

CIMENTS 1996

MATIÈRES PREMIÈRES : 80 % de calcaire et 20 % d'argiles (silicoaluminates). Ces matières premières sont présentes partout, en France, sauf en Bretagne et dans le Massif Central. Des roches naturelles, les marnes ou calcaires argileux, ont une composition qui est proche de 80 % calcaire - 20 % argiles. Des correcteurs, minerai de fer qui apporte Fe_2O_3 , bauxite (Al_2O_3), sable (SiO_2) sont ajoutés pour atteindre la composition souhaitée.

FABRICATION INDUSTRIELLE :

Principe : réactions, principalement à l'état solide, vers 1450°C (clinkérisation), entre CaO , SiO_2 , Al_2O_3 et Fe_2O_3 dans un four rotatif qui tourne à la vitesse de 1 à 2 tours/min. On obtient le clinker qui est refroidi brusquement à l'air et auquel on ajoute lors du broyage de 3 à 5 % de gypse (régulateur de prise) et divers constituants (donnant les différents types de ciments) : laitier, pouzzolanes, cendres volantes... Ces produits ont la propriété de fixer $\text{Ca}(\text{OH})_2$, formé lors de l'hydratation du ciment, en donnant des composés hydratés stables. Les pouzzolanes, roches volcaniques riches (50 à 65 %) en silice amorphe réactive étaient utilisées par les romains, en présence de chaux, pour fabriquer des bétons. Les cendres volantes sont récupérées dans les centrales thermiques à charbon, les laitiers (silicoaluminates de calcium) sont issus des hauts fourneaux.

Le clinker, avant broyage, est peu réactif avec l'eau et peut ainsi être transporté sans risque.

Procédés de fabrication : Les matières premières sont finement broyées (0,1 mm) afin d'obtenir le "cru" de composition suivante :

CaCO_3	60 à 70 %	Al_2O_3	5 à 10 %
SiO_2	18 à 24 %	Fe_2O_3	1 à 5 %

On distingue 3 principaux procédés de fabrication :

- Dans le procédé par voie sèche, la matière première (en poudre) est préchauffée à 800°C par les gaz issus du four de cuisson puis, arrive partiellement décarbonatée, dans le four de cuisson (four rotatif court de 50 à 80 m). Ce procédé est le plus utilisé car il est le plus économe en énergie mais il nécessite la mise en œuvre de moyens importants de captation des poussières. Actuellement, celles-ci représentent moins de 0,02 % de la production. En 30 ans, les émissions ont été divisées par 100.
- Dans le procédé par voie semi-sèche, la poudre est agglomérée sous forme de

boulettes de 10 à 20 mm de diamètre par ajout de 12 à 14 % d'eau, séchée et préchauffée comme précédemment.

- Dans le procédé par voie humide, la matière première est additionnée d'eau dès le broyage et manipulée sous forme de pâte fluide introduite par pompage dans des fours rotatifs longs de 100 à 200 m. Ce procédé présente l'inconvénient de consommer de 30 à 40 % d'énergie de plus que le procédé par voie sèche. Capacités de production jusqu'à 4 300 t/jour de clinker. L'une des plus grandes cimenteries, dans le monde, est exploitée par Mitsubishi Mining and Cement. Elle est située à Kanda au Japon : 6,5 millions de t/an avec 5 fours.

En 1996, en France : 96 % de la production par voies sèche et semi-sèche (65 % en 1970).

Consommations en produits d'addition en 1996, en France, en 10^3 t.

Laitier de hauts fourneaux	824	Cendres volantes	236
Gypse	742	Autres produits	1 372
Calcaire	551		

- La consommation énergétique est importante (environ 1/4 du prix de revient) pour alimenter les broyeurs et chauffer les fours. En 1996, en France, 1,45 million de t équivalent pétrole (tep) : coke de pétrole : 40 %, charbon : 11 %, fuel : 2 %, gaz : 2 %, autres produits (sous-produits de raffineries, huiles, solvants, pneus usagés...) : 45 % et 2 274 millions de kWh d'électricité. En 25 ans, la consommation d'énergie a été réduite de 25 %.

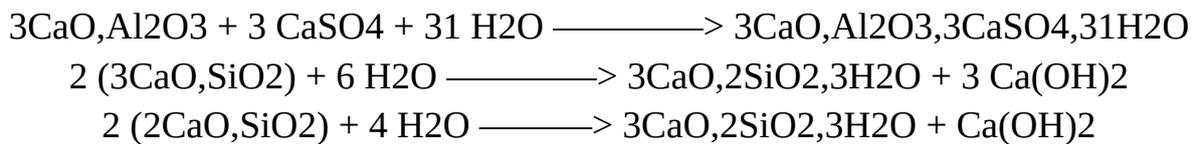
Incinération de résidus industriels : les fours à ciment qui fonctionnent à haute température peuvent détruire de nombreuses molécules organiques et ils sont utilisés pour incinérer des résidus industriels. Par exemple, la cimenterie de La Malle (13, Lafarge) peut incinérer, sans dégagement toxique, 50 à 60 % des pneus usagés de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, soit 10 000 t/an et ainsi couvrir 10 % de ses besoins énergétiques. 1 500 t de pneus fournissent 1000 tep. En France, 30 000 t de pneus ont été brûlés en 1996.

Principaux constituants du clinker : composition indicatrice en % pondéral.

- silicate tricalcique (C3S) : $3\text{CaO}, \text{SiO}_2$: 55 %
- silicate dicalcique (C2S) : $2\text{CaO}, \text{SiO}_2$: 20 %
- aluminat tricalcique (C3A) : $3\text{CaO}, \text{Al}_2\text{O}_3$: 10 %
- ferroaluminat calcique (C4AF) : $4\text{CaO}, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3$: 10 %

Propriétés des ciments : le ciment est un liant hydraulique, il fait prise par hydratation.

Principales réactions avec l'eau :



Pour ces deux dernières réactions, les coefficients stoechiométriques ne sont qu'indicatifs

Le ciment est essentiellement utilisé sous forme de béton : mélange de ciment, granulats et eau. Il forme ainsi une véritable roche artificielle qui présente l'avantage de pouvoir être mise en œuvre sous forme d'une pâte.

La libération d'hydroxyde de calcium lors de la prise, donne au ciment un pH fortement basique qui passive l'acier utilisé dans le béton armé et donc le protège de la corrosion.

Désignation des ciments : la nouvelle norme NF P 15-301 se substitue officiellement à l'ancienne norme depuis le 1er janvier 1995. Les ciments sont identifiés par leur type et leur classe de résistance :

- la notation du type associe la notation traditionnelle française et la future notation européenne (exemples CPA-CEM I ou CPJ-CEM II).
- un nombre (32,5 ou 42,5 ou 52,5) indique leur classe de résistance (valeur minimale spécifiée de la résistance à la compression mesurée à 28 jours et donnée en N/mm² ou MPa).

Ciments les plus utilisés, en France, en 1996 : CPJ-CEM II 32,5 : 46,4 % de la consommation et CPA-CEM I 52,5 : 29,9 %.

Bétons de hautes performances (HP) : un béton classique, pour être coulé, demande une quantité d'eau supérieure à l'eau nécessaire à la seule hydratation du ciment. Lors de la prise du ciment, cette eau est chassée du béton lors de son élévation de température (les réactions d'hydratation sont exothermiques). Les vides créés par le départ de l'eau diminuent la résistance du béton.

Les bétons de hautes performances utilisent moins d'eau lors de leur mise en œuvre. Des adjuvants (naphtalènes sulfonates ou dérivés mélaminés), ajoutés au béton frais, jouent le rôle de plastifiants. Ces adjuvants peuvent représenter de 2 à 4 % de la masse de ciment.

Des ajouts de fumée de silice (voir le chapitre silicium, silice) qui ont également un effet rhéologique, permettent de fixer, en partie, la chaux libérée par l'hydratation du ciment, en donnant des silicates de calcium qui font également prise par hydratation. La résistance à la compression à 28 jours peut ainsi passer de 30 - 40 MPa pour un béton courant à 100 - 120 MPa pour un béton de hautes performances. Outre la résistance, les bétons de hautes performances présentent divers autres avantages : leur fluidité à la mise en œuvre et leur durabilité.

PRODUCTIONS (hors clinker exporté) : en 1996, en 10⁶ t et () consommation en kg/habitants. Monde : 1 488, Union européenne : 164.

Chine	446,0 (393)	Russie	37,5
Japon	93,6 (656)	Turquie	35,2 (480)
États-Unis	80,5 (343)	Thaïlande	34,0
Inde	75,6	Brésil	33,9
Corée du Sud	56,3	Italie	33,8 (580)

- Principaux pays exportateurs (en 1996) : Japon : 12,8 10⁶ t de ciment et clinker, Grèce : 5,8 10⁶ t.
- 1er importateur mondial (en 1996) : États-Unis : 14,1 10⁶ t.
- Principaux pays consommateurs en kg/habitant : Emirats Arabes Unis : 2 333, Singapour.

Producteurs mondiaux : en 1993, en millions de t.

Holderbank (Suisse)	51	Heidelberger (Allemagne)	34
Ciments Lafarge (France)	43	Cemex (Mexique)	30
Italcementi (Italie, France)	39	Onoda Chichibu (Japon)	24

SITUATION FRANÇAISE : en 1996.

- Chiffre d'affaires : 10,4 milliards de F.
- Effectifs : 5 995 personnes.
- Production : 18,3 10⁶ t, 16^{ème} rang mondial. Le plus haut niveau de production a été atteint en 1974 : 33,3 10⁶ t. Consommation annuelle par habitant : 320 kg.
- Exportations : 1,1 10⁶ t de ciment et 1,2 10⁶ t de clinker, principalement vers l'Allemagne, la Côte d'Ivoire, l'Italie, la Réunion.
- Importations : 1,6 10⁶ t de ciment, principalement de Belgique.
- 38 cimenteries dont 10 de plus de 1 million de t (voir carte), 6 entreprises.

Producteurs

- Ciment d'Origny et Cedest (acheté, en mai 1994) sont filiales du groupe suisse Holderbank.
- Calcia et Ciments de l'Adour sont filiales de Ciments Français.

Lafarge en 1996 : 500 filiales dans plus de 40 pays.

- Chiffre d'affaires : 35,3 milliards de F : 32 % en France, 25,5 % en Amérique du Nord.

- Répartition entre activités : ciments : 45 %; bétons, granulats : 29 %; matériaux de spécialité : 16 %, plâtre : 10 %.

- Productions : 2ème cimentier mondial (60 usines), n°1 français (35 % du marché), en 1996 :

Ciments : 42,6 Bétons : 21,5 millions m³

Granulats : 84 millions de t Plâtre : 200 millions m²

- Autres activités : plâtre (n°3 européen), aluminat de calcium (ciment réfractaire, n°1 mondial), peinture (Tollens), nouveaux matériaux.

- Effectifs : 35 232 personnes (30 % en France) à 45 % dans le ciment.

- Localisation des cimenteries : nombre et () ventes sur marché intérieur en millions de t.

- France : 11 (6,5), voir carte. Projet à Grande Paroisse (Montereau, 77).

- Europe Centrale et Russie 11 (5,8) : Allemagne, 2 (Karsdorf et Wössingen), Autriche, 3 (société Perlmooser, n°1 du pays), Pologne, 3 (Kujawy, Malogoszcz et Wierzbica), n°1 du pays, République tchèque, 1 (Cizkovice), Russie, 2 près de Moscou achetées en 1996.

- Bassin méditerranéen 15 (9,7) : Espagne, 5 (société Asland), Maroc, 4, Turquie, 4, Italie, 2 (Tavernola et Pescara de la société Adriasebina).

- Amérique du Nord 14 (11,4) : Etats-Unis, 7 (8,7), Canada, 7 (2,7).

- Amérique latine 9 (3,1) : Brésil, 6, Venezuela, 3 (société FNC).

- Afrique, Asie 4 (6) : Kenya, 1, Cameroun, 1, Indonésie, 1 (Aceh à Sumatra), Chine, 1 (Huabei, près de Pékin).

Ciments français en 1996, filiale à 40 % du groupe italien Italcementi. Le groupe Italcementi a réalisé un chiffre d'affaires de 17 milliards de F et exploite 21 cimenteries en Italie.

- Chiffre d'affaires : 12,3 milliards de F (47 % en France, 20 % en Amérique du Nord).

- Répartition entre activités : ciments : 64 %, matériaux de construction : 36 %.

- Productions : en millions de t. En France, le ciment est produit par la filiale Calcia, 33 % du marché.

Ciments : 20,5 dont : France: 6,2, Amérique du Nord: 5,7, Turquie : 2,9, Belgique : 1,9, Maroc : 1,4, Espagne : 1,3, Grèce : 0,6.

Granulats : 41 (115 carrières) dont : 21,3 millions de t en France.

Bétons prêts à l'emploi : 8,5 millions de m³, 255 centrales dont 165 en France avec 3,6 millions de m³.

- Effectifs : 9 623 personnes (dont 4 066 en France), à 55 % dans le ciment.

- 29 cimenteries dont 9 en France, 7 aux Etats-Unis (filiale Essroc), 5 en Turquie, 3 en Espagne, 2 au Maroc, 1 en Belgique, en Grèce, au Canada.

Vicat : en 1995.

- Chiffre d'affaires : 4,7 milliards de F (à 75 % en France).
- Répartition du chiffre d'affaires : ciment France : 28 %, bétons et granulats France : 29 %, ciment et béton à l'étranger : 21 %, transport et chimie : 16 %, papier et emballages : 5 %.
- Productions : en France, 2,9 millions de t de ciment, 2,4 millions de m³ de béton prêt à l'emploi, 9,4 millions de t de granulats. A l'étranger, productions aux Etats-Unis (Delaware, Alabama, Californie) et en Turquie (Ankara et Konya, 1,5 million de t de ciment).
- Effectifs : 3 148 personnes.
- 7 cimenteries en France.

UTILISATIONS : un seul débouché du ciment : la construction. En France, en 1996 :

69 % du ciment est transporté en vrac, 31 % en sacs, à 98 % par voie routière.

- Il est utilisé à 60 % dans des secteurs intermédiaires sous forme de :

Béton prêt à l'emploi : 42 %, produits en béton et fibres-ciment : 17,1 %

La production de béton prêt à l'emploi est de 30 millions de m³ dans 1 583 centrales. Consommation de 18,7 millions de t, répartie à 63,5 % pour la construction de bâtiments et 36,5 % dans les travaux publics.

- Répartition de la consommation totale, en France :

Logements neufs	24,5 %	Routes, autoroutes	18,0 %
Bâtiments non résidentiels	20,0 %	Ouvrages d'art	4,5%
Entretien des bâtiments	19,0 %		

Un logements neuf consomme environ 17 t de ciment qui représentent 2,5 % de son prix de revient. Il y a eu 274 000 logements mis en chantier en 1996.

Les ciments sont utilisés couramment pour stocker les déchets nucléaires de vie courte (classe A). Ils constituent l'enrobage des déchets, en partie le matériau des conteneurs eux même stockés dans des structures en béton armé dans lesquelles sont coulées un ciment, le tout recouvert d'une dalle de béton. Les déchets nucléaires en solution dans l'eau peuvent être utilisés comme eau de prise du ciment après étude préalable des réactions ciment-déchet. En particulier, l'eau de refroidissement du circuit primaire des réacteurs à eau sous pression français contient, en solution, des ions borates (modérateurs) qui inhibent la prise du ciment. Avant stockage il est nécessaire de précipiter les ions borates à l'aide d'hydroxyde de calcium.

Ciments alumineux fondus : notés CA, norme NF P 15-315, ils sont obtenus par fusion, à très haute température, d'un mélange de calcaire et de bauxite ferrugineuse. Pauvres en SiO₂ (4 à 10 %), ils sont par contre riches en Al₂O₃ (40 à 45 %) et sont principalement constitués d'aluminate monocalcique (CaO,Al₂O₃). Ce sont des ciments à haute résistance mécanique mais d'un emploi très délicat. La prise est lente mais le durcissement est très rapide. La chaleur d'hydratation est très élevée. Les ciments alumineux de haute pureté sont préparés à partir d'alumine. Ils sont réfractaires et peuvent être utilisés jusqu'à 1200°C, alors que l'emploi des ciments Portland est limité à 350°C. Ils ne sont pas employés en construction.