

1. Constituants

1.1. Ciment blanc

Le ciment blanc doit être conforme aux spécifications de la norme NFP 15-301. *Liants hydrauliques - Ciments courants - Composition, spécifications et critères de conformité*, qui définit principalement les différents types de ciment, les constituants, les classes de résistance et les valeurs limites garanties (elle sera prochainement remplacée par la norme européenne NF EN 197-1).

La blancheur de ces ciments est due à la réduction maximale des minéraux colorants (oxydes métalliques, etc.) dans les matières premières utilisées et à un processus de fabrication spécifique. La blancheur n'est pas une caractéristique garantie par la norme des ciments mais néanmoins le producteur s'engage en général à garantir un niveau de blancheur à ses clients.

Les nouvelles désignations des normes européennes et françaises sont identiques pour les ciments blancs à celles des autres ciments :

- CEM I pour les ciments Portland
- CEM II pour les ciments Portland composés
- Classes de résistance : 32,5 – 42,5 – 52,5

1.2. Granulats et fillers

1.2.1. Généralités

Le granulats est un ensemble de grains minéraux appelés fillers, sablons, sables, graves et gravillons suivant leurs dimensions comprises entre 0 mm et 125 mm.

Il est désigné par d/D où d et D représentent respectivement la plus petite et la plus grande des dimensions du produit.

Familles de granulats		
Familles	Dimensions	Caractéristiques
Fillers	0/D	$D < 2 \text{ mm}$ avec au moins 70 % de passant à 0,063 mm
Sablons	0/D	$D \leq 1 \text{ mm}$ avec moins de 70 % de passant à 0,063 mm
Sables	0/D	$1 \text{ mm} < D \leq 6,3 \text{ mm}$
Graves	0/D	$D > 6,3 \text{ mm}$
Gravillons	d/D	$d \geq 1 \text{ mm}$ et $D \leq 125 \text{ mm}$
Ballasts	d/D	$d \geq 25 \text{ mm}$ et $D \leq 50 \text{ mm}$

Plus de 70% en poids du béton est constitué de granulats. Ce sont des composants majeurs de l'ouvrage puisqu'ils conditionnent sa résistance mécanique et son aspect visuel, qui peut être primordial pour l'esthétisme de l'ouvrage.

Les performances mécaniques, esthétiques et de durabilité recherchées sont déterminantes dans le choix des granulats.

Tous les granulats courants (masse volumique réelle $> 2 \text{ t/m}^3$) doivent satisfaire à la norme XP P 18-540. *Granulats – Définitions, conformité, spécifications.*

Les granulats légers naturels (masse volumique réelle $< 2 \text{ t/m}^3$) ou artificiels ne seront employés qu'après essai préalable et avec l'assistance technique du fournisseur.

1.2.2. Caractéristiques des granulats

Les granulats sont caractérisés par un certain nombre de propriétés liées à leur origine (caractéristiques intrinsèques) et à leur mode de fabrication (caractéristiques de fabrication). Ce n'est pas tant la valeur des caractéristiques qui importe pour la confection des bétons, mais leur régularité. La norme XP P 18-540 précise les seuils et les modes de variation autorisés de ces paramètres en fonction de leurs utilisations. Les granulats doivent provenir de roches stables, inaltérables à l'air, à l'eau et au gel.

1.2.2.1. Caractéristiques intrinsèques des granulats

Elles sont liées en général à la qualité de la roche exploitée : résistance mécanique, masse volumique réelle, absorption d'eau, dureté, résistance au polissage, etc.

a) Résistance mécanique

La résistance mécanique du béton est bien entendu fortement liée à la résistance mécanique des gravillons. Cette dernière est mesurée par un essai de résistance aux chocs qui permet de déterminer le coefficient "Los Angeles" (LA). Plus il est élevé, moins le gravillon est résistant. Pour confectionner du béton, le coefficient LA doit être inférieur à 40.

b) Absorption d'eau

Le coefficient Ab mesure la capacité d'absorption d'eau d'un granulat. Plus il est élevé, plus le matériau est absorbant. On en tient compte dans la formulation. Le coefficient Ab doit être inférieur à 6 % pour les granulats destinés aux bétons hydrauliques, qu'il s'agisse d'un sable ou d'un gravillon ; et inférieur ou égal à 5 % pour les bétons vibrés ; cette valeur doit être notablement réduite pour les bétons autoplaçants.

c) Sensibilité au gel

Les gravillons utilisés dans la confection des ouvrages en bétons hydrauliques ne doivent pas être gélifs pour des raisons évidentes de pérennité.

Le gravillon est considéré comme non gélif si au moins l'une des trois valeurs suivantes est respectée :

- coefficient d'absorption d'eau du gravillon..... $Ab \leq 1 \%$
- coefficient Los Angeles..... $LA \leq 25$
- sensibilité au gel..... $G \leq 30$

d) Réactivité aux alcalis

La réaction alcali-granulats se produit sous certaines conditions d'environnement entre les alcalins (potasse : K_2O et soude : Na_2O) présents dans le béton et la silice de certains granulats. Elle peut engendrer des gonflements internes provoquant des désordres par fissuration.

Cette réaction est très lente mais elle se produit au cœur du béton aussi bien qu'à sa périphérie, et on ne sait ni l'interrompre ni porter remède aux dégradations qu'elle engendre, d'où la nécessité de la prévenir.

Trois conditions sont nécessaires au développement de réactions de type alcali-granulats dans un béton :

- la présence de silice réactive dans les granulats ;
- la teneur élevée en alcalin dans le béton ;
- un environnement humide.

Le ministère de l'Équipement a diffusé, en juin 1994, une circulaire intitulée *Recommandations pour la prévention des désordres dus à l'alcali-réaction*. Ce document précise les principes de la démarche préventive qui passe par les étapes suivantes :

- caractérisation de l'ouvrage en fonction du niveau du risque, d'« admissible » à « inacceptable » ;
- caractérisation de l'environnement, de « sec » à « marin avec gel » ;
- choix des déterminations à effectuer sur la silice des granulats ou sur le béton : réaction aux alcalins, performances, références locales d'emploi.

Il est précisé que si le niveau de prévention requis est le plus élevé, c'est sur la qualité des granulats que devra porter toute l'attention. Le producteur de granulats doit alors fournir à tout utilisateur une, au moins, des garanties exigées par la circulaire du ministère de l'Équipement vis-à-vis de l'alcali-réaction.

De même, et pour les niveaux de prévention inférieurs, les fournisseurs de ciment ou d'adjuvants peuvent être amenés à donner les résultats statistiques des teneurs de leurs produits en K_2O et Na_2O .

Les granulats sont désignés comme étant non réactifs (NR) si leur teneur en silice est strictement inférieure à 4 %. Dans le cas contraire, ils peuvent être potentiellement réactifs (PR) ou potentiellement réactifs à effet de *pessimum* (PRP) : voir la norme XP P 18 - 540. Dans ces deux cas, il est nécessaire d'effectuer une étude de formulation du béton afin de valider le risque d'alcali-réaction.

Une formulation de béton peut être améliorée par des additions minérales à fort pouvoir pouzzolanique (cendres volantes, fumées de silice, pouzzolanes naturelles ou artificielles) ou dont l'hydratation libère peu de chaux (laitiers). Pour juger de l'efficacité des ajouts minéraux sur la réactivité d'un béton, on aura souvent recours à un essai de gonflement accéléré.

e) *Soufre total/Sulfates /Chlorures*

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 %.

La teneur en chlorures est à communiquer si elle est supérieure à 0,02 %.

f) *Couleur des granulats*

La couleur du granulat doit être spécifiée à la commande. Elle doit être uniforme et régulière (voir 4.2.2.).

Les producteurs de granulats de BETOCIB ont défini une charte selon laquelle ils s'engagent à respecter les règles de l'art en matière de qualité – conformité aux normes –, suivie d'un plan d'assurance qualité.

1.2.2.2. Caractéristiques de fabrication des granulats

Elles résultent des conditions de fabrication : granularité, angularité (indice de concassage), propreté des sables, aplatissement, propreté superficielle des gravillons, etc.

a) Granularité

Il s'agit de la distribution dimensionnelle des grains d'un granulat. Elle est déterminée par une analyse granulométrique qui fait l'objet d'une représentation graphique.

- Comment lire une courbe ? Voir la norme XP P 18-540.

Granularité d'un gravillon d/D pour bétons hydrauliques :

Pas de refus au tamis de $2 \times D$.

1% maximum de refus au tamis de $1,58 D$.

Au tamis de D : la variation maximale sera de 15 % avec au moins 90% de passant et au plus 99 %.

Au tamis de $(d+D)/2$ si $D \geq 2,5 d$: l'étendue de variation maximale sera de 40 % et le passant sera au moins de 20 % et au maximum de 80 %.

Au tamis de d : la variation maximale sera de 15 % avec au moins 1 % de passant et au maximum 20 %.

Au tamis de $0,63 d$: le passant sera au maximum de 5 %.

Granularité d'un sable 0/D pour bétons hydrauliques :

Pas de refus au tamis de $2 \times D$.

1 % maximum de refus au tamis de $1,58 D$.

Au tamis de D le passant sera d'au moins 85 % et au maximum de 99 %.

Les sables sont caractérisés de plus par leur module de finesse (MF). Il est égal au centième de la somme des refus cumulés, exprimé en pourcentage, aux tamis de $0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5$ et 5 mm. Pour les sables courants, il doit être compris entre 1,8 et 3,2 avec une étendue (e) de 0,7. Plus le module de finesse est faible, plus le sable est fin. Pour un sable fin utilisé en correction, le module de finesse doit être inférieur à 1,8 mais son étendue ne doit pas dépasser 0,8.

La teinte du béton brut de décoffrage est directement influencée par les fines des sables. La teneur en fines est définie par le passant à $0,08$ mm de la fraction $0/4$ mm. On distingue quatre catégories de sable classées a, b, c et d. Leur classification s'effectue de la manière suivante :

Catégorie	Passants (%) au tamis de $0,08$ mm
f_A	Ls 12 ; e 3 ou $CV \leq 20$ %
f_B	Ls 15 ; e 5 ou $CV \leq 20$ %
f_C	Ls 18 ; e 6 ou $CV \leq 20$ %
f_D	Pas de spécifications mais FTP renseignée

Li, Ls : Limites extrêmes, inférieure et supérieure, bornant le fuseau de spécifications.

e : Étendue

FTP : Fiche technique produit

CV : Coefficient de variation, exprimé en pourcentage.

Dans certains cas, on peut utiliser un sable avec plus de fines (catégorie f_D). Il convient alors de s'assurer de la régularité de sa répartition dans le béton afin de garantir la régularité de la teinte.

b) Angularité des granulats alluvionnaires et marins

L'angularité est appréciée en fonction du rapport de concassage et de l'indice de concassage. Dans le cas des bétons hydrauliques, on considère l'indice de concassage (IC). C'est le pourcentage d'éléments supérieurs au D du granulat élaboré contenu dans le matériau d'origine soumis au concassage. Il permet d'apprécier la quantité de grains concassés contenus dans un granulat.

Lorsque l'indice de concassage est supérieur à 50 %, il convient de vérifier l'influence des fines de concassage sur la qualité esthétique du béton.

c) Forme des gravillons

Elle est mesurée par le coefficient d'aplatissement A. Plus il est élevé, plus le gravillon contient de grains plats, allongés ou en aiguilles, qui rendent la mise en œuvre et le malaxage difficiles.

Le coefficient doit être inférieur à 20.

d) Propreté des sables

La propreté des sables (PS) est mesurée sur la fraction 0/2 mm limitée à 10 % de fines.

Cet essai permet de mesurer la quantité de matières très fines contenues dans le sable mais sans faire la distinction entre les colloïdes nocifs et les fines nécessaires à certains bétons, notamment les bétons apparents. Il exprime un rapport volumétrique conventionnel entre les éléments dits sableurs et les éléments fins (fines de concassage, argiles, impuretés, etc.).

Plus PS est élevée, plus le sable est propre.

Lorsque la valeur de PS n'est pas conforme, il est fortement conseillé, dans le cas de sables concassés ou broyés, de mesurer la capacité des éléments fins du sable à absorber du bleu de méthylène. Le bleu de méthylène est absorbé préférentiellement par les argiles, les matières organiques et les hydroxydes de fer. La valeur de bleu (VB) exprime la quantité de bleu de méthylène absorbée par 100 g de fines. Plus la valeur de bleu est élevée, plus le sable est « sale ».

La conformité est obtenue si au moins l'une des valeurs spécifiées de PS ou VB est respectée, à savoir :

Catégorie	PS (%) ¹		ou VB _{0/D} (g) ²
	Sables d'extraction alluvionnaire et marine (IC < 50)	Autres sables	
PS _A	V _{si} 65	V _{si} 60	
PS _B , PS _C et PS _D	V _{si} 60	V _{si} 50	V _{ss} 1

1. Rappel : il s'agit du nouvel essai d'ES piston sur le 0/2 mm limité à 10 % de fines.
2. Selon prEN 933-9, voir le paragraphe 5.5 de la norme XP P 18-540.
Rappel : essai sur le 0/2 mm, résultat exprimé sur le 0/D en grammes de bleu par kilogramme de sable.

e) Propreté des gravillons

Les impuretés peuvent perturber l'hydratation du ciment ou entraîner des défauts d'adhérence granulats/pâte ayant un impact sur la résistance du béton.

Elle est donnée par le pourcentage de passant au tamis de 0,5 mm (tamisage sous eau) et doit être inférieure à 1,5 %. Cette valeur est portée à 3 % pour les gravillons de roches marines et pour les gravillons d'extraction alluvionnaire et massive d'IC ≥ 50 .

f) Impuretés prohibées

Les granulats ne doivent pas contenir d'impuretés telles que charbons, pyrite, scories, gypse et mica.

A noter que le mica en très faible quantité n'est pas nuisible et contribue à l'effet décoratif (cas de sables de lavage de kaolin).

g) Matières organiques

Elles affaiblissent les résistances et provoquent des taches de couleur brune. Pour les limiter, voir XP P 18-540.

1.2.2.3. Critères de conformité des granulats

Comment juger de la conformité d'une fourniture ?

Pour chaque caractéristique, on dispose de bornes (appelées Vsi et/ou Vss) délimitant le champ de conformité. Ces bornes sont définies par la norme ou, dans certains cas, par le fournisseur, et sont précisées dans la fiche technique produit. Nous en avons fixé un certain nombre.

Si l'on dispose de moins de 15 résultats pour la caractéristique à contrôler, le résultat doit être compris entre les bornes.

Si l'on dispose de plus de 15 résultats, chacun des résultats doit être compris entre les valeurs spécifiées (bornes) \pm l'incertitude d'essai (u). Le champ de conformité est alors plus large. Les valeurs de u sont fixées par la norme et dépendent du type d'essai.

1.2.2.4. Critères de prescription des granulats

Les seuils précédemment définis permettent de réaliser la plupart des ouvrages en béton. Pour certaines réalisations et après étude, ils peuvent être modifiés.

Tous les granulats courants (de masse volumique réelle $MVR > 2 \text{ t/m}^3$) devront satisfaire à la norme XP P 18-540.

Les granulats légers ($MVR < 2 \text{ t/m}^3$), naturels ou artificiels, ne seront employés qu'après essais préalables et avec l'assistance technique du fournisseur.

Un certain nombre de granulats sont aujourd'hui certifiés NF. La marque NF GRANULATS délivrée par l'Afnor atteste de la conformité des granulats aux normes en vigueur.

En tout état de cause, les caractéristiques intrinsèques, de fabrication et la provenance des granulats seront définies et soumises à l'accord du maître d'œuvre.

Les sables ont une influence déterminante sur la teinte finale du béton brut et notamment les particules fines. En conséquence, la régularité des sables doit faire l'objet d'un soin particulier.

Des échantillons témoins seront conservés pour suivre et contrôler la régularité des fournitures.

Tous les granulats devront être propres, de préférence lavés.

Pour tous les granulats, le producteur devra s'engager sur les points suivants :

- régularité de la teinte pendant toute la durée des fournitures ;
- régularité granulométrique avec contrôle de laboratoire ;
- propreté constante et éventuellement tolérance de certaines impuretés, dans une limite maximale à définir avec le maître d'œuvre ;
- capacité industrielle d'approvisionnement avec acceptation du programme prévu pour les livraisons.

Dans certains cas, à la demande du maître d'œuvre, des garanties complémentaires à celles de la norme pourront être fournies par le producteur concernant, par exemple, l'absorption, la porosité maximale, la permanence de la blancheur (pour les granulats blancs) ou la variation de la teinte du granulats sous l'eau, pour mieux maîtriser la régularité et la qualité esthétique des bétons de ciment blanc.

1.2.3. Fillers

Les fillers ont deux fonctions :

- la correction granulométrique des sables pour la partie inférieure à 0,08 mm ;
- la coloration éventuelle du béton.

Les fillers utilisés dans les bétons de ciment blanc sont calcaires ou siliceux, avec leurs variantes et doivent impérativement provenir de roche massive ou meuble. Ils sont obtenus par broyage et/ou sélection.

1.2.3.1. Correction granulométrique

L'usage de granulats lavés dans la fabrication des bétons induit souvent une carence en éléments fins (< 0,08 mm) dans la continuité de la courbe granulométrique. Afin d'éviter cette compensation par un surdosage en ciment, non nécessaire à la résistance du béton ou à sa durabilité, il est conseillé d'utiliser des fillers ou des sablons qui doivent répondre dans ce cas à la norme XP P 18-540.

Les principaux avantages de cette correction sont d'améliorer le béton durci en termes de compacité et de résistance au gel, et le béton frais en termes de rhéologie ou facilité de mise en œuvre.

1.2.3.2. Coloration

Par les éléments ultrafins qu'ils apportent, les fillers et sablons influencent la teinte du béton. C'est pourquoi l'on ne choisit que des éléments clairs à base de silice ou de carbonate de calcium.

D'une façon générale, l'utilisation de fillers régularise sur l'ensemble de l'ouvrage la teinte du béton et améliore la qualité du parement. Cette utilisation n'est soumise à aucune norme et doit faire l'objet d'essais préalables pour les bétons de ciment blanc.

Avantages d'une telle utilisation :

- teinter légèrement le béton aux couleurs du sablon ou du filler ;
- régulariser la couleur de l'ouvrage par l'utilisation d'un sablon ou d'un filler ;
- tracer des contrastes discrets dans les bétons en variant les fillers et les sablons.

1.3. Additions pour béton hydraulique de ciment blanc

Ce sont des matériaux minéraux finement divisés et pouvant être ajoutés au béton pour améliorer certaines de ses propriétés ou lui conférer des propriétés particulières. Les additions peuvent avoir un caractère pouzzolanique, un caractère hydraulique latent ou améliorer la microstructure de la pâte de ciment par réaction avec ses constituants.

Les additions préconisées agissent suivant deux mécanismes :

- l'effet granulaire dû à leur finesse ;
- leur réaction avec le ciment et/ou l'eau de gâchage.

Les additions pour béton hydraulique utilisées dans le béton de ciment blanc sont normalisées (NF P 18-508. *Additions calcaires* et NF P 18-509. *Additions siliceuses*). Leurs conditions d'utilisation et leurs modalités de prise en compte sont définies dans la norme XP P 18-305.- *Béton. Béton prêt à l'emploi*. Avec ces additions, il est conseillé d'utiliser un superplastifiant haut réducteur d'eau afin d'obtenir la maniabilité désirée sans modifier le rapport E/C.

Pour le béton de ciment blanc, des fumées de silice blanches ou des métakaolins peuvent être utilisés sans altérer la teinte des bétons architectoniques. Ceci a pour avantage de contribuer à :

- une augmentation de la résistance et de la durabilité par diminution de la porosité ;
- une diminution des efflorescences ;
- une diminution de la sensibilité aux alcali-réactions.

1.4. Pigments de coloration

1.4.1. Définition

Les pigments sont des éléments fins dont le but est de modifier la teinte des mortiers et des bétons dans lesquels ils sont dispersés.

1.4.2. Qualités et propriétés des pigments pour bétons apparents

- Stabilité chimique vis-à-vis du ciment, des granulats et des adjuvants.
- Insolubilité dans l'eau.
- Insensibilité à la lumière.
- Insensibilité aux températures extrêmes auxquelles est soumis le béton.
- Pouvoir colorant suffisant pour limiter le dosage en pigment. Un fort pourcentage de pigment risque d'affecter les résistances mécaniques du béton.

1.4.3. Différentes variétés de pigments

Les colorants organiques répondent rarement aux critères de qualité ci-dessus. Les pigments minéraux appropriés sont presque toujours des oxydes métalliques.

Pigments de synthèse

Ce sont principalement des oxydes de fer, chrome, cobalt ou titane. Choisir des oxydes purs de préférence aux mélanges colorants plus chargés. Rechercher des pigments à fort pouvoir colorant (le pouvoir colorant dépend non seulement de la nature et de la pureté du pigment mais aussi de sa finesse et de son pouvoir de dispersion).

Les pigments sont disponibles soit secs (en poudre, en granulés ou en microbilles), soit en suspension dans l'eau (*slurry*). Les granulés et la suspension facilitent la dispersion et surtout le dosage des pigments.

Pigments naturels

Ce sont des « terres » colorées naturellement par des oxydes ou hydroxydes métalliques (fer notamment). Les plus connus sont les ocres. Il existe des pigments naturels convenablement traités et affinés qui donnent de bons résultats tant esthétiques que techniques. Leur pouvoir colorant, en revanche, sera toujours inférieur à celui des oxydes purs. On s'assurera auprès du producteur de la qualité de ses installations de traitement et de contrôle et on respectera ses indications en matière de mise en œuvre.

1.4.4. Paramètres intervenant dans la coloration

Sont déterminants pour la teinte d'un béton : les sables et les granulats, le ciment et les pigments éventuels ainsi que la mise en œuvre de ce béton et son traitement ultérieur de surface.

L'effet de coloration est affecté par :

- la teneur en pigment jusqu'à un seuil appelé point de saturation. D'une manière générale, on ne dépassera pas 4 % du poids de ciment en extrait sec ;
- le rapport eau/ciment. Plus ce rapport est élevé, plus le béton s'éclaircit. Toute variation, même minime, du rapport E/C, entraîne une variation de teinte du béton ;
- les conditions de durcissement, notamment dans les premiers jours : température, hygrométrie, délai de décoffrage ;
- les sables et les gravillons qui apportent une certaine quantité d'oxydes naturels.

1.4.5. Choix et définition des teintes

Avant de définir la teinte d'un béton, on doit s'assurer qu'elle peut être obtenue avec des pigments fiables mélangés dans des proportions raisonnables.

Les éprouvettes d'étude puis de définition des teintes auront des dimensions suffisantes pour être observées sous divers éclairages, en fonction de la destination de l'ouvrage. Elles seront soumises à l'agrément du maître d'œuvre. Elles seront réalisées dans les mêmes conditions que celles prévues pour l'ouvrage définitif.

Les formules et le poids, les méthodes de mise en œuvre, le traitement de surface et les conditions de conservation seront soigneusement précisés et seront aussi proches que possible de la réalité du chantier. L'appréciation sera faite sur des éprouvettes âgées de plus d'un mois.

1.4.6. Mise en œuvre des pigments

Solides : comme tous les éléments fins, les pigments ont tendance à s'agglomérer, ce qui implique :

- que le dosage pondéral soit impérativement tenu ;
- que le malaxage soit exécuté toujours dans les mêmes conditions : malaxer une minute à sec les pigments et granulats, ajouter le ciment, puis malaxer à nouveau et ajouter l'eau.

Si des sachets délitables sont utilisés, ce qui garantit le dosage pondéral, les ajouter sur les granulats dans le malaxeur. Si les sachets sont mis dans la toupie, elle doit assurer un malaxage à grande vitesse d'une minute par mètre cube (cinq minutes au minimum).

Liquides (phase aqueuse) : le colorant liquide est introduit en même temps que l'eau de gâchage, ou mieux, en mélange.

Très fins, les pigments sont facilement entraînés par les migrations de l'eau de gâchage pendant la mise en place. On doit, de ce fait, composer des bétons à E/C très faible et limiter le temps de vibration. Il faut s'assurer également de la parfaite étanchéité des coffrages et des moules. Les bétons pigmentés font donc presque toujours appel aux plastifiants réducteurs d'eau. Les pigments contribuant à la granulométrie du béton dans la plage des superfines ($< 1 \mu\text{m}$), il en sera tenu compte dans la définition d'un béton coloré. Faire attention aux changements de teinte qui peuvent être apportés par les adjuvants.

1.5. Adjuvants

1.5.1. Introduction

Un adjuvant est un produit qui s'incorpore au moment du malaxage du béton à un dosage inférieur ou égal à 5 % en masse de la teneur en ciment du béton, pour modifier les propriétés du béton à l'état frais et/ou durci.

Les adjuvants permettent, selon le cas :

- d'améliorer les conditions de mise en œuvre du béton ;
- d'améliorer les performances mécaniques ;
- d'augmenter la durabilité des bétons.

Les adjuvants sont devenus un constituant à part entière du béton.

La majorité des adjuvants répond à des critères particuliers leur permettant d'être classés, au sein des normes, en familles de produits en fonction de leur action sur le béton : pendant la phase plastique (maniabilité) ou pendant la phase durcie.

La norme européenne NF EN 934-2. *Adjuvants pour béton, mortier et coulis. Partie 2 : Adjuvants pour béton. Définition et exigences.* regroupe aujourd'hui les anciennes normes NF P 18-330 à NF P 18-338.

1.5.2. Différentes familles d'adjuvants

1.5.2.1. Modification du comportement du béton frais

Les familles sont :

- Plastifiant/réducteur d'eau (NF EN 934-2 tableau 2)
- Superplastifiant/haut réducteur d'eau (NF EN 934-2 tableau 3.2)

Le but de ces deux familles est double :

- soit de diminuer la quantité d'eau superflue, tout en assurant une maniabilité permettant d'améliorer les conditions de mise en place ;
- soit, pour une quantité d'eau donnée, d'augmenter la fluidité d'un béton tout en réduisant un excès d'eau néfaste à la qualité de celui-ci ;
- soit de faire un compromis entre ces deux fonctions.

Le choix de la famille de produits est fonction des exigences de maniabilité, de résistance et de durabilité requises.

Dans le cas des bétons très fluides tels que les bétons pompés, autonivelants et autoplaçants, et afin d'éviter toute ségrégation, tout ressuage et tassement, il est conseillé d'ajouter :

- agents de cohésion ;
- rétenteur d'eau (NF EN 934-2 tableau 4).

1.5.2.2. Modification de la prise et du durcissement

Ces familles d'adjuvants agissent sur la cinétique d'hydratation du ciment en l'accéléralant ou en la retardant.

- Accéléralateurs de prise sans chlore (NF EN 934-2 tableau 6)
Leur fonction consiste à réduire le temps de prise, temps nécessaire pour passer de l'état plastique à l'état rigide. Ils sont recommandés pour des bétonnages par temps froid afin de limiter les effets des basses températures qui retardent naturellement la prise.
- Accéléralateurs de durcissement sans chlore (NF EN 934-2 tableau 7)
Leur fonction consiste à accélérer le développement des résistances mécaniques pour aboutir plus rapidement au niveau de résistance exigé.
- Accéléralateurs de prise et de durcissement chlorés
Les accéléralateurs contenant du chlore sont très efficaces mais leur emploi est à éviter dans le béton armé. En effet, les chlorures favorisent la corrosion de l'acier. Ces produits ne sont pas normalisés et leur emploi est réglementé par le DTU 21.4 (P 18-203). Ils seront interdits d'usage dans le béton armé lorsque sera mise en vigueur la norme européenne EN 206-1.- *Béton. Performances, production et conformité*, adoptée cette année.
- Retardateurs de prise (NF EN 934-2 tableau 8)
Leur fonction consiste à augmenter le temps de prise du ciment pour éviter des « raidissements » (perte de maniabilité) précoces du béton.

Ils sont recommandés pour des bétonnages par temps chaud afin de limiter les effets des fortes températures, qui accélèrent naturellement la prise.

Ces familles d'adjuvants sont généralement couplées dans le béton avec un plastifiant/réducteur d'eau ou un superplastifiant/haut réducteur d'eau.

1.5.2.3. *Modification du comportement du béton durci*

- Hydrofuges de masse (NF EN 934-2 tableau 9)
Leur fonction consiste à rendre le béton plus imperméable et moins sensible aux absorptions capillaires (béton en contact avec de l'eau).
- Entraîneurs d'air (NF EN 934-2 tableau 5)
Leur fonction consiste à introduire un réseau de microbilles d'air calibrées dans le béton. Ces bulles occuperont un volume suffisant pour servir de « vase d'expansion » à l'eau contenue dans le béton en période de gel. (Béton soumis à des températures très basses ou à des cycles gel/dégel réguliers.)

1.5.2.4. *Familles d'adjuvants à effets spécifiques*

Il existe également des adjuvants pour lesquels il n'y a à ce jour aucune norme de caractérisation. Ces produits sont destinés à des bétons particuliers. Par exemple :

- agent de cohésion (pour la fabrication de béton autonivelant ou autoplaçant) ;
- agent de pompage (pompage longue distance, béton coulé sous l'eau) ;
- agent de remplissage (béton sec préfabriqué) ;
- inhibiteur de corrosion.

La norme XP P 18-340, en cours d'étude, couvrira l'ensemble des adjuvants spéciaux pour bétons.

1.5.3. **Choix des adjuvants pour les bétons colorés**

Les adjuvants, bien qu'introduits en faible quantité dans le béton, peuvent modifier sa coloration. Il est essentiel de vérifier que la couleur de l'adjuvant est compatible avec la teinte finale du béton, surtout lorsqu'il s'agit d'un béton blanc ou clair, que l'ajout d'accélérateur ou de retardateur, selon les conditions de température, n'entraîne pas d'altération de la teinte du béton. S'assurer également qu'à long terme les rayons ultraviolets n'altèrent pas la teinte.

1.5.4. **Recommandations**

- Utiliser des adjuvants admis à la marque NF-ADJUVANTS quand c'est possible.
- Réaliser des études en laboratoire, des échantillons et des essais de convenances sur le terrain.
- Respecter les notices techniques. Contacter le fournisseur pour toute utilisation non prescrite par la notice technique.

1.6. Eau de gâchage

Nécessaire à l'hydratation du ciment, elle facilite aussi la mise en œuvre du béton. L'eau doit être propre et ne pas contenir d'impuretés nuisibles telles que matières organiques et alcalins. L'eau potable convient toujours.

Les caractéristiques des eaux requises pour la confection des bétons sont précisées dans la norme NF P 18-303. *Béton. Mise en œuvre. Eau de gâchage pour béton de construction.*

Le gâchage à l'eau de mer ou saumâtre est à proscrire pour les bétons armés et précontraints.

Nota : un excès d'eau diminue les résistances et la durabilité du béton.

Caractéristiques des adjuvants normalisés et des rétenteurs d'eau

	Adjuvants normalisés modifiant l'ouvrabilité du béton		Adjuvants normalisés modifiant la résistance du béton au gel/dégel et aux milieux agressifs		Adjuvants normalisés modifiant la prise et le durcissement du ciment			Les rétenteurs d'eau
	Plastifiants réducteurs d'eau	Superplastifiants	Entraîneurs d'air	Hydrofuges de masse	Accélérateurs de prise	Accélérateurs de durcissement	Retardateurs de prise	
Dosages	Généralement < 0,5%.	Généralement 0,5% à 3%.	0,01 à 0,5%	1 à 3%	1 à 3%	0,2% à 3%	0,1 à 1%	Généralement < 0,5%
Introduction	Dans l'eau de gâchage.	Au malaxage			Dans l'eau de gâchage.			
Effets sur la mise en œuvre du béton	Maniabilité constante, réduction d'eau > 5%.	A rapport eau/ciment constant, grande fluidification du béton : gain d'affaissement d'au moins 12 cm.						Diminution du ressuage de 50%.
Effets sur la prise					Accélération très variable suivant les dosages, les ciments et la température.		Retard très variable suivant les dosages, les ciments et la température.	
Résistance à toutes échéances	Supérieures à celles du témoin. Augmentation minimale 10%.	Par rapport au témoin, légère diminution possible. ($\geq 90\%$ des résistances du témoin.)						Par rapport au témoin, légère diminution possible ($\geq 80\%$ des résistances du témoin).
Effets sur les résistances initiales (avant 3 jours)					Augmentées à 1 ou 2 jours.	Augmentées.	Diminuées à 1 ou 2 jours.	
Effets sur les résistances finales (après 28 jours)					Légèrement diminuées (d'autant plus que la prise aura été accélérée).	Inchangées ou légèrement diminuées.	Légèrement augmentées.	
Résistance aux cycles gel/dégel			Bonne amélioration.					
Résistance aux agressions atmosphériques, CO ₂ , atmosphère marine...			Effet variable.	Amélioration de la résistance grâce à la diminution de la perméabilité à l'air.				
Résistance aux agents chimiques agressifs (eaux sélinitieuses, eau sulfatée...)			Amélioration possible.	Amélioration grâce à la diminution de la perméabilité du béton à l'eau.				
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 faibles rapports eau/ciment.	Amélioration du parement.				Amélioration de la maniabilité avec possibilité de réduction d'eau.	Amélioration de la rhéologie du béton frais dans le cas d'un manque en éléments fins.
Autres effets	Possibilité d'une légère augmentation de retrait.				Possibilité d'une légère augmentation de retrait.			