

FICHES TECHNIQUES

TOME **1**

Les constituants des bétons et des mortiers



CIM *Béton*

CENTRE D'INFORMATION SUR
LE CIMENT ET SES APPLICATIONS



FICHES TECHNIQUES

TOME **1**

Les constituants des bétons et des mortiers

Avant-propos

● Les Fiches techniques ont été réalisées par les experts de CIMBÉTON et font l'objet de trois tomes distincts. Elles apportent conseils et compétences aux maîtres d'œuvre, aux entreprises, aux industriels du béton, aux contrôleurs, aux enseignants, aux chercheurs et aux étudiants participant à l'acte de bâtir.

Le premier tome, dont le titre est « Les constituants des bétons et des mortiers », traite plus particulièrement :

- des ciments ;
- de la normalisation des ciments ;
- des constituants des bétons et des mortiers ;
- de la normalisation des bétons.

Le tome II intitulé « Les bétons, composition, fabrication et mise en œuvre » présente :

- les mortiers et les coulis ;
- les bétons courants ;
- les bétons spéciaux ;
- la durabilité des bétons ;
- l'esthétique des bétons.

Le tome III développe « Les applications » :

- le dimensionnement des bétons ;
- les produits préfabriqués ;
- les applications dans le domaine du bâtiment ;
- les applications dans le domaine des travaux routiers ;
- les applications dans le domaine du génie civil.

Les Fiches techniques présentent les données essentielles relatives aux ciments et aux bétons dans leur diversité et ont pour objectif de contribuer à mieux faire connaître les immenses possibilités constructives des bétons, en constante évolution.

Le béton, matière d'architecture, relève à chaque fois les défis d'exception, de performances structurelles, d'aspects de surface et de dimensionnement.

FICHES TECHNIQUES

TOME 1

LES CONSTITUANTS DES BÉTONS ET DES MORTIERS

1 - Les ciments

- 1.1 Fabrication et propriétés des ciments
- 1.2 Normalisation des ciments
- 1.3 Caractéristiques et emplois des ciments

2 - Les constituants des bétons et des mortiers

- 2.1 Les granulats pour bétons
- 2.2 Les adjuvants

3 - Le contexte normatif des bétons

- 3.1 Introduction
- 3.2 Norme NF EN 206-1
- 3.3 Normes pour les produits préfabriqués en béton

TOME 2

LES BÉTONS, COMPOSITION, FABRICATION ET MISE EN ŒUVRE

- 1 - Les mortiers et les coulis
- 2 - Les bétons courants
- 3 - Les bétons nouveaux
- 4 - Durabilité du béton
- 5 - Esthétique du béton

TOME 3

LES APPLICATIONS

- 1 - Dimensionnement des bétons
- 2 - Les produits en béton fabriqués en usine
- 3 - Applications dans le domaine
du bâtiment
- 4 - Applications dans le domaine
de la route
- 5 - Applications dans le domaine
du génie civil

Les constituants des bétons et des mortiers

● 1 - Les ciments	9
1.1 Fabrication et propriétés des ciments	10
1.1.1 - Un peu d'histoire	10
1.1.2 - La fabrication des ciments courants	11
1.1.3 - Prise et durcissement du ciment	13
1.1.4 - Principales caractéristiques	13
1.1.5 - Le progrès grâce à la recherche	14
1.2 Normalisation des ciments	16
1.2.1 - Historique de la normalisation européenne des ciments	16
1.2.2 - Les ciments de la norme NF EN 197-1 (ciments courants)	16
1.2.3 - Les différents types de ciments	18
1.2.4 - Les cinq types de ciments courants	19
1.2.5 - Les classes de résistance des ciments	19
1.2.6 - Les autres ciments	20
1.2.7 - Les ciments courants à caractéristiques complémentaires normalisées	21
1.2.8 - Désignation et marquage	21
1.2.9 - Certification des ciments	22
1.3 Caractéristiques et emplois des ciments	23
1.3.1 - Les ciments Portland CEM I norme NF EN 197-1	23
1.3.2 - Les ciments Portland composés CEM II norme NF EN 197-1	24
1.3.3 - Les ciments blancs	25
1.3.4 - Les ciments comportant du laitier de haut fourneau norme NF EN 197-1	25
1.3.5 - Les ciments à maçonner MC norme NF EN 413-1	26
1.3.6 - Le ciment prompt naturel CNP norme NF P 15-314	27
1.3.7 - Le ciment alumineux fondu CA norme NF P 15-315	28

● 2 - Les constituants des bétons et des mortiers	31
2.1 Les granulats pour bétons	32
2.1.1 - Définition des granulats	32
2.1.2 - Différents types de granulats	33
2.1.3 - Production des granulats	34
2.1.4 - Normes de référence	34
2.1.5 - Spécification sur les granulats de la norme XP P 18-545	35

2.1.6 - Spécifications sur les granulats de la norme NF EN 12620	37
2.1.7 - Caractéristiques des granulats	37
2.1.8 - Marquage des granulats	41
2.1.9 - Certification de production	42
2.1.10 - Caractéristiques essentielles sur les granulats	42
2.1.11 - Caractéristiques essentielles sur les fillers	42
2.1.12 - Principales normes d'essais sur les granulats	42
2.1.13 - Le choix des granulats selon la fonction du béton	43
2.1.14 - Adéquation granulats béton	43
2.2 Les adjuvants	44
2.2.1 - Historique	44
2.2.2 - Rôle des adjuvants	44
2.2.3 - Classification des adjuvants	45
2.2.4 - Les adjuvants modifiant l'ouvrabilité du béton	45
2.2.5 - Les adjuvants modifiant la prise et le durcissement	46
2.2.6 - Les adjuvants modifiant certaines propriétés du béton	48
2.2.7 - Les produits de cure	49

● 3 - Le contexte normatif des bétons	51
3.1 Introduction	52
3.2 Norme NF EN 206-1	52
3.2.1 - Une évolution dans la continuité	52
3.2.2 - Bétons concernés par la norme NF EN 206-1	53
3.2.3 - Classes d'exposition des bétons	54
3.2.4 - Exigences spécifiées par la norme NF EN 206-1	56
3.2.5 - Exigences liées aux classes d'exposition	56
3.2.6 - Trois types de béton	56
3.2.7 - Tâches et responsabilités des acteurs	57
3.2.8 - Classification des bétons	57
3.2.9 - Valeurs limites pour le classement des attaques chimiques	60
3.2.10 - Exigences sur les constituants	61
3.2.11 - Valeurs limites spécifiées applicables à la composition et aux propriétés des bétons	61
3.2.12 - Méthode de conception performancielle	63
3.2.13 - Contrôle de conformité	63
3.2.14 - Contrôle de production	64
3.2.15 - Exemple de désignation des bétons	64
3.2.16 - Livraison du béton frais	65
3.2.17 - Conclusion	65
3.3 Normes pour les produits préfabriqués en béton	66
3.3.1 - Nouvelles normes de produits européennes	66
3.3.2 - Marquage CE	68
3.3.3 - Norme NF EN 13369	68



Chapitre

1

Les ciments

1.1 Fabrication et propriétés des ciments

1.2 Normalisation des ciments

1.3 Caractéristiques et emplois des ciments

1.1 Fabrication et propriétés des ciments

Ce chapitre concerne essentiellement la fabrication et l'utilisation du ciment Portland. Il existe d'autres ciments élaborés suivant d'autres procédés, pour lesquels on trouvera des informations complémentaires au paragraphe 1.2.

1.1.1 - Un peu d'histoire

Les Romains furent sans doute les premiers à fabriquer des liants hydrauliques susceptibles de durcir sous l'eau. Pour cela, ils mélangeaient de la chaux et des cendres volcaniques de la région de Pouzzoles. C'est de là qu'est venu le terme bien connu de « pouzzolanique », qui se dit d'un matériau capable, en présence d'eau, de fixer la chaux.

En revanche, cette propriété d'hydraulicité du mélange ainsi constitué est restée totalement inexplicquée jusqu'aux travaux de Louis Vicat qui élabore, en 1817, la théorie de l'hydraulicité et fait connaître le résultat de ses recherches. Il donne

des indications précises sur les proportions de calcaire et de silice nécessaires pour constituer le mélange qui, après cuisson à la température convenable et broyage, sera un véritable liant hydraulique fabriqué industriellement: le ciment artificiel. L'industrie du ciment était née. Quelques années plus tard, en 1824, l'Écossais Aspdin donnait le nom de Portland au ciment qu'il fabriquait et qui égalait les performances de la pierre de cette région.

■ Naissance de l'industrie cimentière

La première usine de ciment a été créée par Dupont et Demarle en 1846 à Boulogne-sur-Mer. Le développement n'a pu se faire que grâce à l'apparition de matériels nouveaux: four rotatif et broyeur à boulets en particulier.

Les procédés de fabrication se perfectionnèrent sans cesse: en 1870, pour produire une tonne de clinker (constituant de base du ciment) il fallait 40 heures, actuellement, il faut environ 3 minutes.



En France, avant la dernière guerre, la production était faible, comme l'indiquent les statistiques suivantes :

- en 1880 : 100 000 t ;
- en 1920 : 800 000 t ;
- en 1938 : 3 800 000 t.

Le ciment s'est surtout développé à partir de 1950 (7,4 Mt) du fait de l'essor du béton et des besoins de la reconstruction. La production a progressé de façon régulière jusqu'en 1974, date à laquelle le niveau le plus haut a été atteint avec 33,5 Mt. En 2004, elle était de 21 Mt.



1.1.2 - La fabrication des ciments courants

Le constituant principal des ciments est le clinker, qui est obtenu à partir de la cuisson d'un mélange approprié de calcaire et d'argile, en proportion respective moyenne de 80 %/20 %. Les différentes étapes de la fabrication sont décrites ci-après.

■ Extraction et concassage

Les matières premières sont extraites de carrières généralement à ciel ouvert. Les blocs obtenus sont réduits, dans des concasseurs situés généralement sur les lieux mêmes de l'extraction, en éléments d'une dimension maximale de 150 mm.

■ Préparation de la matière première

Les grains de calcaire et d'argile sont intimement mélangés par broyage, dans des proportions définies, en un mélange très fin, le « cru ». À ce niveau, des corrections de composition peuvent être effectuées en incorporant, en faible proportion, de la bauxite, de l'oxyde de fer, etc. Le mélange cru est préparé automatiquement en fonction de la technique de fabrication utilisée.

■ La voie sèche

C'est de très loin la technique la plus employée, aujourd'hui, en France. La matière première est préparée sous forme de poudre. La préhomogénéisation permet d'atteindre un dosage parfait des

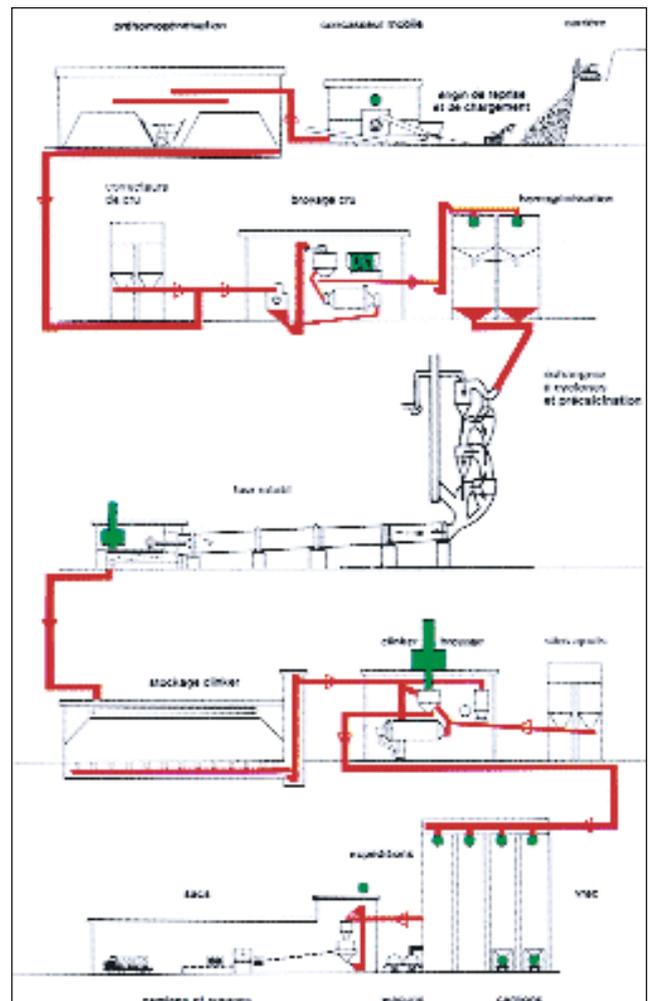


Schéma de fabrication du ciment (voie sèche).



constituants essentiels du ciment, par superposition de multiples couches. Une station d'échantillonnage analyse régulièrement les constituants et le mélange pour en garantir la régularité. À la sortie du hall de préhomogénéisation, le mélange est très finement broyé dans des broyeurs sécheurs, qui éliminent l'humidité résiduelle et permettent d'obtenir une poudre qui présente la finesse requise ; cette poudre, le « cru », est une nouvelle fois homogénéisée par fluidisation.

■ *Autres techniques de préparation de la matière*

D'autres techniques consistent à agglomérer la matière sous forme de granules (voie semi-sèche) ou à la transformer en une pâte fluide (voie semi-humide ou humide).

■ *Cuisson du cru*

Quelle que soit la technique de fabrication utilisée pour élaborer le cru, les installations de cuisson sont similaires et comportent deux parties.

• **Un échangeur de chaleur** comportant une série de quatre à cinq cyclones dans lesquels la poudre déversée à la partie supérieure descend vers l'entrée du four rotatif. Elle se réchauffe au contact des gaz chauds circulant à contre courant, en sortant de ce four, et se décarbonate en partie. Une décarbonation plus complète peut être obtenue par l'ajout

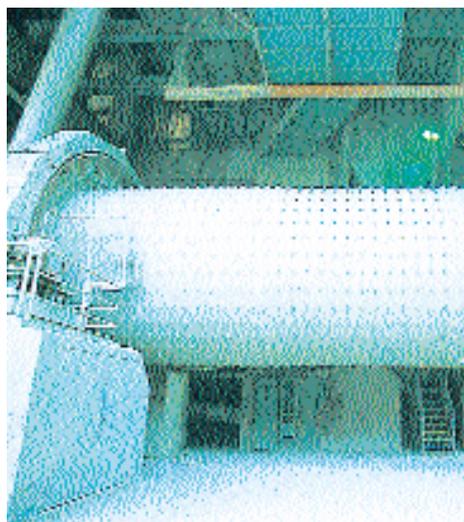
d'un foyer complémentaire situé dans le cyclone inférieur (précalcination). La poudre est ainsi portée à une température comprise entre 800 °C et 1 000 °C.

• **Un four horizontal rotatif cylindrique** en acier (avec revêtement intérieur réfractaire) de 50 à 90 m de long, de 4 à 5 m de diamètre, légèrement incliné et tournant de 1 à 3 tours/minute. La matière pénètre à l'amont du four (en partie haute) où s'achève la décarbonation, et progresse jusqu'à la zone de clinkerisation (environ 1 450 °C). Le temps de parcours est de l'ordre d'une heure. Sous l'effet de la chaleur, les constituants de l'argile, principalement composée de silicates d'alumine et d'oxydes de fer, se combinent à la chaux provenant du calcaire pour donner des silicates et des aluminates de calcium.

Tout en améliorant la qualité des produits, les industriels ont fortement réduit au cours des dernières années la consommation d'énergie nécessaire à la cuisson, qui est de plus en plus apportée par des combustibles de substitution. En outre, l'industrie cimentière contribue aussi à la protection de l'environnement en valorisant les sous-produits industriels, inutilisables pour d'autres emplois. Les rejets des usines sont sensiblement inférieurs aux normes.

■ *Broyage du clinker*

À la fin de la cuisson, la matière brusquement refroidie se présente sous forme de granules qui constituent le clinker. Celui-ci, finement broyé avec



du gypse (moins de 5 %) pour régulariser la prise, donne le ciment Portland. Les autres types de ciment sont obtenus en ajoutant d'autres constituants tels que du laitier de haut fourneau, des cendres volantes, des schistes calcinés, du calcaire, des fumées de silice ou encore des fillers.

1.1.3 - Prise et durcissement du ciment

Les réactions qui se passent dès le début du gâchage et se poursuivent dans le temps sont extrêmement complexes. Le ciment Portland contient quatre constituants principaux : le silicate tricalcique $3 \text{ CaO}, \text{ SiO}_2$ (ou, par abréviation, C_3S) ; le silicate bicalcique $2 \text{ CaO}, \text{ SiO}_2$ (ou C_2S) ; l'aluminate tricalcique $3 \text{ CaO}, \text{ Al}_2\text{O}_3$ (ou C_3A) ; l'alumino-ferrite tétracalcique $4 \text{ CaO}, \text{ Al}_2\text{O}_3, \text{ Fe}_2\text{O}_3$ (ou C_4AF).

Ces constituants anhydres donnent naissance, en présence d'eau, à des silicates et des aluminates de calcium hydratés ainsi que de la chaux hydratée dite portlandite formant un gel microcristallin, à l'origine du phénomène dit de « prise ». C'est le développement et la multiplication de ces microcristaux dans le temps qui expliquent l'augmentation des résistances mécaniques. Le ciment durci est une véritable « roche artificielle » qui évolue dans le temps et en fonction des conditions extérieures. Avant d'atteindre son stade final, l'évolution du ciment passe par trois phases successives.

■ Phase dormante

La pâte de ciment – ciment + eau – reste en apparence inchangée pendant un certain temps (de quelques minutes à plusieurs heures suivant la nature du ciment et la température). En fait, dès le malaxage, les premières réactions se produisent, mais elles sont ralenties par la présence du gypse.

■ Début et fin de prise

Après une à deux heures pour la plupart des ciments, on observe une augmentation brusque de la viscosité : c'est le début de prise, qui est accompagné d'un dégagement de chaleur. La fin de prise correspond au moment où la pâte cesse d'être déformable et se transforme en un matériau rigide.

■ Durcissement

On a l'habitude de considérer le durcissement comme la période qui suit la prise et pendant laquelle l'hydratation du ciment se poursuit. La résistance mécanique continue à croître très longtemps, mais la résistance à 28 jours est la valeur conventionnelle.

1.1.4 - Principales caractéristiques

Le ciment se caractérise par un certain nombre de critères mesurés de façon conventionnelle, soit sur la poudre, soit sur la pâte, soit sur le « mortier normal » (mélange normalisé de ciment, de sable et d'eau défini par la norme NF EN 196-1).

■ Caractéristiques de la poudre

La surface spécifique (finesse Blaine) permet de mesurer la finesse de mouture d'un ciment. Elle est caractérisée par la surface spécifique ou surface développée totale de tous les grains contenus dans un gramme de ciment (norme NF EN 196-6). Elle s'exprime en cm^2/g . Suivant le type de ciment, cette valeur est généralement comprise entre 2 800 et 5 000 cm^2/g .

La masse volumique apparente représente la masse de la poudre par unité de volume (vides entre les éléments inclus). Elle est de l'ordre de $1\,000\text{ kg/m}^3$ (1 kg par litre) en moyenne pour un ciment.

La masse volumique absolue représente la masse de la poudre par unité de volume (vides entre les éléments exclus). Elle varie de $2\,900$ à $3\,150\text{ kg/m}^3$ suivant le type de ciment.

■ **Caractéristiques mesurées sur pâte ou sur « mortier normal »**

Le début de prise est déterminé par l'instant où l'aiguille de Vicat – aiguille de 1 mm^2 de section pesant 300 g – ne s'enfonce plus jusqu'au fond d'une pastille de pâte pure de ciment. Les modalités de l'essai font l'objet de la norme NF EN 196-3. Suivant les types de ciment, le temps de début de prise doit être supérieur à 45 minutes ou à 1 heure.



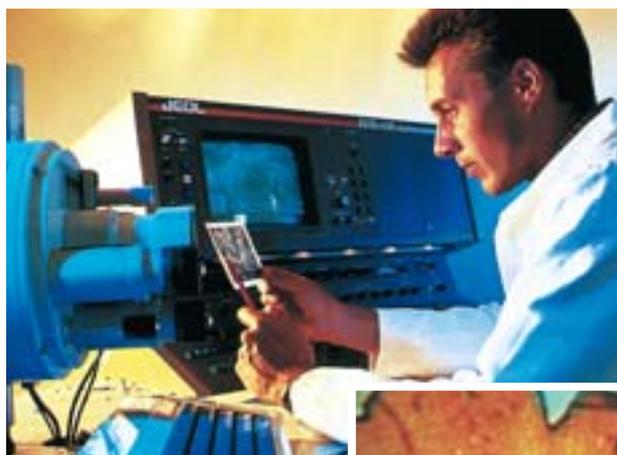
Aiguille VICAT

L'expansion se mesure suivant un essai normalisé (norme NF EN 196-3) et grâce aux aiguilles de Le Chatelier. Il permet de s'assurer de la stabilité du ciment. L'expansion ne doit pas être supérieure à 10 mm sur pâte pure pour tous les ciments (conformément à la norme NF EN 197-1).

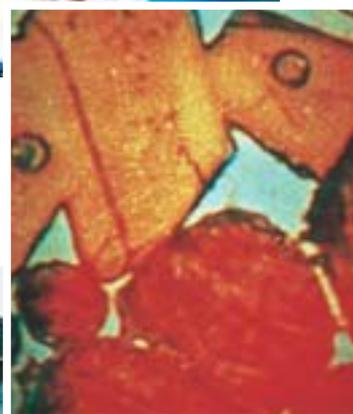
Les résistances mécaniques, mesurées sur éprouvettes de mortier normal, caractérisent de façon conventionnelle la résistance du ciment définie par sa valeur nominale. Cette valeur est la limite inférieure de résistance en compression à 28 jours. Les conditions précises de détermination de cette résistance sont fournies dans le chapitre 1.2.

1.1.5 - Le progrès grâce à la recherche

La recherche a pour but l'élaboration de ciments appropriés aux besoins, et permettant de satisfaire la demande des utilisateurs. Elle porte sur les produits normalisés dont l'évolution, servie par les procédés de fabrication modernes, va dans le sens de la qualité, de la régularité, de l'adaptation à la fonction, mais également de l'économie d'énergie, lors de la fabrication. La recherche est également orientée vers la mise au point de ciments ou de liants destinés à des applications particulières : pré-fabrication, travaux routiers, réparations, etc.



La recherche sur les ciments est servie par un appareillage très moderne.

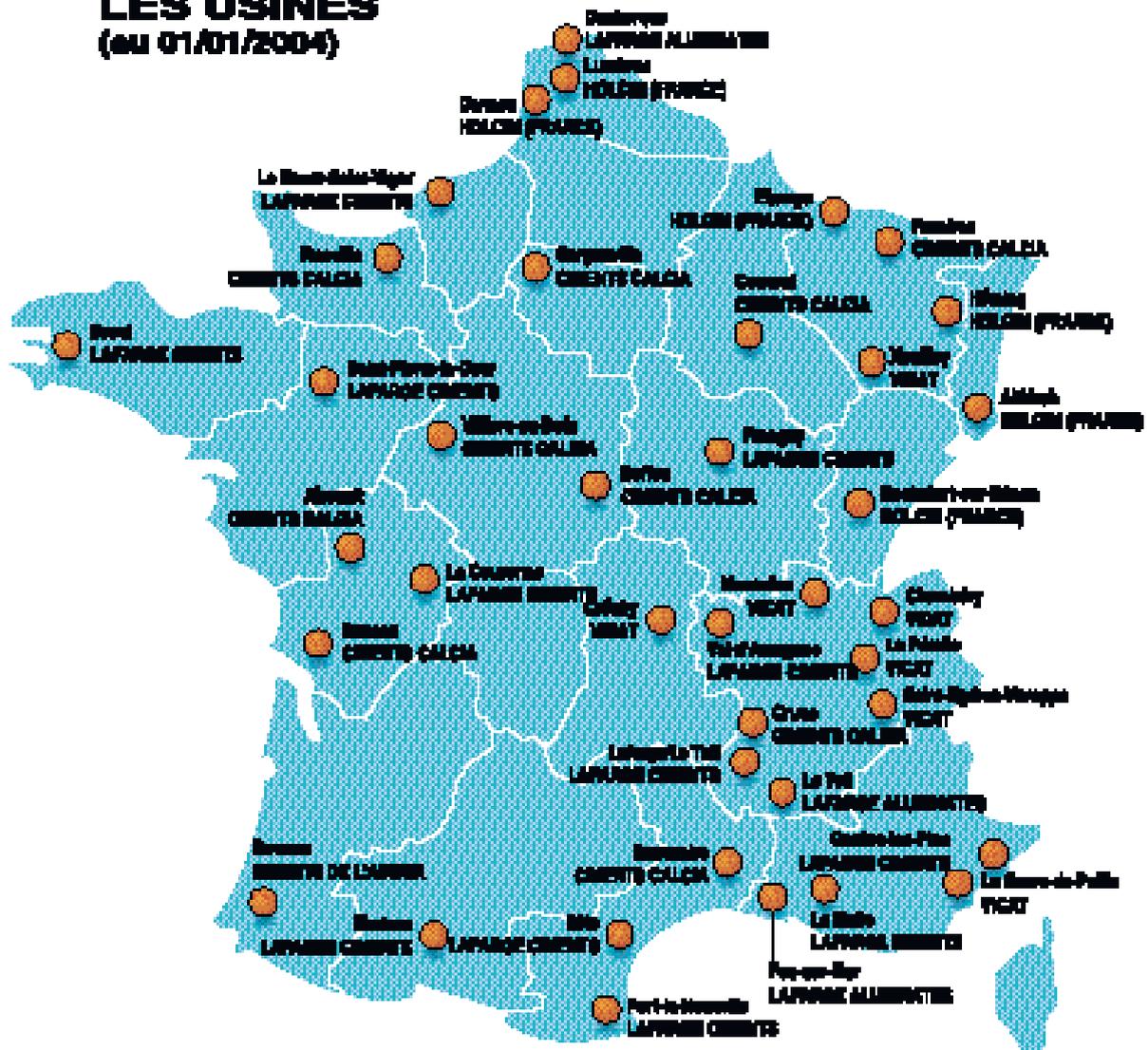


Observation au microscope optique.



Préparation automatique des échantillons de cru sous forme de perles pour analyse par fluorescence X.

LES USINES (au 01/01/2004)



● Sites industriels

ALLIER - Gréchy / Vicat
ALPES-MARITIMES - Cannes-la-Pine / Lafarge Ciments
 - La Sierra-de-Pelle / Vicat
ARDÈCHE - Cozon / Ciments Calcia
 - Le Teil / Lafarge Ciments
 - Le Teil / Lafarge Allemantis
AUDE - Port-la-Nouvelle / Lafarge Ciments
BOUCHES-DU-RHÔNE - Fos-sur-Mer / Lafarge Allemantis
 - La Malle / Lafarge Ciments
CALVADOS - Beauville / Ciments Calcia
CHARENTE - La Couronne / Lafarge Ciments
CHARENTE-MARITIME - Bussac / Ciments Calcia
CHER - Beaugy / Ciments Calcia
FINISTÈRE - Brest / Lafarge Ciments
GARD - Beauvoisin / Ciments Calcia
HAUTS-PYRÉNÉES - Marcellin / Lafarge Ciments
HERAULT - Béziers / Lafarge Ciments
INDRE-ET-LOIRE - Villiers-sur-Beaulieu / Ciments Calcia
ISÈRE - La Pârairie / Vicat
 - Manville / Vicat
 - Saint-Etienne-Vergape / Vicat

JURA - Pechfort-sur-Ménoon / Holcim France
MARNE - Courcel / Ciments Calcia
MAYENNE - Saint-Ferre-la-Osne / Lafarge Ciments
MEURTHE-ET-MOSELLE - Stavelay / Vicat
MOSELLE - Illange / Holcim France
 - Hosing / Holcim France
 - Rasthain / Ciments Calcia
NORD - Desbaryes / Lafarge Murinalis
PAS-DE-CALAIS - Dannes / Holcim France
 - Lantiers / Holcim France
PYRÉNÉES-ATLANTIQUES - Basseau / Ciments de Béhour
HAUT-RHIN - Altkirch / Holcim France
RHÔNE - Val-d'Auxonne / Lafarge Ciments
SAVOIE - Chambéry / Vicat
SEINE-MARITIME - La Hève-Saint-Vigor / Lafarge Ciments
DEUX-SEVRES - Airvaux / Ciments Calcia
YONNE - Prangy / Lafarge Ciments
YVELINES - Saugerais / Ciments Calcia

1.2 Normalisation des ciments

1.2.1 - Historique de la normalisation européenne des ciments

Les travaux de normalisation européenne dans le domaine des ciments ont débuté en 1969, de façon totalement volontaire, entre les six pays signataires du traité de Rome. À partir de 1973, les travaux ont été poursuivis dans le cadre du CEN, au sein du comité technique 51 (Ciment et chaux de construction). L'objectif des travaux était double : élaborer des normes d'essais communes pour tous les pays membres et rédiger des normes de spécifications de produits.

Les normes d'essais ont été adoptées en 1987 et 1989. Dès 1990, les performances de tous les ciments ont donc été évaluées de la même façon dans tous les pays membres du CEN ce qui a constitué un pas décisif pour la simplification des échanges transfrontaliers.

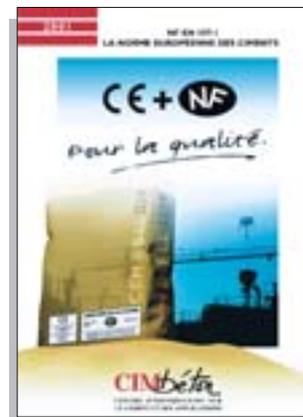
L'adoption, en 1989, de la Directive Produits de Construction (DPC) et a entraîné le rejet d'un projet de norme de spécifications qui ne s'appliquait pas à tous les ciments traditionnels et éprouvés.

Le CEN/TC 51 a ensuite repris ses travaux et inclut tous les ciments dans le texte qui a été adopté comme prénorme ENV 197-1, en 1992. De nombreux pays ont alors révisé leurs normes nationales pour reprendre très largement, voire totalement, les dispositions de cette prénorme.

En particulier la France, qui adopta en 1994 la norme NF P 15-301 relative aux ciments courants qui reprenait le texte de la prénorme européenne en maintenant certains aspects de la version de 1981. La même démarche, effectuée simultanément dans les différents pays de l'UE, a permis d'accomplir l'essentiel du chemin vers une norme européenne. Le dernier pas a été franchi avec l'adoption le 21 mai 2000 du projet de norme EN 197-1 à l'unanimité des pays membres du CEN.

La norme EN 197-1 est la première norme européenne harmonisée adoptée dans le cadre défini par la DPC.

Depuis le 1^{er} avril 2002, dans tous les états membres, les ciments courants mis sur le marché sont conformes à la norme EN 197-1 et portent le marquage CE sur les sacs ou sur les documents d'accompagnement pour le vrac.



La norme européenne EN 197-1 est publiée par AFNOR sous la référence NF EN 197-1 « Ciment – partie 1 : Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants ».

Les ciments courants sont subdivisés en cinq types selon leur composition :

CEM I	Ciment Portland
CEM II	Ciment Portland composé
CEM III	Ciment de haut fourneau
CEM IV	Ciment pouzzolanique
CEM V	Ciment composé.

1.2.2 - Les ciments de la norme NF EN 197-1 (ciments courants)

La norme NF EN 197-1 concerne les ciments courants. D'autres normes existent concernant soit des propriétés particulières (prise mer, résistance aux eaux sulfatées...) soit des ciments ayant des normes spécifiques : ciment alumineux fondu, ciment prompt naturel. La norme NF EN 197-1 est subdivisée en trois rubriques :

– la première partie est descriptive, elle définit les constituants du ciment et délimite les différents types de ciments courants ;

- la deuxième partie fixe les classes de résistance, les spécifications mécaniques et physico-chimiques ;
- la troisième partie est consacrée aux critères de conformité, aux fréquences d'essais et aux valeurs limites.

■ **Définition d'un ciment**

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire une matière inorganique finement moulue qui, gâchée avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit par suite de réactions et processus d'hydratation et qui, après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau. Le ciment est obtenu à partir d'un ou plusieurs constituant(s).

■ **Les constituants du ciment**

Les constituants du ciment présentent une ou plusieurs des propriétés suivantes :

- des propriétés hydrauliques, c'est-à-dire qu'ils forment par réaction avec l'eau des composés hydratés stables très peu solubles dans l'eau ;
- des propriétés pouzzolaniques, c'est-à-dire qu'ils ont la faculté de former à température ordinaire, en présence d'eau, par combinaison avec la chaux, des composés hydratés, stables ;
- des propriétés physiques qui améliorent certaines qualités du ciment (accroissement de la maniabilité et de la compacité, diminution du ressuage, etc.).

Clinker Portland (K)

Le clinker Portland est obtenu par cuisson d'un mélange de calcaire et d'argile fixé avec précision et contenant des proportions visées de CaO , SiO_2 , Al_2O_3 et F_2O_3 . Le clinker entre dans la composition de tous les ciments courants.

Laitier granulé de haut fourneau (S)

Le laitier granulé de haut fourneau est obtenu par refroidissement rapide de la scorie fondue provenant de la fusion du minerai de fer dans un haut fourneau. Il doit présenter des propriétés hydrauliques latentes (c'est-à-dire qui se manifestent lorsqu'il a subi une activation convenable) pour convenir à son emploi comme constituant du ciment.

Pouzzolanes naturelles (Z) ou naturelles calcinées (Q)

Les pouzzolanes naturelles sont des produits essentiellement composés de silice, d'alumine et d'oxyde de fer, présentant soit naturellement (lors-

qu'elles sont d'origine volcanique) soit après activation thermique, des propriétés pouzzolaniques.

Cendres volantes siliceuses (V) ou calciques (W)

Les cendres volantes sont des particules pulvérulentes obtenues par dépoussiérage électrostatique ou mécanique des gaz de chaudières alimentées au charbon pulvérisé.

Schistes calcinés (I)

Les schistes acquièrent des propriétés hydrauliques et pouzzalaniques lorsqu'ils sont activés thermiquement. C'est en particulier le cas des schistes houillers brûlés dans les chaudières.

Calcaires (L, LL)

Les calcaires sont des produits obtenus par broyage fin de roches naturelles présentant une teneur en carbonate de calcium - CaCO_3 - supérieure à 75 %.

Fumées de silice (D)

Les fumées de silice sont des particules très fines (environ $1 \mu\text{m}$) présentant une très forte teneur en silice amorphe. Elles proviennent de la réduction de quartz de grande pureté par du charbon dans des fours à arc électrique utilisés pour la production de silicium et d'alliages de ferrosilicium.

Sulfate de calcium

Le sulfate de calcium, généralement du gypse, doit être ajouté en faible quantité aux autres constituants du ciment au cours de sa fabrication, en vue de réguler la prise.

Constituants secondaires

Les constituants secondaires sont des matériaux minéraux naturels ou des matériaux minéraux dérivés du processus de fabrication du clinker ou des constituants décrits dans les paragraphes ci-dessus (sauf s'ils sont déjà inclus en tant que constituants principaux du ciment). Ils ne peuvent excéder 5 % du poids total du ciment.

Additifs

Les additifs sont des constituants qui ne figurent pas dans ceux énumérés ci-dessus et qui sont ajoutés pour améliorer la fabrication ou les propriétés du ciment. La quantité totale des additifs (à l'exception des pigments éventuellement ajoutés) doit être inférieure ou égale à 1 % en masse de ciment. La proportion des additifs organiques, sous forme d'extrait sec, doit être inférieure ou égale à 0,5 % en masse de ciment.

1.2.3 - Les différents types de ciments (extrait de la norme NF EN 197-1, article 6, tableau 1)

Principaux types	Notation des 27 produits (types de ciment courant)		Composition (pourcentage en masse) ^{a)}										Constituants secondaires
			Constituants principaux										
			Clinker	Laitier de haut fourneau	Fumée de silice	Pouzzolanes		Cendres volantes		Schiste calciné	Calcaire		
Naturelle	Naturelle calcinée	Silicieuse				Calciq	L	LL					
			K	S	D ^{b)}	P	Q	V	W	T	L	LL	
CEM I	Ciment Portland	CEM I	95-100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
CEM II	Ciment Portland au laitier	CEM II/A-S	80-94	6-20	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM II/B-S	65-79	21-35	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
	Ciment Portland à la fumée de silice	CEM II/A-D	90-94	—	6-10	—	—	—	—	—	—	—	0-5
	Ciment Portland à la pouzzolane	CEM II/A-P	80-94	—	—	6-20	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM II/B-P	65-79	—	—	21-35	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM II/A-Q	80-94	—	—	—	6-20	—	—	—	—	—	0-5
		CEM II/B-Q	65-79	—	—	—	21-35	—	—	—	—	—	0-5
	Ciment Portland aux cendres volantes	CEM II/A-V	80-94	—	—	—	—	6-20	—	—	—	—	0-5
		CEM II/B-V	65-79	—	—	—	—	21-35	—	—	—	—	0-5
		CEM II/A-W	80-94	—	—	—	—	—	6-20	—	—	—	0-5
		CEM II/B-W	65-79	—	—	—	—	—	21-35	—	—	—	0-5
	Ciment Portland au schiste calciné	CEM II/A-T	80-94	—	—	—	—	—	—	6-20	—	—	0-5
		CEM II/B-T	65-79	—	—	—	—	—	—	21-35	—	—	0-5
	Ciment Portland au calcaire	CEM II/A-L	80-94	—	—	—	—	—	—	—	6-20	—	0-5
		CEM II/B-L	65-79	—	—	—	—	—	—	—	21-35	—	0-5
		CEM II/A-LL	80-94	—	—	—	—	—	—	—	—	6-20	0-5
		CEM II/B-LL	65-79	—	—	—	—	—	—	—	—	21-35	0-5
	Ciment Portland composé ^{c)}	CEM II/A-M	80-94	← 6-20 →									0-5
CEM II/B-M		65-79	← 21-35 →									0-5	
CEM III	Ciment de haut fourneau	CEM III/A	35-64	36-65	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM III/B	20-34	66-80	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM III/C	5-19	81-95	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
CEM IV	Ciment pouzzolanique ^{c)}	CEM IV/A	65-89	—	← 11-35 →					—	—	—	0-5
		CEM IV/B	45-64	—	← 36-55 →					—	—	—	0-5
CEM V	Ciment composé ^{c)}	CEM V/A	40-64	18-30	—	← 18-30 →		—	—	—	—	—	0-5
		CEM V/B	20-38	31-50	—	← 31-50 →		—	—	—	—	—	0-5

a) Les valeurs indiquées se réfèrent à la somme des constituants principaux et secondaires.

b) La proportion de fumées de silice est limitée à 10 %.

c) Dans le cas des ciments Portland composés CEM II/A-M et CEM II/B-M, des ciments pouzzolaniques CEM IV/A et CEM IV/B et des ciments composés CEM V/A et CEM V/B, les constituants principaux, autres que le clinker, doivent être déclarés dans la désignation du ciment (voir un exemple à l'article 8).

1.2.4 - Les cinq types de ciments courants

Le ciment Portland : CEM I

Il contient au moins 95 % de clinker et au plus 5 % de constituants secondaires.

Le ciment Portland composé : CEM II/A ou B

Il contient au moins 65 % de clinker et au plus 35 % d'autres constituants : laitier de haut fourneau, fumée de silice (limitée à 10 %), pouzzolane naturelle, cendres volantes, calcaires, constituants secondaires. Il est à noter que les ciments Portland et Portland composé englobent les ciments gris et les ciments blancs.

Le ciment de haut fourneau : CEM III/A ou B...

Il contient entre 36 et 80 % de laitier et 20 à 64 % de clinker.

...et CEM III/C (anciennement ciment de laitier au clinker)

Il contient au moins 81 % de laitier et 5 à 19 % de clinker.

Le ciment composé : CEM V/A ou B (anciennement ciment au laitier et aux cendres)

Il contient de 20 à 64 % de clinker, de 18 à 50 % de cendres volantes et de 18 à 50 % de laitier.

Les ciments courants peuvent comporter au plus 5 % de constituants secondaires.

1.2.5 - Les classes de résistance des ciments

■ Définition des classes de résistance

Les ciments sont répartis en trois classes de résistance, 32,5 - 42,5 - 52,5, définies par la valeur minimale de la résistance normale du ciment à 28 jours en MPa.

La résistance normale d'un ciment est la résistance mécanique à la compression mesurée à 28 jours conformément à la norme NF EN 196-1 et exprimée en MPa (1 MPa = 1 N/mm² = 10 bars). Pour les ciments de classes 32,5 et 42,5, il est fixé une valeur maximale de la résistance normale à 28 jours, comme indiqué dans le tableau.

Résistance à la compression (en MPa)				
Désignation de la classe de résistance	Résistance à court terme		Résistance courante à 28 jours	
	à 2 jours	à 7 jours		
32,5 N	-	≥ 16	≥ 32,5	≤ 52,5
32,5 R	≥ 10	-		
42,5 N	≥ 10	-	≥ 42,5	≤ 62,5
42,5 R	≥ 20	-		
52,5 N	≥ 20	-	≥ 52,5	-
52,5 R	≥ 30	-		

Pour chaque classe de résistance courante, deux classes de résistance à court terme sont définies, une classe avec résistance à court terme ordinaire (indiquée par la lettre N) et une classe avec résistance à court terme élevée (indiquée par la lettre R).

■ Valeurs limites applicables suivant les classes de résistance

La conformité d'un lot de ciment est appréciée pour ce qui concerne la résistance à la compression en fonction des valeurs du tableau suivant qui sont des limites absolues applicables à chaque résultat d'essai.

Valeurs limites applicables à chacun des résultats						
Échéances	Classe de résistance					
	32,5 N	32,5 R	42,5 N	42,5 R	52,5 N	52,5 R
2 jours	-	8,0	8,0	18,0	18,0	28,0
7 jours	14,0	-	-	-	-	-
28 jours	30,0	30,0	40,0	40,0	50,0	50,0

■ Les autres caractéristiques

La norme NF EN 197-1 retient également des critères de conformité autres que les résistances : temps de début de prise, stabilité, teneurs en sulfates ou en chlorures.

■ Exigences chimiques

Les exigences chimiques définies en termes de valeurs caractéristiques sont également explicitées dans le tableau ci-après.

Exigences chimiques définies en termes de valeurs caractéristiques des ciments courants

Propriétés	Référence de l'essai	Type de ciment	Classe de résistance	Exigences (a)
Perte au feu	NF EN 196-2	CEM I CEM III	toutes classes	≤ 5,0 %
Résidu insoluble	NF EN 196-2 (b)	CEM I CEM III	toutes classes	≤ 5,0 %
Sulfate (SO₃)	NF EN 196-2	CEM I CEM II (c) CEM IV CEM V	32,5 N 32,5 R 42,5 N	≤ 3,5 %
			42,5 R 52,5 N 52,5 R	≤ 4,0 %
		CEM III (d)	toutes classes	
Chlorure	NF EN 196-2	tous types (e)	toutes classes	≤ 0,10 % (f)
Pouzzolanicité	NF EN 196-5	CEM IV	toutes classes	satisfait à l'essai

- a) Les exigences sont données en pourcentage en masse du ciment produit fini.
 b) Détermination des résidus insolubles dans l'acide chlorhydrique et le carbonate de sodium.
 c) Le ciment de type CEM III/B-T peut contenir un maximum de 4,5 % de SO₃ quelle que soit la classe de résistance.
 d) Le ciment de type CEM III/C peut contenir un maximum de 4,5 % de SO₃.
 e) Le ciment de type CEM III peut contenir plus de 0,10 % de chlorure mais, dans ce cas, la teneur maximale en chlorure doit figurer sur l'emballage et/ou le bon de livraison.
 f) Pour des applications en précontrainte, les ciments peuvent être produits selon une exigence plus basse. Dans ce cas, la valeur de 0,10 % doit être remplacée par cette valeur plus basse qui doit être mentionnée sur le bon de livraison.

1.2.6 - Les autres ciments

D'autres ciments font l'objet de normes spécifiques.

Le ciment prompt naturel (CNP) NF P 15-314

Le ciment prompt naturel, à prise et durcissement rapides, résulte de la cuisson à température modérée, d'un calcaire argileux de composition régulière, extrait de bancs homogènes, suivie d'un broyage très fin.

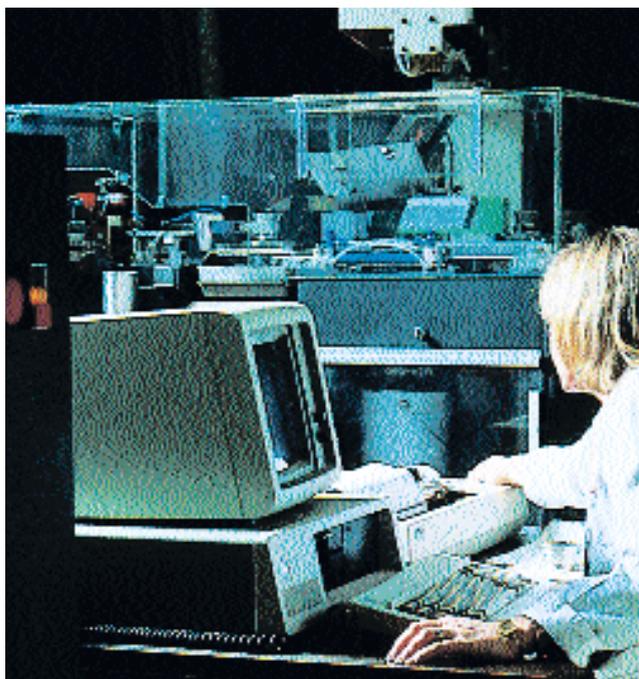
Le ciment prompt naturel est caractérisé par la présence de silicates de calcium, essentiellement sous forme de silicate bicalcique actif, d'aluminate de calcium riche en alumine et de sulfo-aluminate de calcium qui est une spécificité du produit.

Le ciment alumineux fondu (CA) NFP 15-315 (en cours de remplacement par NF EN 14647 ciments d'aluminates de calcium)

Le ciment alumineux fondu (ou ciments d'aluminates de calcium) est un liant hydraulique qui résulte de la mouture, après cuisson jusqu'à la fusion, d'un mélange composé principalement d'alumine, de chaux, d'oxydes de fer et de silice, dans des proportions telles que le ciment obtenu renferme une masse d'alumine n'excédant pas 30 % de la masse de ciment.

Le ciment à maçonner (MC) NF EN 413-1

Le ciment à maçonner est un liant hydraulique à base de clinker Portland adapté à la réalisation d'enduits intérieurs ou extérieurs ainsi que de mortiers de maçonnerie.



1.2.7 - Les ciments courants à caractéristiques complémentaires normalisées

Pour certains types d'ouvrages, des propriétés complémentaires des ciments peuvent être requises; elles font l'objet de normes spécifiques.

Ciments pour travaux à la mer (PM) NF P 15-317

Les ciments n'ont pas tous la même résistance face aux agressions chimiques liées à l'environnement marin; l'emploi de ciments présentant des caractéristiques adaptées de résistance à ces agressions est donc nécessaire. Ces ciments présentent des teneurs limitées en aluminat tricalcique (C3A) qui leur permettent de conférer au béton une résistance accrue à l'agression des ions sulfate en présence d'ions chlorure, au cours de la prise et ultérieurement.

Les ciments pour travaux à la mer sont :

- des CEM I et des CEM II qui possèdent des caractéristiques physiques et chimiques complémentaires ;
- des CEM III/A, B ou C et CEM V qui sont naturellement qualifiés pour cet usage ;
- des ciments prompts naturels (CNP) définis par la norme NF P 15-314 et des ciments alumineux

fondus (CA) définis par la norme NF P 15-315, ayant présenté un bon comportement, soit lors d'essais de longue durée, soit en ouvrages dans le milieu considéré.

Ces ciments comportent la mention PM sur l'emballage et le bon de livraison

Les ciments pour travaux en eaux à haute teneur en sulfates (ES) XP P 15-319

Les eaux séléniteuses constituent un milieu particulièrement agressif, qui nécessite l'emploi de ciments spécifiques. Ces ciments pour travaux en eaux à haute teneur en sulfates présentent des teneurs limitées en aluminat tricalcique (C3A) qui leur permettent de conférer au béton une résistance accrue à l'agression des ions sulfate au cours de la prise et ultérieurement.

Ces ciments sont :

- des CEM I et des CEM II qui présentent des caractéristiques complémentaires ;
- des CEM III/A, B ou C et des CEM V naturellement qualifiés pour cet usage ;
- des ciments alumineux fondus (CA), définis par la norme NF P 15-315, ayant présenté un bon comportement, soit lors d'essais de longue durée, soit en ouvrages dans le milieu considéré.

Ces ciments comportent la mention ES sur l'emballage et le bon de livraison.

Les ciments à teneur en sulfures limitée (CP) NF P 15-318

Ces ciments sont des CEM I, CEM II, CEM III/A et B et CEM V dont la teneur en sulfures est inférieure à une valeur donnée. La norme prévoit deux classes notées CP1 et CP2.

Ils sont destinés aux ouvrages en béton précontraint. Ils comportent la mention CP sur l'emballage et le bon de livraison.

1.2.8 - Désignation et marquage

Les ciments courants doivent être identifiés au moins par les lettres CEM suivi du type (chiffre romain) et par un nombre indiquant la classe de résistance (par ex. 32,5). Les lettres N ou R qualifient la résistance à court terme. Les caractéristiques complémentaires éventuelles sont rappelées par les notations PM/ES/CP.

Exemple de marquage sur un sac pour un ciment Portland contenant au moins 95 % de clinker, de classe 42,5 ayant une résistance à court terme élevée et reconnu apte pour les travaux à la mer (PM), les travaux en eaux à haute teneur en sulfates (ES) et ayant une teneur en sulfures limitée (CP) : **CEM I 42,5 R PM-ES-CP**



1.2.9 - Certification des ciments

Depuis le 1^{er} avril 2002, les ciments courants doivent être marqués CE. Ce marquage atteste de leur conformité à la norme harmonisée EN 197-1 et permet à ces ciments de circuler librement au sein de l'espace économique européen.

La marque NF volontaire, complémentaire du marquage CE, atteste que le ciment qui la porte est conforme au niveau de qualité requis par le marché français en fonction des conditions climatiques et environnementales ainsi que des techniques de mise en œuvre. Elle implique que le niveau de contrôle des ciments est bien celui qui a fait la notoriété et le succès de la marque NF-Liants hydrauliques.

Il a été décidé de maintenir la marque « NF-Liants hydrauliques » donnée par AFAQ-AFNOR Certifica-

tion, en complément du marquage CE pour attester la conformité des ciments courants aux exigences de la norme NF P 15-301 de 1994 qui n'ont pas été reprises dans l'EN 197-1, en particulier:

- un critère de régularité de composition à $\pm 5\%$ par rapport à une valeur déclarée pour chaque constituant;
- des temps de début de prise plus longs pour les ciments des classes 32,5 N, 32,5 R, 52,5 N et 52,5 R;
- des résistances à court terme plus élevées pour les ciments des classes 32,5 N, 32,5 R et 42,5 N.

Le contrôle des cimenteries correspondant à la délivrance de cette marque est assuré par le Laboratoire d'Essais des Matériaux de la Ville de Paris (LEM-VP).

1.3 Caractéristiques et emplois des ciments

L'industrie cimentière met aujourd'hui à la disposition de l'utilisateur un grand nombre de ciments qui présentent des caractéristiques précises et adaptées à des domaines d'emploi déterminés. La gamme étendue de compositions, de résistances, de vitesse de prise et de durcissement répond aux usages très divers qui sont faits du béton sur chantier ou en usine, pour la réalisation de bâtiments ou de structures de génie civil.

Exigences climatiques, résistance à des agents agressifs, autant de paramètres qui impliquent de choisir le ciment le plus approprié. Pour faire ce choix, il importe de connaître les caractéristiques spécifiques des différents types de ciments prévus par la normalisation.

Les ciments peuvent fournir des valeurs de résistance des bétons très différentes. C'est ainsi que l'on peut réaliser des Bétons à Hautes Performances dépassant 100 MPa de résistance à la compression à partir de CEM I 42,5 ou 52,5.

L'objet de ce chapitre est de présenter les limites de composition de chaque type de ciment et les valeurs limites de résistance pour chaque classe. Les domaines d'emploi qui découlent de ces propriétés sont ensuite décrits, ainsi que les particularités liées à la mise en œuvre ou aux précautions d'emploi.

1.3.1 - Les ciments Portland CEM I norme NF EN 197-1

■ Composition

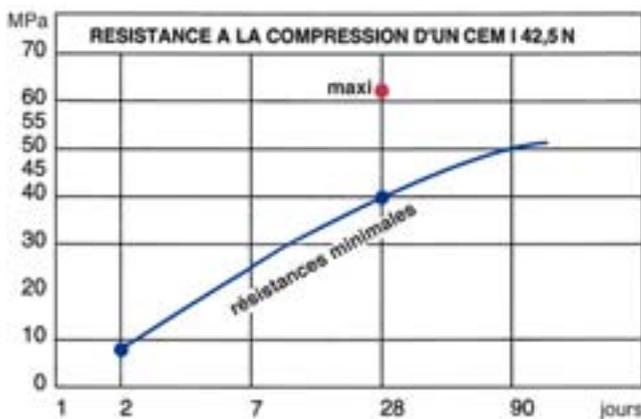
Les ciments Portland résultent du broyage de clinker et de sulfate de calcium (gypse ou anhydrite) pour régulariser la prise, et éventuellement de constituants secondaires en faible quantité (inférieure à 5 %). La teneur en clinker est au minimum de 95 %.



■ **Valeurs limites**

En plus des valeurs caractéristiques des classes de résistance, la norme prévoit le respect de valeurs limites de résistance à la compression applicables à chaque résultat d'essai. Ces résistances sont mesurées sur « mortier normal » selon la norme NF EN 196-1.

Valeurs limites de résistance à la compression			
Classe de résistance	Résistances minimales absolues en MPa		
	2 jours	7 jours	28 jours
32,5 N	-	14	30
32,5 R	8	-	30
42,5 N	8	-	40
42,5 R	18	-	40
52,5 N	18	-	50
52,5 R	28	-	50



Les propriétés chimiques, qui sont un facteur important de la résistance des bétons à des ambiances agressives, concernent la teneur en anhydride sulfurique (SO₃) inférieure à 4 % (4,5 % pour les classes 42,5 R et 52,5) et en ions chlorure inférieure à 0,10 %.

■ **Principaux domaines d'emploi**

Les CEM I conviennent pour le béton armé ou le béton précontraint, en revanche leurs caractéristiques mécaniques n'en justifient généralement pas l'emploi pour les travaux de maçonnerie courante et les bétons en grande masse ou faiblement armés.

Les CEM I de classe R permettent un décoffrage rapide appréciable notamment en préfabrication. Les CEM I 52,5 N ou 52,5 R conviennent pour le béton armé ou précontraint pour lesquels est recherchée une résistance élevée.

Pour les travaux en milieu agressif, eaux de mer ou eaux sulfatées, on emploiera respectivement des ciments Portland pour travaux à la mer PM, ou pour travaux en eaux à haute teneur en sulfates ES.

■ **Précautions particulières**

Pour les ouvrages massifs, on évitera l'utilisation des CEM I dont la chaleur d'hydratation risque de conduire à une élévation de température excessive lors de leur réalisation.

1.3.2 - Les ciments Portland composés CEM II norme NF EN 197-1

■ **Composition**

Les ciments Portland composés résultent du mélange de clinker en quantité au moins égale à 65 % et d'autres constituants tels que laitiers de haut fourneau, cendres volantes, pouzzolanes, fumée de silice, dont le total ne dépasse pas 35 %.

■ **Valeurs limites**

De même que pour les CEM I, des valeurs limites de résistances minimales sont fixées aux échéances 2, 7 et 28 jours. Des valeurs limites sont également fixées pour la teneur en SO₃ inférieure à 4 % (ou 4,5 %) et la teneur en ions chlorure inférieure à 0,10 % (voir le tableau de la page 20).

■ **Principaux domaines d'emploi**

Les CEM II 32,5 conviennent bien pour les travaux de maçonnerie. Les CEM II 32,5 N et 42,5 N conviennent pour les travaux de toute nature en



béton armé. Les CEM II 52,5 sont adaptés au béton précontraint et au béton armé.

De façon générale, les CEM II sont bien adaptés pour les travaux massifs exigeant une élévation de température modérée. La classe R sera préférée pour les travaux exigeant des résistances initiales plus élevées. Pour les travaux en milieux agressifs, on emploiera les ciments pour travaux à la mer (PM) ou résistant aux eaux sulfatées (ES).

■ **Précautions particulières**

Lorsque l'aspect esthétique est important (béton brut, enduits), il convient d'éviter l'emploi de certains CEM II comportant des proportions importantes de constituants susceptibles d'entraîner des variations de teinte trop marquées, les cendres volantes notamment.

1.3.3 - Les ciments blancs

■ **Composition et caractéristiques**

La teinte blanche est obtenue grâce à des matières premières très pures (calcaire et kaolin) exemptes d'oxyde de fer. Les ciments blancs sont des ciments de type CEM I ou CEM II conformes à la norme NF EN 197-1.

■ **Domaines d'emploi**

Grâce à sa blancheur, le ciment blanc permet la mise en valeur des teintes des granulats dans les

bétons apparents. La pâte peut être elle-même colorée à l'aide de pigments, ce qui offre une grande variété de teintes tant pour les bétons de structure que pour les bétons architectoniques et les enduits décoratifs. La composition du béton doit être bien étudiée en fonction des granulats, des effets recherchés et du traitement de surface.

1.3.4 - Les ciments comportant du laitier de haut fourneau norme NF EN 197-1

■ **Composition**

Trois types de ciments comportent des pourcentages de laitier assez importants. Il s'agit du ciment Portland au laitier CEM II/A-S ou B-S, du ciment de haut fourneau CEM III/A, B ou C et du ciment composé CEM V/A ou B.

Ciments comportant du laitier de haut fourneau				
Type de ciment	Notation	% clinker	% laitier de haut fourneau	% pouzzolanes naturelles ou naturelles calcinées ou cendres volantes siliceuses
Ciment Portland au laitier	CEM II/A-S	80-94	6-20	-
	CEM II/B-S	65-79	21-35	-
Ciment de haut fourneau	CEM III/A	35-64	36-65	-
	CEM III/B	20-34	66-80	-
	CEM III/C	5-19	81-95	-
Ciment composé*	CEM V/A	40-64	18-30	18-30
	CEM V/B	20-38	31-50	31-50

* Les constituants principaux, autres que le clinker, doivent être déclarés dans la désignation du ciment.



■ Valeurs limites

Les valeurs limites pour la résistance sont analogues à celles des CEM I. La teneur en SO₃ doit être inférieure à 5 % pour le CEM III/C, à 4,5 % pour les CEM III/A ou B, 4 % pour le CEM V (4,5 % pour la classe 42,5 R et 52,5).

■ Principaux domaines d'emploi

Ces ciments sont bien adaptés aux travaux suivants :

- travaux hydrauliques, souterrains, fondations, injections ;
- travaux en eaux agressives : eaux de mer, eaux séléniteuses, eaux industrielles et eaux pures ;
- ouvrages massifs : fondations et barrages ;
- travaux en milieu agricole : stockage, ensilage et fosse à lisier.

■ Précautions particulières

Les bétons employant ces types de ciment sont sensibles à la dessiccation ; il faut les maintenir humides pendant le durcissement et, pour cela,

protéger au besoin leurs surfaces à l'aide d'un produit de cure. Pour cette raison, ces ciments sont à éviter dans les enduits. L'aspect rêche du béton ne doit pas inciter à augmenter la teneur en eau de gâchage. Le ralentissement de la vitesse d'hydratation par le froid plus marqué qu'avec le ciment Portland de même classe, conduit à éviter l'emploi de ce type de ciment par temps froid.

1.3.5 - Les ciments à maçonner MC norme NF EN 413-1

■ Composition

Liant hydraulique fabriqué en usine et dont le développement de résistance est essentiellement dû à la présence de clinker Portland.

■ Classes de résistance

La nouvelle norme introduit trois classes de résistance à la compression à 28 jours (MC 5, MC 12,5, MC 12,5 X et MC 22,5 X) dont le tableau ci-dessous précise la désignation en fonction de la présence ou non d'un entraîneur d'air.

<i>Désignation des ciments à maçonner</i>			
<i>Type</i>	<i>Classe de résistance en MPa</i>	<i>avec entraîneur d'air</i>	<i>sans entraîneur d'air</i>
Ciment à maçonner	5	MC 5	-
	12,5	MC 12,5	MC 12,5 X*
	22,5	-	MC 22,5 X*

* La lettre X signale les liants ne contenant pas d'entraîneur d'air.

■ Valeurs limites

Chaque classe de ciment implique le respect de valeurs limites de résistance à la compression.



Résistance à la compression			
Type	Résistances (à court terme) à 7 jours (en MPa)	Résistances (courantes) à 28 jours (en MPa)	
MC 5	–	≥ 5	≤ 15
MC 12,5 MC 12,5 X	≥ 7	≥ 12,5	≤ 32,5
MC 22,5 X	≥ 10	≥ 22,5	≤ 42,5

Le temps de début de prise ne doit pas être inférieur à 45 minutes. La teneur en SO₃ est limitée à 3,0 % pour les classes 12,5 et 22,5 et à 2,0 % pour la classe 5.

■ Principaux domaines d'emploi

Ces ciments, dont les résistances sont volontairement limitées par rapport aux ciments courants, conviennent bien pour la confection des mortiers utilisés dans les travaux de bâtiment (maçonnerie, enduits, crépis, etc.). Ils peuvent être également utilisés pour la fabrication ou la reconstitution de pierres artificielles. Ces ciments ne conviennent pas pour les bétons à contraintes élevées ou les bétons armés. Ils ne doivent pas être employés dans les milieux agressifs.

1.3.6 - Le ciment prompt naturel CNP norme NF P 15-314

■ Composition

Le ciment prompt naturel est obtenu par cuisson, à température modérée (1 000/1 200 °C), d'un calcaire argileux d'une grande régularité.

■ Caractéristiques

Le ciment prompt naturel est un produit, à prise rapide, et à résistances élevées à très court terme. La mouture est plus fine que celle des ciments Portland. La résistance du « mortier 1/1 » (une partie de ciment pour une partie de sable en poids) à 1 heure est de 6 MPa.

Évolution de la résistance dans le temps									
Résistance en MPa	15'	1 h	3 h	1 j	7 j	28 j	6 m	1 an	
Compression	4,0	6,0	8,0	10,0	14,0	19,0	40,0	45,0	
Flexion	1,4	1,8	2,3	2,5	3,0	3,5	5,0	5,5	

Le début de prise commence à environ 2 minutes, s'achève pratiquement à 4 minutes. Le début de prise du ciment prompt naturel est de plus réglable de 3 à 15 minutes en utilisant l'adjuvant pro-

posé par le fabricant qui ne modifie pas l'évolution du durcissement.



Le ciment prompt naturel est résistant aux eaux agressives (eaux séléniteuses, eaux pures, eaux acides). Il fait partie des ciments pour travaux à la mer: PM.

■ Principaux domaines d'emploi

Le ciment prompt naturel s'utilise en mortier (avec un dosage généralement de deux volumes de ciment pour un volume de sable) et éventuellement pour constituer un béton. Dans les cas d'urgence nécessitant une prise immédiate (aveuglements de voies d'eau), il est possible de l'employer en pâte pure.

Parmi les nombreux emplois, on peut citer:

- scellements;
- travaux spéciaux et travaux de réparation;
- enduits de façade (en mélange avec des chaux naturelles);
- moulages;
- revêtements et enduits résistant aux eaux agressives et à bon nombre d'attaques chimiques, en particulier à l'acide lactique et aux déjections (bâtiments pour l'élevage, silos);
- colmatage et travaux à la mer;
- bétons projetés, travaux souterrains.

■ Précautions d'emploi

Quelques précautions sont à prendre lorsqu'on emploie du ciment prompt naturel:

- ne pas rebattre un mortier ou lisser un enduit pour ne pas « casser » la prise;
- éviter particulièrement l'excès d'eau.



1.3.7 - Le ciment alumineux fondu CA norme NF P 15-315

(en cours de remplacement par la norme
NF EN 14647 ciments d'aluminates de calcium)

■ Composition

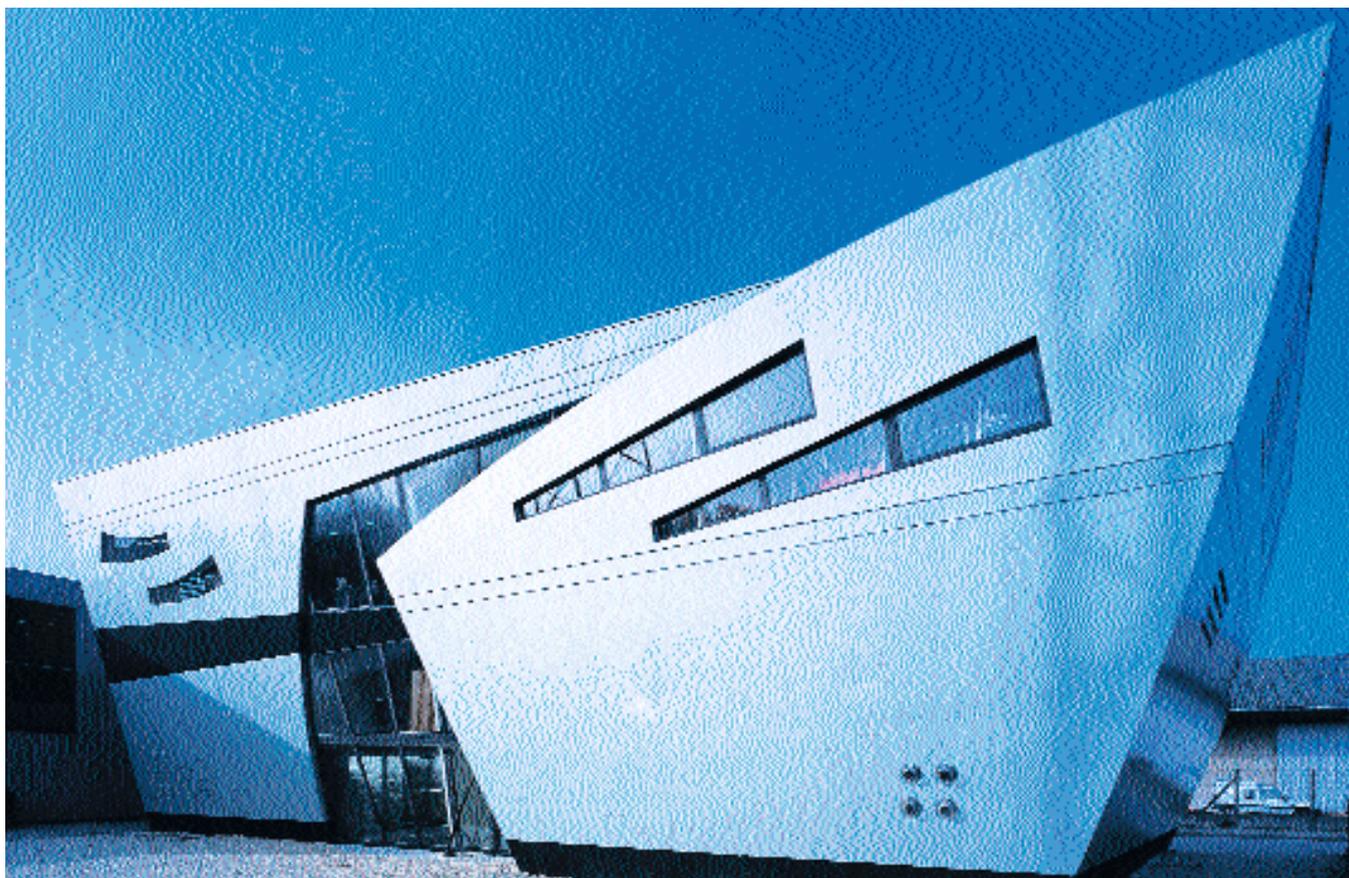
Le ciment alumineux fondu ou ciment d'aluminates de calcium résulte de la cuisson jusqu'à fusion d'un mélange de calcaire et de bauxite, suivie d'une mouture sans gypse à une finesse comparable à celle des ciments Portland.

■ Caractéristiques

Les résistances minimales garanties sur « mortier normal » sont les suivantes.

Évolution de la résistance dans le temps			
Résistance en MPa	0 heure	21 heures	28 jours
Compression	30	50	60
Flexion	1	5,5	6,5

Début de prise : minimum 1 h 30.



Le ciment alumineux fondu développe des résistances à court terme élevées grâce à un durcissement rapide. Il est très résistant aux milieux agressifs et acides (jusqu'à des pH de l'ordre de 4). Il fait partie des ciments pour travaux à la mer : PM et pour travaux en eaux à haute teneur en sulfate : ES.

La chaleur d'hydratation élevée, liée à son durcissement rapide, permet au ciment fondu d'être mis en œuvre par temps froid (jusqu'à $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$). C'est également un ciment réfractaire (bon comportement jusqu'à $1\,300\text{ }^{\circ}\text{C}$).

■ **Principaux domaines d'emploi**

Le ciment alumineux fondu est particulièrement adapté aux domaines suivants :

- travaux nécessitant l'obtention, dans un délai très court, de résistances mécaniques élevées (poutres et linteaux pour le bâtiment, sols industriels) ;
- sols résistant aux chocs, à la corrosion, au trafic élevé ;
- ouvrages en milieux agricoles, canalisations, travaux d'assainissement ;
- fours, cheminées (bétons réfractaires) ;

- travaux de réparation ;
- scellements (en mélange avec du ciment Portland pour la préparation de mortiers à prise réglable).

■ **Précautions d'emploi**

Par temps très froid, il faut protéger le béton jusqu'au déclenchement de la phase de durcissement. Dans tous les cas, le mortier ou le béton de ciment fondu doit être maintenu humide (produit de cure ou protection) pendant toute sa période de durcissement, pour éviter sa dessiccation. Le dosage minimum en ciment fondu est généralement de 400 kg/m^3 de béton, le rapport eau/ciment ne doit pas dépasser 0,4.





Chapitre

2

Les constituants des bétons et des mortiers

2.1 Les granulats pour bétons

2.2 Les adjuvants

2.1 Les granulats pour béton

2.1.1 - Définition des granulats

Le granulat est constitué d'un ensemble de grains minéraux qui selon sa dimension (comprise entre 0 et 125 mm) se situe dans l'une des 7 familles suivantes :

- fillers ;
- sablons ;
- sables ;
- graves ;
- gravillons ;
- ballast ;
- enrochements.

Les granulats sont obtenus en exploitant des gisements de sables et de graviers d'origine alluvionnaire terrestre ou marine, en concassant des roches massives (calcaires ou éruptives) ou encore par le recyclage de produits tels que les matériaux de démolition. Leur nature, leur forme et leurs caractéristiques varient en fonction des gisements et des techniques de production.

La nature minérale des granulats est un critère fondamental pour son emploi, chaque roche possédant des caractéristiques spécifiques en terme de

résistance mécanique, de tenue au gel et des propriétés physico-chimiques. Les granulats les plus usuels pour la fabrication des mortiers et des bétons sont élaborés à partir de roches d'origine alluvionnaire (granulats roulés ou semi-concassés) ou à partir de roches massives (granulats concassés). La taille d'un granulat répond à des critères granulométriques précis. Les granulats sont classés en fonction de leur granularité (distribution dimensionnelle des grains) déterminée par analyse granulométrique à l'aide de tamis.

Le granulat est désigné par le couple d/D avec
 d : dimension inférieure du granulat
 D : dimension supérieure du granulat

<i>Les granulats les plus utilisés</i>		
<i>Familles</i>	<i>Dimensions</i>	<i>Caractéristiques</i>
Fillers	O/D	D < 2 mm avec au moins 85 % de passant à 1,25 mm et 70 % de passant à 0,063 mm
Sables	O/D	d = 0 et D ≤ 4 mm
Graves	O/D	D ≥ 6,3 mm
Gravillons	d/D	d ≥ 2 mm et D ≤ 63 mm
Ballasts	d/D	d = 31,5 mm et D = 50 ou 63 mm



Les intervalles d/D et O/D sont appelés classes granulaires.

Les granulats utilisés pour la confection des bétons sont :

- **les fillers ;**
- **les sables ;**
- **les gravillons ;**
- **les graves.**

Les granulats sont considérés comme courants lorsque leur masse volumique est supérieure à 2 t/m³ et léger si elle est inférieure à 2 t/m³. Les granulats doivent répondre à des exigences et des critères de qualité et de régularité qui dépendent de leur origine et de leur procédé

d'élaboration. Les granulats sont donc spécifiés par deux types de caractéristiques.

- Des caractéristiques intrinsèques, liées à la nature minéralogique de la roche et à la qualité du gisement, telles que, par exemple :
 - la masse volumique réelle ;
 - l'absorption d'eau et la porosité ;
 - la sensibilité au gel ;
 - la résistance à la fragmentation et au polissage ;
 - la gélivité.
- Des caractéristiques de fabrication, liées aux procédés d'exploitation et de production des granulats telles que, en particulier :
 - la granularité ;
 - la forme (aplatissement) ;
 - la propreté des sables.

Les caractéristiques des granulats sont fonction de leurs familles (gravillons, sables, fillers) et font l'objet de méthode de détermination adaptée.

2.1.2 - Différents types de granulats

Un granulats, en fonction de sa nature et de son origine, peut être...

- **Naturel** : d'origine minérale, issus de roches meubles (alluvions) ou de roches massives, n'ayant subi aucune transformation autre que mécanique (tels que concassage, broyage, criblage, lavage).
- **Artificiel** : d'origine minérale résultant d'un procédé industriel comprenant des transformations thermiques ou autres.
- **Recyclé** : obtenu par traitement d'une matière inorganique utilisée précédemment dans la construction, tels que des bétons de démolition de bâtiments.

■ Granulats naturels

Les granulats naturels sont issus de roches meubles ou massives. Les roches meubles (matériaux alluvionnaires) sont exploitées le long des fleuves et des rivières. Les roches massives calcaires constituent les bassins sédimentaires et les chaînes récentes; les roches massives éruptives constituent les massifs anciens.

Différents types de granulats issus de roches massives

Types de roches massives	Exemple de famille de granulats
Roche magmatique Roche éruptive	Granite, rhyolite, porphyre, diorite, basalte, etc.
Roche sédimentaire	Grès, grès quartziques, silex, calcaires, etc.
Roche métamorphique	Gneiss, micaschistes, quartzites, etc.

Origine minéralogique

Parmi les granulats naturels, les plus utilisés pour le béton proviennent de roches sédimentaires siliceuses ou calcaires, de roches métamorphiques telles que les quartz et quartzites ou de roches éruptives telles que les basaltes, les granites, les porphyres.

Granulats roulés et granulats de carrières

Indépendamment de leur origine minéralogique, on classe les granulats en deux catégories.

- **Les granulats de roche meuble**, dits roulés, dont la forme a été acquise par l'érosion. Ces granulats sont lavés pour éliminer les particules argileuses, nuisibles à la résistance du béton et criblés pour obtenir différentes classes de dimension. Bien qu'on puisse trouver différentes roches selon la région d'origine, les granulats utilisés pour le béton sont le plus souvent siliceux, calcaires ou silico-calcaires. Ils sont exploités à proximité des cours d'eau, dans la nappe ou au-dessus de la nappe ou sur des fonds marins peu profonds. L'extraction est donc réalisée en fonction du gisement à sec ou dans l'eau
- **Les granulats de roche massive** sont obtenus par abattage et concassage, ce qui leur donne des formes angulaires. Une phase de précriblage est indispensable à l'obtention de granulats propres. Différentes phases de concassage aboutissent à l'obtention des classes granulaires souhaitées. Les granulats concassés présentent des caractéristiques qui dépendent d'un grand nombre de paramètres : origine de la roche, régularité du banc, degré de concassage.

■ Granulats artificiels

Des granulats artificiels peuvent être employés pour réaliser des bétons à usages spécifiques.

- **Sous-produits industriels, concassés ou non**

Les plus employés sont le laitier cristallisé concassé et le laitier granulé de haut fourneau obtenus par refroidissement à l'eau.

- **Granulats à hautes caractéristiques**

Il s'agit de granulats élaborés industriellement pour répondre à certains emplois, notamment granulats très durs pour renforcer la résistance à l'usage de dallages industriels (granulats ferreux) ou granulats réfractaires.

- **Granulats recyclés**

Ce sont essentiellement des granulats obtenus pour recyclage de béton de démolition.

- **Granulats et composants légers**

- **Les granulats légers** usuels sont l'argile expansée, le schiste expansé ou le laitier expansé. D'une masse volumique variable entre 400 et 800 kg/m³ selon le type et la granularité, ils permettent de réaliser aussi bien des bétons de structure que des bétons présentant une bonne isolation thermique. Les gains de poids sont intéressants puisque les bétons réalisés ont une masse volumique comprise entre 1 200 et 2 000 kg/m³.

- **Les composants légers** sont d'origine aussi bien végétale et organique que minérale. Le polystyrène expansé et le liège, d'origine non minérale, le bois, ainsi que la vermiculite sont également utilisés pour réaliser des bétons très légers en isolation ou pour des chapes. Très légers – de 20 à 100 kg/m³ – ils permettent de réaliser des bétons de masse volumique comprise entre 300 et 600 kg/m³. Ils sont donc particulièrement adaptés pour les bétons d'isolation, mais également pour la réalisation d'éléments légers : blocs coffrants, blocs de remplissage, dalles ou rechargements sur planchers peu résistants.

2.1.3 - Production des granulats

La production des granulats à partir de roches meubles ou massives, nécessite les principales étapes suivantes.

- **Le décapage** consiste à enlever les terres situées au-dessus de la zone à exploiter.

- **L'extraction** s'effectue dans des carrières. Les techniques mises en œuvre dépendent du type de gisement :

- gisement de granulats alluvionnaires exploité en terrain sec (au moyen d'engins de terrassement) ou en site immergé (au moyen par exemple de drague) ;

- gisement compact de roches massives qui nécessite l'emploi d'explosif, l'abattage et la fragmentation des blocs.

- **Le traitement** fait suite à l'extraction des matériaux, qui sont concassés et broyés (au moyen d'appareils travaillant par chocs ou écrasement) afin de réduire leur taille, criblés (au moyen de cribles vibrants) pour obtenir des granulats de tailles différentes, puis lavés (afin d'éliminer les éléments de pollution et les fines) ou dépoussiérés et enfin stockés. Les opérations de traitement permettent d'obtenir des granulats répondant à des spécifications précises quant à leurs caractéristiques géométriques et physiques pour des usages particuliers.

- **La remise en état du site** a lieu après exploitation.

2.1.4 - Normes de référence

Les granulats comme la grande majorité des matériaux de construction doivent être conformes à des normes. Les granulats constituent le squelette du béton, la régularité de leurs caractéristiques conditionne donc celles du béton. Les granulats pour bétons font l'objet de deux principales normes de référence.



■ **La norme NF EN 12620 (août 2003)**
Granulats pour béton

Cette norme définit les termes relatifs aux granulats pour béton relevant de la Directive des Produits de Construction (DPC 89/106/CE). Elle définit des catégories pour chaque caractéristique des granulats et des fillers utilisés dans la fabrication des bétons. Les constituants du béton peuvent être élaborés à partir de matériaux naturels, artificiels ou recyclés. Elle concerne en particulier les bétons conformes à la norme NF EN 206-1, les granulats entrant dans la composition des produits préfabriqués en béton et les bétons routiers. Elle spécifie les caractéristiques (physiques et chimiques) relatives à l'évaluation de la conformité des granulats et au système de maîtrise de la production.

■ **La norme XP P 18-545 (février 2004)**
Granulats : éléments de définition
Conformité et codification

Cette norme définit les règles générales permettant d'effectuer les contrôles des granulats. Elle regroupe en codes les catégories définies dans la norme NF EN 12620 pour les divers usages possibles : granulats pour chaussées (couches de fondation, de base et de liaison, couche de roulement utilisant des liants hydrocarbonés et bétons de ciment), granulats pour bétons hydrauliques et mortiers, granulats pour voies ferrées (assises et ballast). Elle précise les critères de régularité et de conformité et fournit les Fiches Techniques Produit.



2.1.5 - Spécifications sur les granulats de la norme XP P 18-545

■ **Granulats pour bétons et mortiers**

La norme XP P 18-545 précise, dans l'article 10 : Granulats pour bétons hydrauliques et mortiers, les spécifications sur les granulats destinés à constituer des bétons.

Les spécifications concernent les caractéristiques détaillées ci-dessous.

- **Caractéristiques applicables aux gravillons**
 - Los Angeles : LA
 - Sensibilité au gel-dégel : G
 - Granularité et teneur en fines des gravillons : Gr
 - Aplatissement : A
 - Éléments coquilliers des gravillons d'origine marine : Cq
 - Boulettes d'argiles
- **Caractéristiques applicables aux sables et graves**
 - Granularité et teneur en fines : Gr
 - Module de finesse : FM
 - Propreté : P
 - Polluants organiques
- **Caractéristiques applicables aux sables, graves et gravillons**
 - Absorption d'eau : Ab
 - Impuretés prohibées
 - Alkali-réaction
 - Soufre total : S
 - Sulfates solubles dans l'acide : SA
 - Chlorures

- **Caractéristiques applicables aux fillers**
 - Granularité

Les principales caractéristiques des granulats sont repérées par des codes A, B, C ou D. La norme XP P 18-545 définit à l'aide de cette codification, les valeurs des spécifications adaptées à certains types d'ouvrages.

- **Bétons courants**

Les granulats de code C et ceux dont deux caractéristiques au plus sont de code D conviennent.

- **Bétons de structures de génie civil ou de bâtiments de classe de résistance supérieure à C 35/45**

Les granulats de code A conviennent. Certaines caractéristiques peuvent être de code B.

- **Bétons soumis à des classes d'exposition particulières**

Les granulats de code B conviennent si l'absorption est de catégorie A.

Nota

Cette spécification concerne les bétons soumis à des classes d'exposition XF4 (forte saturation en eau avec agent de déverglaçage) ou XA 3 (environnement à forte agressivité chimique).

- **Granulats pour bétons légers**

La norme XP P 18-545 donne, dans l'article 13, les spécifications sur les granulats légers pour bétons hydrauliques et mortiers. Elles sont relatives aux caractéristiques géométriques (granularité et formes), physiques (masse volumique et absorption d'eau), mécaniques (résistance au gel-dégel) et chimiques.

- **Granulats pour chaussées en béton de ciment**

La norme XP P 18-545 précise, dans l'article 9, les spécifications sur les granulats destinés à réaliser des bétons de chaussées. Les spécifications concernent les caractéristiques suivantes.



- **Caractéristiques applicables aux gravillons**

- Caractéristiques intrinsèques :
 - Los Angeles : LA et Micro Deval : M_{DE}
- Sensibilité au gel
- Caractéristiques de fabrication
- Éléments coquilliers des gravillons d'origine marine
- Boulette d'argile

- **Caractéristiques applicables aux sables et aux graves**

- Friabilité des sables : FS
- Caractéristiques de fabrication
- Polluants organiques
- Teneur en carbonate

- **Caractéristiques applicables aux sables, aux graves et aux gravillons**

- Absorption d'eau : WA
- Impuretés prohibées : ImP
- Soufre total : S
- Sulfates solubles dans l'acide : SA
- Chlorures

La norme XP P 18-545 définit (en vue des contrôles des caractéristiques de fabrication des matériaux) des fuseaux de spécifications encadrés par :

- la limite inférieure : Li
 - la limite supérieure : Ls
- et des fuseaux de régularité limités par :
- la valeur spécifiée inférieure : Vsi
 - la valeur spécifiée supérieure : Vss

ainsi que des fuseaux de fabrication. Les fuseaux de régularité (Vsi et Vss, associés à des valeurs d'incertitudes d'essais dépendant de sa répétabilité et de sa reproductibilité) permettent de définir des critères de conformité.



La norme XP P 18-545 définit, dans l'annexe A, le cadre d'une Fiche Technique Produit (FTP) qui sera renseignée par le fournisseur. Elle précise les valeurs spécifiées des caractéristiques normalisées et la synthèse des principaux résultats d'essais.

2.1.6 - Spécifications sur les granulats de la norme NF EN 12620

La norme NF EN 12620 définit pour chaque caractéristique physique ou mécanique spécifiant des granulats, des catégories de valeurs maximales.

■ *Caractéristiques géométriques*

Granularité

La norme NF EN 12620 spécifie les caractéristiques générales de granularité que doivent respecter les gravillons, les sables, les graves et les fillers en fonction de leur classe granulaire.

Forme des gravillons

La norme définit des catégories de granulats en fonction de leur coefficient d'aplatissement.

■ *Caractéristiques physiques*

Résistance à la fragmentation

La norme NF EN 12620 définit des catégories des valeurs maximales du coefficient Los Angeles (par exemple catégorie LA₃₀ si le coefficient de Los

Angeles est inférieur à 30) et des catégories de valeurs maximales de résistances au choc.

Résistance à l'usure des gravillons

Elle définit des catégories de valeurs maximales de la résistance à l'usure des gravillons en fonction des valeurs de coefficient micro deval (par exemple catégorie M_{DE25} si le coefficient Micro Deval est inférieur à 25).

Résistance au polissage

Les catégories de valeurs minimales de résistance au polissage sont définies en fonction des valeurs du coefficient de polissage accéléré (par exemple CPA₅₀ si le coefficient de polissage accéléré est supérieur à 50).

2.1.7 - Caractéristiques des granulats

Les granulats sont les principaux composants du béton (70 % en poids). Les performances mécaniques des granulats vont donc conditionner la résistance mécanique du béton et leurs caractéristiques géométriques et esthétiques, en particulier, l'aspect des parements des ouvrages. Le choix des caractéristiques des granulats (roulés ou concassés, teintes, dimensions) est déterminé par les contraintes mécaniques, physico-chimiques et esthétiques du projet à réaliser et de mise en œuvre du béton (critère de maniabilité, enrobage).

■ *Caractéristiques géométriques*

Classe granulaire

Les granulats sont désignés selon leur classe granulaire d/D (avec d : dimension inférieure et D : dimension supérieure). L'intervalle d/D est appelé classe granulaire. Les classes granulaires sont spécifiées en utilisant des séries de dimensions de tamis (en mm).

Série de base : 1 / 2 / 4 / 8 / 16 / 31,5 / 63

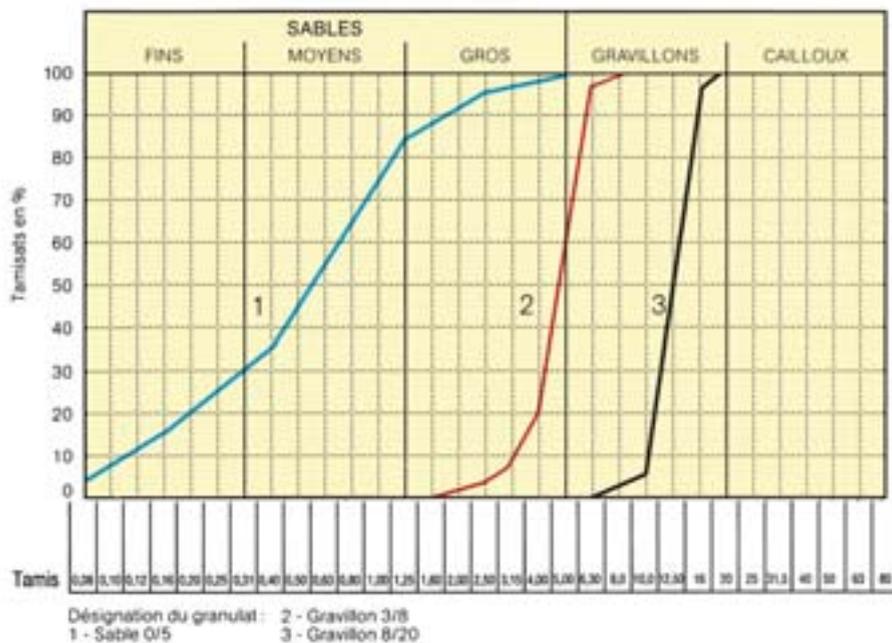
Série de base + série 1 : 1 / 2 / 4 / 5,6 / 8 / 11,2 / 16 / 22,4 / 31,5 / 45 / 63

Série de base + série 2 : 1 / 2 / 4 / 6,3 / 8 / 10 / 12,5 / 14 / 16 / 20 / 31,5 / 40 / 63

Granularité

La granularité représente la distribution dimensionnelle des grains contenus dans un granulat. Elle est

EXEMPLE DE COURBES GRANULOMÉTRIQUES
D'UN SABLE ET DE DEUX GRAVILLONS



exprimés en pourcentages, sur différents tamis. Le module de finesse surtout utilisé pour les sables permet de caractériser leur granularité par une seule valeur. Celle-ci dépend surtout de la teneur en grains fins du sable. Plus le module de finesse est faible, plus le sable est fin. Un module de finesse élevée caractérise un sable grossier.

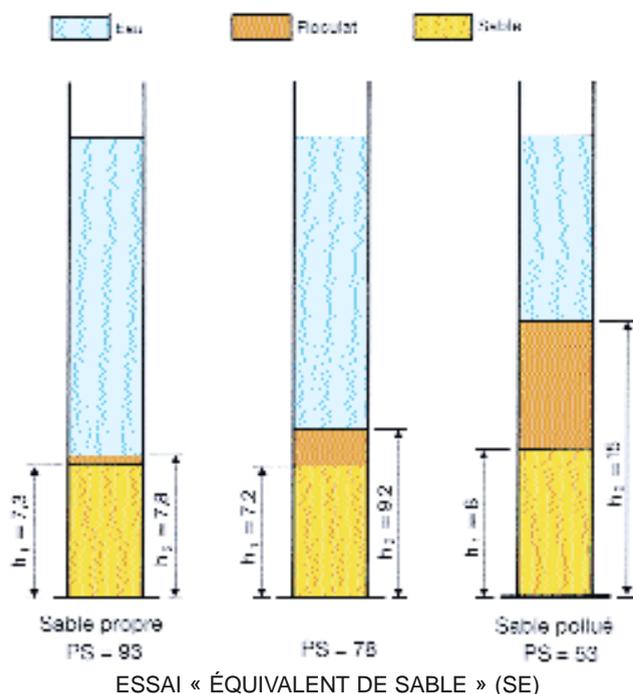
■ **Caractéristiques physico-chimiques**

Propreté des granulats

Les impuretés peuvent perturber l'hydratation du ciment ou entraîner des défauts d'adhérence granulats-pâte, ce qui peut avoir une incidence sur la résistance du béton. La propreté traduit l'absence d'éléments fins indésirables dans les granulats. Elle désigne essentiellement la teneur en fines argileuses, dont la valeur doit être limitée.

Dans le cas des gravillons, elle est donnée par le pourcentage de passant au tamis de 0,5 mm (tamisage effectué sous eau).

Dans le cas des sables, la propreté (SE) est fournie par l'essai appelé « équivalent de sable » qui permet de mesurer la fraction argileuse du matériau. L'essai consiste à séparer le sable des matières argileuses ou fines, qui remontent par floculation à la partie supérieure de l'éprouvette où l'on a effectué le lavage (plus la valeur de SE est grande, plus le sable est propre). Elle peut également être évaluée par l'essai au bleu de méthylène (VB) – plus la valeur de VB est petite, plus les sables sont propres. Le



bleu de méthylène est adsorbé préférentiellement par les argiles, les matières organiques et les hydroxydes de fer. La valeur de bleu (VB) exprime la quantité de bleu de méthylène adsorbée par 100 g de fines.

Il faut souligner l'importance de la propreté des granulats sur la qualité du béton. La présence de particules argileuses est en effet défavorable, autant à la mise en œuvre du béton qu'à ses performances finales, en abaissant l'adhérence de la pâte de ciment sur les granulats. D'autres impuretés telles que les particules organiques sont susceptibles de nuire aux qualités du béton et perturber son durcissement. Les sels tels que les sulfates ou les sulfures, peuvent être à l'origine de phénomènes de gonflement ou de tâches. Les corps étrangers (lignites ou scories) sont à proscrire.

■ **Caractéristiques physiques et mécaniques**

Les caractéristiques physiques et mécaniques des granulats sont déterminées par des essais visant à reproduire certaines sollicitations propres à des usages spécifiques des granulats. Elles sont donc spécifiées en fonction de leur emploi.

Résistance à l'usure des gravillons

La résistance à l'usure des granulats est déterminée par l'essai Micro-Deval en présence d'eau. Cet essai consiste à reproduire dans un cylindre en rotation des phénomènes d'usure par frottements. Cette résistance est caractérisée par le coefficient Micro-Deval M_{DE} qui représente la proportion d'éléments fins produits pendant l'essai. Plus le coefficient M_{DE} est faible, plus la résistance à l'usure des gravillons est élevée.

Porosité

La porosité représente le rapport du volume des vides contenus dans les grains au volume des grains, exprimé en pourcentage. La porosité des granulats courants est en général très faible. Elle est importante dans le cas des granulats légers.

Résistance à la fragmentation des gravillons

La résistance à la fragmentation est déterminée par le coefficient Los Angeles. Le principe de cet essai est la détermination de la résistance à la fragmentation par chocs et à l'usure par frottements réciproques. L'essai consiste à faire tourner les granulats dans un tambour fermé contenant des boulets métalliques.

Le coefficient Los Angeles représente la proportion d'éléments finis produits au cours de l'essai. Plus le coefficient LA est faible, plus la résistance des gravillons est élevée.

Résistance au polissage des gravillons

Cette caractéristique concerne les granulats utilisés pour la réalisation de couches de roulement. Plus le coefficient de polissage accéléré (CPA) est élevé, plus la résistance au polissage est importante.

Coefficient d'absorption d'eau

Le coefficient d'absorption d'eau A_b représente la capacité d'absorption d'eau d'un granulat. Plus il est élevé, plus le matériau est absorbant.

Masse volumique en vrac ou apparente

C'est la masse du granulat sec occupant l'unité de volume. Elle dépend du tassement des grains. Elle est comprise entre $1\,400\text{ kg/m}^3$ et $1\,600\text{ kg/m}^3$ pour les granulats roulés silico-calcaires. La masse volumique réelle du granulat (vides entre grains exclus) est nettement plus élevée: de $2\,500$ à $2\,600\text{ kg/m}^3$.

Résistance des gravillons au gel-dégel

La vulnérabilité du granulat dans le béton à l'action du gel-dégel est fonction de sa nature, de son utilisation, des conditions climatiques et de la formulation du béton (utilisation par exemple d'air entraîné).

■ **Caractéristiques chimiques**

Teneur en ions chlorures

Les chlorures modifient la cinétique d'hydratation du ciment et provoquent la corrosion des armatures. La teneur en chlorure issu de l'ensemble des constituants du béton est donc limitée.

Réactivités aux alcalis

Dans des conditions défavorables (granulats contenant une fraction significative de silice soluble réactive dans un environnement riche en alcalin) et en présence d'humidité, les phénomènes d'alcali-réaction peuvent provoquer un gonflement du béton. Les granulats sont désignés comme étant non réactifs (NR), potentiellement réactifs (PR) ou potentiellement réactifs à effet de pessimum (PRP).



Teneur en soufre et en sulfates

Les granulats peuvent contenir de faibles quantités de sulfates et de sulfures sous réserve que leur teneur en soufre total S n'excède pas 0,4 % en masse. La teneur en sulfates (SO_3) doit être inférieure à 0,2 %. On la détermine si S est supérieure à 0,08 %.

Les sulfures présents dans les granulats peuvent en s'oxydant se transformer en sulfates qui risquent de générer des phénomènes de gonflement. Il faut donc limiter la teneur en soufre pour se prémunir de ce phénomène. Les sulfates peuvent perturber la prise et les actions des adjuvants d'où la nécessité de limiter leur teneur dans le béton.

■ **Caractéristiques esthétiques**

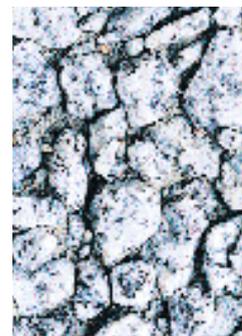
Les granulats contribuent à la teinte des parements des bétons. Ils sont mis en valeur en fonction du traitement de surface appliqué. On utilise indifféremment en fonction des disponibilités et de l'aspect recherché des granulats roulés, concassés ou semi-concassés. Les sables et les gravillons sont disponibles dans une large variété de teintes naturelles.

La teinte des bétons ayant subi un traitement de surface (béton lavé, béton désactivé, béton boucharde, béton poli) est liée à la couleur des gravillons et des gros grains de sable.



La teinte du mortier peut s'harmoniser avec celle des granulats ou au contraire créer un contraste faisant ressortir la couleur des gravillons. Le traitement de surface peut aussi faire apparaître, de façon plus ou moins marquée, la teinte des grains fins du sable ou celle des gros grains. La taille et la forme des granulats ont aussi un impact déterminant sur la texture des bétons traités. La granulométrie doit donc être compatible avec l'aspect recherché.

En règle générale, pour les bétons bruts de décoffrage, la dimension maximale des granulats ne dépasse pas 25 mm. Pour les bétons à traiter, la granulométrie sera fonction de l'aspect de surface recherché et de l'épaisseur du parement.



2.1.8 - Marquage des granulats

Le marquage CE des granulats est obligatoire pour leur mise sur le marché depuis le 1^{er} juin 2004. Par le marquage CE, le producteur de granulat déclare qu'il a mis en place un système de maîtrise de la production des granulats, lui permettant de respecter la nouvelle norme NF EN 12620, avec des essais normalisés à réaliser selon des fréquences précises.

Le système d'attestation de conformité recommandé par l'UNPG (Union Nationale des Producteurs de Granulats) est de niveau 2 +. La déclaration du producteur s'appuie sur un audit réalisé par un organisme notifié.

Les exigences essentielles relatives aux marquages des granulats et les informations à mentionner sur la déclaration de conformité sont spécifiées dans l'annexe ZA de la norme NF EN 12620. Elles portent sur les granulats (tableau ZA, 1a) et les fillers (tableau ZA, 1b) obtenus par traitement de matériaux naturels, artificiels ou recyclés et mélanges de ces granulats.

Le marquage CE permet de garantir aux utilisateurs le respect des exigences relatives à la sécurité et à la protection de l'environnement vis-à-vis d'un usage donné.

Teintes des granulats en fonction de leur nature minéralogique	
Nature minéralogique des granulats	Teintes
Calcaires durs	Noir, bleu, rose, beige, blanc, vert
Granites	Jaune, rose, gris, vert
Basaltes	Noir ou bleu-noir
Grès	Gris, rouge, beige
Diorites	Bleu ou rose
Quartzites	Rose, gris, blanc
Silex	Beige ou bistre

La dureté des granulats doit être adaptée aux traitements de surface. Suivant leur origine, les gravillons offrent différentes qualités :

- calcaires (marbres, pierres marbrières) : bonne adaptation aux traitements par grésage ou polissage ;
- siliceux (quartz, quartzites) : bonne résistance à l'abrasion ;
- éruptifs et métamorphiques (basaltes, granites, diorites, porphyres) : très grande variété de coloration.

2.1.9 - Certification de production

Le marquage CE ne se substitue pas à la marque NF granulats. Les producteurs de granulats ont mis en place des systèmes d'assurance qualité de leurs procédures d'exploitation permettant de certifier leur production (Certification volontaire Marque NF-granulats). Cette marque permet d'attester, avec des contrôles plus sévères et des essais complémentaires à ceux du marquage CE, réalisés par des laboratoires extérieurs COFRAC, que les granulats sont conformes aux normes et qu'ils proviennent d'une fabrication contrôlée selon les termes du règlement de la marque.

2.1.10 - Caractéristiques essentielles sur les granulats

<i>Caractéristiques essentielles sur les granulats</i>	
Forme, dimension des grains et masse volumique réelle	Classes granulaires Granularité Forme des gravillons Masse volumique réelle et coefficient d'absorption d'eau
Propreté	Teneur en éléments coquilliers des gravillons Fines
Résistance à la fragmentation ou à l'écrasement	Résistance à la fragmentation des gravillons
Résistance au polissage, à l'abrasion et à l'usure	Résistance à l'usure des gravillons Résistance au polissage Résistance à l'abrasion
Composition teneur	Chlorures Sulfates solubles dans l'acide Soufre total Constituants réduisant le temps de prise et la résistance du béton
Stabilité volumique	Stabilité volumique Retrait au séchage
Absorption d'eau	Masse volumique réelle et coefficient d'absorption d'eau
Durabilité face au gel-dégel	Sensibilité des gravillons au gel / dégel
Durabilité face à la réaction alcali-silice	Réaction alcali-silice

2.1.11 - Caractéristiques essentielles sur les fillers

<i>Caractéristiques essentielles sur les fillers</i>	
Finesse / granularité et masse volumique réelle	Fillers Masse volumique réelle et coefficient d'absorption d'eau
Composition / teneur	Chlorures Sulfates solubles dans l'acide Soufre total Constituants réduisant le temps de prise et la résistance du béton
Propreté	Fines
Stabilité volumique	Stabilité volumique Retrait au séchage
Durabilité face au gel-dégel	Sensibilité des gravillons au gel-dégel

2.1.12 - Principales normes d'essais sur les granulats

<i>Principales normes d'essais sur les granulats</i>	
Caractéristique	Norme d'essai
Granularité - gravillons	NF EN 933-1
Granularité - sables	NF EN 933-1
Module de finesse	NF EN 13139
Granularité - graves	NF EN 933-1
Granularités - fillers	NF EN 933-10
Forme des gravillons - Aplatissement	NF EN 933-3
Teneur en éléments coquilliers des gravillons	NF EN 933-7
Teneur en fines des sables et graves	NF EN 933-1
Teneur en fines des gravillons	NF EN 933-1
Qualité des fines - Équivalent de sable	NF EN 933-8
Essai au bleu de méthylène	NF EN 933-9
Résistance à la fragmentation des gravillons (LA)	NF EN1097-2
Résistance à l'usure des gravillons (M.D.E.)	NF EN 1097-1
Résistance au polissage (PSV)	NF EN 1097-8
Masse volumique réelle et coefficient d'absorption d'eau	NF EN 1097-6
Résistance des gravillons au gel-dégel	NF EN 1367-1
Teneur en Chlorures	NF EN 1744-1
Teneur en Sulfate soluble dans l'acide	NF EN 1744-1
Soufre total	NF EN 1744-1
Constituants réduisant le temps de prise et la résistance du béton	NF EN 1744-1
Teneur en carbonate des sables	NF EN 1744-1

2.1.13 - Le choix des granulats selon la fonction du béton

La variété des usages et fonctions remplies par le béton conduit à adopter des granulats qui, selon le cas, présenteront des caractéristiques d'aspect, de densité et de résistance mécanique différentes. Les granulats les plus couramment employés sont mentionnés dans le tableau ci-dessous.



Choix des granulats des bétons			
Nature des bétons ou de l'ouvrage	Nature des granulats	Masse volumique des bétons	
Bétons classiques pour chantier ou usine de préfabrication	Tous granulats roulés ou concassés avec préférence pour les siliceux, les calcaires ou les silico-calcaires	2 200 à 2 400 kg/m ³	
Bétons apparents, architectoniques	Les mêmes mais aussi les porphyres, basaltes, granites, diorites, qui offrent une palette très riche d'aspects et de teintes	2 200 à 2 400 kg/m ³	
Usages routiers	Toutes origines roulés ou concassés	2 200 à 2 300 kg/m ³	
Bétons légers	pour structure	Argile ou schiste expansé, laitier expansé	1 500 à 1 800 kg/m ³
	semi-isolant semi-porteur	Argile expansée, pouzzolane, ponce	1 000 à 1 500 kg/m ³
	isolant	Vermiculite, liège, bois, polystyrène expansé, verre expansé	300 à 800 kg/m ³
Bétons lourds	Corindon, barytine, magnétite	3 000 à 5 000 kg/m ³	
Bétons réfractaires	Corindon, déchets de produits réfractaires, granulats spéciaux	2 200 à 2 500 kg/m ³	
Bétons ou chapes pour dallages industriels (soumis à une abrasion importante)	Corindon, carborundum, granulats métalliques	2 400 à 3 000 kg/m ³	

2.1.14 - Adéquation granulats béton

Les granulats présentent des caractéristiques très différentes selon leur origine. Ces caractéristiques influant sur celles du béton, il importe de bien les connaître et de veiller au respect des spécifications. Le tableau ci-contre synthétise l'influence que peuvent avoir sur le béton un certain nombre de caractéristiques géométriques et physiques des granulats.

Influence des caractéristiques du granulat sur les performances des bétons	
Caractère du granulat	Influence sur les bétons
Nature minéralogique	La plupart des granulats conviennent pour le béton. Influence défavorable des argiles, des calcaires marneux (gonflement et altération à terme).
Présence de matières organiques	Influence défavorable sur la prise et le durcissement, chute de résistances.
Teneur élevée en sulfates, sulfures, chlorures	Réaction avec le ciment, fissuration, corrosion des armatures.
Propreté des granulats	Critère important. Les impuretés perturbent l'hydratation du ciment et entraînent des défauts d'adhérence granulats/pâte.
Forme des grains, angularité	Généralement peu importante : certains sables concassés peuvent parfois être défavorables à la mise en œuvre du béton et à sa compacité finale.
Granularité	Importante pour la bonne composition du béton.

2.2 Les adjuvants

2.2.1 - Historique

Dès les origines de la fabrication du béton de ciment Portland, commencent les recherches sur l'incorporation de produits susceptibles d'améliorer certaines de ses propriétés. On cherche à agir sur les temps de prise, les caractéristiques mécaniques et de mise en œuvre et la porosité. Dès 1881, Candlot étudie l'action des accélérateurs et des retardateurs de prise. Le sucre est déjà connu comme retardateur de prise et souvent employé à partir de 1909. Entre 1910 et 1920, débute la commercialisation d'hydrofuges et d'accélérateurs à base de chlorure de calcium. À partir de 1930, les entraîneurs d'air sont fréquemment utilisés. Ils seront suivis par les antigels et les produits de cure.

Depuis 1960, avec le développement du béton préfabriqué et du béton prêt à l'emploi, les adjuvants prennent une place grandissante. Le contrôle des adjuvants est vite devenu une nécessité. En 1964, est créée la COPLA (Commission Permanente des Liants hydrauliques et des Adjuvants du béton). Elle était chargée de l'agrément et du contrôle des adjuvants ayant une réelle efficacité et pouvant être employés en toute sécurité et d'en établir la liste officielle. Le développement des normes d'adjuvants à partir de 1972 a abouti en 1984 à la mise en place d'une certification par la marque NF Adjuvants, véritable label de qualité. La liste des adjuvants bénéficiant de la marque NF est publiée régulièrement par l'AFNOR.

Il faut enfin préciser que les adjuvants ont permis des progrès considérables sur les propriétés des bétons et d'étendre leur champ d'application. La création du Synad (Syndicat national des Adjuvants pour Mortiers et Bétons), en 1968, a contribué à faire connaître et à développer l'utilisation des adjuvants pour la réalisation de bâtiments et de structures de génie civil.

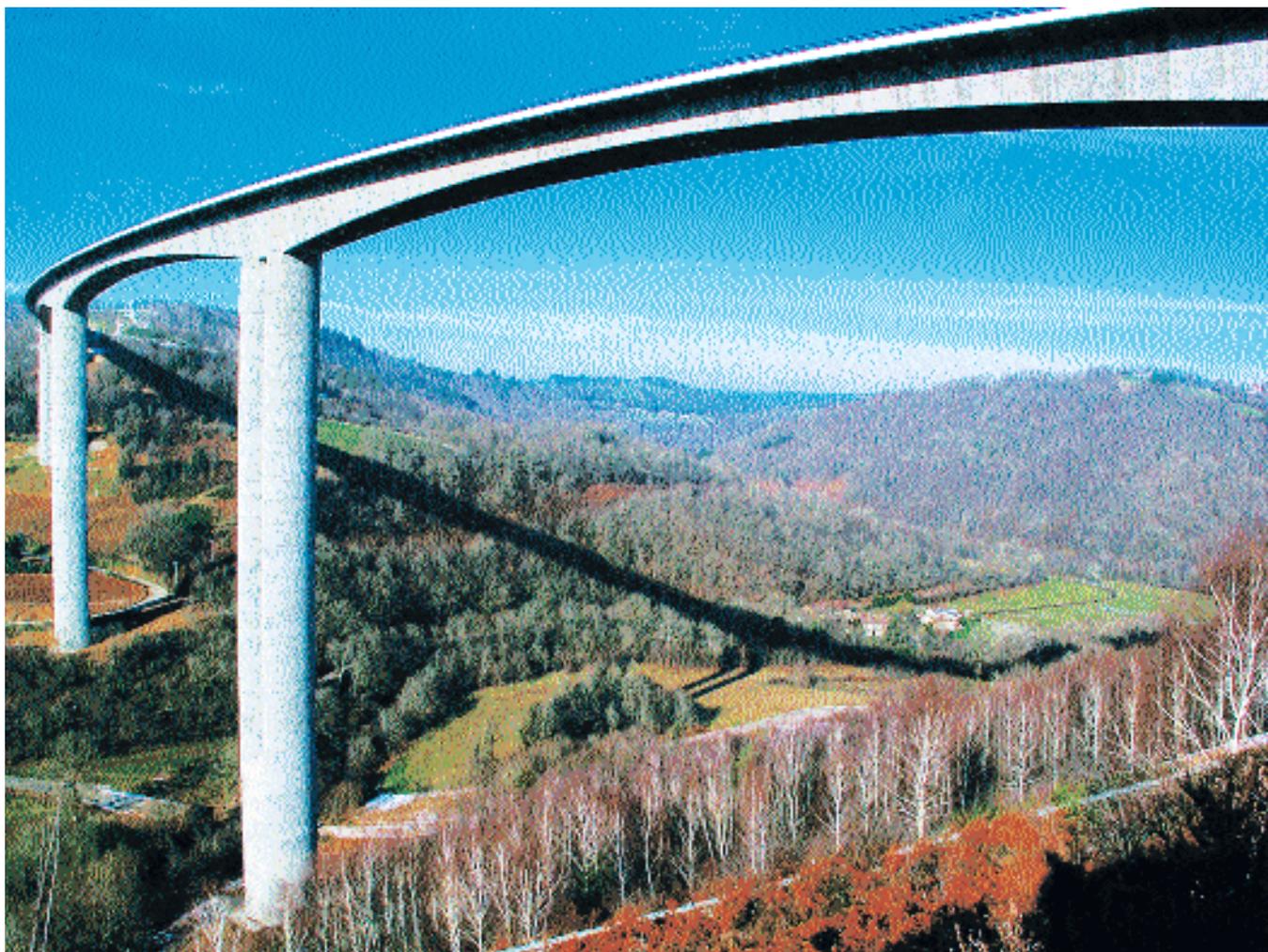
2.2.2 - Rôle des adjuvants

Ainsi que le définit la norme NF EN 934-2, un adjuvant est un produit dont l'incorporation à faible dose (inférieure à 5 % de la masse de ciment) aux bétons, mortiers ou coulis lors du malaxage ou avant la mise en œuvre, provoque les modifications recherchées de telle ou telle de leurs propriétés, à l'état frais ou durci. Sont donc exclus du domaine des adjuvants au sens de la norme, les produits ajoutés au moment du broyage du clinker ou les produits dont le dosage dépasserait 5 % du ciment.

L'emploi d'un adjuvant ne peut entraîner une diminution de certaines caractéristiques du béton que dans les limites précisées par la norme. Il ne doit pas non plus altérer les caractéristiques des armatures du béton ou des aciers de précontrainte.

Chaque adjuvant est défini par une fonction principale et une seule, caractérisée par la ou les modifications majeures qu'il apporte aux propriétés des bétons, des mortiers ou des coulis, à l'état frais ou durci. L'efficacité de la fonction principale de chaque adjuvant peut varier en fonction de son dosage et des composants du béton. Un adjuvant présente généralement une ou plusieurs fonctions secondaires qui sont le plus souvent indépendantes de la fonction principale. L'emploi d'un adjuvant peut aussi entraîner des effets secondaires non directement recherchés. Ainsi un adjuvant réducteur d'eau peut avoir une fonction secondaire de retardateur de prise.

L'utilisation des adjuvants pour la production de béton de structures doit respecter les exigences de la norme NF EN 206-1.



2.2.3 - Classification des adjuvants

La norme NF EN 934-2 classe les adjuvants pour bétons, mortiers et coulis, suivant leur fonction principale. On peut distinguer trois grandes catégories d'adjuvants :

- ceux qui modifient l'ouvrabilité du béton : plastifiants-réducteurs d'eau, superplastifiants (anciennement fluidifiants) ;
- ceux qui modifient la prise et le durcissement : accélérateurs de prise, accélérateurs de durcissement, retardateurs de prise ;
- ceux qui modifient certaines propriétés particulières : entraîneurs d'air, générateurs de gaz, hydrofuges de masse.

Nota

Il faut y ajouter les produits de cure, qui ne sont pas à proprement parler des adjuvants, dont la fonction est de protéger le béton pendant son durcissement.

2.2.4 - Les adjuvants modifiant l'ouvrabilité du béton

Ces adjuvants modifient le comportement rhéologique des bétons, mortiers et coulis à l'état frais, avant le début de prise. Ils abaissent le seuil de cisaillement de la pâte et en modifient la viscosité. La frontière entre les différents types d'adjuvants de cette famille n'est pas toujours très nette, les effets recherchés sont très proches et les différences obtenues sont souvent une question de nuances liées aux dosages préconisés.

■ **Les plastifiants réducteurs d'eau (NF EN 934-2)**

Ces adjuvants ont pour fonction principale de conduire, à même ouvrabilité, à une augmentation des résistances mécaniques par une réduction de la teneur en eau d'un béton, d'un mortier ou d'un

coulis. Ils sont à base de lignosulfonates, de sels d'acides organiques, de mélamine sulfonate, de naphthalène sulfonate et dérivés de mélamine ou naphthalène.

La diminution de la teneur en eau – de 10 à 35 l/m³ de béton – entraîne une augmentation de sa compacité, par conséquent de sa durabilité. Cette amélioration des caractéristiques résulte de la diminution des vides dus à l'excès d'eau.

Ces adjuvants trouvent leur emploi dans l'industrie du béton préfabriqué, qui exige des bétons fermes, pouvant être démoulés rapidement, dans les grands ouvrages de génie civil nécessitant des résistances élevées, ainsi que pour le bétonnage avec coffrages glissants.

■ Les superplastifiants (NF EN 934-2)

Introduits dans un béton, un mortier ou un coulis, en général peu avant sa mise en œuvre, ils ont pour fonction principale de provoquer un fort accroissement de l'ouvrabilité du mélange.

Adjuvants normalisés modifiant la mise en œuvre des bétons et des mortiers (extrait du guide SYNAD)		
	Plastifiants réducteurs d'eau	Superplastifiants
Dosages en % de la masse du ciment	Généralement < 0,5 %	Généralement 0,5 % à 3 %
Introduction	Dans l'eau de gâchage	Dans le béton avant sa mise en œuvre
Effet sur la mise en œuvre du béton	À maniabilité constante réduction d'eau > 6,5 %	À rapport eau/ciment constant grande fluidification du béton gain d'affaissement d'au moins 80 mm
Résistance à toutes les échéances	<ul style="list-style-type: none"> • Supérieures à celles du témoin • Augmentation minimum de 10 % 	Par rapport au témoin, légère diminution possible
Effets secondaires favorables	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation de compacité, diminution de la perméabilité • Possibilité d'améliorer la résistance du béton aux agents chimiques agressifs 	L'emploi de ces adjuvants peut permettre de réaliser des Bétons à Hautes Performances en utilisant de faible rapport eau/ciment
Autres effets	Possibilité d'une légère augmentation de retrait	

Ce sont en général des produits de synthèse organique. Les plus utilisés sont les dérivés de mélamines ou de naphthalène. Ils peuvent être aussi fabriqués à partir de sous-produits de l'industrie du bois purifiés et traités (lignosulfonates).

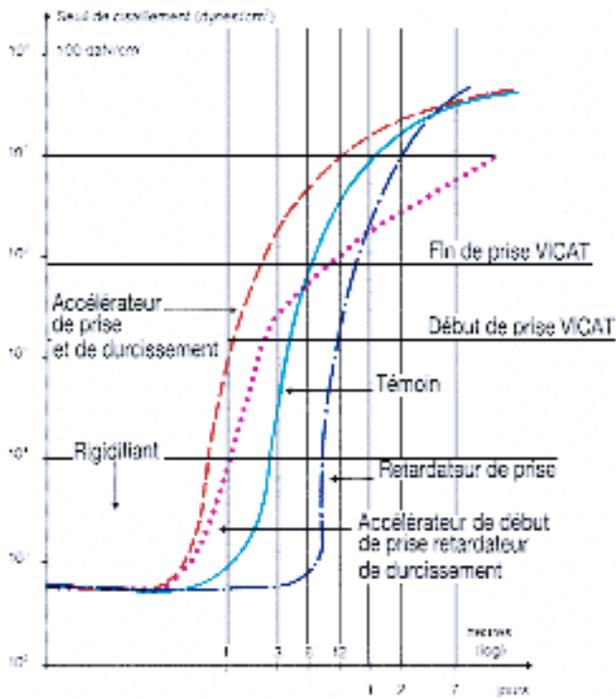
Sur le béton frais, on constate une augmentation considérable de l'ouvrabilité pour une même teneur en eau. Ces effets ont une durée fonction de la température, de la teneur en eau et du dosage en ciment. Il n'y a ni ségrégation, ni ressuage si des précautions sont prises à la mise en œuvre; la cohésion du béton reste très bonne.

Les superplastifiants sont particulièrement utiles pour la réalisation des fondations, dallages, radiers, sols industriels, etc., et pratiquement indispensables pour la confection des bétons de hautes performances. Ils sont couramment utilisés dans le béton prêt à l'emploi, surtout lorsqu'il est pompé.

En 1998, de nouvelles molécules issues de l'industrie chimique, les polyacrylates et les polycarboxylates, ont considérablement amélioré les performances des superplastifiants. Ces adjuvants dits de « nouvelle génération » ont permis notamment le développement des BHP, des BUHP, des BFUP et des bétons autoapçants.

2.2.5 - Les adjuvants modifiant la prise et le durcissement

Ces adjuvants sont des produits chimiques, qui modifient les solubilités des différents constituants des ciments et surtout leur vitesse de dissolution. Physiquement, cette action se traduit par l'évolution du seuil de cisaillement dans le temps, en fonction de l'adjuvant utilisé (le graphique de la page suivante, illustre ce phénomène).



ÉVOLUTION DU SEUIL DE CISAILLEMENT SELON LE TYPE D'ADJUVANT

■ Les accélérateurs de prise et les accélérateurs de durcissement (NF EN 934-2)

L'accélérateur de prise a pour fonction principale de diminuer les temps de début et de fin de prise du ciment dans les bétons, les mortiers ou les coulis. L'accélérateur du durcissement a pour fonction principale d'accélérer le développement des résistances initiales des bétons, des mortiers ou des coulis. Bien souvent ces deux fonctions sont liées et l'on retrouve l'une d'elle comme effet secondaire de l'autre.

Les adjuvants correspondant à la norme mentionnée ne contiennent pas de chlore ; les constituants sont généralement des dérivés de la soude, de la potasse ou de l'ammoniaque. Ils sont à recommander pour les bétonnages par temps froid, les décoffrages rapides, les scellements, les travaux en galerie, les travaux sous l'eau, etc. Les accélérateurs chlorés sortent du champ de la marque NF Adjuvants. Il est à noter qu'un béton fortement accéléré, au moyen d'adjuvants, risque d'avoir une résistance mécanique finale légèrement diminuée.

■ Les retardateurs de prise (NF EN 934-2)

Introduits dans l'eau de gâchage, ils ont pour fonction principale d'augmenter le temps de début de prise et le temps de fin de prise du ciment dans le béton, le mortier ou le coulis. Ils sont à base de lignosulfonates, d'hydrates de carbone ou d'oxydes de zinc ou de plomb.

En général, les retardateurs freinent la diffusion de la chaux libérée par l'hydratation du ciment et retardent de ce fait la cristallisation. Par rapport au témoin, l'augmentation du temps de début de prise est comprise entre une heure et deux heures. Au-delà de vingt-huit jours et souvent même dans un délai plus court, les résistances mécaniques sont en général augmentées par rapport au témoin. Les retardateurs de prise sont particulièrement recommandés pour les bétonnages par temps chaud et les bétonnages en grande masse. Ils permettent aussi de faciliter les reprises de bétonnage.

Adjuvants normalisés modifiant la prise et le durcissement du ciment (extrait du guide SYNAD)

	Accélérateurs de prise	Accélérateurs de durcissement	Retardateurs de prise
Dosage/masse de ciment	1 à 3 %	0,2 à 3 %	0,1 à 1 %
Introduction	Dans l'eau de gâchage		
Effets sur la prise	Accélération variable suivant les dosages les types de ciments et les températures.		Retards très variable suivant dosages, ciments, températures.
Effets sur les résistances	initiales (avant 3 jours)	Augmentées à 1 ou 2 jours.	Augmentées.
	finales (avant 28 jours)	Légèrement diminuées (d'autant plus que la prise aura été accélérée).	Inchangées ou légèrement diminuées
Effets secondaires favorables	-	-	Amélioration de maniabilité avec possibilité de réduction d'eau
Autres effets	Possibilité d'une légère augmentation de retrait		-

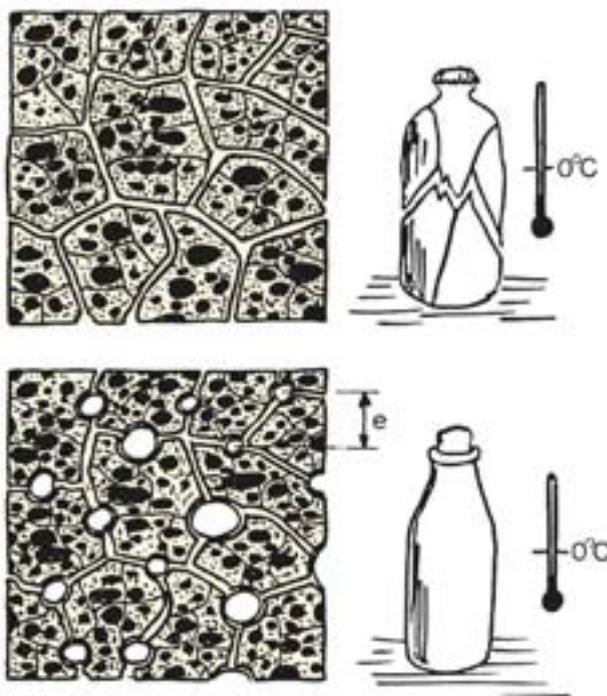
2.2.6 - Les adjuvants modifiant certaines propriétés du béton

■ Les entraîneurs d'air (NF EN 934-2)

Ils ont pour fonction d'entraîner la formation dans le béton, le mortier ou le coulis, de microbulles d'air uniformément réparties dans la masse. Les entraîneurs d'air sont des corps tensio-actifs : ligno-sulfonates, abiétates de résines, sels d'éthanolamine, que l'on mélange en fonction des propriétés à obtenir.

Le béton durci contient naturellement une certaine quantité d'air provenant, soit d'un entraînement lors du malaxage, soit de l'évaporation de l'eau de gâchage non fixée. Cet air (de l'ordre de 20 l/m³, soit 2 % du volume) est réparti de manière aléatoire. En revanche, l'entraîneur d'air permet d'en entraîner un volume supérieur et de le répartir uniformément. La résistance au gel du béton durci, ainsi que sa résistance aux sels de déverglaçage, sont considérablement améliorées. Les microbulles qui coupent les réseaux des capillaires limitent le développement des contraintes dues au gel de l'eau interstitielle.

L'utilisation des entraîneurs d'air pour les bétons routiers est obligatoire. La valeur de l'air occlus doit être comprise entre 4 et 6 %. Il est recommandé de coupler l'utilisation d'un plastifiant à tout emploi d'entraîneur d'air.



La création d'un réseau de microbulles d'air accroît considérablement la résistance au gel du béton.

Adjuvants normalisés modifiant la résistance au gel-dégel et aux milieux agressifs (extrait du guide SYNAD)

	Entraîneurs d'air	Hydrofuges
Dosages (masse du ciment)	0,01 à 0,5 %	1 à 3 %
Résistances aux cycles gel-dégel	Emploi recommandé Bonne amélioration	-
Résistance aux agressions atmosphériques, CO₂, atmosphère maritime	Effet variable	Amélioration de la résistance grâce à la diminution de la perméabilité à l'air
Résistance aux agents chimiques agressifs (eaux séléniteuses, eau sulfatée, etc.)	Amélioration possible	Amélioration grâce à la diminution de la perméabilité du béton
Effets secondaires favorables	Amélioration du parement	-

■ Les hydrofuges de masse (NF EN 934-2)

Les hydrofuges de masse ont pour fonction principale de diminuer l'absorption capillaire des bétons, des mortiers ou des coulis durcis. Cette diminution de l'absorption capillaire procure une bonne étanchéité au béton. Les hydrofuges sont généralement à base d'acides gras ou de leurs dérivés (stéarates). Ils peuvent également comporter des matières fines (type bentonite) ainsi que des agents fluidifiants.

Leur action est très variable suivant leurs compositions, leurs dosages et les types de bétons auxquels ils sont incorporés. Les temps de prise peuvent être augmentés. L'efficacité dépend de la nature du ciment. Cependant, il convient de se rappeler qu'ils ne peuvent pas rendre étanche un mauvais béton, mal composé, présentant des vides importants ou des hétérogénéités.

Ils sont utilisés pour les bétons d'ouvrages hydrauliques (canaux, murs de fondation, retenues d'eau...) et les mortiers d'étanchéité (chapes, joints de maçonnerie, galeries de tunnels).

■ Les rétenteurs d'eau (NF EN 934-2)

Ces produits ont pour fonction de réguler l'évaporation de l'eau et d'augmenter ainsi, l'homogénéité et la stabilité du mélange. Le ressuage par l'action de ces stabilisants est réduit de 50 %. La rhéologie du béton frais est améliorée même dans le cas d'une diminution du volume des fines. La diminution des résistances à 28 jours par rapport à un béton témoin est de l'ordre de 20 %.

Action des rétenteurs d'eau	
Dosage	Généralement < 0,5 %
Effet sur la mise en œuvre du béton	Diminution du ressuage de 50 %
Résistance à toutes les échéances	Par rapport au témoin, légère diminution possible
Effets secondaires favorables	Amélioration de la rhéologie du béton frais dans le cas d'un manque en éléments fins

Ces produits, qui sont, entre autres, des agents colloïdaux ou des dérivés de la cellulose sont utilisés pour l'exécution de mélanges retardés ou de mélanges à couler sous l'eau sans délavage.

2.2.7 - Les produits de cure

Les produits de cure (norme NF P 18-370) ont pour effet de protéger le béton frais après sa mise en œuvre, en évitant sa dessiccation par évaporation trop rapide de l'eau. Celle-ci entraînerait une baisse des résistances mécaniques, la formation de fissures de retrait avant prise, un poudroïement et un déchaussement des granulats. Ces produits sont à base de résines, cires ou paraffines en émulsion aqueuse, de résines naturelles ou synthétiques, de cires ou de paraffines dissoutes dans un solvant pétrolier, de caoutchouc chloré.

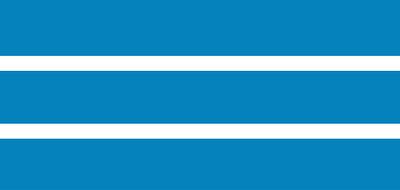
Les produits de cure sont des produits que l'on peut pulvériser sur le béton frais. Il se forme après application un film continu imperméable qu'il faut ensuite éliminer par brossage si un revêtement doit être appliqué sur le béton. Ils sont particulièrement recommandés pour les bétonnages de routes, pistes, dallages, planchers et généralement tous les ouvrages pour lesquels le rapport surface d'évaporation/épaisseur est élevé.

Nota

Les producteurs d'adjuvants ayant une des produits bénéficiant de la marque NF Adjuvants, sont adhérents au Syndicat National des Adjuvants pour Béton et Mortiers - SYNAD, 3, rue Alfred-Roll, 75017 Paris.

Choix du type d'adjuvant en fonction de sa propriété								
PROPRIÉTÉ	ADJUVANTS							
	Réducteurs d'eau	Plastifiants	Superplastifiants	Accélérateurs de durcissement	Accélérateurs de prise	Retardateurs de prise	Entraîneurs d'air	Hydrofuges de masses
Ouvrabilité		+	+				+	
Temps de prise					-	+		
Résistances	court terme (3 jours)	+	+	+	+	-	-	
	long terme (> 28 jours)	+	+		=	+	-	
Air occlus							+	
Résistance au gel du béton durci	+						+	
Compacité	+	+	+					
État de surface		+					+	
Perméabilité sous pression hydraulique			-					-





Chapitre

3

Le contexte normatif des bétons

3.1 Introduction

3.2 Norme NF EN 206-1

3.3 Normes pour les produits préfabriqués en béton

3.1 Introduction

La résistance du béton, aux diverses conditions environnementales auxquelles il est soumis pendant la durée de service prévue de la structure, est conditionnée notamment par le respect de spécifications sur le béton.

Ces exigences concernent en particulier les bétons structuraux de bâtiments et d'ouvrages de génie civil. Pour ces bétons, les spécifications sont définies dans la norme NF EN 206-1 ou dans les normes de produit :

- les bétons coulés en place, qu'ils soient réalisés par un producteur de béton prêt à l'emploi ou sur le chantier, destinés aux bâtiments et ouvrages de génie civil sont gouvernés par la norme NF EN 206-1, dont l'édition française est parue en avril 2004 et qui est d'application effective depuis le 1^{er} janvier 2005 ;
- pour les produits préfabriqués structuraux en béton, autres que les blocs-béton, les normes européennes harmonisées s'appuient sur la norme NF EN 13369, laquelle précise et complète, pour les aspects concernant les produits préfabriqués structuraux, la norme NF EN 206-1.

Pour les autres produits préfabriqués, dont les blocs, il existe des normes qui contiennent en elles-mêmes toutes les spécifications nécessaires. Les produits en béton sont conformes à leurs normes respectives.

La commande du béton prêt à l'emploi est réalisée en se référant à la norme NF EN 206-1 que le béton de chantier doit, lui aussi, respecter. La commande d'un produit préfabriqué en béton est effectuée en se référant à la norme NF EN de produit qui s'applique.

La norme NF EN 206-1, les normes de produits en béton, la norme NF EN 13369, les normes sur les constituants et les Eurocodes, constituent un ensemble cohérent.

3.2 Norme NF EN 206-1

La norme NF EN 206-1 (béton partie 1 : spécifications, performances, production et conformité) définit pour les bétons de structure en plus des spécifications relatives au béton, les responsabilités du prescripteur (responsable de la spécification du béton) et du producteur (responsable de la conformité et du contrôle de la production). Elle fournit des règles précises concernant la spécification, la production, la livraison et le contrôle de la conformité des bétons. Elle s'applique lorsque le lieu d'utilisation du béton est la France.

La norme NF EN 206-1 prend en compte les expériences européennes, tout en conservant les acquis en matière de connaissance française du matériau béton au travers de son annexe nationale. Pour le béton prêt à l'emploi, elle s'inscrit dans la continuité de la norme Française XP P 18-305. Elle impose au prescripteur de définir les risques d'agressions et d'attaques auxquels le béton de l'ouvrage ou de chaque partie d'ouvrage va être exposé pendant la durée de service de la structure et donc de prescrire le béton parfaitement adapté.

La norme homologuée NF EN 206-1 publiée par l'AFNOR est d'application effective depuis le 1^{er} janvier 2005. Elle est composée de la norme européenne EN 206-1 et de l'Annexe Nationale Française, indispensable pour son utilisation, qui spécifie les dispositions complémentaires à respecter en France pour tenir compte des spécificités climatiques et des techniques de construction. Ces dispositions complémentaires sont intégrées au texte de la norme européenne avec l'indice repère NA.

3.2.1 - Une évolution dans la continuité

La norme NF EN 206-1 est l'aboutissement de vingt ans de travail de normalisation européenne, réalisée par le TC 104 du Comité Européen de

Normalisation (le CEN, composé à l'époque du vote des représentants des dix-neuf pays membres). En 1990, l'adoption de la prénorme européenne ENV 206 a constitué une première étape en permettant aux pays membres du CEN de l'adopter comme norme nationale ou, comme en France avec la norme XP P 18-305 (parue en août 1996), de publier des normes nationales s'en inspirant. Pendant les dix années qui suivirent, les travaux furent poursuivis pour aboutir, en 2000, à l'adoption de la norme européenne EN 206-1.

La norme NF EN 206-1 a pour objectif de faciliter la commande et l'utilisation du béton au sein de l'Union Européenne. Elle est accompagnée d'une vingtaine de normes d'essais sur les bétons (séries de norme NF EN 12350 pour les bétons frais et NF EN 12390 pour les bétons durcis) sur les constituants (granulats pour béton NF EN 12620 et XP P 18-545, ciments courants NF EN 197-1, adjuvants pour bétons NF EN 934-2, laitier de haut fourneau NF P 18-506, cendres volantes pour béton NF EN 450, fumées de silice NF P 18-502 et eau de gâchage NF EN 1008, ciments avec caractéristiques complémentaires NF P 15-317 et XP P 15-319).

Le respect de la norme NF EN 206-1 est exigé par les textes concernant l'exécution des ouvrages et des structures en béton, en particulier le fascicule 65 A et le DTU 21 (norme NF P 18-201) mis à jour et adaptés pour en préciser les modalités d'application. Le code des assurances précise que son non-respect déchoit l'assuré de ses droits.

Elle prend en compte la notion de durabilité en s'appuyant sur la notion de classe d'exposition. Elle permet, par une combinaison de classes d'exposition, de définir avec précision l'environnement de chaque partie d'ouvrage. Elle spécifie, en termes de composition et de performance, des formules de béton adaptées pour chaque classe d'exposition, elle fournit les critères de conformité et les règles pour l'évaluation de la conformité.

Pour la conception et le dimensionnement des structures, la norme NF EN 206-1, les normes de produits en béton, les normes sur les constituants, et la norme NF EN 13369 forment un ensemble cohérent avec l'Eurocode 2 (NF EN 1992) qui remplacera lors de sa publication les règles BAEL et BPEL. L'Eurocode 2 définit en fonction de chaque classe d'exposition des dispositions constructives et des spécifications adaptées.

Nota 1

Les principales différences entre la norme NF EN 206-1 et la norme XP P 18-305 sont indiquées en introduction de l'Annexe Nationale Française. Elles concernent essentiellement :

- *une clarification des responsabilités techniques respectives du prescripteur, du producteur et de l'utilisateur du béton ;*
- *un vocabulaire nouveau (type de béton, classes de résistances, classes d'expositions, classes de consistance, etc.) ;*
- *une définition du contrôle de production par l'imposition de fréquences élevées des prélèvements sur les bétons ;*
- *des critères de conformité plus exigeants pour les bétons de résistance caractéristique inférieure ou égale à 30 MPa ;*
- *l'imposition d'une mesure et d'une mention de la teneur en chlorures de chaque béton.*

Nota 2

Les aspects relatifs à l'exécution des ouvrages seront précisés dans la norme NF EN 13670 (exécution des ouvrages en béton en préparation).

Nota 3

Cette norme ne comporte pas de partie harmonisée et donc les bétons qu'elle couvre ne sont pas soumis aux exigences du marquage CE.

3.2.2 - Bétons concernés par la norme NF EN 206-1

Le domaine d'application de la norme NF EN 206-1 comprend tous les bétons destinés aux structures ou éléments de structures de bâtiments et d'ouvrages de génie civil coulés en place. Elle s'applique aux bétons de chantier dans les conditions définies dans la norme d'exécution des ouvrages en béton NF P 18-201 (DTU 21) ou dans le fascicule 65 A.

La norme NF EN 206-1 couvre :

- les bétons dont l'air occlus (autre que l'air entraîné) est négligeable ;
- les bétons de masse volumique normale (masse volumique comprise entre 2 000 et 2 600 kg/m³)
- les bétons lourds (masse volumique supérieure à 2 600 kg/m³)
- les bétons légers (masse volumique comprise entre 800 et 2 000 kg/m³)

Elle ne concerne pas les bétons non structuraux et les bétons particuliers tels que les bétons de tranchée, de remplissage, de calage, de propreté, caverneux réalisés avec des granulats non-minéraux, aérés...

Des exigences complémentaires peuvent être données dans d'autres normes européennes spécifiques pour les bétons de fibres, les bétons destinés aux routes et autres aires de circulation, les bétons dont le D_{\max} est inférieur 4 mm (mortier), les bétons projetés, les bétons pour stockage de déchets liquides et gazeux, les bétons pour réservoirs de stockage de produits polluants, les bétons pour des structures massives (barrages), les bétons prémélangés à sec.

Nota

Pour les produits en béton, ce sont les normes de produit qui s'appliquent. La norme NF EN 13369 « Règles communes pour les produits préfabriqués en béton » précise les exigences de la norme NF EN 206-1 concernant les produits structuraux préfabriqués.

Nota

La norme NF EN 206-1 ne permet pas de prescrire et de vérifier le caractère autoplacant des BAP, elle couvre, par contre, toutes leurs autres propriétés. Il n'y a donc pas de difficulté à concevoir un BAP conforme à cette norme.

Les BFUP sont en dehors du domaine d'application de la norme NF EN 206-1, compte tenu en particulier de leur composition et de leur niveau de performance.

La norme de référence pour les bétons de chaussées est la norme NF P 98-170 « Chaussées en béton de ciment - exécution et contrôle ».

La norme NF EN 206-1 concerne le matériau béton. Elle ne concerne ni l'ouvrage, ni l'exécution de l'ouvrage.

3.2.3 - Classes d'exposition des bétons

La norme NF EN 206-1 définit des classes d'exposition en fonction des actions dues à l'environnement auxquelles les bétons de l'ouvrage ou de la partie de l'ouvrage vont être soumis pendant leur durée de service.

Nota

Actions dues à l'environnement = Actions physiques et chimiques auxquelles le béton est exposé, qui entraînent des effets sur le béton et les armatures et qui ne sont pas considérées comme des charges pour la conception de la structure.

La norme NF EN 206-1 définit dix-huit sous-classes d'exposition regroupées en six classes par risque de corrosion, d'attaques ou d'agressions dépendant des actions et conditions environnementales auxquelles le béton de l'ouvrage, ou de la partie de l'ouvrage, est soumis. À chacune des classes correspondent des spécifications sur la composition des bétons, sous forme d'exigences minimales à respecter.

En France, la désignation de la classe d'exposition doit être suivie du sigle (F) ainsi que prévu par l'article 11 de l'Annexe Nationale qui a adapté les classes d'exposition au contexte climatique et géographique français. Se référer au tableau ci-contre : classes d'exposition des bétons selon la norme NF EN 206-1.

Classe XO : aucun risque de corrosion ou d'attaque.

Classe XC : corrosion induite par carbonatation.

Classe XD : corrosion induite par les chlorures ayant une origine autre que marine.

Classe XS : corrosion induite par les chlorures présents dans l'eau de mer.

Classe XF : attaque gel/dégel avec ou sans agent de déverglaçage.

Classe XA : attaques chimiques.

Classes d'exposition des bétons selon la norme NF EN 206-1

Classe d'exposition	Description de l'environnement	Béton concerné
XO	Aucun risque de corrosion ou d'attaque	Béton non armé ou béton armé en environnement très sec
XC	Corrosion induite par carbonatation	Béton contenant des armatures ou des pièces métalliques noyées exposé à l'air et à l'humidité
	XC1 Sec ou humide en permanence	
	XC2 Humide, rarement sec	
	XC3 Humidité modérée	
XC4 Alternance d'humidité et de séchage		
XD	Corrosion induite par les chlorures ayant une origine autre que marine	Béton contenant des armatures ou des pièces métalliques noyées soumis au contact d'une eau ayant une origine autre que marine contenant des chlorures, y compris des sels de déverglaçage
	XD1 Humidité modérée	
	XD2 Humide, rarement sec	
	XD3 Alternance d'humidité et de séchage	
XS	Corrosion induite par les chlorures présents dans l'eau de mer	Béton contenant des armatures ou des pièces métalliques noyées soumis au contact des chlorures présents dans l'eau de mer ou à l'action de l'air véhiculant du sel marin
	XS1 Exposé à l'air véhiculant du sel marin, mais pas en contact direct avec l'eau de mer	
	XS2 Immergé en permanence	
	XS3 Zone de marnage, zone soumise à des projections ou à des embruns	
XF	Attaque gel/dégel avec ou sans agent de déverglaçage	Béton soumis à une attaque significative due à des cycles gel/dégel alors qu'il est mouillé
	XF1 Saturation modérée en eau sans agent de déverglaçage	
	XF2 Saturation modérée en eau avec agent de déverglaçage	
	XF3 Forte saturation en eau sans agent de déverglaçage	
	XF4 Forte saturation en eau avec agent de déverglaçage	
XA	Attaques chimiques	Béton exposé aux attaques chimiques se produisant dans les sols naturels, les eaux de surface et/ou les eaux souterraines
	XA1 Environnement à faible agressivité chimique	
	XA2 Environnement d'agressivité chimique modérée	
	XA3 Environnement à forte agressivité chimique	

La combinaison des classes d'exposition permet de définir avec précision l'environnement de chaque partie d'ouvrage.

Chaque sous classe fait l'objet d'une description des conditions environnementales et est illustrée d'exemples informatifs.

À chacune des classes correspondent des spécifications sur la composition du béton et la classe de résistance, sous forme de valeurs limites.

Nota

L'Eurocode 2 définit pour les ouvrages structurels des dispositions constructives et des spécifications pour le dimensionnement (valeur minimale des enrobages, valeur limite d'ouverture des fissures, etc.) en fonction de chaque classe d'exposition.

Nota

La classe « XO » concerne les bétons ne comportant aucun risque de corrosion, ni d'attaque. Cette classe ne peut concerner que les bétons non armés, ou faiblement armés avec un enrobage d'au moins 5 cm à condition qu'ils ne soient soumis ni au gel, ni à l'abrasion, ni à des attaques chimiques.

Les quatre classes d'exposition aux attaques gel/dégel sont définies dans une carte des zones de gel en France (figure NA.2 de l'Annexe nationale française) avec

XF1 : gel faible ou modéré sans agent de déverglaçage.

XF2 : gel faible ou modéré avec agent de déverglaçage.

XF3 : gel sévère sans agent de déverglaçage.

XF4 : gel sévère avec agent de déverglaçage.

3.2.4 - Exigences spécifiées par la norme NF EN 206-1

La norme NF EN 206-1 spécifie les exigences applicables :

- aux constituants du béton ;
- aux propriétés du béton frais et durci et à leur vérification ;
- aux limitations imposées à la composition du béton ;
- à la spécification du béton ;
- à la livraison du béton frais ;
- aux procédures de contrôle de production ;
- aux critères de conformité et à l'évaluation de la conformité.

3.2.5 - Exigences liées aux classes d'exposition

La résistance du béton aux diverses conditions environnementales auxquelles il est soumis pendant la durée de service prévue de la structure impose le respect d'exigences précises. Ces exigences propres à chaque classe d'exposition doivent être spécifiées en termes de :

- type et classe de constituants permis ;
- rapport maximal eau/ciment ;
- dosage minimal en ciment (ou absorption d'eau maximale dans les cas des produits structuraux préfabriqués) ;

- résistance minimale à la compression du béton ; et, dans certains cas :

- teneur minimale en air du béton ou résistance à des essais de gel-dégel.

Les exigences de durabilité du béton doivent prendre en compte la durée de service prévue des structures d'au moins 50 ans pour les bâtiments et 100 ans pour les ouvrages d'art, dans des conditions d'entretien optimales. Un même béton peut être soumis à plusieurs types d'agression. Dans ce cas, il devra respecter toutes les exigences prévues pour chaque classe d'exposition.

Nota

Le fascicule de documentation AFNOR ED P 18-011 fournit des recommandations complémentaires aux exigences de la norme NF EN 206-1, pour les bétons soumis aux environnements chimiques agressifs.

Le choix de la classe d'exposition est de la responsabilité du prescripteur.

3.2.6 - Trois types de béton

La norme NF EN 206-1 décline trois types de béton.

■ Béton à Propriétés Spécifiées (BPS)

Béton pour lequel les propriétés requises et les caractéristiques supplémentaires sont spécifiées par le prescripteur au producteur. Le producteur est responsable de fournir un béton satisfaisant à ces exigences.

■ Béton à Composition Prescrite (BCP)

Béton pour lequel la composition et les constituants à utiliser sont spécifiés par le prescripteur au producteur. Le producteur est responsable de fournir un béton respectant cette composition.

La responsabilité du prescripteur est de réaliser une étude de formulation et d'établir la composition détaillée du béton qu'il doit fournir au producteur.

■ Béton à Composition Prescrite dans une norme

Béton dont la composition est définie dans une norme applicable là où le béton est utilisé – en France, l'un des exemples est la norme NF P 18-201 (DTU 21) qui spécifie des compositions de béton pour des applications particulières (ouvrages de catégorie A) dans l'article 4.5.3. Le prescripteur a la responsabilité dans ce cas de sélectionner, dans la norme, la composition appropriée à l'ouvrage.

3.2.7 - Tâches et responsabilité des acteurs

La norme NF EN 206-1 distingue les notions de prescripteur, de producteur du béton et d'utilisateur. Elle définit et donc clarifie les tâches et les responsabilités de chaque acteur.

Le prescripteur

Personne physique ou morale qui établit la spécification du béton frais et durci, le prescripteur est responsable de la spécification du béton et du choix de la classe d'exposition.

Le producteur

Personne physique ou morale qui produit le béton frais, le producteur est responsable de la conformité et du contrôle de production.

L'utilisateur

Personne physique ou morale qui utilise le béton frais pour l'exécution d'un ouvrage, l'utilisateur est responsable de la mise en œuvre du béton dans l'ouvrage.

Le prescripteur du béton doit prescrire toutes les exigences pertinentes nécessaires à l'obtention des propriétés du béton, à sa mise en place, à la cure ou à tout autre traitement ultérieur ou pour obtenir un aspect architectonique. Il doit prendre en compte : l'utilisation du béton frais et durci, les conditions de cure, les agressions environnementales auxquelles la structure sera exposée, toutes

les exigences sur les granulats apparents ou la finition des surfaces, toutes les exigences liées aux enrobages.

Nota

Pour un BPS, le producteur est responsable de fournir un béton qui satisfasse les propriétés spécifiées (résistance, consistance, etc.). Pour un BCP le producteur est responsable de fournir un béton qui respecte la composition prescrite. Les contrôles sur les performances atteintes ne sont pas de sa responsabilité.

Nota

Pour un BCP, le prescripteur (qui, selon la norme, doit être expérimenté et disposer d'une réelle compétence dans la formulation du béton) a la responsabilité de s'assurer que la composition complète prescrite est capable d'atteindre les performances attendues aussi bien à l'état frais que durci, en fonction de la classe d'exposition choisie et qu'elle respecte les exigences spécifiques associées.

3.2.8 - Classification des bétons

La norme NF EN 206-1 définit des spécifications sur les bétons à l'état frais et à l'état durci.

■ Classes de consistance du béton frais

La norme NF EN 206-1 définit pour les bétons à teneur en eau courante, cinq classes de consistance des bétons.

Classes de consistance des bétons					
Classe	S1	S2	S3	S4	S5
Affaissement (en mm)	10 à 40	50 à 90	100 à 150	160 à 210	≥ 220

La mesure de l'affaissement est réalisée à l'aide du cône d'Abrams.

La consistance peut aussi être spécifiée par :

- le temps VEBE (en secondes) : 5 classes VEBE ;
- l'indice de serrage : 4 classes de serrage ;
- le diamètre d'étalement (en mm) : 6 classes d'étalement.

■ Classes de résistance à la compression des bétons durcis

La résistance des bétons durcis à 28 jours peut être mesurée sur des éprouvettes cylindriques ou cubiques, elle peut donc être définie par les deux valeurs suivantes.

- **fck-cyl**: résistance caractéristique (fractile 5 %) en compression du béton déterminée par essais sur éprouvettes cylindriques (trois dimensions sont retenues : Ø = 150 mm – H = 300 mm, Ø = 160 mm – H = 320 mm, Ø = 110 mm – H = 220 mm) ;
- **fck-cube**: résistance caractéristique (fractile 5 %) en compression du béton déterminée par essais sur éprouvettes cubiques (côté : 100 ou 150 mm).

Nota

La norme d'essai tolère une variation de ± 10 % sur les dimensions des éprouvettes. Les cylindres de 160 mm de diamètre et de 320 mm de hauteur répondent à ces critères et peuvent être utilisés pour mesurer la résistance mécanique.

La norme NF EN 206-1 propose deux familles de classes de résistance en fonction de la masse volumique du béton, qui correspondent à la résistance caractéristique que doit atteindre le béton à 28 jours :

- la classe de résistance à la compression des bétons de masse volumique normale et des bétons lourds est désignée par la lettre C suivie des valeurs fck-cyl et fck-cube ;
- la classe de résistance des bétons légers est désignée par les lettres LC suivies des valeurs fck-cyl et fck-cube.

Elle définit respectivement seize classes de résistance pour les bétons de masse volumique normale et les bétons lourds de C 8/10 à C 100/115 et quatorze classes pour les bétons légers de LC 8/9 à LC 80/88. Les bétons légers sont classés selon 6 plages de masse volumique. Par exemple, la classe de résistance C 30/37 correspond à une résistance caractéristique de 30 MPa sur cylindre et 37 MPa sur cube.

Classes de résistance à la compression pour les bétons de masse volumique normale et les bétons lourds		
Classe	fck-cyl (en N/mm²)	fck-cube (en N/mm²)
C 8/10	8	10
C 12/15	12	15
C 16/20	16	20
C 20/25	20	25
C 25/30	25	30
C 30/37	30	37
C 35/45	35	45
C 40/50	40	50
C 45/55	45	55
C 50/60	50	60
C 55/67	55	67
C 60/75	60	75
C 70/85	70	85
C 80/95	80	95
C 90/105	90	105
C 100/115	100	115

Classes de résistance à la compression pour les bétons légers		
Classe	fck-cyl (en N/mm²)	fck-cube (en N/mm²)
LC 8/9	8	9
LC 12/13	12	13
LC 16/18	16	18
LC 20/22	20	22
LC 25/28	25	28
LC 30/33	30	33
LC 35/38	35	38
LC 40/44	40	44
LC 45/50	45	50
LC 50/55	50	55
LC 55/60	55	60
LC 60/66	60	66
LC 70/77	70	77
LC 80/88	80	88

■ Classes de masse volumique

La norme NF EN 206-1 couvre les bétons de masse volumique normale (2 000 à 2 600 kg/m³), les bétons lourds (masse volumique supérieure à 2 600 kg/m³) et les bétons légers (masse volumique comprise entre 800 et 2 000 kg/m³). Les bétons légers sont classés selon six plages de masse volumique.

Type de béton en fonction de sa masse volumique	
	Masse volumique (en kg/m³)
Béton léger	de 800 à 2000
Béton de masse volumique normale	de 2000 à 2 600
Béton lourd	supérieure à 2 600

■ Classes de teneurs en chlorures

La norme NF EN 206-1 définit les teneurs maximales en ions chlorure du béton à respecter en fonction de son type d'utilisation. Elle définit quatre classes de teneur: Cl 1,0 / Cl 0,4 / Cl 0,2 / Cl 0,1. Une cinquième classe a été introduite dans l'Annexe Nationale de la norme NF EN 206-1 : la classe Cl 0,65. Les classes de chlorures permettent d'adapter la composition du béton en fonction des risques de corrosion des armatures.



Classes de chlorures					
Classe de Chlorures	Cl 1,0	Cl 0,65	Cl 0,40	Cl 0,20	Cl 0,10
Teneur maximale (en Cl⁻)	1 %	0,65 %	0,4 %	0,2 %	0,1 %

La teneur maximale en ions chlorure est définie en pourcentage de la masse du ciment, elle concerne la somme des chlorures de tous les constituants.

classe de chlorures à respecter en fonction de l'utilisation du béton	
Utilisation du béton	Classe de chlorure
Béton ne contenant ni armatures en acier ni pièces métalliques noyées	Cl 1,0
Béton contenant des armatures en acier ou des pièces métalliques noyées et formulés avec un ciment de type CEM III	Cl 0,65
Béton contenant des armatures en acier ou des pièces métalliques noyées	Cl 0,40
Béton contenant des armatures de précontrainte en acier	Cl 0,20

■ **Dimension maximale des granulats**

La classification du béton est fonction de la dimension maximale des granulats: dimension nominale supérieure du plus gros granulat présent dans le béton (D_{max}).

3.2.9 - Valeurs limites pour le classement des attaques chimiques

La norme NF EN 206-1 définit les valeurs limites des paramètres correspondants aux attaques chimiques. Ces seuils correspondent à des caractéristiques chimiques des eaux de surfaces et souterraines ou des sols.



Valeurs limites pour les attaques chimiques des eaux de surfaces et souterraines			
Caractéristiques Chimiques	sous classe d'exposition		
	XA1	XA2	XA3
SO_4^{2-} en mg/l	200 à 600	600 à 3000	3000 à 6000
pH	5,5 à 6,5	4,5 à 5,5	4 à 4,5
CO_2 en mg/l	15 à 40	40 à 100	de 100 jusqu'à saturation
NH_4^+ en mg/l	15 à 30	30 à 60	60 à 100
Mg^{2+} en mg/l	300 à 1000	1000 à 3000	de 3000 jusqu'à saturation

Pour ce type d'environnement, l'Annexe Nationale de la norme NF EN 206-1 renvoie au fascicule de documentation P 18-011 « Bétons - classification des environnements agressifs », notamment pour le choix de ciments.

Nota

Le choix de la classe se fait par rapport à la caractéristique chimique conduisant à l'agression la plus élevée.

Valeurs limites par les attaques chimiques des sols naturels			
Caractéristiques Chimiques	sous classe d'exposition		
	XA1	XA2	XA3
SO_4^{2-} en mg/l	2000 à 3000	3000 à 12000	12000 à 24000
Acidité ml/kg	Supérieur à 200 Baumann Gully	n'est pas rencontré dans la pratique	

3.2.10 - Exigences sur les constituants

■ Choix du ciment

Le choix du ciment doit prendre en considération :

- les contraintes d'exécution de l'ouvrage ;
- l'utilisation finale du béton ;
- les conditions de cure ;
- les dimensions de la structure (développement de chaleur) ;
- les agressions environnementales auxquelles la structure est exposée ;
- la réactivité potentielle des granulats aux alcalins des constituants.

■ Choix des granulats

Le type, la dimension et les catégories de granulats doivent être sélectionnés en tenant compte :

- des contraintes d'exécution de l'ouvrage ;
- de l'utilisation finale du béton ;
- des conditions environnementales auxquelles sera soumis le béton ;
- de toutes les exigences liées aux traitements de surface appliqués au béton frais ou durci ;
- le maximum de la dimension nominale supérieure des granulats (D_{max}) est sélectionné en prenant en compte l'épaisseur d'enrobage et la dimension minimale des sections.

3.2.11 - Valeurs limites spécifiées applicables à la composition et aux propriétés des bétons

La norme NF EN 206-1 définit des valeurs limites spécifiées relatives à la composition et aux propriétés du béton en fonction de chaque classe d'exposition dans deux tableaux (NA.F.1 et NA.F.2).

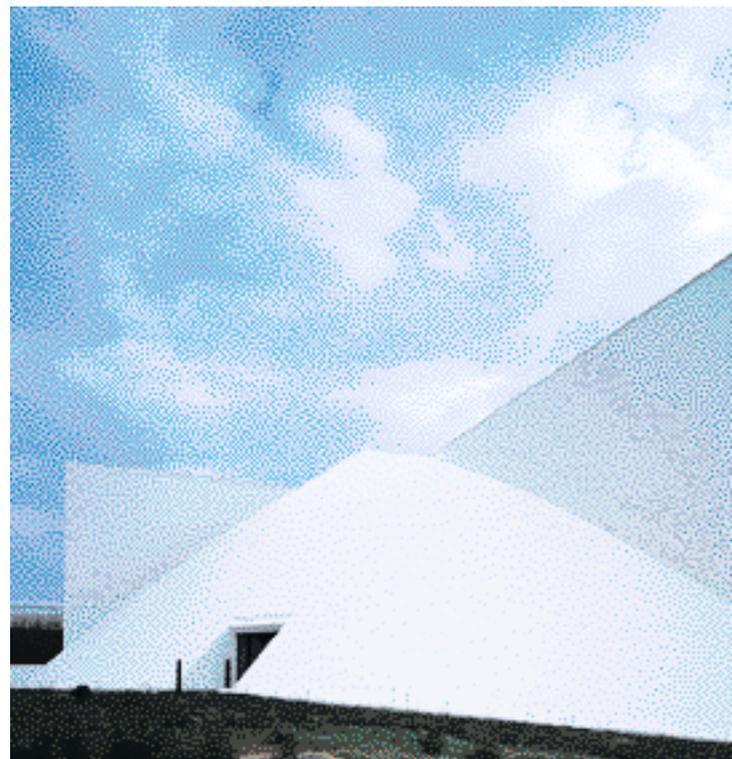
Nota

Les exigences minimales en fonction des classes d'exposition ne sont pas les mêmes dans l'ensemble des pays couverts par l'EN 206-1 compte tenu des particularités climatiques, géologiques et des techniques de construction spécifiques à chaque pays.

Les tableaux NA.F.1 et NA.F.2 précisent en fonction de chaque classe d'exposition :

- le rapport Eau_{efficace}/liant équivalent maximal ;
- la classe de résistance minimale du béton ;
- la teneur minimale en air (le cas échéant).

Ils comportent d'autres exigences, en particulier sur les additions et la nature des ciments à utiliser. Le tableau NA.F.1 précise aussi la teneur minimale en liant équivalent. Le tableau NA.F.2, relatif aux produits préfabriqués en béton en usine introduit l'absorption d'eau maximale du béton en tant qu'indicateur de la compacité du béton. L'industriel a la possibilité d'utiliser au choix les exigences de l'un ou l'autre des deux tableaux. Pour chaque type d'élément préfabriqué, une procédure documentée doit mentionner le tableau auquel il est fait référence. Ces tableaux précisent aussi les quantités maximales pour chaque addition autorisée (cendres volantes, fumées de silice, laitier moulu, addition calcaire et siliceuse).





Valeurs limites spécifiées applicables en France à la composition et aux propriétés du béton (extrait du tableau NA.F.1 de la norme NF EN 206-1)

Classes d'exposition		Rapport E_{eff} / Liant éq maximal	Classe de résistance minimale	Teneur minimale en Liant éq. (kg/m^3)	Teneur minimale en air (%)
Aucun risque de corrosion ou d'attaque		X0	-	150	-
Carbonatation		XC 1	0,65	C20/25	-
		XC 2	0,65	C20/25	-
		XC 3	0,60	C25/30	-
		XC 4	0,60	C25/30	-
Corrosion induite par les chlorures	Eau de mer	XS 1	0,55	C30/37	-
		XS 2	0,55	C30/37	-
		XS 3	0,50	C35/45	-
	Chlorures autres que l'eau de mer	XD 1	0,60	C25/30	-
		XD 2	0,55	C30/37	-
		XD 3	0,50	C35/45	-
Attaque gel/dégel		XF 1	0,60	C25/30	-
		XF 2	0,55	C25/30	4,0
		XF 3	0,55	C30/37	4,0
		XF 4	0,45	C30/37	4,0
Environnement contenant des substances chimiques agressives		XA 1	0,55	C30/37	-
		XA 2	0,50	C35/45	-
		XA 3	0,45	C40/50	-

Nota

Les tableaux NA.F.1 et NA.F.2 comportent également d'autres exigences, en particulier sur les additions et la nature des ciments à utiliser.

Valeurs limites spécifiées applicables en France pour la composition et les propriétés des produits en béton fabriqués en usine

(extrait du tableau NA.E.2 de la norme NF EN 206-1)

Classes d'exposition		Rapport E_{eff} /liant éq maximal	Classe de résistance minimale	Absorption d'eau maximale (%)	Teneur minimale en air (%)
Aucun risque de corrosion ou d'attaque		X0	C 20/25	-	-
Carbonatation		XC 1	C 25/30	7	-
		XC 2	C 30/37	6	-
		XC 3	C 35/45	6	-
		XC 4	C 35/45	5	-
Corrosion induite par les chlorures	Eau de mer	XS 1	C 35/45	6	-
		XS 2	C 40/50	6	-
		XS 3	C 40/50	4	-
	Chlorures autres que l'eau de mer	XD 1	C 35/45	6	-
		XD 2	C 35/45	5	-
		XD 3	C 40/50	5	-
Attaque gel/dégel		XF 1	C 35/45	6	-
		XF 2	C 35/45	5	4,0
		XF 3	C 35/45	5	4,0
		XF 4	C 35/45	4	4,0
Environnement contenant des substances chimiques agressives		XA 1	C 35/45	6	-
		XA 2	C 35/45	5	-
		XA 3	C 40/50	4	-



3.2.12 - Méthode de conception performancielle

La norme NF EN 206-1 prévoit que les spécifications relatives aux classes d'exposition puissent être définies en utilisant des méthodes de conception performancielle. En France, ces concepts sont appliqués pour différentes agressions.

- L'alcali-réaction: recommandations pour la prévention des désordres dus à l'alcali-réaction (LCPC juin 1994).
- Le gel: recommandations pour la durabilité des bétons durcis soumis au gel (LCPC décembre 2003).
- Carbonatation et pénétration des chlorures (Guide AFGC 2003).

3.2.13 - Contrôle de conformité

La norme NF EN 206-1 décrit les bases d'un système qualité du producteur, elle fournit des critères statistiques de conformité et les règles d'évaluation. Le contrôle de conformité du béton vise à vérifier la conformité du béton avec les spécifications. Il est défini par:

- un plan d'échantillonnage précisant le nombre et la fréquence minimale des prélèvements nécessaires aux essais de contrôle;
- un plan d'essais de contrôle définissant les essais à effectuer;
- des critères de conformité permettant d'exploiter les résultats des essais pour attester de la conformité.

L'échantillonnage et les essais de conformité doivent être effectués, soit sur chaque composition de béton prise individuellement, soit sur des familles de bétons dont la représentativité est établie. Une famille de béton est un groupe de compositions de béton pour lesquelles une relation fiable entre des propriétés pertinentes a été établie (règles de formulation et règles de passages entre les bétons composant la même famille). La notion de famille peut être élargie dans le cas de centrale faisant l'objet d'une certification du contrôle de production.

Nota

La fréquence minimale d'échantillonnage est modulée en fonction du système de certification de contrôle de production du béton.

Les contrôles de conformité concernent en particulier la résistance en compression, la masse volumique, le rapport Eau/Liant, la teneur en ciment, la consistance. La conformité des bétons est évaluée sur la base de la conformité des résultats d'essais par rapport, aux limites de la classe, ou aux valeurs limites spécifiées, ou aux valeurs cibles, en tenant compte des tolérances et de l'écart admissibles par rapport à ces valeurs spécifiées.

3.2.14 - Contrôle de production

La norme NF EN 206-1 décrit très précisément la nature, le type d'essai à réaliser, la fréquence minimale et l'objectif de ces contrôles et les critères de conformité, selon que la production fasse l'objet ou non d'une certification de production. Elle implique la mise en œuvre par le producteur d'un système qualité comprenant la réalisation d'essais aux fréquences prescrites.

Tous les bétons doivent être soumis au contrôle de production sous la responsabilité du producteur. Le contrôle de production comprend toutes les mesures nécessaires pour maintenir le béton conforme aux exigences spécifiées. Il inclut :

- la sélection des matériaux ;
- la formulation du béton ;
- la production du béton ;
- les inspections et les essais ;
- l'utilisation des résultats des essais sur les constituants, sur le béton frais et durci, et sur les équipements ;
- le cas échéant, il porte également sur l'inspection du matériel de transport du béton frais ;
- le contrôle de conformité.

Toutes les données se rapportant au contrôle de production doivent être enregistrées afin d'assurer une parfaite traçabilité de la production.

Les points de contrôles de production concernent :

- les constituants: ciment, granulats, adjuvants, additions, eau. Des tolérances précises sur le dosage des constituants doivent être respectées.

- le matériel de production: dispositif de stockage, matériel de pesage, distributeurs d'adjuvant, doseur d'eau, système de mesure en continu de la teneur en eau des sables, système de dosage, appareillage d'essai.

- les procédures de production et les propriétés des bétons: propriétés des Bétons à Propriétés Spécifiées, teneur en eau des sables et des gravillons, teneur en eau du béton frais, teneur en chlorures, consistance, masse volumique du béton frais, teneur en ciment, addition et adjuvant du béton frais, rapport Eau/Ciment, teneur en air et température du béton frais et résistance en compression.

3.2.15 - Exemple de désignation des bétons

La commande d'un béton coulé *in situ*, BPS ou BCP, doit impérativement comprendre les informations spécifiées dans l'article 6 de la norme.

■ Bétons à Propriétés Spécifiées (BPS)

BPS	NF EN 206-1	C 30/37	XC1 (F)
D _{max} 22,4	S2	Cl 0,65	

Cette désignation reprend dans l'ordre :

- le type de béton : BPS ;
- la conformité à la norme : NF EN 206-1 ;
- la classe de résistance à la compression : C 30/37 ;
- la classe d'exposition : XC1 (F) ;
- la dimension maximale des granulats : D_{max} 22,4 ;
- la classe de consistance : S 2 ;
- la classe de teneur en chlorure : Cl 0,65.

Nota

La désignation peut aussi comprendre le type et la classe de ciment si celle-ci est spécifiée, conformément à la norme NF EN 197-1, soit par exemple :
CEM III/B 32,5 CE PM ES NF.

Des caractéristiques complémentaires peuvent le cas échéant être demandées en plus des spécifications de base, avec des niveaux de performances contrôlées suivant des méthodes d'essais définies.

■ Bétons à Composition Prescrite (BCP)

Les informations minimales pour définir les BCP sont :

- la référence à la norme NF EN 206-1 ;
- le dosage en ciment ;
- le type et la classe de résistance du ciment ;
- le rapport E/C ou la consistance du béton ;
- la dimension maximale nominale des granulats ainsi que leur type, leur catégorie et leur teneur maximale en chlorures ;
- le cas échéant, le type, la quantité et l'origine des adjuvants et additions.



3.2.16 - Livraison du béton frais

La norme NF EN 206-1 fournit des indications sur la livraison du béton frais sous forme d'exigences pour les bons de livraison du BPE et de conseils pour les autres filières de production. Elle précise les informations nécessaires à la livraison du béton en distinguant les informations à fournir par l'utilisateur de béton au producteur et celles à fournir par le producteur du béton à l'utilisateur.

Les quantités d'ajouts, d'eau ou d'adjuvants ajoutés à la livraison sous la responsabilité du producteur, dans les cas spéciaux, doivent avoir été prévues dans la formulation du béton. Elles doivent respecter les limites autorisées par la spécification. Toute addition complémentaire d'eau, d'adjuvants ou d'ajouts, non prévue dans la formulation, dans le camion malaxeur doit être enregistrée sur le bon de livraison et fait perdre au béton son caractère normalisé. La partie qui requiert cette addition est responsable des conséquences qui pourraient en découler.

Bon de livraison

La norme NF EN 206-1 détaille l'ensemble des informations devant être mentionnées sur le bon de livraison remis à l'utilisateur.

3.2.17 - Conclusion

La norme NF EN 206-1 constitue une évolution importante dans la manière de prescrire, formuler, fabriquer et contrôler les bétons au service de la qualité et de la performance des bétons. Elle s'intègre dans un ensemble cohérent de normes.

Elle définit des exigences (de moyens) pour la durabilité des structures, prend en compte avec précision la notion de classes d'exposition, introduit les classes de résistance pour les bétons légers et de nouvelles classes de résistance du béton (jusqu'à 100 MPa), impose des exigences sévères sur les contrôles de fabrication, (volume de contrôle augmenté et critères de conformité renforcés) prend en compte des additions dans la détermination du rapport eau/ciment, précise la répartition des responsabilités entre le prescripteur, le producteur et l'utilisateur et le rôle de chaque intervenant, définit des dispositions relatives aux essais de conformité, à l'évaluation de la conformité, aux critères de conformité et aux essais d'identification.

Elle permet d'augmenter les performances du béton, de renforcer la régularité de ses caractéristiques, sa qualité et donc d'améliorer la durabilité des ouvrages.

3.3 Normes pour les produits préfabriqués en béton

3.3.1 - Nouvelles normes de produits européennes

Les normes de référence pour les produits préfabriqués en usine sont les normes de produit. Les normes de produit définissent complètement les caractéristiques des produits et leurs constituants. La plupart des normes de produit disposent d'une partie harmonisée qui ouvre au marquage CE. De nombreuses normes sont dites « autoportantes » car elles contiennent en elles-mêmes toutes les spécifications nécessaires (tableau A). C'est le cas pour les blocs par exemple.

En ce qui concerne les produits préfabriqués structuraux en béton, autres que les blocs, les normes européennes harmonisées s'appuient sur la norme NF EN 13369* (tableau B). La norme NF EN 13369 précise et complète, pour les aspects concernant les produits préfabriqués structuraux, la norme NF EN 206-1. Les normes des produits structuraux renvoient, directement ou via la norme NF EN 13369, à l'édition nationale de l'Eurocode 2. Les normes de produit complètent s'il y a lieu ces textes, leur avant-propos national précise certaines pratiques nationales.

Les normes de produits, les normes sur les bétons et les constituants ainsi que les Eurocodes, constituent pour les éléments préfabriqués de structure, un cadre cohérent au niveau européen.

Avec la mise en place de la normalisation européenne dans le domaine des produits structuraux en béton, les référentiels techniques concernant les produits et ouvrages associés vont subir une

* NF EN 13369: « Règles Communes pour les produits préfabriqués en béton ».

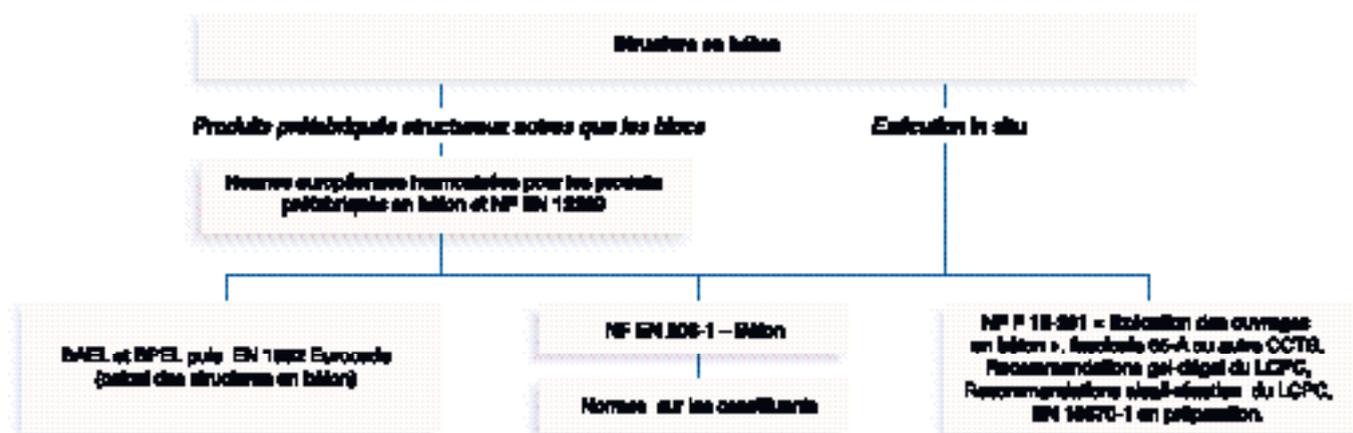
1. Parues ou en cours.
2. Des compléments nationaux d'application existent.
3. Non harmonisée.

Tableau A : les principales normes de produits harmonisées « autoportantes »⁽¹⁾

- Blocs en béton NF EN 771-3/4/5⁽²⁾
- Caniveaux hydrauliques NF EN 1433
- Carreaux de mosaïque NF EN 13748-1/2
- Conduits de fumée NF EN 1857/58 et 12446
- Éléments pour clôtures NF EN 12839
- Éléments de béton de granulats légers à structure ouverte NF EN 1520
- Éléments préfabriqués en béton cellulaire autoclavé armé prEN 12602
- Fosses septiques NF EN 12566-1
- Linteaux NF EN 845-2
- Produits de voirie NF EN 1338/39/40⁽²⁾
- Séparateurs de liquides légers NF EN 858-1
- Séparateurs à graisse NF EN 1825-1
- Traverses de chemin de fer NF EN 13230-1/5
- Tuiles en béton NF EN 490
- Tuyaux, regards, boîtes NF EN 1916/17⁽²⁾

Tableau B : les principales normes^(1,2) de produits harmonisées se référant aux Règles Communes (NF EN 13369)

- Cadre sous chaussées prEN 14844
- Caillebotis pour bétail NF EN 12737⁽³⁾
- Candélabre en béton prEN 40-4
- Mobilier urbain et de jardin NF EN 13198⁽³⁾
- Dalles alvéolées NF EN 1168
- Éléments de fondation prEN 14991
- Éléments de mur et façade prEN 14992
- Éléments linéaires de structure NF EN 13225
- Éléments spéciaux de toiture prEN 13693
- Escaliers prEN 14843
- Pieux de fondation prEN 12794
- Éléments de ponts prEN 15050
- Éléments de planchers nervurés NF EN 13224
- Poutrelles et entrevous pour systèmes de planchers prEN 15037-1/2
- Prédalles pour systèmes de planchers prEN 13747
- Poteaux et mâts NF EN 12843



évolution importante: les codes de calcul BAEL et BPEL vont être progressivement remplacés par les Eurocodes et leurs Annexes Nationales. Les Avis Techniques disparaîtront, pour être remplacés, en ce qui concerne les produits traditionnels, par les normes européennes harmonisées correspondantes, accompagnées d'une certification volontaire, facultative, de type marque NF (ou équivalent). L'application de la norme harmonisée, avec marquage CE des produits, devient obligatoire entre douze et quinze mois après publication d'un avis au Journal Officiel de l'Union Européenne (JOUE). À cette date, l'Avis Technique correspondant ne sera plus applicable et disparaîtra.

En ce qui concerne l'ouvrage, lorsque le couple produit-ouvrage sera considéré comme traditionnel (cas général), la conception et la mise en œuvre seront traitées par une norme NF DTU pour les bâtiments ou par le Cahier des Clauses Techniques Générales (CCTG) pour les ouvrages de génie civil, qui se référeront aux Eurocodes. En cas de constat de non-traditionnalité pour l'utilisation du produit, l'ouvrage pourra être conçu et réalisé dans le cadre d'un Document Technique d'Application.

Durant la période transitoire entre le contexte actuel et les référentiels techniques européens, les différents codes de calcul pourront coexister. La norme NF DTU indiquera la marche à suivre pendant cette période.

Pour la satisfaction des exigences essentielles telles que la résistance mécanique, la résistance au feu et la durabilité, les normes de produits font généralement référence à la norme NF EN 13369 ainsi qu'aux Eurocodes et à leurs Annexes Nationales. Le cas échéant, l'avant propos national de la norme de produit stipule le texte à appliquer.



Les éventuelles dispositions informatives relatives à l'ouvrage réalisé avec les produits peuvent être reprises dans la norme complémentaire NF DTU qui traitera de la conception de l'ouvrage et de la mise en œuvre des produits.

* Une norme harmonisée (avec la Directive Produits de Construction) est une norme dont le respect des spécifications relatives aux exigences essentielles est imposé par la réglementation.

3.3.2 - Marquage CE

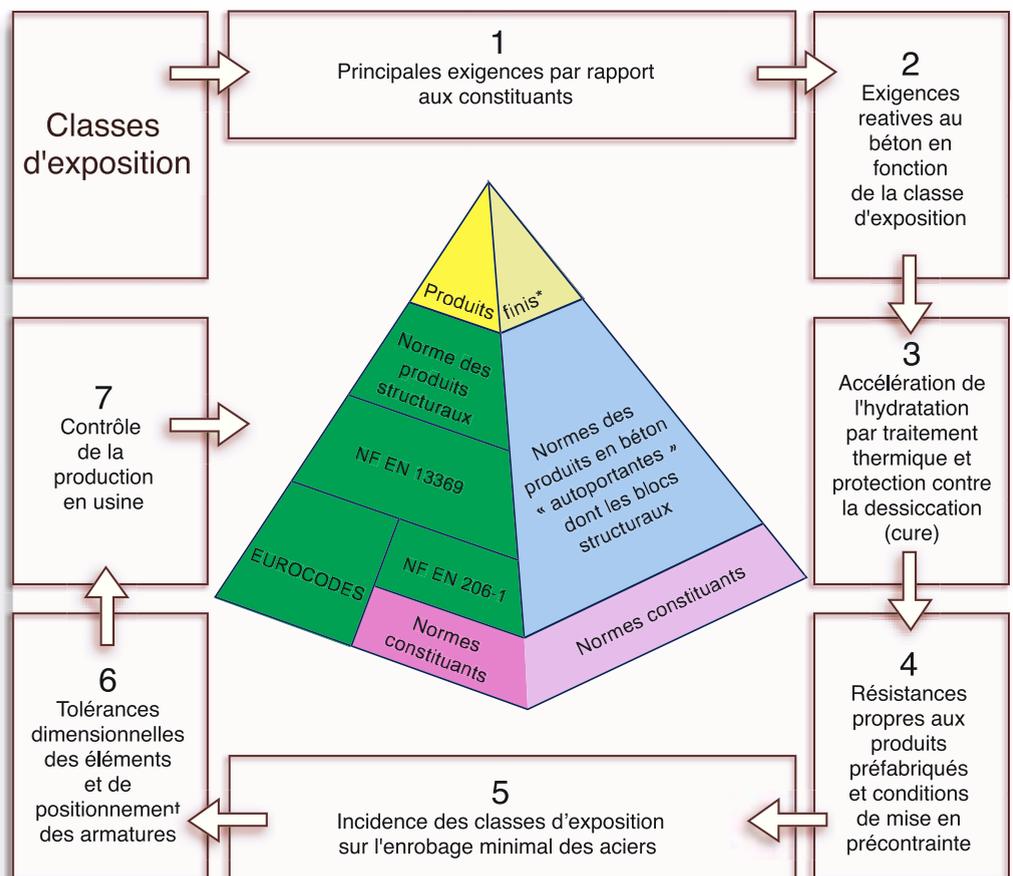
Les normes de produits comportent une partie harmonisée dont le respect, attesté par le marquage obligatoire CE, permet la libre circulation du produit au sein de l'Union européenne (l'Annexe ZA de la norme définit les clauses harmonisées et les modalités du marquage CE). Des annexes informatives fournissent des informations complémentaires destinées généralement à la conception de l'ouvrage. Cette conformité des produits est attestée par le marquage réglementaire CE, le cas échéant complété par une certification volontaire. La certification volontaire complémentaire (NF par exemple) attestera que le produit est conforme à la norme produit et apte à être mis en œuvre selon la norme NF DTU ou le Document d'Application.

3.3.3 - Norme NF EN 13369

La norme NF EN 13369 : « Règles Communes pour les produits préfabriqués en béton » est la norme de base pour toutes les normes de produits structuraux. Elle précise les exigences relatives aux constituants et au béton, ainsi que les conditions générales d'application des Eurocodes pour le dimensionnement des produits préfabriqués en béton. Les Règles Communes servent également de texte de référence pour les produits non couverts par des normes ou des Agréments Techniques Européens (ATE).

La norme NF EN 13369 spécifie la terminologie, les prescriptions, les critères relatifs aux performances de base, les méthodes de vérification et d'évaluation de la conformité pour la fabrication de produits préfabriqués en béton en usine. Elle précise certaines spécifications de fabrication des produits.

SCHÉMA SYNTHÉTIQUE DES PRESCRIPTIONS DE LA NORME NF EN 13369 : 2004



* Conformés à la commande qui en a été faite selon la norme harmonisée desdits produits, marqués CE (réglementaire) et le cas échéant NF (volontaire).

■ Principales exigences par rapport aux constituants

La norme NF EN 13369 spécifie que le béton est réalisé à partir de constituants dont l'aptitude à l'emploi est établie. Cette aptitude est établie dès lors que le constituant respecte l'un des textes ci-après définissant son utilisation dans le béton ou les produits en béton :

- une norme européenne ou internationale (ISO) spécifique au constituant ;
- ou une norme ou des prescriptions nationales en vigueur sur le lieu d'utilisation du produit en béton ;
- ou un agrément technique européen (ATE).

■ Classes d'exposition

La nouvelle définition des classes d'exposition donnée dans la norme NF EN 206-1, et utilisée tant par la norme NF EN 13369 que par l'Eurocode 2, constitue un progrès important, car elle va faciliter la passation des marchés et permettre de prescrire des produits structuraux parfaitement adaptés aux agressions auxquelles ils seront soumis pendant la durée d'utilisation prévue de l'ouvrage.

La résistance du béton aux diverses conditions environnementales auxquelles il est soumis pendant la durée de service prévue de la structure est conditionnée, notamment par le respect de spécifications sur le béton. Ces spécifications concernant le béton doivent être adaptées aux conditions susceptibles d'être rencontrées dans chaque pays européen. Il est donc nécessaire de se référer aux éditions nationales des normes EN 206-1 et EN 13369 en vigueur dans le pays concerné.

L'identification des caractéristiques de l'environnement permet de préciser le type d'agression auquel sera soumis le béton. Les principaux types d'agressions correspondent aux classes relatives à la carbonatation (classes XC), à la présence de chlorures (classes XD), aux environnements marins (classes XS), aux cycles de gel/dégel avec ou sans sels de déverglaçage (classes XF) et aux agressions chimiques (classes XA). Des sous-classes sont également définies. Elles prennent notamment en compte l'humidité relative du milieu et les éventuels cycles d'humidification/séchage.

Les produits en béton peuvent être soumis, selon leur face, à plusieurs types d'actions environne-

mentales simultanément. Dans ce cas, il faut en tenir compte lors de la conception.

Comme les normes spécifient complètement les exigences relatives au produit fini prêt à être mis en œuvre, la seule référence à la norme du produit suffit pour la passation des marchés. Si le marché fait référence à la norme NF EN 206-1, la conformité des produits en béton aux normes européennes correspondantes (norme de produits ou en l'absence norme NF EN 13369) vaut donc satisfaction à la norme NF EN 206-1.

Lorsque les produits en béton préfabriqués structuraux sont couverts par une norme de produit fixant des exigences de durabilité spécifiques alors seules celles-ci s'appliquent. Dans les autres cas, il est possible d'utiliser les spécifications relatives à la composition et aux performances du béton définies dans la norme NF EN 13369. Celles-ci concernent notamment :

- le type et les classes de constituants ;
- le rapport maximal Eau efficace/liant équivalent ;
- le dosage minimal en liant équivalent ou l'absorption d'eau maximale ;
- la résistance minimale à la compression du béton.

Ces spécifications sont définies dans deux tableaux (NA.F.1 et NA.F.2) communs aux normes NF EN 206-1 et NF EN 13369. L'industriel a la possibilité d'utiliser au choix les exigences de l'un ou l'autre des deux tableaux. Pour chaque type d'élément préfabriqué, une procédure documentée doit mentionner quel est le tableau auquel il est fait référence. Les spécifications du tableau NA.F.2 reposent sur une approche performancielle de la durabilité qui permet de prendre en compte l'ensemble des facteurs liés aux formules de béton et aux procédés de fabrication.

Les principales différences du tableau NA.F.2 par rapport au tableau NA.F.1 concernent :

- la prescription de valeurs d'absorption d'eau maximales en remplacement des dosages minimaux en liant équivalent ;
- des limites sur les rapports $\text{Eau}_{\text{efficace}}/\text{Liant}$ équivalent plus contraignantes ;
- la possibilité pour les classes XF d'utiliser des essais de performance : XP P18-420, XP P18-424 et XP P18-425 ;
- des classes de résistances minimales plus élevées pour les classes d'exposition XC, XS, XD et XF.



■ Prescriptions de la norme NF EN 13369

> Accélération de l'hydratation par traitement thermique et protection contre la dessiccation (cure)

Les prescriptions relatives au traitement thermique, procédé largement employé pour la fabrication des produits structuraux en béton, visent à garantir une bonne durabilité des produits en assurant en particulier :

- l'obtention de la résistance mécanique requise ;
- la mise en œuvre de cycles de traitement (préchauffage, vitesse de montée en température, température maximale, refroidissement) limitant les risques de microfissures ou de porosité excessive ;
- que les conditions limites conduisant à des risques de fissuration par formation différée d'ettringite soient évitées.

Les prescriptions relatives à la cure, permettent d'éviter que les surfaces des produits ne soient soumises à une dessiccation pouvant conduire à

une fissuration du béton ou à une altération de l'hydratation du liant. Des mesures de protection appropriées pour limiter la dessiccation (précisées dans le tableau 2 de la norme NF EN 13369) doivent être prises jusqu'à obtention d'une résistance minimale (spécifiée dans le tableau 1 de la norme NF EN 13369) du béton. Cette résistance minimale est adaptée aux futures conditions environnementales du produit dans l'ouvrage.

> Résistances propres aux produits préfabriqués et conditions de mise en précontrainte

Des classes de résistance minimales sont définies pour les bétons des produits préfabriqués : C 20/25 pour les produits en béton armé et C 30/37 pour les produits en béton précontraint.

Les classes de résistance conventionnelles des bétons sont souvent déterminées à partir des résistances potentielles, c'est-à-dire celles mesurées sur des éprouvettes confectionnées et conservées dans des conditions de laboratoire. Le fabricant peut également utiliser la résistance structurale

directe déterminée à l'aide d'éprouvettes prélevées dans l'élément fini ou la résistance structurale indirecte déterminée sur des éprouvettes fabriquées et conservées dans les conditions de l'usine.

La norme NF EN 13369 fixe, pour la mise en tension et en précontrainte, les contraintes de tension initiale, la précision, la rentrée des fils de précontrainte et la résistance minimale du béton. Ces exigences visent à garantir les niveaux de précontrainte définis et à éviter les fissures incontrôlées, l'éclatement du béton ou les déformations excessives des produits.

> **Incidence des classes d'exposition sur l'enrobage minimal des aciers**

La norme NF EN 13369 indique les valeurs minimales d'enrobage des armatures en référence à la norme EN 1992-1-1 (Eurocode 2). Pour chaque classe d'exposition (XO, XC, XD ou XS), l'enrobage minimal est spécifié en tenant compte de la résistance du béton et du type d'armatures (précontraintes ou passives). Pour les classes d'exposition XA et XF, l'exigence sur l'enrobage résulte de la classe d'exposition retenue vis-à-vis de la corrosion des armatures (XC ou XD). D'autres conditions peuvent être données dans les normes de produits.

> **Contrôle de la production en usine**

Les exigences relatives au contrôle de la production en usine sont définies dans l'article 6.3 de la norme NF EN 13369. Les plans de contrôles pour le matériel (annexe D1), les matériaux (annexe D2), le procédé (annexe D3) et les produits finis (annexe D4) sont adaptés aux particularités des éléments préfabriqués. Ils se substituent à ceux de la norme NF EN 206-1.

Des règles sont fixées pour le passage du contrôle normal à un contrôle réduit (lorsque par exemple 10 résultats successifs sont bons) ou à un contrôle renforcé (lorsque deux résultats parmi au plus cinq résultats consécutifs n'ont pas été acceptés).

> **Concept de performance équivalent du béton**

L'industriel a la possibilité de définir les spécifications relatives aux classes d'exposition en utilisant les méthodes de conception performancielle pour la durabilité. Elles sont établies en termes de paramètres performanciels par les normes de produits.

Le concept de performance équivalente du béton (tel que décrit dans la norme NF EN 206-1) permet par exemple de modifier les exigences en ce qui concerne le dosage minimal en ciment et le rapport maximal eau/ciment dans le cas où une addition spécifique est utilisée. Le programme d'essai doit contenir tous les essais permettant de démontrer que les performances du béton étudié sont équivalentes à celles du béton de référence, en particulier vis-à-vis de l'action environnementale spécifique définissant la classe d'exposition.

■ **Commande des produits en béton**

La prescription précise et complète des caractéristiques d'un produit en béton (quelle que soit sa destination) est simple. Comme il s'agit de produits finis, il suffit de faire référence à l'édition nationale de la norme de produit et, lorsqu'il n'y a pas de norme de produit, à la norme NF EN 13369.

Cette référence, accompagnée de la prescription de la Marque NF (ou équivalent) implique automatiquement le respect de l'ensemble des règles de l'art. En effet, selon le cas, la norme de produit ou la norme NF EN 13369 spécifie systématiquement les normes support concernées, qu'il s'agisse, par exemple, des normes relatives aux constituants et au béton, ou bien des exigences relatives à la fabrication du produit (pour assurer sa durabilité) ou enfin des prescriptions adéquates des Eurocodes ou autres textes s'appliquant à la réalisation de l'ouvrage. De plus les aspects réglementaires relatifs au Marquage CE sont automatiquement couverts.

Pour ce qui est des produits structuraux, ils relèvent en France actuellement souvent de procédures d'Avis Techniques ou de procédures QUALIF-IB qui incluent toutes les précisions nécessaires (procédures auxquelles se substitueront en grande partie et progressivement des normes européennes de produits).

Enfin, si le marché fait référence à la norme NF EN 206-1, la conformité du produit aux normes ou textes cités ci-dessus assure la satisfaction des besoins du client dès que le domaine d'utilisation du produit est couvert par l'un de ces textes.

La liste des normes de référence pour les produits en béton est disponible sur www.cerib.com.

Crédit photographique

H. Abadie [28-70], R. Bouchu [45-65], V. Brossy [50M],
Cerib, H. Chapon, Cimbéton, Ciments Calcia,
O.-H. Dancy [25], M. Denancé [50H],
FIB, F. Gristogatin [27], Holcim France, Lafarge Ciments,
J.-M. Landecy [26-30M-59-61],
G. Maucuit-Lecomte [23-29-43], J.-M. Monthiers [30H],
Pieri, E. Sallet [62], Unibéton, Vicat, P. Zandvliet [60],
tous droits réservés.

Illustration de la couverture

David Lozach

Mise en page et réalisation

Amprincipe Paris
R.C.S. Paris B 389 103 805

Impression

Imprimerie Chirat

CIM *béton*

CENTRE D'INFORMATION SUR LE CIMENT ET SES APPLICATIONS

7, place de la Défense • 92974 Paris-la-Défense Cedex • Tél. : 01 55 23 01 00 • Fax : 01 55 23 01 10
E-mail : centrinfo@cimbeton.net • internet : www.infociments.fr



ÉCOLE FRANÇAISE DU BÉTON

7, place de La Défense
92974 Paris-La-Défense CEDEX