

Désignation normalisée

Un exemple est présenté ci-après :

CEM II/B-M (S-V) 42,5 N

CEM II/B : ciment portland composé contenant entre 21 et 35% de constituants autres que le clinker

M : ciment avec au moins deux constituants principaux (> 5%)

S : laitier granulé de haut fourneau

V : cendres volantes siliceuses

42,5 : classe de résistance mécanique du ciment

N : résistance à court terme à 2 jours ≥ 10 MPa

→ Ciments spéciaux

Ciments courants à caractéristiques complémentaires

Les ciments peuvent avoir des caractéristiques complémentaires non couvertes par la norme NF EN 197-1. Ils font l'objet de normes particulières qui en précisent les caractéristiques et les conditions d'emploi :

Ciments pour travaux à la mer

Ces ciments doivent respecter les spécifications de composition et les exigences chimiques et physiques de la norme NF P 15-317. Ils sont notés PM. Ce sont des ciments conformes à la norme NF EN 197-1 ou à la norme NF EN 197-4, des ciments sursulfatés conformes à la norme NF EN ISO 15743, des ciments prompts naturels conformes à la norme NF P 15-314 ou des ciments d'aluminates de calcium (ciments alumineux fondus) conformes à la norme NF EN 14647.

Ciment pour travaux en eaux à haute teneur en sulfates

Ces ciments doivent respecter les spécifications de composition et les exigences chimiques et physiques de la norme NF P 15-319 qui sont plus sévères que celles de la norme NF P 15-318. Ils sont notés ES. Ce sont des ciments de type CEM II/A, CEM II/B, CEM III/A, CEM V/A et CEM V/B conformes à la norme NF EN 197-1, des ciments sursulfatés conformes à la norme NF EN ISO 15743 ou des ciments d'aluminates de calcium (ciments alumineux fondus) conformes à la norme NF EN 14647.

Un ciment aura une désignation ES ou SR mais pas les deux.

Ciment à teneur en sulfures limitée pour béton précontraint

Ces ciments doivent respecter les exigences de la norme NF P 15-318. Ce sont des ciments courants à l'exception des ciments de haut fourneau CEM III/C. Il existe deux classes :

- CP1 : $S \leq 0,7 \%$
- CP2 : $S \leq 0,2 \%$

Ciments particuliers

Ciment prompt naturel - Norme NF P 15-314

Ils possèdent une prise et un durcissement rapide mais avec des résistances à moyen terme faibles (inférieures à 20 MPa à 28 jours). Ils sont particulièrement adaptés aux travaux de scellement provisoires ou aux bétons projetés.

Ciment d'aluminates de calcium (ciment alumineux fondu) - Norme NF EN 14647

Il résulte de la cuisson d'un mélange de calcaire et de bauxite donnant essentiellement un aluminat mono-calciq (CA). Avec une prise normale, il possède un durcissement rapide qui lui confère des résistances initiales élevées (30 MPa à 6 heures). Il présente également une bonne tenue aux milieux agressifs ainsi qu'aux températures élevées (jusqu'à plus de 1000°C avec des granulats appropriés).

Ciment à maçonner - Norme NF EN 413-1

De caractéristiques mécaniques faibles s'accompagnant d'un retrait limité, ils sont particulièrement adaptés à la réalisation des mortiers de hourdage.

Ciment blanc

Ce ciment a très faible teneur en oxyde de fer. Il s'agit de ciment de type CEM I et de classe 52,5 N ou R.

Chaux

Bien qu'il ne s'agisse pas à proprement parler de ciments, on peut également citer les chaux hydrauliques ou naturelles qui présentent une constitution voisine de celle des ciments. Elles sont employées en maçonnerie pour la confection des enduits, souvent associées à d'autres liants.

→ Normalisation

Les ciments font l'objet de nombreuses normes relatives au produit lui-même, aux méthodes d'essais ainsi qu'à leur emploi. Le tableau ci-après regroupe les normes en vigueur en France.

Ce sont :

- des normes européennes (NF EN),
- des normes françaises (NF P),
- un fascicule de documentation édité par l'AFNOR (FD P).

Norme	Intitulé	Date
NF EN 197-1	Ciment - Partie 1 - Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants	Avril 2012
NF EN 197-2	Ciment - Partie 2 – Évaluation de la conformité	Mai 2014
NF EN 197-4	Ciment - Partie 4 - Composition, spécifications et critères de conformité des ciments de haut fourneau à faible résistance à court terme	Décembre 2004
NF EN 413-1	Ciment à maçonner - Partie 1 - Composition, spécifications et critères de conformité	Septembre 2012
NF EN 14647	Ciment d'aluminates de calcium - Composition, spécifications et critères de conformité	Décembre 2006
NF P 15-302	Liants hydrauliques - Ciments à usage tropical - Composition, spécifications et critères de conformité	Septembre 2006
NF P 15-314	Liants hydrauliques - Ciment prompt naturel	Février 1993
NF P 15-317	Liants hydrauliques - Ciment pour travaux à la mer	Septembre 2006
NF P 15-318	Liants hydrauliques - Ciment à teneur en sulfures limitée pour béton précontraint	Septembre 2006
NF P 15-319	Liants hydrauliques - Ciment pour travaux en eau à haute teneur en sulfates	Janvier 2014
NF EN ISO 15743+A1	Ciment sursulfaté - Composition, spécifications et critères de conformité	Juin 2015
NF EN 196-1	Méthodes d'essais des ciments - Partie 1 - Détermination des résistances	Septembre 2016
NF EN 196-2	Méthodes d'essais des ciments - Partie 2 - Analyse chimique des ciments	Septembre 2013
NF EN 196-3+A1	Méthodes d'essais des ciments - Partie 3 - Détermination du temps de prise et de la stabilité	Janvier 2009
NF EN 196-5	Méthodes d'essais des ciments - Partie 5 - Essai de pouzzolanité des ciments pouzzolaniques	Avril 2013
NF EN 196-6	Méthodes d'essais des ciments - Partie 6 - Détermination de la finesse	Avril 2012

Norme	Intitulé	Date
NF EN 196-7	Méthodes d'essais des ciments - Partie 7 - Méthode de prélèvement et d'échantillonnage du ciment	Juillet 2008
NF EN 196-8	Méthodes d'essais des ciments - Partie 8 - Chaleur d'hydratation - Méthode par dissolution	Décembre 2010
NF EN 196-9	Méthodes d'essais des ciments-Partie 9 - Chaleur d'hydratation - Méthode semi-adiabatique	Décembre 2010
NF EN 196-10	Méthodes d'essais des ciments - Partie 10 - Détermination de la teneur en chrome (VI) soluble dans l'eau	Juin 2009
NF EN 413-2	Ciment à maçonner - Partie 2 - Méthodes d'essais	Avril 2006
FD P 15-010	Liants hydrauliques - Guide d'utilisation des ciments	Octobre 1997

→ Utilisation des ciments

Le choix du ciment nécessite la prise en compte de nombreuses exigences tant au niveau de la conception que de l'exécution.

Des documents définissent ces exigences :

- les normes générales telles que la norme béton NF EN 206/CN,
- des guides techniques (fascicule de documentation de l'AFNOR FD P 15-010, guide de prescription des ciments CIM BETON, etc...),
- les documents d'exécution (DTU, Fascicule 65...).

Les différentes exigences sont développées dans les chapitres relatifs à la réglementation, la conception et la réalisation des ouvrages.

1 C.2 - EAU DE GÂCHAGE

Dans les bétons, l'eau de gâchage a deux fonctions :

- assurer l'hydratation du ciment. Dans le cas d'un ciment type CEM I ou II, il faut moins de 25 litres d'eau pour hydrater 100 kg de ciment,
- contribuer à l'obtention de l'ouvrabilité du béton nécessaire pour sa mise œuvre.

Il faut noter que dans un béton courant dosé à 320 kg de ciment, l'eau nécessaire à l'hydratation n'est que de 80 litres, ce qui signifie que l'eau incorporée pour la maniabilité représente souvent plus de 100 litres (55%). Cette eau additionnelle est responsable d'une grande partie de la porosité. Elle devra donc, dans l'objectif de bétons durables, être limitée au strict nécessaire.

Aujourd'hui, les caractéristiques de l'eau destinée au gâchage des bétons sont fournies par la norme NF EN 1008 (Juillet 2003) qui définit les différents types d'eau rencontrés :

- potable,
- récupérée de la fabrication des bétons,
- eaux d'origine souterraine (eaux de nappe),
- eaux naturelles de surface et eaux de rejet industrielles,
- eau de mer et eaux saumâtres,
- eaux usées.

A l'exception de l'eau potable qui convient - *a priori* - et des eaux usées qui sont interdites, les autres types d'eau doivent faire l'objet d'essais préalables à leur incorporation dans le béton. Les eaux utilisables pour le béton doivent satisfaire aux exigences minimales suivantes :

- contrôle préliminaire

Le contrôle préliminaire comprend des examens relatifs aux huiles et graisses, aux détergents, à la couleur, aux matières en suspension, à l'odeur, au pH et aux matières humiques.

- caractéristiques chimiques

Les caractéristiques chimiques sont reprises dans le tableau ci-dessous.

Substance	Concentration maximale (mg/l)	Utilisation finale
Chlorures (Cl ⁻)	500	Béton précontraint ou coulis
	1000	Béton armé ou avec insert
	4500	Béton non armé ou sans insert
Sulfates (SO ₄ ²⁻)	2000	
Na ₂ O équivalent	1500	Si granulats sensibles aux alcalins
Sucres	100	
Phosphates (P ₂ O ₅)	100	
Nitrates (NO ₃ ⁻)	500	
Plomb (Pb ²⁺)	100	
Zinc (Zn ²⁺)	100	

- temps de prise et résistance

Si une des exigences précédentes n'est pas respectée, il doit être vérifié que l'eau essayée n'a pas une trop grande influence sur la prise du ciment et sur la résistance à la compression du mortier ou du béton. Il faut les trois conditions suivantes :

- Le temps de début de prise de la pâte de ciment préparée avec l'eau essayée ne doit pas être inférieur à 1 h et ne doit pas s'écarter de plus de 25 % du temps de début de prise de la pâte de ciment préparée avec de l'eau distillée,
- Le temps de fin de prise de la pâte de ciment préparée avec l'eau essayée ne doit pas être supérieur à 12 h et ne doit pas s'écarter de plus de 25 % du temps de début de prise de la pâte de ciment préparée avec de l'eau distillée,
- La résistance moyenne en compression à 7 jours des éprouvettes de mortier ou de béton préparées avec l'eau essayée doit atteindre au moins 90 % de la résistance des éprouvettes préparées avec de l'eau distillée.

D'autre part, les **eaux de récupération de la fabrication des bétons** devront satisfaire à des exigences complémentaires :

- Les matières solides apportées par l'eau doivent représenter moins de 1 % de la masse totale des granulats du béton,
- Si la masse volumique de l'eau est $> 1,01$ kg/l, il faut prendre en compte les matières solides et corriger des dosages en eau et en granulats.

1 C.3 - GRANULATS

→ Définitions - Utilisation des granulats

Un granulat est un matériau granulaire entrant dans la fabrication de matériaux utilisés dans la construction, tels que les bétons et les mortiers hydrauliques, les chaussées en fondations ou en mélanges bitumineux. Ils peuvent être de différentes natures :

- granulats naturels issus de roches meubles ou de roches massives, n'ayant subi aucune transformation autre que mécanique,
- granulats artificiels résultant d'un procédé industriel comprenant des transformations thermiques ou autres (par exemple laitiers de haut fourneau),
- granulats recyclés obtenus par traitement d'une matière inorganique précédemment utilisée dans la construction (démolition d'ouvrages en béton, fraisage des chaussées, etc..).

La répartition de la production française se présente comme suit :

Nature	Origine	Tonnage (millions de tonnes en 2009)	%
ROCHES MEUBLES	Alluvionnaire	119	32
	Marine	6	2
	Autre (Détritique, ...)	21	5
	Total roches meubles	146	39
ROCHES MASSIVES	Calcaire	99	26
	Éruptive	110	29
	Total roches massives	209	55
RECYCLAGE	Schiste	2	6
	Laitier	2	
	Mâchefers (MIOM*)	2	
	Matériaux de démolition	15	
TOTAL		376	100

*MIOM : Mâchefers d'Incinération d'Ordures Ménagères (Source : UNPG 2009)

Près de 70 % des granulats sont utilisés pour les chaussées, le reste pour les bétons prêt à l'emploi (BPE), les bétons de chantier, les usines de préfabrication et les mortiers industriels.

Dans le cadre des applications béton, les granulats utilisés se répartissent en trois classes granulaires :

- les sables : $d = 0$ et $D \leq 4$ mm,
- les gravillons : $d > 2$ mm et $4 \leq D \leq 63$ mm,
- les graves : $d = 0$ et $4 < D \leq 45$ mm.

où d et D représentent les dimensions inférieures et supérieures de la classe granulair.

Les valeurs de d et D sont définies de façon à respecter les spécifications des normes NF EN 12620 et NF P 18-545. Par exemple, un gravillon d'appellation 4/16 comporte moins de 15 % de grains de diamètre inférieur à 4 mm et moins de 10 % de grains de diamètre supérieur à 16 mm. Il ne doit également contenir aucun grain supérieur à $2D$ soit 32 mm et posséder moins de 5% de grains de diamètre inférieur $d/2$ soit 2 mm.

→ Elaboration des granulats

Les granulats naturels proviennent de roches massives ou meubles.

Les roches massives principales exploitées pour la fabrication des granulats à béton sont :

- magmatiques (granites – diorites - rhyolites - basaltes...),
- métamorphiques (gneiss – schistes - marbre...),
- sédimentaires (calcaires – grés - gypse).

Les roches meubles sont généralement alluvionnaires, sous forme d'arènes ou de dépôts erratiques (moraines...).

L'élaboration des granulats comprend deux phases principales : l'extraction et le traitement.

L'extraction s'effectue à partir de carrières ou de sites alluvionnaires. Cette phase comprend les étapes suivantes :

- l'élimination des zones non exploitables (décapage),
- l'extraction proprement dite, par minage pour les roches massives et par terrassement ou dragage pour les roches meubles.



Carrière de roche massive - Stockage produits finis (Doc Audemard)

Le traitement comprend généralement :

- un étage primaire (scalpage, concassage, criblage),
- un étage secondaire (concassage, criblage),
- un étage tertiaire pour l'élaboration des produits nobles (concassage, criblage, lavage, défillérisation....).



*Installation de traitement de granulats issus de roches massives
(Doc. Audemard)*

Les granulats sont ensuite acheminés vers des dispositifs de stockage : tas, silos, stackers (gerbeurs en français !) généralement par des sauterelles ou des convoyeurs.

→ Caractéristiques - normalisation

En France, Les normes produits concernant les granulats pour bétons et mortiers sont les suivantes :

Référence	Libellé	Objet
NF EN 12620 +A1 Juin 2008	Granulats pour béton	Spécifications –Marquage CE
NF P 18-545 Septembre 2011	Granulats - Éléments de définition, conformité et codification	Ensemble des granulats tous emplois confondus
NF EN 13055-1 Décembre 2002	Granulats légers – Partie 1 – Granulats légers pour bétons et mortiers	Spécifications –Marquage CE
NF EN 13139 Juin 2003	Granulats pour mortiers	Spécifications –Marquage CE

Ces normes définissent les différentes caractéristiques des granulats, les spécifications correspondantes ainsi que les modalités d'évaluation de leur conformité.

Les normes NF EN constituent les références normatives pour le marquage CE qui est une obligation réglementaire. Le producteur doit garantir la maîtrise de sa production selon les dispositions définies dans les normes NF EN. Il existe deux niveaux de marquage pour les granulats : le niveau 4 qui est déclaratif et le niveau 2+ pour lequel une inspection du site est faite par un organisme indépendant.

La norme NF P 18-545 est la référence normative pour la Marque NF Granulats qui est une démarche de qualité volontaire. Les exigences pour le suivi de la production sont plus importantes. En complément de l'audit fait par un organisme indépendant, des essais contradictoires sont réalisés dans un laboratoire indépendant.

Il existe également d'autres documents qui s'appliquent aux granulats tels que les fascicules de documentation, les modes opératoires ou les recommandations LCPC.

Les normes produits pour les applications bétons et mortiers, NF EN 12620 +A1, NF EN 13139 et NF P 18-545, ne présentent pas rigoureusement les mêmes spécifications. La norme NF P 18-545, exclusivement française, tient compte de l'ensemble des normes en vigueur en France. Elle contient au moins les spécifications des normes européennes et apporte des compléments nationaux. Elle est le document de base

Les spécifications des granulats pour bétons hydrauliques et mortiers sont présentées dans le paragraphe 10 et sont listées ci-dessous :

- pour les gravillons :

- Los Angeles (résistance à la fragmentation),
- sensibilité au gel-dégel,
- granularité et teneur en fines,
- aplatissement,
- éléments coquillés des gravillons d'origine marine,
- boulettes d'argiles.

- pour les sables et les graves :

- granularité et teneur en fines,
- module de finesse. Ce paramètre permet d'en préciser la grosseur ou la finesse.

Sa valeur est obtenue par le calcul suivant :

$$FM=[\Sigma(>4)+(>2)+(>1)+(>0,5)+(>0,25)+(>0,125)]/100$$

où (>x) représente le pourcentage cumulé du refus d'éléments > x mm