

# Il était une fois la céramique

## Généralités sur les céramiques et historique

Marie-Eline COUTURIER

Société Française de Céramique

# Qu'est-ce qu'une céramique ?

- ✓ Un mélange minéral mis en forme en cru puis cuit à la température nécessaire et suffisante
- ✓ Un article ayant un corps vitrifié ou non, de structure cristalline ou partiellement cristalline, ou de verre, dont le corps est formé de substances essentiellement inorganiques et non métalliques, et qui est formé par une masse en fusion qui se solidifie en se refroidissant, ou qui est formé et porté à maturité, en même temps ou ultérieurement, par l'action de la chaleur.

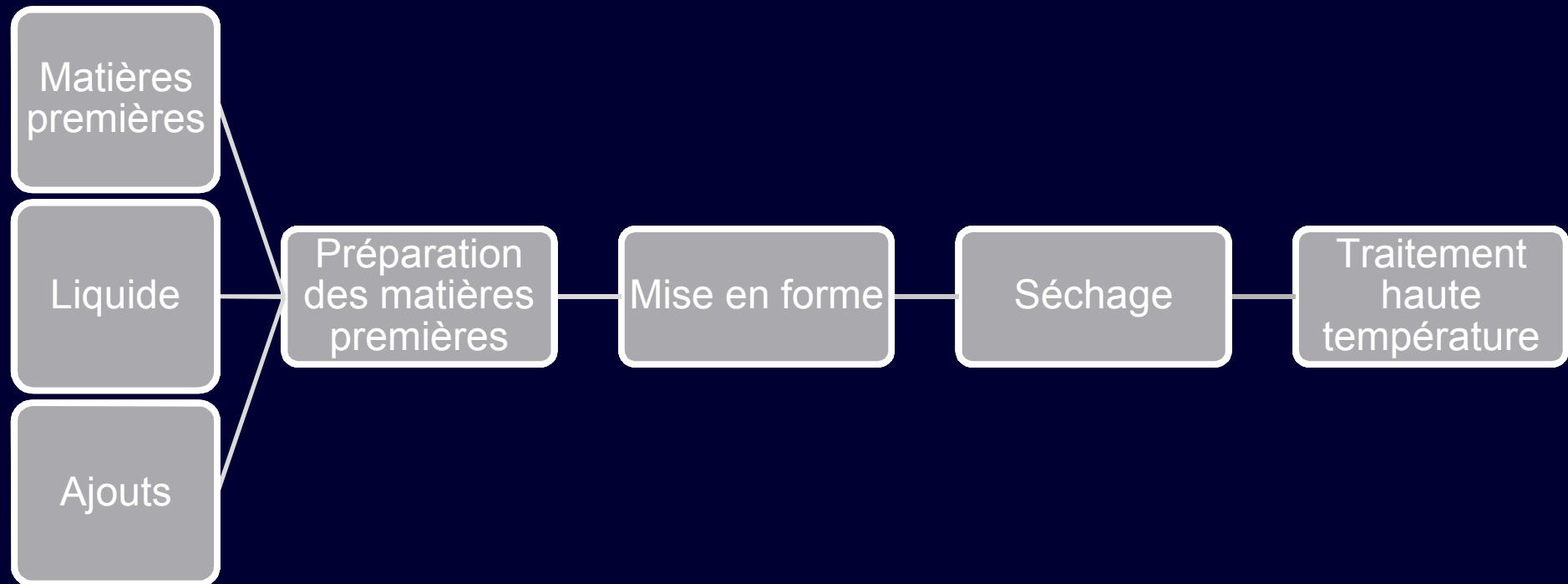
# LA FABRICATION DES CÉRAMIQUES

*GN-MEBA - 6 et 7 juin 2013*



*Société Française de Céramique*

# Elaboration de produits céramiques



# Préparation des matières premières

**But :** modifier les caractéristiques physique et/ou chimique d'une poudre

Broyage

Dispersion

Granulation



Barbotine

Pâte plastique

Poudre

# Préparation des matières premières : le broyage

Rupture par impact

Usure par frottement (attrition)

Taille moyenne finale :

- Technique utilisée
- Caractéristiques des corps broyants
- Temps
- Milieu
- Rapport de charge

# Préparation des matières premières : la granulation

Formation d'agglomérats sphériques de taille voisine

Bonne caractéristique de coulabilité

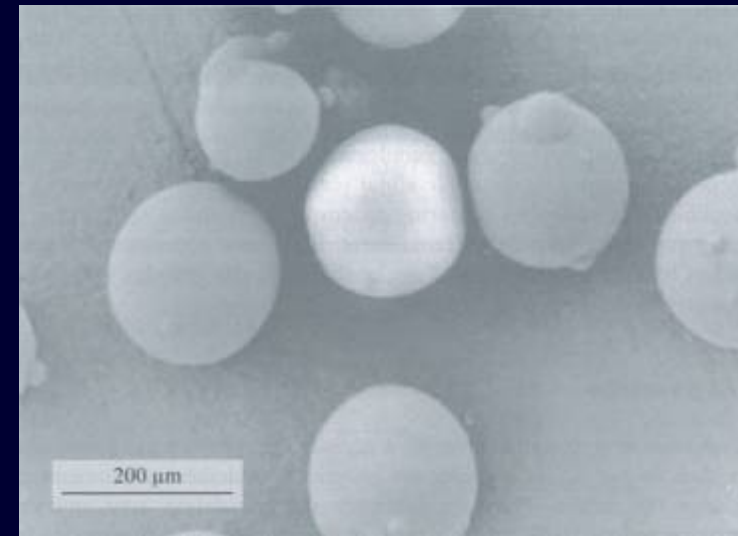
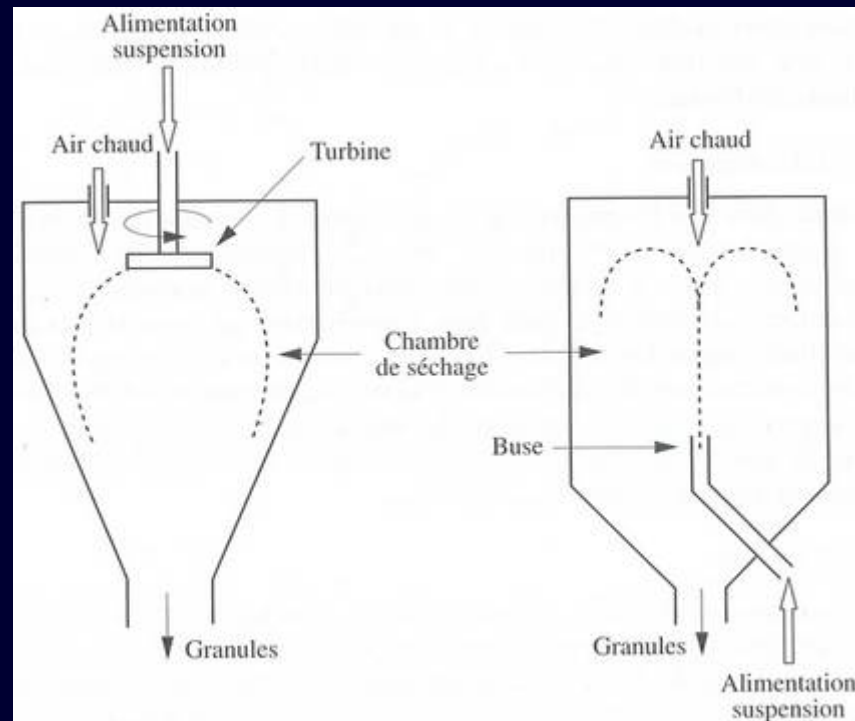
Réactivité adaptée au frittage

Granulation  Atomisation

# Préparation des matières premières : granulation par atomisation

Pulvérisation d'une suspension sous forme de gouttelettes dans un courant d'air chaud

- Granules sphériques de 50 à 500  $\mu\text{m}$  de diamètre
- Surface externe lisse



# Préparation des matières premières : la dispersion

**But** : obtenir un système homogène et stable de particules élémentaires dans un liquide suspensif de viscosité plus élevée

Trois étapes :

- > Le mouillage de la surface de la poudre par le liquide
- > La désagglomération
- > La stabilisation de l'état de dispersion

# Les procédés de mise en forme

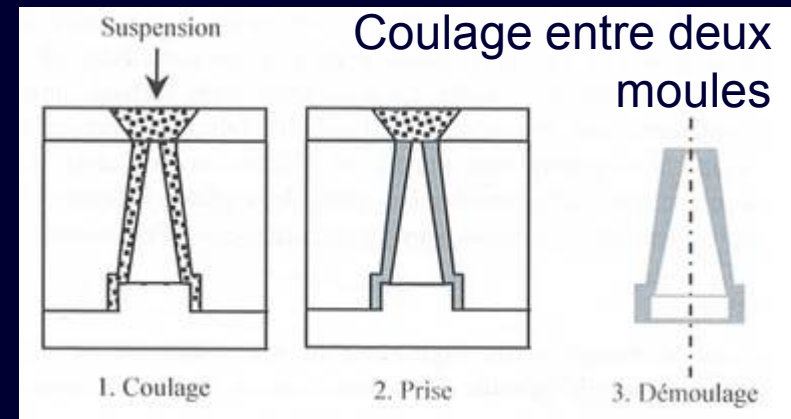
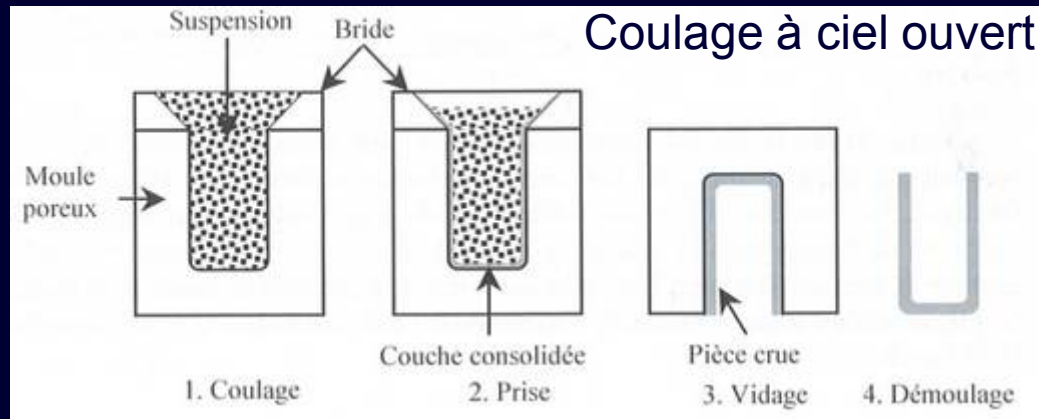
- Le coulage
- Coulage en bande
- Le pressage
- Extrusion
- Injection
- Stéréolithographie

# Les procédés de mise en forme : le coulage

Barbotine (eau : 25 à 35 % d'eau)

Suspension dans un moule poreux (plâtre)

Formes complexes (théière, lavabo, support 3D)

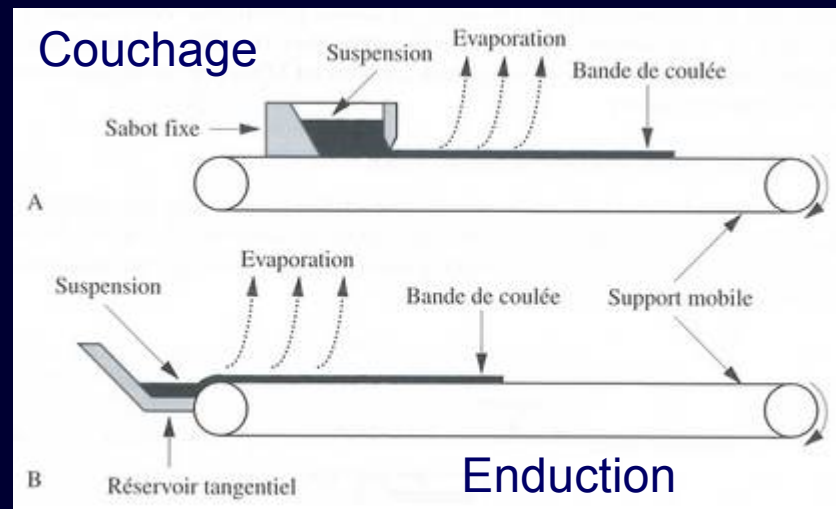


# Les procédés de mise en forme : le coulage en bande

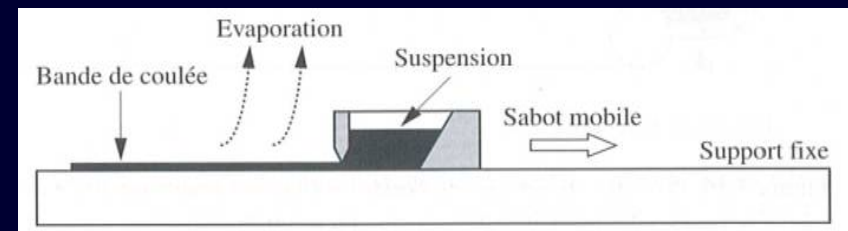
Suspension de poudre + constituants organiques

Suspension déposée sur un support + évaporation

Feuillets céramiques de faible épaisseur (25 à 1000  $\mu\text{m}$ )



Coulage continu



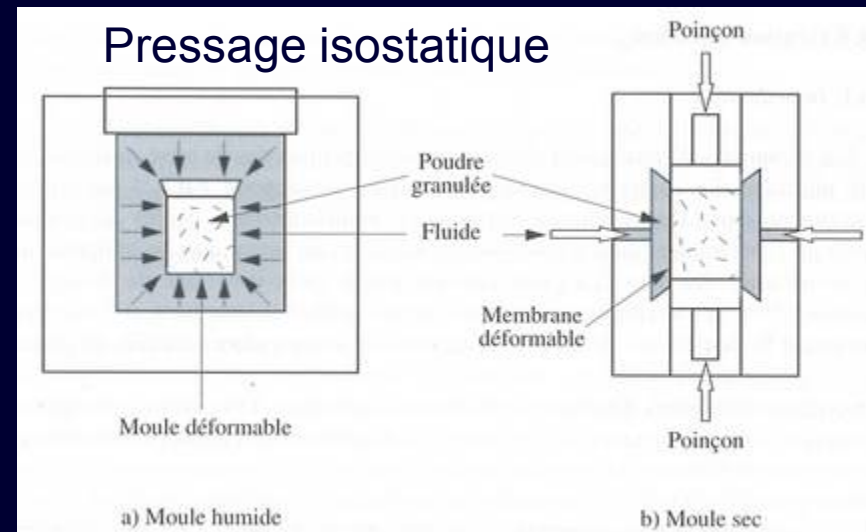
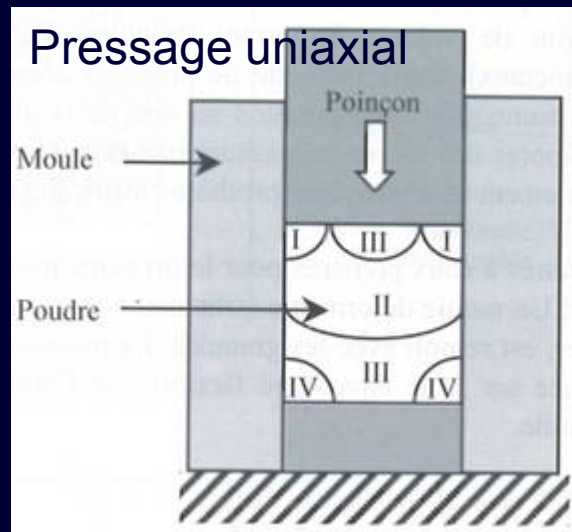
Coulage non-continu

# Les procédés de mise en forme : le pressage

Compaction d'une poudre ou de granules dans un moule  
(eau : 6 %)

- Matrice rigide : pressage uniaxial
- Moule flexible : pressage isostatique

Forme géométrique simple (carreau, soucoupe, assiette plate)

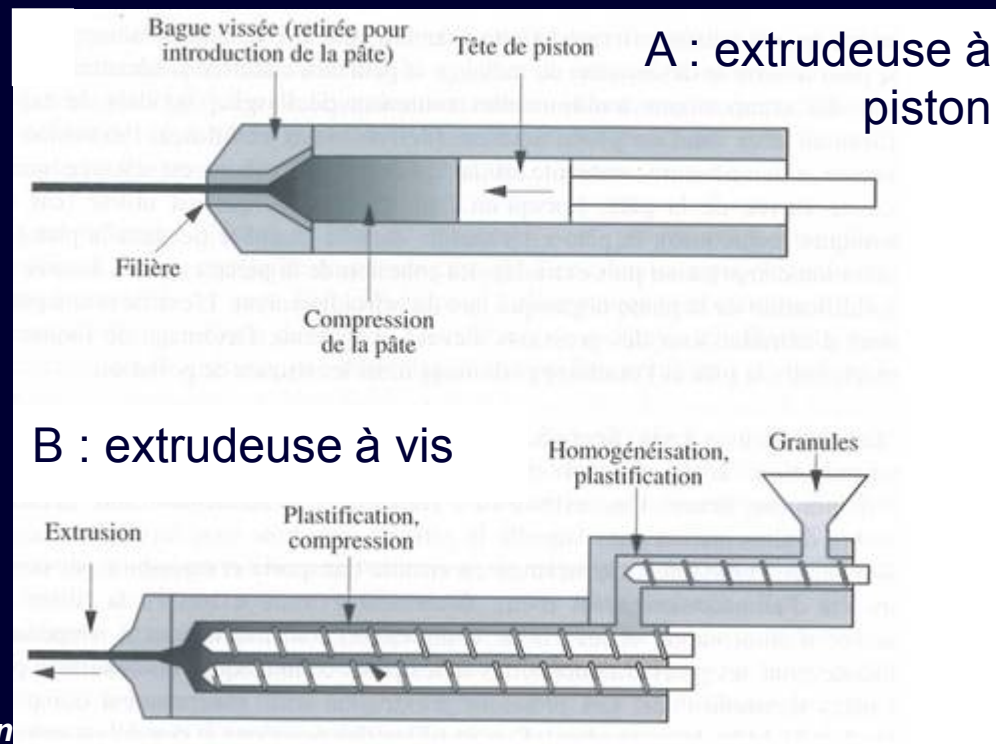


# Les procédés de mise en forme : l'extrusion

Mise en forme par voie plastique (eau : 15 à 25 %)

Passage à travers une filière

Forme extrudable (brique creuse)

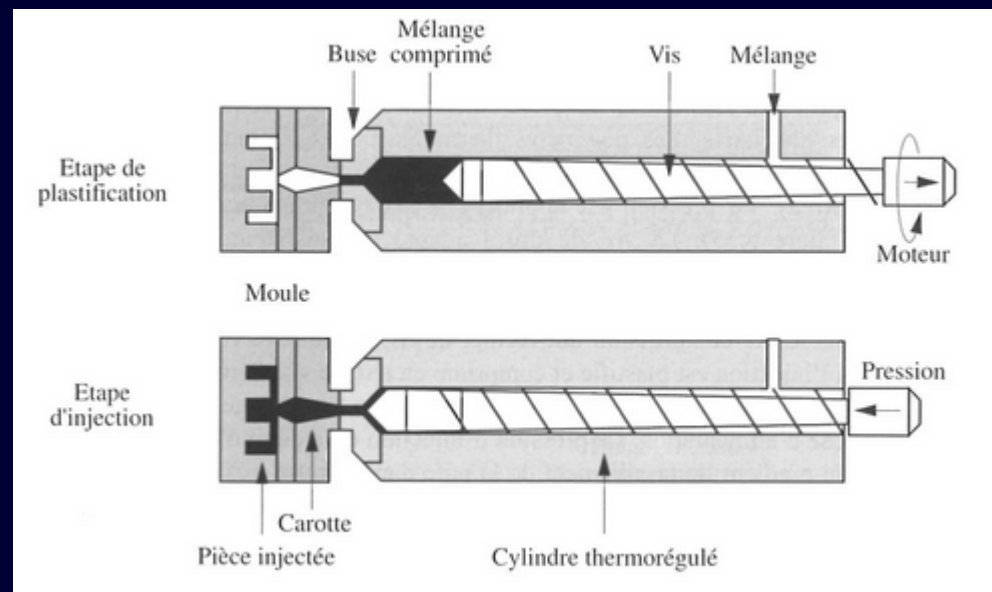


# Les procédés de mise en forme : l'injection

Mise en forme par voie plastique (eau : 15 à 25 %)

Mélange plastique forcé dans la cavité d'un moule

Formes géométriques complexe : guide-fils, boîtiers, soupapes, busettes

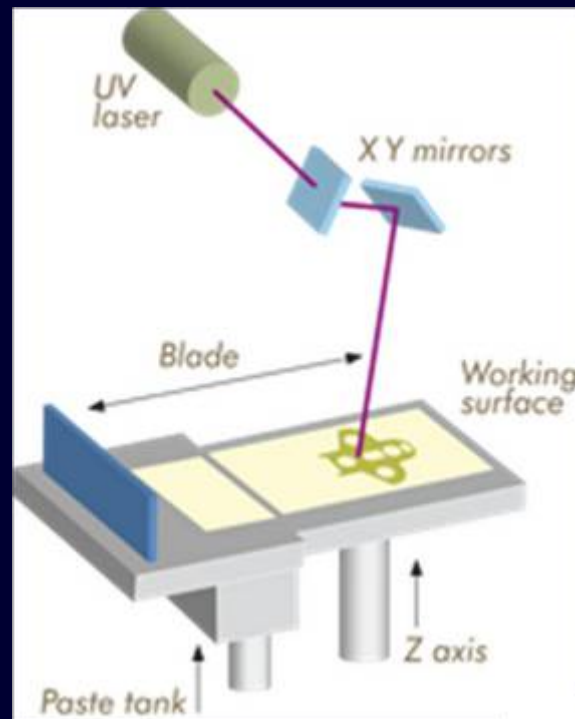


# Les procédés de mise en forme : la stéréolithographie

Pâte composée de résine photosensible et de céramique

Polymérisation de la pâte avec un laser

Formes simples et complexes



# Le séchage

## Départ des auxiliaires organiques

### Départ de l'eau :

- > Eau interstitielle ou eau libre : qui remplit les espaces libres entre les pores ou les particules
  - Entre 100 et 200 °C
  - Retrait
- > Eau d'adsorption : molécules d'eau polaires retenues par attraction résiduelle à la surface du minéral
  - Entre 20 et 200 °C
  - Phénomène réversible
- > Eau zéolitique : eau insérée dans les feuillets ou les cavités de la structure cristalline
  - Pas de modification de la structure cristalline
  - Pas de retrait

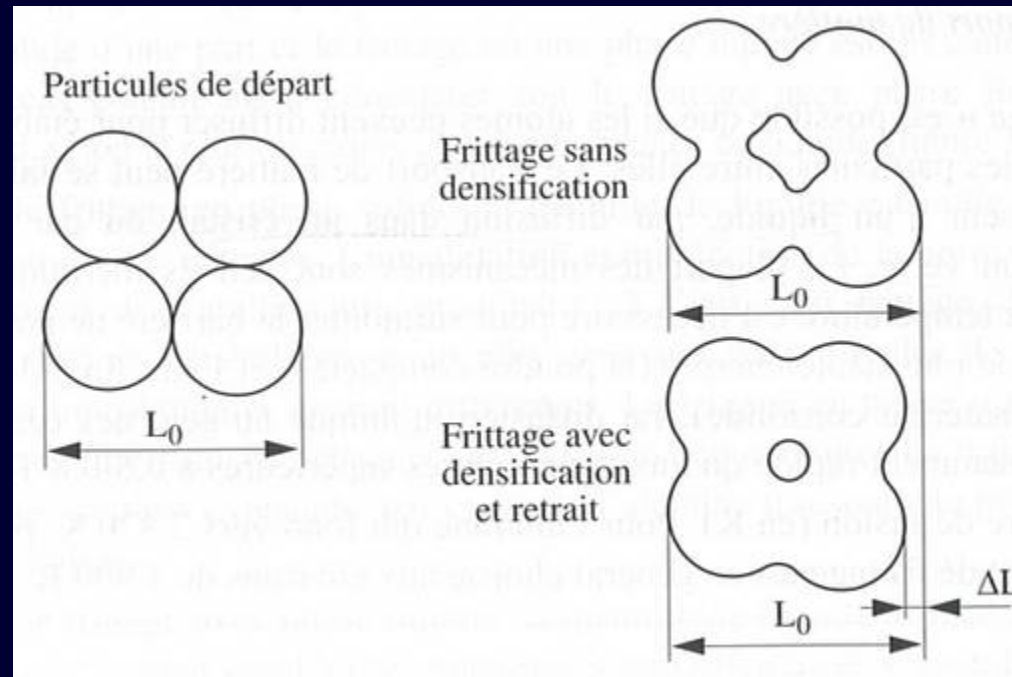
# Traitement haute température

Départ de l'eau :

- > Eau de constitution : libération des hydroxyles appartenant au réseau

- Destruction de la structure cristalline
- Phénomène irréversible

Frittage :



# Traitement haute température : les transformations physico-chimiques

## Décompositions (entre 450 °C et 800 °C) :

Matière argileuse  Métakaolinite  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$

Calcaires, dolomie, sulfate de calcium

Matières organiques  Dégagement de  $\text{CO}_2$

# Traitement haute température : les transformations physico-chimiques

## Recompositions (entre 600 °C et 1000 °C) :

Formation d'aluminosilicates de fer

Formation de silicates et d'aluminosilicates de magnésium



# Traitement haute température : les transformations physico-chimiques

## Fusions et cristallisations (> 750 °C) :

750 °C – 800 °C : débuts de fusion  formation du tesson  
porosité ouverte résiduelle  
retrait du tesson

1000 °C – 1300°C : augmentation du processus de fusion

Cristallisations : formation de mullite

# LES 2 GRANDES FAMILLES DE CÉRAMIQUES

*GN-MEBA - 6 et 7 juin 2013*



*Société Française de Céramique*

# Propriétés générales de la céramique

- Absence de ductilité et de plasticité
- Faible ténacité
- Médiocre résistance aux chocs mécaniques
- Vulnérabilité aux chocs thermiques
- Résistance mécanique en traction < en compression

Propriétés :

- Matières premières
- Méthode de fabrication

# Les deux grandes familles de céramiques

Les céramiques traditionnelles : fabrication à partir d'argiles

Les céramiques techniques : nouvelles propriétés

# LES 2 GRANDES FAMILLES DE CÉRAMIQUES

Les céramiques traditionnelles

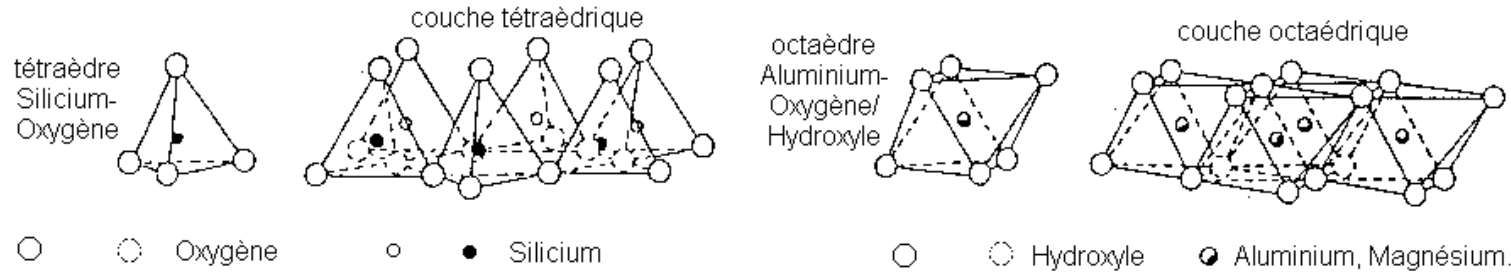
# Les céramiques traditionnelles : quelques applications

- Terres cuites : briques, tuiles, ...
- Carrelages
- Sanitaires
- Vaisselle : grès, faïence, porcelaine, vitreous

# Les céramiques traditionnelles : les principales matières premières

- Les argiles
- Les feldspaths
- La silice

# Les céramiques traditionnelles : les argiles



**KAOLINITE**  $Al_2O_3 \cdot 2 SiO_2 \cdot 2 H_2O$

couche octaédrique  
couche tétraédrique

distance inter-réticulaire: 7 Å

**ILLITE**  $K Al_2(OH)_2 \cdot (Al Si_3(O, OH)_{10})$

substitution de Si par Al

$K^+ OH^- K^+$

$K^+ K^+$

$K^+ K^+ Fe/Mg$

distance 10 Å

**SMECTITES**  $2 Al_2O_3 \cdot 8 SiO_2 \cdot 2 H_2O \cdot n H_2O$   
(Montmorillonite)  $(Mg, Ca) O \cdot Al_2O_3 \cdot 5 SiO_2 \cdot n H_2O$

substitution de Al par Mg et Fe

$H_2O H_2O H_2O$

$H_2O H_2O Ca/Na$

$H_2O Ca/Na H_2O$

distance 14 Å  
gonfle à 17 Å

**CHLORITE**  $Mg_5(Al, Fe)(OH)_8 (Al, Si)_4 O_{10}$

substitution de Al par Fe

couche Mg-OH

$x x x x x x x x$

$x x x x x x x x$

$x x x x x x x x$

distance 14 Å



# Les céramiques traditionnelles : les feldspaths

- Orthose :  $K_2O \ Al_2O_3 \ 6SiO_2$  (fondant)
- Albite :  $Na_2O \ Al_2O_3 \ 6SiO_2$  (fondant)
- Anorthite :  $CaO \ Al_2O_3 \ 2SiO_2$  (substitut à la craie)
- Pétalite :  $Li_2O \ Al_2O_3 \ 8SiO_2$  (coefficient de dilatation négatif)

# Les céramiques traditionnelles : la silice

- Silice cristallisée : quartz, cristobalite, tridymite
- Silice amorphe : opale, galet de mer
- Sable : 95 à 100 % de quartz
- Réaction avec les fondants
- Propriétés de la céramique conditionnées par la forme de la silice

# Les céramiques traditionnelles :

## classification générale des produits traditionnels

Matériau	Produit	Cuisson	Fondant	Mise en forme	Couleur	Point clé
Faïence	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carrelage (mur)</li> <li>• Vaisselle</li> </ul>	1100 °C	CaO / MgO	Coulage Pressage	Claire	Accord tesson / émail
Vitréous	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Appareils sanitaires</li> </ul>	1250 °C	Na <sub>2</sub> O	Coulage	Blanche	Rhéologie Granulométrie

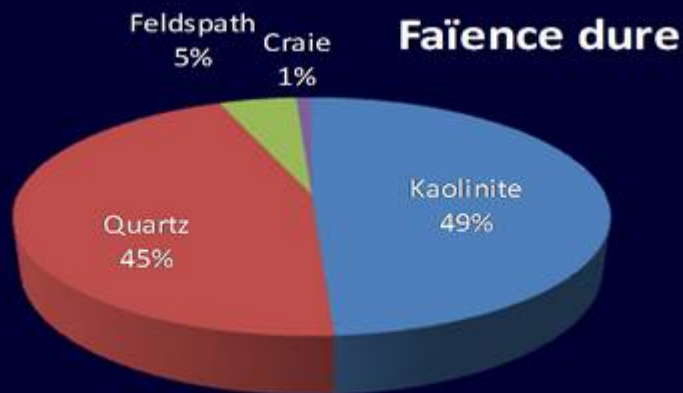
# Les céramiques traditionnelles :

## les différentes familles de céramiques conventionnelles

### Poteries communes et stannifères



- Porosité ouverte > 5%
- Tesson : Hétérogène avec inclusions
- Couleur : colorée
- Translucidité : non

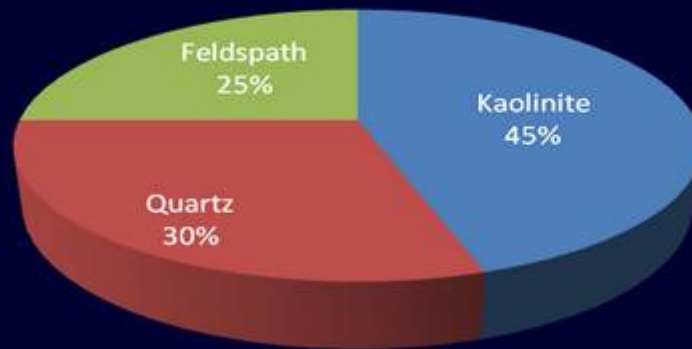


- Porosité ouverte > 5%
- Tesson : grains fins et homogène
- Couleur : blanche ou claire
- Translucidité : non

# Les céramiques traditionnelles :

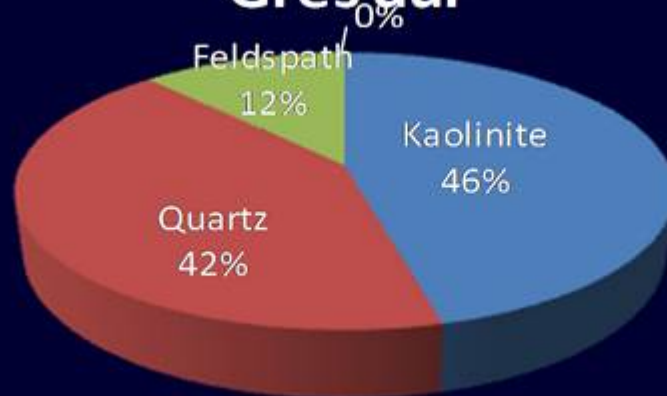
## les différentes familles de céramiques conventionnelles

### Porcelaines dures



- Porosité ouverte < 0,5%
- Tesson : opaque, compact et vitrifié
- Couleur : blanc (apport du kaolin)
- Translucidité : oui
- Particularité : présence de mullite

### Grès dur



- Porosité ouverte < 3%
- Tesson : opaque, compact et vitrifié
- Couleur : claire
- Translucidité : non

# LES 2 GRANDES FAMILLES DE CÉRAMIQUES

Les céramiques techniques

# Les céramiques techniques

Deux grandes catégories :

- Matériau de structure (performance mécanique et/ou thermique)
- Matériau de fonction (performance électrique, magnétique, optique, etc.)

# Les céramiques techniques : céramiques structurales

- Hautes performances mécaniques : abrasifs, outils de coupe, application tribologiques (résistance à l'usure et aux frottements)
- Haute température : matériaux réfractaires
- Céramiques thermomécaniques

# Les céramiques techniques : céramiques fonctionnelles

- Propriétés électriques : isolants (très souvent), semi-conducteurs (souvent), conducteurs (moins fréquemment), supraconducteurs (rare)
- Propriétés magnétiques
- Propriétés optiques
- Propriétés chimiques : catalyse, capteurs
- Propriétés « nucléaires » : combustibles, modérateurs
- Propriétés biologiques : biomatériaux, prothèses
- Monocristaux : détecteurs de rayonnements ionisants

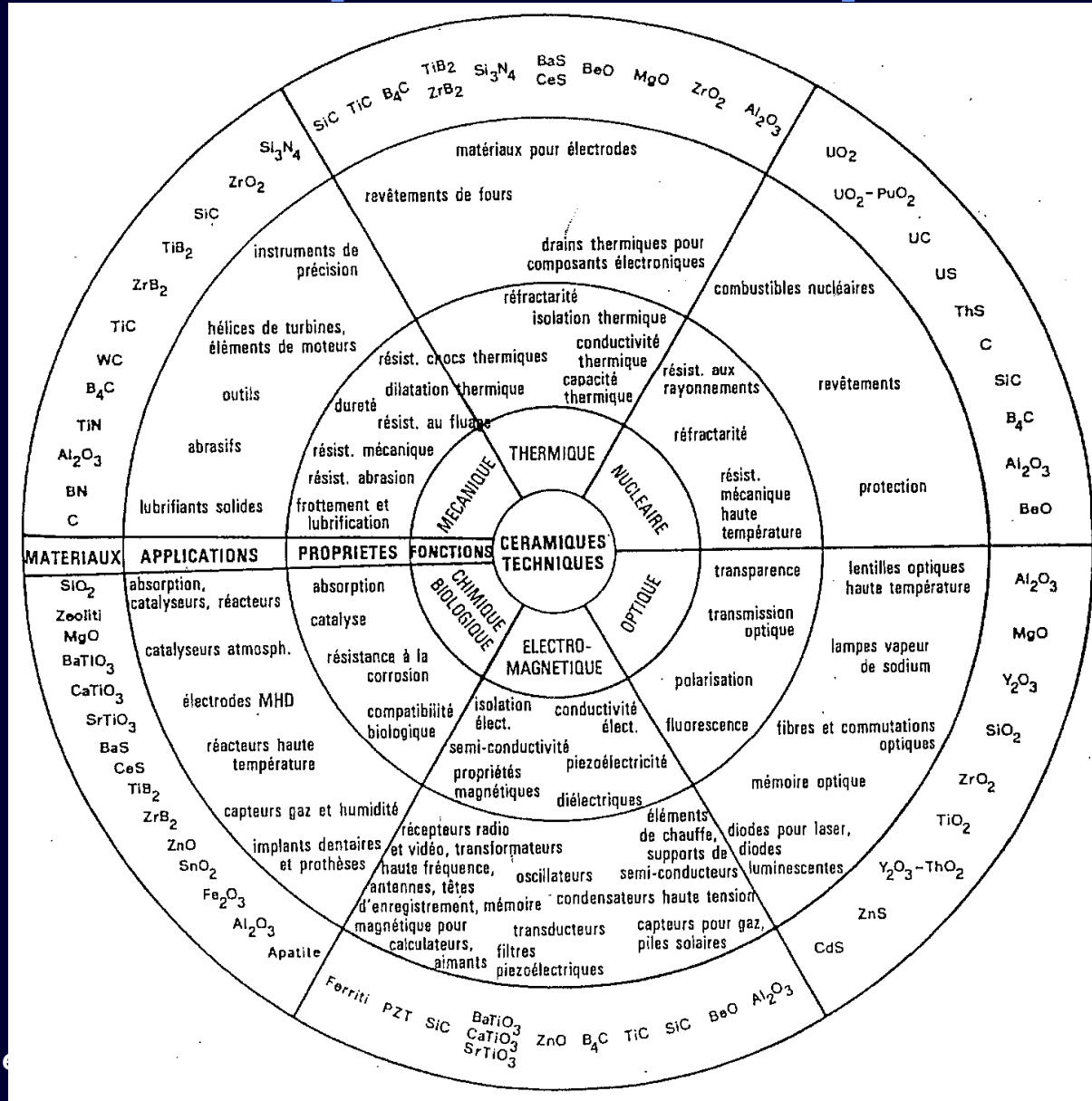
# Les céramiques techniques : les céramiques de type oxyde

- Alumine  $\text{Al}_2\text{O}_3$  : abrasion, coupe, frottement et usure, usages réfractaires, électricité et électronique, optique, biomédical, joaillerie...
- Silice  $\text{SiO}_2$
- Magnésie  $\text{MgO}$  et spinelle  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  : réfractaires en sidérurgie
- Zircone  $\text{ZrO}_2$  : couleur, conduction ionique, usage mécanique, joaillerie
- Oxyde d'uranium  $\text{UO}_2$  : combustibles nucléaires
- Titanate de baryum  $\text{BaTiO}_3$  : condensateurs, traducteurs, capteurs
- Ferrites : emplois magnétiques

# Les céramiques techniques : les céramiques de type non-oxyde

- Carbures : SiC, WC, TiC, B<sub>4</sub>C, etc.
- Nitrures : Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, SiAlON, AlN, TiN, BN
- Borures : TiB<sub>2</sub>, LaB<sub>6</sub>
- Siliciures : MoSi<sub>2</sub>

# Les céramiques techniques



# PETIT HISTORIQUE

*GN-MEBA - 6 et 7 juin 2013*



*Société Française de Céramique*

# Les débuts



1<sup>ers</sup> objets manufacturés

1<sup>er</sup> « art du feu »

Vénus de Dolní Věstonice  
(Tchécoslovaquie, ≈ 29 000 à 25 000 av. J.-C.)

# La poterie

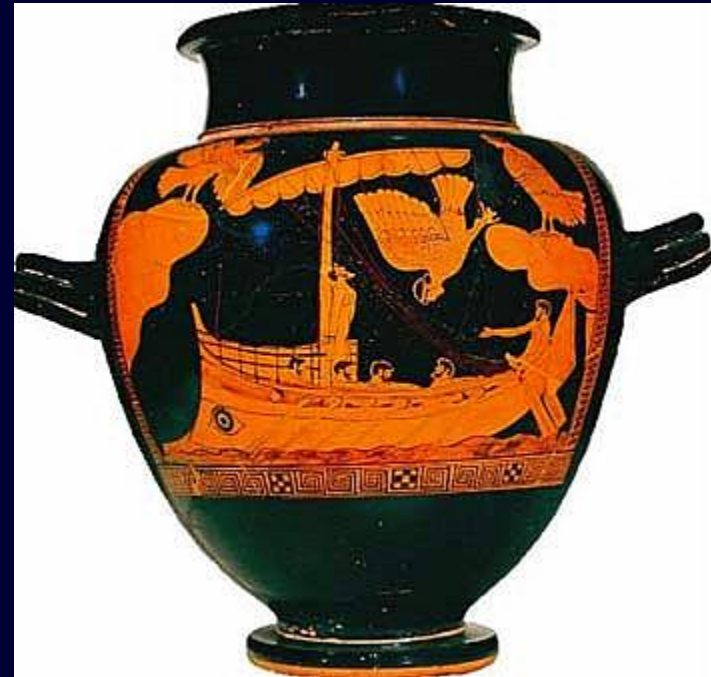
- Apparition de la poterie liée à la sédentarisation des populations : besoin croissant de récipients destinés à la conservation des récoltes ou à la cuisson des aliments
- Technique du colombin : boudin de terre
- Modification des propriétés de la terre grâce à des ajouts
- Invention du tour de potier (3500 av. JC au Proche-Orient, entre 3000 et 2000 av. JC en Chine)
- Moyen Âge : objets domestiques car abondance de la matière première, faible coût et sa facilité de fabrication.
- A partir du XIV<sup>ème</sup> siècle, concurrencée par le grès plus imperméable

# La poterie

MEHRGARH (3000 AV. J.C.)  
Vase à décor de cervidés peint en brun



Ulysse et les sirènes. Vase grec du Vème siècle av. J.-C., British Museum, Londres



# La poterie

Armée de terre cuite, découverte dans le tombeau de l'empereur Qin, à Xi'an.



Plat au serpent Bernard Palissy, Terre vernissée, vers 1560, L. 53 cm



# La faïence

- Découverte au IX<sup>ème</sup> siècle (Irak) et diffusion en Occident à la Renaissance
- Pas de décors cloisonnés ou incisés pour délimiter les couleurs
- Fond blanc pour exécuter une véritable peinture et reproduire des décors élaborés
- Couleurs posées au pinceau

# La faïence

Coupe couverte, décor grand feu en camaïeu bleu, milieu du 18ème siècle, Ligurie, Italie.  
Musée des Beaux-Arts de Lille.

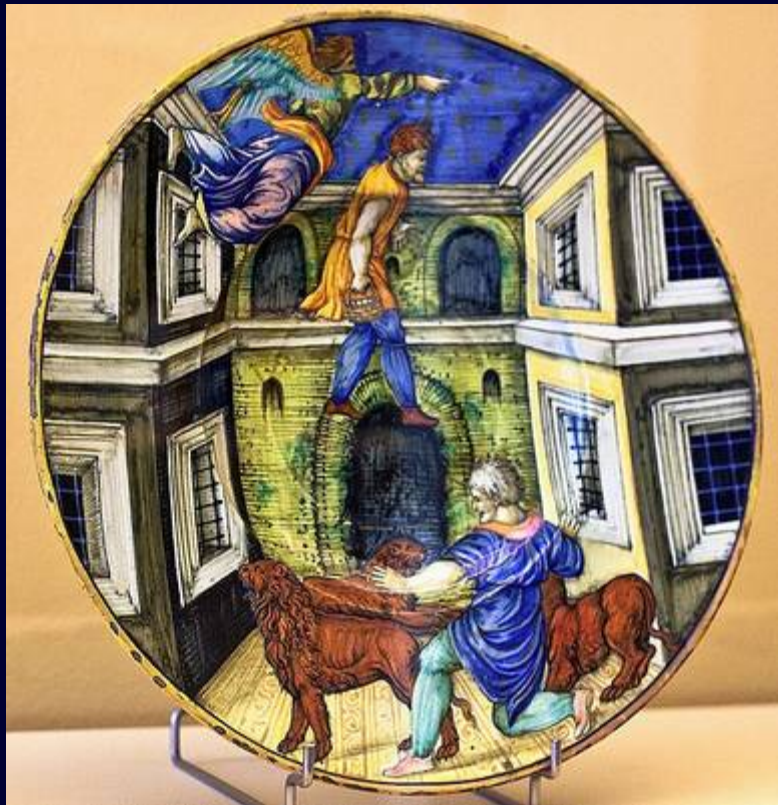


Encrier le « Jugement de Pâris », Faenza, dernier quart du XV siècle.



# La faïence

Daniel dans la fosse aux lions, Francesco Xanto Avelli, 1535, Musée Boymans van Beuningen, Rotterdam.



Assiettes de Delft, décor aux Chinoiseries, XVIII<sup>ème</sup> siècle. Musée Cognacq-Jay



# La porcelaine

- Chine, dynastie des Han de l'est (entre -206 et 220 après Jésus-Christ)
- 1712 : étude et révélation de la composition et des secrets de fabrication de la porcelaine chinoise par François Xavier d'Entrecolles, père jésuite résidant à Jingdezhen en Chine
- 1767 : découverte du gisement de Saint-Yrieix-la-Perche par le chirurgien Jean-Baptiste Darnet
- 1769 : achat du gisement par Louis XV. Production de porcelaine = privilège royal
- Manufacture nationale de Sèvres : une des principales manufactures de porcelaine européennes. Fondée en 1740, à Vincennes. Transfert en 1756 à Sèvres.

# La porcelaine

Deux vases connus en tant que *David vases*, Yuan, datés 1351. Porcelaine à décor bleu de cobalt sous couverte, British Museum.



Jacques-François Micaud, soupière et plat de service, porcelaine de Sèvres, Galerie nationale de Victoria, Australie



# Le grès

- Apparition en Chine entre 1570 av. JC et 220 ap. JC.
- X<sup>ème</sup> siècle après JC : céladons des Song.
- XIV<sup>ème</sup> siècle : introduction en Occident.
- Lieux de production européens : initialement les pays rhénans, les régions de l'est de la France et le Beauvaisis.
- XIX<sup>ème</sup> siècle : développement de manufactures dans plusieurs régions (Centre, Bourgogne, Sud-Est). Régions traditionnellement faïencières (Quimper ou Vallauris) : utilisation pour céramiques de haut de gamme.

# Le grès

Objet en céladon, de la dynastie coréenne de Goryeo, servant à recueillir les cendres royales. (Pièce du trésor national de Corée du Sud.)



Carreau de grès cérame coloré dans l'épaisseur, Manufacture Paul Charnoz, Paray le Monial, France, XIX<sup>ème</sup> siècle.



# Le grès

Pichet en grès par Louis Lourioux, Foëcy, vers 1930.



Sculpture en grès émaillé par Jean-Joseph Carriès, Le Grenouillard, vers 1891 - Musée d'Orsay, Paris



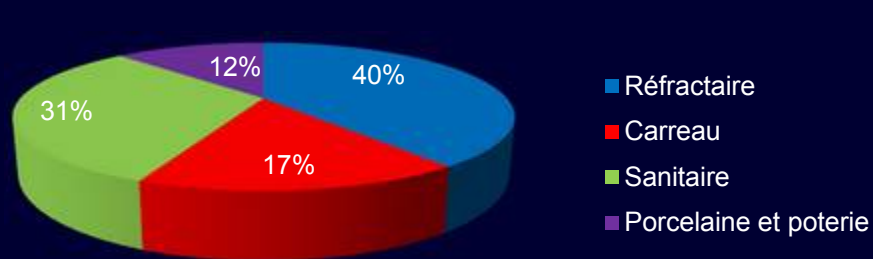
# Les débuts de l'industrialisation

Changements durant tout le XX<sup>ème</sup> siècle :

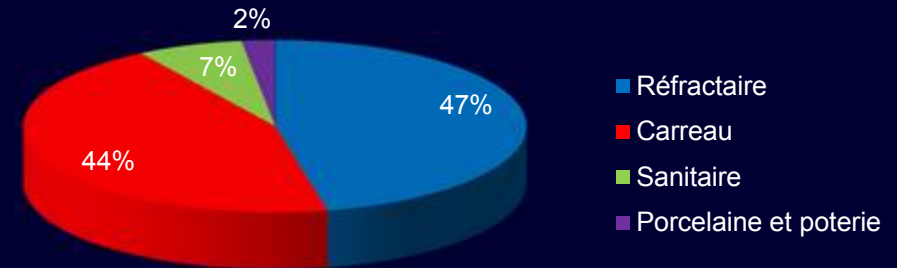
- Nouvelles applications
- Nouvelles techniques de fabrication
- Nouvelles techniques de cuisson
- Etc.

# La céramique industrielle en France de nos jours (2011)

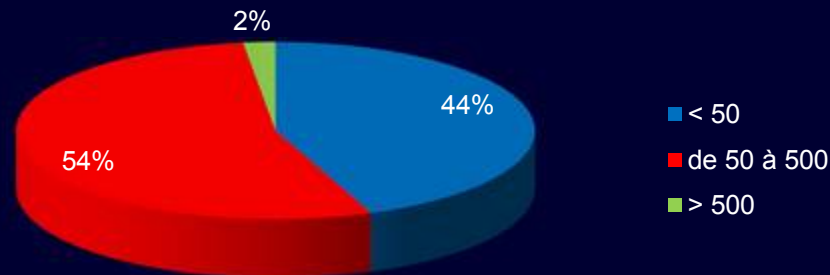
## Chiffre d'affaire



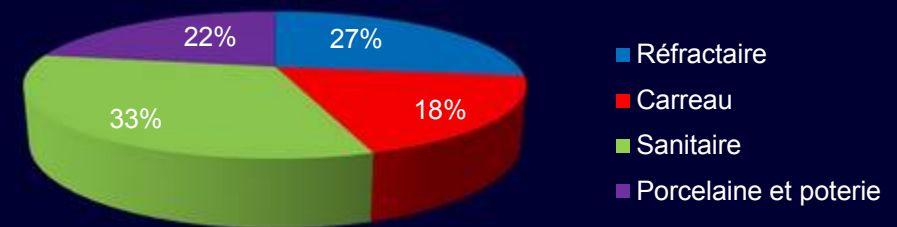
## Production



## Taille des entreprises



## Effectifs au 31 décembre



Chiffre d'affaire : 1 milliard d'euro

Production : 814 000 tonnes

Effectif : 6 800 personnes

GN-MEBA - 6 et 7 juin 2013

Source : CICF



Société Française de Céramique

# Merci pour votre attention

**Marie-Eline COUTURIER**

Ingénieur d'essais et de développement

Laboratoire LC<sub>2</sub>M – Pôle Microstructure

01 56 56 70 92

[couturier.sfc@ceramique.fr](mailto:couturier.sfc@ceramique.fr)