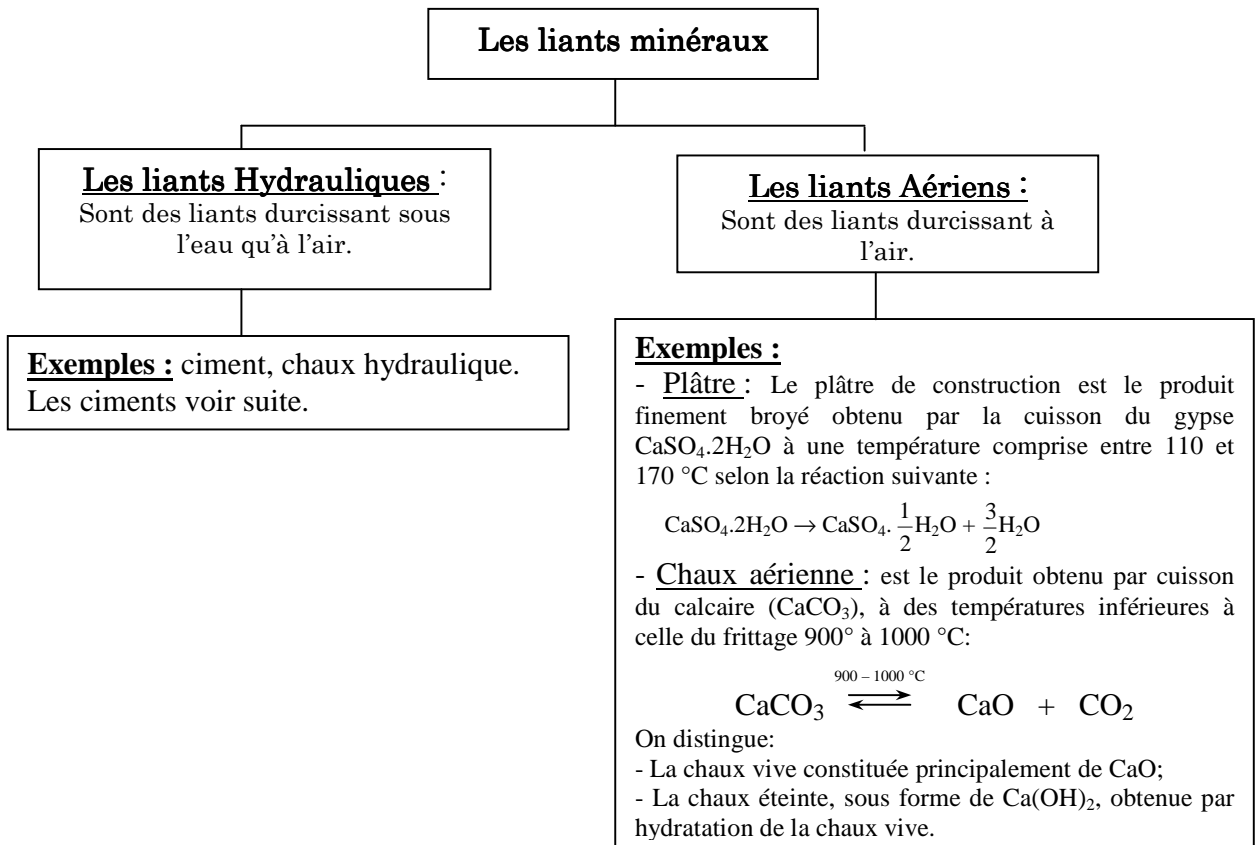


## Matériaux Minéraux : Les liants minéraux, Céramiques, et Verres

Tous ces matériaux, dits céramiques, sont des matériaux non organiques, non métalliques et peuvent englober aussi les verres qui sont essentiellement des oxydes non cristallisés. Les matériaux minéraux cimentaire (les ciments) occupent aussi une importante utilisation dans le domaine de construction.

### 1. Les liants minéraux :

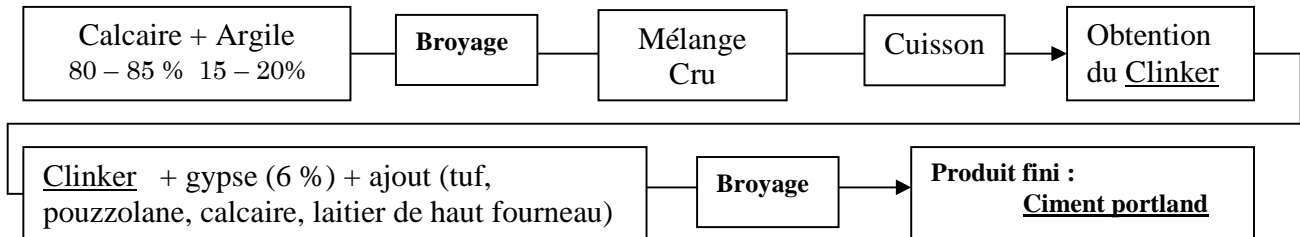
Les liants minéraux sont subdivisés en deux catégories ;



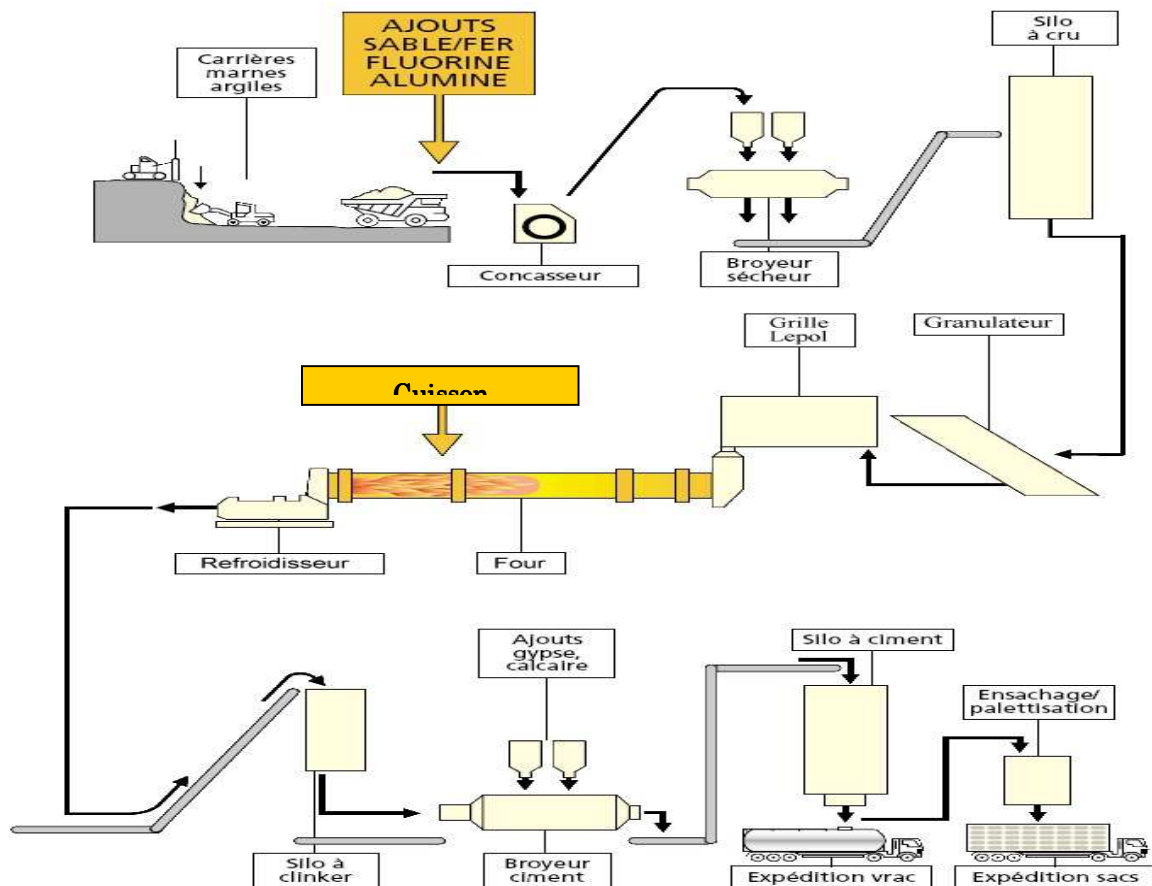
### 1.1. Les ciments :

**1. Définition :** Le ciment est un **liant hydraulique** obtenu par cuisson à 1450 °C du mélange de calcaire et d'argile. Il se présente sous la forme d'une poudre minérale fine, s'hydratant en présence d'eau. Il forme ainsi une **pâte qui fait prise et qui durcit progressivement même sous l'eau**. C'est un constituant de base du béton.

**2. Fabrication du ciment :** La fabrication du ciment a lieu dans une cimenterie. On observe plusieurs phases distinctes lors de l'élaboration du ciment.



Le schéma qui suit permet d'avoir une vision globale de la chaîne de production.



*Schéma de la chaîne de fabrication du ciment portland*

**3. composition du ciment :**

- Le ciment est composé d'oxydes qui sont les suivants ;
  - Oxyde de calcium (CaO) fourni par le **Calcaire** (CaCO<sub>3</sub>)
  - Oxyde silice (SiO<sub>2</sub>), Oxyde de fer (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), Alumine (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) fournis par l'**Argile**
- Le clinker est essentiellement composé des minéraux qui sont ;
  - 50 à 70% pour le C<sub>3</sub>S ; silicate tricalcique ou « alite », dont la formule est 3CaOSiO<sub>2</sub>
  - 5 à 25% pour le C<sub>2</sub>S ; silicate bicalcique ou « bélite », de formule 2CaOSiO<sub>2</sub>
  - 2 à 12% pour le C<sub>3</sub>A ; aluminat tricalcique C<sub>3</sub>A, de formule 3CaOAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
  - 0 à 15% pour le C<sub>4</sub>AF ; aluminoferrite tétra calcique C<sub>4</sub>AF, de formule 4CaOAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

**Désignations anciennes et nouvelles des ciments**

Ciment Portland	CPA – CEM I	Ciment Portland	CEM I
		Ciment Portland au laitier	CEM II/A ou B - S
		Ciment Portland à la fumée de silice	CEM II/A -D
		Ciment Portland à la pouzzolane	CEM II/A ou B - P CEM II/A ou B - Q
Ciment Portland composé	CPJ – CEM II/A ou B	Ciment Portland aux cendres volantes	CEM II/A ou B - V CEM II/A ou B - W
		Ciment Portland aux schistes calcinés	CEM II/A ou B - T
		Ciment Portland au calcaire	CEM II/A ou B - L CEM II/A ou B - I.I.
		Ciment Portland composé	CEM II/A ou B - M
Ciment de haut fourneau	CHF - CEM III/A ou B CLK – CEM III/C	Ciment de haut fourneau	CEM III/A, B ou C
Ciment pouzzolanique	CPZ – CEM IV/A ou B	Ciment pouzzolanique	CEM IV/A ou B composé
Ciment au laitier et aux cendres	CLC – CEM V/A ou B	Ciment composé	CEM V/A ou B

**4. Les propriétés des ciments :**

**1. Masse volumique absolue**

Elle déterminée à l'aide du pycnomètre ou le densimètre LeChatelier ;

$$P_c = P_t \frac{m_c}{m_t}$$

## **2. Mesure de la finesse :**

Le ciment doit être très fin. La finesse de ciment est exprimée en surface spécifique SSB (surface spécifique de Blaine) et elle déterminée à l'aide de l'appareil de Blaine.

## **3. Mesure des temps de début et de prise :**

Il est nécessaire de connaître le début et fin de prise des pâtes de ciment (des liants hydrauliques) afin de pouvoir évaluer le temps disponible pour la mise en place correcte des mortiers et des bétons qui seront ensuite confectionnés.

Les délais de prise sont déterminés à l'aide de l'appareil de Vicat.

## **4. Mesure la consistance de la pâte**

La consistance de la pâte caractérise la fluidité. C'est le rapport de la quantité d'**E**au sur la quantité **C**iment (**E/C**), c à dire c'est le besoin d'eau nécessaire pour gâcher le mortier. Elle exprimée en %. Il y a deux types d'essai, qui permettent d'apprécier cette consistance.

## **5. Mortier normal :**

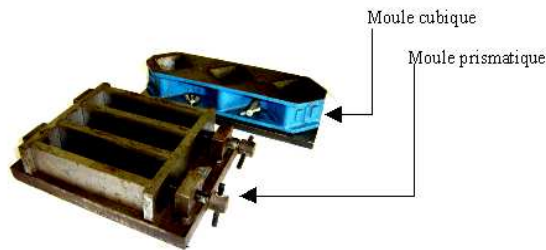
Le mortier normal est un mortier qui sert à définir certaines caractéristiques d'un ciment et notamment sa résistance. Ce mortier est réalisé conformément à la norme (pour déterminer la résistance mécanique du ciment).

La composition du mortier à tester est le suivant :

- sable normalisé = 1350 g ;
- ciment = 450 g ;
- eau de gâchage = 225 g ; (le rapport E/C est donc 0,50).

#### 4. Mesure des résistances à la compression et à la traction

##### Confection des éprouvettes

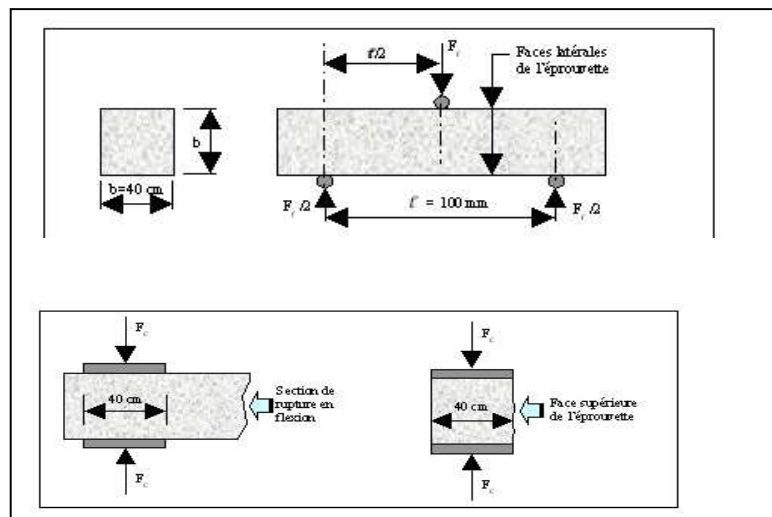


La résistance à la traction ;

$$R_f = \frac{1,5 F_f \cdot l}{b^3} \quad \text{en bar ou MPa}$$

La résistance à la compression;

$$R_C = \frac{F_C}{b^2}$$



## 2. Céramiques :

### 1. Définition :

La racine grecque du mot céramique est « **Kéramos** » qui signifie « **argile** ». C'est un produit issu de la cuisson d'une terre argileuse qui peut être émaillée ou vitrifiée en surface pour donner la faïence, de la porcelaine...etc.

### 2. Les grandes caractéristiques des céramiques :

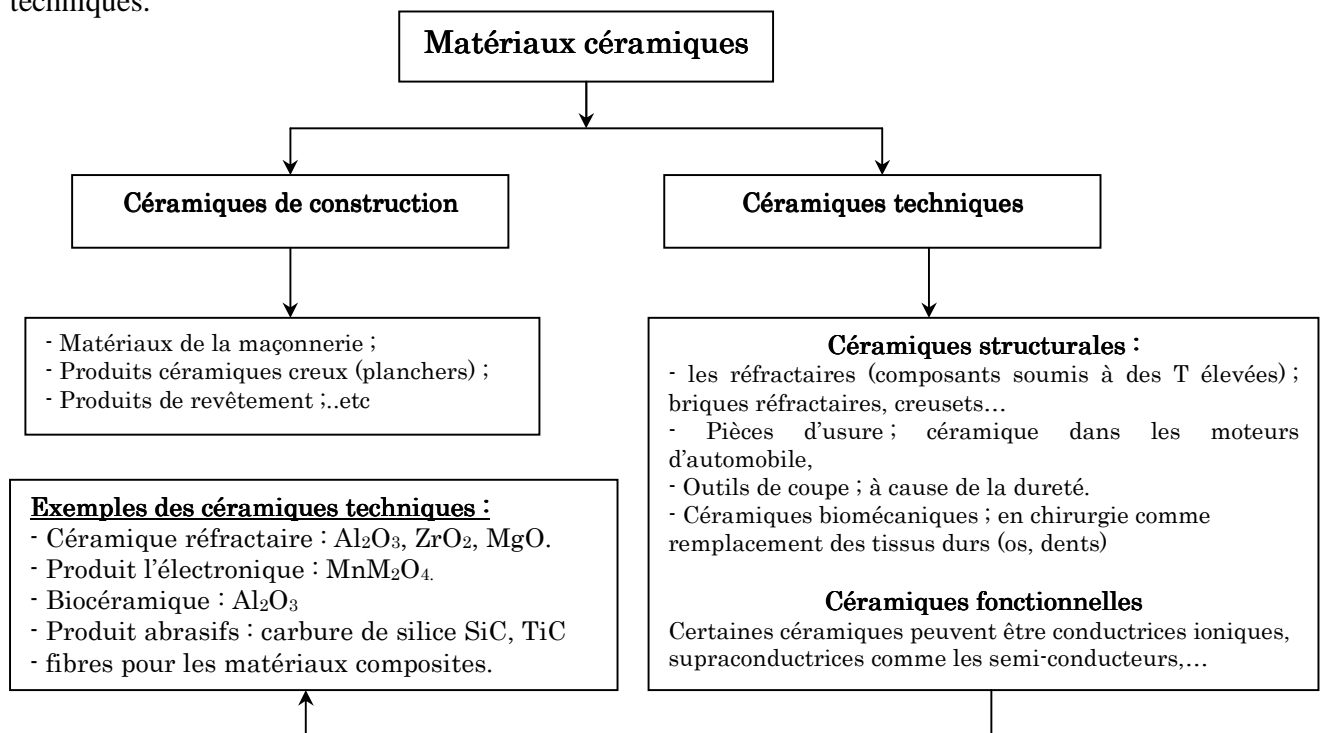
Les céramiques sont caractérisées par des liaisons fortes, ce qui se traduit dans la pratique par ;

- Une très bonne tenue en température ;
- Une excellente rigidité élastique ;
- Une bonne résistance à la corrosion ;
- Une bonne résistance à l'usure.

Ces matériaux ont de hauts points de fusion, ils sont fragiles peu ductiles.

### 3. Classifications des matériaux céramiques :

On distingue deux grandes classes des céramiques ; céramiques de construction et céramiques techniques.



### 4. Elaboration des céramiques :

L'élaboration des produits céramiques comprend six (6) étapes qui sont ;

1. Choix de la matière première (naturelle ou synthétique) ;
2. Broyage et homogénéisation ;

3. Compactage et mise en forme (introduction d'un liant organique) ;
4. Obtention de la chamotte : élimination du liant ( $T^{\circ} < 1000 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ;
5. Frittage : cycle thermique pour densifier l'agglomération de la poudre jusqu'à obtention d'un matériau ayant un minimum de porosité.
6. Habillage – Métallisation.

**5. Argiles et ses variétés pour la fabrication des céramiques :**

Les différentes roches argileuses servent pour la fabrication des céramiques.

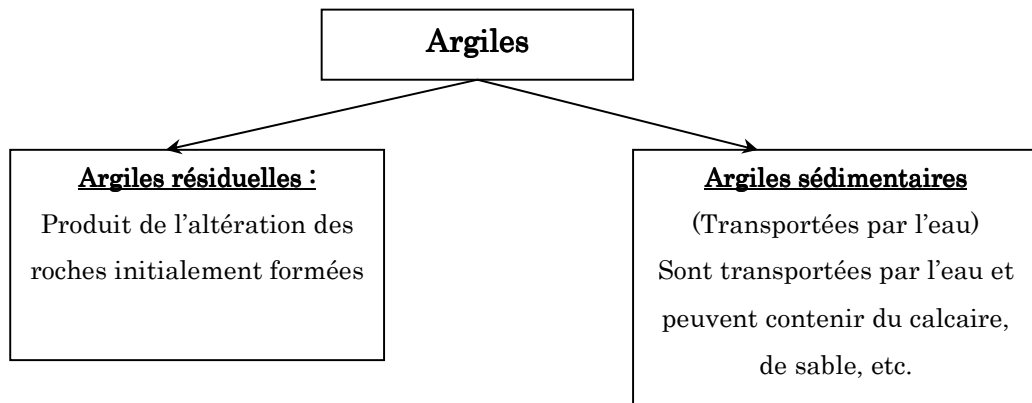
**Définition :** On appelle **argile** une masse minérale terreuse mélangée à l'eau, forme une pâte plastique conservant sa forme après séchage et transforme en pierre après la cuisson.

**Composition :** les argiles sont composées de différents oxydes, de l'eau libre et liée chimiquement et impuretés organiques.

Parmi les oxydes rentrant dans la composition des argiles sont :

- Oxyde de silice  $\text{SiO}_2$  ;
- Oxyde d'alumine  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ;
- Oxyde ferrique  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ;
- Oxyde de Calcium  $\text{CaO}$  ;
- Oxyde de sodium  $\text{Na}_2\text{O}$  ;
- Autres ( $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , ...).

**Les variétés :** les argiles sont subdivisées comme suit :



Les argiles pour la fabrication des céramiques sont caractérisées par

**La plasticité** est la propriété technologique la plus importante d'une argile et elle détermine la possibilité de façonnage.

**Le retrait à l'aire :** c'est la diminution de volume d'une éprouvette pendant le séchage.

**Comportement thermique :** sous l'action de la température pendant la cuisson, les argiles se transforment en donnant un produit dont la composition est à la base des minéraux. Durant le processus de cuisson, l'argile perd sa plasticité et accompagnée d'élimination des impuretés, il en résulte une diminution du volume « *retrait à la cuisson* ». L'ensemble des processus de retrait, transformation en pierre pendant la cuisson appelé « *frittage des argiles* ».

### 3. Les verres :

#### 2.1. Définition :

Le verre est un matériau amorphe, c'est-à-dire non cristallin. De ce fait, il présente un désordre structural important. Sa structure microscopique est telle qu'il n'existe aucun ordre à grande distance dans un verre.

Matériau amorphe (non-cristallin) : un solide amorphe est un solide où les atomes sont dispersés sans symétrie apparente. Il n'y a pas de symétrie de translation.

Matériau cristallin : Les corps cristallins sont les plus répandus dans la nature. Un solide cristallin est caractérisé par l'ordre géométrique de la distribution des atomes dans l'espace, c à d que les atomes sont régulièrement placés et selon un ordre géométrique bien défini appelé réseau cristallin.

#### 2.2. Structure du verre :

Composition : les verres sont composés de ;

- Formateurs de réseau : sont des molécules formant la structure de base du verre.

Exemple:

La silice  $\text{SiO}_2$  (tétraèdre de silice) ou l'anhydride borique  $\text{B}_2\text{O}_3$  (pyrex)

- Modificateurs de réseau : sont des oxydes métalliques qui modifient la structure des verres et leurs propriétés, en s'insérant dans le réseau vitreux (voir figure rôle des modificateurs)

Exemple:  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{BaO}$

Rôle des modificateurs est de baisser la température selon le mode représenté dans la figure. Donc on peut fabriquer le verre à basse température.

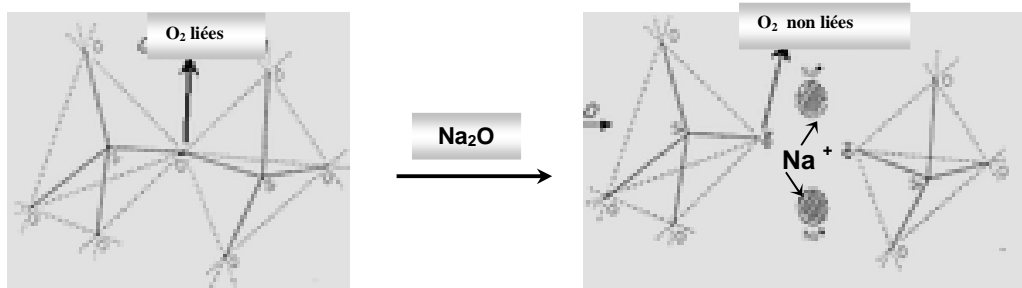
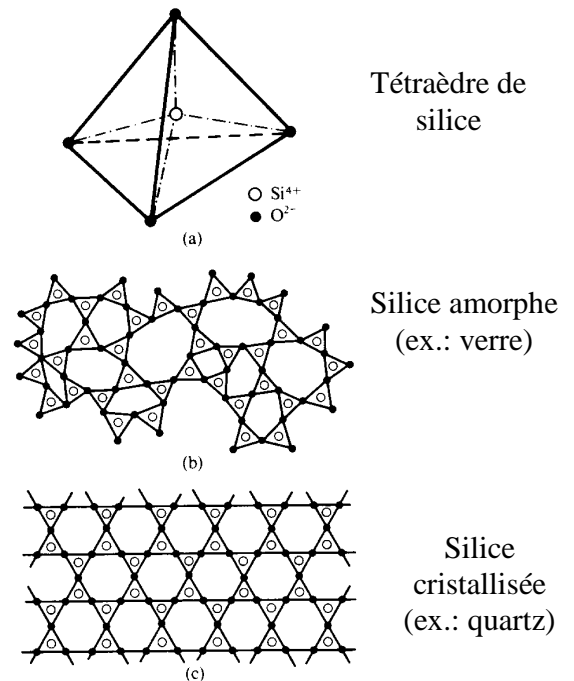


Figure: Rôle des modificateurs est de baisser la température selon le mode suivant

### 2.3. Particularité des verres :

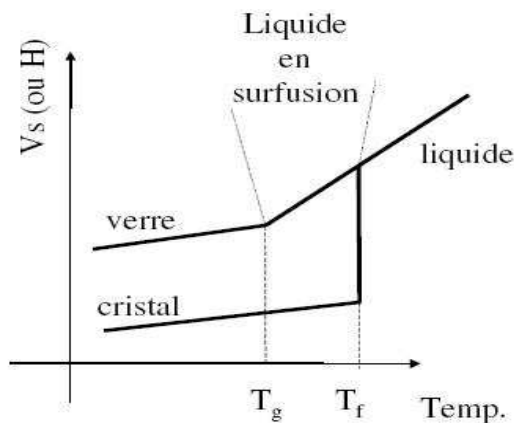
Les verres sont :

- Radio amorphe ;
- Son spectre de DRX (diffraction RX) ne présente pas des pics ;
- Sont des isotropes ; (selon toutes les directions, les propriétés sont les mêmes)
- Sont fragiles ;
- Possédant un domaine de transformation, caractérisé par la transition vitreuse.

**La transition vitreuse :** C'est l'étape la plus importante dans la fabrication du verre. La transition vitreuse est le passage de verre à l'état liquide vers l'état solide passant par l'état pâteux. Elle est caractérisée par sa température de **transition vitreuse  $T_g$** .

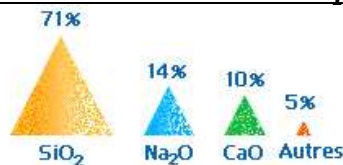
Lors du refroidissement rapide du verre à la sortie du four (voir la figure), le verre passe de l'état liquide à l'état plastique (pâteux) ensuite se transforme en solide c'est le produit du verre.

Si le refroidissement est lent, on aura une cristallisation du liquide à la température de fusion  $T_f$ , le produit sera un corps cristallin. Voir la courbe du processus thermique de la fabrication du verre.



### 2.3. La famille des verres : Parmi eux, on distingue ;

#### Verres silico-sodo calcique



#### Verres céramiques (vitrocéramiques)



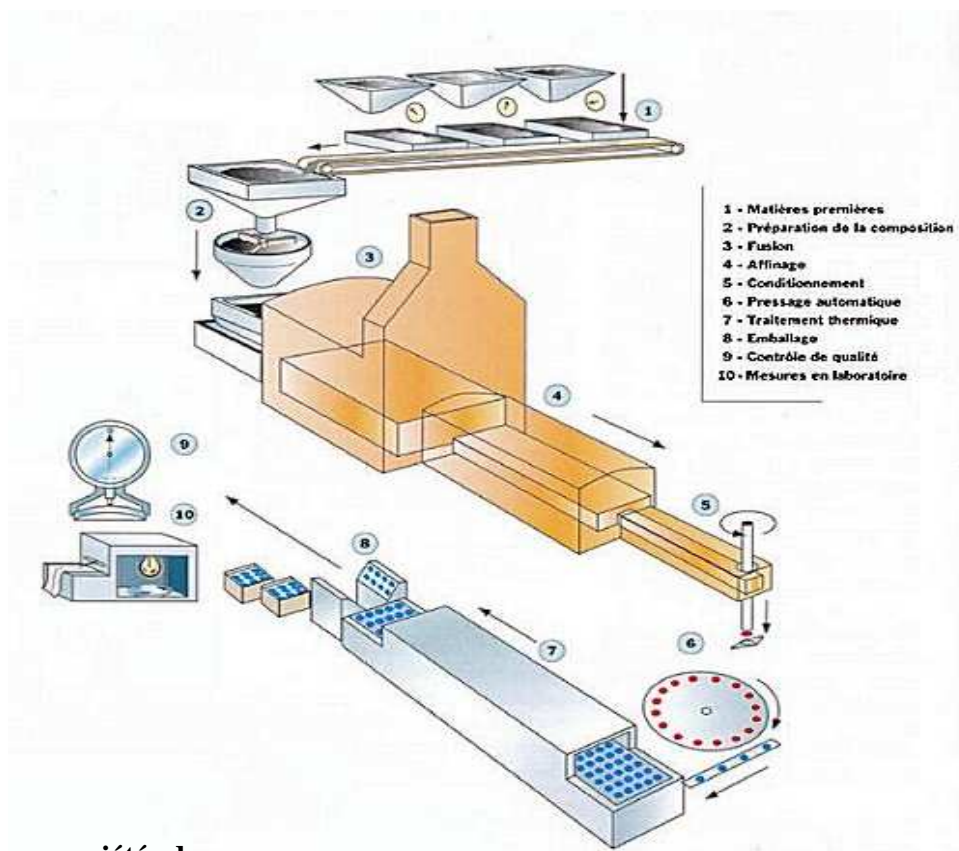
#### Verres borosilicates



#### Verres au plomb



## 2.4. Procédé de fabrication :



## 2.5. Quelques propriétés des verres :

- Propriétés optiques : verre transparent à cause de sa structure amorphe. Et l'indice de réfraction d'un verre ordinaire est de 1,5.
- Propriétés thermiques : les verres sont thermorésistant (résistent au choc thermique comme les verres borosilicates ; verre du labo).
- Propriétés mécaniques : les fibres de verre sont utilisés dans les matériaux composites à cause de sa résistance mécanique à la traction (pour le verre de silice sa résistance à la traction est de l'ordre 0.1 GPa).
- Autres propriétés : Résiste à la corrosion, résiste aux actions chimique (verre du labo, pharmaceutique...)