

Chapitre 3 : Céramiques

3.1. Introduction

Les céramiques sont parmi les matériaux les plus anciens utilisés par l'homme. Leur nom provient du grec « Keramos » qui signifie matière cuite. Ce sont les matières premières les plus abondantes de la croûte terrestre et les matériaux les plus anciens utilisés par l'homme. Elles sont très dures, très rigides, résistent à la chaleur, à l'usure, aux agents chimiques et à la corrosion. Leur principal inconvénient est la fragilité.

3.2. Catégories de céramiques

On distingue deux catégories d'activités industrielles regroupant deux familles de matériaux céramiques.

- Les céramiques traditionnelles (conventionnelles)
- Les céramiques techniques (néo céramiques)

3.2.1. Céramiques traditionnelles

Sont en général des silicates ou des aluminosilicates issus de matière première naturelle à base d'argile (kaolin), de quartz (sable) et de feldspath. Le kaolin est un aluminosilicate hydraté. La silice, sous forme de quartz, reste à l'état de particules finement dispersées même après la cuisson. Le feldspath est un mélange d'aluminosilicates de sodium et de potassium. Ces composants étaient mélangés à raison de 25-30% de feldspath, 20-25% de Quartz et 50% de Kaolin.

Les céramiques traditionnelles peuvent se classer en différentes familles :

- les *terres cuites*, préparées entre 950 et 1050°C, (utilisations : tuiles, briques, conduits et tuyaux, poteries, ...)
- les *faïences* sont obtenues entre 950 et 1 100°C, (utilisations : équipements sanitaires, vaisselle, carreaux, ...)
- les *grès*, formés à partir de grains de sable enrobés d'argile, se préparent entre 1000 et 1300°C, (utilisations : carreaux de sol, tuyaux, équipements sanitaires, ...)
- les *porcelaines*, leur température d'élaboration se situe entre 1100 et 1500°C (utilisations : vaisselle, appareils de chimie, isolateurs électriques, ...).

3.2.2. Céramiques techniques

Ces céramiques sont souvent des composés binaires (Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 , B_4C) ou des composés binaires d'élément binaire (mullite ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$)). Les céramiques techniques peuvent être classées en plusieurs familles :

- 1- Les oxydes métalliques (Al_2O_3 , Cr_2O_3 , Fe_2O_3)
- 2- Les carbures (C, SiC, TiC, ...)
- 3- Les nitrures (AlN, Si_3N_4 , TiN.....)
- 4- Les borures (BaB_6 , CaB_6 , ZrB_2)
- 5- Les sulfures (BaS, MgS, TiS)
- 6- Les halogénures (CaF_2 , LiF)
- 7- Les composites (des matériaux renforcés avec des fibres ex: Composite SiC/SiC)
- 8- Les composés ternaires (ex : (pérovskite) $CaTiO_3$)

Les utilisations mécaniques et thermomécaniques des céramiques techniques s'adressent à différents domaines : mécanique (abrasifs, outils de coupe, pièces d'usure, parties chaudes de moteurs), industrie des réfractaires (fours, creusets, barrières thermiques), industrie nucléaire, secteur biomédical (prothèses de hanches ou dentaires...).

3.3. Etapes principales de la fabrication des céramiques

La fabrication de pièces céramiques est conduite en trois étapes successives :

- ✓ Une étape préliminaire de préparation et d'activation des poudres.
- ✓ Une étape de mise en forme de la pièce
- ✓ Une étape de finition et de contrôle

3.3.1. Préparation et activation des poudres

Cette étape débute par **broyage** d'une poudre de départ déjà synthétisé en vue d'obtenir des particules les plus fines possibles.

1. Attrition : broyage avec des billes d'acier ou d'alumine en milieu aqueux, sa durée peut varier de 3 à plus de 24h. Les ajouts de frittage sont incorporés à la poudre de départ pendant cette opération. Ce procédé permet d'obtenir des microcristaux (grain inférieur à 1 μ m).

2. Purification : élimination de la contamination en fer par lavage à l'acide chloridrique ou fluorhydrique.

3. Lavage et séchage : séchage par pressage permet d'obtenir des galettes et garantit l'homogénéité physique et chimique des particules. Les procédés sol-gel (hydrolyse), les procédés de coprécipitation et de lyophilisation, la pyrolyse et la décomposition sous laser permettent d'obtenir directement des poudres submicroniques de très bonne qualité à des prix plus réduit.

4. Liants organiques : une quantité de liants organiques est incorporée à cette poudre soit en milieu aqueux en fin de broyage (une suspension colloïdale très fluide (Barbotine)), soit par simple malaxage en phase humide après broyage et séchage (la poudre est ajoutée à une résine thermoplastique telle que polystyrène ou polyéthylène.).

3.3.2. Mise en forme :

Les poudres obtenues par atomisation sont adaptées aux techniques de pressage uniaxial ou isostatique en phase sèche.

3.3.2.1. Techniques de pressage :

•**Pressage uniaxial :** la pression est appliquée à la poudre atomisée par piston à simple ou à double action plongeant dans une matrice. On obtient un comprimé qui présente une cohésion suffisante pour être manipulé et transféré dans le four. Cette technique est utilisée pour la fabrication en grande série de pièces de forme simple.

•**Pressage isostatique :** Le pressage isostatique se fait pour des pièces plus complexes. La poudre est contenue dans un moule déformable (caoutchouc) et la pression est transmise par l'intermédiaire d'un liquide.

3.3.2.2. Techniques de moulage

A partir d'une pâte malléable plastique à forte densité de poudre céramique, des techniques d'**extrusion** à travers une filière ou d'**injection** dans un moule sont pratiquées à des températures comprises entre 80 et 150°C. Le polymère est ensuite éliminé par **exsudation** à basse température ou pyrolyse au moment du frottage. Ces procédés sont réservés à des pièces complexes de faible épaisseur (pièces de filtration).

3.3.2.3. Procédés de frittage

Le frittage est précédé d'une opération de **déliantage** de la pièce à cru ou la totalité des différents liants organiques sont évacués par pyrolyse soit par chauffage vers 600°C dans une étuve, soit directement lors du frittage (cuisson).

- **Frittage naturel**

Il s'agit d'un chauffage simple (cuisson) à haute température d'une poudre préalablement comprimée.

- **Frittage sous charge**

La poudre atomisée est simultanément compactée dans une matrice (pression uniaxiale) et chauffée pendant toute la durée du frittage. La compression isostatique à chaud permet de réduire encore la taille des défauts contenus dans le matériau.

- **Frittage réactif**

Ce procédé exploite des réactions chimiques partielles ou totales au sein d'un comprimé poreux porté à une température donnée. Il peut s'agir d'un mélange de poudre qui vont réagir entre elles ou d'une imprégnation des canaux poreux d'un comprimé par un gaz ou un liquide.

3.3.3. Finition et contrôles

La fiabilité et les performances des céramiques passent par des contrôles dimensionnels (rugosité) et microstructuraux (taille de grains, structure des joints de grains) ainsi par la détection des défauts éventuels (hétérogénéité de pressage ou de frittage, microfissure, impureté, écaillage).