

CIMENTS 2014

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](#), [SiO₂](#), [Al₂O₃](#) 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\(OH\)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 $800-1000^{\circ}C$ 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 2014, en France, en milliers de t.

Laitier de hauts fourneaux	1 501	Gypse	643
Calcaire	983	Cendres volantes	260

Source : Infociments

- La **consommation énergétique** est importante (environ 1/3 du prix de revient) pour alimenter les broyeurs et chauffer les fours. En 2014, en France, l'énergie provient du **coke de pétrole** pour 43,3 %, du **charbon** pour 12,9 %, du fuel lourd pour 2,3 %, du gaz pour 1,5 %, d'autres produits (brais et divers) pour 4,2 % et des combustibles de substitution pour 35,8 % ainsi que 2 024 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

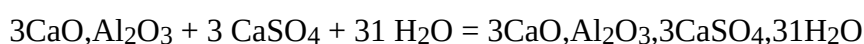
Principaux constituants du clinker : composition indicatrice en % pondéral.

- silicate tricalcique (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'oxydes, 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 : 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^{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 2014, en France :

CEM I	23,3 %	Ciments spéciaux (blanc, alumineux, prompt)	3,8 %
CEM II	52,5 %	Ciments divers (à maçonner...)	0,8 %
CEM III et V	15,6 %	Liants géotechniques	4,0 %

Ciment blanc : il est produit à partir de matières premières les plus pauvres possible en oxyde ou sulfate de fer. En effet, c'est ce dernier qui donne principalement la couleur grise au ciment. Chaque 0,1 % d'oxyde de fer en plus réduit de 2,5 % la réflectance. Il demande lors de la fabrication du clinker une température plus élevée et un refroidissement très rapide, sous eau, afin de limiter l'oxydation du fer présent en faible quantité. Dans le monde, en 2015, il y a 48 cimenterie le produisant avec une capacité de plus de 14 millions de t/an.

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.

PRODUCTIONS : en 2014, en millions de t. Monde : 4 300, Union européenne : 159.

Chine	2 014	Indonésie	54
Inde	300	Arabie Saoudite	52
États-Unis	81	Corée du Sud	47
Brésil	72	Mexique	39
Turquie	71	Allemagne	32
Russie	68	Italie	21
Japon	62	France	16

Source : Cembureau

- Principaux pays exportateurs, en 2014, en millions de t, sur un total de 177,6 :

Chine	13,9	Espagne	9,2
Thaïlande	12,0	Japon	9,1
Turquie	11,0	Pakistan	9,0
Viet-Nam	9,6	Emirats Arabes Unis	7,9
Corée du Sud	9,5	Allemagne	6,2

Source : ITC

- Principaux pays importateurs, en 2014, en millions de t, sur un total de 164,4 :

États-Unis	8,4	Myanmar	4,1
Sri Lanka	7,4	Oman	4,1
Algérie	6,0	France	4,1
Singapour	5,9	Indonésie	4,1
Russie	5,0	Malaisie	3,9

Source : ITC

Producteurs mondiaux : hors groupes chinois, en 2014, en millions de t de capacités annuelles de production de ciment.

Holcim (Suisse)	211,4	Italcementi (Italie)	61
Lafarge (France)	165	Votorantim (Brésil)	54,5
Heidelberg (Allemagne)	129	InterCement (Brésil)	47
Cemex (Mexique)	93,7	Taiheiyo Cement (Japon), estimation	46
Birla (Inde)	66	Buzzi Unicem (Italie)	45,1

Source : rapports annuels des sociétés

On a assisté, en 2015, à la fusion de Holcim avec Lafarge et en juillet 2015, à l'achat d'Italcementi par Heidelberg.

Le premier producteur mondial est le groupe chinois CNBM avec une capacité de production de 388 millions de t/an.

[Holcim](#), a produit, en 2014, 140,3 millions de t de ciment, 153,1 millions de t d'agrégats, 37 millions de m³ de béton prêt à l'emploi et 10 millions de t d'asphalte. Exploite 54 usines dans la région Asie-Pacifique, 34 en Europe, 27 en Amérique latine, 17 en Amérique du Nord et 12 en Afrique et au Moyen-Orient.

[Lafarge](#), a produit, en 2014, 116,4 millions de t de ciment, 161,4 millions de t de granulats, 26,4 millions de m³ de béton prêt à l'emploi et 6,3 millions de t d'asphalte. Exploite 35 cimenterie en Asie, 35 en Europe, 5 en Amérique Latine, 12 en Amérique du Nord, 25 en Afrique et au Moyen-Orient.

[Heidelberg](#), a produit, en 2014, 81,8 millions de t de ciment, 243,6 millions de t de granulats, 36,6 millions de m³ de béton prêt à l'emploi et 9,3 millions de t d'asphalte. Exploite 12 cimenterie en Asie, 39 en Europe, 14 en Amérique du Nord, 7 en Afrique et Moyen-Orient.

[Cemex](#), a produit 168 millions de t de granulats, 56 millions de m³ de béton prêt à l'emploi. Exploite 3 cimenterie en Asie, 11 en Europe, 13 en Amérique du Nord, 22 en Amérique latine, 3 en Afrique et Moyen-Orient.

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, avec pour 1 km d'autoroute l'emploi de 30 000 t de granulats. Une utilisation dans le bâtiment est encore à l'étude.

Le BTP, génère, par an, en France, 260 millions de t de matériaux de déconstruction. L'objectif européen est de valoriser, en 2020, 70 % de ces déchets et éviter ainsi qu'ils se retrouvent en décharges.

SITUATION FRANÇAISE : en 2014.

- Effectifs : 4 814 personnes.

- Production : 16,4 millions de t. Le plus haut niveau de production a été atteint en 1974 : 33,3 millions de t.

- Consommation : 18,2 millions de t, soit 297 kg/habitant/an.

- Exportations :

Clinker : 194 119 t vers les États-Unis à 49 %, le Royaume-Uni à 35 %.

Ciment : 783 426 t vers l'Allemagne à 62 %, la Belgique à 13 %, le Luxembourg à 12 %.

- Importations :

Clinker : 995 288 t de Belgique à 22 %, de Colombie à 22 %, du Viet-Nam à 21 %, des États-Unis à 13 %, d'Espagne à 11 %.

Ciment : 2 636 102 t de Belgique à 32 %, d'Espagne à 30 %, du Luxembourg à 12 %, d'Allemagne à 9 %.

- 41 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 (7), Holcim France (7), Kerneos (3).

- 1 881 centrales de béton prêt à l'emploi et 900 usines de produits en béton.

- Évolution de la production française :

1880	100 000 t	2005	21 300 000 t
1920	800 000 t	2010	18 000 000 t
1938	3 800 000 t	2012	18 018 000 t
1954	7 400 000 t	2014	16 426 000 t
1974	33 500 000 t		

Source : Infociments

Producteurs : en 2014.

Lafarge : la capacité de production est de 10,6 millions de t/an de ciment et la part du marché français de 34 %, avec 9 cimenteries, voir [carte](#), 6 usines de broyage, 106 carrières à granulats et 31,5 millions de t, 263 centrales à béton et 6,2 millions de m³.

Ciments français, filiale du groupe italien Italcementi. Le ciment est produit par la filiale Calcia, avec 10 cimenteries, voir [carte](#) et une production de 5,7 millions de t de ciment, 90 carrières, exploitées par GMS et une production de 22 millions de t de granulats, 177 centrales à béton, exploitées par Unibéton et une production de 4,3 millions de m³.

Vicat : possède une capacité de production de ciment de 4,6 millions de t avec 5 cimenteries et 3 usines de broyage, exploite 40 carrières, avec une production de 9,9 millions de t et 144 centrales à béton, avec 3,1 millions de m³. Les cimenteries sont situées à Montalieu (38), Saint Egrève (38), La Grave-de-Peille (06), Créchy (03) et Xeulley (54).

Holcim : exploite des cimenteries à Altkirch (68), Lumbres (62), Héming (57) et Rochefort-sur-Nenon (39), 39 carrières et 130 centrales à béton. Dans le cadre de la fusion Lafarge Holcim, les activités de Holcim en France ont été séparées en deux. Une partie, en Alsace, avec la cimenterie Altkirch (68), 6 carrières et 15 centrales à béton est restée dans le groupe Lafarge Holcim. Les

autres sites, avec 3 cimenteries, 4 centres de broyage, 33 carrières et 115 centrales à béton ont été cédées au groupe irlandais [CRH](#), au travers de la société [Eqiom](#).

[Kerneos](#) : produit de l'aluminat de calcium, dans 3 cimenteries, à Dunkerque (59), Fos-sur-Mer (13) et Le Teil (07).

UTILISATIONS :

Consommations, en 2014, en millions de t. Monde : 4 140.

Chine	2 462	Turquie	64
Inde	388	Indonésie	61
États-Unis	89	Arabie Saoudite	57
Brésil	72	Egypte	52
Russie, en 2013	70	Corée du Sud	44

Source : Associations de producteurs des différents pays

Un seul débouché du ciment : la construction.

En France, en 2014 :

- 80 % du ciment est transporté en vrac, 20 % en sacs, à 88,2 % par voie routière, 6,2 % par voie ferrée, 5,6 % par voies fluviales et maritimes.

- Il est utilisé à 59,8 % sous forme de béton prêt à l'emploi, 17,0 % sous forme de sacs, 15,3 % dans les bétons industriels, 5,4 % en vrac.

- La production de béton prêt à l'emploi en 2014 est de 36,4 millions de m³, avec 1881 unités de fabrication.

Un logements neuf consomme environ 17 t de ciment qui représentent 2,5 % de son prix de revient.

Le barrage des 3 gorges, en Chine, de 2 309 m de long et 185 m de haut, a consommé, 27 millions de m³ 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](#).

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 (naphthalènes [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.