d'indices croissants correspondant à des niveaux de résistance croissante: niveaux 1 à 4, par exemple : U2 P3 E3 C1. Plus l'indice est élevé, plus le comportement aux critères correspondants est bon. [17]

### I.10.8.2. La norme de résistance au glissement

En plus du classement UPEC qui définit des normes de résistance mécanique, une norme définit la résistance au glissement. En fonction de son utilisation, le carrelage devra répondre à ce critère et s'adapter aux contraintes lieu. Il définit deux types distincts de glissement

1. glissement pieds nus, décliné en trois groupes identifiés A, B et C, ce dernier correspondant au risque le plus élevé ;

2. glissement pieds chaussés, en 5 groupes identifiés de R9 à R13, ce dernier correspondant au risque le plus élevé :

- les intérieurs d'appartement demandent du R9
- les terrasses ouvertes, coursives d'immeuble demandent du R10
- les pourtours de piscine demandent du R11
- les cuisines d'hôtel, cuisines centrales demandent du R12

A noter que nous utilisons couramment le classement R, plus que le A-B-C. Par ailleurs, pour les R élevés, il y a des déclinaisons en R...V... pour indiquer l'angle du micro sur la surface. Cet indice en V déterminera fortement la performance de glissance sur un sol en pente: un V élevé donnera un carrelage avec "bonne accroche", mais la saleté elle aussi s'y accrochera plus que bien d'où des difficultés de nettoyage. En fait ces préconisations découlent de la norme allemande DIN 51130. Il est d'usage en France de la respecter au minimum dans les établissements recevant du public (les ERP), les piscines, les restaurants, les douches collectives... [17]

### I.10.8.3. La norme de classement des choix

Par défaut, on trouve du 1er choix, il faut savoir que ces carreaux sont réputés sans défauts apparent à hauteur d'homme, d'un calibrage correct c'est à dire tous de la même dimension dans le même lot et ne dépassant pas +/- 5% de la mesure de l'étalon (mesure écrite sur les boîte) on appelle cela le calibre. A partir du 2ème choix, vous avez des carreaux avec des défauts mineurs, de surface ou de calibre, on les pose avec des joints plus gros et triage des carreaux pour poser les "mauvais" dans les endroits moins visibles. L'avantage est d'environ 30% du prix. Les choix inférieurs concernent les défauts importants, carreaux tordus ou hors nuance voire tâchés. [17]

*Chapitre II :*  
*Généralité sur*  
*les propriétés*  
*mécaniques*

## II.1.Introduction

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

La science des matériaux est l'étude des relations qui existent entre leur structure et leurs propriétés générales. La structure d'un matériau correspond à la façon dont s'agencent ses éléments constitutifs dans plusieurs échelles :

- Échelle subatomique : noyau et électrons
- Échelle atomique : disposition des atomes ou molécules les uns par rapport aux autres
- Échelle microscopique : groupes d'atomes
- Échelle macroscopique : éléments de structure visibles à l'œil nu

## II.2. Les grandes catégories de propriétés

Il ya six(06) grandes catégories de [15] :

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

## II.3. 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 :

- 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

#### **II.4. 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 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]

### II.4.1. 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].

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

Elle se mesure en Pascal (Pa).

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

### II.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].

$$\varepsilon = \frac{(L-L_0)}{L_0} \quad (\text{II.2})$$

L'allongement est sans unité

## I.5. 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.

## II.6. Les essais mécaniques

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

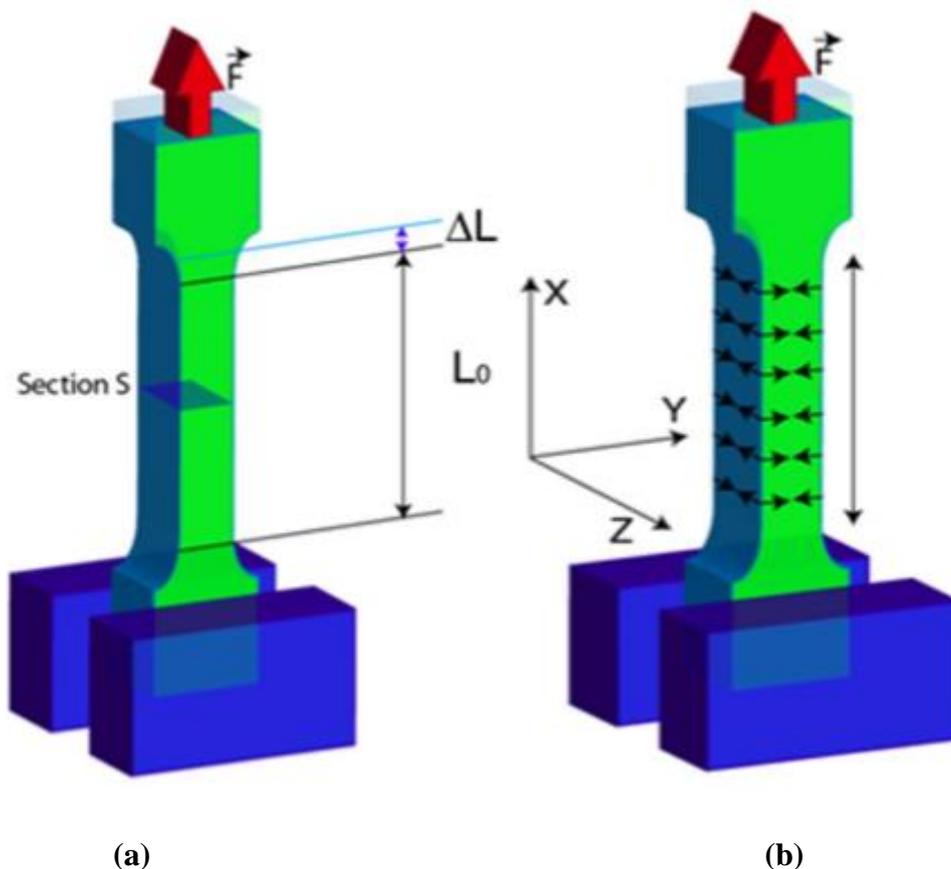
### II.6.1. Essai de traction

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 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 II.1 :** Traction simple : a) force et allongement. b) Déformations dans les trois directions [10]

### II.6.1.1. Les éprouvettes

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.

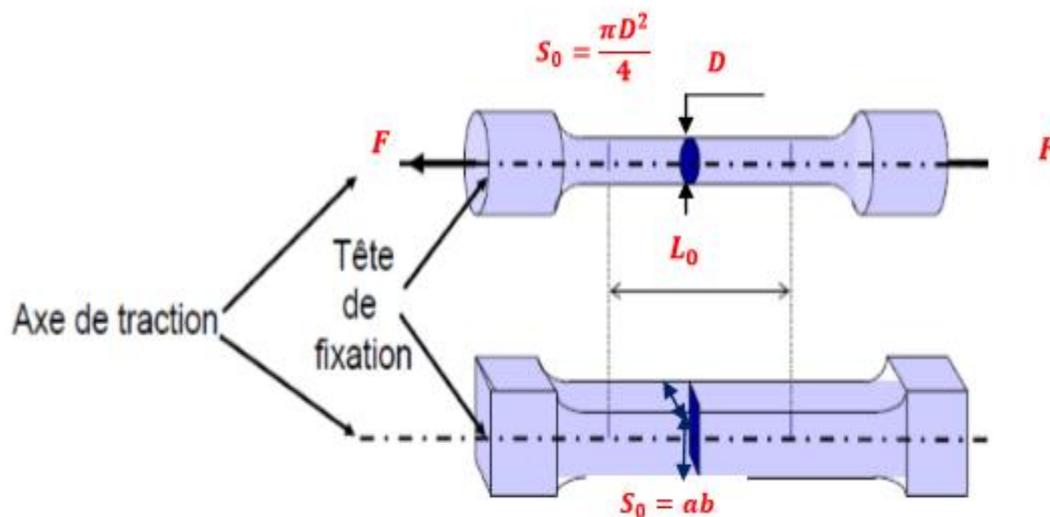
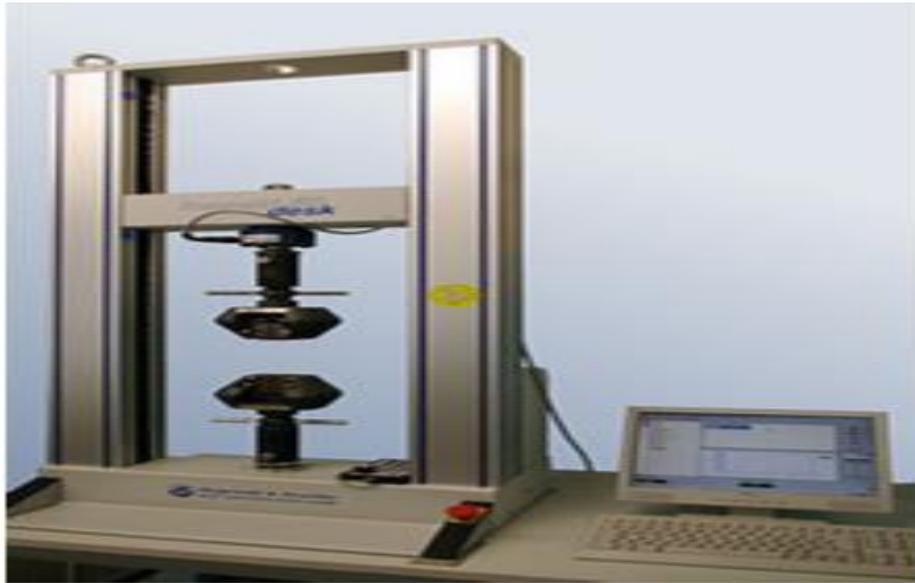


Figure II.2 : Eprouvette de traction : a) cylindrique, b) prismatique. [14]

### II.6.1.2. 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 [17].



**Figure II.3 :** Machine d'essai de traction [16]

### **II.6.1.3. 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]

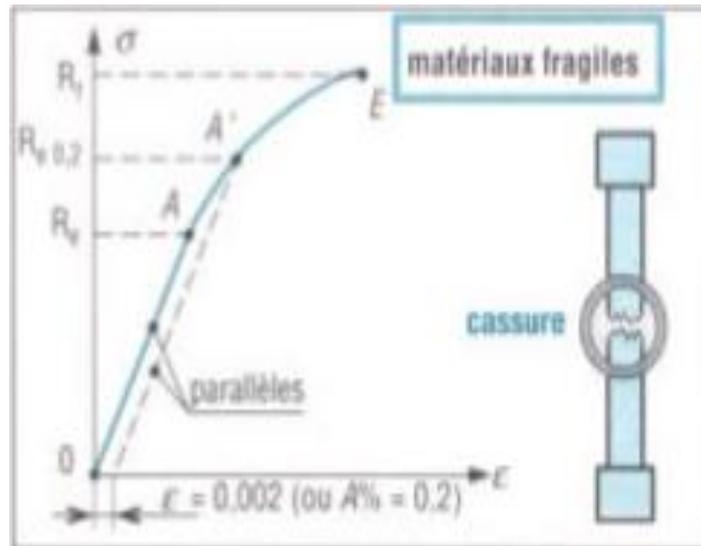


Figure II.4 : Courbe contrainte-déformation. Comportement fragile [9].

**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]

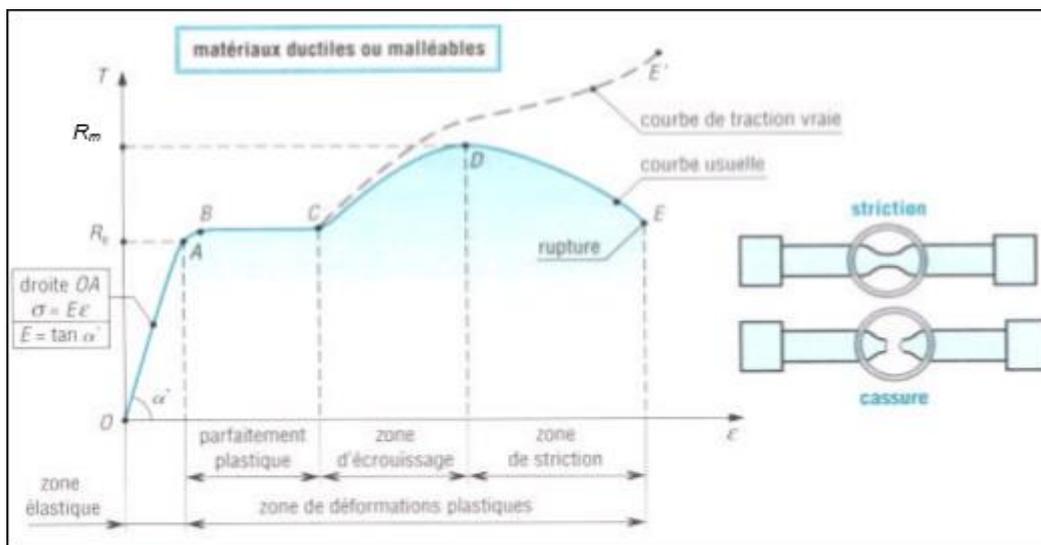
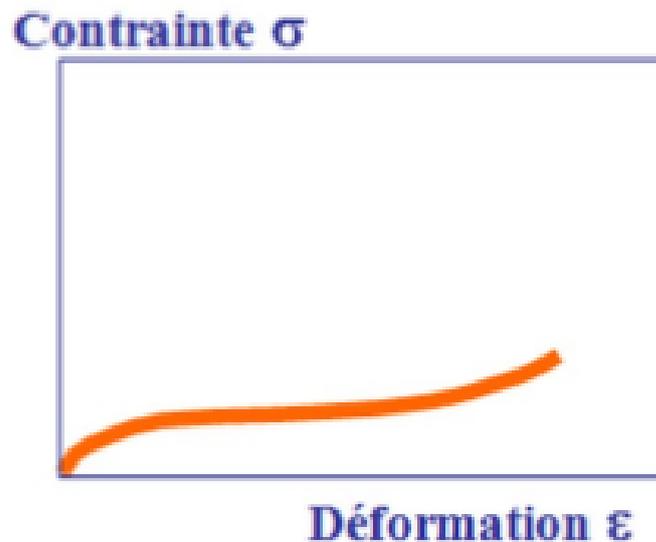


Figure II.5 : Courbe contrainte-déformation. Comportement ductile [9]

**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 II.6 :** Courbe contrainte-déformation. Comportement élastique non linéaire [10]

#### II.6.1.4. Les propriétés de traction

On peut déterminer avec un essai de traction [16] :

- Limite conventionnelle d'élasticité  $R_{e 0,2}$ , 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  $R_{e 0,2}$  on tolère une légère déformation permanente de 0,2% ( $A\% = 0,2$ ) ;
- Limite d'élasticité (MPa) :

$$R_e = \frac{F_e}{S_0} \quad (\text{II.3})$$

- Résistance à la traction en MPa :

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \quad (\text{II.4})$$

- Allongement à la rupture :

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

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

- Striction à la rupture :

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

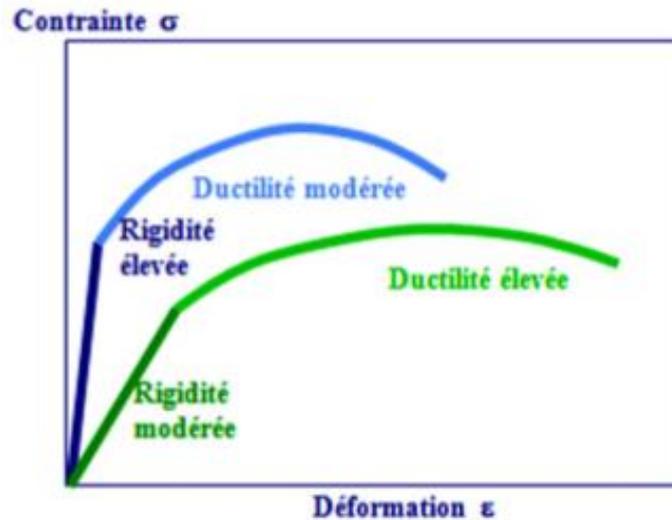
Dans cette expression,  $S_0$  et  $S$  sont respectivement les sections initiale et finale après rupture en  $mm^2$ .

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

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

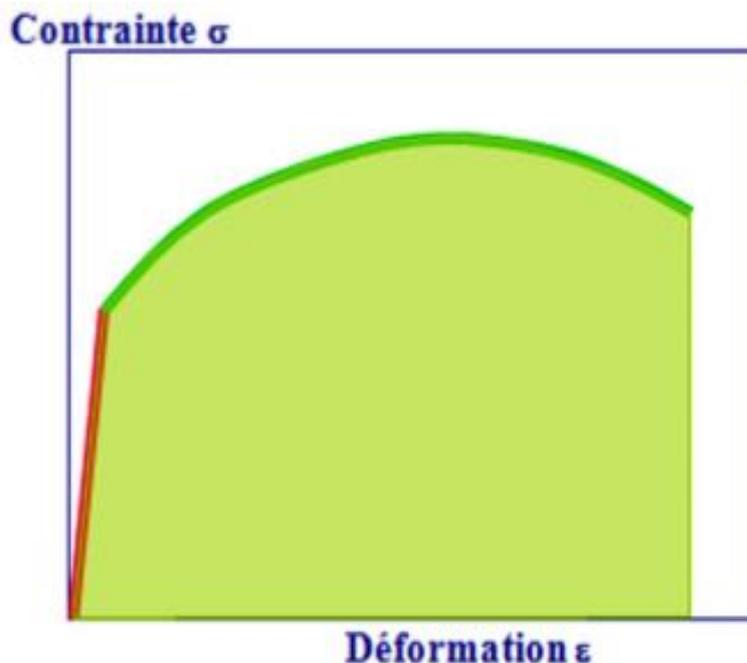
On peut également définir certaines caractéristiques déterminées par l'essai de traction :

- **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.
- **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.
- **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 II.7 :** 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.



**Figure II.8 :** Courbe contrainte-déformation. Ténacité = surface sous la courbe [10]

## II.6.2. 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 II.9 : Duromètre universel [14]

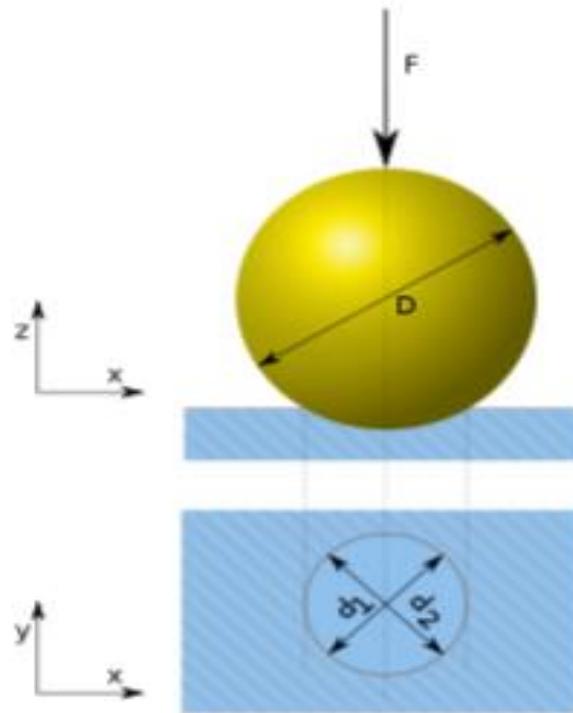
### II.6.2.1. Essai BRINELL

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  $d$  en mm et la dureté Brinell  $HB$  est exprimée en kgf/mm<sup>2</sup> selon la relation suivante [14,10] :

$$HB = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (\text{II.8})$$

Avec :

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (\text{II.9})$$



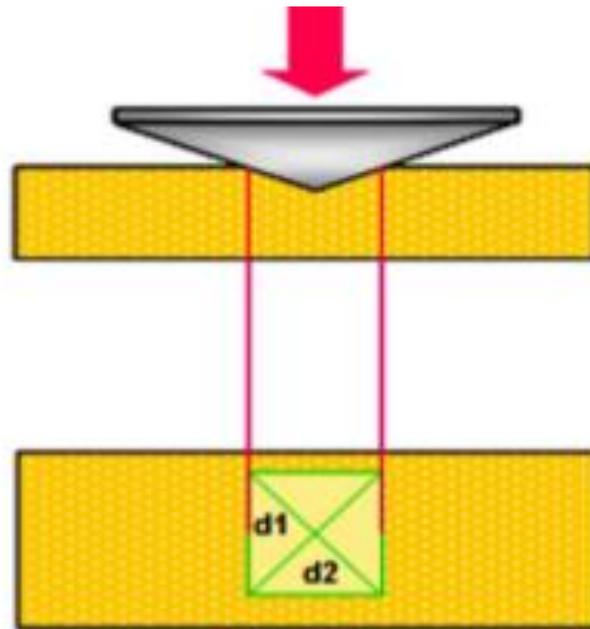
**Figure II.10** : Essai de brinell [14]

### II.6.2.2. 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 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  $\text{kgf}$ , le diamètre de l'empreinte  $d$  en  $\text{mm}$  et la dureté Vickers est exprimée en  $\text{kgf}/\text{mm}^2$  selon la relation suivante [10] :

$$HV = \frac{1.8454F}{d^2} \quad (\text{II.10})$$



**Figure II.11** : Principe de l'essai de dureté VICKERS [10]

### II.6.2.3. 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 :

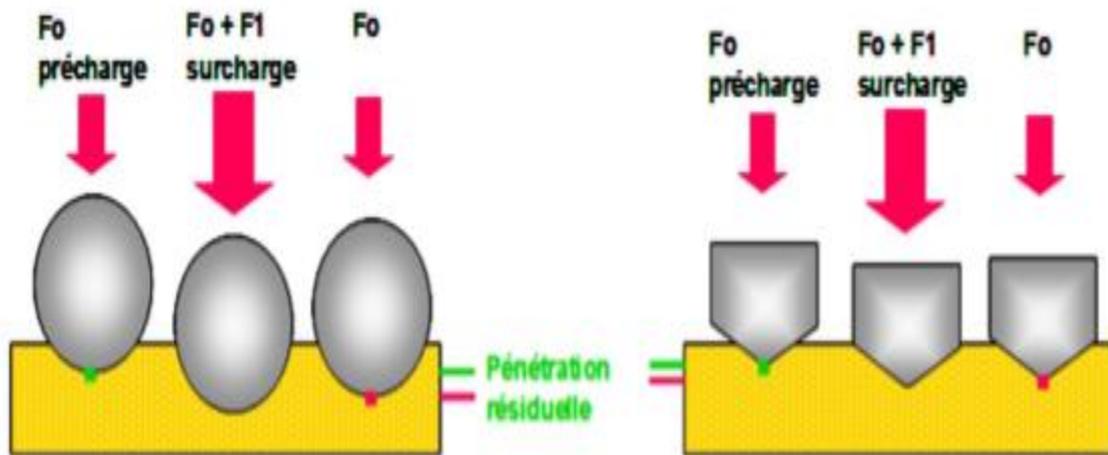
- soit bille en acier de diamètre 1,59 mm = Rockwell b pour les matériaux mous comme les alliages de cuivre
- soit cône en diamant d'angle au sommet  $120^\circ$  et dont l'extrémité est une calotte sphérique de rayon 0,1mm = Rockwell c, pour les matériaux plus durs comme l'acier.

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 ( $F_2 - F_1$ )



**Figure II.12 :** 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]

### II.6.3. 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<sup>2</sup>)). [13]



Figure II.13 : Une machine de Charpy [9].

### II.6.3.1. 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].

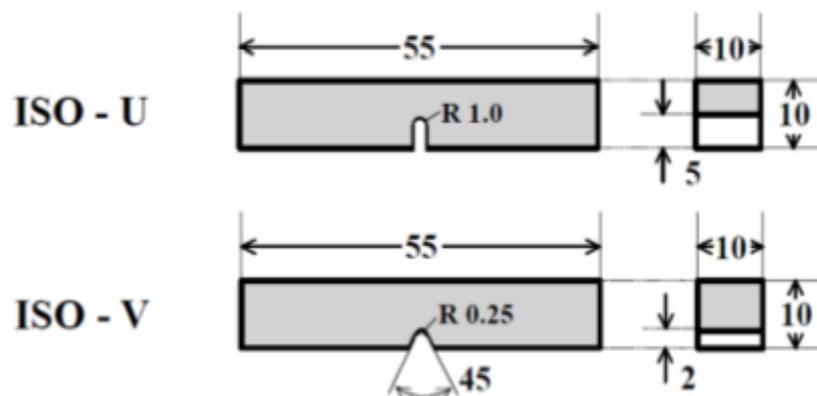


Figure II.14 : Eprouvettes Charpy standardisées [11]

### II.6.3.2. 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]:

$$K = m.g.H - m.g.h \quad (\text{II.11})$$

$m$  = 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]

$$K = \frac{W_0 - W_1}{S} \quad (\text{II.12})$$

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

$W_0$  = l'énergie initiale [J];

$W_1$  = l'énergie obtenue [J];

$K$  = la résilience [ $J/cm^2$ ].

### II.6.5. 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 [16].



**Figure II.16 :** Essai de flexion « trois points » d'une poutre [16].

### II.7. Les propriétés mécaniques des céramiques

Les céramiques sont peu résistantes en traction et flexion et très résistantes en compression. Leur caractéristique principale est la rupture dite fragile, c'est à dire sans déformation plastique. Depuis Griffith on sait que la fracture d'une céramique se fait par propagation d'une fissure à partir d'un défaut initial. Depuis les années 80, la plupart des évolutions du matériau se sont traduites par une amélioration de propriétés mécaniques [3].

## II.8. Facteurs influençant la résistance mécanique des céramiques

Elle est directement liée au nombre et à la taille des défauts issus de la mise en œuvre, du montage de la poudre de céramique, de la cuisson et du glaçage. [3]

- **Taux de porosité**

Il dépend de la distribution granulométrique et du mode de mise en forme de la pâte crue. Le compactage par vibration permet d'augmenter de 40% la résistance par rapport à une céramique non compactée. La cuisson sous vide fait passer le % de porosité de 4% à 0,1%.

- **Température et cycle de cuisson**

L'élévation de la température et de la durée de cuisson entraînent une augmentation de la résistance. Cependant au delà d'un certain seuil, ou lors de la multiplication des cuissons, on assiste à une diminution de ces caractéristiques, dues à une dissolution dans le verre des phases cristallines dispersées.

- **Contraintes internes**

Elles résultent d'un différentiel de coefficient de dilatation thermique entre les différentes phases du matériau ou entre le matériau et le support (métal ou céramique d'infrastructure).

- **Microstructure**

Pour les céramiques biphasées, la résistance augmente avec la proportion de phases cristalline et avec la quantité d'interfaces verre/cristal et donc la dispersion de cette phase cristalline. L'état de surface et surtout les défauts de surface jouent un rôle important. Pour remédier aux défauts de surface le glaçage thermique ou l'emploi d'une glaçure permettent en obturant les pores et en refermant les fissures d'améliorer les propriétés mécaniques des céramiques feldspathiques d'environ 400%. De plus la glaçure possédant un coefficient d'expansion thermique plus faible que celui de la céramique sous-jacente met la surface en compression.

*Chapitre I :*  
*Généralités*  
*sur les*  
*céramiques*

### III.1.Introduction

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. L'ingénieur ne peut calculer ni déterminer les charges admissibles sans connaître les caractéristiques mécaniques du matériau à utiliser. Le but de notre travail c'est de déterminer les propriétés mécaniques de carrelage en céramique et en ciment (les carreaux de sol et de mur) dépendent des conditions d'application des efforts et l'absorption d'eau, par des essais mécaniques.

### III.2. Les essais appliqués

Pour l'étude de nos carrelages, on a appliqués deux essais, essai de résilience et essai de dureté.

#### III .2.1. L'essai de résilience

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

Les essais de résilience permettent de caractériser la fragilisation d'un matériau ou de mesurer la résistance d'un matériau à la rupture.

##### III.2.1.2. Le matériau utilisé

On a étudié deux types de carrelage qui sont :

- Les carreaux en céramique

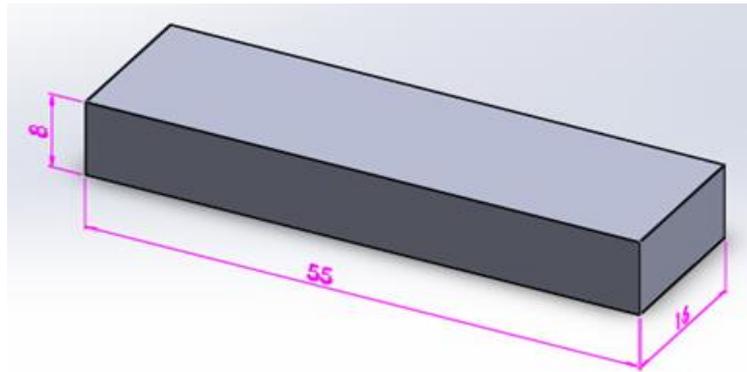
##### III.2.1.2.1. Les carreaux en céramique :

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

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

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

$$l = 16 \text{ mm}$$



**Figure III.1 :** L'éprouvette en céramique.

#### **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 III.2 :** Mouton pendule de Charpy

#### **La procédure de l'essai :**

On a découpé dix (10) éprouvettes sans les entailles parce que le matériau est fragile. On a trempé cinq éprouvettes dans l'eau pendant 24 Heures. L'éprouvette est disposé sur les supports, elle doit être centré .on déclenche le marteau immédiatement et l'éprouvette est frappée par le marteau. On remonte le marteau en position haute et on lie l'énergie de rupture. Répéter l'opération pour toutes les éprouvettes.

**Résultats obtenu :**

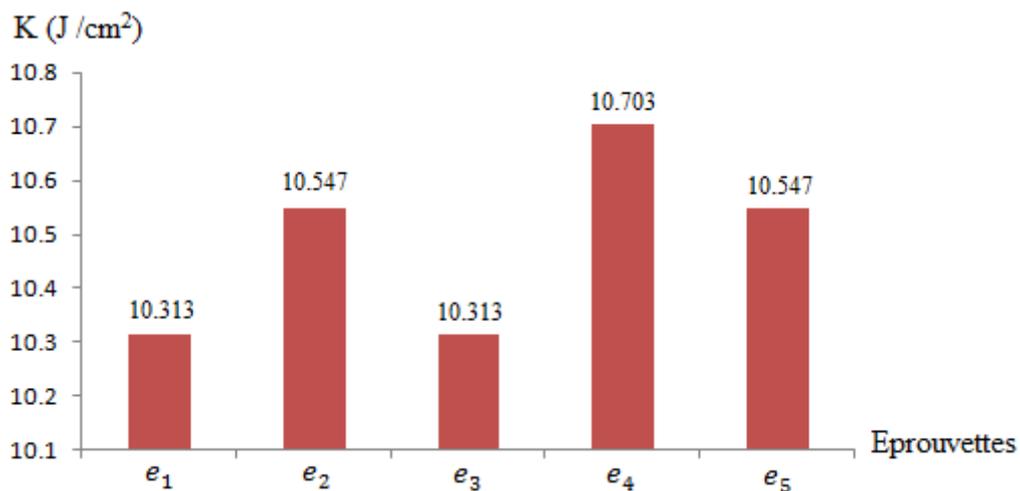
On applique l'équation(II.12) :

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

Les résultats obtenus pour les éprouvettes en céramique trempées dans l'eau sont donnés sur le tableau III.1 et l'histogramme de la figure III.3 suivant:

**Tableau III.1** : La résilience des éprouvettes en céramique trempées dans l'eau

Eprouvette	Surface ( $cm^2$ )	$W_0$ (J)	$W_1$ (J)	$K$ ( $J/cm^2$ )
$e_1$	1.28	15	1.8	10.313
$e_2$	1.28	15	1.5	10.547
$e_3$	1.28	15	1.8	10.313
$e_4$	1.28	15	1.3	10.703
$e_5$	1.28	15	1.5	10.547



**Figure III.3** : Résilience pour les éprouvettes en céramique trempé dans l'eau

Calcule la moyenne arithmétique de la résilience des carreaux en céramique trempé dans l'eau :

$$\bar{x} = \frac{1}{5} [10.313 + 10.547 + 10.313 + 10.703 + 10.547] = 10.485$$

Calcul de l'écart type :

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.151$$

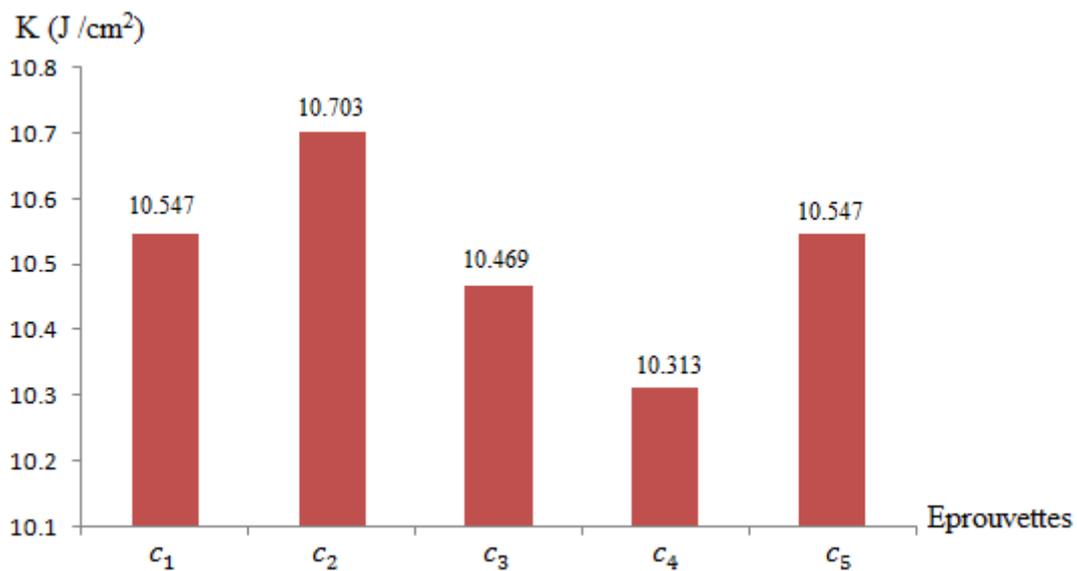
La résilience des carreaux en céramique trempé dans l'eau est :

$$K = 10.485 \pm 0.152 \text{ J/cm}^2$$

Les résultats obtenus pour les éprouvettes en céramique sec sont donnés sur le tableau III.2 et l'histogramme de la figure III.4 suivants :

**Tableau III.2** : Résilience pour les éprouvettes en céramique à sec

Eprouvette	Surface (cm <sup>2</sup> )	W <sub>0</sub> (J)	W <sub>1</sub> (J)	K (J/cm <sup>2</sup> )
c <sub>1</sub>	1.28	15	1.5	10.547
c <sub>2</sub>	1.28	15	1.3	10.703
c <sub>3</sub>	1.28	15	1.6	10.469
c <sub>4</sub>	1.28	15	1.8	10.313
c <sub>5</sub>	1.28	15	1.5	10.547



**Figure III.4** : Résilience pour les éprouvettes en céramique à sec

Calcule la moyenne arithmétique de la résilience des carreaux en céramique sec :

$$\bar{x} = \frac{1}{5} [10.547 + 10.703 + 10.469 + 10.313 + 10.547] = 10.516$$

Calcul de l'écart type :

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.127$$

La résilience des carreaux en céramique sec est :

$$K = 10.516 \pm 0.127 \text{ J/cm}^2$$

### III.2.1.2.2. Les carreaux en ciment :

#### La procédure de l'essai :

On a découpé dix (10) éprouvettes sans les entailles parce que le matériau est fragile. On a trempé cinq éprouvettes dans l'eau pendant 24 Heures. L'éprouvette est disposé sur les supports, elle doit être centré .on déclenche le marteau immédiatement et l'éprouvette est frappée par le marteau. On remonte le marteau en position haute et on lie l'énergie de rupture. Répéter l'opération pour toutes les éprouvettes.

#### La machine utilisée :

L'appareillage utilisé dans cet essai est une machine spéciale dite « mouton pendule DE TYPE PHYWE 17558.01» disponible au niveau du hall technologie avec une énergie initiale de 25 joule.

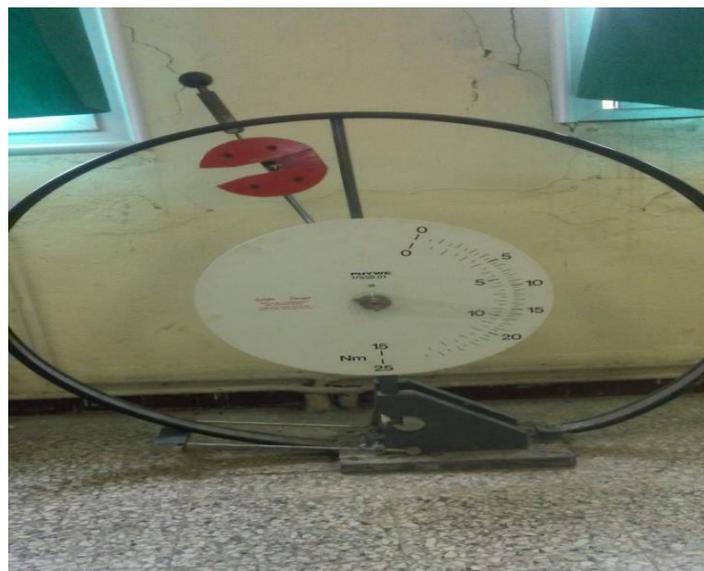


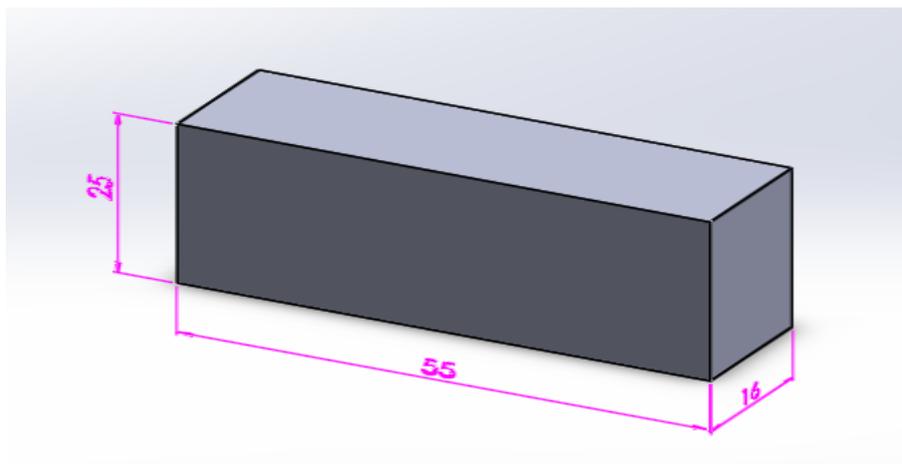
Figure III.5 : Mouton pendule Charpy de 25joule.

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

$$e = 25 \text{ [mm]}$$

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

$$l = 16 \text{ [mm]}$$

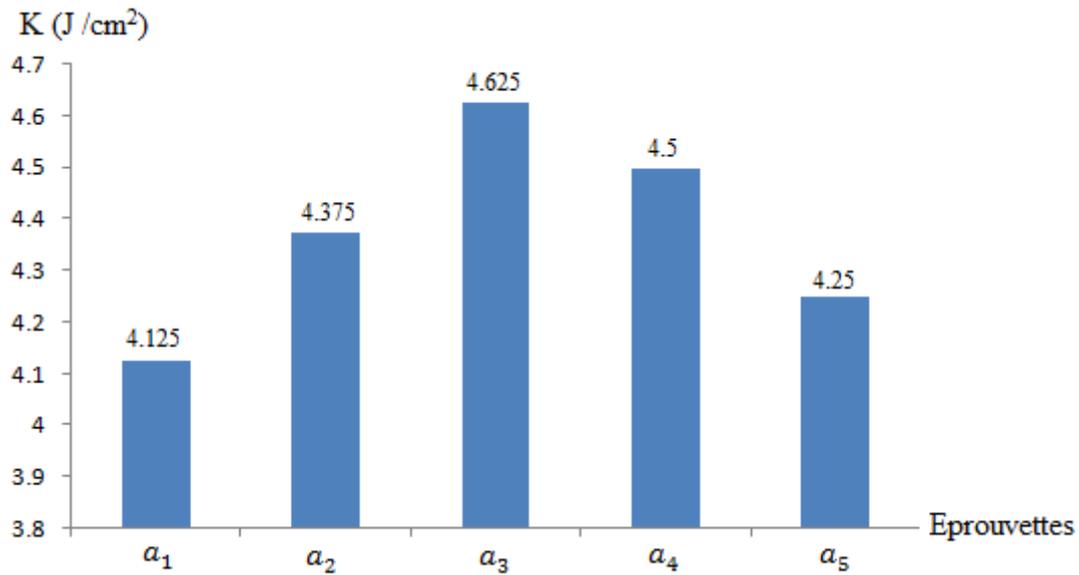


**Figure III.6 :** L'éprouvette en ciment.

Les résultats obtenus pour les éprouvettes en ciment trempées dans l'eau, donnés dans le tableau et le diagramme suivants :

**Tableau III.3 :** Résilience pour les éprouvettes en Ciment trempées dans l'eau

Éprouvette	Surface ( $cm^2$ )	$W_0$ (J)	$W_1$ (J)	$K$ ( $J/cm^2$ )
$a_1$	4	25	8.5	4.125
$a_2$	4	25	7.5	4.375
$a_3$	4	25	6.5	4.625
$a_4$	4	25	7	4.5
$a_5$	4	25	8	4.25



**Figure III.7 :** Résilience pour les éprouvettes en Ciment trempées dans l'eau

Calcule la moyenne arithmétique de la résilience des carreaux en céramique trempé dans l'eau :

$$\bar{x} = \frac{1}{5} [4.125 + 4.375 + 4.625 + 4.5 + 4.25] = 4.375$$

Calcule de l'écart type :

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.177$$

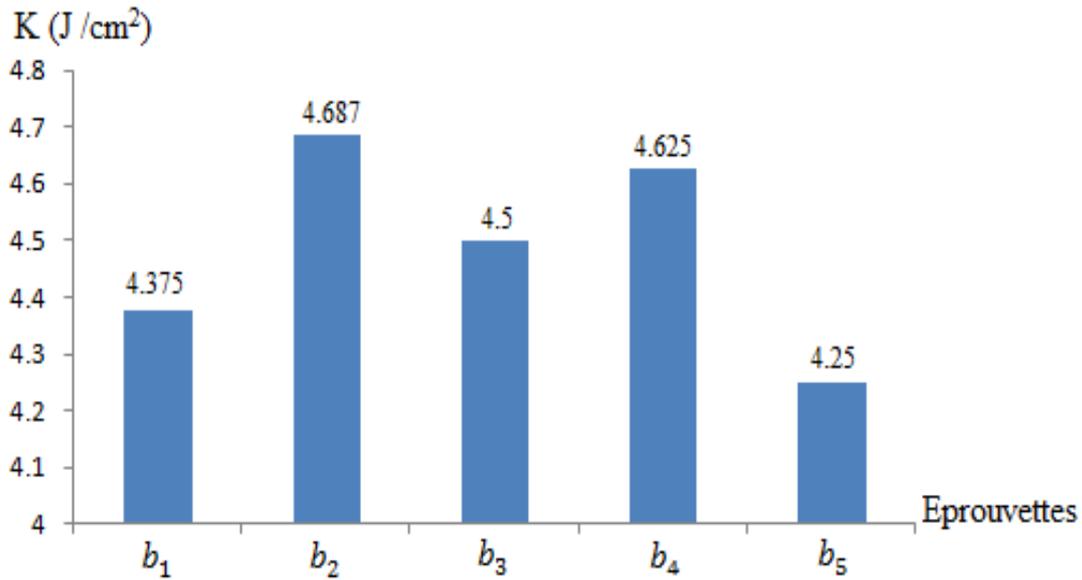
La résilience des carreaux en céramique trempé dans l'eau est :

$$K = 4.375 \pm 0.177 \text{ J/cm}^2$$

Les résultats obtenus pour les éprouvettes en ciment sec sont donnés dans le tableau et le diagramme suivants :

**Tableau III.4 :** Résilience pour les éprouvettes en Ciment à sec

Eprouvette	Surface (cm <sup>2</sup> )	W <sub>0</sub> (J)	W <sub>1</sub> (J)	K (J/cm <sup>2</sup> )
b <sub>1</sub>	4	25	7.5	4.375
b <sub>2</sub>	4	25	6.25	4.687
b <sub>3</sub>	4	25	7	4.5
b <sub>4</sub>	4	25	6.5	4.625
b <sub>5</sub>	4	25	8	4.25



**Figure III.8 :** Résilience pour les éprouvettes en Ciment à sec

Calcule la moyenne arithmétique de la résilience des carreaux en ciment sec :

$$\bar{x} = \frac{1}{5} [4.375 + 4.687 + 4.5 + 4.625 + 4.25] = 4.487$$

Calcule de l'écart type :

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.160$$

La résilience des carreaux en ciment sec est :

$$K = 4.487 \pm 0.160 \text{ J/cm}^2$$

### Discussion :

D'après les résultats obtenus, on remarque que la valeur de la résilience des en céramique trempé dans l'eau et celle des carreaux sec sont relativement la même. La même remarque qu'on puisse tirer des résultats de test de résilience sur les carreaux en ciment dans les deux cas (sec et trempé dans l'eau).

Ce qui veut dire que les carrelage utilisé gardent leurs résiliences même si ils sont trempés dans l'eau.

### III.2.2. Essai de dureté

Les tests de dureté sont réalisés au moyen d'un duromètre universel disponible au niveau du hall technologie.



**Figure III.9 :** Duromètre universel.

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



**Figure III.10 :** Microscope optique.

**Procédure de l'essai :**

On a réalisé les essais par un duromètre sur des surfaces lisses des éprouvettes en céramique, avec une charge de 153 N, et un pénétrateur bille en diamant (essai C) de diamètre 2.5mm.apres 20 seconds d'application de la charge, on a lu le valeur de dureté de notre matériau. On a répéter l'opération pendant cinq essais .

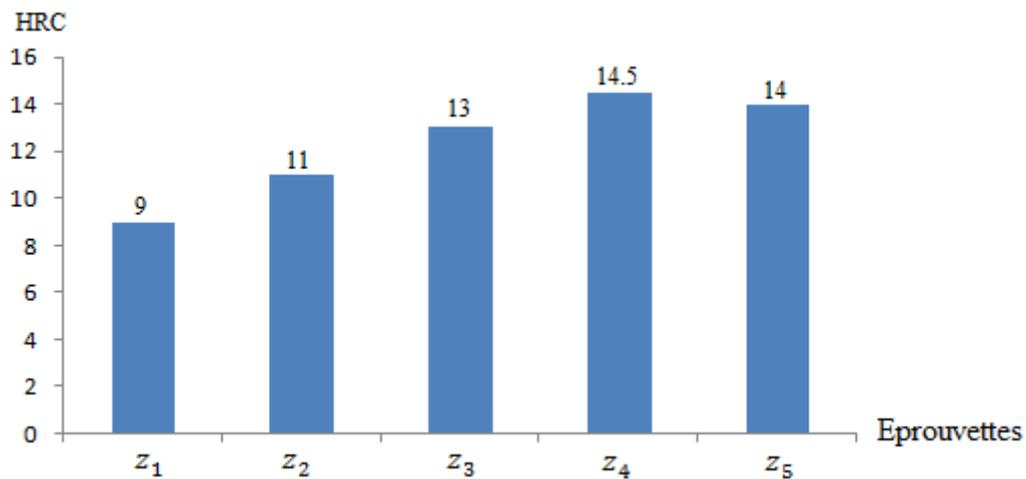
Ensuite, on a examiné une photographie l'empreinte de la bille par un microscope optique.

**Résultats obtenus :**

Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau et diagramme suivants :

**Tableau III.5 :** Dureté Rockwell des éprouvettes de carreau en céramique.

Force (N)	L'éprouvette	Dureté Rockwell HRC
153	$z_1$	9
153	$z_2$	11
153	$z_3$	13
153	$z_4$	14.5
153	$z_5$	14



**Figure. III.12 :** Dureté Rockwell des éprouvettes de carreau en céramique.

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

$$\bar{x} = \frac{1}{5} [9+11+13+14.5+14] = 12.3$$

Calcul de l'écart type :

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i^n (x_i - \bar{x})^2} = 2.04$$

La dureté Rockwell (HRC) de carreau en céramique est :

$$\text{HRC} = 12.3 \pm 2.04$$

L'empreinte de pénétration détectée :



Figure III.11 : L'empreinte de pénétration

### III.3. Détermination des matières premières des carreaux

Pour déterminer la composition chimique des carreaux étudiés, on a utilisé l'appareil de diffraction des rayons X (DRX) illustré par figure III.13 disponible à l'université de Bejaïa.

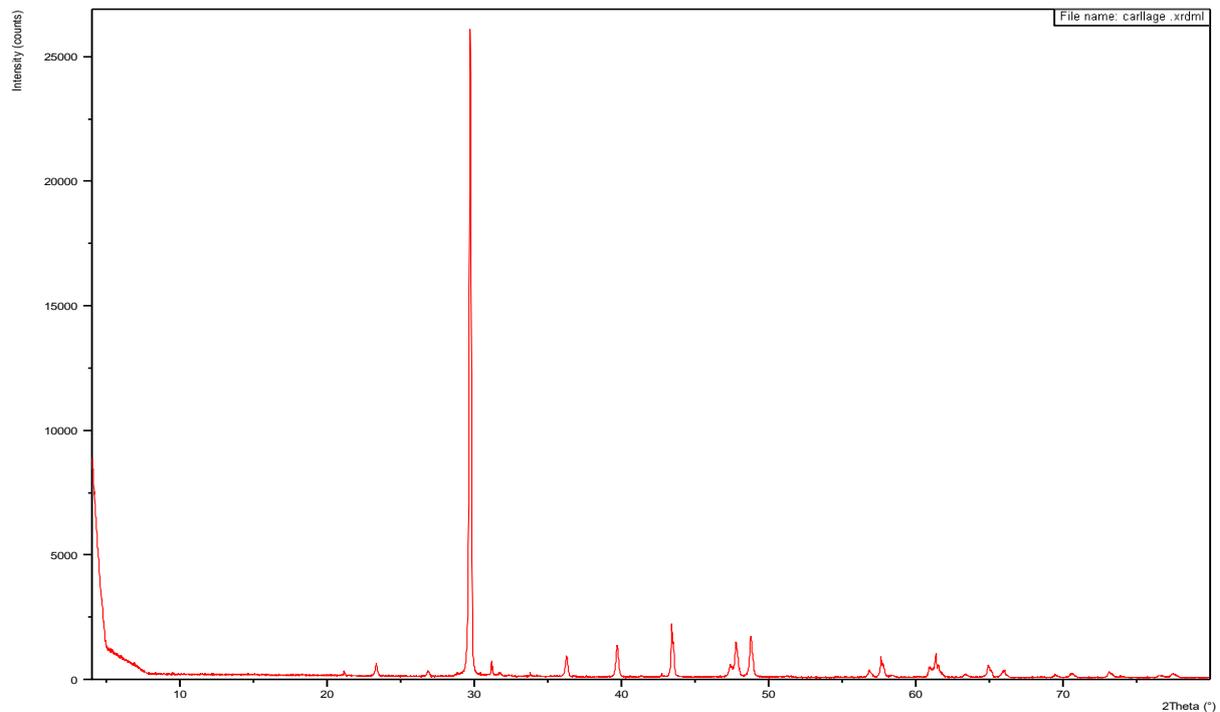


Figure II.13 : Appareil de mesure Philips PW 1710

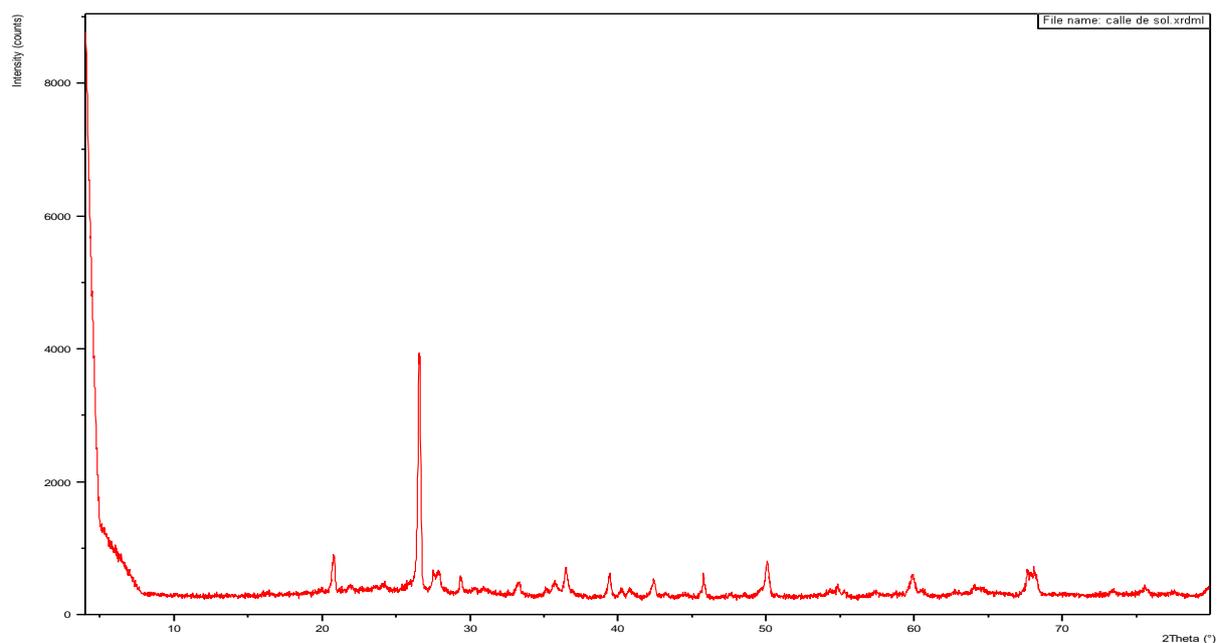
On a réduit nos échantillons en poudre pour être placé dans le porte échantillon de l'appareil.

### L'analyse à la DRX des poudres des carreaux :

Le diffractogramme donné par l'appareil DRX montré par les figures (III.14) et (III.15) qui correspond au carreau céramique et carreau en ciment respectivement.

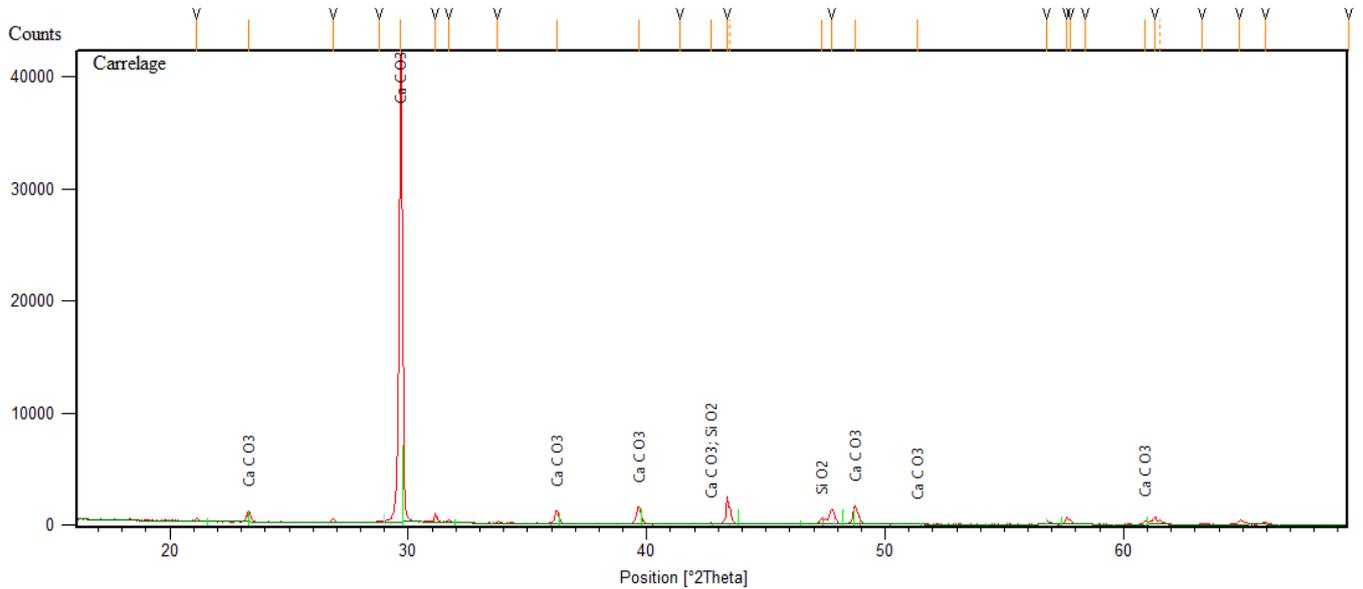


**Figure III.14 :** Spectre de diffraction X obtenu pour l'éprouvette en ciment

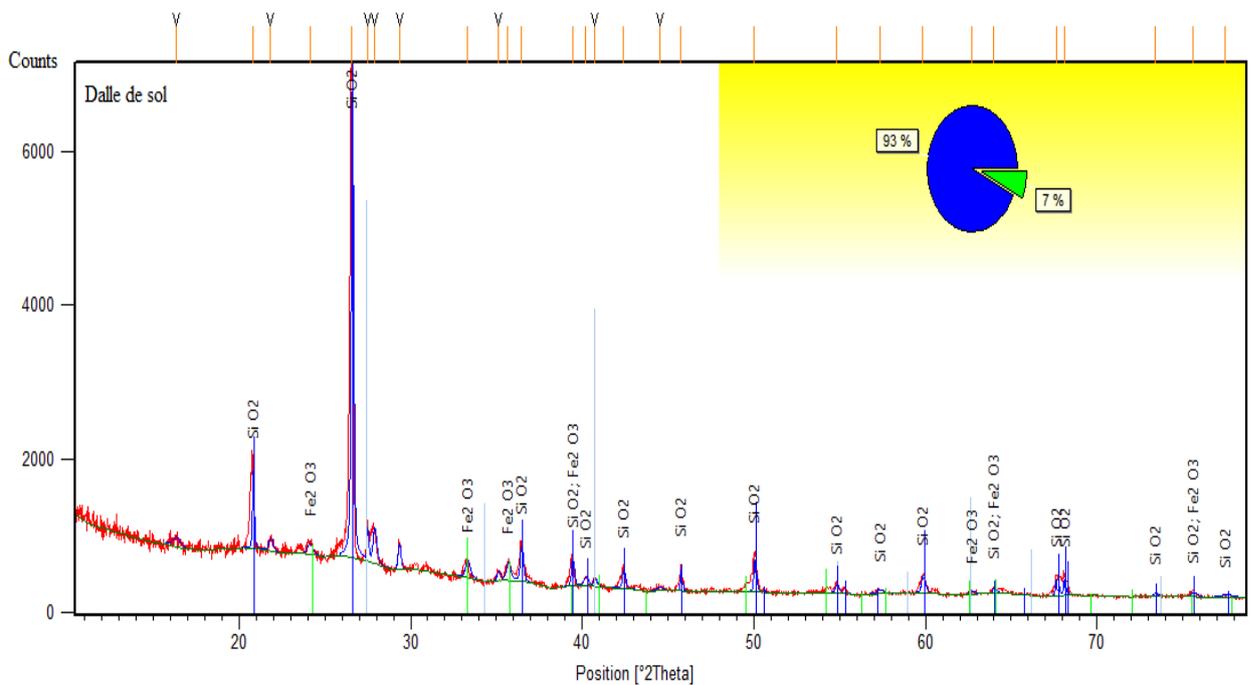


**Figure III.15 :** Spectre de diffraction X obtenu pour l'éprouvette en céramique

Diffractionogramme est analysé à l'aide d'un logiciel High Score équipé d'une base de données PDF 2 pour déterminer, les différentes phases présentes dans les échantillons en ciment et en céramique.les résultats de cette analyse sont données respectivement par les figures (III.16) et (III.17)



**Figure III.16 :** Identification de la poudre de céramique par Highscore muni de la base de données PDF 2



**Figure III.17 :** Identification de la poudre de carrelage en ciment par Highscore muni de la base de données PDF 2

Les résultats de la recherche de phase montrent que le carreau en ccéramique et le carreau en ciment analysés sont composés de deux phases cristallins mais de différentes types. Pour le Carreau en ciment est composé de Calcite-Synthetic de formule chimique  $\text{Ca CO}_3\text{-Si O}_2$ ; par contre pour le carreau en céramique est composé de Quartz Hematite-labradorite de la formule chimique  $\text{Si O}_2\text{-Fe}_2 \text{O}_3$ .

# *Conclusion générale*

### Conclusion générale

La matière première des céramiques est à base d'argile, transformés de façon permanente à partir de poudres consolidées (mise en forme) et sont densifiées par un traitement thermique (le frittage). Les principaux secteurs, qui sont définis par les produits céramiques fabriqués, notamment de tuiles, de briques, de pierres réfractaires, de grès ou de porcelaines, et de carrelages.

Le terme de carrelage désigne à l'origine l'action de poser des carreaux, puis, par métonymie, le résultat de cette action. L'utilisation des carrelages ont été mise en évidence depuis longtemps. Les carrelages sont des dalles minces faites d'argiles et/ou d'autres matières inorganiques et généralement utilisées pour recouvrir des sols et des murs. Les carrelages sont usuellement façonnés par coulage à barbotine, extrusion ou par pressage à sec à température ambiante, puis séchés et enfin cuits à des températures suffisantes pour développer les propriétés nécessaires.

Les propriétés caractéristiques des céramiques sont leur grande résistance mécanique, leur résistance à l'usure et leur longévité. Chimiquement inertes, elles sont non toxiques, résistent à la chaleur et au feu. Ils ont généralement des propriétés isolantes et parfois une porosité spécifique. 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 (dureté, résilience).

Dans notre étude, on a déterminé la résilience et la dureté de carrelage (carreaux en céramique et carreaux en ciment) sec et trempé dans l'eau pendant 24 heures et on a déterminé la matière première de nos éprouvettes avec DRX (détermination des rayons des X),

*Références  
bibliographiques*

## Bibliographies

- [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] J. DEJOU, « *Société Francophone de Biomatériaux Dentaires* », 2009-2010.
- [4] GALLAUZIAUX & FEDULLO, le carrelage de sol et mural.
- [5] «<https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Carrelage&oldid=146330588> ».
- [6] Mr. SAFI Brahim, « *Procédés et mise en forme des matériaux ; Les produits céramiques* », université Boumerdes
- [7] BOUSSAK Hassina, « *Effet de la température sur les performances des céramiques contenant la bentonite de Maghnia* » ; UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES ; 2014/2015
- [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]«<https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Essai de Flexion Par choc sur éprouvette Entaillée Charpy&oldid=137835247>»
- [13] MarcBlétry, « *Méthodes de caractérisation mécanique des matériaux* » ; 2006-2007
- [14] Taâmallah Ouahiba, « *Effet des traitements mécaniques de surface (TMS) sur l'érouissage et la ténacité d'un acier* » ; Université BADJI Mokhtar Annaba ; 2012
- [15] Sandrine Beauquis, Cécile Joulaud, Marc Lomello, Guillaume Poulet ; « *propriétés mécaniques des matériaux* »

[16] « [https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Essai\\_mécanique&oldid=147067041](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Essai_mécanique&oldid=147067041) » ;juin 2018

[17] «[https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Essai\\_de\\_compression&oldid=147693776](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Essai_de_compression&oldid=147693776) ».

[18] « <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Kaolinite&oldid=836093201> »

[19] « <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Feldspath&oldid=149250266> ».

[20]« [https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Mother\\_Lode\\_Gold\\_OreHarvard\\_mine\\_quartzgold\\_vein.jpg&oldid=282998222](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Mother_Lode_Gold_OreHarvard_mine_quartzgold_vein.jpg&oldid=282998222)»