

## CIMENTS 2012

### MATIÈRES PREMIÈRES :

Elles sont constituées d'environ 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 :

#### **Principe :**

Les réactions entre les divers constituants ont lieu, principalement à l'état solide, vers  $1450^{\circ}C$  (c'est la clinkérisation), entre [CaO](#), [SiO<sub>2</sub>](#), [Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>](#) et  $Fe_2O_3$  dans un four rotatif légèrement incliné qui tourne à la vitesse de 1 à 3 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](#) (qui joue le rôle de régulateur de prise) et divers constituants (donnant les différents types de ciments) : laitier, pouzzolanes, cendres volantes... Ces produits ont la propriété de fixer [Ca\(OH\)<sub>2</sub>](#), 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  $800-1000^{\circ}C$  par les gaz issus du four de cuisson puis, arrive partiellement décarbonatée, dans la partie haute du four de cuisson (four rotatif court de 50 à 90 m de long et 4 à 5 m de diamètre). Le temps de parcours de la matière dans le four est d'environ 1 heure. 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.
- 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.

**Consommations** en produits d'addition, en 2012, en France, en milliers de t.

Calcaire	1 131	Gypse	723
Laitier de hauts fourneaux	1 678	Cendres volantes	266

Source : Infociments

- La consommation énergétique est importante (environ 1/3 du prix de revient) pour alimenter les broyeurs et chauffer les fours. En 2012, en France, 1,19 million de t équivalent pétrole (tep) fournies par du coke de pétrole pour 41,9 %, du charbon pour 16,9 %, du fuel lourd pour 1,5 %, du gaz pour 0,5 %, d'autres produits (brais et divers) pour 8,8 % et des combustibles de substitution pour 30,4 % ainsi que 2 248 millions de kWh d'électricité. Les combustibles de substitution sont des déchets de diverses provenances : pneus, huiles industrielles usagées, déchets ménagers et agricoles...

Les fours à ciment qui fonctionnent à haute température peuvent détruire de nombreuses molécules organiques et ils sont utilisés pour incinérer des résidus industriels ce qui par ailleurs fournit de l'énergie.

- Coûts de production : Répartition :

Energie	33 %	Main d'œuvre, entretien et autres	26 %
Matières premières et consommables	29 %	Amortissements	12 %

Source : rapport d'activité 2012 de Lafarge

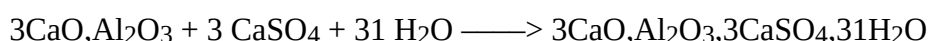
**Principaux constituants du clinker** : composition indicatrice en % pondéral.

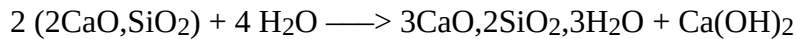
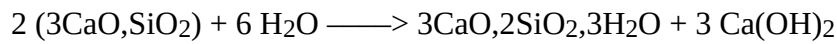
- silicate tricalcique (C<sub>3</sub>S) : 3CaO,SiO<sub>2</sub> : 55 %
- silicate dicalcique (C<sub>2</sub>S) : 2CaO,SiO<sub>2</sub> : 20 %
- aluminat tricalcique (C<sub>3</sub>A): 3CaO,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 10 %
- ferroaluminat calcique (C<sub>4</sub>AF) : 4CaO,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 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 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, S pour SiO<sub>2</sub>, C pour CaO, F pour Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ... (voir les exemples ci-dessus).

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

Principales réactions avec l'eau : elles peuvent être représentées, les coefficients stœchiométriques n'étant qu'indicatifs, par les équations chimiques suivantes :





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, lors de la prise, d'[hydroxyde de calcium](#), dénommé portlandite par l'industrie cimentière 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<sup>er</sup> 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/mm<sup>2</sup> 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 2012, en France :**

CEM I	26,0 %	Ciments spéciaux (blanc, alumineux,	3,7 %
-------	--------	-------------------------------------	-------

		prompt)	
CEM II	50,5 %	Ciments divers (à maçonner...)	0,9 %
CEM III et V	15,3 %	Liants géotechniques	3,7 %

Source : Infociments

Bétons à 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, le rapport E/C - eau/ciment - est compris entre 0,45 et 0,50. 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, avec un rapport E/C de 0,35. 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 d'ultra 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** : en 2012, en millions de t. Monde : 3 600, Union européenne : 156.

Chine	2 137	Russie	53
Inde	239	Corée du Sud	51
Etats-Unis	73	Arabie Saoudite	49
Brésil	68	Mexique	42
Turquie	64	Allemagne	32
Japon	55	Italie	26
Indonésie	53	France	18

Source : Cembureau

- Principaux pays exportateurs, en 2010, en millions de tonnes : Turquie : 19, Chine : 17, Thaïlande : 14.

- Principaux pays importateurs, en 2010, en millions de tonnes : Bangladesh : 12, Nigeria : 7, Etats-Unis : 6.

**Producteurs mondiaux** : en 2012, en millions de t de ciment et clincker.

<u>Holcim</u> (Suisse)	148	<u>Cemex</u> (Mexique)	66
<u>Lafarge</u> (France)	141	<u>Italcementi</u> (Italie)	46
<u>Heidelberg</u> (Allemagne)	89	<u>Buzzi Unicem</u> (Italie)	27

Source : rapports annuels des sociétés

Autres producteurs importants : [Taiheiyo Cement](#) (Japon), [Camargo Correa](#) et [Votorantim](#) (Brésil), [CNBM](#) et [Anhui Conch](#) (Chine).

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

### **Recyclage :**

Chaque année, en France, 560 millions de t de granulats sont utilisés dans le bâtiment et les travaux publics (BTP). On estime que 25 % de ces granulats proviennent du recyclage. Ainsi, le béton issu de démolitions, trié, concassé et déferrailé est principalement utilisé dans les sous-couches routières en remplacement de granulats naturels. Une utilisation dans le bâtiment est encore à l'étude.

Le BTP, génère, par an, en France, 300 millions de t de déchets principalement constitués de matériaux inertes dont le béton. L'objectif européen est de valoriser, en 2020, 70 % de ces déchets et éviter ainsi qu'ils se retrouvent en décharges.

### **SITUATION FRANÇAISE : en 2012.**

- Chiffre d'affaires : 2,33 milliards d'euros.

- Effectifs : 4 909 personnes.

- Production : 18,0 millions de t, 14<sup>ème</sup> rang mondial. Le plus haut niveau de production a été atteint en 1974 : 33,3 millions de t.

- Consommation : 20,0 millions de t. Consommation annuelle par habitant : 326 kg.

- Exportations : 1 064 000 t de ciment et 193 000 t de clinker, vers l'Allemagne à 45,5 %, l'Italie à 13,3 %, le Royaume-Uni à 7,0 %.

- Importations : 3 324 000 t de ciment et 124 000 t de clinker de Belgique à 33 %, Espagne à 20 %, Allemagne à 15 %, Luxembourg à 12 %.

- 44 sites industriels (cimenteries et centres de broyage). Les acteurs implantés en France sont des leaders mondiaux de l'industrie cimentière : Lafarge ciments (14), Ciments Calcia (10), Vicat (9), Holcim France (8), Kerneos (3).

- 1 700 centrales de béton prêt à l'emploi et 900 usines de produits en béton.

- Evolution de la production française :

1880	100 000 t	1974	33 500 000 t
1920	800 000 t	2005	21 300 000 t
1938	3 800 000 t	2010	18 000 000 t
1954	7 400 000 t	2012	18 018 000 t

Source : Infociments

### **Producteurs :**

[Lafarge](#) en 2012, n°1 français, présent dans 64 pays dont 58 pays pour la branche ciment.

- Chiffre d'affaires mondial : 15,8 milliards d'euros.

- Répartition entre activités : ciments (n°2 mondial) : 65,6 %, granulats (n°2 mondial) et bétons (n°4 mondial): 33,8 %. Fin 2011, vente de la plus grande partie de l'activité plâtre.

- Productions : 2<sup>ème</sup> cimentier mondial, n°1 français (34 % du marché) :

Ciments	141 millions de t sur 116 sites	Bétons prêts à l'emploi	32 millions de m <sup>3</sup> sur 1 011 sites
Granulats	188 millions de t sur 386 sites		

Source : rapport d'activité de Lafarge

- Effectifs : 65 000 personnes dont 41 200 travaillant dans la branche ciment.

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

- France : 9 (10,0), localisation des usines.

- Royaume-Uni : 5 (5,1), Grèce : 3 (9,8), Allemagne : 2 (3,4), Espagne : 3 (6,8), Autriche : 2 (2,0),

- Pologne : 3 (5,7), Roumanie : 2 (4,9), Moldavie : 1 (1,4), Russie : 2 (4,1), Ukraine : 1 (1,7), Serbie : 1 (2,0), Slovénie : 1 (0,6), République Tchèque : 1 (1,2), Hongrie : 1 (1,1),

- Jordanie : 2 (4,8), Maroc : 3 (6,8), Egypte : 1 (10,0), Algérie : 2 (8,6), Irak : 3 (5,8), Emirats Arabes Unis : 1 (3,0), Syrie : 1 (2,6),

- Afrique du Sud : 1 (3,6), Zambie : 2 (1,3), Tanzanie : 1 (0,3), Zimbabwe : 1 (0,5), Kenya : 1 (2,0), Ouganda : 1 (0,8), Nigeria : 3 (5,7), Cameroun : 1 (1,7), Bénin : 1 (0,7),

- Etats-Unis : 6 (10,7), Canada : 6 (5,8),

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

- Chine : 19 (34,9), Corée du Sud : 1 (9,6), Inde : 2 (8,4), Malaisie : 3 (12,5), Philippines : 5 (6,0), Indonésie : 1 (1,6), Pakistan : 1 (2,1), Bangladesh : 1 (1,6).

**Ciments français** en 2012, filiale à 85,9 % du groupe italien Italcementi et 2<sup>ème</sup> producteur français de ciments (32 % du marché). Le groupe Italcementi a réalisé un chiffre d'affaires de 4,5 millions d'euros en 2012, exploite 49 cimenteries, a produit 45,9 millions de t de ciment et emploie 18 886 personnes.

- Chiffre d'affaires mondial : 3,7 milliards d'euros.

- Répartition entre activités : ciments et clinkers : 67,3 %, granulats et béton prêt à l'emploi : 27,7 %.

- En France, le ciment est produit par la filiale Calcia.

- Volumes vendus : ciments et clinkers : 39,3 millions de tonnes, granulats : 31,2 millions de tonnes, béton prêt à l'emploi : 9,2 millions de m<sup>3</sup>.

- Effectifs : 14 776 personnes dont 8 751 travaillant dans la branche ciments et clinkers.

- 35 cimenteries dans le monde dont 9 en France, 6 en Amérique du nord, 3 en Espagne, 3 au Maroc, 1 en Belgique, 1 en Grèce, 5 en Egypte, 2 en Bulgarie, 2 en Thaïlande, 2 en Inde, 1 au Kazakhstan.

- Usines en France.

- Nombre de carrières : 91 dont 77 en France.

- Nombre de centrales à béton : 337 dont 187 en France.

**Vicat** : en 2012, troisième producteur français.

- Chiffre d'affaires : 2,3 milliards d'euros dont 38 % en France.

- Répartition du chiffre d'affaires par famille de produits : ciments : 50,4 %, béton et granulat : 36,0 %.

- Productions de 17,9 millions de t de ciment, 21,5 millions de t de granulats, 7,9 millions de m<sup>3</sup> de béton prêt à l'emploi, dont en France 3,1 millions de t de ciment, 10,2 millions de t de granulats, 3,1 millions de m<sup>3</sup> de béton prêt à l'emploi.

- Effectifs : 7 685 personnes dont 2 544 en France.

- 15 cimenteries dont 5 en France (ainsi que deux sites de fabrication de ciment naturel prompt), 2 aux Etats-Unis, 2 en Turquie, 2 en Inde, 1 en Egypte, 1 au Sénégal, 1 en Suisse, 1 au Kazakhstan.

- Les usines françaises sont situées à Montalieu (38), Saint Egrève (38), La Grave-de-Peille (06), Créchy (03) et Xeuilley (54).

**Holcim** : en 2012, quatrième producteur français, n°1 mondial.

- Chiffre d'affaires : 21,5 milliards de francs suisses réalisés à 60 % dans le ciment.

- 78 103 personnes, dont 51 364 dans le ciment.

- Production mondiale : 148 millions de t de ciment avec 148 usines, 159,7 millions de t de granulats avec 470 sites, 46,9 millions de m<sup>3</sup> de béton prêt à l'emploi avec 1 286 centrales à béton, 9,1 millions de t d'asphalte avec 99 usines.

- Usines françaises : à Altkirch (68), Lumbres (62), Héming (57) et Rochefort-sur-Nenon (39). Exploite, en France, 138 centrales à béton et 44 sites de granulats.

## **UTILISATIONS :**

**Consommations**, en 2012, en millions de t. Monde : 3 736.

Chine	2 160	Corée du Sud	58,5
Inde	242	Turquie	58
Etats-Unis	81	Indonésie	55
Brésil	69	Arabie Saoudite	53
Russie	63	Egypte	51

Source : Global Cement Report

**Consommations** en 2011, en kg/habitant

Chine	1 581	Portugal	479
Luxembourg	923	Espagne	438
Suisse	662	Grèce	354
Belgique	590	Allemagne	342
Autriche	583	Japon	329
Italie	541	France	327

Un seul débouché du ciment : la construction.

En France, en 2012 :

- 79,2 % du ciment est transporté en vrac, 20,8 % en sacs, à 88,8 % par voie routière, 5,9 % par voie ferrée, 5,3 % par voies fluviales et maritimes.

- Il est utilisé à 58,2 % sous forme de béton prêt à l'emploi, 17,8 % sous forme de sacs, 15,7 % dans les bétons industriels, 6,3 % en vrac.

- La production de béton prêt à l'emploi en 2010 est de 37,5 millions de m<sup>3</sup>.

- Répartition de la consommation totale, en France en 2007 :

Logements neufs	30,5 %	Eau, assainissement	10,0 %
Entretien de bâtiments	12,5 %	Bâtiments industriels	5,5 %
Bâtiments agricoles, bureaux et commerces	11,0 %	Bâtiments d'enseignement et hospitaliers	3,0 %
Voieries, routes et annexes	13,0 %	Divers TP	6,0 %
Génie civil industriel et ouvrages d'art	8,5 %		-

Source : Infociments

Un logements 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.

Le barrage des 3 gorges, en Chine, de 2 309 m de long et 185 m de haut, a consommé, 27 millions de m<sup>3</sup> de béton.

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 SiO<sub>2</sub> (4 à 10 %), ils sont par contre riches en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (40 à 45 %) et sont principalement constitués d'aluminate monocalcique (CaO,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). 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.



La société [Kerneos](#), ex Lafarge Aluminates, leader mondial pour la production d'aluminates de calcium, avec la marque Ciment Fondu<sup>®</sup> possède 3 usines en France, à Dunkerque (59), Fos-sur-Mer (13) et Le Teil (07). En 2012, a acquis 54 % de la société grecque [Elmin](#) productrice de bauxite.