

Céramiques

Historiquement : terres cuites ont été utilisées pour :

- la facilité de mise en œuvre : façonnage de la terre (poterie)
- leur dureté, leur résistance (carrelage, mosaïque de sol)
- leur résistance mécanique en compression (briques)
- leur résistances aux températures élevées : (fours, pots de cuisson)

-
- leur usage a été limité par leur fragilité
 - leur faible résistance aux chocs (faible résilience, faible tenacité)

des Céramiques peut classer selon leur application :

- Céramique traditionnelles ; a base de silice à usage : alimentaire, bâtiment, poterie, vaisselle, sanitaire, faïence, carrelage, briques, tuiles, porcelaines. ...
- Céramiques industrielles ou techniques
 - Céramique, diélectrique (isolants)
 - Céramiques réfractaires (thermiques)
 - Céramiques mécaniques : outil de coupe

Les céramique englobe deux types .

- matière première (plastique) :
argiles, Kaolin. Elles ont la propriété de donner avec l'eau une pâte plastique (façonnage, mouler)
- L'argiles : par nature colloïdale de ces particules en présence d'eau, contient aussi des constituants (éléments) tels que : silice, calcaire, des matériaux organiques.

Leurs structural : tétraédrique et octaédrique
reliés par leurs sommets.

L'argile est d'origine géologique (volcanique)

- Matière non-plastique, en pratique on utilise les fondants (K_2O ; Na_2O) qui donne une phase vitreuse.

• Préparation des pâtes céramiques.

- Extraction de la matière première

s'opère dans des mines ou des carrières
puis acheminée à l'usine

Etapes de fabrication d'un produit céramique

choix des matières premières

↓
concassage broyage

↓
Tamissage

↓
dosage

↓
homogénéisation

↓
malaxage

↓
façonnage

↓
Séchage

↓
Émaillage

↓
Cuisson

↓
Produit fini

en utilisant
les fondants
(alcalin: K_2O , Na_2O ,
 Li_2O_3 , MnO_3 , WO_3)

• Concassage et broyage : Il est nécessaire de rendre les matières en poudres de façon à obtenir un mélange homogène, qui aura une bonne aptitude au coulage, au compactage suivant le mode de moulage utilisé.

Le broyage des matières premières a pour but de faciliter :

- L'homogénéité : plus l'argile est divisée finement et répartie régulièrement dans le pâte liante, sera efficace.
- choix de la granulation : plus le temps de broyage sera long, plus le grain sera fin.

• Tamissage : ceux-ci sont classés en fonction de la grosseur de la maille.

Dans l'industrie en utilisant :

- les tamis à chocs : se sont des appareils à secoues horizontales
- les tamis vibrants.

- Dosage : c'est l'opération qui permet de couler les matières premières, réglable - effectuer par deux modes : dosage en volume et dosage en poids.

le 1^{er} mode est plus ancien (mortière humide)
le 2^{ème} mode vu sa haute précision.

~~• Mélange des matières premières~~

- L'homogénéisation : opération très importante dans le procédé de fabrication des produits céramiques.

- Malaxage : à pour but :

- le mélange, pour arriver à la pâte
- améliorer l'homogénéisation dans les pâtes
- chasser l'air introduite dans ces pâtes
- développer la plasticité de la pâte pour faciliter le façonnage.

- Façonnage : dépend des moules sur laquelle on réalise la pièce.

- Séchage: consiste à éliminer de l'eau.
les différents procédés utilisés sont:
 - séchage par ventilation
 - séchage par canalisation
- Cuisson: est une opération finale de la fabrication de produits céramiques et améliorer les propriétés physique (mécanique, -contrainte, force, ---)
- Emaillage: les principales techniques mise en oeuvre: aspersion; pistolage, trempage, poudrage.
 - aspersion: technique consiste à arroser les pièces manuellement ou mécaniquement (à l'aide d'un moteur)
 - pistolage: c'est-à-dire projeté sur la pièce à émailler par l'air comprimé au moyen d'un pistolet.

Exercice "Four cuit céramique"

Dans une usine, un four cuit des céramiques à la température de 1000°C .

À la fin de la cuisson, il est éteint et il refroidit.

On s'intéresse à la phase de refroidissement du four, qui débute dès l'instant où il est éteint. La température du four est exprimée ($^{\circ}\text{C}$)

La porte du four peut-être ouverte sans risque pour les céramiques dès que la température est inférieure à 70°C .

on note T_n : température en ($^{\circ}\text{C}$) du four au bout de n heures écoulées à partir de l'instant où il a été éteint. on a donc $T_0 = 1000$

La température T_n est calculer par l'algorithme suivant :

$$T \leftarrow 1000$$

pour i allant de 1 à n

$$T \leftarrow 0,88 \cdot T + 3,6$$

Fin



1. Déterminer la température du four, arrondie à l'unité au bout de 4 heures de refroidissement.
2. Démontrer que pour tout nombre entier n on a :
$$T_n = 980 \cdot 0,82^n + 20$$
3. Au bout de combien d'heures le four peut-il être ouvert sans risque pour les céramiques?

7

Dans cette partie on not t : temps en (heures)

Écoulé depuis l'instant où le four a été éteint

• la température du four $f(t) (^{\circ}\text{C})$ à l'instant t est donnée par :

$$f(t) = a e^{-\frac{t}{5}} + b \text{ où } a \text{ et } b \text{ sont deux nombres réels.}$$

On admet que la fonction f vérifie

$$\text{la relation : } f'(t) + \frac{1}{5}f(t) = 4$$

Déterminer

1°) a et b sachant qu'initialement, la température du four est de 1000°C

$$\text{c-a-d. } f(0) = 1000$$

2°) Combien de minutes le four peut-il être ouvert sans risque pour les céramique

$893 \overline{) 60}$
 $29 \overline{) 14}$
 $58 \overline{) 20}$
 1000

$\frac{1}{5}a + (a+b) = 4$
 $b = 20$

$f(0) = 1000$
 $f(0) = a + b = 1000$
 $f'(t) = -\frac{1}{5}a e^{-\frac{t}{5}} \rightarrow f'(0) = -\frac{1}{5}a$
 $f'(0) = -\frac{1}{5}a$
 $-\frac{1}{5}a + 1000 = 20$
 $a = 980$

$-\frac{1}{5}a + \frac{1}{5}(1000) = 4$
 $-a + 200 = 20$
 $a = 180$

solution:

1^o] D'après l'algorithme pour $n=4$:

$$T_0 = 1000$$

$$T_1 = 0,82T_0 + 3,6 = 0,82 \cdot 1000 + 3,6 = 823,6 \text{ arrondi } 824$$

$$T_2 = 0,82T_1 + 3,6 = 0,82 \cdot 824 + 3,6 = 678,952 \text{ " } 679$$

$$T_3 = 0,82T_2 + 3,6 = 0,82 \cdot 679 + 3,6 = 560,34064 \text{ " } 560$$

$$T_4 = 0,82T_3 + 3,6 = ~~463,0793~~ 0,82 \cdot 560 + 3,6 = 463,0793$$

arrondi:
463

Au bout de 4 heures de refroidissement
la température du four est: 463°C .

2^o] on a: $T_n = 980 \cdot 0,82^n + 20$

initiale: $T_0 = 1000$ et $T_0 = 980 \cdot 0,82^0 + 20 = 1000$

la propriété est vérifiée pour $n=0$

donc il faut démontrer que:

$$T_n = 980 \cdot 0,82^n + 20 \stackrel{?}{\Rightarrow} T_{n+1} = 980 \cdot 0,82^{n+1} + 20$$

or: d'après 1^o] on a:

$$T_{n+1} = 0,82 \cdot T_n + 3,6 = 0,82 \cdot (980 \cdot 0,82^n + 20) + 3,6$$

$$\Rightarrow T_{n+1} = 980 \cdot 0,82^{n+1} + 0,82 \cdot 20 + 3,6$$

$$\Rightarrow T_{n+1} = 980 \cdot 0,82^{n+1} + 16,4 + 3,6$$

$$\Rightarrow T_{n+1} = 980 \cdot 0,82^{n+1} + 20$$

3°) nombre d'heure nécessaire pour ouvrir la porte du four, sans risque. c-a-d.
déterminer le petit nombre n tel que $T_n < 70$

on a :

$$T_n < 70 \Rightarrow 980 \cdot 0,82^n + 20 < 70 \Rightarrow$$

$$0,82^n < \frac{50}{980} = \frac{5}{98} \Rightarrow \ln 0,82^n < \ln \frac{5}{98}$$

~~$$\Rightarrow n \cdot \ln 0,82 < \ln \frac{5}{98}$$~~

$$\Rightarrow n \ln 0,82 < \ln \frac{5}{98} \Rightarrow n < \frac{\ln(5/98)}{\ln(0,82)}$$

$$\Rightarrow n < 14,994$$

le plus petit nombre n tel que $T_n < 70$ est 15

c-a-d. au bout de 15 heures, on peut ouvrir, sans risque, la porte du four.

solution: $f(t) = a e^{-\frac{t}{5}} + b$ et f vérifie la relation: $f'(t) + \frac{1}{5} f(t) = 4$ et $f(0) = 1000$

① $f(0) = a + b = 1000$

② $f'(t) = -\frac{1}{5} a e^{-\frac{t}{5}}$ et $f'(0) = -\frac{1}{5} a$

③ $f'(0) + \frac{1}{5} f(0) = 4 \Rightarrow -\frac{1}{5} a + \frac{1}{5} (a + b) = 4$

$\Rightarrow b = 20$; ~~$a + b = 1000$~~ $f(0) = a + b = 1000$

d'où $a = 1000 - b = 1000 - 20 = 980$

donc: $f(t) = 980 \cdot e^{-\frac{t}{5}} + 20$

2°) $f(t) < 70 \Leftrightarrow 980 \cdot e^{-\frac{t}{5}} + 20 < 70$

$\Rightarrow e^{-\frac{t}{5}} < \frac{50}{980} \Rightarrow \ln(e^{-\frac{t}{5}}) < \ln \frac{50}{980}$

$-\frac{t}{5} \ln e < \ln \frac{50}{980} \Rightarrow -\frac{t}{5} < \ln \left(\frac{5}{98} \right)$

$\Rightarrow t > -5 \ln \left(\frac{5}{98} \right)$ comme t est en heure

donc il faut multiplier par 60

$-5 \ln \left(\frac{5}{98} \right) \cdot 60 = 892,789$ valeur arrondie à l'unité: 893

Au bout de 893 mn, on peut ouvrir la porte du four, sans risque.

Application des céramique dans les différents domaines

- Céramique réfractaires

Les réfractaires, c'est-à-dire les matériaux résistant à plus de 500°C .

Elles appliquent pour l'isolation thermique, la protection des pièces contre la chaleur.

On utilise les argiles (aluminosilicates) et (carbonate de calcium de magnésium $\text{Ca.Mg}(\text{CO}_3)_2$) extraite de la terre cuite.

Pour des produits de synthèse : essentiellement de l'alumine (Al_2O_3), du carbure de silicium (SiC), de magnésie (MgO) et du zircon (ZrSiO_4).

On peut utiliser les céramiques comme conducteur de chaleur (par exemple dans un échangeur thermique).

Il présente une bonne conductivité thermique et meilleur conducteur (SiC).

Les céramiques doivent résister à leur environnement



Fourneau électrique
garni de briques
réfractaires



Fourneau pour
tester la résistance
au feu.
(garnissage réfractaire)

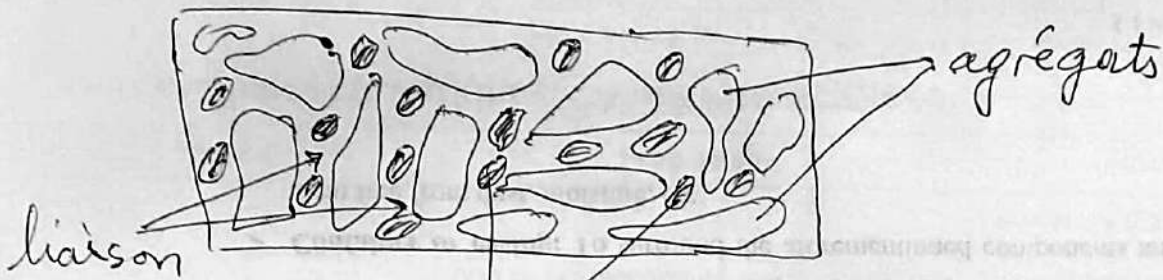
- Céramiques électrotechniques.

L'électrotechnique représente une des principales utilisations des céramiques en volume.

Les céramiques sont utilisées comme isolants électriques.

Les céramiques sont conservées :

- ~~pas~~ aux basses tensions
- aux hautes tensions.



additifs
 matériau réfractaire
 des agrégats
 $\frac{2}{3}$
 granulométrie grossière

une matrice
 $\frac{1}{3}$
 granulométrie fine

plusieurs minéraux
 incluant les caractéristiques
 principales

des additifs fine
 ou ultra-fines
 renforçant
 liaisons;
 assure la cohésion
 +
 porosité ouvert.

agrégats (do, io, jo, v, sh)

@ = (16)



Isolateur utilisé pour la tendre des câbles



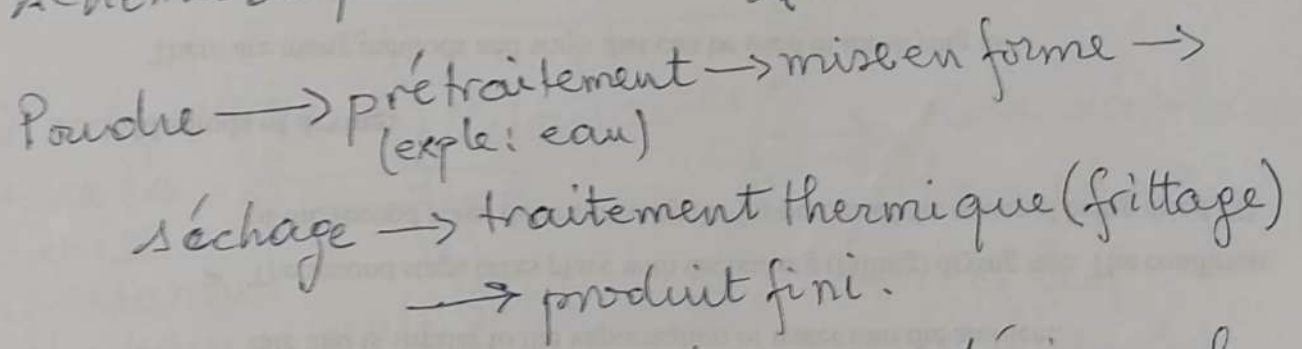
Isolateur électrique

qui sont fabriquer:
la stéatite et de l'alumine

Elaboration des céramiques par frittage
familles des matériaux.

Famille de céramiques	1 ^{ère} étape	2 ^{ème} étape	3 ^{ème} étape
① Céramiques - traditionnelles ou conventionnelles (poteries)	Poudre	Mise en forme	Traitement thermique
verres	Poudre	Traitement thermique	Mise en forme
liants minéraux (ciment, plâtre...)	Traitement thermique	Poudre	Mise en forme

schéma de fabrication:



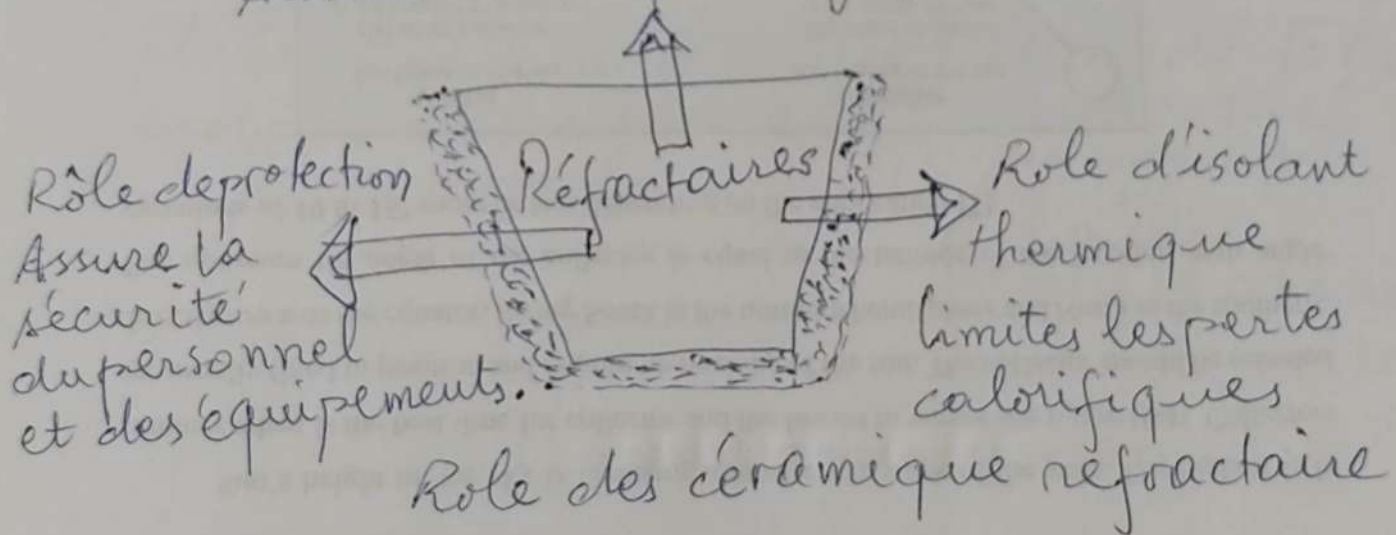
But de frittage est d'avoir un matériau plus compact et éliminer par ^{la} vapeur (eau, ...) et avoir une densification: (voir 5)

Les paramètres importants qui contrôlent le processus de frittage sont:

- la température et la vitesse de chauffe
- le temps.
- la taille des particules de poudre
- la composition des poudres
- la pression appliquée.

Rôle de contenant (récipient ou conduite)

Maintenir des charges à une température donnée sans altérer la quantité.
Assurer le transfert de gaz ou de liquide chauds



* Conception et microstructure d'un réfractaire à haute teneur en alumine

matériaux neutres et inertes fait qu'elle ne présentent pas de danger pour l'homme et pour la nature. On les utilise d'ailleurs largement pour les équipements sanitaires, médicaux ou alimentaires

Les principales céramiques ~~modifier, modifier, modifier~~

Produit	Propriétés	Utilisations
alumine (oxyde d'aluminium Al_2O_3) (1)	bonne tenue mécanique aux températures élevées, bonne conductivité thermique, grande résistivité électrique, grande dureté, bonne résistance à l'usure, inertie chimique	isolateurs électriques, supports d'éléments chauffants, protections thermiques, éléments de broyage, composants mécaniques, bagues d'étanchéité, prothèses dentaires, composants de robinetterie
borure d'aluminium AlB_2		renforcement des composites métalliques
carbure de bore B_4C		blindages de chars d'assaut et d'hélicoptères
carbure de silicium ou carborundum SiC (2)	grande dureté, bonne résistance aux chocs thermiques, grande conductivité thermique, faible dilatation thermique, excellente inertie chimique	réfractaires, résistances chauffantes, outils de coupe, pièces de frottement, joints d'étanchéité des pompes à eau, support de catalyseur, abrasifs
carbure de tungstène		Pièces d'usure, outils de coupe, guide-fils, glaces de joints d'étanchéité
cordiérite (silicate alumineux ferromagnésien)	bonne résistance aux chocs thermiques, bonne conductivité thermique	isolants électriques, échangeurs thermiques, éléments chauffants
mullite $Al_6Si_2O_{13}$ (3)	bonne résistance aux chocs thermiques, conductivité thermique faible, résistivité électrique importante	produits réfractaires.
nitruure d'aluminium AlN (4)	conductivité thermique élevée, bonne résistance électrique, transparent aux longueurs d'onde du visible et de l'infrarouge	circuits imprimés, colonnes thermiques, fenêtres pour radar, creusets pour la fonderie
nitruure de bore NB	haute conductivité thermique, faible dilatation thermique, excellente résistance aux chocs thermiques, haute résistance diélectrique, faible constante diélectrique, inerte chimiquement, transparent aux micro-ondes, facilement usinable	isolants électriques à très hautes températures, creusets pour la fonderie, garnitures de fours, gaines de thermocouples, supports de résistances, lubrifiant à haute température.
nitruure de silicium	grande dureté, bonne résistance à l'usure et à l'abrasion, bonne inertie chimique, bonne résistance aux chocs thermiques. Il existe deux types de nitruure de silicium : II	poudres abrasives, outils de coupe, réfractaires pour la sidérurgie, billes de

Si_3N_4	par nitruration de poudre de silicium comprimée ou par pressage de la poudre de nitrure de silicium à température élevée (frittage)	roulements, bagues d'étanchéité pour le moulage des métaux, soupapes de moteurs
oxyde magnétique de fer Fe_3O_4		transformateurs, selfs, stockage magnétique des données
oxyde de magnésium MgO	résistance aux métaux fondus, bonne résistance mécanique	traitement des matériaux piézoélectriques, réfractaires, composants optiques
oxyde d'uranium UO_2		combustible dans les réacteurs nucléaires
oxyde de zinc ZnO		utilisé dans les diodes pour ses propriétés électriques, voir l'annexe
pérovskites vaste famille de matériaux cristallins de formule $(A)(B)O_3$ comme $BaTiO_3$, $CaTiO_3$, $SrTiO_3$ ou $(PbSr)TiO_3$, $Pb(Zr_{0.5}Ti_{0.5})O_3$		diélectriques pour la fabrication de condensateurs multicouches, thermistances, transducteurs piézoélectriques
sialon solution solide de nitrure de silicium, de nitrure d'aluminium et de d'oxyde d'aluminium		
silicates d'aluminium (argiles)		* céramiques du bâtiment, briques, tuiles, carreaux, éviers, bacs à douches, cuvette de WC, tuyaux <ul style="list-style-type: none"> • céramiques des arts de la table, terre cuite, faïence, grès, porcelaine, assiettes, bois, plats • céramiques artistiques, sculptures, terre cuites, vases, lampes
stéatite (silicate de magnésium $(SiO_4)Mg_2$)	bonne résistivité électrique	isolants électriques
	excellentes propriétés mécaniques aux températures élevées, conductivité thermique faible à température ambiante, conducteur électrique à $T > 1.000^{\circ}C$.	

