

# Ciments 2023

## 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  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , [bauxite](#) ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), [sable](#) ( $\text{SiO}_2$ ) sont ajoutés pour atteindre la composition souhaitée.

## Fabrication industrielle

### Principe

Les réactions entre les divers constituants ont lieu, principalement à l'état solide, vers  $1450^\circ\text{C}$  (c'est la clinkérisation), entre [CaO](#), [SiO<sub>2</sub>](#), [Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>](#) et  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  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 :

$\text{CaCO}_3$  60 à 70 %    $\text{Al}_2\text{O}_3$  5 à 10 %

$\text{SiO}_2$  18 à 24 %    $\text{Fe}_2\text{O}_3$  1 à 5 %

On distingue 3 principaux procédés de fabrication :

- Dans le procédé par voie sèche, la matière première (en poudre) est préchauffée à  $800\text{--}1000^\circ\text{C}$  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 2022, en France, l'énergie provient du [coke de pétrole](#) pour 29 %, du [charbon](#) pour 17 %, d'autres combustibles non renouvelables pour 5 % et de combustibles de substitution pour 50 % 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 :

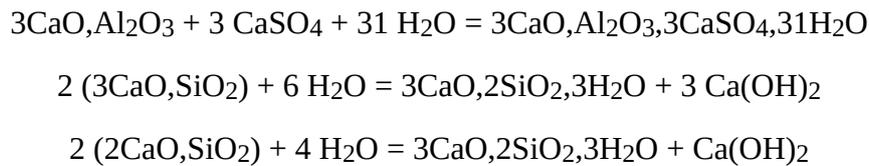
- silicate tricalcique (C<sub>3</sub>S) : 3CaO,SiO<sub>2</sub> : 55 %,
- silicate dicalcique (C<sub>2</sub>S) : 2CaO,SiO<sub>2</sub> : 20 %,
- aluminat tricalcique (C<sub>3</sub>A) : 3CaO,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 10 %,
- ferroatuminat calcique (C<sub>4</sub>AF) : 4CaO,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 10 %.

**Notation des cimentiers** : les composés utilisés étant en nombre réduit, sous forme, en général d'oxydes, 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).

### 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<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 2022, en France :

CEM I	19 %	Ciments spéciaux (blanc, alumineux, prompt)	5 %
CEM II	64 %	Ciments divers (à maçonner...)	1 %

CEM III et V 9 % Liants géotechniques 2 %

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 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.

## Productions

En 2023. Monde : 4 100 millions de t, Union européenne, en 2022 : 183 millions de t.

en millions de t

Chine	2 100	Indonésie	62
Inde	410	Russie	57
Vietnam	110	Arabie Saoudite	53
États-Unis	91	Égypte	50
Turquie	79	Mexique	50
Iran	65	Japon	50
Brésil	63	Corée du Sud	50

Source : USGS

Production de clinker dans l'Union européenne : en 2023, sur un total de 86,506 millions de t.

en millions de t

Allemagne	18,570	France, en 2022	5,876
Espagne	14,402	Italie	4,590
Pologne	12,655	Croatie	2,301
Roumanie	6,962	Bulgarie	1,986
Grèce	6,724		

Source : Eurostat

## Commerce international :

Principaux pays exportateurs de ciment Portland normal, en 2023, sur un total de 118,3 millions de t, en 2021 :

en millions de t

Vietnam	16,534	Chine	3,185
---------	--------	-------	-------

Turquie	14,935	Pakistan	2,845
Canada	3,864	Allemagne	2,591
Japon	3,759	Égypte	2,234
Grèce	3,448	Slovaquie	2,159

Source : ITC

Les exportations turques sont destinées principalement aux États-Unis à 45 %, à Israël à 22 %, à la Syrie à 6 %.

Principaux pays exportateurs de clinker, en 2023, sur un total de 102,160 millions de t, en 2019.

en millions de t

Indonésie	9,696	Pakistan	3,182
Algérie	6,536	Japon	2,670
Vietnam	4,942	Maroc	2,068
Thaïlande	4,414	Kenya	1,996
Turquie	4,402	Corée du Sud	1,358

Source : ITC

Les exportations indonésiennes sont destinées au Bangladesh à 63 %, à l'Australie à 18 %, à Taipei chinois à 9 %.

Principaux pays importateurs de ciment Portland normal, en 2023.

en millions de t

États-Unis	22,247	Hong Kong	3,040
Singapour	4,645	Mali	2,517
Philippines	4,063	France	2,448
Royaume Uni	3,829	Libye	2,241
Israël	3,163	Pays Bas	1,759

Source : ITC

Les importations des États-Unis proviennent principalement de Turquie à 27 %, du Vietnam à 18 %, du Canada à 17 %, de Grèce à 9 %, du Mexique à 7 %.

Principaux pays importateurs de clinker, en 2023.

en millions de t

Bangladesh	10,633	Taipei chinois	2,376
Côte d'Ivoire	4,577	Ouganda	2,243
Australie	4,090	France	2,074
Philippines	3,034	Belgique	1,496
Burkina Faso	2,686	Chili	1,468

Source : ITC

Les importations Ivoiriennes proviennent principalement d'Égypte à 46 %, d'Algérie à 21 %, d'Arabie Saoudite à 12 %, du Maroc à 10 %.

**Principaux producteurs mondiaux : en 2021.**

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

<a href="#">CNBM</a> (Chine)	530	<a href="#">Ultra Tech Cement</a> (Inde)	121
Anhui Conch (Chine)	384	<a href="#">Cemex</a> (Mexique)	88,5
<a href="#">Holcim</a> (Suisse)	293	<a href="#">China Resources</a> (Chine)	85,3
Tangshan Jidong Cement (China)	176	<a href="#">Taiwan Cement</a> (Taipei chinois)	74,7
<a href="#">Heidelberg</a> (Allemagne)	163,3	<a href="#">CRH</a> (Irlande)	61

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. En 2021, les ventes de ciment ont porté sur 332 millions de t, celles de clinker de 40,4 millions de t, celles de béton prêt à l'emploi de 112 millions de t.
- En 2021, les ventes de ciment et de clinker de Anhui Conch ont atteint 409 millions de t, avec des capacités de 384 millions de t/an pour le ciment, 269 millions de t/an pour le clinker et 14,7 millions de m<sup>3</sup> pour le béton prêt à l'emploi.
- [Holcim](#) a vendu, en 2021, 200,8 millions de t de ciment, avec 266 cimenteries et stations de broyage, 269,9 millions de t de granulats avec 661 sites de production, 46,5 millions de m<sup>3</sup> de béton prêt à l'emploi, avec 1 374 usines. Les capacités de broyage sont de 113,8 millions de t/an en Chine à travers des joints venture, 70,0 millions de t/an en Inde, 23,6 millions de t/an aux États-Unis, 13,5 millions de t/an au Maroc, 12,9 millions de t/an au Mexique, 11,7 millions de t/an en Algérie, 10,6 millions de t/an au Nigeria, 10,2 millions de t/an au Brésil, 9,6 millions de t/an en France, 9,6 millions de t/an en Russie,...
- [Heidelberg](#), a vendu, en 2021, 126,5 millions de t de ciment, avec 130 cimenteries, 306,4 millions de t de granulats, avec 600 sites de production, 47,4 millions de m<sup>3</sup> de béton prêt à l'emploi, avec 1 410 usines et 10,4 millions de t d'asphalte. Les capacités mondiales de production sont de 163,3 millions de t/an dont 24,7 millions de t/an en Indonésie, 12,1 millions de t/an en Inde, 11,2 millions de t/an aux États-Unis, 10,9 millions de t/an en Allemagne, 10,3 millions de t/an en Italie, 9,7 millions de t/an en Égypte, 7,1 millions de t/an en France...
- [Ultra Tech Cement](#) (Inde), société du groupe [Aditya Birla](#), possède une capacité de 114,55 millions de t/an en Inde, 4,4 millions de t/an à Bahreïn, 1,5 million de t/an au Sri Lanka et 1 million de t/an aux Émirats Arabes Unis. En 2021-22, les ventes ont porté sur 94 millions de t avec 23 cimenteries. Possède également une capacité de production de ciment blanc de 1,5 million de t/an.
- [China Resources](#) a vendu, en 2021, 81,3 millions de t de ciment, 3,3 millions de t de clinker et 14,8 millions de m<sup>3</sup> de béton prêt à l'emploi.
- [Cemex](#), a vendu, en 2021, 67,0 millions de t de ciment, 137,0 millions de t de granulats, 49,2 millions de m<sup>3</sup> de béton prêt à l'emploi. Exploite 61 cimenteries et centres de broyage dont 15 au Mexique, 10 aux États-Unis, 6 en Espagne,....
- [Taiwan Cement](#) (Taiwan) possède une capacité de production à Taiwan de 10,4 millions de t/an et de 64,3 millions de t/an en Chine continentale. En 2021, les ventes ont été de 49,66 millions de t.
- [CRH](#) a vendu, en 2021, 48,8 millions de t de ciment, 309,5 millions de t d'agrégats, 30,2 millions de m<sup>3</sup> de béton prêt à l'emploi, 58,7 millions de t d'asphalte.

- [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 2021, les ventes ont été de 37,2 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 2022, avec un effectif de 4 300 personnes.

**Production** : 16,791 millions de t. Le plus haut niveau de production a été atteint en 1974 : 33,3 millions de t. La production de clinker est de 12,074 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), Egiom (8), Imerys (3).

1 928 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	2020	16 422 000 t

Source : Infociments

**Commerce extérieur** : en 2023.

Exportations :

- Clinker : 148 031 t vers les États-Unis à 73 %, le Royaume Uni à 24 %.
- Ciment : 204 003 t vers les États-Unis à 51 %, le Royaume Uni à 24 %, la Belgique à 19 %, l'Allemagne à 3 %.

Importations :

- Clinker : 2 074 080 t d'Algérie à 35 %, d'Irlande à 21 %, du Maroc à 16 %, de Turquie à 11 %, d'Espagne à 6 %, d'Arabie Saoudite à 5 %.

- Ciment : 2 448 305 t de Belgique à 34 %, d'Espagne à 24 %, du Luxembourg à 10 %, du Vietnam à 7 %, d'Italie à 6 %.

**Consommation** : en 2022, 19,147 millions de t, soit 292 kg/habitant/an.

### Producteurs :

- [Holcim](#) : 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/an avec 5 cimenteries et 2 usines de broyage et des ventes, en 2021, de 3,202 millions de t de ciment, exploite 45 carrières avec des ventes de 10,861 millions de t de granulats et 151 centrales à béton avec des ventes de 3,517 millions de m<sup>3</sup> 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 35 millions de t/an de ciment et une production, en 2021, de 28,141 millions de t, 72 carrières et une production de 24,0 millions de t de granulats et 267 centrales à béton et une production de 10,5 millions de m<sup>3</sup>.
- [Eqiom](#), filiale du groupe irlandais [CRH](#) : exploite des cimenteries à Lumbres (62), Héming (57) et Rochefort-sur-Nenon (39), 5 centres de broyage, 52 carrières et 121 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'aluminate 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 2022, il est utilisé à 62 % sous forme de béton prêt à l'emploi, 13 % dans les bétons industriels, 12 % par les négociants, 4 % en vrac par les entreprises, 4 % par les mortieristes, 2 % par les grandes surfaces de bricolage.
- La production de béton prêt à l'emploi en 2021 est de 40,2 millions de m<sup>3</sup>, avec 1850 unités de fabrication.

Le béton prêt à l'emploi : en 2021, la production mondiale est de 9,42 milliards de m<sup>3</sup>, celle de l'Union européenne de 260 millions de m<sup>3</sup>.

en millions de m <sup>3</sup>			
Chine	3 290	Turquie	120
États-Unis	333	Égypte	102
Inde	219	Vietnam	98
Indonésie	141	Brésil	87
Russie	122	Arabie Saoudite	63

Source : Global Cement Magazine

Principaux producteurs de béton prêt à l'emploi, en 2021.

en millions de m <sup>3</sup>			
CNBM (Chine)	112	Shanghai Construction	43,1
China West Construction	61,1	CRH (Irlande)	28,5
Cemex	49,2	SRM (États-Unis)	22
Heidelberg	47,4	Siam Cement (Thaïlande)	20
Holcim	44,2	BBMG (Chine)	15,3

Source : Global Cement Magazine

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 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](#).

**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.