

Composition et prise du ciment

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Clinker>

Le **clinker** est un constituant du ciment, qui résulte de la cuisson d'un mélange composé d'environ 80 % de calcaire (qui apporte le calcium) et de 20 % d'aluminosilicates (notamment des argiles qui apportent le silicium, l'aluminium et le fer). La « farine » ou le « cru » est formée du mélange de poudre de calcaire et d'argile. Cette cuisson, la **clinkérisation**, se fait à une température d'environ 1 450 °C qui explique la forte consommation énergétique de ce processus.

La clinkérisation explique en partie la contribution importante des cimenteries aux émissions de gaz à effet de serre.

La composition des clinkers gris est représentée par quatre grandes phases cristallines caractéristiques de la chimie du ciment. Elles sont en moyenne les suivantes :

- Ca_3SiO_5 : silicate tricalcique ($\text{SiO}_2 - 3 \text{CaO}$) : 50 à 65 % (alite) ;
- Ca_2SiO_4 : silicate bicalcique ($\text{SiO}_2 - 2 \text{CaO}$) : 15 à 20 % (bélite) ;
- $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$: aluminat tricalcique ($\text{Al}_2\text{O}_3 - 3 \text{CaO}$) : 5 à 15 % (aluminat) ;
- $\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Fe}_2\text{O}_{10}$: ferro-aluminat tétracalcique ($\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3 - 4 \text{CaO}$) : 5 à 10 % (ferrite).

<https://www.universalis.fr/encyclopedie/ciment/3-prise-et-durcissement-du-ciment/>

Prise et durcissement du ciment

Le mécanisme de durcissement du ciment est très différent de celui de la chaux. Le ciment durcit par hydratation des silicates et des aluminates de chaux, alors que la chaux durcit lentement à l'air en se carbonatant.

La chaux est obtenue par cuisson du calcaire, CaCO_3 , qui, vers 400 °C, perd son gaz carbonique et se transforme en chaux vive, CaO . Celle-ci doit d'abord être éteinte avec de l'eau, ce qui la transforme en chaux hydratée, $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Cette dernière réabsorbe alors lentement le gaz carbonique de l'air et reconstitue progressivement un calcaire tendre.

Le ciment Portland contient quatre constituants principaux : le silicate tricalcique $3\text{CaO}, \text{SiO}_2$ ou, par abréviation, C_3S ; le silicate bicalcique $2\text{CaO}, \text{SiO}_2$ ou C_2S ; l'aluminat tricalcique $3\text{CaO}, \text{Al}_2\text{O}_3$ ou C_3A ; le ferro-aluminat tétracalcique $4\text{CaO}, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3$ ou C_4AF .

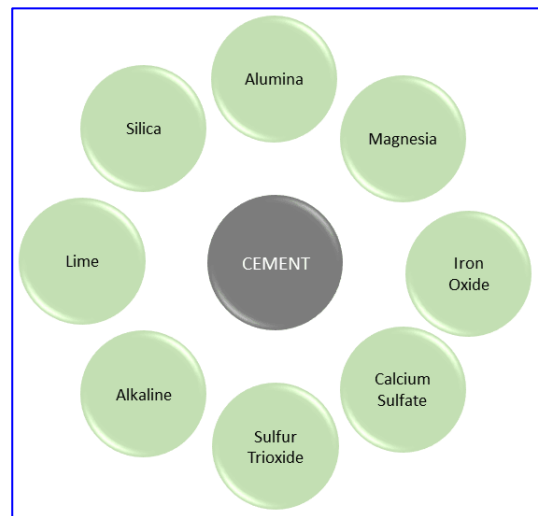
L'élément noble du ciment est le silicate tricalcique, qui lui donne ses fortes résistances. La proportion de silicate tricalcique dans le ciment Portland, qui était de 50 % avant-guerre, s'est progressivement accrue jusqu'à 60 %, et atteint même actuellement 70 % dans certains ciments très résistants.

Par hydratation, les silicates tri et bicalciques donnent du silicate monocalcique hydraté et dégagent de la chaux libre hydratée. Ce sont les cristaux de silicate monocalcique hydraté qui, en se fixant entre eux et aux granulats, confèrent au ciment sa résistance.

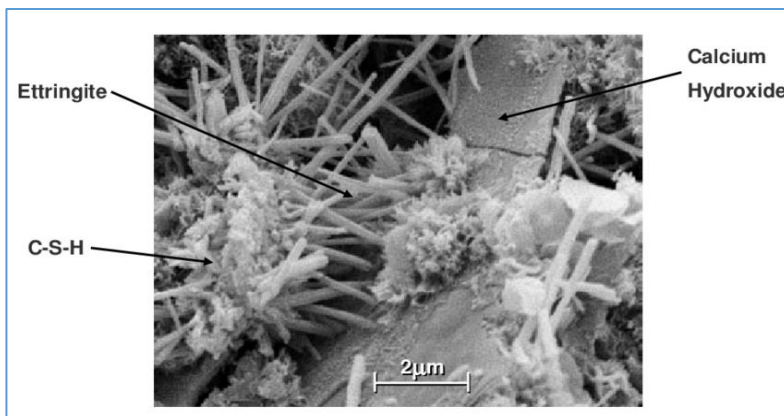
L'aluminat tricalcique donne, par hydratation, de l'aluminat monocalcique hydraté et dégage de la chaux libre hydratée. C'est aussi un élément actif de la résistance des ciments ; il contribue notamment beaucoup, par la rapidité relative de sa réaction, aux résistances dans les premiers temps. C'est également la première cristallisation du trisulfo-aluminat (ou ettringite) produite par l'hydratation de C_3A en présence de gypse, ainsi que des réactions physico-chimiques complexes qui sont à l'origine du raidissement de la pâte de ciment : ce qu'on appelle la prise du ciment (entre 1 h 30 et 6 h après le malaxage).

<https://civiltoday.com/civil-engineering-materials/cement/10-cement-ingredients-with-functions>

Ingredient	Percentage in cement
Lime	60-65
Silica	17-25
Alumina	3-8
Magnesia	1-3
Iron oxide	0.5-6
Calcium Sulfate	0.1-0.5
Sulfur Trioxide	1-3
Alkaline	0-1



https://www.researchgate.net/figure/1-An-electron-microscope-image-of-Portland-cement-hydration-products-Courtesy-of-Mr_fig2_282611085



C-S-H : Le silicate de calcium hydraté (en anglais, *calcium silicate hydrate* ou *CSH*) est le principal produit de l'hydratation du ciment Portland et est principalement responsable de la résistance des matériaux à base de ciment.

Ettringite : $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$

Calcium hydroxide (hydroxyde de calcium) : $\text{Ca}(\text{OH})_2$