

CIMENTS 2005

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 cette composition. 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 : [schéma](#) sur le site infociments

Principe :

Réactions, principalement à l'état solide, vers $1450^{\circ}C$ (clinkérisation), entre [CaO](#), [SiO₂](#), [Al₂O₃](#) et Fe_2O_3 dans un [four rotatif](#) qui tourne à la vitesse de 1 à 2 tours/min. On obtient le clinker (voir plus loin sa composition) 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 [Ca\(OH\)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 ₂ O ₃	5 à 10 %
SiO ₂	18 à 24 %	Fe ₂ O 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 $800^{\circ}C$ 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.

Les capacités de production peuvent atteindre 10 000 t/jour de clinker. Tong Yang Cement possède à Samchok (en Corée du Sud) l'une des plus grandes cimenteries du monde avec une capacité de 11 millions de tonnes/an.

Consommations en produits d'addition, en 2005, en France, en 10³ t.

Calcaire + autres produits	2171	Gypse	829
Laitier de hauts fourneaux	1275	Cendres volantes	129

- La consommation énergétique est importante (environ 1/4 du prix de revient) pour alimenter les broyeurs et chauffer les fours. En 2005, en France, 1,45 million de t équivalent pétrole (tep) : coke de pétrole : 50 %, charbon : 9 %, fuel : 2 %, gaz : 0,5 %, autres produits (brais et divers) : 10,5 % et combustibles de substitution : 28 % ainsi que 2615 millions de kWh d'électricité.

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 ainsi que des pneus et des farines animales. Par exemple, les cimenteries brûlent 260 000 t/an de farines animales à hauts risques.

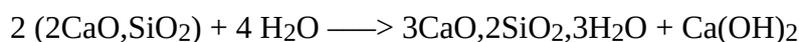
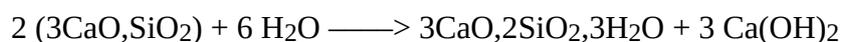
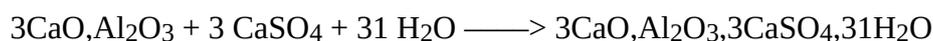
Principaux constituants du clinker : composition indicatrice en % pondéral.

- silicate tricalcique (C₃S) : 3CaO,SiO₂ : 55 %
- silicate dicalcique (C₂S) : 2CaO,SiO₂ : 20 %
- aluminat tricalcique (C₃A) : 3CaO,Al₂O₃ : 10 %
- ferroaluminat calcique (C₄AF) : 4CaO,Al₂O₃,Fe₂O₃ : 10 %

Notation des cimentiers : les composés utilisés étant en nombre réduit, sous forme, en général d'oxyde, les cimentiers utilisent une notation spécifique, plus simple que celle des chimistes, avec les lettres suivantes : A pour Al₂O₃, S pour SiO₂, C pour CaO, F pour Fe₂O₃ ... (voir les exemples ci-dessus).

PROPRIETES DES CEMENTS : le ciment est un liant hydraulique, il fait prise par hydratation.

Principales réactions avec l'eau :



Pour ces deux dernières réactions, les coefficients stœchiométriques 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 norme NF EN 197-1 d'avril 2000 s'applique à l'ensemble des ciments courants dans l'Espace Economique Européen. Elle est entrée en vigueur le 1^{er} avril 2001. Les ciments sont désignés par leur type et leur classe de résistance (exemples CEM I ou CEM II/ B 32,5 R).

Notations pour un ciment courant :

- CEM I : ciment Portland
- CEM II : ciment Portland composé
- CEM III : ciment de haut fourneau
- CEM IV : ciment pouzzolanique
- CEM V : ciment composé
- Les lettres A, B et C précisent la teneur en clinker des ciments courants.
- CEM I : (pas de lettre) 95 à 100 % de clinker
- CEM II/ A : 80 à 94 %
- CEM II/ B : 65 à 79 %
- CEM III/ A : 35 à 64 %, le complément étant du laitier (plus éventuellement des constituants secondaires)
- CEM III/ B : 20 à 34 %, le complément étant du laitier (plus éventuellement des constituants secondaires)
- CEM III/ C : 5 à 19 %, le complément étant du laitier (plus éventuellement des constituants secondaires)
- 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).
- les lettres N ou R donnent les classes de résistance à court terme (2 ou 7 jours). N : résistance à court terme ordinaire et R : résistance à court terme élevée.

Répartition de la production de ciments, par type, en 2005, en France :

CEM I 52,5R/52,5N	32,0 %	CEM I 42,5R/42,5N	1,4 %
CEM II/ A et B 32,5R/32,5N	27,1 %	CEM V/ A 32,5N	0,8 %
CEM III/ A et B 52,5N/42,5N	7,7 %	CEM III/ B et C 32,5N	0,5 %
Ciments spéciaux (blanc, alumineux, prompt)	4,2 %	Ciments divers	5,1 %

CEM II/A et B 52,5R/52,5N	3,9 %		
---------------------------	-------	--	--

En matière de contribution à la protection de l'environnement, l'industrie cimentière a réduit sa production de ciments (CEM I) et favorisé la vente de CEM III ce qui a engendré une réduction des émissions de CO₂.

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 pores créés par le départ de l'eau diminuent la résistance mécanique 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 - 50 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 2004, en millions de t. Monde : 2 115, Union européenne : 233.

Chine	930	Brésil	34
Inde	129	Mexique	34
Etats-Unis	95	Indonésie	33
Japon	67	Allemagne	32
Corée	54	Iran	31
Espagne	47	Thaïlande	30
Italie	46	Egypte	29
Russie	45	Arabie Saoudite	24
Turquie	39	France	21

- Principaux pays exportateurs, en 2004 (ciment exporté en millions de tonnes) : Thaïlande : 11,2, Turquie : 10,7, Japon : 10,3, Inde : 10,1, Egypte : 8,6.

- Principaux pays importateurs, en 2004 (ciment importé en millions de tonnes) : Etats-Unis : 27,3, Espagne : 8,2, Italie : 5,0, Viêt-Nam : 4,0.

Producteurs mondiaux : en 2005, en millions de t.

<u>Lafarge</u> (France)	123	<u>Heidelberg</u> (Allemagne)	68
-------------------------	-----	-------------------------------	----

Holcim (Suisse)	77	Italcementi (Italie)	53
Cemex (Mexique)	76	Taiheiyo Cement (Japon)	20

En France, [Ciments Français](#) ([Ciments Calcia](#) pour les activités dans le ciment) est filiale du groupe Italcementi.

SITUATION FRANÇAISE : en 2005.

- Chiffre d'affaires : 2,27 milliards d'euros.
- Effectifs : 5 100 personnes.
- Production : 21,3 10⁶ t, 18^{ème} rang mondial. Le plus haut niveau de production a été atteint en 1974 : 33,3 10⁶ t.
- Consommation : 22,5 10⁶ t. Consommation annuelle par habitant, en 2004 : 378 kg.
- Exportations : 1203 10³t de ciment et 422 10³t de clinker, principalement vers l'Allemagne, l'Italie, l'Espagne, le Royaume-Uni.
- Importations : 2675 10³ t de ciment et 246 10³t de clinker.
- 33 cimenteries et 9 centres de broyage (voir carte). Les acteurs implantés en France sont des leaders mondiaux de l'industrie cimentière : Lafarge ciments (13), Ciments Calcia (12), [Holcim France](#) (7), Lafarge aluminates (3), Vicat (7).

Producteurs

- Ciment d'Origny et Cedest sont filiales du groupe suisse [Holcim](#), anciennement Holderbank.
- Calcia et Ciments de l'Adour sont filiales de Ciments Français.

Lafarge en 2005, présent dans 75 pays dont 43 pays pour la branche ciment.

- Chiffre d'affaires : 17 milliards d'euros dont 14,9 % en France, 28,3 % en Amérique du Nord.
- Répartition entre activités : ciments et liants : 47,6 %, bétons, granulats : 33,7 % (n°2 mondial), produits de toiture : 9,5 % (n°1 mondial), produits à base de plâtre (plaques de plâtre) : 9,1 % (n°3 mondial).
- Productions : 1^{er} cimentier mondial (122 cimenteries), n°1 français (37 % du marché), en 2005 :

Ciments	123 millions de t	Bétons	39 millions de m ³
Granulats	240 millions de t	Plâtre	694 millions m ²

- Effectifs : 71 000 personnes dont 41 191 travaillant dans la branche ciment.

- Localisation des cimenteries : nombre et () capacité annuelle de production de ciment en millions de tonnes.

- France : 10 (9,2), voir carte. Projet de construction à Grande Paroisse (Montereau, 77),

- Royaume-Uni : 8 (7,8), Grèce : 3 (10), Allemagne : 3 (3,4), Espagne : 3 (5,3), Autriche : 2 (1,9), Italie : 2 (1,2),

- Pologne : 2 (4,4), Roumanie : 2 (4,5), Moldavie : 1 (1,4), Russie : 2 (4,1), Ukraine : 1 (1,3), Serbie-Monténégro : 1 (2), Slovénie : 1 (0,6), République Tchèque : 1 (1,2),

- Jordanie : 2 (4,6), Maroc : 4 (4,2), Turquie : 4 (5,2), Egypte : 2 (3,1),

- Afrique du Sud : 1 (2,4), Zambie : 2 (0,7), Tanzanie : 1 (0,3), Zimbabwe : 1 (0,4), Kenya : 1 (2), Ouganda : 1 (0,3), Nigeria : 3 (3), Cameroun : 1 (1,1), Bénin : 1 (0,7),

- Etats-Unis : 13 (13,2), Canada : 7 (7),

- Brésil : 5 (4), Chili : 1 (2), Venezuela : 2 (1,6), Equateur : 1 (0,7), Honduras : 1 (1,3), Mexique : 1 (0,4),

- Chine : 11 (12,9), Corée du Sud : 2 (8,5), Inde : 2 (6,2), Malaisie : 3 (12), Philippines : 6 (6,5), Indonésie : 1 (0, l'usine de Banda Aceh à Sumatra, endommagée par le tsunami de décembre 2004 est en cours de reconstruction).

Ciments français en 2006, filiale à 76 % du groupe italien Italcementi et 2^{ème} producteur français de ciments et de matériaux de construction. Le groupe Italcementi a réalisé un chiffre d'affaires de 5 854 millions d'euros en 2006, exploite 62 cimenteries et emploie 22 850 personnes.

- Chiffre d'affaires : 4 380 millions d'euros (46,7 % dans l'Union Européenne, 15,1 % en Amérique du Nord).

- Répartition entre activités : ciments et clinkers : 69 %, granulats et béton prêt à l'emploi : 26,7 %.

- Productions : en millions de t. En France, le ciment est produit par la filiale Calcia : 7,6, en 2004.

- Volumes vendus par activités en millions de tonnes : ciments et clinkers : 50,5, granulats : 51,2, béton prêt à l'emploi : 12,7

- Nombre de cimenteries : 42 dont Union Européenne : 14, Amérique du nord : 8, Bassin méditerranéen : 14, Asie : 6.

- Nombre de carrières : 99 dont Union Européenne : 92, Amérique du nord : 1, Bassin méditerranéen : 5, Asie : 1.

- Nombre de centrales à béton : 337 dont Union Européenne : 252, Amérique du nord : 5, Bassin méditerranéen : 45, Asie : 35.

- Effectifs : 17 607 personnes dont 11 811 travaillant dans la branche ciments et clinkers, 3 225 dans le secteur des matériaux de construction.

- 42 cimenteries dont 9 en France, 8 en Amérique du nord (filiale Essroc), 4 en Turquie, 3 en Espagne, 3 au Maroc, 1 en Belgique, 1 en Grèce, 5 en Egypte, 2 en Bulgarie, 3 en Thaïlande, 2 en Inde, 1 au Kazakhstan.

Vicat : en 2005.

- Chiffre d'affaires : 1,8 milliard d'euros dont 47 % en France.
- Répartition du chiffre d'affaires par famille de produits : béton et granulat : 40 %, ciments : 43 %, autres activités de fabrication de tuyaux, de produits de bâtiment et de papiers et de négoce, de matériaux de construction et de transport de matériel et de marchandises liées aux grands chantiers : 17 %.
- Productions, en 2005, en France, de 3,6 millions de t de ciment, 2,9 millions de m³ de béton prêt à l'emploi, 11,6 millions de t de granulats.
- Effectifs : 6 241 personnes dont 1 467 dans la branche ciment.
- 5 cimenteries en France (ainsi que deux sites de fabrication de ciment naturel prompt), 2 aux Etats-Unis, 2 en Turquie, 1 en Egypte, 1 au Sénégal, 1 en Suisse.

UTILISATIONS :

Consommations en 2004, en kg/habitant

Luxembourg	1221	Suisse	569
Espagne	1166	Belgique	557
Irlande	914	Japon	453
Grèce	914	Etats-Unis	406
Portugal	867	France	378
Italie	795	Allemagne	353
Chine	710	Danemark	296
Autriche	571	Pays-Bas	291

Consommations de ciment, en 2005. Monde : 2060 10⁶ t, Europe : 298 10⁶ t.

Principaux pays consommateurs de ciment, en 2004 (en millions de tonnes) : Chine : 930,0, Inde : 123,1, Etats-Unis : 119,9, Japon : 58,0, Corée : 54,9.

Un seul débouché du ciment : la construction.

En France, en 2005 :

- 74,6 % du ciment est transporté en vrac, 25,4 % en sacs, à 88,3 % par voie routière.
- Il est utilisé à 60 % dans des secteurs intermédiaires à 42 % sous forme de béton prêt à l'emploi et à 17 % pour des produits en béton et fibres-ciment.
- La production de béton prêt à l'emploi en 2004 est de 38 millions de m³.
- Consommation de 22,5 millions de t, répartie à 65,5 % pour la construction de bâtiments et 34,5 % pour le génie civil.
- Répartition de la consommation totale, en France en 2005 :

Logements neufs	33 %	Eau, assainissement	4 %
Entretien de bâtiments	14,5 %	Réseaux téléphoniques	4 %
Bâtiments agricoles, bureaux et commerces	11 %	Bâtiments industriels	4 %
Voieries, routes et annexes	12,5 %	Bâtiments d'enseignement et hospitaliers	3 %
Génie civil industriel et ouvrages d'art	6 %	Voies ferrées, ouvrages maritimes et fluviaux	2 %

Un logement neuf consomme environ 17 t de ciment qui représentent 2,5 % de son prix de revient. Il y a eu 400 000 logements mis en chantier en 2005.

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.