Les additions minérales pour béton

Avril 2020

Une addition minérale pour béton est un matériau finement divisé, généralement de granularité inférieure à 100µm, utilisé dans la formulation des bétons hydrauliques. Elle est incorporée dans le béton lors de sa fabrication pour améliorer certaines de ses propriétés (ouvrabilité, consistance) ou pour lui conférer des propriétés particulières : compacité, durabilité, tenue à des environnements agressifs…

Les additions minérales sont définies dans la norme NF EN 206/CN

La norme distingue deux types d'additions :

- additions de type I : quasiment inertes
- additions de type II : à caractère pouzzolanique ou hydraulique latent

Les additions de type I correspondent à des fillers conformes à la norme relative aux granulats (NF EN 12620) et les pigments de coloration des bétons conformes à la norme NF EN 12878.

Ainsi que :

- les additions calcaires conformes à la norme NF P 18-508
- les additions siliceuses conformes à la norme NF P 18-509

Les additions de type II regroupent :

- les cendres volantes de centrale thermique conformes à la norme NF EN 450-1
- les laitiers vitrifiés moulus de haut fourneau conformes à la norme NF EN 15671-1
- les fumées de silice conforme à la norme NF EN 13263-1
- les métakaolins conformes à la norme NF P 18-513

Les additions peuvent être utilisées :

- en substitution (remplacement) partielle du ciment selon le concept de liant équivalent : uniquement pour les ciments de type CEM I et CEMII/A le taux de substitution dépend du type de ciment et de la classe d'exposition.
- en complément du ciment : additions de type I et II

Les différentes additions

Les fillers

Les fillers sont obtenus par broyage fin de roches naturelles

- d'origine siliceuse
- d'origine calcaire

Les additions calcaires

Les additions calcaires sont obtenues par broyage de roches sédimentaires carbonatées : calcaires ou dolomitiques.

Ce sont des additions de type I.

Elles sont utilisées pour améliorer l'ouvrabilité des bétons frais ainsi que la régularité esthétique et la teinte des parements.

Les additions siliceuses

Les additions siliceuses sont obtenues par broyage de quartz ou de cristobalite calcinée

Elles améliorent l'ouvrabilité, la compacité et la résistance mécanique des bétons dans lesquels elles sont incorporées.

Les fumées de silice

Les fumées de silice proviennent de la réduction du quartz de grande pureté par du charbon dans des fours à arc électrique utilisés pour la production de silicium ou d'alliage de ferrosilicium.

Ce sont des particules très fines (dimension 100 fois plus petite qu'un grain de ciment) qui permettent de réduire la porosité et la perméabilité du béton en favorisant un empilement granulaire optimal qui comble une partie des vides entre les fines et les grains de ciment.

Elles sont très réactives (action pouzzolanique) en milieu basique ce qui leur permet d'améliorer sensiblement les propriétés mécaniques et la durabilité des bétons.

Les métakaolins

Les métakaolins sont issus de la calcination (puis du broyage) d'une argile kaolinique à des températures comprises entre 600 et 900 °C.

Il existe deux types de métakaolins : ceux issus d'une calcination en four horizontal et ceux issus d'une calcination flash.

Addition de type II, le métakaolin est une ultrafine inorganique possédant un pouvoir pouzzolanique élevé.

La réaction pouzzolanique permet d'accroitre les performances mécaniques et la durabilité des bétons.

Les propriétés du métakaolin et en particulier sa finesse permettent d'optimiser l'empilement granulaire de la formulation, d'améliorer les propriétés de transfert du béton telles que la perméabilité et la diffusion des ions chlorures et la résistance aux attaques chimique (acide et sulfate).

Les cendres volantes

Les cendres volantes sont des particules pulvérulentes obtenues par dépoussiérage électrostatique ou mécanique des gaz de chaudières alimentées au charbon pulvérisé (centrales thermiques de production d'électricité).

Selon le type de charbon et de chaudière, on récupère des cendres volantes siliceuses, silicocalciques ou calciques. Seules les cendres siliceuses ont des propriétés pouzzolaniques.

Nota : Les cendres volantes calciques ont en revanche des propriétés hydrauliques, mais elles ne sont plus produites sur le territoire français.

Elles ont une réactivité pouzzolanique fonction de leur teneur en matière amorphe et de leur solubilité qui améliore la durabilité des bétons.

L'utilisation de cendres volantes permet d'améliorer l'ouvrabilité du béton frais, d'augmenter sa compacité et de réduire la chaleur d'hydratation (donc de limiter le risque de fissuration). Elles améliorent également la résistance aux eaux sulfatées.

Leur cinétique de durcissement est relativement lente d'où des résistances à court terme plus faibles des bétons utilisant des cendres volantes. Elles ont un effet dit « inhibiteur » vis-à-vis de l'alcali-réaction.

Les laitiers vitrifiés moulus de haut fourneau

Les laitiers de hauts fourneaux sont des coproduits de la fabrication de la fonte dans les hauts fourneaux.

Le laitier vitrifié moulu de hauts fourneaux est obtenu par trempe puis broyage du laitier. C'est une addition de type II à caractère hydraulique latent.

La cinétique de durcissement des bétons contenant des laitiers de hauts fourneaux est plus lente que celle des bétons à base de ciment portland. Ils offrent donc des résistances initiales plus faibles.

Ils sont utilisés pour la confection de pièces massives compte tenu de leur cinétique de dégagement de chaleur lente.

Ils améliorent la durabilité des bétons en environnement chimique agressif et contribuent à la prévention des risques de désordres générés par l'alcali-réaction ou la réaction sulfatique interne.

Leur réactivité lente les rend sensibles à la cure.

Les actions physiques et chimiques des additions

Les additions minérales génèrent des effets chimiques et physiques au sein du béton qui en modifient ses propriétés à l'état frais ou à l'état durci :

- amélioration de l'ouvrabilité, de la rhéologie et de l'homogénéité du béton à l'état frais ;
- augmentation de l'efficacité du liant hydraulique ;
- diminution des retraits et de la sensibilité à la fissuration ;
- amélioration de la résistance du béton aux agressions chimiques ;
- amélioration de l'aspect des parements.

Actions physiques

Elles sont principalement liées à la finesse de l'addition et peuvent se traduire par un effet filler qui améliore la compacité du mélange (les particules fines d'additions comblent les interstices entre les plus grosses particules et diminuent la porosité) et un effet favorable à l'hydratation du ciment.

Actions chimiques

Certaines additions ont une activité hydraulique latente ou une activité pouzzolanique. Ces actions, fonction de la réactivité de chaque addition permettent d'améliorer les propriétés des bétons à l'état durci et leur durabilité.

Les atouts des additions minérales

Les additions apportent de nombreux avantages :

- **Atout économique**

  Elles sont en général d'un prix plus faible ou proche de celui du ciment, en particulier lorsqu'elles sont des coproduits industriels.

- **Atout technique**

  Elles permettent d'améliorer certaines propriétés des bétons à l'état frais ou à l'état durci : rhéologie du béton frais, diminution de la chaleur d'hydratation des bétons, durabilité du béton durci face à certaines agressions chimiques, augmentation des résistances mécaniques, prévention vis-à-vis des phénomènes de réaction alcali-granulats (RAG) ou de réaction sulfatique interne (RSI).

- **Atout environnemental**

  Certaines additions ont une empreinte environnementale plus faible que le ciment en particulier vis-à-vis des émissions de Gaz à Effet de Serre, sous réserve que cette empreinte plus faible ne soit pas compensée par les impacts du transport de ces additions sur de longues distances.

  La valorisation de coproduits industriels permet d'économiser les ressources naturelles.

Liant équivalent et taux de substitution

La norme NF N 206/CN introduit le concept de Liant Equivalent.

Ce concept autorise la prise en compte des additions (conformes aux normes qui les couvrent) en remplaçant l'exigence relative au dosage minimal en ciment par la même exigence appliquée au liant équivalent.

Le taux de substitution des additions est fonction des classes d'exposition auxquelles sera soumis le béton pendant sa durée d'utilisation.

Il est spécifié dans les tableaux NAF1 à NAF4 de l'annexe F de la norme NF EN 206/CN.

Les tableaux donnent pour chaque type d'addition, (métakaolin, cendres volantes, fumée de silice, laitier moulu, addition calcaire et siliceuse) en fonction de chaque classe d'exposition, le rapport maximal A/A+C, qui permet de déterminer la quantité maximale d'addition qui peut être utilisée en substitution du ciment.

Le taux de substitution du ciment par l'addition est fonction du type de ciment (CEM I ou CEM II/A).

Nota : La prise en compte des additions en substitution du ciment n'est autorisée qu'avec les ciments CEM I et CEM II/A de classes 42,5 ou 52,5

Le liant équivalent est composé de ciment de type :

CEM I 42,5 N / CEM I 42,5 R / CEM I 52,5 N / CEM I 52,5 R / CEM II/A 42,5 N /

CEMII/A 42,5 R / CEM II/A 52,5 N / CEM II/A 52,5 R.

La valeur du liant équivalent est donnée par la formule :

Liant équivalent = ciment + k. Addition = C + kA

Avec : C : quantité de ciment par m³ de béton.

A : quantité d'addition par m³ de béton,

Valeur maximale définie par le rapport A/ (A+C) dans les tableaux de l'Annexe NA.F.1 à NA.F.4 de la norme NF EN 206/CN.

Les valeurs du coefficient k spécifique à chaque addition sont données dans le tableau NA.6 de la norme NF EN 206/CN.

- Métakaolin de type A : 1,0
- Cendres volantes : de 0,4 / 0,5 / 0,6 selon le type de cendres
- Fumées de silice : 1,0 / 2,0
- Laitier moulu : 0,60 (C)/ 0,90 (A et B) selon la classe de laitier moulu
- Additions calcaires : 0,25
- Additions siliceuses : 0,25

La quantité de liant équivalent ne doit pas être inférieure à l'exigence de teneur minimale en liant équivalent pour la classe d'exposition concernée

Nota: si une plus grande quantité d'addition est utilisée l'excédent ne doit pas etre pris en compte pour le calcul du liant equivalent.



Retrouvez toutes nos publications sur les ciments et bétons sur infociments.fr

Consultez les derniers projets publiés
Accédez à toutes nos archives
Abonnez-vous et gérez vos préférences
Soumettez votre projet

Article imprimé le 29/11/2026 © infociments.fr