

CIMENTS 2019

Matières premières

Elles sont constituées d'environ 80 % de [calcaire](#) et 20 % d'argiles (silicoaluminates). Des roches naturelles, les marnes ou calcaires argileux, ont une composition qui est proche de cette proportion. Ces matières premières sont présentes partout, en France, sauf en Bretagne et dans le Massif Central. 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°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 $800\text{--}1000^\circ\text{C}$ 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 jusqu'à 20 000 t/jour de ciment.

Consommations

En produits d'addition, en 2016, en France.

en milliers de t			
Laitier de hauts fourneaux	1 498	Gypse	641
Calcaire	1 089	Cendres volantes	220

Source : Infociments

En 2018, la consommation mondiale de gypse par l'industrie cimentière est de 160,8 millions de t, à 55,8 % naturel et 44,2 % synthétique.

La **consommation énergétique** est importante (environ 1/3 du prix de revient) pour alimenter les broyeurs et chauffer les fours. En 2018, en France, l'énergie provient du coke de pétrole pour 40,0 %, du charbon pour 13,7 %, du fuel lourd pour 0,3 %, du gaz pour 1,4 %, d'autres produits (brais et divers) pour 3,1 % et des combustibles de substitution pour 41,8 % ainsi que, en 2016, 1 894 millions de kWh d'électricité. Les combustibles de substitution sont des déchets de diverses provenances : pneus, huiles industrielles usagées, déchets ménagers et agricoles...

En effet, 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 :

Énergie	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.

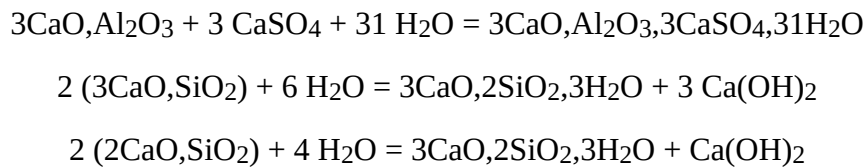
- silicate tricalcique (C₃S) : 3CaO, SiO₂ : 55 %
- silicate dicalcique (C₂S) : 2CaO, SiO₂ : 20 %
- aluminat tricalcique (C₃A) : 3CaO, Al₂O₃ : 10 %
- ferroaluminat calcique (C₄AF) : 4CaO, Al₂O₃, Fe₂O₃ : 10 %

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).

Propriétés 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 Économique 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 2018, en France :

CEM I	22,1 %	Ciments spéciaux (blanc, alumineux, prompt)	4,0 %
CEM II	57,5 %	Ciments divers (à maçonner...)	0,5 %

CEM III et V 12,7 % Liants géotechniques 3,1 %

Source : Infociments

Ciment blanc : il est produit à partir de matières premières les plus pauvres possible en oxyde ou sulfate de fer. En effet, ce sont principalement ces derniers qui donnent 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 2019. Monde : 4 100 millions de t, Union européenne, en 2017 : 175,1 millions de t.

en millions de t

Chine	2 200	Iran	60
Inde	320	Russie	57
Vietnam	95	Brésil	55
États-Unis	89	Corée du Sud	55
Égypte	76	Japon	54
Indonésie	74	Turquie	51

Source : USGS

Commerce international :

Principaux pays exportateurs de ciment Portland normal, en 2019, sur un total de 107,6 millions de t :

en millions de t

Vietnam	10,135	Pakistan	3,944
Turquie	9,868	Trinidad et Tobago	3,928
Japon	5,835	Canada	3,911
Thaïlande	5,149	Allemagne	3,600
Chine	4,971	Grèce	3,170

Source : ITC

Les exportations vietnamiennes sont destinées principalement aux Philippines à 41 %, à la Chine à 20 %, à l'Afrique du Sud à 7 %.

Principaux pays exportateurs de clinker, en 2019, sur un total de 94,158 millions de t.

en millions de t

Vietnam	21,446	Émirats Arabes Unis	5,337
Turquie	11,617	Arabie Saoudite	5,054
Thaïlande	8,566	Japon	4,472
Indonésie	5,807	Iran	3,352
Corée du Sud	5,440	Espagne	2,757

Source : ITC

Les exportations vietnamiennes sont destinée à la Chine à 68 %, au Bangladesh à 16 %, à Taipei chinois à 7 %.

Principaux pays importateurs de ciment Portland normal, en 2019 :

en millions de t

États-Unis	12,733	Hong Kong	2,984
Philippines	4,869	Sri Lanka	2,898
Singapour	4,477	France	2,518
Surinam	3,902	Libye	2,345
Ouzbékistan	3,236	Chine	1,977

Source : ITC

Les importations des États-Unis proviennent principalement du Canada à 31 %, de Turquie à 24 %, de Grèce à 14 %, de Chine à 9 %.

Principaux pays importateurs de clinker, en 2019.

en millions de t

Chine	22,743	Comores	3,585
Bangladesh	17,407	Côte d'Ivoire	3,071
Ghana	5,221	Cameroun	2,137
Philippines	3,961	Koweït	2,118
Australie	3,940	Taipei chinois	1,914

Source : ITC

Les importations chinoises proviennent principalement du Vietnam à 67 %, de Corée du Sud à 10 %, de Thaïlande à 8 %.

Principaux producteurs mondiaux : en 2019.

en millions de t/an de capacités de production de ciment

CNBM (Chine)	521	China Resources (Chine)	104,5
LafargeHolcim (Suisse)	356	Cemex (Mexique)	93,1
Anhui Conch (Chine)	335	Taiwan Cement (Taipei chinois)	74,7
Heidelberg (Allemagne)	187,8	CRH (Irlande)	63,3
Ultra Tech Cement (Inde)	114,8	Votorantim (Brésil)	52,8

Sources : *Global Cement et rapports annuels des sociétés*

On a assisté, en 2015, à la fusion de Holcim avec Lafarge, en 2016, à l'achat d'Italcementi par Heidelberg et en 2018, à la fusion des groupes chinois CNBM et Sinoma.

- En 2018, les capacités de production de CNBM étaient de 409 millions de t/an, celles de Sinoma de 112 millions de t/an. La production a été de 323 millions de t.

- En 2018, les ventes de ciment et de clinker de Anhui Conch ont atteint 368 millions de t.
- [LafargeHolcim](#) a vendu, en 2019, 207,9 millions de t de ciment, avec 264 cimenteries et stations de broyage, 269,9 millions de t de granulats avec 649 sites de production, 47,7 millions de m³ de béton prêt à l'emploi, avec 1 402 usines. Les capacités de production de ciment sont de 64,4 millions de t en Inde, 23,6 millions de t aux États-Unis, 15,1 millions de t en Indonésie, 12,4 millions de t en Algérie, 12,2 millions de t au Mexique, 10,9 millions de t en Malaisie, 10,5 millions de t au Brésil, 10,5 millions de t au Nigeria, 9,7 millions de t en France, 9,6 millions de t en Russie,...
- [Heidelberg](#), a vendu, en 2019, 125,9 millions de t de ciment, 308,3 millions de t de granulats, 50,7 millions de m³ de béton prêt à l'emploi et 10,3 millions de t d'asphalte, en 2018. Exploite 33 cimenteries en Europe de l'ouest et du sud, 27 en Europe du nord, de l'est et en Asie centrale, 17 en Amérique du Nord, 16 en Asie-Pacifique, 15 en Afrique et au Moyen-Orient.
- [Ultra Tech Cement](#) (Inde), société du groupe [Aditya Birla](#), possède une capacité de 111,4 millions de t/an en Inde et 3,4 millions de t/an à Bahreïn et aux Émirats Arabes Unis. En 2019-20, la production a été de 79,45 millions de t avec 21 cimenteries. Possède également une capacité de production de ciment blanc de 1,32 million de t/an.
- [Cemex](#), a vendu, en 2019, 62,8 millions de t de ciment, 135,1 millions de t de granulats, 50,1 millions de m³ de béton prêt à l'emploi. Exploite 65 cimenteries et centres de broyage dont 15 au Mexique, 10 aux États-Unis, 6 en Espagne,....
- [Taiwan Cement](#) (Taipei chinois) possède une capacité de production à Taipei chinois de 10,4 millions de t/an et de 64,3 millions de t/an en Chine continentale. En 2019, la production a été de 57,92 millions de t.
- [Votorantim Cimentos](#), possède une capacité de production de 34,9 millions de t/an au Brésil, 4,3 millions de t/an en Turquie, 3,1 millions de t/an en Espagne, 5,5 millions de t/an aux États-Unis et au Canada, ainsi qu'en Tunisie, Maroc, Bolivie, Inde et Uruguay, avec 31 cimenteries, 139 centrales à béton. En 2019, la production a été de 30,1 millions de t de ciment.

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 déferraillé 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 2018, avec un effectif de 4 525 personnes.

Production : 16,537 millions de t. Le plus haut niveau de production a été atteint en 1974 : 33,3 millions de t.

Production dans 45 sites industriels (cimenteries et centres de broyage). Les acteurs implantés en France sont des leaders mondiaux de l'industrie cimentière : LafargeHolcim (16), Ciments Calcia (10), Vicat (8), Eciom (8), Imerys (3).

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

Évolution de la production française :

en tonnes

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	2016	15 934 000 t
1974	33 500 000 t	2018	16 537 000 t

Source : Infociments

Commerce extérieur : en 2019.

Exportations :

- Clinker : 274 393 t vers les États-Unis à 41 %, le Royaume-Uni à 29 %, la Belgique à 23 %.
- Ciment : 569 256 t vers l'Allemagne à 66 %, le Luxembourg à 15 %, l'Italie à 12 %.

Importations :

- Clinker : 1 580 514 t d'Irlande à 30 %, de Colombie à 21 %, d'Espagne à 16 %, du Maroc à 13 %.
- Ciment : 2 518 161 t de Belgique à 36 %, du Luxembourg à 17 %, d'Espagne à 16 %, d'Allemagne à 9 %.

Consommation : en 2018, 18,580 millions de t, soit 298 kg/habitant/an.

Producteurs : en 2018.

- [LafargeHolcim](#) : la capacité de production est de 9,7 millions de t/an de ciment avec 10 cimenteries, 6 centres de broyage, 106 carrières à granulats, 263 centrales à béton.
- [Ciments Calcia](#), filiale du groupe allemand [Heidelberg](#) : avec 9 cimenteries et un centre de broyage, 66 carrières, exploitées par GMS, 173 centrales à béton, exploitées par Unibéton. A vendu, en 2017, 5,3 millions de t de ciment. Les cimenteries sont situées à Airvault (79), Beaucaire (30), Beffes (18), Bussac (17), Couvrot (51), Cruas (07, produit du ciment blanc), Gargenville (78), Ranville (14), Villiers-au-bouin (37) et le centre de broyage à Rombas (57).
- [Vicat](#) : possède, en France, une capacité de production de ciment de 4,6 millions de t avec 5 cimenteries et 3 usines de broyage et des ventes, en 2018, de 3,061 millions de t de ciment, exploite 40 carrières avec des ventes de 10,074 millions de t de granulats et 146 centrales à béton avec des ventes de 3,274 millions de m³ de béton. Les cimenteries sont situées à Montalieu (38), Saint Egrève (38), La Grave-de-Peille (06), Créchy (03) et Xeuilley (54). Dans le monde, le groupe est implanté dans 12 pays, avec au total 16 cimenteries et 5 centres de broyages, une capacité de production de 33 millions de t/an de ciment et une production, en 2018, de 22,833 millions de t, 72 carrières et une production de 22,657 millions de t de granulats et 256 centrales à béton et une production de 9,039 millions de m³.

- [Eqiom](#) , filiale du groupe irlandais [CRH](#) : exploite des cimenteries à Lumbres (62), Héming (57) et Rochefort-sur-Nenon (39), 5 centres de broyage, 33 carrières et 115 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 LafargeHolcim. Les autres sites, avec 3 cimenteries, 4 centres de broyage, 33 carrières et 115 centrales à béton ont été reprises par Equion.
- Kerneos acquis, en juillet 2017, par le groupe [Imerys](#) produit de l'aluminat de calcium, dans 3 cimenteries, à Dunkerque (59), Fos-sur-Mer (13) et Le Teil (07).

Utilisations

Consommations, en 2017. Monde : 3 967 millions de t, en 2018, Union européenne : 154 millions de t.

en millions de t			
Chine	2 386	Vietnam	60
Inde	284	Corée du Sud	57
États-Unis	97	Russie	55
Turquie	75	Égypte	54
Indonésie	66	Brésil	54

Sources : International Cement review

Un seul débouché du ciment : la construction.

En France :

- En 2016, 81,7 % du ciment est transporté en vrac, 18,3 % en sacs, à 88,5 % par voie routière, 6,5 % par voie ferrée, 5,0 % par voies fluviales et maritimes.
- En 2018, il est utilisé à 61,8 % sous forme de béton prêt à l'emploi, 13,5 % sous forme de sacs, 12,5 % dans les bétons industriels, 6,1 % en vrac, 3,6 % par les mortieristes.
- La production de béton prêt à l'emploi en 2016 est de 36,3 millions de m³, avec 1882 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 (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](#) 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.