

Le Ciment

1. HISTORIQUE : C'est le matériau du 20^e siècle, il n'a guère plus d'une centaine d'années. L'écossais "Aspdin" prit un brevet d'invention en 1824, sur la fabrication d'un liant à partir d'un mélange de chaux et d'argile qu'il appela "ciment Portland" à cause de l'aspect présenté par ce liant durci qui rappelait celui de la pierre calcaire de la Presqu'île de Portland. C'est le premier ciment, père d'une longue lignée. Ainsi, le XX^e siècle a ouvert la voie aux ciments artificiels qui prendront progressivement le pas sur les chaux. L'accélération sera plus manifeste à l'issue de la deuxième guerre mondiale lorsque le secteur du bâtiment produit essentiellement des logements neufs bâtis à partir d'éléments préfabriqués et, n'utilisant plus les chaux. C'est l'époque charnière où la chaux est en passe d'abandon, où son ancienneté est une marque d'archaïsme alors que les ciments améliorent les performances des liants. Le développement n'a pu s'effectuer que grâce à l'apparition de matériels nouveaux : fours rotatifs et broyeurs à boulets en particulier. Les procédés de fabrication n'ont pas cessé de se perfectionner. Pour produire une tonne de clinker, constituant de base du ciment, il fallait en 1870 : 40 heures, actuellement, il faut environ 3 minutes. Accélèrent leur mise en œuvre, tracent la voie d'une modernité que chaque maçon devra inévitablement emprunter. La production en Algérie s'accroît comme le montre les statistiques suivantes (source : Secrétariat d'état au plan Algérien)

2. DEFINITION : Le ciment est un liant hydraulique, c'est une matière inorganique finement moulue qui, gâchée avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit par suite de réactions et processus d'hydratation et qui, après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau

Le ciment conforme à la norme européenne EN 197-1, gâché et mélangé avec des granulats et de l'eau de façon appropriée, doit être capable de produire un mortier ou un béton qui conserve une ouvrabilité pendant un temps suffisamment long et doit, après des périodes déterminées, atteindre des niveaux de résistances donnés et aussi présenter une stabilité de volume à longue échéance.

3. CONSTITUANTS DU CIMENT : Les ciments sont des liants hydrauliques, formés de constituants anhydres, cristallisés ou vitreux. Ils résultent du broyage et de l'homogénéisation de divers composants qui sont essentiellement : le clinker et les ajouts ou additions minérales tels que le laitier granulé de haut fourneau, les pouzzolanes naturelles et naturelles calcinées (artificielles), les cendres volantes, les schistes calcinés, les calcaires, les fumées de silice et les additifs. A ces minéraux, est ajouté un régulateur de prise dont le rôle est de retarder la réaction d'hydratation du clinker pour permettre la manipulation du béton frais. Il s'agit du gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ou de l'anhydre (CaSO_4) à l'état naturel ou artificiel.

4. FABRICATION : le constituant principal du ciment est le **clinker** qui est obtenu à partir de la cuisson d'un mélange approprié de calcaire et d'argile, en proportion moyenne 80 et 20% .

a- **Extraction et concassage:** Les matières premières sont extraites de carrières généralement à ciel ouvert. Les blocs obtenus sont transportés vers l'atelier de concassage et réduits dans en éléments d'une dimension maximale de 50 mm. Ces concasseurs sont situés parfois sur les lieux même de l'extraction, On a recours actuellement à l'utilisation d'explosifs (tirs de mine) pour faciliter l'extraction de la roche,

b- **Préparation de la matière première:** Les grains de calcaire et d'argile sont intimement mélangés par broyage et délayage, dans les proportions définies, en un mélange très fin le "cru". A cette occasion, des corrections de composition peuvent être effectuées en incorporant des ajouts en faible proportion: oxyde de fer,...) Le cru est préparé automatiquement sous forme de poudre (voie sèche) ou de pâte (voie semi-humide ou humide), en fonction de la technique de fabrication utilisée.

Voie sèche: La voie sèche est de très loin, la technique la plus utilisée aujourd'hui. La matière première est préparée sous forme de poudre. La préhomogénéisation permet d'atteindre un dosage parfait des deux constituants essentiels du ciment par superposition de multiples couches.

Hall de Préhomogénéisation

A la sortie du hall de préhomogénéisation, le mélange est très finement broyé dans des broyeurs sécheurs, qui éliminent l'humidité résiduelle et permettent d'obtenir une poudre qui présente la finesse requise. Cette poudre "le cru", est une nouvelle fois homogénéisé par fluidisation, corrigée si nécessaire puis stockée en silo avant l'introduction au four. L'homogénéisation et le stockage sont réalisés dans la même tour qui comporte à sa partie supérieure un silo d'homogénéisation dans lequel le cru est brassé par air comprimé, il est ensuite stocké dans le silo à la partie inférieure de la tour. Les autres techniques de préparation sont moins employées. Elles consistent à agglomérer la matière sous forme de granules (voie semi-sèche) ou à la transformer en une pâte fluide (voie semi-humide ou humide).

Voie humide:Les blocs sont déversés dans un bassin de délayage (alimenté d'eau), à l'intérieur duquel tourne une herse qui effrite et divise la matière. La pâte ainsi obtenue qui est encore grossière est ensuite broyée et envoyée dans des bassins de stockage pour y être homogénéisée mécaniquement. Quelque soit la technique élaborée pour la préparation du cru, les installations de cuisson sont similaires et comportent deux parties :

c- **Cuisson ou calcination :** Un échangeur de chaleur comportant 4 à 5 cyclones dans lesquels la poudre déversée à la partie supérieure progresse jusqu'à l'entrée du four. Elle se réchauffe au contact des gaz chauds sortant de ce four et se décarbonate en partie. Une décarbonation plus complète peut être obtenue par l'ajout d'un foyer complémentaire situé dans le cyclone inférieur

(précalcination). La poudre est ainsi portée d'environ 80 à 1000 °C en un temps très court. Le cru pénètre à l'amont du four où s'achève la décarbonatation et progresse jusqu'à la zone de clinkérisation (1450 °C). Il s'agit dans la deuxième partie, d'un four horizontal cylindrique en tôle d'acier avec revêtement réfractaire intérieur de 60 à 150 mètres de long et de 4 à 5 mètres de diamètre, légèrement incliné et tournant à environ 1 tour /minute. Four Rotatif Horizontal Intérieur du Four Sous l'effet de la chaleur, les constituants de l'argile (silicates d'alumine et d'oxyde de fer), se combinent avec la chaux provenant du calcaire pour donner des silicates et aluminates de chaux.

5. TYPES DE CIMENTS

Le type informe sur les constituants entrant dans la composition du ciment et fixe les limites de leurs proportions. Celles-ci sont rapportées au noyau du ciment, c'est-à-dire à l'ensemble formé par le clinker, les constituants autres que le clinker et les constituants secondaires, à l'exclusion des sulfates de calcium et les additifs. On a par convention :

$$(\text{Clinker}) + (\text{autres constituants}) + (\text{constituants secondaires}) = 100$$

Les principales catégories de ciment sont

- 1- Ciment Portland, noté CEM I, composé de 95 à 100 % de clinker
- 2- Ciment Portland composé : on distingue deux types :
 - CEM II/A-M composé de 80 à 94 % de clinker et de 6 à 20 % d'ajouts
 - CEM II/B-M composé de 65 à 79 % de clinker et de 21 à 35 % d'ajouts
- 3- Ciment de haut fourneau : on distingue trois types
 - CEM III/A composé de 35 à 64 % de clinker et 36 à 65 % de laitier
 - CEM III/B composé de 20 à 34 % de clinker et de 66 à 80 % de laitier
 - CEM III/C composé de 5 à 19 % de clinker et de 81 à 95 % de laitier
- 4- Ciment pouzzolanique : on distingue deux types :
 - CEM IV/A composé de 65 à 89 % de clinker et 11 à 35 % d'un mélange de pouzzolane, de cendres volante et de fumée de silice
 - CEM IV/B qui est composé de 45 à 64 % de clinker et de 36 à 55 % de même mélange ;
- 5- Ciment composé : on distingue deux types :
 - CEM V/A qui est composé de 40 à 64 % de clinker, 18 à 30 % de laitier et 18 à 30 % de pouzzolane et cendres volante siliceuse
 - CEM V/B qui est composé de 20 à 38 % de clinker, 31 à 50 % de laitier et 31 à 50 % de pouzzolane et cendres volante siliceuse.

La proportion de fumées de silice est limitée à 10 % dans tous les ciments et celle de filler est à 5 %.

6. LE CIMENT PORTLAND ARTIFICIEL

Le ciment portland s'obtient par broyage d'une roche artificielle, le clinker (K), à laquelle on mélange environ 5 % de sulfate de calcium destiné à réguler la prise.

Le clinker (K)

Le clinker est le principal constituant des ciments courants. Il est produit par cuisson (clinkérisation) vers 1450 °C d'un mélange convenablement dosé et homogénéisé de calcaire (80 % environ) et d'argile (20 % environ). Sa fabrication peut être réalisée selon quatre méthodes : par voie humide, semi-humide, sèche (la plus courante) et semi-sèche.

Le clinker est principalement composé d'oxydes métalliques, les quatre principaux : l'oxyde de calcium (CaO), de silicium (SiO₂), d'aluminium (Al₂O₃) et de fer (Fe₂O₃), représentant environ 95 % en masse.

Composition chimique du clinker de ciment Portland ordinaire

Oxydes	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O
%	19-25	2-9	1-5	62-67	0-3	1-3	0,6	0,2

La composition minéralogique du clinker:

- le silicate tricalcique, 3CaO.SiO₂ : C₃S ;
- le silicate bicalcique, 2CaO.SiO₂ : C₂S, ;
- l'aluminate tricalcique, 3CaO.Al₂O₃ : C₃A ;
- l'alumino-ferrite tétracalcique, 4CaO.Al₂O₃.Fe₂O₃ : C₄AF.

Parmi les quatre composants minéralogiques du clinker, ce sont surtout les silicates de calcium (C₃S et C₂S) qui génèrent les performances mécaniques, C₃A et C₄AF permettent surtout la fabrication du clinker à une température industriellement réalisable (± 1450 °C).

La composition minéralogique moyenne du clinker

Minéral	Alite C₃S	Bélite C₂S	Célite C₃A	Célite C₄AF
Proportion en masse (%)	60-65	10-20	8-12	8-10

Propriétés des principaux constituants du CEM I

Composants	Alite	Bélite	Célite	Célite
Composition chimique	Silicate tricalcique $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C ₃ S)	Silicate bicalcique $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C ₂ S)	Aluminate tricalcique $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (C ₃ A)	Alumino-férrite tétracalcique $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (C ₄ AF)
Taux d'hydratation	Rapide (heures)	Lent (semaines)	Instantané	Très rapide (1 jour)
Développement de la résistance	Rapide (jours)	Lent	Très rapide (1 jour)	Très rapide (1 jour)
Chaleur d'hydratation	Moyenne (≈ 500 j/g)	Basse (≈ 250 j/g)	Très haute (≈ 850 j/g)	Moyenne (≈ 450 j/g)
Remarques	Constitue les caractéristiques du CEM I	Contribue à l'augmentation des résistances à long terme	Instable dans l'eau, sensible aux attaques des sulfates	Donne au ciment la couleur grise