

# Qualité de la ressource & exigence des usages, l'exemple des minéraux pour céramique

---

Collège de France - 27 Janvier 2015

Alexandre Sevagen - Imerys Ceramic Centre



## Sommaire

---

Imerys

Céramique domestique & matière première

Ajustement des matières premières à l'exigence

Conclusion

### Imerys

Leader mondial des spécialités minérales pour l'industrie

Présence dans 50 pays avec près de 250 implantations industrielles

Imerys Ceramics, des solutions minérales industrielles

# Imerys, leader mondial des spécialités minérales pour l'industrie



**Construction:** roof tiles, chimney blocks, partition bricks, wall bricks, slate, cement production, window profiles...

**Decorative materials and fittings:** sanitaryware, tableware, flooring, paint, floor tiles...

**Steelmaking and metallurgy:** refractory linings for industrial furnaces...

**Paper:** brochures, magazines, specialty papers...

**Electronics:** equipment structure, processors, semiconductors...

**Pharmaceuticals and personal care:** deodorants, skin creams, toothpaste, personal care products...

**Horticulture, protection of flora:** hydroponics, UV protection, repellents...

**Automotive, industrial equipment and consumer durables:** plastics, batteries, paint, flywheel, tooling...

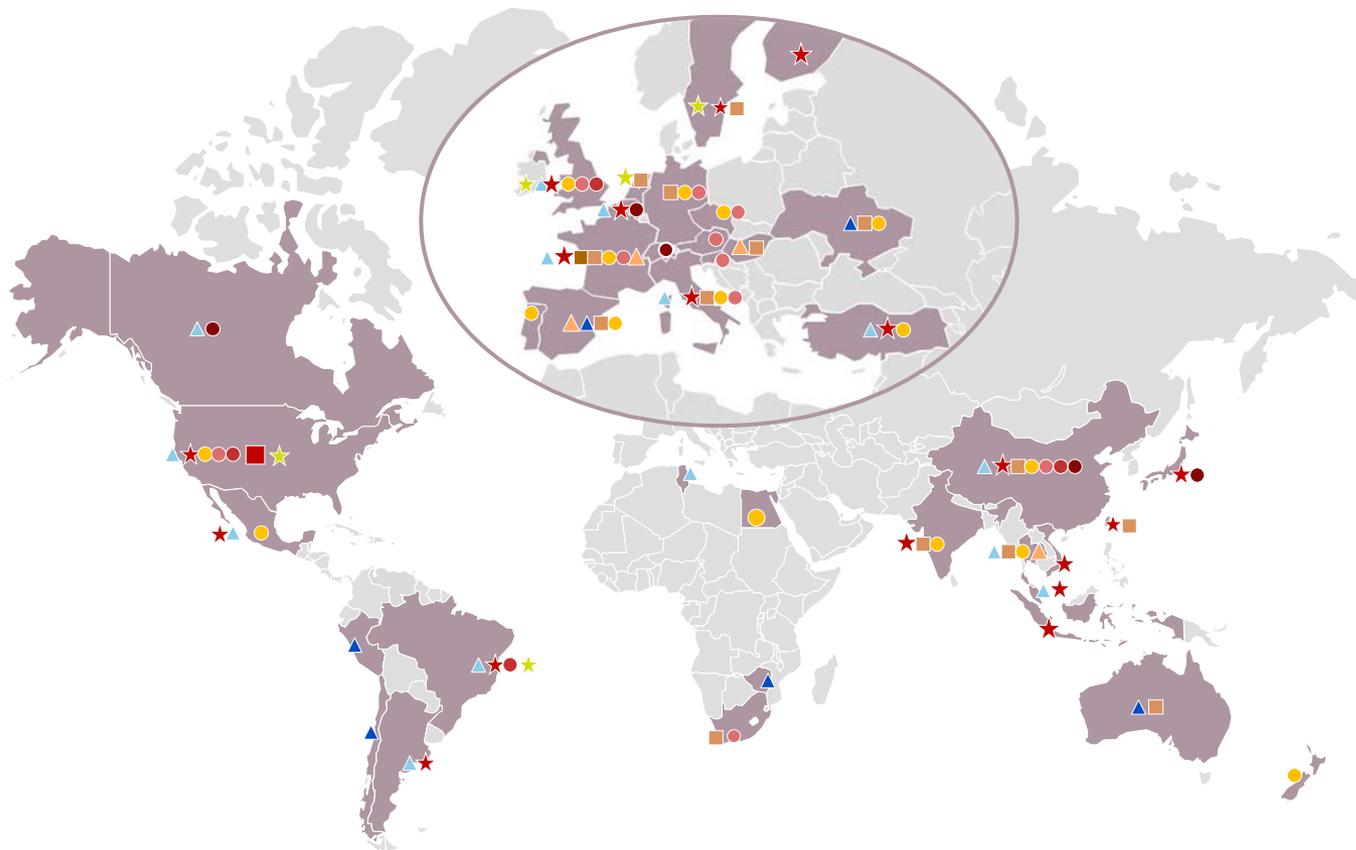
**Packaging:** board, plastic film...

**Energy:** batteries, photovoltaic cells and panels, oil and gas drilling...

**Agri-food:** filtration of beer, wine, edible water, fruit juice...

- Un siècle de savoir-faire industriel né de l'extraction et de la transformation des matières premières minérales.
- Créé en 1999 à partir de l'activité industrielle du groupe français Imétal.
- Une organisation orientée marché avec:
  - ◆ + 14 900 employés
  - ◆ 245 sites industriels dans 50 pays
  - ◆ 8 centres de recherche
  - ◆ 20 laboratoires régionaux
  - ◆ 4 branches d'activités
- Une stratégie de profit par croissance organique et par acquisitions:  
Chiffre d'affaires 2013 → 3 698 M€

# Présence dans 50 pays avec près de 250 implantations industrielles



## Solutions pour l'Energie & Spécialités

- ★ Carbonates
- Réfractaires Monolithiques
- Graphite & Carbone
- Solutions pour l'Exploitation Pétrolière

## Filtration & Additifs de Performance

- ▲ Minéraux de Performance & Filtration

## Matériaux Céramiques

- Minéraux pour Céramiques
- Matériaux de Construction
- ★ Kaolins
- ▲ Kiln Furniture

## Minéraux de Haute Résistance

- Minéraux Fondus
- Minéraux Réfractaires

# Imerys Ceramics, des solutions minérales industrielles



Pâtes céramiques



Argile



Chamotte



Feldspath



Kaolin



Halloysite



Mica



Pegmatite



Quartz



Talc

Imerys Ceramics est un **fournisseur de solutions minérales industrielles, de pâtes céramiques et d'émaux**

50 sites de production • 23 pays • 1 300 employés

- **N°1 Mondial** des pâtes céramiques et des minéraux pour sanitaires
- **N°2 Mondial** des kaolins pour fibre de verre
- **N°2 Mondial** des talcs pour les supports catalytiques et les filtres à particules diesel
- **N°1 Européen** des kaolins pour les arts de la table
- **N°1 Européen** des minéraux et des pâtes céramiques pour la porcelaine
- **N°1 Européen** des quartz pour le silicium
- **N°2 Européen** des minéraux pour carrelage

# Céramique domestique & matière première

Applications

Procédés de mise en forme

Matières premières utilisées

# Introduction

- Personne ne discute jamais la valeur de l'or
  - ◆ Cours de l'or du 26/01/2015 1280 \$/oz, 37 200 €/kg



- Alors pourquoi la valeur d'une matière minérale peut elle varier tellement ?
  - ◆ Exemple de l'argile pour céramique :



- ◆ La différence → L'exigence des usages

# Applications

- Quelques applications de la céramique ...

## APPLICATIONS DOMESTIQUES

## APPLICATIONS INDUSTRIELLES

Matières premières minérales naturelles



Poudres issues de processus chimiques



# Procédés de mise en forme

- Fabrication des céramiques domestiques avant la cuisson :



# Procédés de mise en forme

- Calibrage
- Extrusion
- Pressage
- Coulage
  - ◆ En moule de plâtre
  - ◆ Sous pression



Calibrage



Extrusion



Pressage



Coulage en moule de plâtre

# Procédés de mise en forme

- Plusieurs procédés de mise en forme pour une même famille de céramiques :

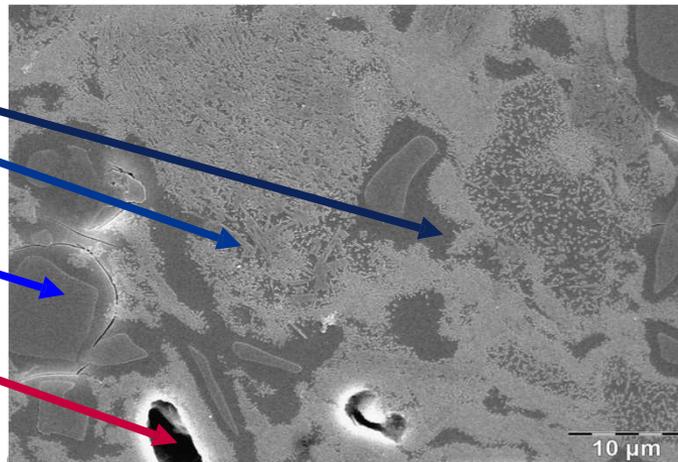
Type de céramique	Mise en forme	Décoration	T° cuisson
Tuile terre cuite	Extrusion suivie de pressage	Engobage	900 -1100°C
Carreau de sol	Pressage	Émaillage ou jet d'encre	1150 -1200°C Cuisson rapide
Céramique sanitaire	Coulage	Émaillage	1200 -1250°C
Porcelaine	Tous procédés	Tous procédés	1350 -1400°C

# Matières premières utilisées

- Quatre constituants principaux :
  - ◆ Reliquats de la calcination des minéraux initiaux
  - ◆ Phase vitreuse
  - ◆ Minéraux « neo-formés » par dévitrification
  - ◆ Porosité

Type de céramique	Porosité (%)	Phase vitreuse (%)
Tuile terre cuite	10 - 30	< 10
Carreau de sol	0.5 - 2.5	30 - 50
Céramique sanitaire	< 0.5	50
Porcelaine	< 0.5	> 50

**Phase vitreuse**  
**Minéraux neo formés**  
**Reliquats**  
**Pores**



Exemple :  
structure de la  
porcelaine

# Matières premières utilisées

## MATIÈRES PREMIÈRES MINÉRALES DANS LES CÉRAMIQUES DOMESTIQUES

### ■ Minéraux tendres : argiles & kaolins

- ◆ Pour la plasticité à la mise en forme, la résistance mécanique en cru et la formation de mullite à la cuisson.

### ■ Minéraux durs : feldspaths & quartz

- ◆ Pour la structuration, le frittage et la formation de la phase vitreuse.

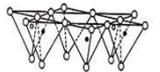
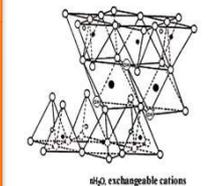
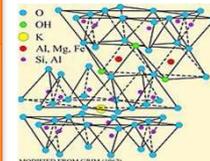
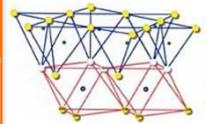
Composition typique	Argiles (%)	Kaolins (%)	Feldspath (%)	Quartz (%)
Tuile terre cuite	80	-	-	20
Carreau de sol blanc	35	-	50	15
Céramique sanitaire	25	25	25	25
Porcelaine	-	50	25	25

# Matières premières utilisées

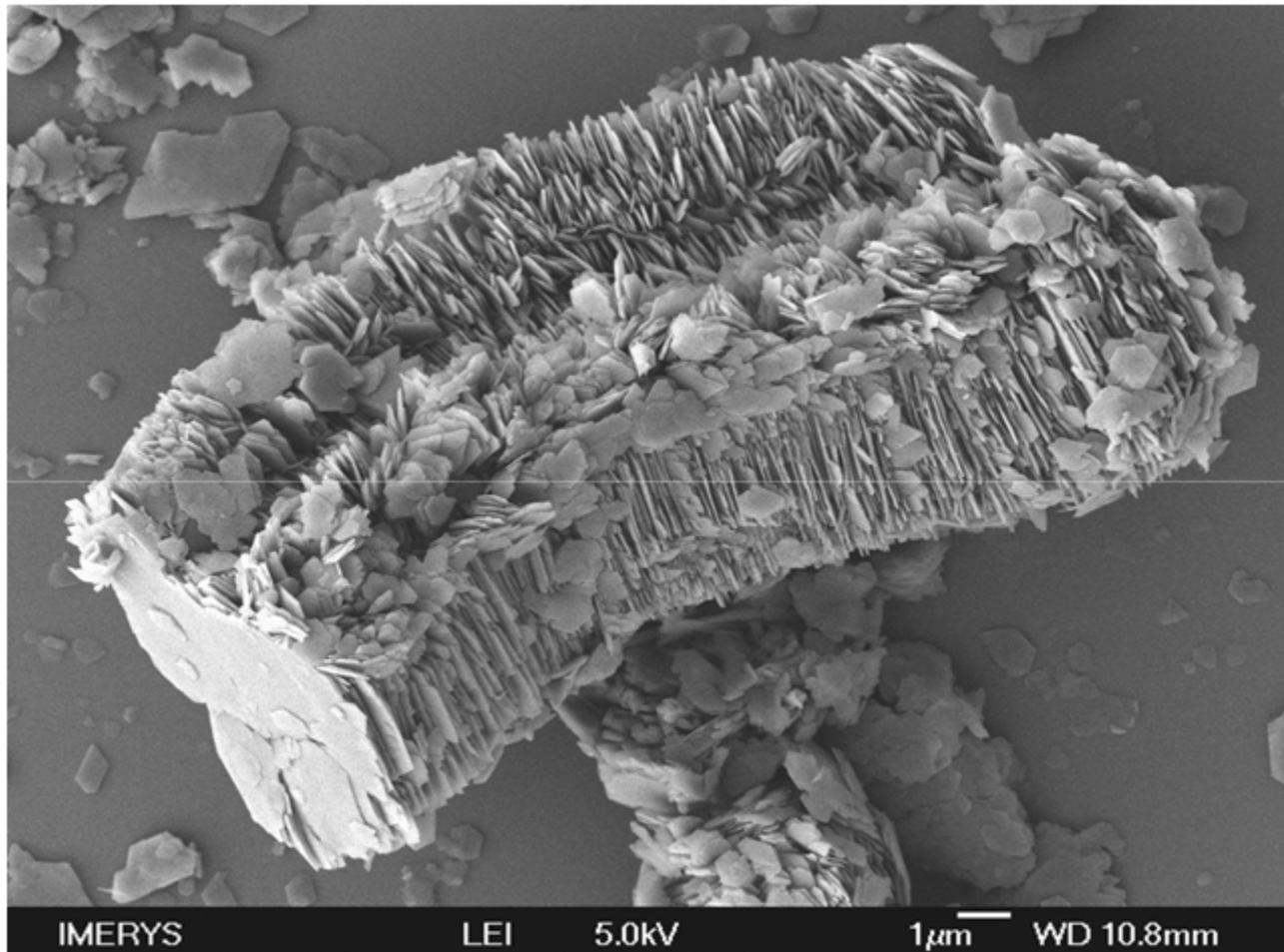
## MINÉRAUX ARGILEUX COMPOSANT PRINCIPALEMENT LES ARGILES & KAOLINS

- Phyllosilicates : alumino-silicates hydratés
- Structure en feuillets constitués de couches :
  - ◆ soit octaédrique : Al(OH-)\_5 (noté O)
  - ◆ soit tétraédrique : SiO\_4 (noté T)
- Se distinguent par le mode de séquençement des couches et la distance interfoliaire

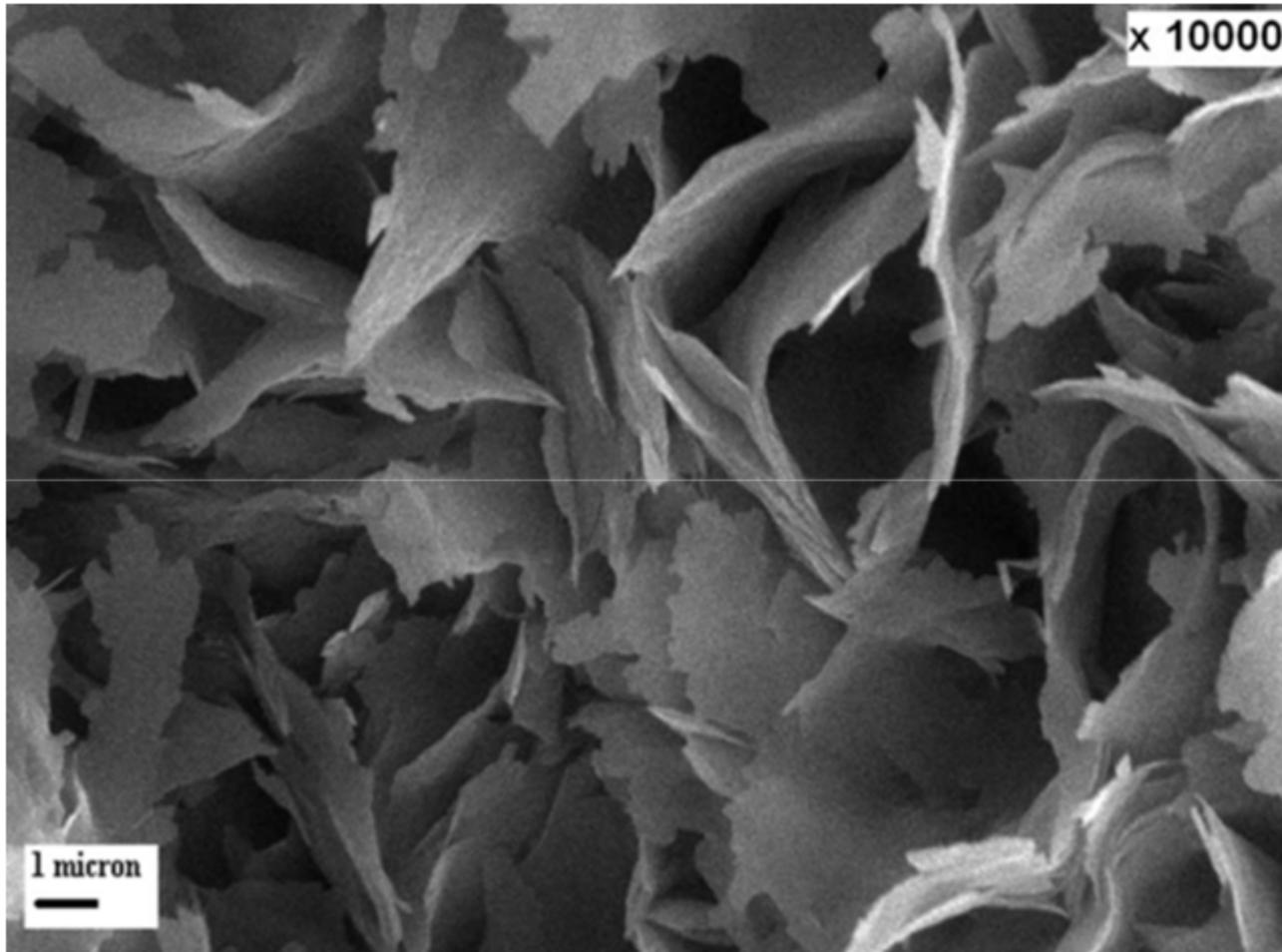
	Chimie	Structure	Commentaire
<b>Kaolinite</b>	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	TO 7 Å	Le plus simple des phyllosilicates
<b>Illite</b>	$\text{K}(\text{Al},\text{Mg},\text{Fe})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2,(\text{H}_2\text{O})]$	TOT 10 Å	Même structure que le mica
<b>Smectite</b> Ex montmorillonite	$(\text{Na},\text{Ca})_{0,3}(\text{Al},\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	TOT 12-15 Å	Argile gonflante Mauvaise rhéologie Très forte CEC



# Matières premières utilisées - Kaolinite



# Matières premières utilisées - Illite



# Matières premières utilisées

UNE INDUSTRIE QUI FAIT LA DIFFÉRENCE ENTRE UNE « ARGILE » ET UN « KAOLIN »



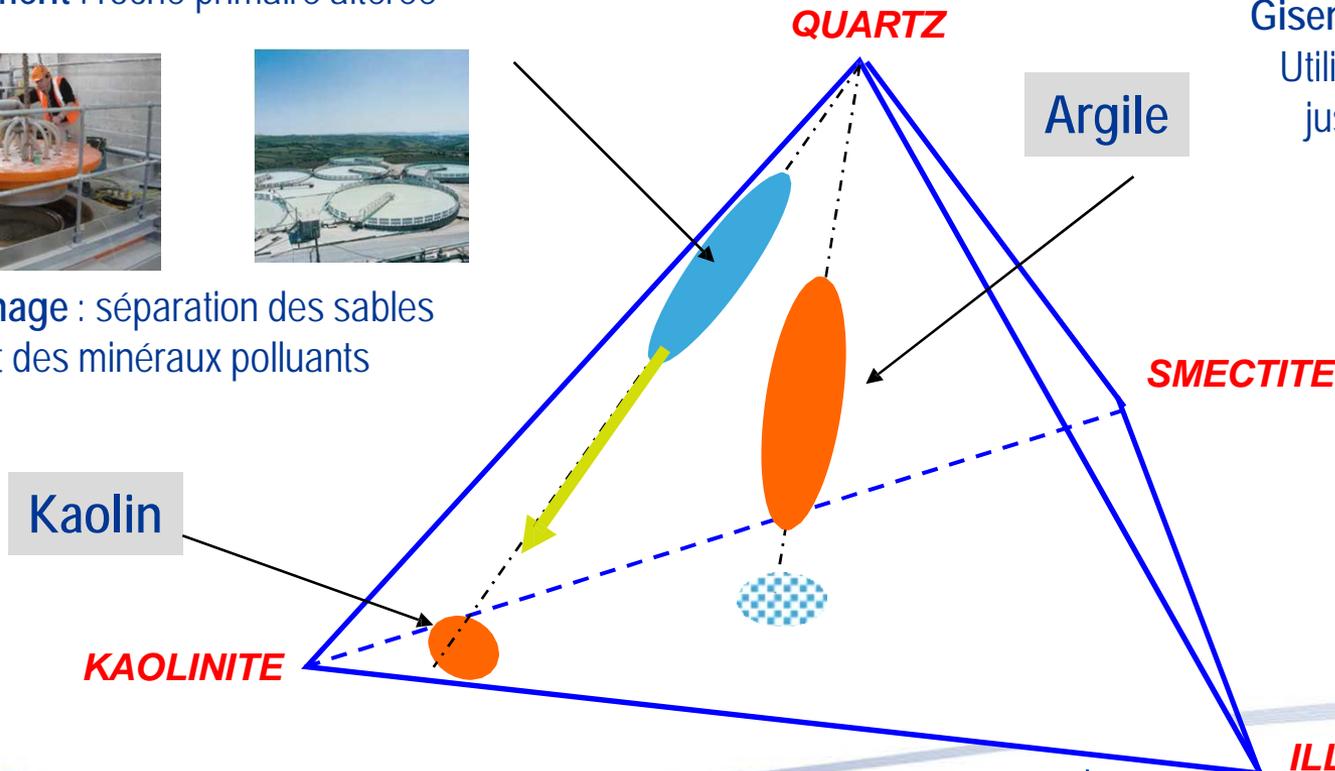
Gisement : roche primaire altérée



Gisement sédimentaire  
Utilisation telle quelle  
juste déchiquetée



Raffinage : séparation des sables  
et des minéraux polluants



# Matières premières utilisées – Un exemple de carrière de kaolin



Cornwall, UK

# Matières premières utilisées – Un exemple de carrière d'argile



Mississippi, USA

# Ajustement des matières premières à l'exigence

L'exigence en céramique

Évolutions

# L'exigence en céramique

## Quelles sont les exigences des usages ?

### DE MANIÈRE GÉNÉRALE

- Exigences du produit
  - ◆ Fonctionnalité conforme à l'attente
  - ◆ Esthétique conforme à l'attente
  - ◆ Durabilité du produit

- Exigences du procédé
  - ◆ Faisabilité & Facilité de mise en œuvre
  - ◆ Productivité et coût
  - ◆ Qualité et taux de rebut

### DANS LA CÉRAMIQUE

- Exigences du produit
  - ◆ Dépend de l'usage
  - ◆ Couleur, transparence, décor, forme, ....
  - ◆ Fragilité, dureté de l'émail, ...

- Exigences du procédé
  - ◆ Plasticité, rhéologie, résistance mécanique
  - ◆ Vitesse de mise en forme ou de cuisson
  - ◆ Fissures, défaut d'émail, ...

# Exemple des argiles

- Effet de chacun des minéraux sur les paramètres de l'exigence :

Mineral	Caractéristiques physiques clés	Effet sur la Céramique
Kaolinite	Teneur en alumine Taille Facteur de forme	Blancheur, réfractarité Résistance mécanique (aiguilles de mullite) Propriétés de coulage
Illites (et micas)	% K <sub>2</sub> O Finesse	Fusibilité Plasticité
Smectites	BET, CEC	Ténacité, en cru, plasticité, fusibilité Rhéologie
Quartz ou silice	Finesse	Fusibilité et plasticité Aide au séchage
Oxydes chromophores	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , TiO <sub>2</sub>	Coloration (rouge/gris, jaune)
Matières organiques	% C Nature du carbone	Cœur noir à la cuisson Ténacité, en cru, plasticité, rhéologie
Carbonates	% CaCO <sub>3</sub>	Agent porogène et fondant

# Conséquence sur le système qualité

- Les spécifications des produits portent moins sur les caractéristiques intrinsèques que sur des caractéristiques d'usage

★ Systématiquement dans les spécifications d'une argile  
★ Très rarement prise en compte dans le système qualité

## Caractéristiques intrinsèques

- ★ Analyse chimique
  - Éléments majeurs
  - Matières organiques
  - Espèces solubles
- ★ Analyse minéralogique
- ★ Granulométrie
- ★ Morphologie des grains
- ★ Propriétés de surface

## Caractéristique d'usage

- ★ Résistance mécanique en cru
  - Peut varier selon la méthode de mise en forme
- ★ Rhéologie
  - Courbes de défloculation pour une densité donnée de la barbotine
  - Mesure des viscosités et de la thixotropie
- ★ Couleur après cuisson

Le produit étant défini, l'exigence principale devient la régularité dans le temps

# Répondre à l'exigence

---

## RÉPONDRE À L'EXIGENCE, C'EST LE TRAVAIL DU FORMULATEUR

- **Mettre au point une formulation** c'est répondre à l'exigence.
- C'est toujours une question de **compromis**.
- La position du curseur varie en fonction des **technologies** et des **besoins finaux**.

# Exemple du choix d'une argile plastique

- Le céramiste aime la **plasticité** des argiles, mais celle-ci pose des **problèmes de rhéologie** .

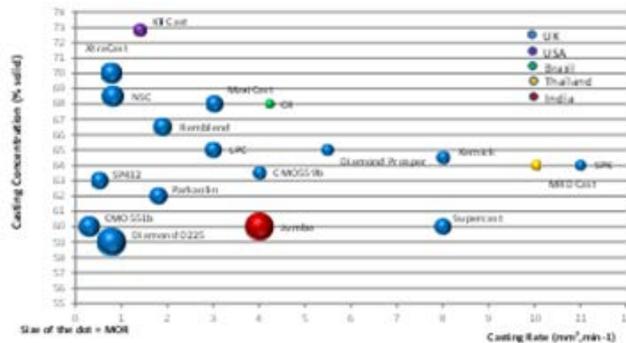
Type d'argile		Kg.cm <sup>-2</sup>	Rhéologie	Application
<b>Argile « maigre »</b>	Argile grossière Riche en quartz / kaolinite	15	Facile	Coulage
<b>Argile « grasse »</b>	Argile fine Riche en kaolinite / illite	40	Difficile	Pressage/ extrusion Additif coulage
<b>Argile très plastique</b>	Argile très fine, contient des smectites et/ou des matières organiques	> 60	Très difficile	Additif

# Le casse tête du formulateur en coulage sanitaire ...

- L'argile est normalement considérée comme un **minéral imperméable à l'eau** ...
- ... alors que le procédé de coulage consiste à faire passer de l'eau à travers un dépôt argileux !
- Dans le cas de grosses pièces comme dans le sanitaire, c'est un vrai challenge !
- Il faut trouver un **compromis** délicat entre :
- Quantité d'eau à filtrer, vitesse de filtration, cohésion du tesson fermé

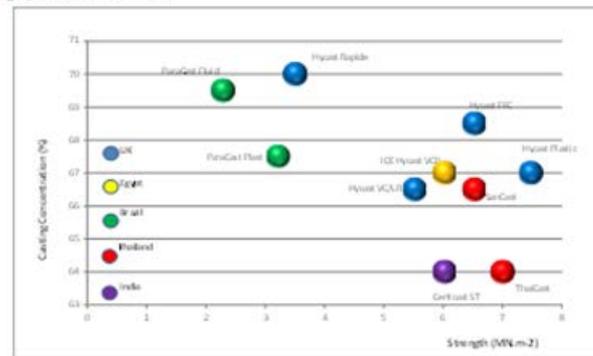
## Kaolin range for sanitaryware body

- We sell
  - Fluidity
  - Casting rate
  - Strength
  - High performance/ processed
  - Consistency



## Ball Clay range for sanitaryware body

- We sell
  - Fluidity
  - Strength
  - Stable rheology
  - Consistency
  - High performance bodies



## ... Mais la nature peut réserver de bonnes surprises

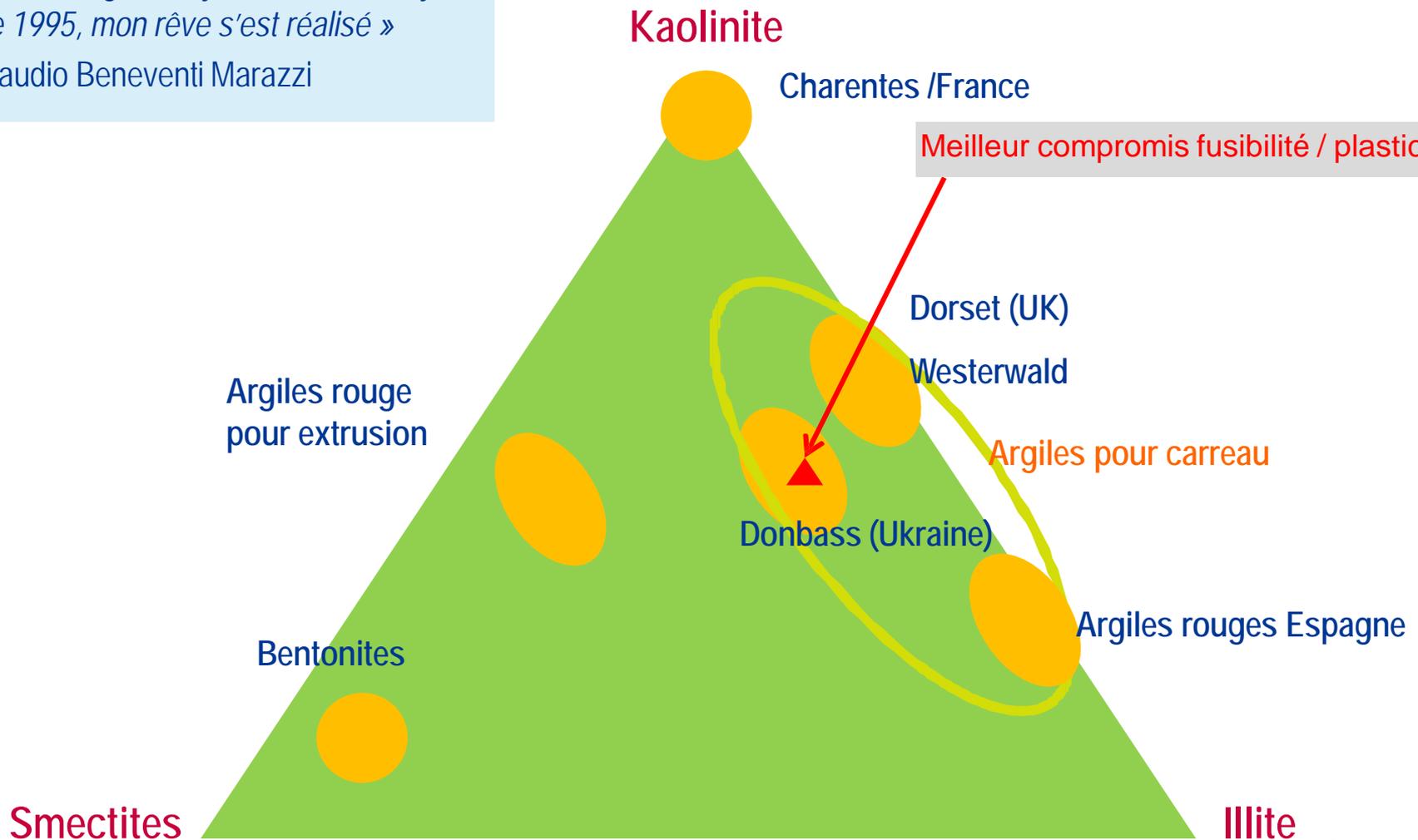
---

- Certaines matières premières peuvent présenter le « **compromis miraculeux** » pour une application donnée :
    - ◆ Les **argiles du Donbass** (Ukraine) pour le **carreau**
    - ◆ Les **argiles du Devon** (Angleterre) pour le **coulage sanitaire**
    - ◆ Les **kaolins de Bretagne** (France) pour l'**émail** et l'**impression jet d'encre**
- ➔ Ces matières premières « **uniques** » sont capables de **trouver un marché** et de **voyager partout** dans le monde.

# Les argiles du Donbass pour les carreaux

« Jeune ingénieur j'en ai rêvé et un jour de 1995, mon rêve s'est réalisé »

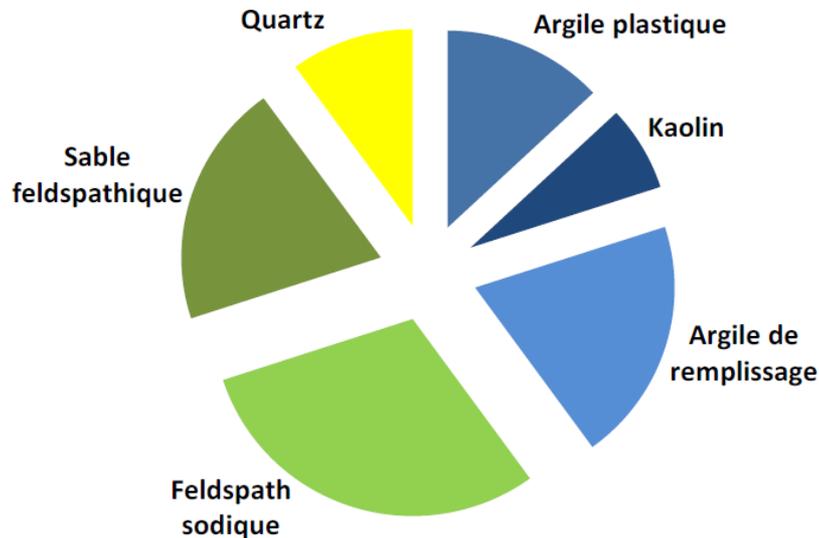
Claudio Beneventi Marazzi



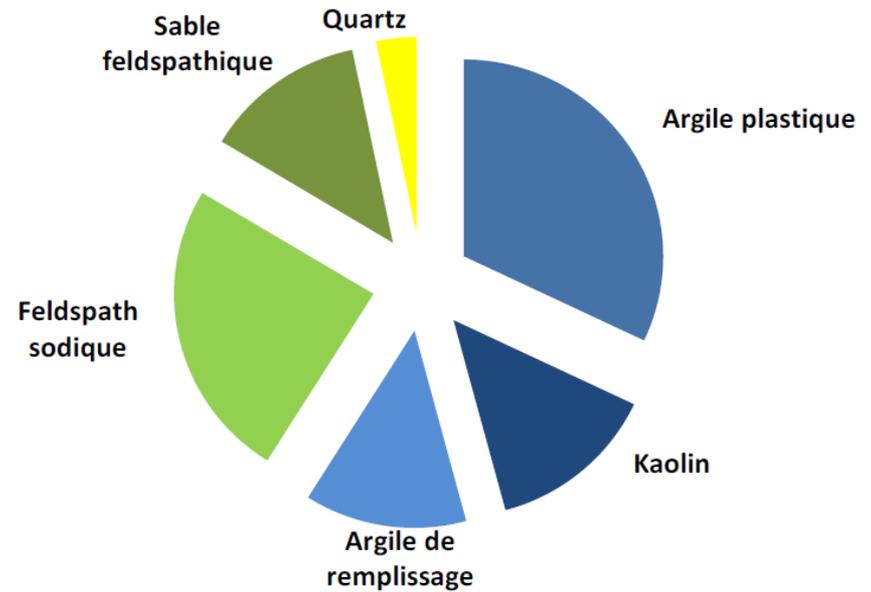
# Exemple de stratégie de formulation

## Cas du tesson d'un carreau céramique

en % dans la masse



en valeur



- L'exigence d'esthétique - ici la blancheur - se répercute sur toutes les matières premières.
  - ◆ Dans ce cas, il a même fallu rajouter un peu de kaolin
- L'exigence de procédé - la plasticité - requiert l'introduction d'une argile très plastique plus onéreuse.
- A la fin, les matières premières introduites pour répondre spécifiquement à l'exigence représentent près de 45 % de la valeur.

# Evolutions

## DEUX EXEMPLES DE RÉVOLUTION TECHNOLOGIQUE RÉCENTE DANS LE CARREAU

### ■ Les techniques de **pressage sans moule**

- ◆ Plus de problèmes pour démouler, moindre besoin de cohésion
- ◆ On peut concevoir le tessou différemment

### ■ Les techniques de **décoration par impression « jet d'encre »**

- ◆ On n'attend plus la même chose de l'engobe et de l'émail
- ◆ Ce qui devient clé est la pénétration de la goutte et le rendu de la couleur, tout comme dans l'impression sur le papier



➔ Dans ces deux cas, l'incitation vient de la volonté de « **digitaliser** » les procédés

# Evolutions

---

- Développement des **technologies d'injection plastique**
- Fabrication additive de céramique : **impression 3D**
- **Projection thermique** de céramique

→ A chaque fois, de nouvelles solutions de matières premières seront à développer

# Evolutions - Contraintes relatives aux matières premières

## ■ Un gisement doit être exploité rationnellement

- ◆ Les produits de plus grande qualité sont souvent une fraction d'un gisement
- ◆ L'accès à cette ressource nécessite de mobiliser bien d'autres produits
- ◆ Une exploitation rationnelle de la ressource nécessite de trouver une application à tous les minerais présents

## ■ Autre source d'incitation au changement : la nécessité du recyclage

- ◆ Un vrai challenge pour la céramique !



# Evolutions - Contraintes relatives aux matières premières

- Les **gisements** ne sont pas éternels, ils s'épuisent et doivent être **renouvelés**
  - ◆ Soit par de la **prospection géologique**
  - ◆ Soit en mettant en œuvre des **procédés de raffinage** ou de **transformation**
- Le raffinage est massivement utilisé pour les **minéraux durs** : feldspath
  - ◆ Techniques de **séparation par flottation** ou **séparation magnétique**
- Même chose pour le **kaolin**
  - ◆ Techniques de **séparation granulométrique**, **séparation magnétique**, **délamination**, **floculation sélective**, **lixiviation des oxydes**, ...
- C'est techniquement et économiquement plus délicat pour les argiles et kaolins mais cela ce développe.



Sommaire

---

Conclusion

# Conclusion

---

- **Une généralisation est-elle possible ?**
- Les marchés des **minéraux industriels** requièrent des **quantités significatives** dont les plus **gros volumes** restent **régionaux**.
- La **valeur d'une matière première minérale** varie dans **l'espace** et dans **le temps** : elle dépend des **usages**, des **technologies** et des **ressources minérales disponibles**.
- Les **technologies** sont souvent les **plus gros demandeurs d'exigences**.
- Il est important dans tout **développement technologique** de ne pas oublier les **contraintes** et le **potentiel** que présentent les **matières premières**.
- La « **digitalisation** » des procédés est une **tendance lourde** qui va conduire à de nouveaux **progrès technologiques**, de nouveaux **usages** donc de nouvelles **matières premières**.
- Les **minéraux extraits d'un gisement**, qu'on les valorise ou qu'on les mette en décharge, **ne pourront jamais être répliqués à l'identique**.

# Merci de votre attention

[info@imerys-ceramics.com](mailto:info@imerys-ceramics.com) - [www.imerys-ceramics.com](http://www.imerys-ceramics.com)

