

Master II

Module : Propriétés physiques et mécaniques des Céramiques

Objectifs de l'enseignement:

L'objectif de cet enseignement est de montrer aux étudiants comment les propriétés physiques, mécaniques et thermomécaniques des céramiques peuvent être contrôlées par la microstructure et comment celle-ci peut être modifiée pour les améliorer.

Contenu de la matière:

1. Propriétés mécaniques.
2. Matériaux pour la coupe, le forage et la tribologie.
3. Matériaux réfractaires.
4. Céramiques pour l'électronique.
5. Biocéramiques.
6. Céramiques nucléaires : combustibles, absorbants et matrices inertes.
7. Méthodes sol-gel et propriétés optiques.

Chapitre I : Généralités : Classification des matériaux céramiques

Chapitre II : Propriétés mécaniques des céramiques

Chapitre III : Propriétés physiques des céramiques

Chapitre IV : Applications des céramiques

I. GENERALITES : Classification des matériaux céramiques

1. DEFINITION D'UNE CERAMIQUE

Une céramique est un matériau de synthèse, ni organique ni métallique, dont l'élaboration fait appel à des traitements thermiques.

2. CHOIX DE LA CERAMIQUE

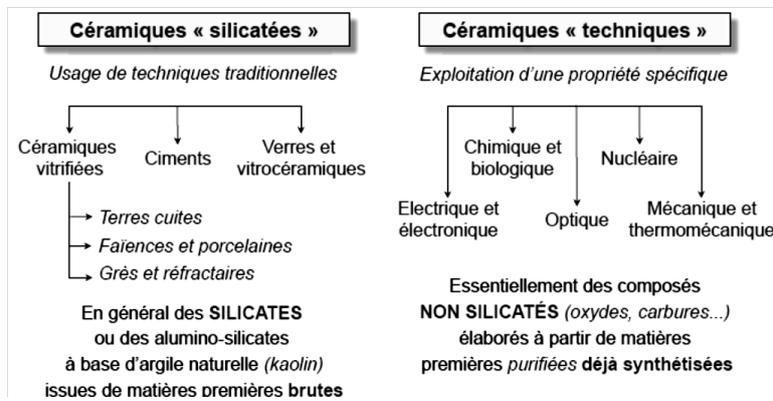
Le choix d'un matériau céramique face aux métaux ou aux plastiques s'impose lors de conditions d'utilisation extrêmes : température, pression, corrosion, et ce d'autant plus si ces conditions sont simultanées ou prolongées dans le temps.

Les propriétés typiques d'un matériau céramique présentent les avantages suivants :

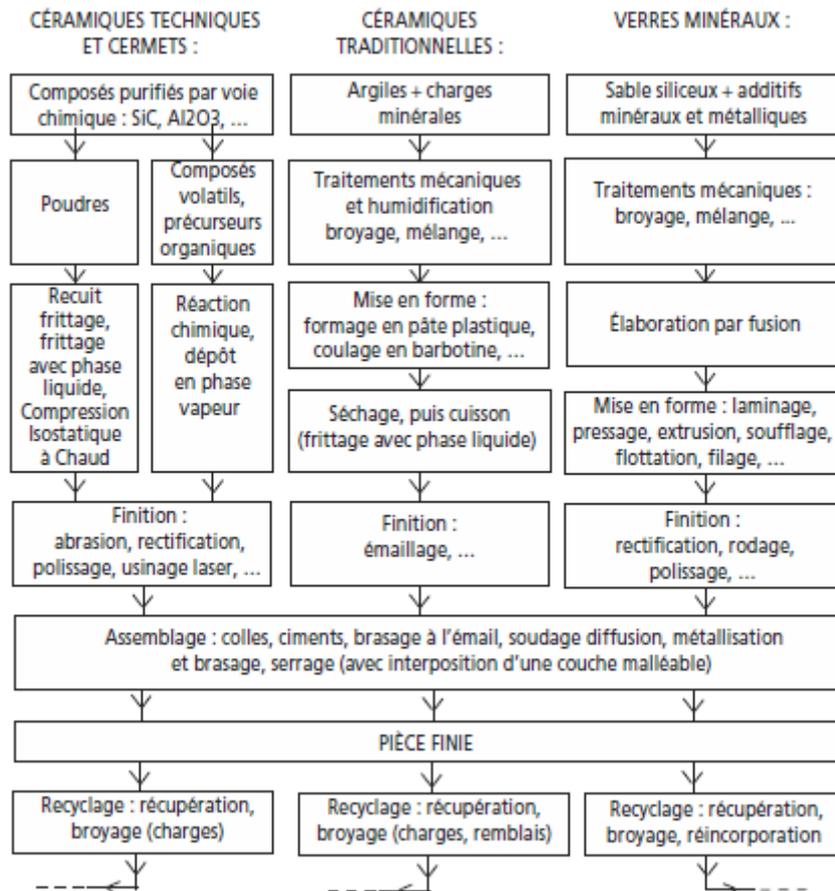
- Haute résistance à l'usure, à la chaleur, à la pression et aux attaques chimiques (gaz et liquides)
- Dureté élevée
- Très bon isolant électrique
- Matériau relativement léger

3. CLASSIFICATION DES CERAMIQUES

Le terme de céramique étant très large, il englobe une vaste gamme de matériaux :



Les principaux procédés de mise en œuvre des céramiques et des verres minéraux, sont exposés sur ce tableau



II. Propriétés mécaniques des céramiques

• Elasticité

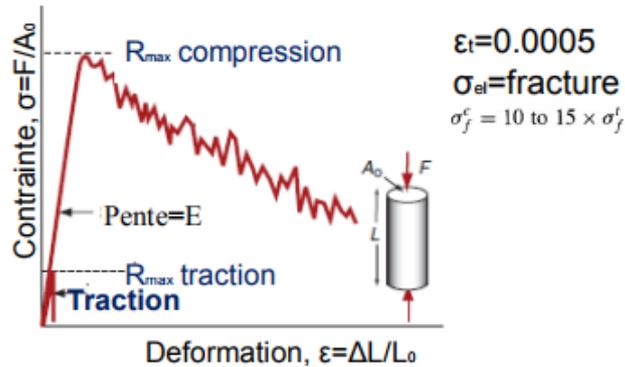
1. Définition

Elle concerne la déformation d'un matériau soumis à une force. Cette déformation est une déformation réversible, c'est-à-dire qu'elle disparaît quand ses causes (les contraintes) disparaissent.

2. Caractéristiques

La plupart des céramiques se brisent de manière fragile, ce qui signifie que la rupture se produit sans déformation plastique préalable. Les matériaux fragiles ont un comportement élastique jusqu'à la rupture, c'est à dire que la déformation (ϵ) est proportionnelle à la contrainte appliquée (σ).

a) En traction /compression



La déformation élastique des céramiques est exprimée par la loi de Hooke :

$$\sigma = E \epsilon$$

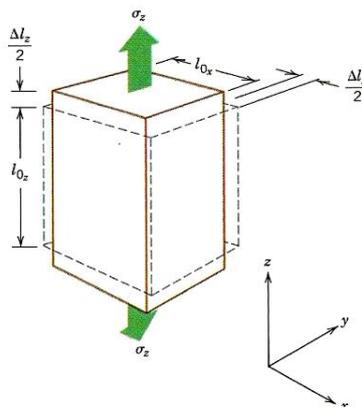
D'où :

- Contrainte : $\sigma = F/S_0$ [Pa = N/m²]
- (F = force appliquée [N], S₀ = section sur laquelle la contrainte est appliquée [m²]).
- Dilatation (déformation élastique) : $\epsilon = \Delta L/L_0$
- (L₀ = Longueur initiale de l'éprouvette [m], ΔL = allongement absolu en m).

NB. Cette loi est très simple mais ne correspond pas à la réalité.

$$\sigma_r = \frac{F}{S} ; \epsilon_r = \int_{L_0}^L \frac{dL}{L} \quad (\text{avec } S \text{ et } L \text{ variables instantanées})$$

b) Cas de déformations élastiques transversales



Le rapport entre déformations latérale et axiale est exprimé par :

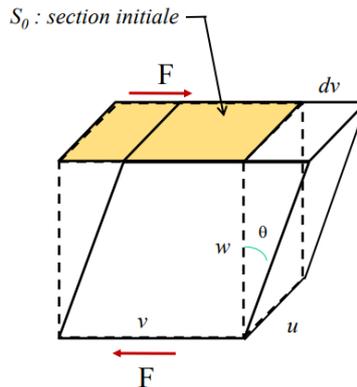
$$\nu = -\frac{\epsilon_x}{\epsilon_z} = -\frac{\epsilon_y}{\epsilon_z}$$

D'où ν : est le coefficient de Poisson.

Allongement axial $\epsilon_z = \Delta L_z / L_{0z}$

Rétrécissement latéral $\epsilon_x = \Delta L_x / L_{0x}$ $\epsilon_y = \Delta L_y / L_{0y}$

c) En cisaillement



La déformation élastique par cisaillement est définie par le module de rigidité :

$$\gamma = \frac{dv}{w}; \gamma = \tan(\theta)$$

Le cas de matériaux isotrope, la déformation est relié au module d'élasticité E et au coefficient de poisson ν , elle est donnée par :

$$\gamma = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

D'où γ : est le module de rigidité (pour le cisaillement).

3. Bilan

- ❖ Les céramiques ont un comportement fragile car elles n'ont pas la possibilité de se déformer de manière permanente = plastique (peu de dislocations, peu de plans de glissement).
- ❖ Le module d'élasticité dépend des liaisons interatomiques: plus ces liaisons sont fortes, plus le module est élevé.
- ❖ Dans certaines techniques de mise en forme (frittage), il est important de considérer le retour élastique (« Springback ») afin d'obtenir une pièce de la forme souhaitée.
- ❖ Les céramiques présentent un module d'élasticité très élevé.

$$(E_{\text{céramiques}} > (\text{ou} = 5 \text{ fois}) E_{\text{métaux}} > (\text{ou} = 100 \text{ fois}) E_{\text{polymères}})$$

Tableau. Module d'élasticité de différents matériaux

Matériau	Nylon	Fe	Alumine	Diamant (atomes de C)
E (GPa)	2.8	210	380	960

- ❖ Les céramiques sont constituées d'atomes légers (C, O, Si, Al) et présentent une structure cristalline souvent non compacte :

$$\rho_{\text{métaux}} > \rho_{\text{céramiques}} > \rho_{\text{polymères}}$$

- ❖ Les modules spécifiques des céramiques (raideurs spécifiques), sont donc très élevés :

$$(E/\rho)_{\text{céramiques}} \gg (E/\rho)_{\text{métaux}}$$

Cette propriété (raideurs spécifiques) fait que les céramiques constituent un matériau de choix, comme charge renforçante dans les composites.

Tableau. Modules spécifiques des céramiques vs autres matériaux

Matériaux	Polystyrène choc	Cuivre	Aciers	Alliages Aluminium	Alumine	Nitride de silicium	Carbure de silicium
E/ρ [Gpa]	2,12	12,30	27	26	100	98,44	132,26