

Chapitre I : Revue générale sur le ciment

I.1 Introduction :

Les chercheurs ont longtemps été intrigués par la composition d'une roche naturelle présente à Portland, en Angleterre, dont les remarquables propriétés hydrauliques (faculté de durcir en présence d'eau) laissaient entrevoir, si sa production pouvait être maîtrisée, des développements considérables pour les bâtisseurs. C'est au milieu du 19^{ème} siècle que la structure du ciment fut vraiment découverte par le français Louis Vicat. Le ciment est produit en portant à une température de 1450 °C un mélange de calcaire et d'argile. On obtient alors des nodules durs appelés clinker. Le clinker additionné de gypse est broyé très finement pour obtenir le ciment "Portland". L'ajout au clinker, lors de son broyage, d'autres éléments minéraux (laitiers de hauts fourneaux, cendres de centrales thermiques, fillers calcaires, pouzzolanes naturelles ou artificielles) permet l'obtention des différentes catégories de ciments "à ajouts". Mélangé à des granulats, du sable, des adjuvants et de l'eau, le ciment est l'élément de base indispensable pour la fabrication du béton, dont il est le composant actif. C'est pourquoi il est aujourd'hui l'élément essentiel et incontournable du secteur de la construction contemporaine et donc du monde moderne.

I.2 Le ciment :

Le ciment est un produit moulu du refroidissement du clinker qui contient un mélange de silicates et d'aluminates de calcium porté à 1450-1550 °C, température de fusion. Le ciment usuel est aussi appelé liant hydraulique, car il a la propriété de s'hydrater et durcir en présence d'eau, et par ce que cette hydratation transforme la pâte liante, qui a une consistance de départ plus ou moins fluide, en un solide pratiquement insoluble dans l'eau. Ce durcissement est dû à l'hydratation de certains composés minéraux, notamment des silicates et des aluminates de calcium.



Figure I. 1 : Poudre de ciment.

I.3 Principe de fabrication des ciments courants :

Le principe de la fabrication du ciment est le suivant : calcaires et argiles sont extraits des carrières, puis concassés, homogénéisés, portés à haute température (1450 °C) dans un four. Le produit obtenu après refroidissement rapide (la trempe) est le clinker.

Les Constituants du ciment :

I.3.1 Clinker :

C'est un produit obtenu par cuisson jusqu'à fusion partielle (clinkirisation) du mélange calcaire + argile, dosé et homogénéisé et comprenant principalement de la chaux (CaO) de la silice (SiO₂) et de l'alumine (Al₂O₃). Le mélange est en général constitué à l'aide de produits naturels de carrière (calcaire, argile, marne..). C'est le clinker qui, par broyage, en présence d'un peu de sulfate de chaux (gypse) jouant le rôle de régulateur, donne des Portland. [1]

Les éléments simples (CaO, SiO₂, Al₂O₃ et Fe₂O₃) se combinent pour donner les constituants minéraux suivants).

- ✓ Silicate tricalcique (C3S) : 3CaO.SiO₂ (Alite).
- ✓ Silicate bicalcique (C2S) : 2CaO.SiO₂ (Belite).
- ✓ Aluminate tricalcique (C3A) : 3CaO.Al₂O₃.
- ✓ Ferroaluminate calcique (C4AF) : 4CaO .Al₂O₃ .Fe₂O₃ (Célite).



Figure I. 2 : Clinker.

Les compositions chimiques et minéralogiques du clinker sont comprises dans les limites données par le tableau I.1.

Tableau I. 1 : Les compositions chimiques et minéralogiques du clinker. [2]

composants	Teneurs limites (%)	Teneur moyenne (%)
Minéralogiques		
C₃S	40-70	60
C₂S	00-30	15
C₃A	02-15	08
C₃AF	00-15	08
Oxydes	-	-
CaO	60-69	65
SiO₂	18-24	21
Al₂O₃	04-08	06
Fe₂O₃	01-08	03
MgO	< 05	02
K₂O, Na₂O₃	< 02	01
SO₃	< 03	01

I.3.2 Le gypse (CaSO₄) :

L'addition de gypse au clinker a pour but de régulariser la prise du ciment, notamment de ceux qui contiennent des proportions importantes d'aluminate tricalcique. Grâce à ce gypse, la prise du ciment, c'est-à-dire le début de son durcissement, s'effectue au plus tôt une demi-heure après le début de l'hydratation. Sans gypse, la prise serait irrégulière et pourrait intervenir trop rapidement.



Figure I. 3 : Le gypse.

I.4 Classification des ciments courants :

Selon que des constituants, autres que le gypse, sont ou non ajoutés au clinker lors des opérations de fabrication, on obtient les différents types de ciments définis par la norme NF EN 197 1. Le tableau I. 2 ci –dessous donne la liste des différents types des ciments courants normalisés avec indication, pour chacun d’eux, de leur désignation propre et des pourcentages respectifs de constituants qu’ils comportent.

Tableau I. 2 : Les différents types de ciment courants [3].

Désignations	Types de ciments	Teneur en clinker	Teneur en% de l'un de constituants suivant : laitier-pouzzolanes- cendres-calcaires- schistes-fumées de silice	Teneur en constituants secondaires (filler)
C P A CEM I	Ciment portland	95à100%		0 à 5%
C P J-CEM I/A CPJ-CEMI/B	ciment portland Composé	80à 94% 65 à79%	de 6à20% de l'un quelconque des constituants, sauf dans es cas ou les constituant est des fumées de silice auquel cas la proportion est limitée à 10% -de 21à35%aIVec les mêmes restrictions que ci-dessus	0à5% 0à5%
CHF-CEM II/A CHF-CEM II/B CLK-CEMII/C	Ciment de haut-fourneau	35à64% 20à34% 5à19%	-35à65% de laitier de haute-fourneau -66à80% de laitier de haut -fourneau -81 à95% de laitier de haut-fourneau	0à5% 0 à5% à5%
CPZ-CEMIII/A CPZ-CEMIII/B	ciment pouzzolani que	65 à90% 45à64%	-10à35%de pouzzolanes, cendres siliceuses ou fumées de silice, ces dernières étant limitées à10%. -36à55%comme ci-dessus	0à5% 0à5%
CLC-CEM IV/A CLC-CEM IV/B	Ciment au laitier et aux cendres	40à64% 20à39%	-18à30% de laitier de haut-fourneau Et 18 à30% de cendres siliceuses ou de pouzzolanes. -31 à50%de chacun des 2 constituants comme ci-dessus	0à5% 0à5%

I.5 Propriétés des ciments :**I.5.1 Caractéristique physiques :****I.5.1.1 Comportement physico –chimique de la pâte :**

Silicate tricalcique : C3S

Silicate bicalcique : C2S

Aluminate tricalcique- : C3A

Aluminoferrite tétracalcique : C4AF

Une fois la poudre de ciment mélangée à l'eau, les réactions d'hydratation se développent, il se produit alors une cristallisation qui aboutit à un nouveau système de constituants hydratés stables avec formation de cristaux en aiguilles plus ou moins enchevêtrées produisant la prise. Cette réaction chimique accompagne d'un dégagement de chaleur plus ou moins important selon les ciments et la rapidité de prise.

I.5.1. 2 Prise :

La prise du ciment c'est-à-dire le passage de la pâte de ciment (ciment + eau) d'une consistance fluide à un état solide est une phase essentielle dans la fabrication du béton ou mortier puisqu'elle donne sa cohésion au matériau. La norme spécifie, suivant les ciments, un temps de prise minimal de : 1h30 pour les ciments des classes 32,5 et 32,5R. 1h pour les ciments des classes 42,5-42,5R-52,5-52,5R. D'une façon générale les temps de prise sont supérieurs à ces valeurs minimales, l'ordre de grandeur étant de 2h 30 à 3h30 pour la grande majorité des ciments, ces valeurs s'entendant pour une température ambiante de 20°C.

I.5.1. 3 Durcissement :

Une fois la prise amorcée, le phénomène d'hydratation se poursuit, c'est la période de durcissement rapide qui se poursuit pendant des mois voire des années au cours desquelles les résistances mécaniques continuent de croître. Lorsqu'on désire un durcissement rapide, on choisit des ciments de classe élevée et de préférence de classe « R » c'est-à-dire ayant la caractéristique complémentaire. « Rapide ».il est également possible d'utiliser du ciment alumineux fondu CA, qui après quelques jours a atteint la quasi-totalité de sa résistances. [3]

I.5.1. 4 Chaleur d'hydratation :

La dissolution des différents constituants est exothermique et, selon leurs pourcentages relatifs, le dégagement de chaleur est donc plus ou moins important, c'est le cas par exemple des ciments riches en C3A que l'on intérêt à les temps chaud. Suivant les ciments, cette chaleur est comprise à 12 heures, approximativement, entre 65 j/g par exemple pour certains CHF-CEM III/B et 300 j/g pour certains CPA-CEM I.

I.5.1.5 Finesse de mouture :

La finesse de mouture, également appelée finesse Blaine, exprimée en cm^2/g , représente la surface spécifique ou surface développée d'une masse de 1kg de ciment .elle est, d'une façon générale, comprise entre 3000 et 3500 cm^2/g , certains ciments prompts naturels « CNP » ont un Blaine supérieure à 4500 cm^2/g [3]. Plus la finesse est grande, plus les résistances sont précoces et élevées, mais par contre, plus les risques de retrait et par conséquent de fissuration ainsi que d'événement du Ciment sont accrus. [3]

I.5.1. 6 Retrait :

Lorsque l'élément du béton ou mortier se trouvera dans une atmosphère ayant une humidité relative inférieure à celle d'équilibre de l'élément, les dimensions de ce dernier diminuent ; c'est le retrait.

On mesure le retrait sur des éprouvettes prismatiques de mortier de 16 cm de longueur et d'une section droite de 4×4cm, conservées dans l'air à une température de 20°C et une hygrométrie de 50%. [3]

La norme impose les valeurs limites, à 28 jours, de :

-800µm/m pour les ciments portland CPA-CEM I ET CPJ-CEMI de classe 32 ,5R.

-1000µm/m pour des types de ciment identique mais des classes 32,5R-42,5 et 42,5R.

Les principaux paramètres agissant sur le retrait sont :

- la nature du ciment ;
- la finesse de mouture ;
- le dosage en ciment, dans le béton ;
- le dosage en eau ;
- la propreté et nature des granulats ;

I.5.1. 7 Gonflement :

Si l'élément se trouve dans une atmosphère à humidité relative supérieure à celle d'équilibre de l'élément, les dimensions de ce dernier augmentent ; c'est le gonflement. Ce qui entraîne l'apparition des tensions internes.

I.6 Les étapes de la fabrication du ciment :**I.6.1 La carrière :**

Le calcaire cimentier est abattu à l'explosif et acheminé par dumper vers le hall de concassage. [4]



Figure I. 4 : Abattage et transport du calcaire. [4]

I.6.2 Le concassage :

Les matériaux sont réduits par le concasseur à une taille maximum de 80 mm.

La roche est ensuite échantillonnée en continu pour déterminer la quantité des différents ajouts nécessaires (oxyde de fer, alumine, silice) et arrière ainsi à la composition chimique idéale. Le mélange est ensuite stocké dans un hall de pré homogénéisation où la matière est disposée en couches horizontales superposées puis reprise verticalement. [4]

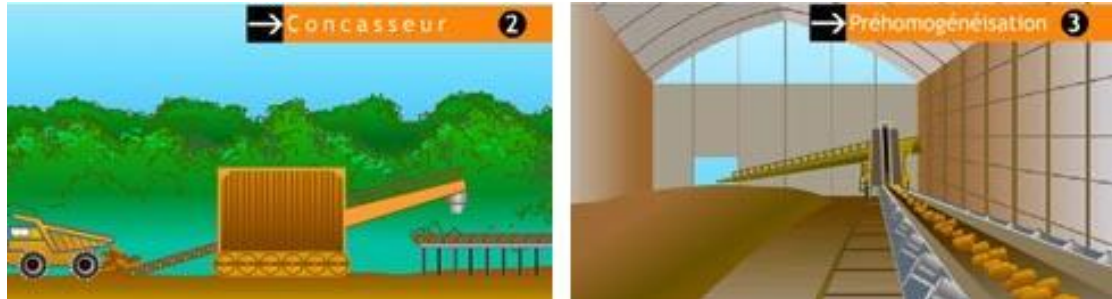


Figure I. 5 : Concassage et préhomogénéisation [4].

I.6.3 Le broyage et le séchage :

Les matières premières sont ensuite séchées et broyées très finement. On obtient la farine. Celle-ci sera plus tard introduite dans le four sous forme pulvérulente ou préalablement transformée en granules. [4]

I.6.4 Le préchauffage et la cuisson :

Avant introduction dans le four, la farine est chauffée à environ 800 °C dans un préchauffeur à grille ou à cyclones.

La cuisson se fait dans un four rotatif où la température de la flamme avoisine 1450°C. A la sortie du four, la matière appelée clinker passe dans un refroidisseur [4].

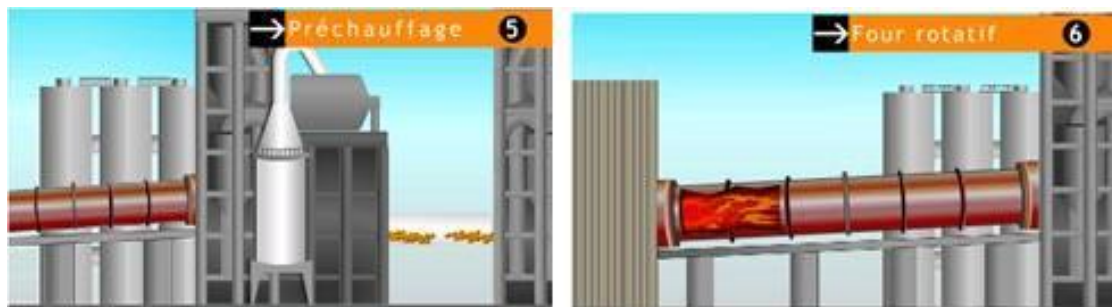


Figure I. 6 : Préchauffage et cuisson de la farine. [4]

I.6.5 Le stockage du clinker, le broyage du ciment :

Le clinker refroidi est ensuite stocké sous un hall couvert ou dans des silos.

Le clinker est broyé très finement dans un broyeur à boulets avec d'autres ajouts : cendres de centrales thermiques, laitier de haut-fourneau, gypse, dont les pourcentages déterminent les différents de qualités de ciment. [4]

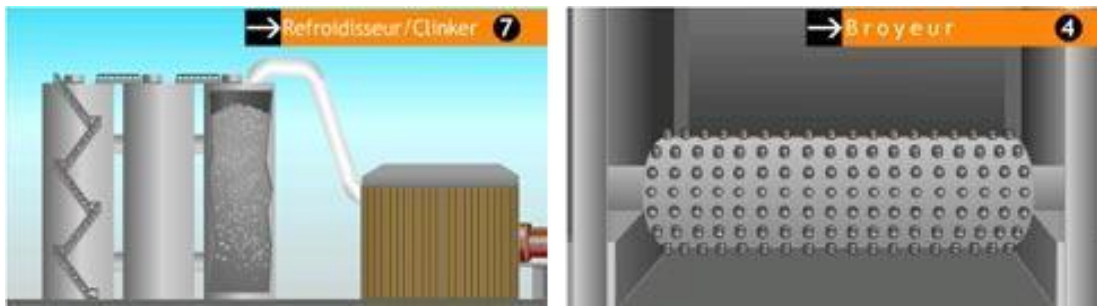


Figure I. 7 : Stockage broyage du clinker. [4]

I.6.6 Le stockage et les expéditions :

La large gamme de produits obtenus est stockée dans des silos avant d'être expédiée en vrac (par route, fer par voie fluviale) pour 70% de la production ou en sacs pour les 30% restants. [4]

I.6.7 La salle de contrôle et le contrôle qualité :

Les pilotes de la salle de contrôle conduisent l'usine depuis leurs écrans où s'affichent toutes les informations.

A chacune des étapes de la transformation de la matière, des échantillons sont automatiquement prélevés et analysés de façon très rigoureuse. [4]



Figure I. 8 : Contrôle de fabrication et contrôle de qualité [4].

I.7 conclusion :

Le chapitre I nous donne une description générale en ce qui concerne les différents types des ciments, leurs principes de fabrication, classifications, propriétés et leurs étapes de fabrication.