

Calcaire

Argile

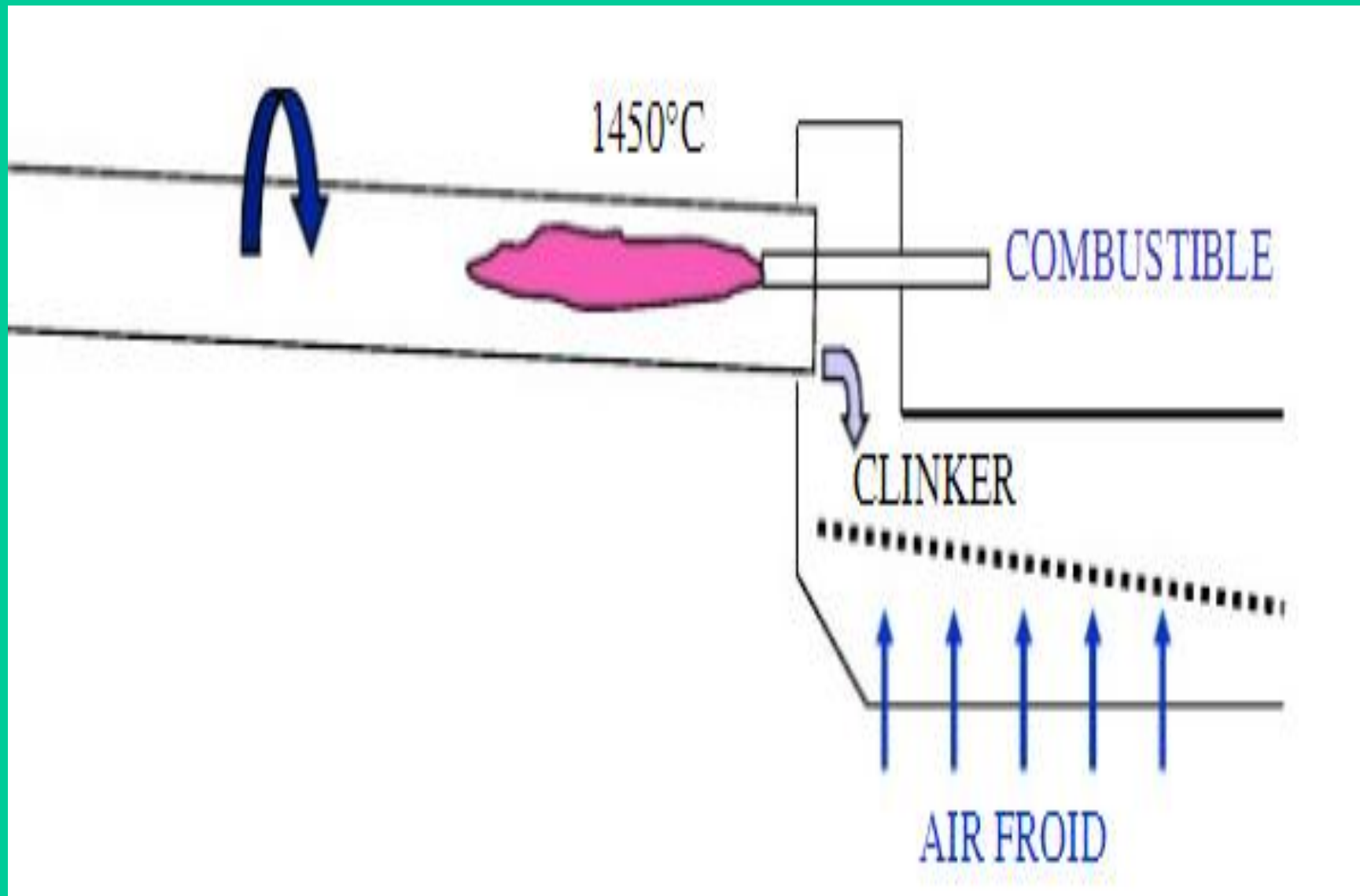


1450°C



Clinker





Le four rotatif

Formation de silicate tricalcique

Formation des composés initiaux

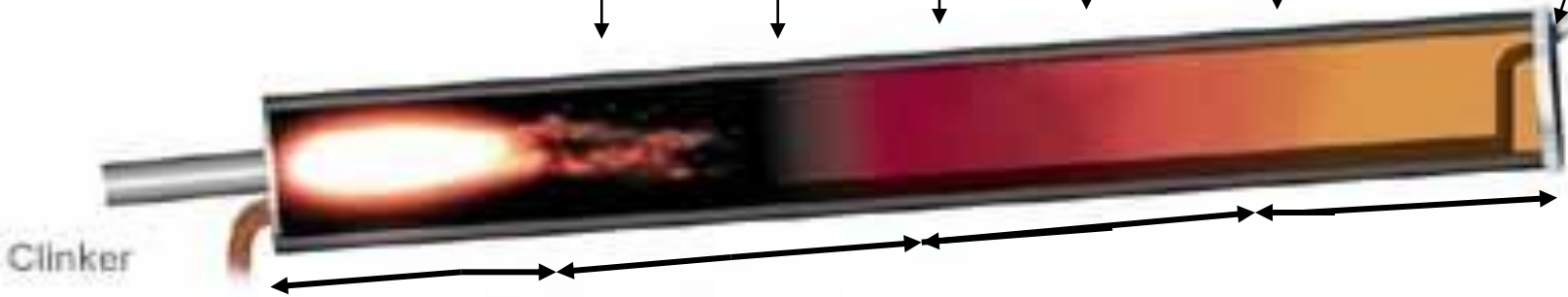
Décomposition de l'argile

Formation initiale de silicate tricalcique

Décomposition de la chaux

Evacuation De l'eau libre

Cru



Refroidissement

Clinkerisation

calcination

déshydratation

Clinker

1700

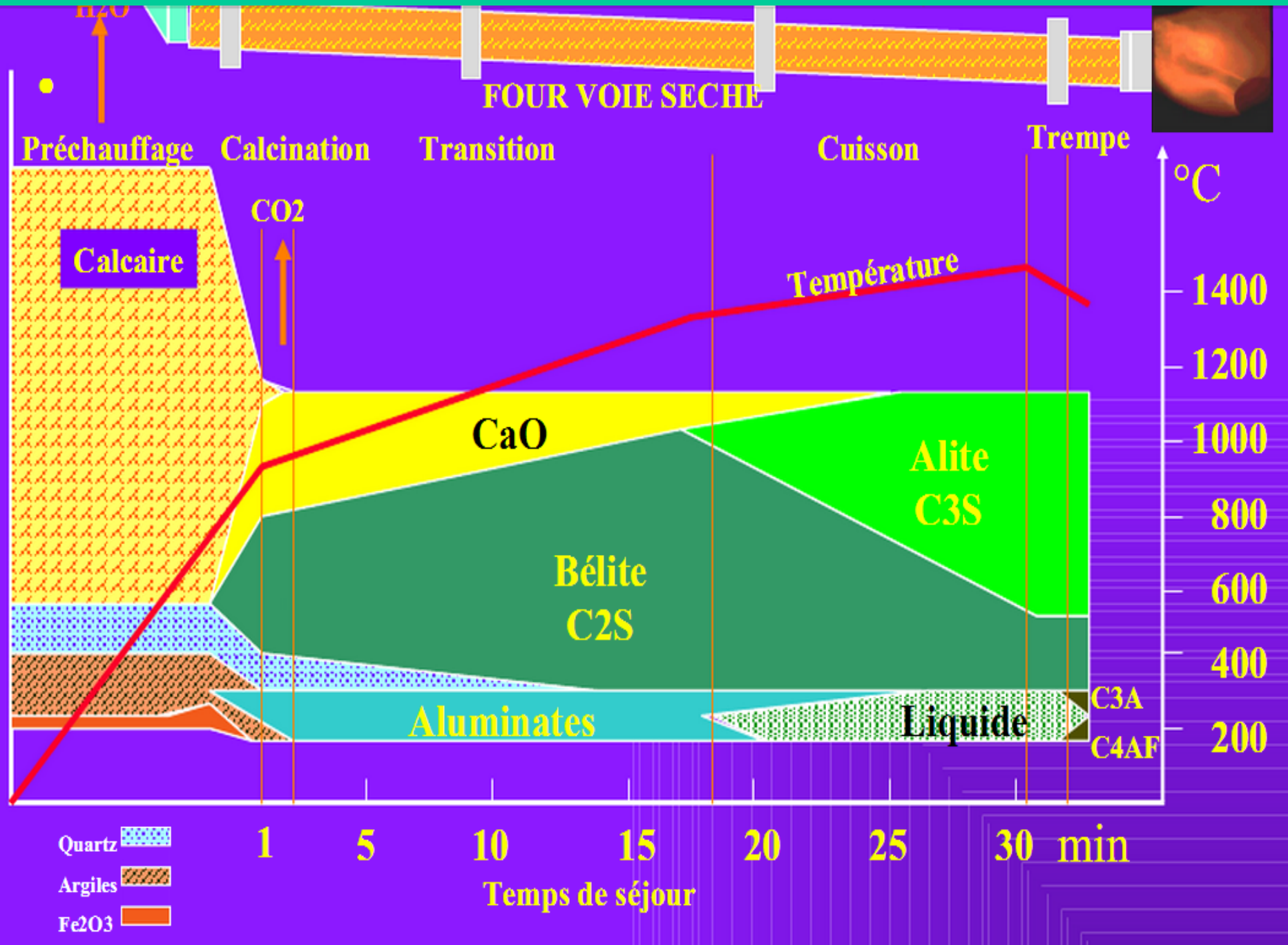
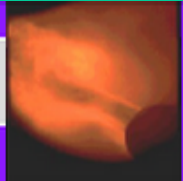
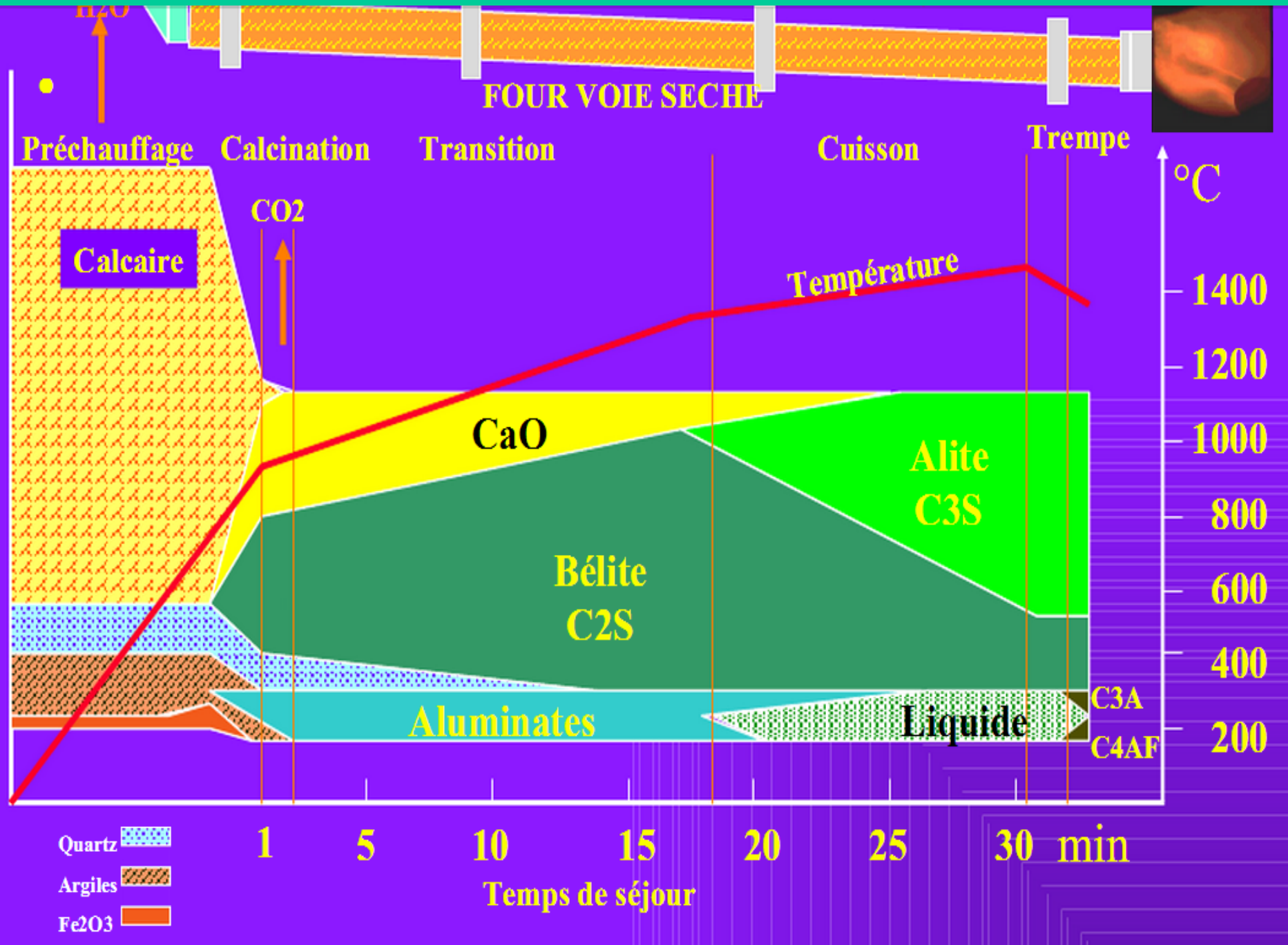
1350

1200

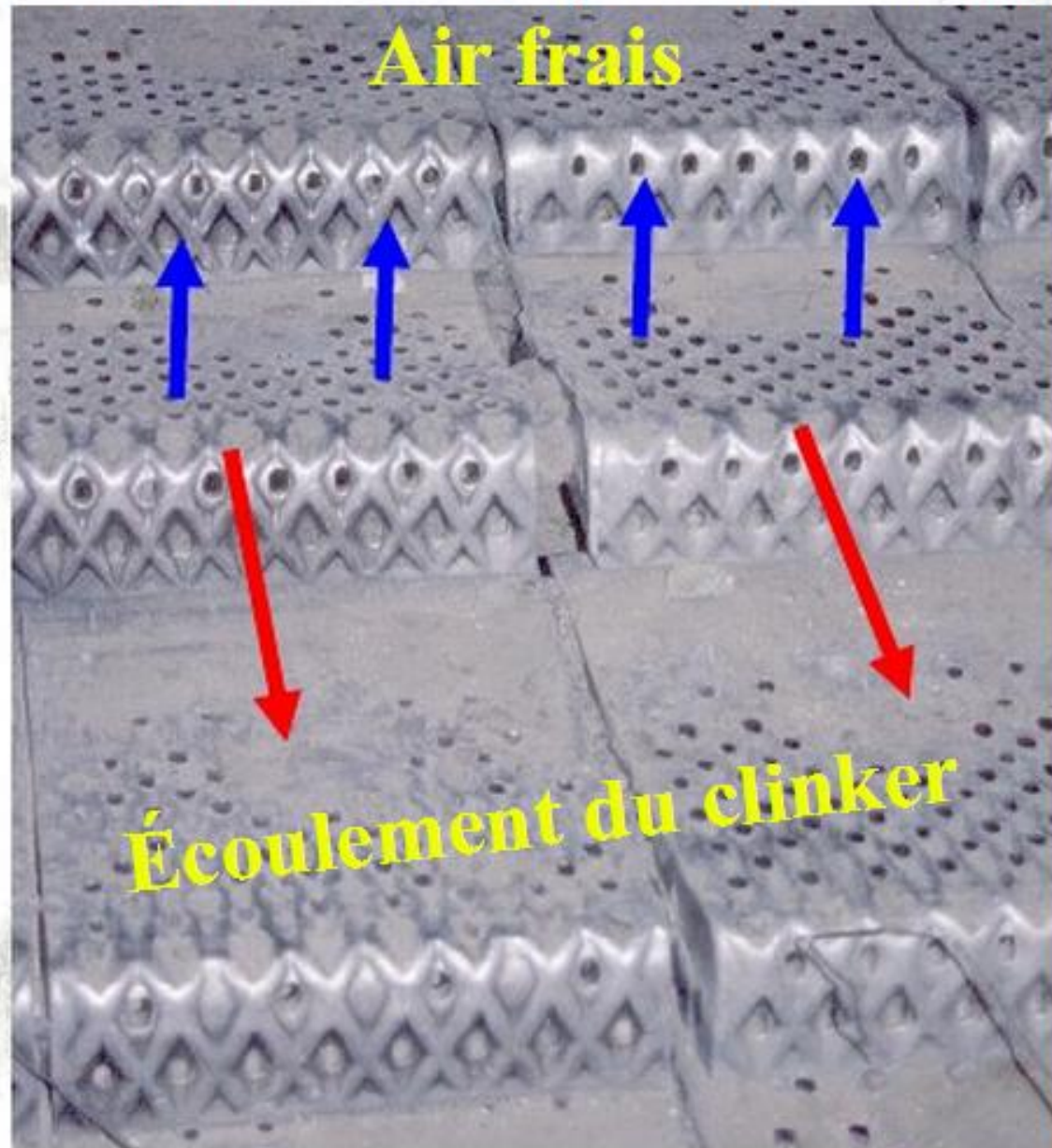
800

450

°C



refroidissement par air du clinker



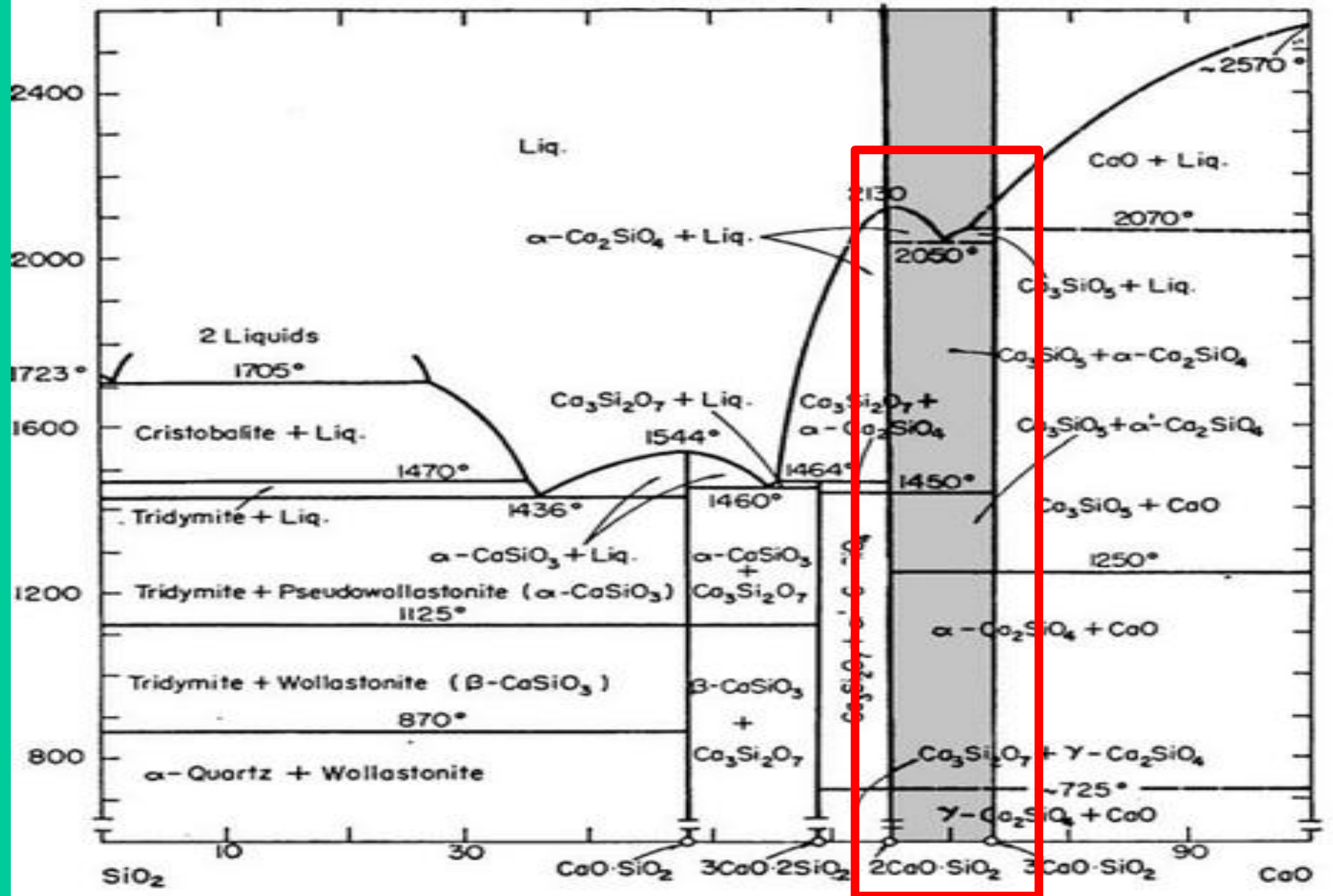
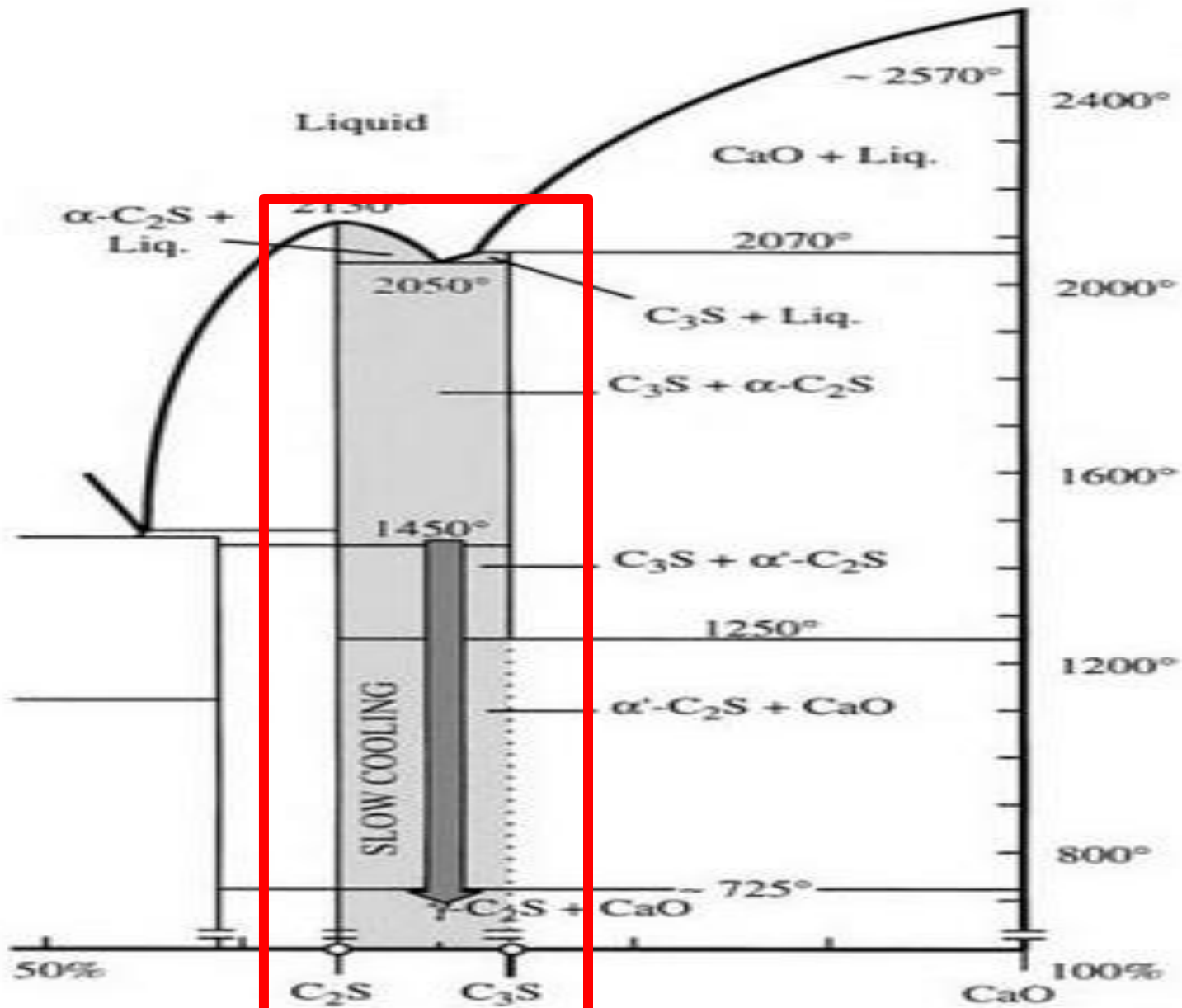
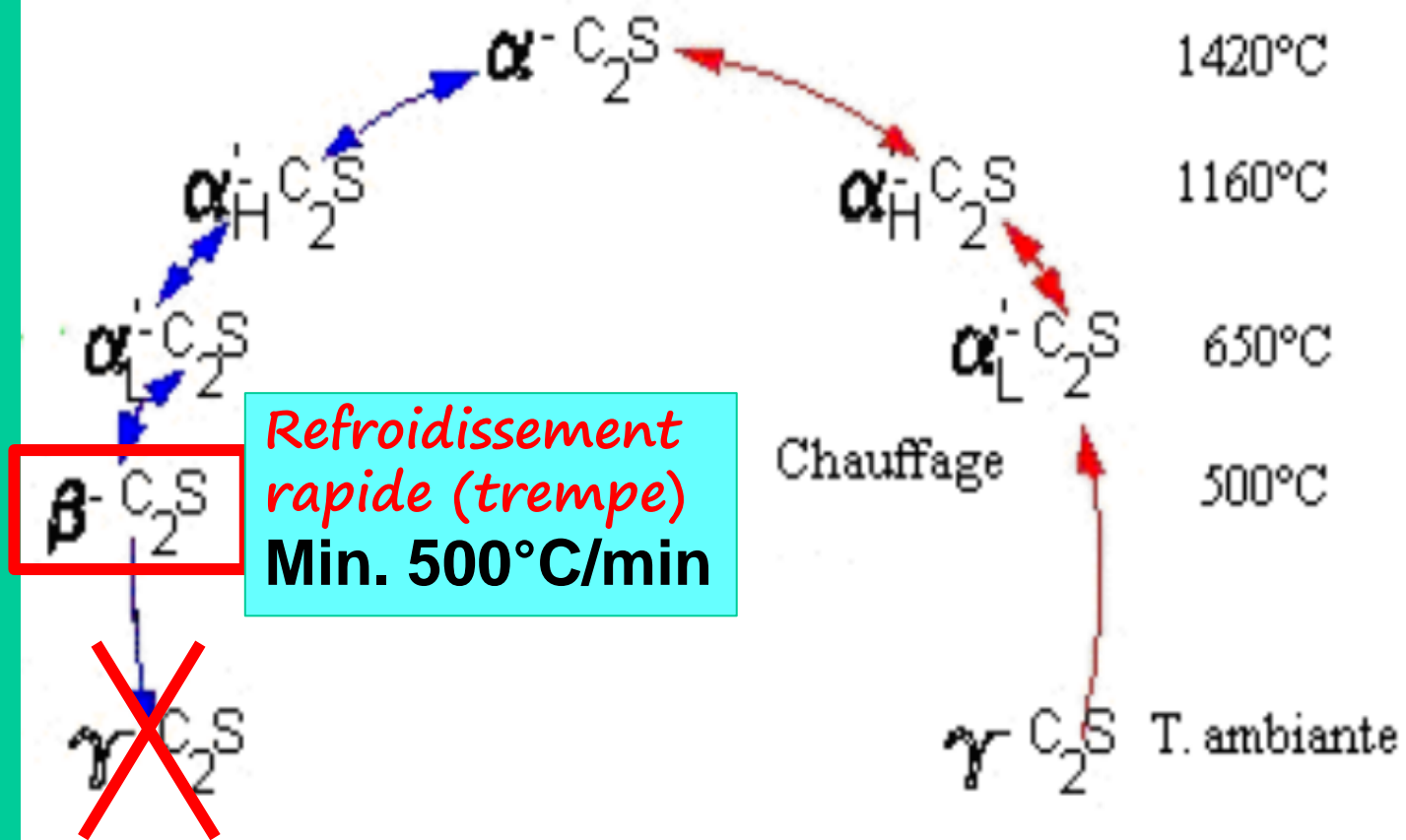


Figure 4.9 CaO-SiO₂ binary diagram from Phillips and Muan (1959) (Reprinted with permission of the American Ceramic Society, www.ceramics.org. All rights reserved).





Cycle de transformation de la bélite

- α -C₂S : Hexagonale de densité 2,94.
- α'_H -C₂S : Orthorhombique de densité 3,11.
- α'_L -C₂S : Orthorhombique de densité 3,14.
- β -C₂S : Monoclinique de densité 3,20.
- γ -C₂S : Orthorhombique de densité 2,94

Produit final: le clinker



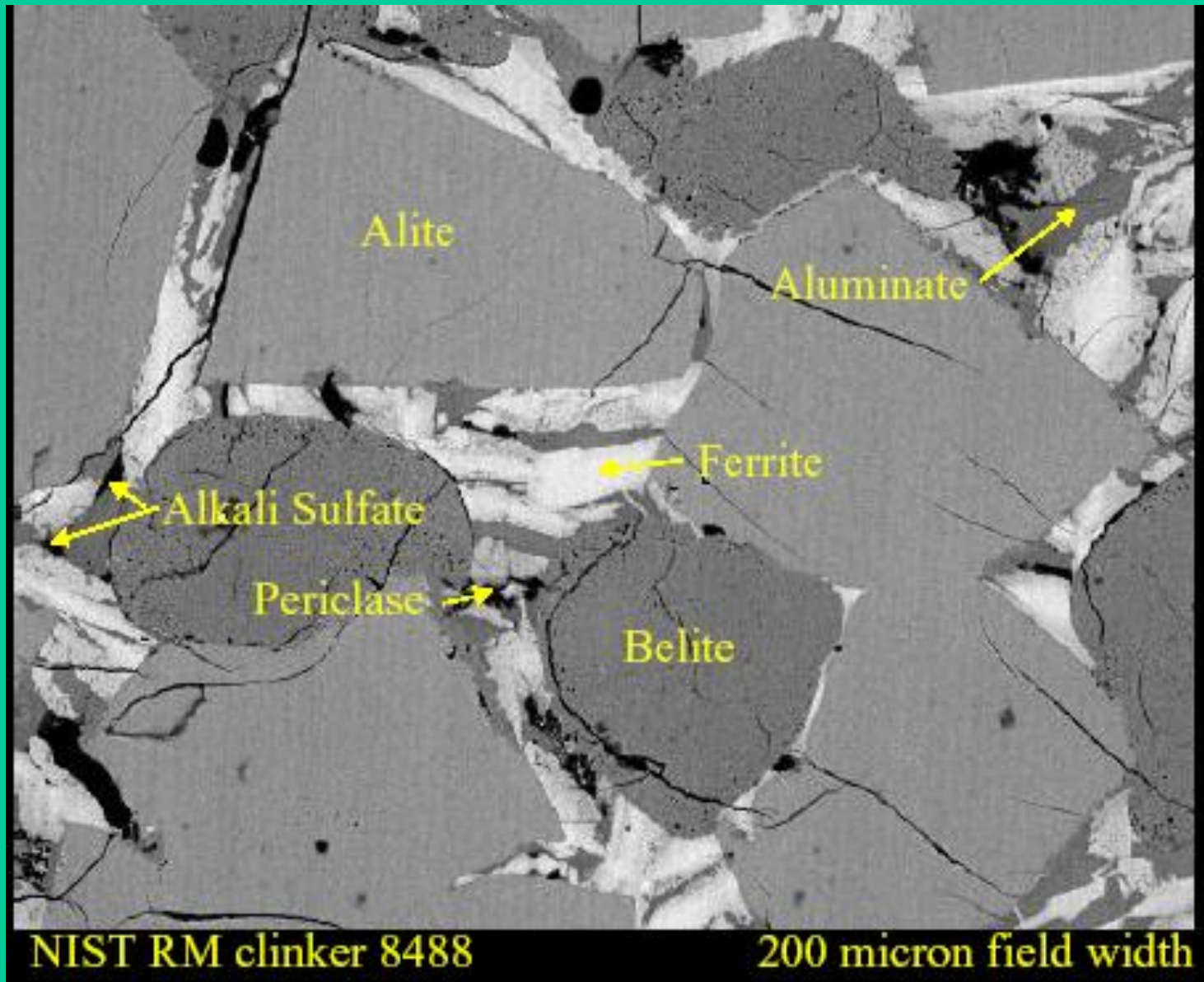
C_3S
40-70 %

C_2S
0 - 30 %

C_3A
2 - 15 %

C_4AF
0 - 15 %

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



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

%Al₂O₃

%SiO₂

%Fe₂O₃

%SO₃

%CO₂

% autres oxydes

(Na₂O, K₂O, MgO...)

C₃S

C₄AF

C₃A

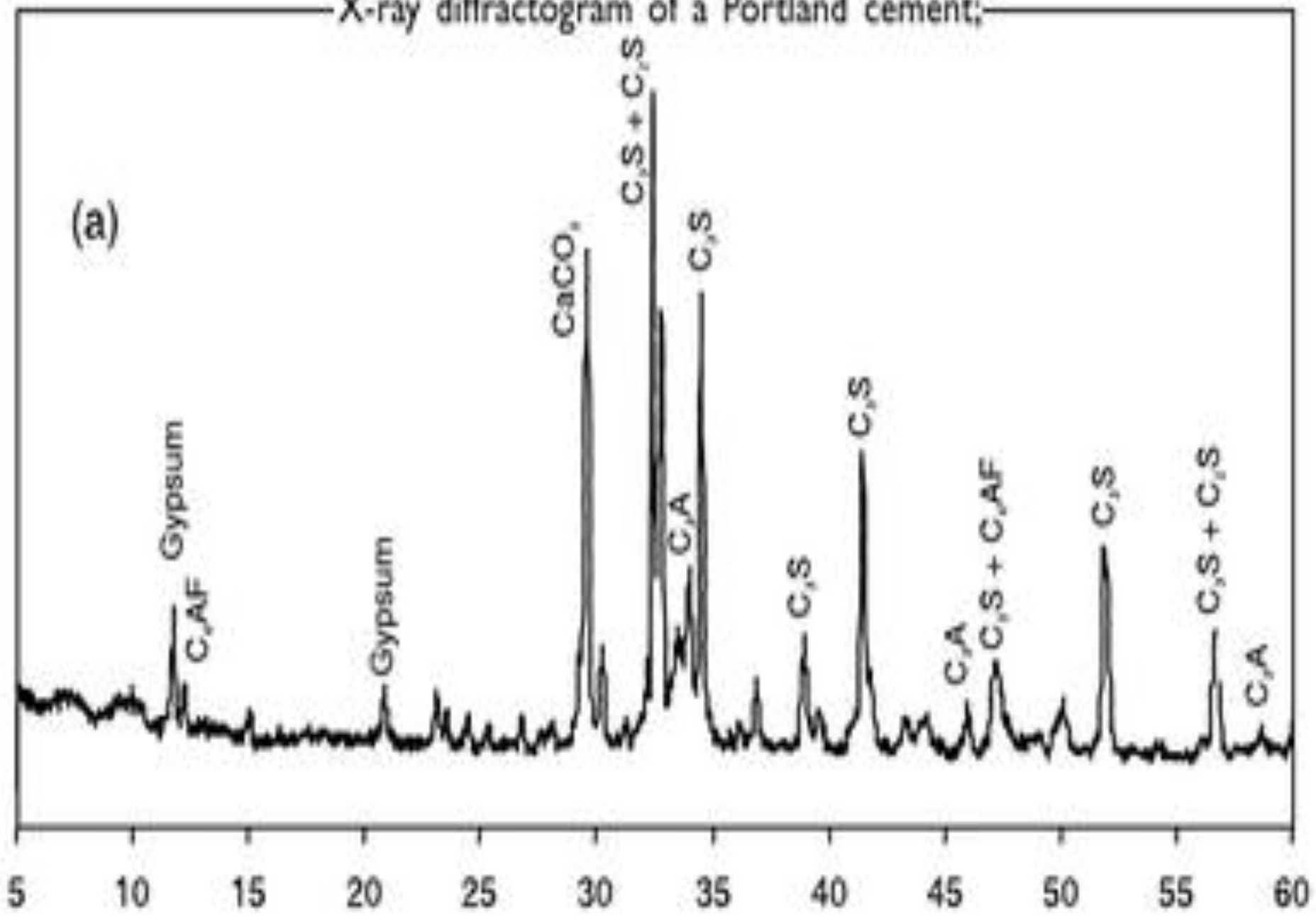
C₂S

CaSO₄·2H₂O = Gypse

CaO_{libre} = Chaux libre

Autres oxydes

X-ray diffractogram of a Portland cement;



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

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

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

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

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

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

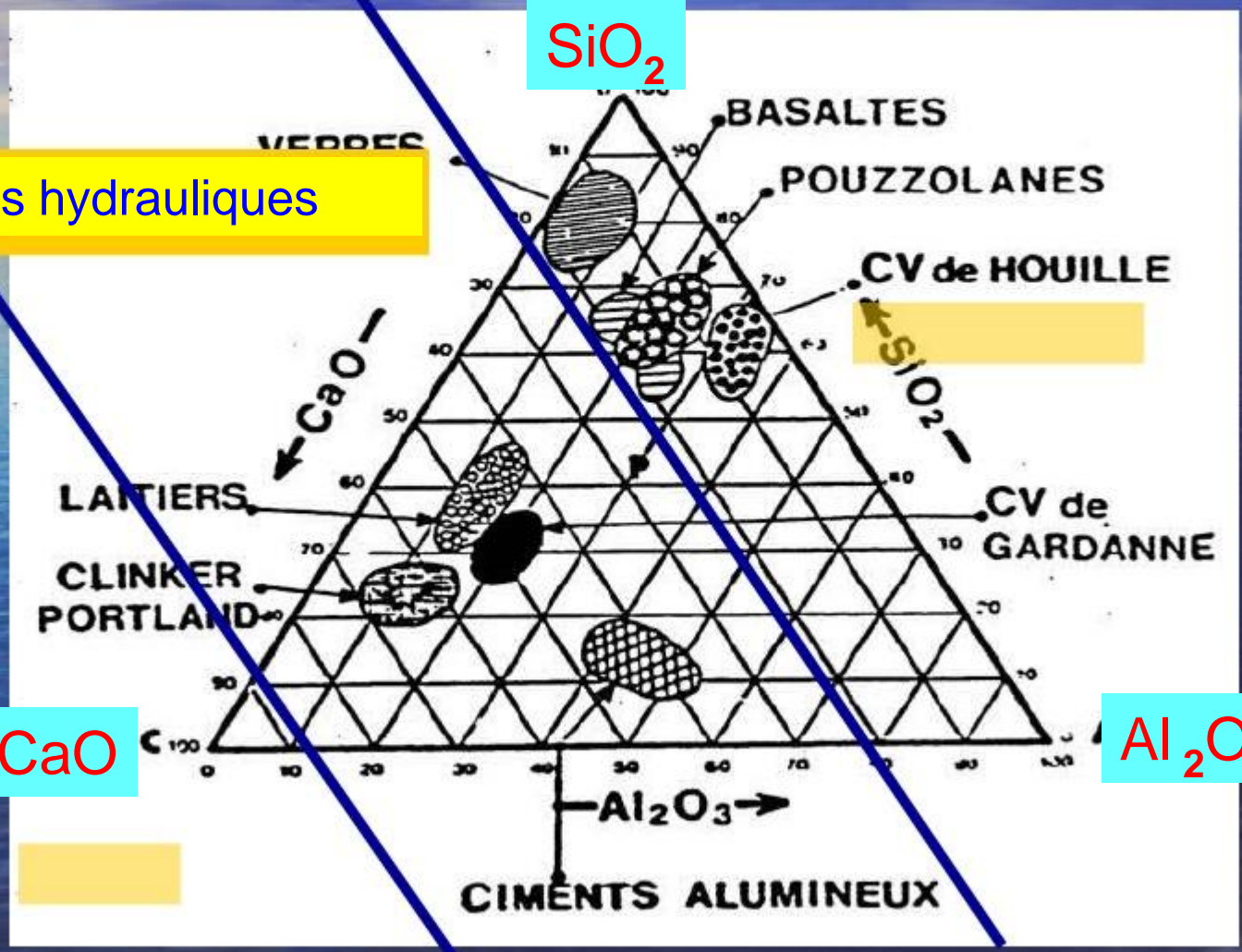


SiO₂

Liants hydrauliques

CaO

Al₂O₃



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 (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