

**Calcaire**

**Argile**

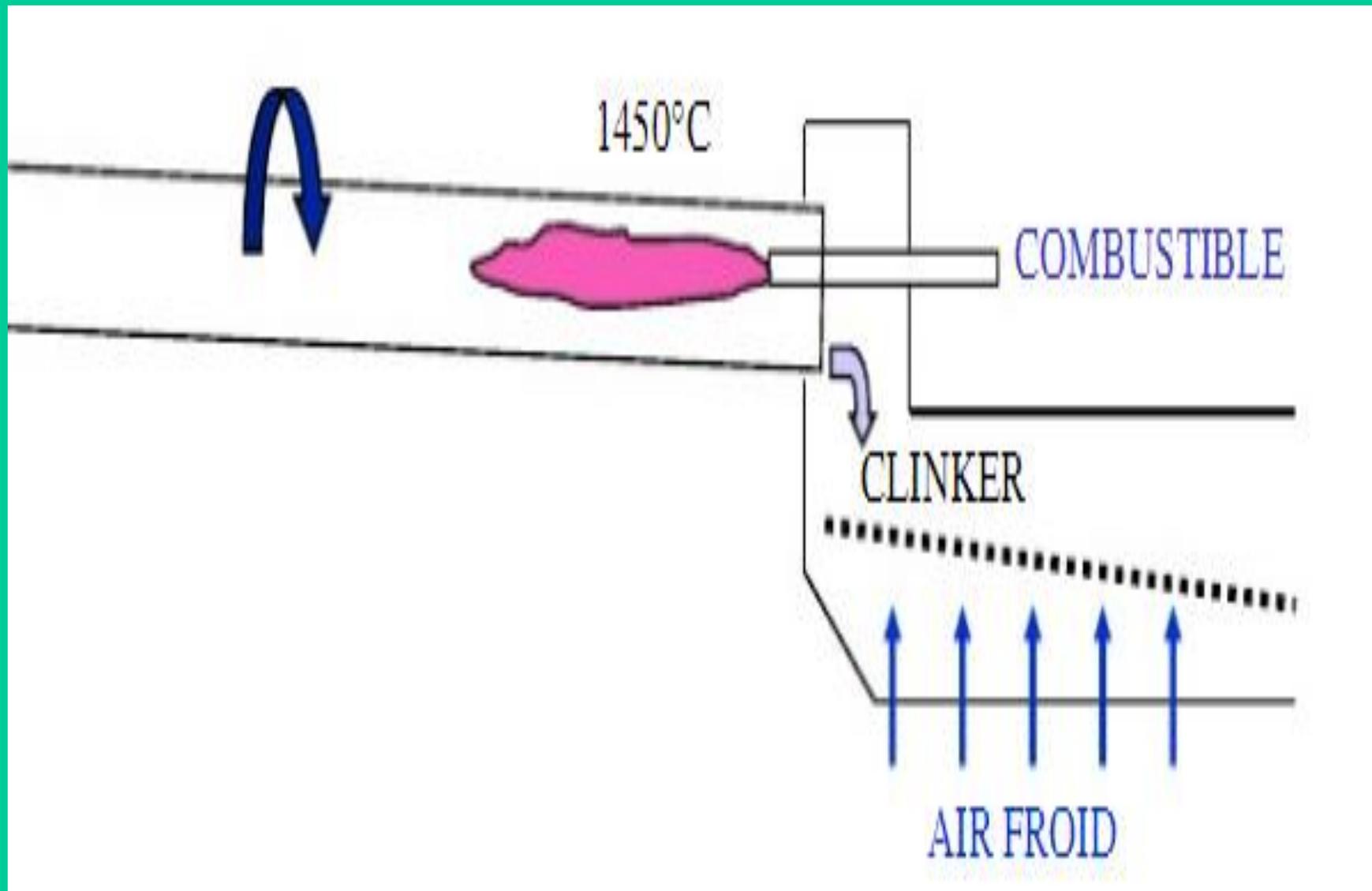


**1450°C**



**Clinker**





# Le four rotatif

Formation de silicate tricalcique

Formation des composés initiaux

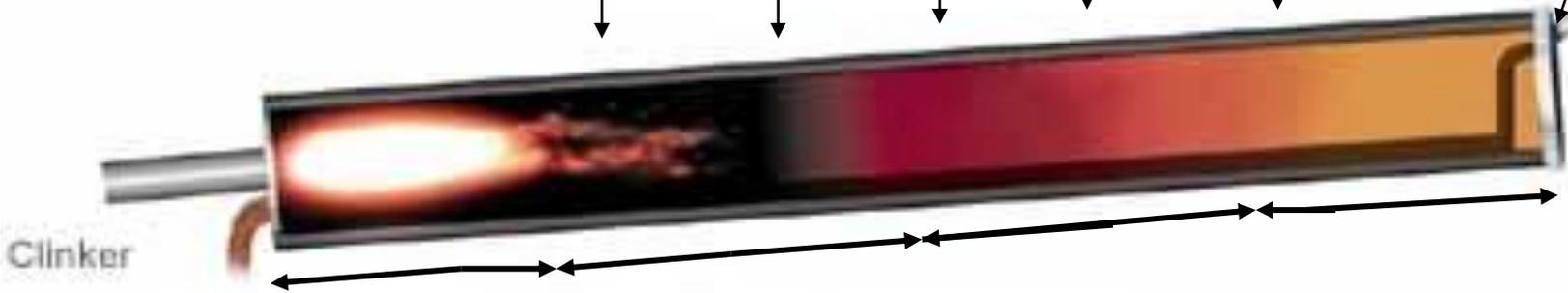
Décomposition de l'argile

Formation initiale de silicate tricalcique

Décomposition de la chaux

Evacuation De l'eau libre

Cru



Clinker

Refroidissement

Clinkerisation

calcination

déshydratation

Clinker

1700

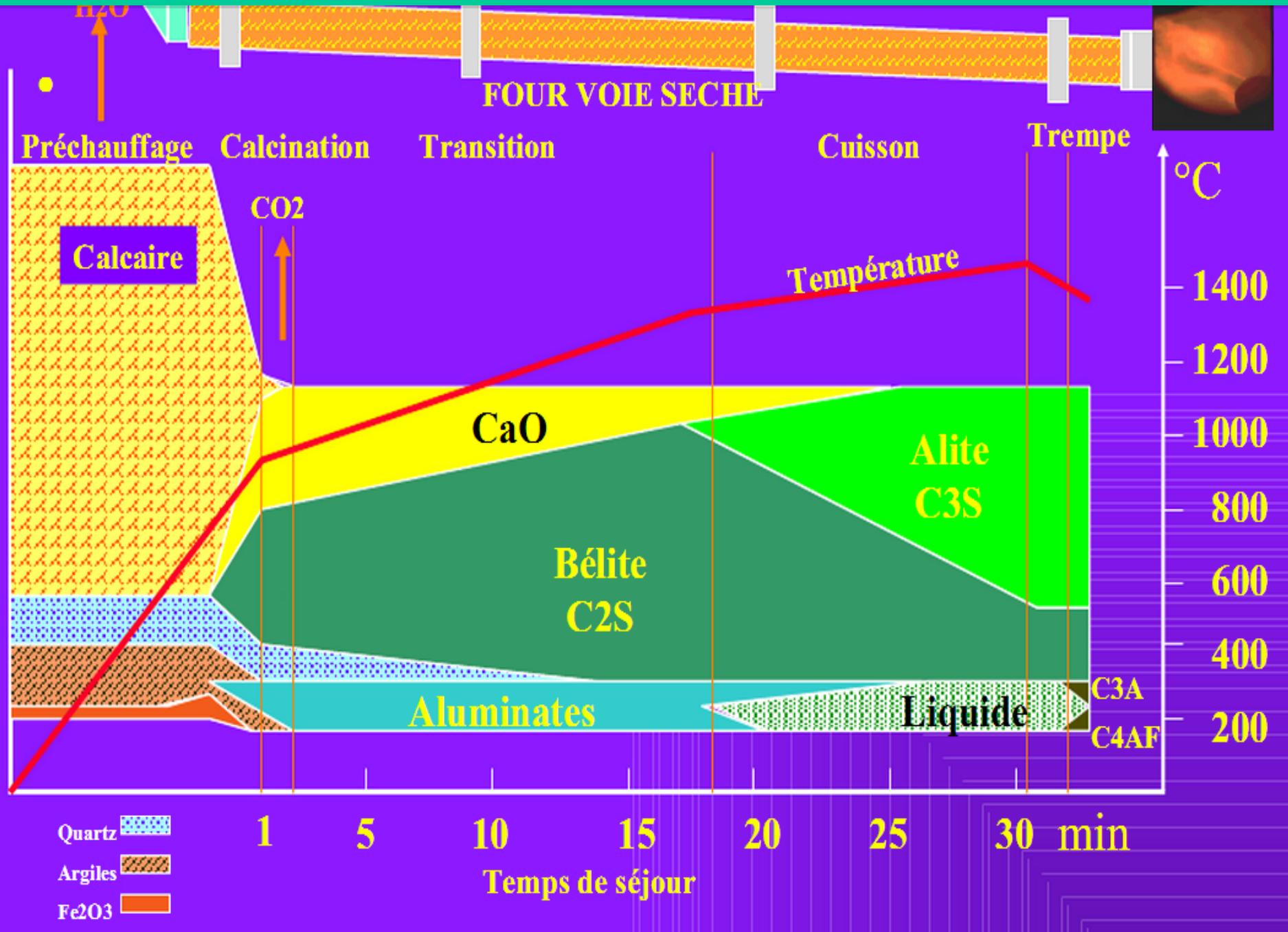
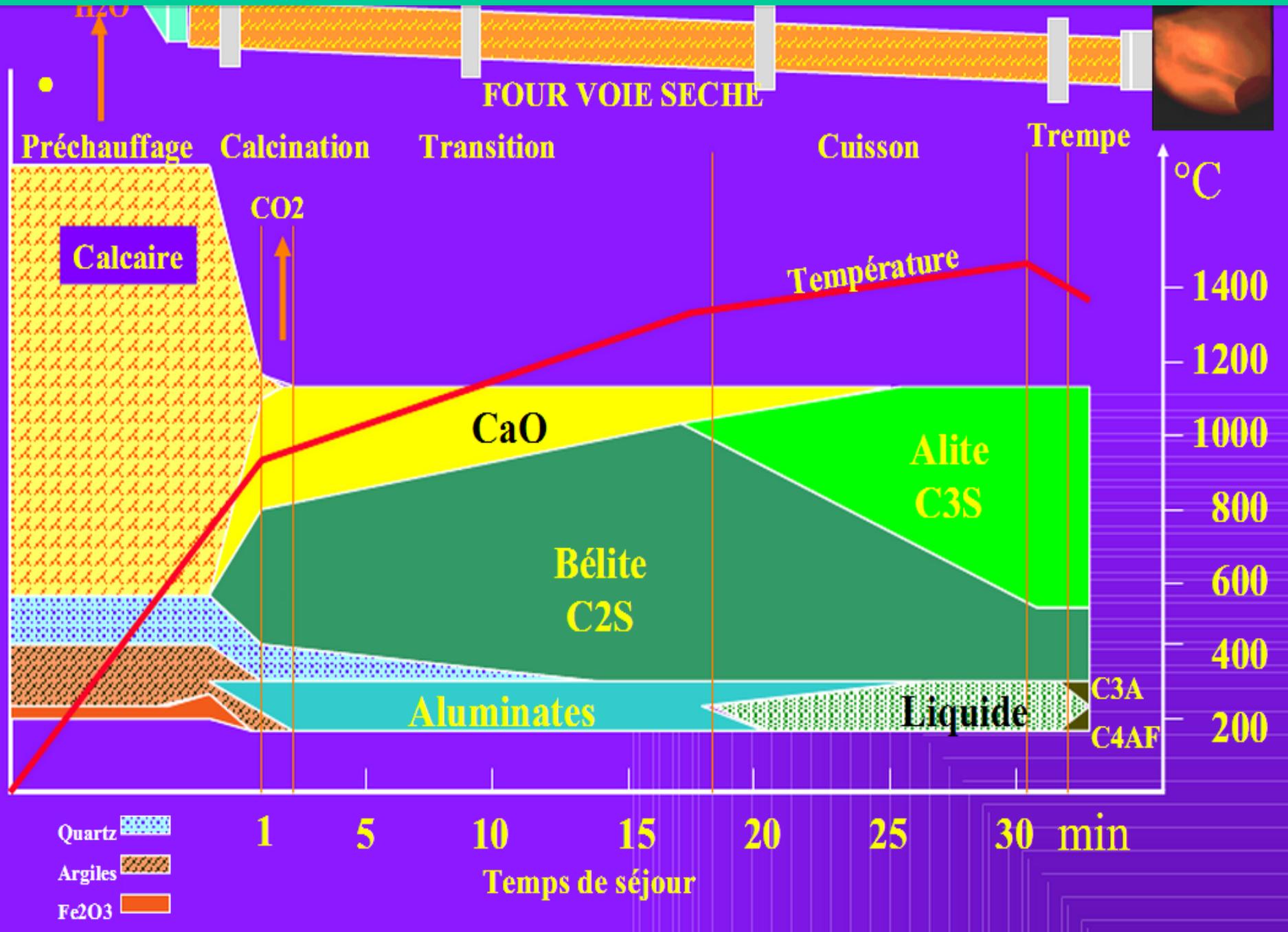
1350

1200

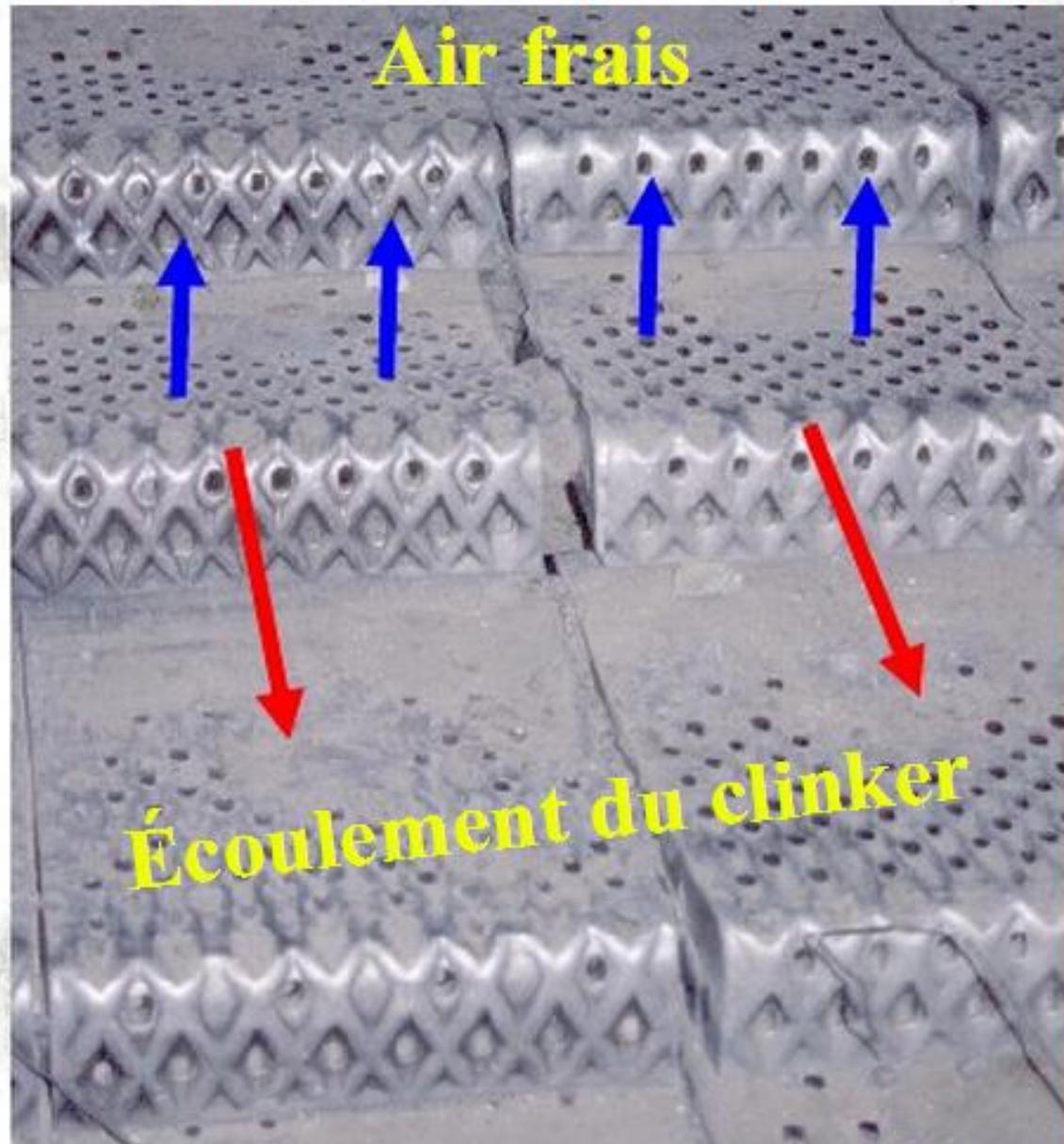
800

450

°C



# refroidissement par air du clinker



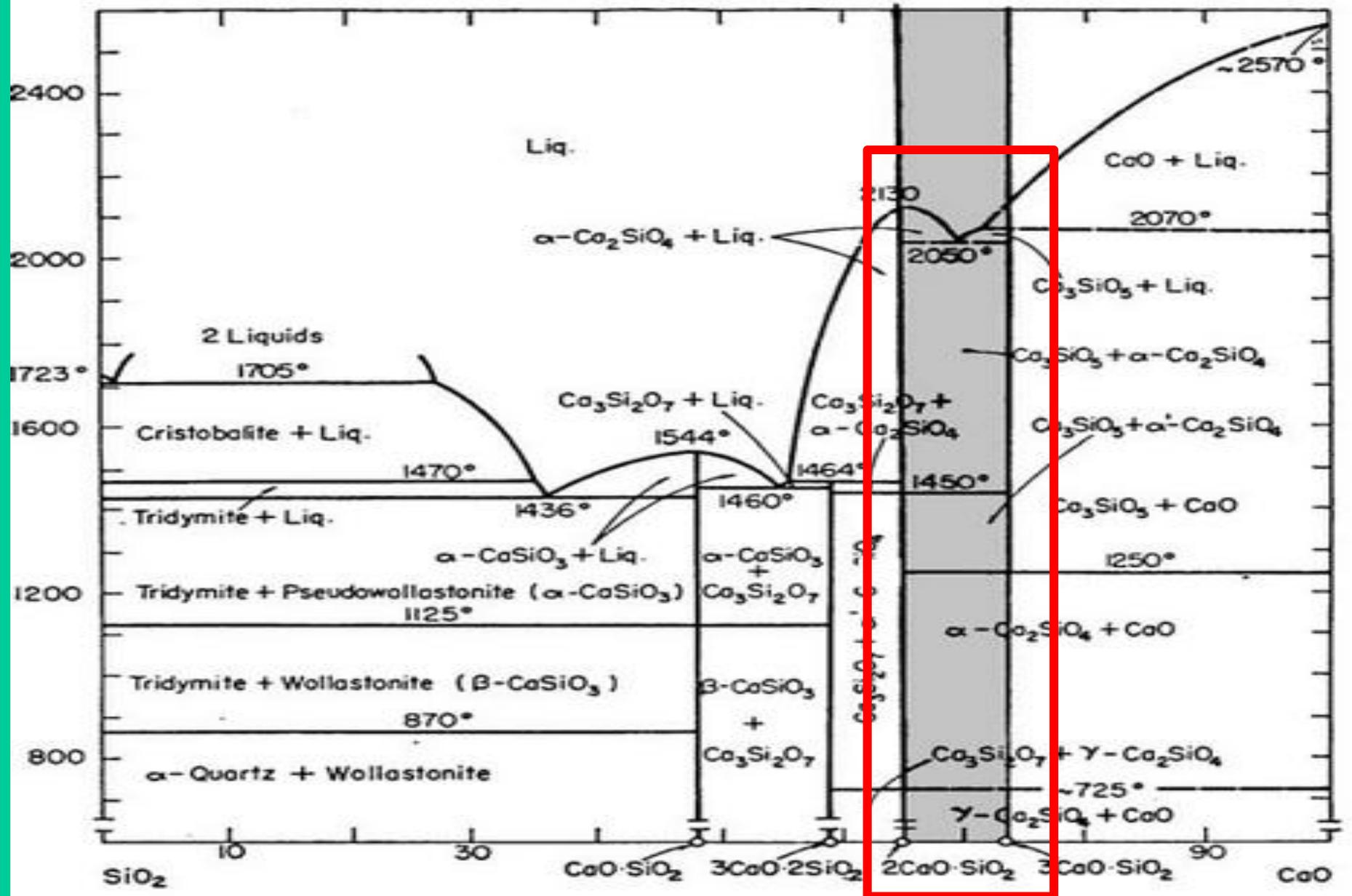
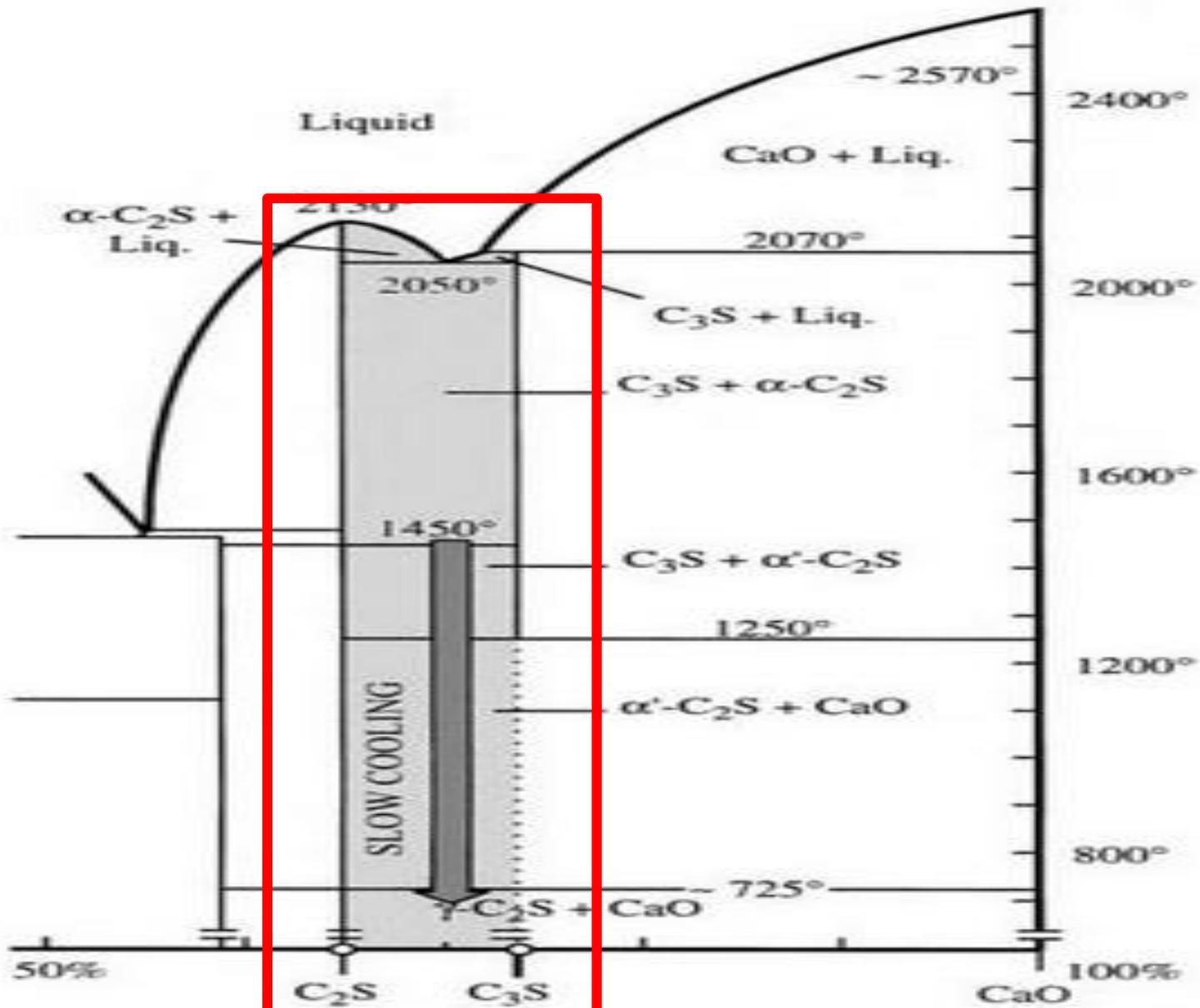
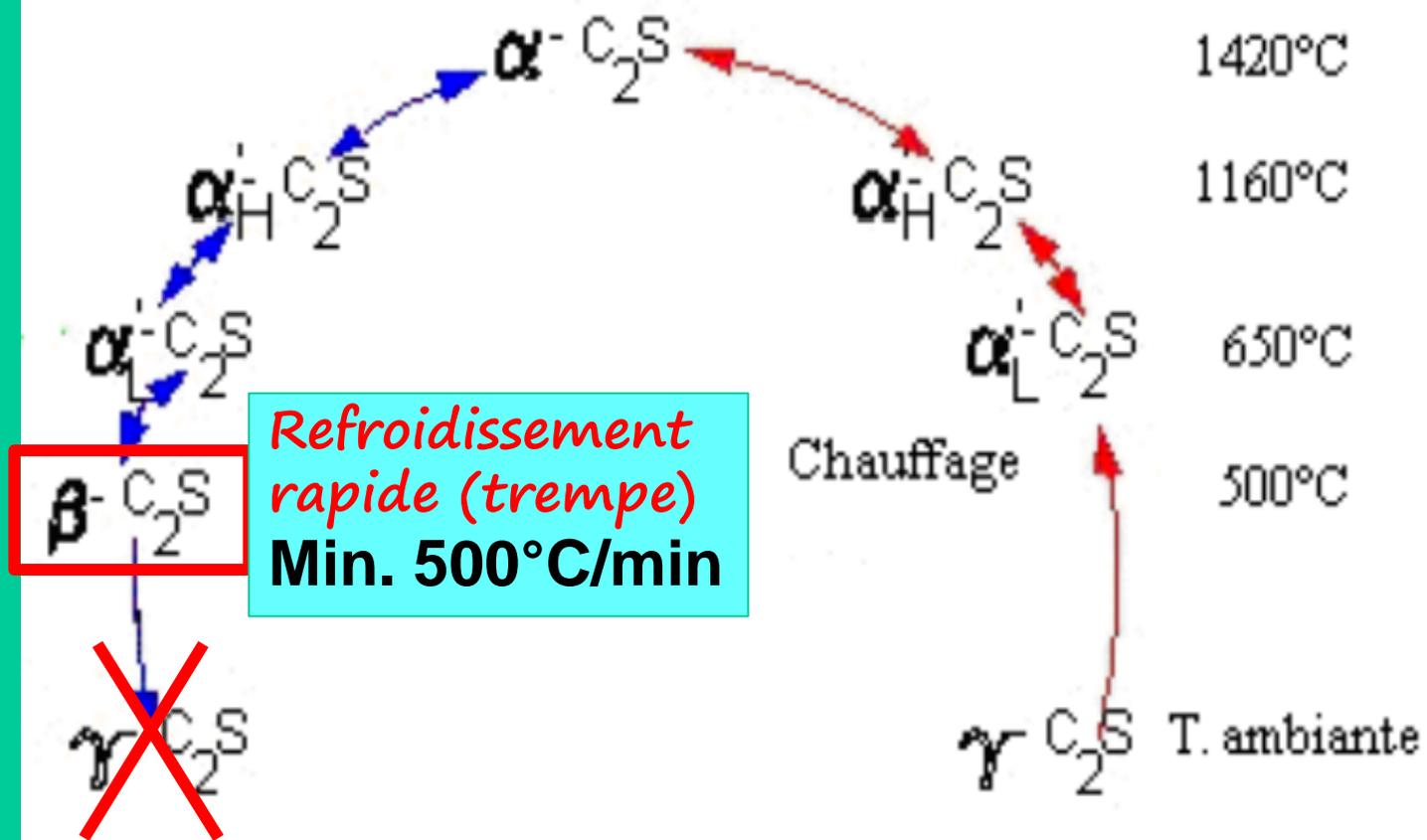


Figure 4.9 CaO-SiO<sub>2</sub> binary diagram from Phillips and Muan (1959) (Reprinted with permission of the American Ceramic Society, www.ceramics.org. All rights reserved).





Cycle de transformation de la bélite

- $\alpha$ -C<sub>2</sub>S : Hexagonale de densité 2,94.
- $\alpha'_H$ -C<sub>2</sub>S : Orthorhombique de densité 3,11.
- $\alpha'_L$ -C<sub>2</sub>S : Orthorhombique de densité 3,14.
- $\beta$ -C<sub>2</sub>S : Monoclinique de densité 3,20.
- $\gamma$ -C<sub>2</sub>S : Orthorhombique de densité 2,94

## Produit final: le clinker



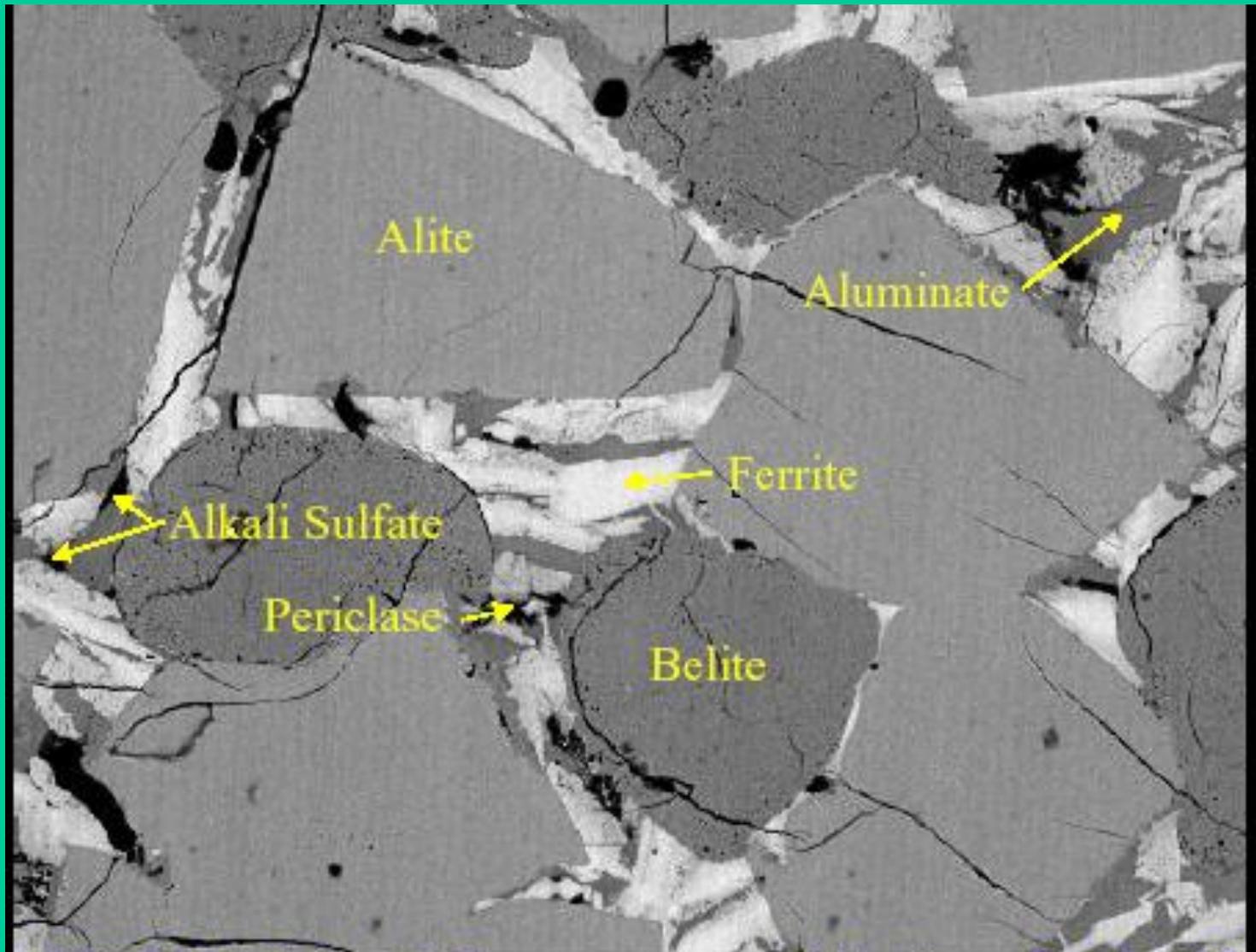
$C_3S$   
40-70 %

$C_2S$   
0 - 30 %

$C_3A$   
2 - 15 %

$C_4AF$   
0 - 15 %

Image par MEB (20mm) des différents constituants du CLINKER



NIST RM clinker 8488

200 micron field width

**Calcaire**

**Argile**



**1450°C**



**Clinker**



**+**

**Gypse**



**Produits d'addition**



**Ciment**



## Additifs aux Clinker

= **La pouzzolane** : qui sont des produits naturels. capables de fixer la chaux à T ambiante, pour former des composés ayant des propriétés hydrauliques

= **Les fillers** : Sont des roches obtenus par broyage fin, comme (calcaire, laitier, basalte...). Ils sont actifs s'ils ont, même partiellement, des propriétés hydrauliques ou pouzzolaniques en présence de ciment et d'eau.

= **Le laitier** : Les laitiers de haut-fourneau, sous-produits de la fabrication de la fonte; ils se présentent sous la forme de nodules ou d'aiguilles assez fins, de couleur jaune brun. Lorsque le laitier est mélangé avec du clinker et de la chaux, il présente des réactions de prise.

= **Les cendres volantes de charbon minéral** : Résidus du charbon, produites essentiellement par les centrales électriques. Elles se présentent sous forme de produits pulvérulents de teinte grisâtre



La composition chimique garantit les qualités du ciment à terme,

La composition est donnée par la **formule de Bogue** qui donne les teneurs en  $C_3S$ ,  $C_2S$ ,  $C_3A$ ,  $C_4AF$  + en chaux libre pour le clinker + teneur gypse et en calcaire pour un ciment

**Ciment :**



$CaSO_4, 2H_2O =$  **Gypse**

$CaO_{\text{libre}} =$  **Chaux libre**

**Autres oxydes**



# Ciment :

Analyse par Fluor. X

%CaO

%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

%SiO<sub>2</sub>

%Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

%SO<sub>3</sub>

%CO<sub>2</sub>

% autres oxydes

(Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, MgO...)

C<sub>3</sub>S

C<sub>4</sub>AF

C<sub>3</sub>A

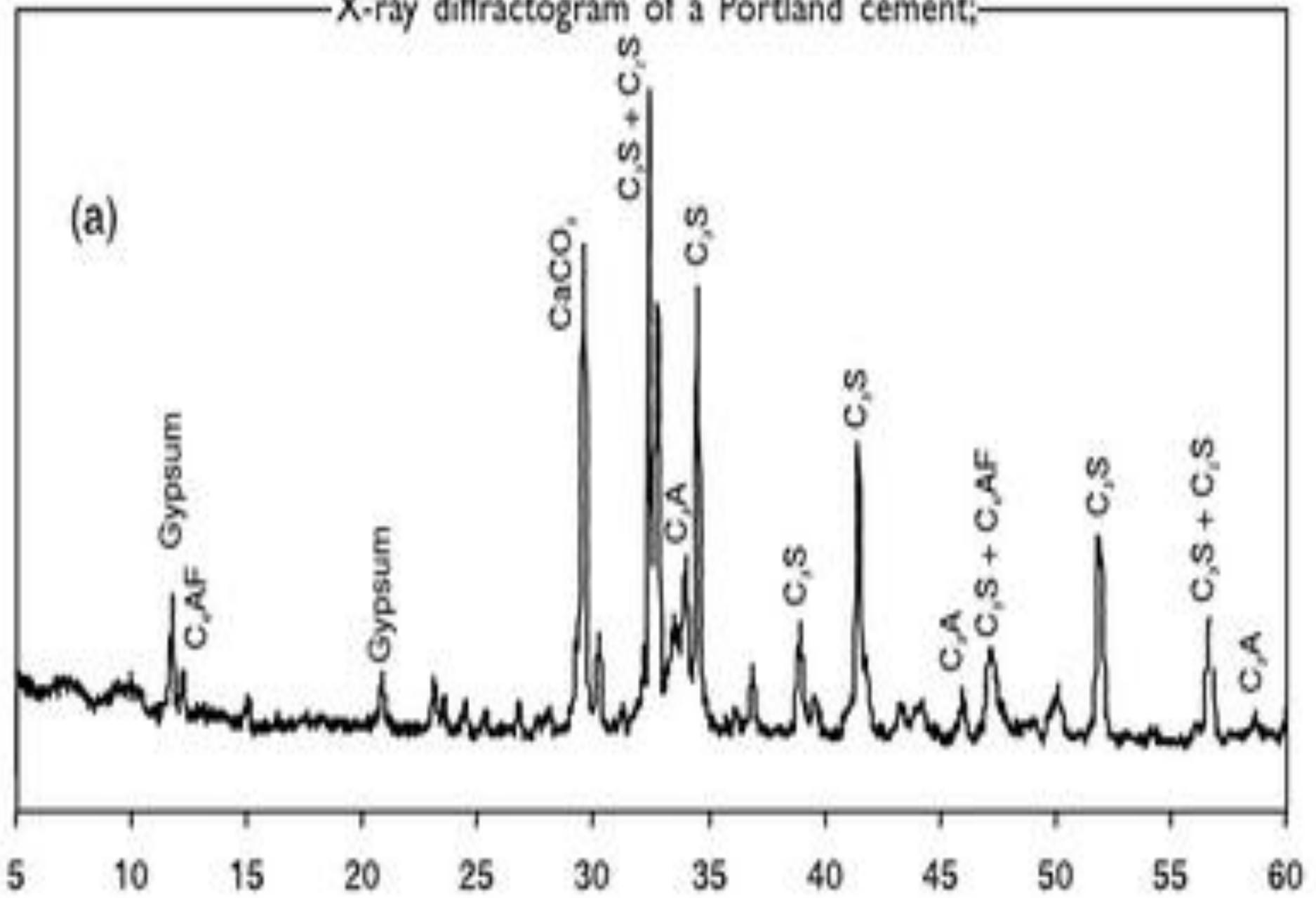
C<sub>2</sub>S

CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O = Gypse

CaO<sub>libre</sub> = Chaux libre

Autres oxydes

X-ray diffractogram of a Portland cement;



$$\% \text{ Gypse} = \text{SO}_3 \cdot 2,15$$

$$\% \text{ Carbonate} = \text{CO}_2 \cdot 2,27$$

$$\% \text{C}_4\text{AF} = \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3,04$$

$$\% \text{C}_3\text{A} = (\% \text{Al}_2\text{O}_3)_{\text{tot}} \cdot 2,647 - \% \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 1,69$$

$$\% \text{C}_3\text{S} = 4,07 \cdot \% \text{CaO} - 7,6 \cdot \% \text{SiO}_2 - 6,72 \cdot \% \text{Al}_2\text{O}_3 - 1,43 \cdot \% \text{Fe}_2\text{O}_3$$

$$\% \text{C}_2\text{S} = 2,87 \cdot \% \text{SiO}_2 - 0,752 \cdot \% \text{C}_3\text{S}$$

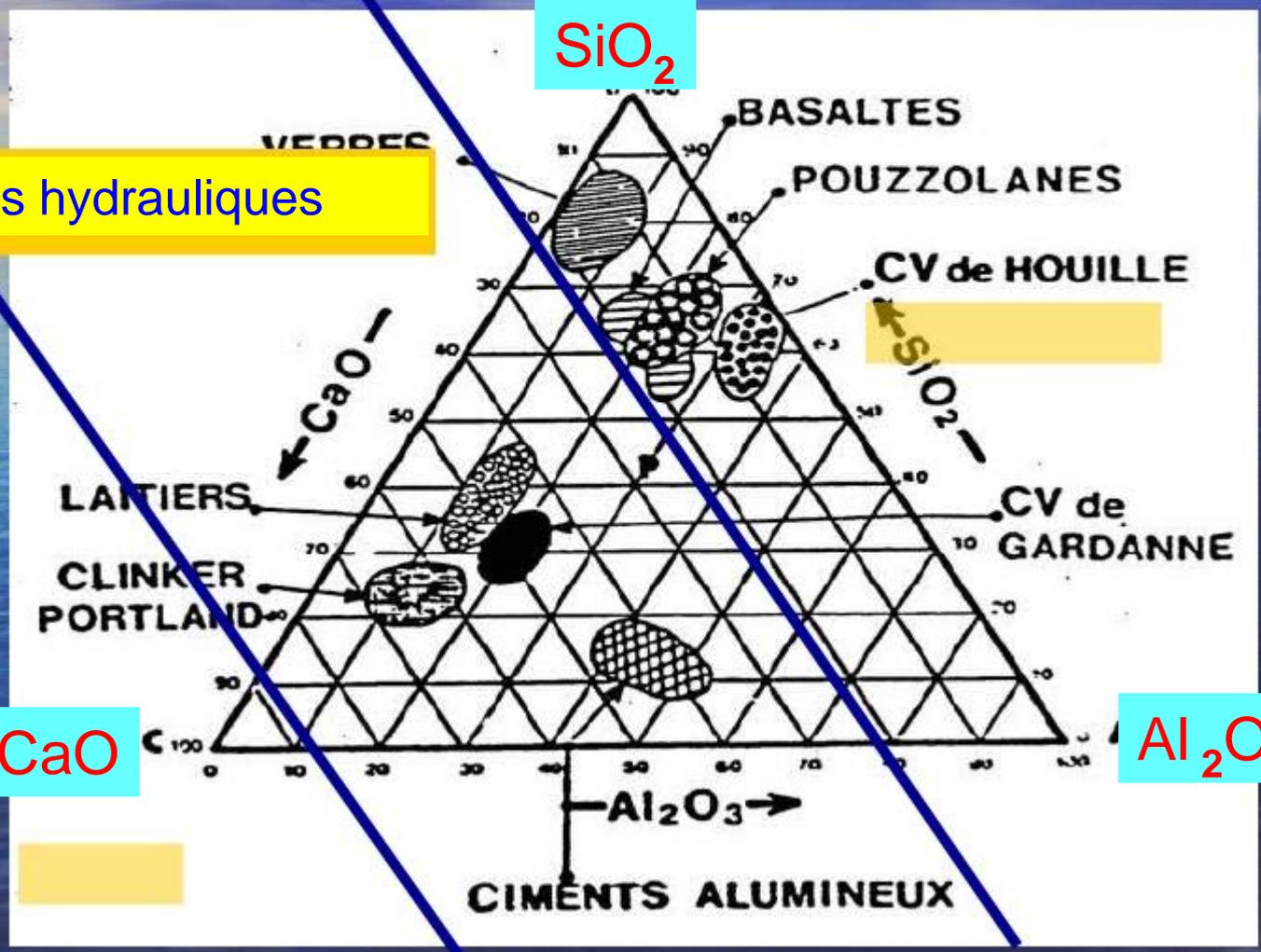


SiO<sub>2</sub>

Liants hydrauliques

CaO

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>



## La classification des ciments s'effectue :

- D'une part d'après la composition potentielle (%  $C_3S$ ,  $C_2S$  ...);

il existe plusieurs catégories de ciments, dont les plus importantes :

| Catégorie du ciment                   | Composition<br>(il faut ajouter environ 3% Gypse) |
|---------------------------------------|---|
| Ciments Portland Artificiels CPA      | Clinker $\geq 97\%$                               |
| Ciments Portland Composés CPJ         | Clinker $\geq 65\%$ + Calcaire $\leq 35\%$        |
| Ciments Portland aux cendres volantes | Clinker 80 à 90% + 10 à 20% CV                    |
| Ciments Portland au laitier           | Clinker 80 à 90% + Laitier 10 à 20%               |
| Ciments Portland aux pouzzolanes      | Clinker 80 à 90% + Pouzzolanes 10 à 20%           |
| Ciments blancs                        | Clinker Blanc $\geq 65\%$ + Calcaire $\leq 35\%$  |

*Ciments blancs*

*Clinker Blanc  $\geq 65\%$  + Calcaire  $\leq 35\%$*

Les **ciments blancs** sont des ciments naturels ou artificiels obtenus par cuisson de matières premières très pures, **exemptes** notamment de  $Fe_2O_3$ , la cuisson se faisant dans des fours appropriés **1500°C** évitant les souillures amenées par les cendres de combustibles solides, et pouvant comporter un traitement physico-chimique spécial.

### **Utilisations du ciment blanc**

Le **ciment blanc** peut être utilisé dans toutes les opérations de construction. Cela n'est en fait possible que parce qu'il y a une certaine ressemblance des caractéristiques aussi bien physique que chimique entre les deux ciments. C'est ainsi que le ciment blanc est utilisé dans :

- **Travaux de décor;**
- **Construction des dalles;**
- **Couverture des terrasses extérieures;**
- **Travaux de sauvegarde des monuments, statues et fontaines.**
- **Pour les trottoirs et les signes routiers sur les routes et les aéroports;**
- **Pour la fixation du marbre et des dalles de verre;**
- **Utilisé dans la production du ciment coloré;**

## La classification des ciments s'effectue :

- D'une part d'après la composition potentielle (%  $C_3S$ ,  $C_2S$  ...);
- D'autre part d'après les caractéristiques de résistances mécaniques.

il existe plusieurs catégories de ciments, dont les plus importantes :

| Catégorie du ciment | La résistance moyenne à 28 jours |
|---------------------|----------------------------------|
| CPA 55              | 55 MPa                           |
| CPJ 45              | 45 MPa                           |
| CPJ 35              | 35 MPa                           |
| Ciments blancs 55   | 55 MPa                           |