

FORMATION SUR LES BETONS ET LES MATERIAUX DE
CONSTRUCTION

MODULE 1 :
CONSTITUANTS DU BETON

LES GRANULATS

SOMMAIRE

➤ DEFINITIONS

➤ LES DIFFERENTS TYPES DE GRANULATS

✓ LES GRANULATS NATURELS

✓ LES GRANULATS ARTIFICIELS

✓ LES GRANULATS TRES LEGERS

➤ QUELS GRANULATS EMPLOYER POUR LE BETON?

➤ CARACTERISTIQUES DES GRANULATS

✓ I- LES CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES

✓ II- LES CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES

✓ III- LES CARACTERISTIQUES MECANIKES

➤ INFLUENCE DES CARACTERISTIQUES DES GRANULATS SUR
LES PROPRIETES DES BETONS

➤ RECAPITULATIF DES SPECIFICATIONS P 18 - 541

DEFINITIONS

- ❑ Les granulats sont des grains minéraux de dimensions comprises entre 0 et 125 mm, destinés à la confection des mortiers, des bétons, des couches de fondation, de base et de roulement des chaussées, des assises et des ballastes des voies ferrées.
- ❑ La nature des roches constituant les gisements est responsable des propriétés intrinsèques (résistance, porosité, réactivité) des granulats, par contre les caractéristiques géométriques (granularité, forme) et de propriétés sont fonction du processus d'élaboration.
- ❑ Le choix d'un granulat est donc un facteur important de la composition du béton, qui doit toujours être étudié en fonction des performances attendues, spécialement sur le plan de la durabilité.

LES DIFFERENTS TYPES
DE GRANULATS

- ✓ **LES GRANULATS NATURELS**
- ✓ **LES GRANULATS ARTIFICIELS**
- ✓ **LES GRANULATS TRES LEGERS**

1- LES GRANULATS NATURELS

Origine minéralogique :

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
- de roches éruptives telles que les basaltes

Granulats roulés et granulats de carrières :

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

- Les granulats alluvionnaires : dits roulés, dont la forme a été acquise par l'érosion.
- Les granulats de carrière : sont obtenus par abattage et concassage, ce qui leur donne des formes angulaires.

2- LES GRANULATS ARTIFICIELS

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.

La masse volumique apparente est supérieure à 1 250 kg/m³ pour le laitier cristallisé concassé, et 800 kg/m³ pour le granulé.

❑ Ces granulats sont utilisés notamment dans les bétons routiers ou pour les bétons réfractaires.

❑ D'autres sous-produits sont également utilisés : scories, mâchefer...

2- LES GRANULATS ARTIFICIELS

Granulats allégés par expansion ou frittage :

- ❑ Les plus usuels sont l'argile ou le schiste expansé (norme NFP 18-309) et le laitier expansé (NF P 18-307).

La masse volumique varie 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.

3- LES GRANULATS TRES LEGERS

- Ils sont d'origine aussi bien végétale et organique que minérale (bois, polystyrène expansé).**
- Très légers – 20 à 100 kg/m³ – ils permettent de réaliser des bétons de masse volumique comprise entre 300 et 600 kg/m³.**

On voit donc leur intérêt pour les bétons d'isolation, mais également pour la réalisation d'éléments légers : blocs coffrant, blocs de remplissage, dalles, ou rechargements sur planchers peu résistants.

FORMATION SUR LES BETONS ET LES MATERIAUX DE CONSTRUCTION

QUELS GRANULATS EMPLOYER POUR LE BETON?

Roche d'origine	Dilatation μ m/m °C	Propriétés	Difficultés rencontrées	Possibilité d'emploi pour bétons
<p>1. <i>Roches éruptives</i></p> <p>Granites Diorites Porphyres Basaltes</p>	8 à 12	Dures et compactes, donc bonne résistance au gel.		Oui pour la plupart.
<p>2. <i>Roches métamorphiques</i></p> <p>Quartzites</p> <p>Marbres Schistes</p> <p>Gneiss</p>	<p>10</p> <p>10/12</p>	<p>Dures et compactes. Inattaquables chimiquement.</p> <p>Sensibles au gel.</p>	<p>Présence de fines friables.</p>	<p>Granulats de qualité utilisés pour les parements. Oui.</p> <p>Uniquement schistes durs. Oui si stables.</p>
<p>3. <i>Roches sédimentaires</i></p> <p>Calcaires</p> <p>Dolomies</p>	6 à 8	Bonne adhérence au mortier.		<p>Oui.</p> <p>Possible après essais préalables.</p>

CARACTERISTIQUES DES GRANULATS

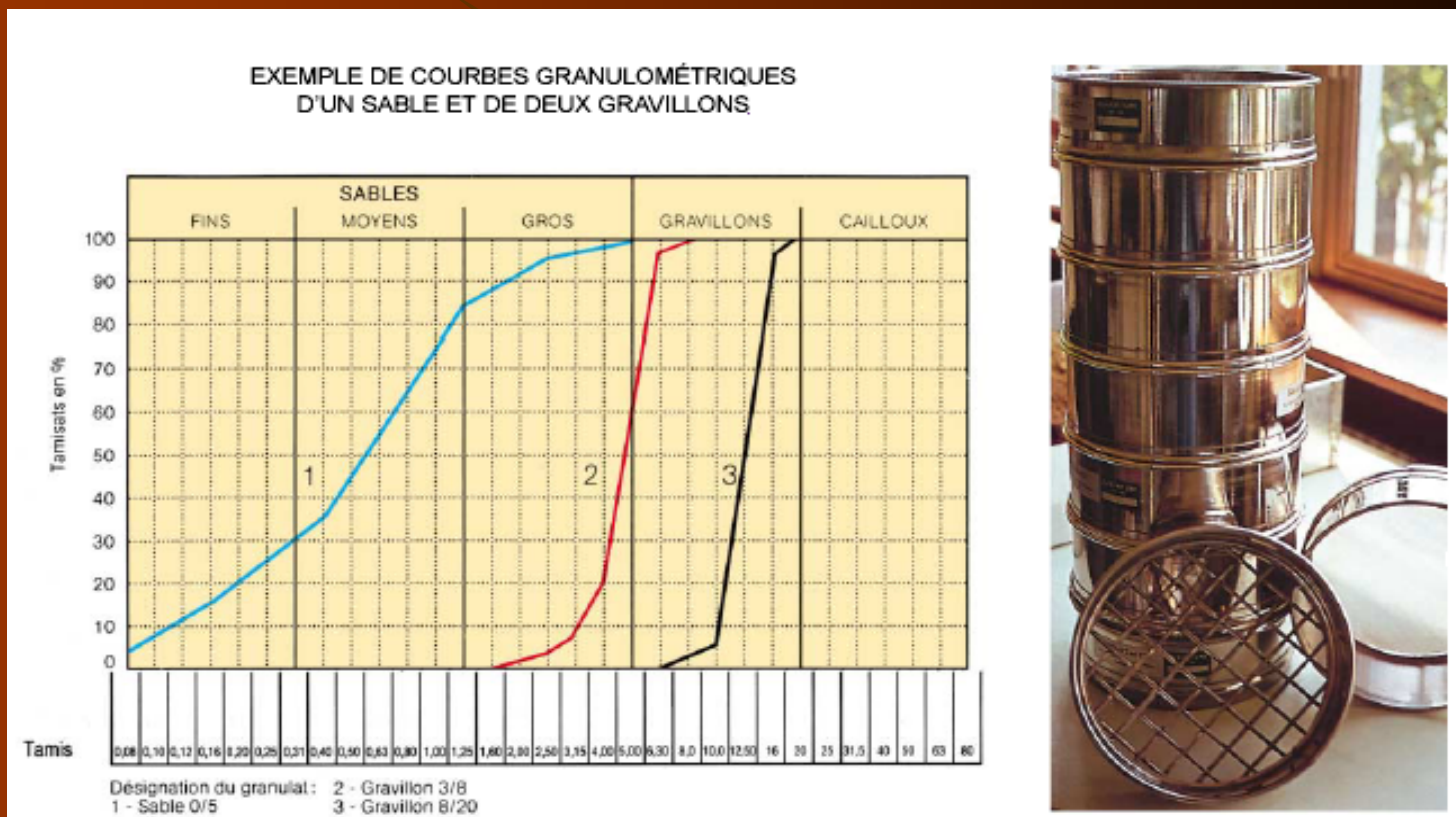
- ✓ I- LES CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES
- ✓ II- LES CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES
- ✓ III- LES CARACTERISTIQUES MECANIQUES

FORMATION SUR LES BETONS ET LES MATERIAUX DE CONSTRUCTION

I- LES CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES

I-1- Granulométrie :

La granulométrie permet de déterminer l'échelonnement des dimensions des grains contenus dans un granulat.



I- LES CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES

I-2- Classes granulaires :

Un granulat est caractérisé du point de vue granulaire par sa classe d/D. Lorsque d est inférieur à 2 mm, le granulat est désigné 0/D.

La norme XP P 18-540 indique la terminologie usuelle des granulats selon leurs dimensions :

- Fillers 0/D : $D < 2$ mm
- Sablons 0/D : $D < 1$ mm
- Sables 0/D : $1 < D < 6,3$ mm
- Gravillons d/D : $d > 1$ mm ; $D < 125$ mm
- Graves 0/D : $D > 6,3$ mm
- Ballast d/D : $d = 25$ mm ; $D = 50$ mm

I- LES CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES

I-3 MODULE DE FINESSE:

La norme XP P 18-540 définit le module de finesse = 1/100 ème de la somme des refus, exprimés en pourcentages, sur les différents tamis de la série suivante : 0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5,0 mm.

- $1,8 < MF < 2,2$: Sable convenable pour obtenir un béton d'ouvrabilité satisfaisante et de bonne résistance avec des risques de ségrégations limités.
- $2,2 < MF < 2,8$: facilité de mise en oeuvre et bonne résistance du béton
- $2,8 < MF < 3,2$: Béton de résistances élevées mais de moins bonne ouvrabilité et des risques de ségrégation.

I- LES CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES

I-4 COEFFICIENT D'APLATISSEMENT:

Il caractérise la forme du granulat à partir de sa plus grande dimension et de son épaisseur.

La norme NF P 18-561 définit les modalités de sa mesure.

II- LES CARACTERISTIQUES PHYSICO- CHIMIQUES

II-1 MASSE VOLUMIQUE:

▪ REELLE:

C'est le quotient de la masse sèche du granulat par le volume occupé par la matière solide sans aucun vide entre les grains.

▪ APPARENTE:

C'est la masse du granulat sec occupant l'unité de volume. Elle dépend du tassement des grains.

II- LES CARACTERISTIQUES PHYSICO- CHIMIQUES

II-2 FOISONNEMENT DU SABLE:

□ C'est le volume occupé par un poids donné de sable sec augmente en même temps que son humidité.

Il peut atteindre 20 à 25 % pour des teneurs en eau de 4 à 5 %, ce qui modifie les dosages lorsqu'on raisonne en volume.

II- LES CARACTERISTIQUES PHYSICO- CHIMIQUES

II-3 POROSITE:

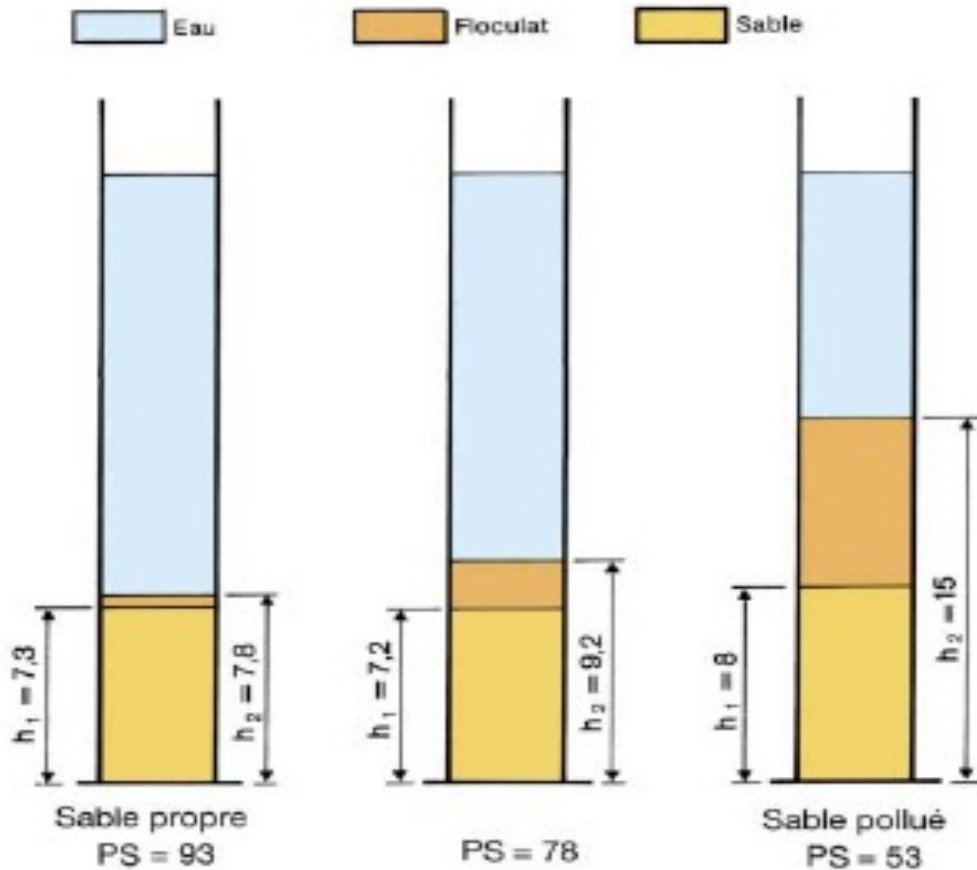
C'est le rapport du volume des vides contenus dans les grains au volume des grains, exprimé en pourcentage.

II- LES CARACTERISTIQUES PHYSICO- CHIMIQUES

II-4 PROPETE DES GRANULATS:

- ***PROPETE SUPERFICIELLE:*** La propreté est caractérisée par la teneur en particules fines ($< 0,5$ mm) essentiellement argileuses ou d'origine végétale ou organique (NF P 18-591).
- ***EQUIVALENT DE SABLE:*** Dans le cas des sables, le degré de propreté est fourni par l'essai appelé « équivalent de sable piston PS » (norme P 18-597) qui consiste à séparer le sable des particules très fines qui remontent par floculation à la partie supérieure de l'éprouvette où l'on a effectué le lavage.

ESSAI D'EQUIVALENT DE SABLE



III- LES CARACTERISTIQUES MECANQUES

III-1 ESSAI MICRO DEVAL:

C'est un essai dont le principe est de reproduire, dans un cylindre en rotation, des phénomènes d'usure.

Les modalités de cet essai font l'objet de la norme NF P 18-572.

III- LES CARACTERISTIQUES MECANIQUES

III-2 ESSAI 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 (NF P 18-573).

Pour des granulats susceptibles d'être soumis aux effets du gel, on peut mesurer le coefficient Los Angeles après une série de 25 cycles gel/dégel ($- 25\text{ °C}$, $+ 25\text{ °C}$) et le comparer au coefficient de référence.

INFLUENCE DES CARACTERISTIQUES DES GRANULATS SUR LES PROPRIETES DES BETONS

1- NATURE MINERALOGIQUE:

Les caractéristiques intrinsèques des granulats en dépendent:

- un granulats calcaire à faible coefficient de dilatation thermique est favorable pour s'opposer à la fissuration de retrait thermique, mais défavorable du point de vue de la tenue dans un milieu agressif acide;
- la présence de clivages dans les minéraux (micas, feldspaths, etc.) accroît les retraits.

2- ALCALI – REACTION:

- Les granulats doivent être qualifiés vis-à-vis de l'alcali-réaction (granulats potentiellement réactifs PR ou non qualifiés)
- Détermination de la teneur en alcalins actifs afin de pouvoir, éventuellement, établir le bilan des alcalins d'une formulation de béton

INFLUENCE DES CARACTERISTIQUES DES GRANULATS SUR LES PROPRIETES DES BETONS

3- GRANULARITE DES SABLES:

□ C'est l'un des termes les plus importants notamment pour les paramètres suivants:

- teneur en fines;
- teneur en éléments fins jugés par le module de finesse;
- continuité et régularité de la granularité.

□ Le module de finesse (MF) permet de juger globalement de la granularité d'un sable: l'optimum qui donnera le meilleur compromis résistance maniabilité maintien de l'homogénéité se situe à $2,5 \pm 0,35$ environ.

□ Une bonne continuité de la courbe granulométrique est nécessaire pour obtenir un béton maniable.

INFLUENCE DES CARACTERISTIQUES DES GRANULATS SUR LES PROPRIETES DES BETONS

4- PROPETE DES SABLES:

Pour les fillers (correcteurs granulométriques):

- le critère retenu est la valeur de bleu à la tache V Bta.

Pour les sables, le dispositif de contrôle est à double détente:

- On pratique une mesure d'équivalent de sable,
- si c'est négatif, un essai de bleu à la tache (V Bla).

La pollution des granulats accroît la demande en eau, fait chuter les résistances et plus particulièrement la résistance au jeune âge, augmente les retraits et nuit à la durabilité des bétons

INFLUENCE DES CARACTERISTIQUES DES GRANULATS SUR LES PROPRIETES DES BETONS

5- MATIERES ORGANIQUES DANS LES SABLES (Test colorimétrique):

- On soumet les sables à un test colorimétrique donnant une réponse par oui ou par non
- Leur présence peut perturber la prise, faire chuter les résistances, surtout au jeune âge, et donner lieu à des taches sur les parements.

6- TENEUR EN ELEMENTS COQUILLIERS:

- Dans les sables, le critère d'acceptation est l'essai de friabilité.
- Une valeur élevée indique de fortes proportions d'éléments tendres ou friables nuisibles à l'aspect des parements et à la durabilité des bétons, surtout des dallages et des chaussées.

INFLUENCE DES CARACTERISTIQUES DES GRANULATS SUR LES PROPRIETES DES BETONS

7- GRANULARITE DES GRAVILLONS:

- Elle est fixée par le D prescrit ou admissible pour le béton à préparer en fonction de critères liés à la mise en oeuvre
- Les spécifications fixent les limites pour le passant au tamis intermédiaire $(d+D)/2$ garantissant une continuité suffisante ne nuisant pas à la maniabilité.

8- ABSORPTION D'EAU:

- Une valeur élevée est défavorable pour la durabilité des bétons car elle facilite la carbonatation, la pénétration de l'eau et des chlorures, la dégradation par le gel.
- Elle nuit aussi au maintien de la maniabilité du béton frais, ce qui peut se compenser par un pré mouillage des granulats.

INFLUENCE DES CARACTERISTIQUES DES GRANULATS SUR LES PROPRIETES DES BETONS

9-RESISTANCE MECANIQUE LOS ANGELES:

On limite sa valeur pour ne pas risquer d'avoir un mélange dont la granularité pourrait évoluer pendant le malaxage ou le transport en camion toupie, ce qui modifierait les propriétés des bétons.

10-COEFFICIENT D'APLATISSEMENT DES GRAVILLONS:

C'est une mesure de la quantité d'éléments plats et allongés qui permet de juger de la forme des grains.

➤ Une mauvaise forme nuit à la maniabilité, ce qui risque d'être compensé par un accroissement du dosage en eau, et favorise la ségrégation et l'apparition de défauts d'aspect.

INFLUENCE DES CARACTERISTIQUES DES GRANULATS SUR LES PROPRIETES DES BETONS

11- PROPETE DES GRANULATS:

➤ La pollution des granulats accroît la demande en eau, fait chuter les résistances et plus particulièrement la résistance au jeune âge, augmente les retraits et nuit à la durabilité des bétons

12- HOMOGENEITE

C'est une mesure, peu courante, de la teneur en grains légers, de masse volumique inférieure de 400 kg/m³, par rapport à. celle de l'échantillon, d'un granulats.

➤ Ces grains légers sont souvent nuisibles quant à l'aspect des parements et à leur durabilité, à la tenue au gel et à la résistance à l'usure des dallages et des chaussées

INFLUENCE DES CARACTERISTIQUES DES GRANULATS SUR LES PROPRIETES DES BETONS

13- IMPURETES PROHIBEES :

Il s'agit de débris végétaux, charbons, grains légers, etc. déterminés par triage manuel sur tamis.

➤ Ces éléments nuisent à la durabilité du béton et à l'aspect des parements et surtout des dallages et des chaussées

14- LA STABILITE AU GEL:

La stabilité au gel des bétons est assez peu sensible à la gélivité des granulats.

Par contre, la résistance à l'écaillage des bétons soumis au gel en présence de sels fondants est assez fortement influencée par la gélivité des granulats

INFLUENCE DES CARACTERISTIQUES DES GRANULATS SUR LES PROPRIETES DES BETONS

15- TENEUR EN SOUFRE TOTAL:

Les sulfures (pyrites) présents dans certains granulats (calcaires primaires, notamment) peuvent s'oxyder et se transformer en sulfates pouvant donner lieu à des réactions expansives (formation d'ettringite) avec le ciment.

Cette oxydation s'accompagne souvent de la production de taches de rouille sur les parements et, lorsque les grains de pyrites sont assez grossiers (millimétriques), de pustules et d'éclatements

Les sulfates solubles (gypse, plâtre) en faibles proportions peuvent perturber la prise et modifier les effets des adjuvants (réducteurs d'eau, etc.).

La présence de ces sulfates peut également réduire significativement la résistance à l'eau de mer et aux eaux séléniteuses des bétons.

INFLUENCE DES CARACTERISTIQUES DES GRANULATS SUR LES PROPRIETES DES BETONS

16- CHLORURES:

➤ Ils modifient la cinétique d'hydratation du liant et favorisent la corrosion des armatures ou des câbles de précontrainte.

Les normes fixent donc les limites de la teneur en chlorures des bétons en différenciant les bétons non armés, armés ou précontraints.

Cependant, on admet que le risque est nul pour le béton armé si les granulats renferment moins de 0,06 % d'ions CL^- .

Dans le cas contraire, la teneur en chlorures doit être communiquée par le producteur pour permettre l'établissement du bilan des chlorures dans la formulation des bétons.

FORMATION SUR LES BETONS ET LES MATERIAUX DE CONSTRUCTION

RECAPITULATIF DES SPECIFICATIONS XP P18-541

Propriété	Valeur limite absolue ou valeur spécifiée (Vs) si plus de 14 résultats datant de moins de 15 mois	Valeur limite absolue si plus de 14 résultats datant de moins de 15 mois (borne = Vs ±U)
Fillers		
- passant à 2 mm	$\geq 99\%$	$\geq 94\%$
- passant à 0,125 mm	$\geq 80\%$	$\geq 75\%$
- passant à 0,063 mm	$\geq 70\%$	$\geq 65\%$
Granularité des sables (sable résultant) :		
- passant à D mm	$\geq 85\%$	$\geq 80\%$
- passant à 0,08 mm	$\leq 12\%$	$\leq 15\%$
- dispersion	étendue ≤ 3 points ou coefficient de variation $\leq 20\%$	
- module de finesse:	1,8 et 3,2	$\geq 1,65$ et $\geq 3,35$
. valeurs limites	\geq moyenne - 0,35	\geq moyenne - 0,50
. tolérance sur Vs	et \leq moyenne + 0,35	et \leq moyenne + 0,50

FORMATION SUR LES BETONS ET LES MATERIAUX DE CONSTRUCTION

RECAPITULATIF DES SPECIFICATIONS XP P18-541

Propriété	Valeur limite absolue ou valeur spécifiée (Vs) si plus de 14 résultats datant de moins de 15 mois	Valeur limite absolue si plus de 14 résultats datant de moins de 15 mois (borne = Vs ±U)
Granularité des gravillons si $D \geq 2,5 d$: passant à $(d + D)/2$	$\leq \text{moyenne} + 17,5 \leq 75$ $\geq \text{moyenne} - 17,5 \geq 25$	$\leq V_{ss}+10$ $\geq V_{si}-10$
Résistances mécaniques: - coefficient Los Angeles -coefficient de friabilité des sables (sables Alluvionnaires et sables de recyclage)	≤ 40 ≤ 60	≤ 43 ≤ 65

FORMATION SUR LES BETONS ET LES MATERIAUX DE CONSTRUCTION

RECAPITULATIF DES SPECIFICATIONS XP P18-541

Propriété	Valeur limite absolue ou valeur spécifiée (Vs) si plus de 14 résultats datant de moins de 15 mois	Valeur limite absolue si plus de 14 résultats datant de moins de 15 mois (borne = Vs ±U)
Coefficient d'aplatissement	≤ 30 %	≤ 34%
Homogénéité	≥95%	≥ 90%
Absorption d'eau Ab	≤ 5 %	≤ 5,5 %
Impuretés prohibées et débris végétaux	≤ 0,1 %	≤ 0,12 %
Sensibilité au gel	≤ 50 %	≤ 55 %

FORMATION SUR LES BETONS ET LES MATERIAUX DE CONSTRUCTION

RECAPITULATIF DES SPECIFICATIONS XP P18-541

Propriété	Valeur limite absolue ou valeur spécifiée (Vs) si plus de 14 résultats datant de moins de 15 mois	Valeur limite absolue si plus de 14 résultats datant de moins de 15 mois (borne = Vs ±U)
Alcali-réaction: alcalins actifs	A communiquer sur demande	
Propreté des fillers : V Bta	≤ 1	≤ 1.3
Propreté des sables: - Esv - Es	≥ 75 ≥ 70 (65 et 60 pour sables concassés ou broyés)	≥ 70 ≥ 65 (60 et 55 pour sables concassés ou broyés)
-valeur au bleu Vbta	≤ 1	≤ 1.3

FORMATION SUR LES BETONS ET LES MATERIAUX DE CONSTRUCTION

RECAPITULATIF DES SPECIFICATIONS XP P18-541

Propriété	Valeur limite absolue ou valeur spécifiée (Vs) si plus de 14 résultats datant de moins de 15 mois	Valeur limite absolue si plus de 14 résultats datant de moins de 15 mois (borne = Vs ±U)
Propreté des gravillons (passant à 0,5 mm) : - gravillons non concassés - gravillons concassés	$\leq 1.5\%$ $\leq 3\%$	$\leq 2\%$ $\leq 3.5\%$
Teneur en soufre total: - exprimée en S - exprimée en SO ₃	$\leq 0.4\%$ $\leq 1\%$	$\leq 0.45\%$ $\leq 1.1\%$
Teneur en sulfates : - exprimée en SO ₃	$\leq 0.15\%$	$\leq 0.20\%$

FORMATION SUR LES BETONS ET LES MATERIAUX DE CONSTRUCTION

RECAPITULATIF DES SPECIFICATIONS XP P18-541

Propriété	Valeur limite absolue ou valeur spécifiée (Vs) si plus de 14 résultats datant de moins de 15 mois	Valeur limite absolue si plus de 14 résultats datant de moins de 15 mois (borne = Vs ±U)
Matières organiques		Essai colorimétrique Négatif
Teneur en chlorures	A communiquer si > 0,06 %	
Teneur en éléments coquilliers des gravillons	≤10%	≤15%

FORMATION SUR LES BETONS ET LES MATERIAUX DE
CONSTRUCTION

MERCI
DE VOTRE
ATTENTION