

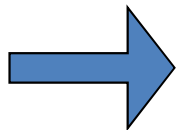
Le ciment

UN PEU D'HISTOIRE

- **LES EGYPTIENS** découvrent **la chaux grasse**, obtenue par cuisson de roches calcaires à une température proche de 1000°C, suivie d'une extinction avec de l'eau.
- **LES ROMAINS** ont fait véritablement du **ciment** en ajoutant à la chaux de la pouzzolane.
- **LOUIS VICAT en 1817** élabore la théorie de l'hydraulicité, propriété jusque-là inexpliquée.
- **En 1824**, l'écossais ASPDIN donne le nom de **PORTLAND** au ciment qu'il fabrique dans cette région.
- **LA PREMIERE USINE DE CIMENT** a été créée par Dupont et Demarle **en 1846** à Boulogne-sur-Mer.

DEFINITIONS (Norme NF P 15-301)

Le **ciment** est un liant **hydraulique**, c'est-à-dire une matière inorganique finement moulue qui, gâchée avec de l'**eau**, forme une **pâte** qui fait prise et durcit

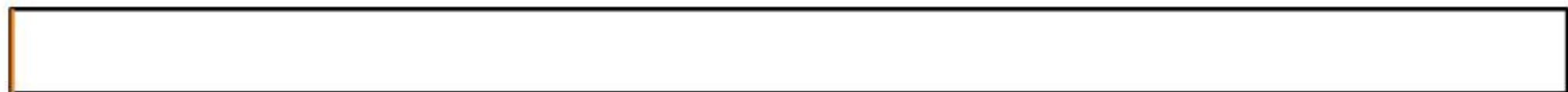


Le matériau formé est ensuite insoluble dans l'eau

1. Fabrication des ciments

- 80% calcaire => carbonate de calcium
- 20% argile => silice, alumine et minerai de fer

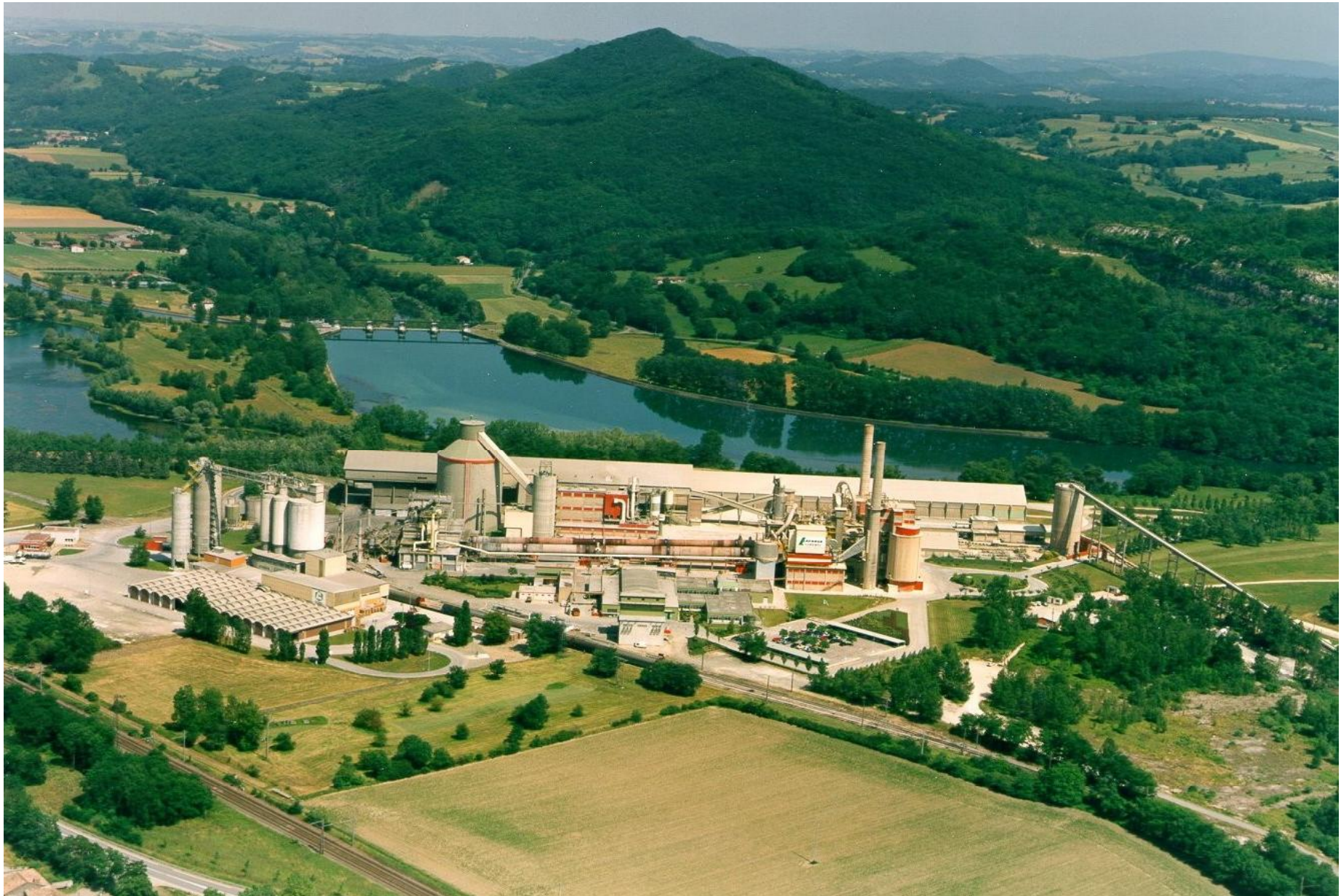
...en cours de téléchargement



0%

0 of 1204.207 Kb

1. Fabrication des ciments



- Composition du ciment :
 - **Clinker (Cru)**
 - Gypse
 - Laitier de haut fourneau
 - Pouzzolanes
 - Cendres volantes
 - Fumée de silice
 - Fillers
 - ...

Ciment ordinaire :

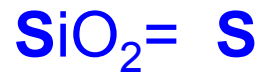
Ciment **Portland** = 95 à 97% **clinker** + 3 à 5% **gypse**

2. Le clinker

Composition chimique et
microstructure

NOTATION CHIMIQUE CIMENTIERE

La chimie du ciment se construit essentiellement à partir des 4 oxydes majeurs suivants :



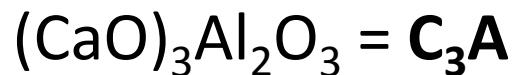
qui vont former **les silicates** et **les aluminates** de calcium du clinker :



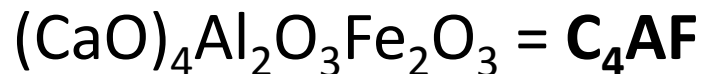
(silicate tricalcique) ou (alite)



(silicate bicalcique) ou (bélite)



(aluminate tricalcique)



(alumino-ferrite tetracalcique)

- La composition minéralogique potentielle du clinker peut être calculée à partir de la composition élémentaire du cru par les **formules de Bogue** :

$$C_3S = 4.07 C - 7.60 S - 6.72 A - 1.43 F$$

$$C_2S = - 3.07 C + 8.60 S + 5.07 A + 1.08 F$$

$$C_3A = 2.65 A - 1.69 F$$

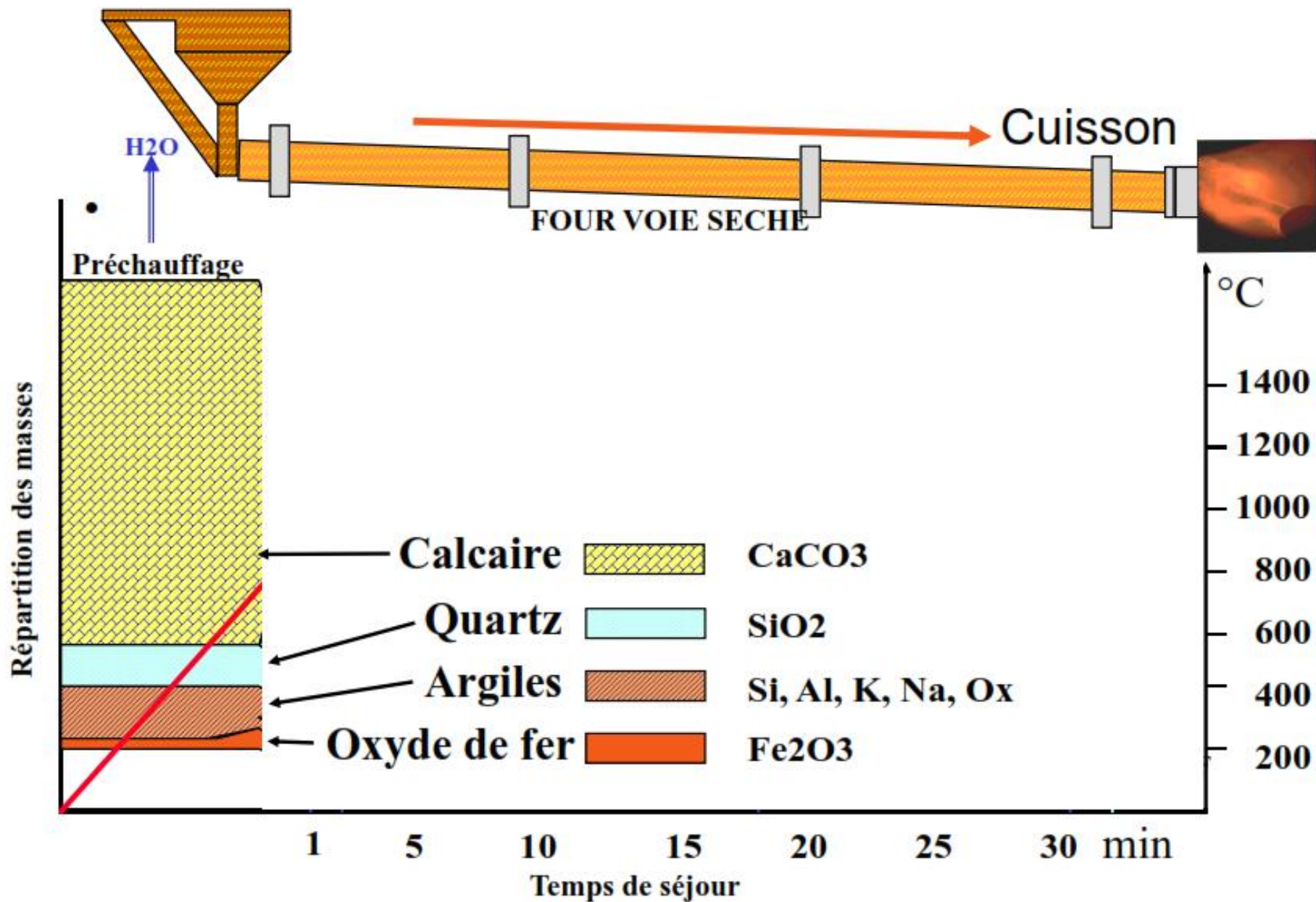
$$C_4AF = 3.04 F$$

Fabrication du clinker

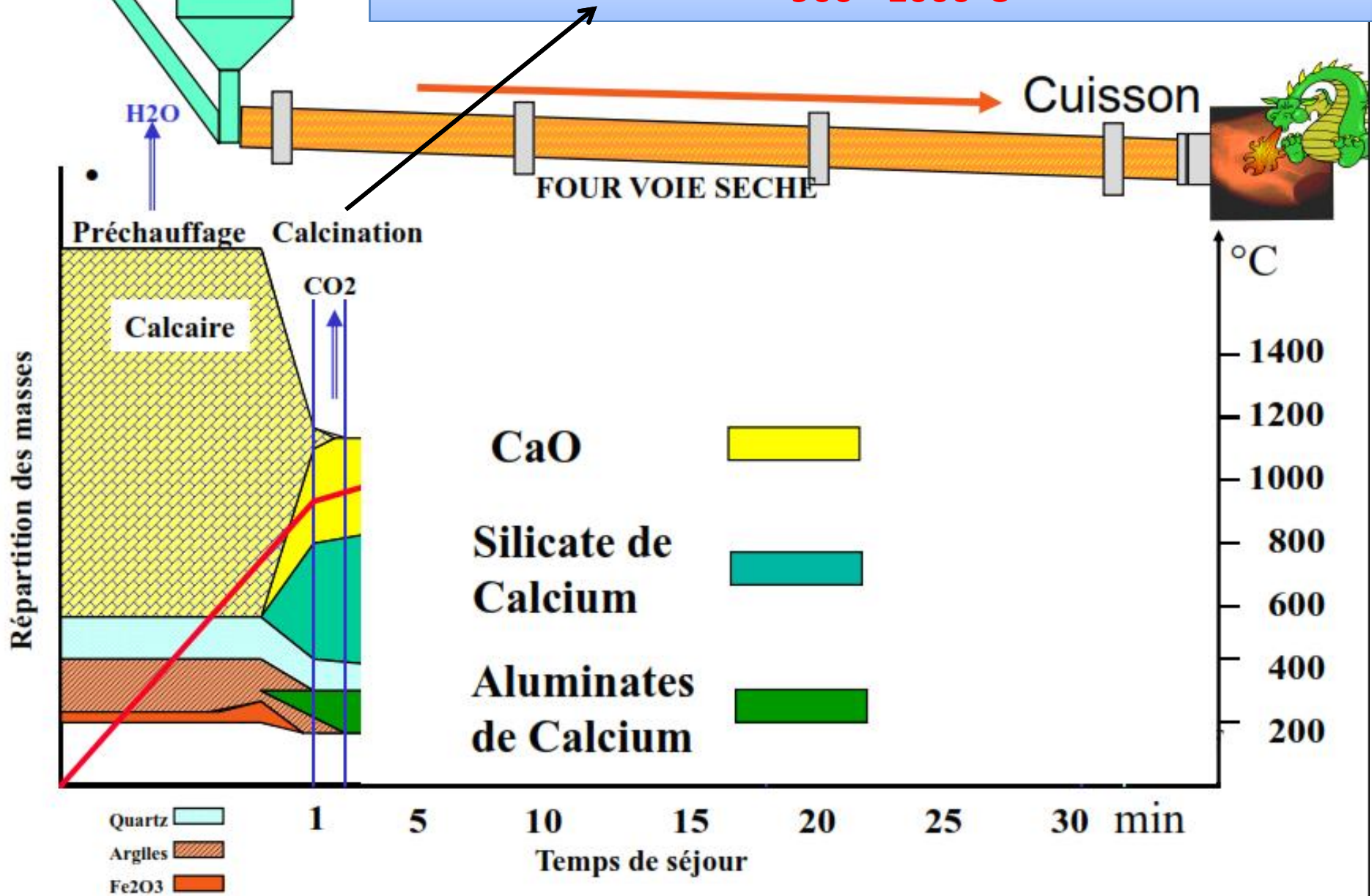
Combiner toutes les molécules de **CaO** avec **SiO₂**, **Al₂O₃** et **Fe₂O₃**, pour former, à 1450°C, des **silicates** et **aluminates aux propriétés hydrauliques**

LA CUISSON

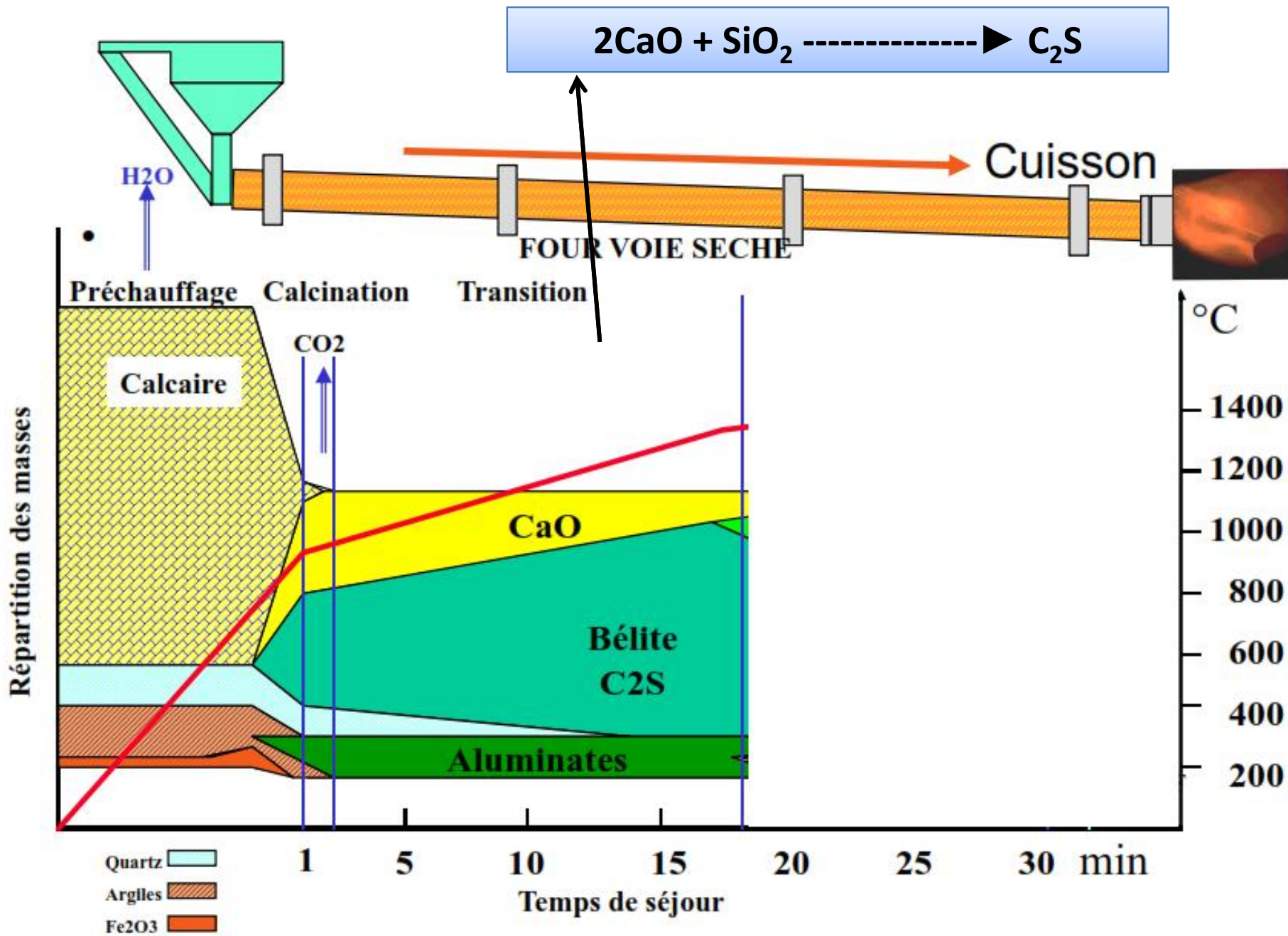
Les **transformations de phases** qui interviennent dans le four peuvent se décrire en parcourant le diagramme suivant de gauche à droite (du cru au clinker) :



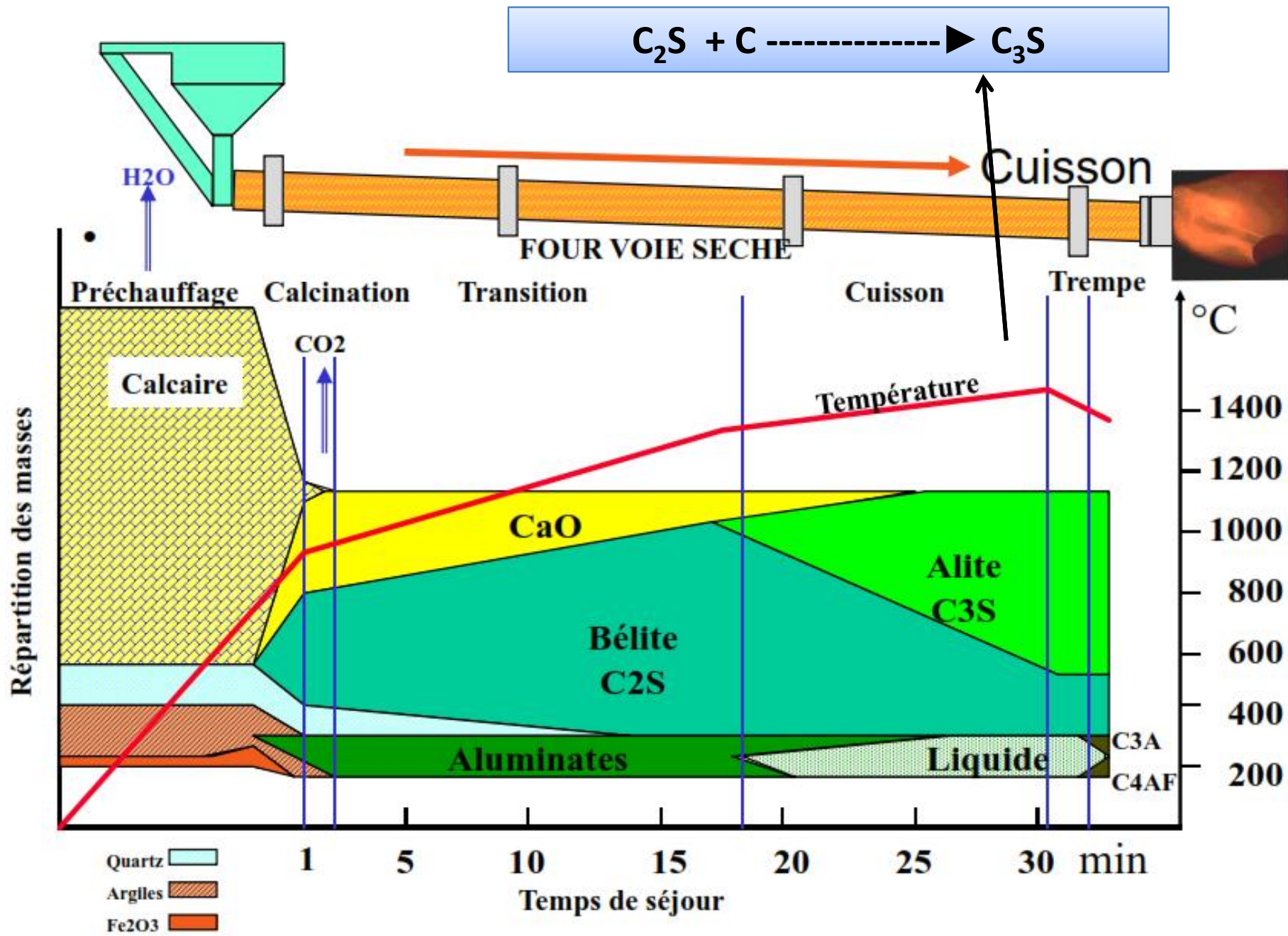
D'après KHD Humboldt Wedag, modifié



D'après KHD Humboldt Wedag, modifié



D'après KHD Humboldt Wedag, modifié



D'après KHD Humboldt Wedag, modifié

La trempe du clinker va permettre de **stabiliser l'alite** (d'éviter sa rétrogradation en bélite et chaux libre secondaire: $C_3S \rightarrow C_2S + C$)

elle va aussi influencer le mode de **crystallisation de C_3A et C_4AF** , composants principaux de la phase liquide.

Composition « grossière » du clinker (% massique)

C_3S	50 à 60%
C_2S	20 à 30%
C_3A	8 à 10%
C_4AF	10 à 12%

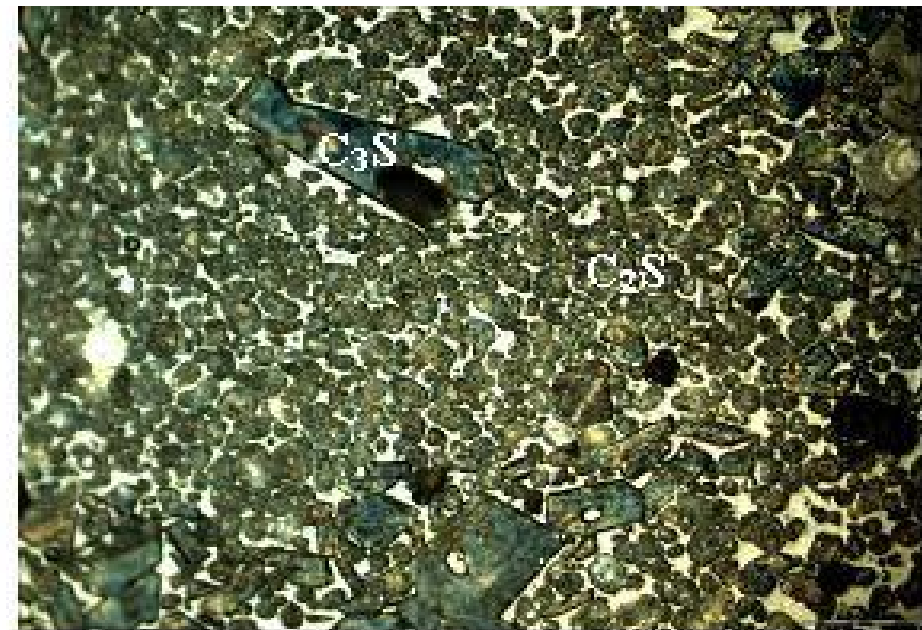
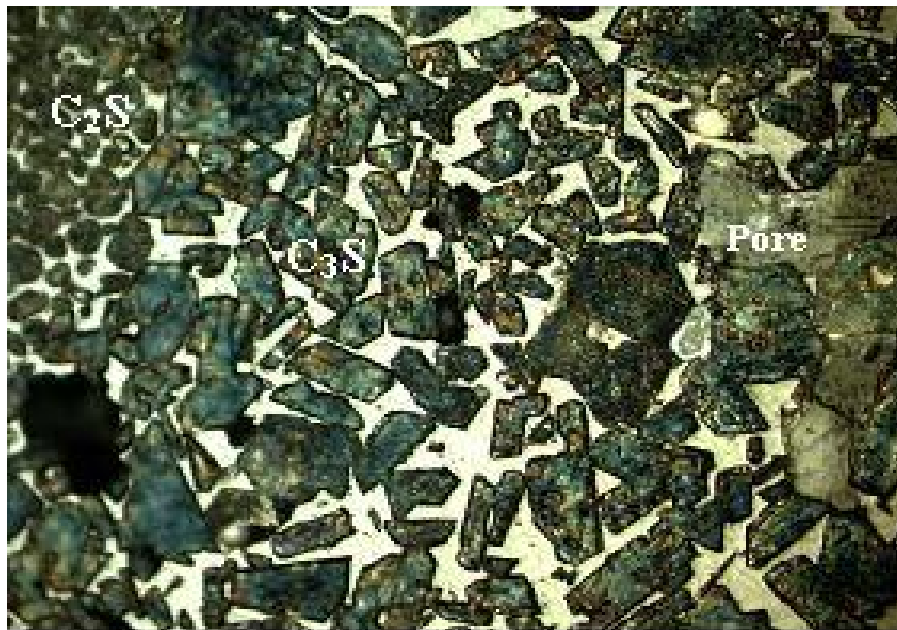
Composition « fine » du clinker (en % massique)

CaO	60 à 67%	TiO ₂	0,2 à 0,4%
SiO ₂	18 à 22%	Na ₂ O	0,2 à 0,4%
Al ₂ O ₃	2 à 8%	K ₂ O	0,2 à 0,8%
Fe ₂ O ₃	1 à 6%	Chaux libre	1 à 2%
MgO	1 à 2%		

2. Composition du clinker

Section polie d'un granule de clinker observée au microscope optique :

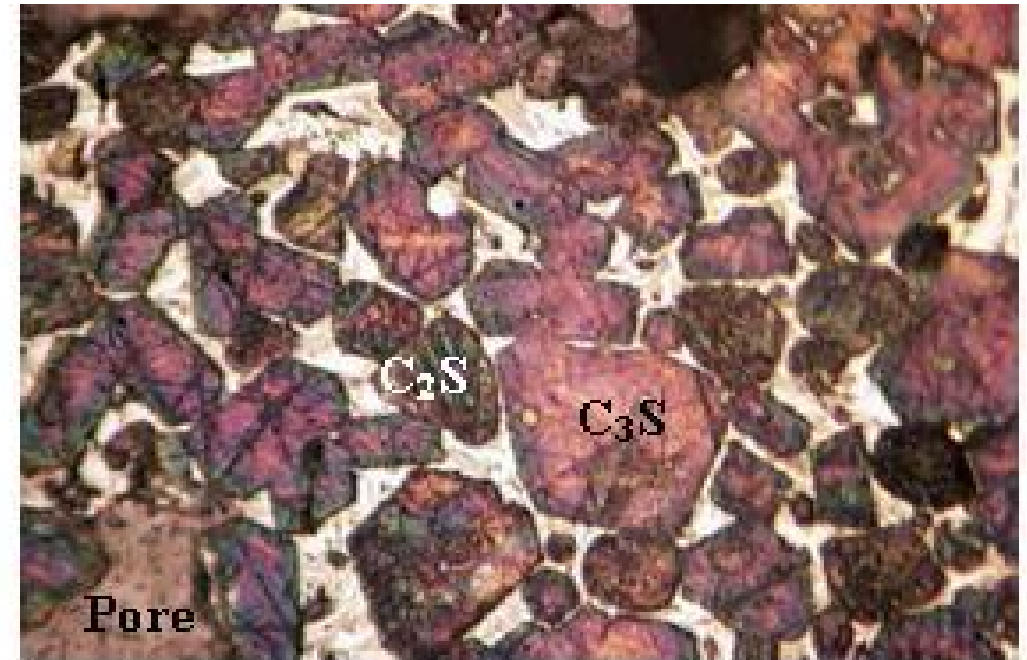
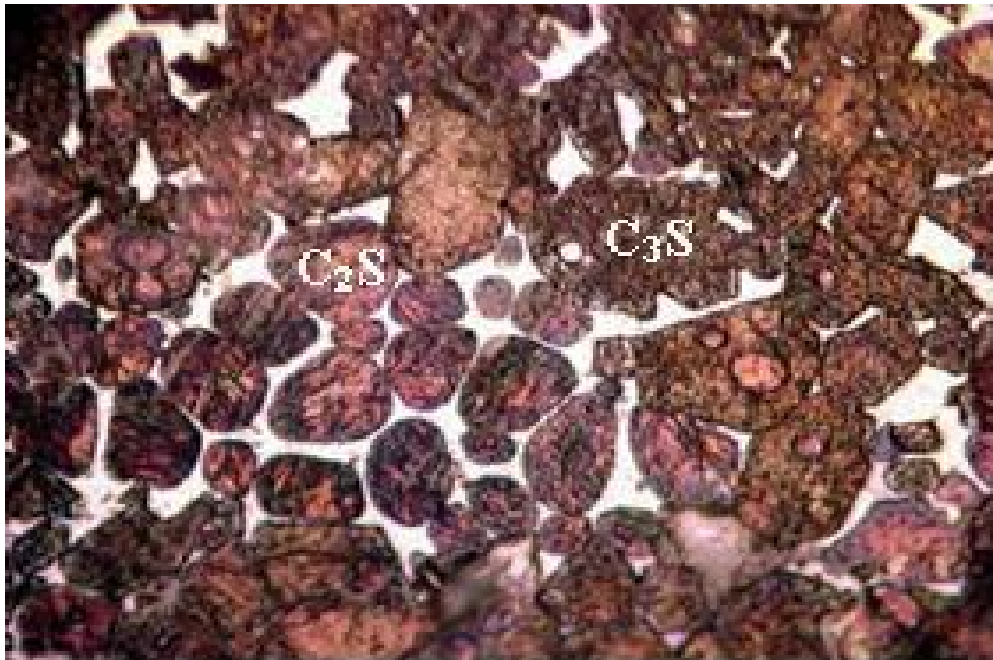
- C_3S : cristaux pseudo **hexagonaux**
- C_2S : grains **arrondis** à surface lisse ou striée



← 400 microns →

2. Composition du clinker

Section polie d'un granule de clinker observée au microscope optique (400 microns) :



400 microns

2. Composition du clinker

Surface de fracture d'un granule de clinker observée au microscope électronique à balayage

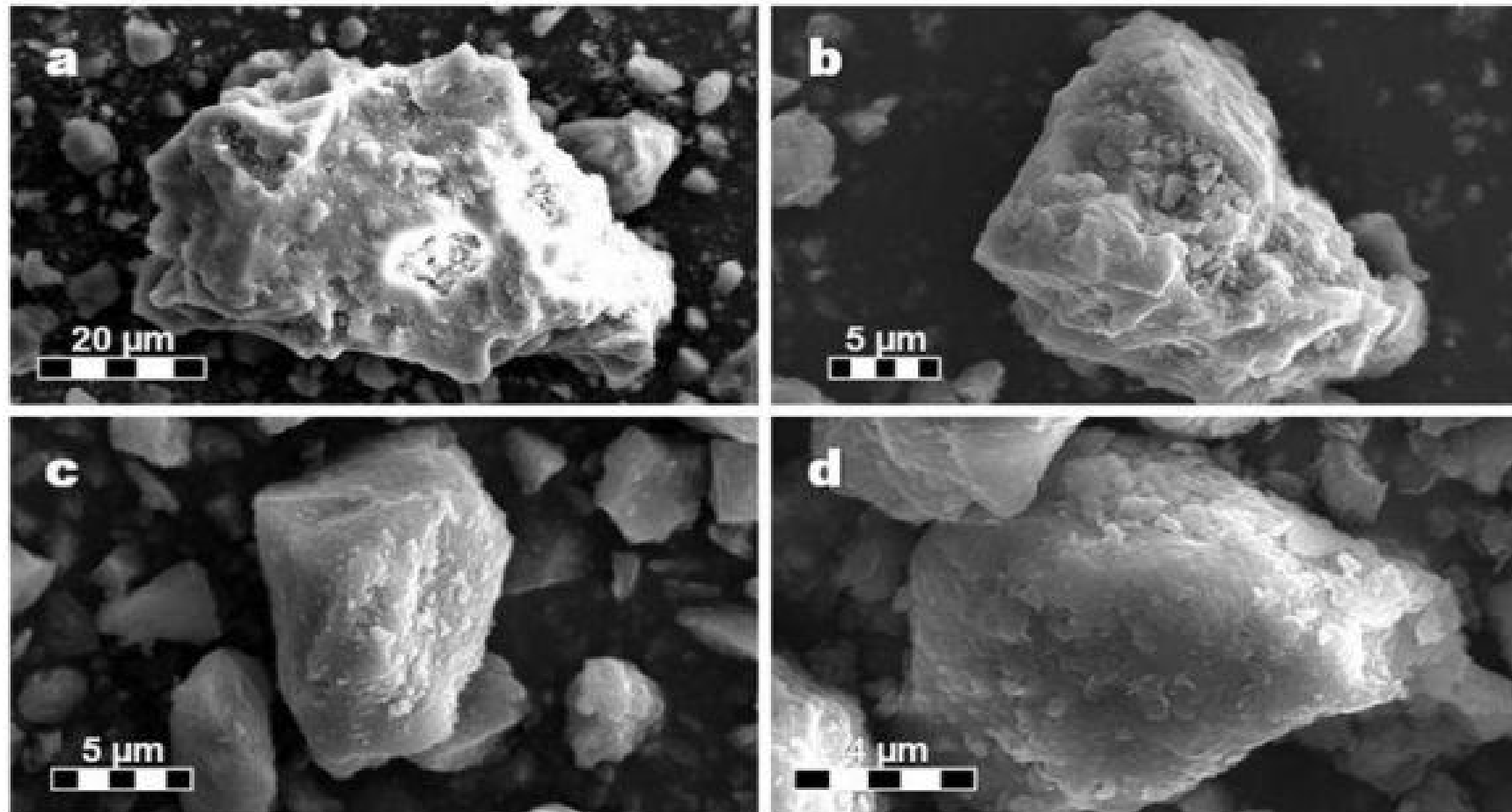


Figure 4. SEM images of natural clinker particles.

3.

Additions au clinker

- Laitier de haut fourneau
- Pouzzolanes
- Cendres volantes
- Fumée de silice
- Fillers
- ...

Laitier de haut fourneau vitrifié

- Granulé ou bouleté
- Sous-produit de l'industrie métallurgique
- Produit **hydraulique** (fait prise avec de l'eau) => **remplacement du clinker**
- Composition :
 - 40% CaO
 - 35% SiO₂
 - 11% Al₂O₃
 - 8% MgO (magnésie)
- **+ siliceux, - calcique que le clinker**



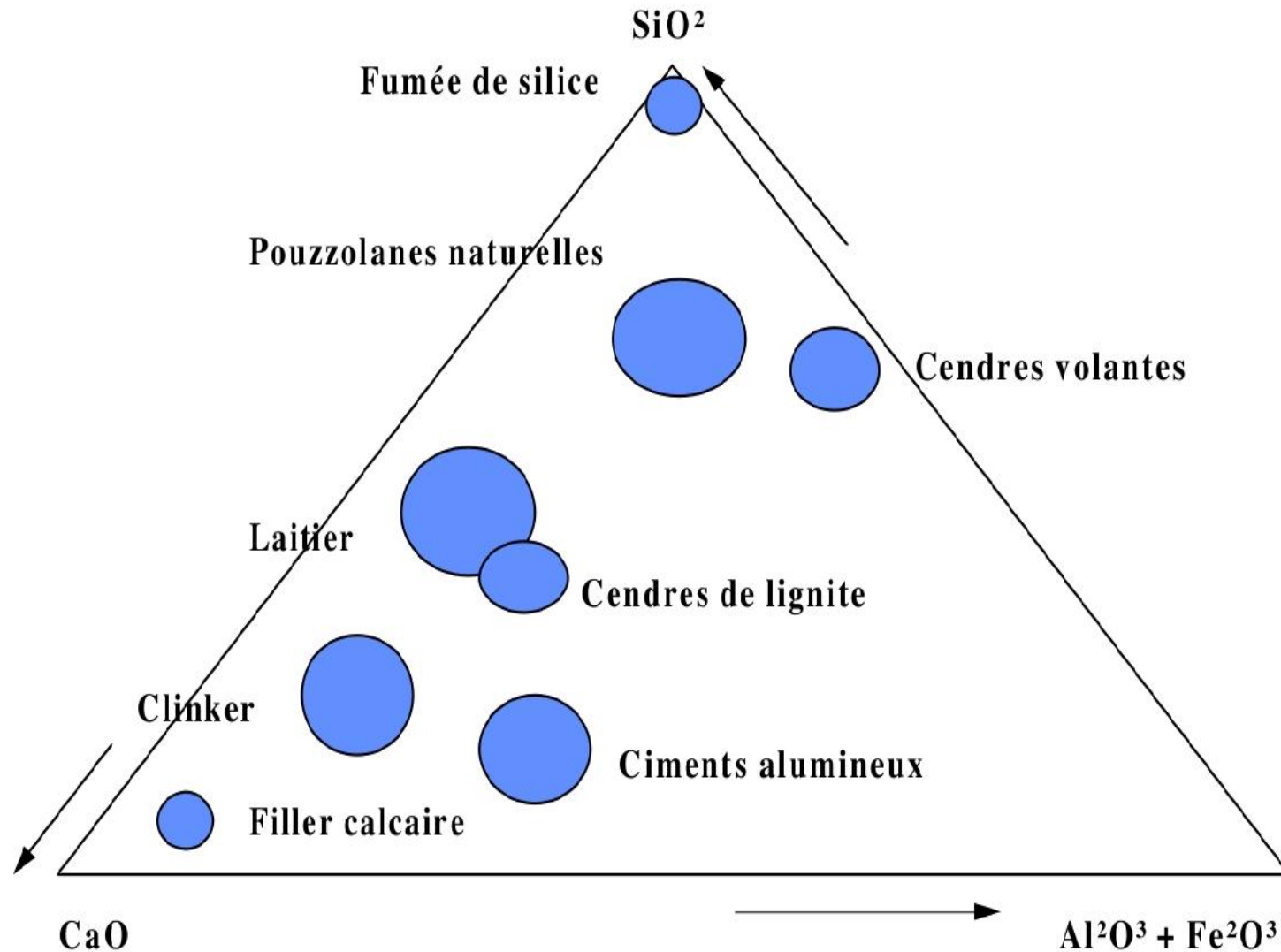
Les pouzzolanes

- « **Pouzzolanique** » => doit d'abord réagir avec la **chaux** pour devenir hydraulique
- **Naturelles** : cendres ou verres volcaniques
- **Artificielles** :
 - **Cendres volantes** de centrales thermiques au charbon
 - Sous-produit de l'électrométallurgie du silicium (**fumée de silice**)
 - Schistes calcinés
- Composition (**silico-alumineuse**) :
 - 45 à 70% SiO_2 (90 à 95% pour la fumée de silice)
 - 10 à 25% Al_2O_3
 - Jusqu'à 10% d'**alcalins** (Na_2O et K_2O)

Les fillers calcaires

- Roches **calcaires** finement broyées
- Rôle de **remplissage**
- Composition : > 75% CaCO_3

Diagramme de Rankin



4. Normalisation des ciments

Les classes de résistance

Désignation de la classe de résistance	Résistance à la compression (en MPa)			
	Résistance à court terme		Résistance courante	
	à 2 jours	à 7 jours	à 28 jours	
32,5 N	–	≥ 16	≥ 32,5	≤ 52,5
32,5 R	≥ 10	–		
42,5 N	≥ 10	–	≥ 42,5	≤ 62,5
42,5 R	≥ 20	–		
52,5 N	≥ 20	–	≥ 52,5	–
52,5 R	≥ 30	–		