



Projet National de recherche et développement

Mise au point des formules de béton de référence

Thème 0

Rédigé par

Thierry Sedran

*Ifsttar-Centre de Nantes
Département Matériaux et Structures
Laboratoire Matériaux pour Infrastructures de transport
(thierry.sedran@ifsttar.fr)*

N° de rapport : R/13/RECY/003
N° de commande: LC/12/RECY/14
Date: 08/02/2017

| Version n° | Description |
|-------------------|---|
| n°4 du 27/09/2017 | Prise en compte des remarques de F. de Larrard |
| n°3 du 08/02/2017 | Insertion des formules avec CR1 et CR2 |
| n°2 du 01/07/2013 | Prise en compte des remarques de F. de Larrard |
| n°1 du 28/06/2013 | 1 ^{ère} version diffusée aux partenaires |

Site internet : www.pnrecybeton.fr

Président : Jacques ROUDIER

Directeur : Horacio COLINA

Directeur Scientifique : François DE LARRARD

Gestion administrative et financière : IREX, 9 rue de Berri 75008 PARIS, contact@irex.asso.fr

FICHE SIGNALÉTIQUE

TITRE : Mise au point des formules de béton de référence

RAPPORT N° R/13/RECY/003

DATE D'ÉTABLISSEMENT : 08/02/2017

AUTEUR(S) : Thierry Sedran

ORGANISME(S) CHARGE(S) DE L'ACTION : Ifsttar

THEME DE RATTACHEMENT : Thème 0

LETTRE DE COMMANDE : LC/12/RECY/14

SOMMAIRE

| | |
|---|-----------|
| Résumé | 3 |
| 1 Objectifs..... | 5 |
| 2 Caractérisation des constituants..... | 6 |
| 2.1 Choix des constituants..... | 6 |
| 2.2 Ciment CEM II/A-L42.5 de Rochefort | 6 |
| 2.3 Ciment CR1 | 7 |
| 2.4 Ciment CR2 | 7 |
| 2.5 Filler calcaire..... | 8 |
| 2.6 Granulats | 8 |
| 3 Formulation des bétons | 12 |
| 3.1 Protocole de pré-humidification des granulats..... | 12 |
| 3.2 Malaxeurs et protocole de malaxage | 12 |
| 3.3 Méthode d'optimisation | 13 |
| 3.3.1 Modèles mécaniques choisis | 13 |
| 3.3.2 Méthode d'optimisation..... | 14 |
| 3.4 Première campagne de mise au point avec le CEM II de Rochefort | 15 |
| 3.5 Campagne de maintien de l'ouvrabilité avec le CEM II de Rochefort | 21 |
| 3.6 Campagne de maintien de l'ouvrabilité avec le CR1 et le CR2 | 24 |
| 3.7 Première campagne de mise au point avec le CR1 et le CR2..... | 25 |
| 4 Conclusions | 27 |
| 5 Références..... | 30 |
| 6 Annexes | 31 |
| 6.1 FTP des constituants | 31 |

Résumé

Ce rapport résume dans un premier temps les caractéristiques des constituants de référence sélectionnés par les partenaires du PN Recybéton. Il s'agit en particulier des propriétés mécaniques des granulats (naturels ou recyclés) et des compacités des matériaux nécessaires à la formulation rationnelle des bétons, à l'aide du logiciel BetonlabPro.

Trois types de ciment ont été utilisés. Un CEM II/A-L42.5 du commerce, et deux ciments fabriqués spécifiquement dans le cadre du PN Recybéton: un ciment CEM I dont le cru est composé de 14,6% de sable recyclé et un ciment composé dont le clinker a été co-broyé avec 25% de sable recyclé.

Sur la base de ces matériaux, 13 formules de référence de béton ont été optimisées et sont proposées aux partenaires. Ces bétons se différencient les uns des autres par les caractéristiques suivantes :

- La classe de résistance : C25/ou C35/45 30 (résistance moyenne à 28 jours de 30 et 40 MPa respectivement) ;
- Des dosages en sable et gravillons recyclés variant de 0 à 100% ;
- L'utilisation du ciment du commerce ou des deux ciments du PN.

1 Objectifs

A l'issue du premier appel d'offre, l'Ifsttar a été mandaté par le projet national Recybéton pour mettre au point une série de bétons dits de référence (lettre de commande LC/12/Recy/14 du 22/10/2012). Ces bétons ont vocation à être utilisés par les différents partenaires du projet national dans le cadre de leurs études propres et à des fins de comparaisons inter-laboratoires.

Une première liste de formules de béton à viser a été proposée lors du CST du 28/02/12. Cette liste a été amendée lors d'une réunion du thème 0 le 14/06/12 et présentée au CST élargi du 19/12/2012. Le cahier des charges des formules est résumé dans le Tableau 1.

Les 9 premières formules sont constituées d'un ciment CEM II du commerce et ont fait l'objet de la version 2 du présent rapport en juillet 2013. Ces formules ont été effectivement utilisées par les partenaires du PN Recybéton.

Les trois dernières formules sont destinées à valider l'utilisation du sable de béton recyclé en tant que composant du ciment. Ainsi, les formules 10 et 11 sont constituées d'un ciment CEM I dont le cru contient du sable recyclé (CR1). La formule 12 est constituée d'un CEM II dont le clinker est co-broyé avec du sable recyclé (CR2). Les ciments CR1 et CR2 ont été fabriqués spécifiquement dans le cadre du PN Recybéton et n'ont été disponibles qu'en fin de projet national, ce qui explique la rédaction tardive de la présente version 4 du rapport.

Tableau 1 : Cahier des charges des bétons visés. C25/30 correspond à une résistance à la compression moyenne de 30 MPa, C35/45 à une moyenne de 40 MPa. R signifie recyclé. Ainsi 0R-30R signifie que 0% (en masse) du sable est recyclé (donc que le sable est naturel) et 30 % (en masse) des gravillons sont des recyclés. Les bétons doivent être de classe S4 (affaissement compris entre 160 et 210 mm) pendant 90 minutes. Les C25/30 sont de classe d'environnement XC1 et les C35/45 de classe XF1 selon la norme NF EN 206/CN.

| N° de formule | Résistance | Ciment | Addition | Sable | Gravillon |
|---------------|------------|--------|-----------------|-------|-----------|
| 1 | C25/30 | CEM II | Filler calcaire | 0R | 0R |
| 2 | C25/30 | CEM II | Filler calcaire | 0R | 30R |
| 3 | C25/30 | CEM II | Filler calcaire | 0R | 100R |
| 4 | C25/30 | CEM II | Filler calcaire | 30R | 0R |
| 5 | C25/30 | CEM II | Filler calcaire | 30R | 30R |
| 6 | C25/30 | CEM II | Filler calcaire | 100R | 100R |
| 7 | C35/45 | CEM II | Filler calcaire | 0R | 0R |
| 8 | C35/45 | CEM II | Filler calcaire | 0R | 100R |
| 9 | C35/45 | CEM II | Filler calcaire | 30R | 30R |
| 10 | C25/30 | CR1 | Filler calcaire | 0R | 0R |
| 11 | C35/45 | CR1 | Filler calcaire | 0R | 0R |
| 12 | C25/30 | CR2 | Filler calcaire | 0R | 0R |

Etant donnée leur forte absorption, les granulats recyclés seront utilisés dans un état d'humidité correspondant à 1% (en valeur absolue) au-dessus de l'absorption. Ceci permet de les saturer et d'éviter un raidissement précoce des bétons lié à l'absorption d'eau différée des granulats. On plafonne la sursaturation à 1% pour limiter les risques d'égouttage et l'installation de gradients d'humidité dans zones de stockage.

Les granulats naturels quant à eux sont utilisés dans leur état naturel car, même stockés en laboratoire, ils sont en général dans un état saturé, étant donnée leur faible absorption.

2 Caractérisation des constituants

2.1 Choix des constituants

Le choix des constituants a été approuvé à l'occasion du CST élargi du 19 décembre 2012.

Comme nous allons le voir ce dessous, un effort particulier a été fait dans le cadre du thème 0 pour assurer la meilleure homogénéité possible des matériaux entre les différents laboratoires partenaires, afin de faciliter les comparaisons croisées.

Les granulats naturels ont été proposés par l'UNPG:

- sable semi-concassé lavé 0/4 de la carrière Lafarge de Sandrancourt (78)
- gravillons calcaires concassés 4/10 et 6,3/20: carrière Lafarge de Givet (08)

Les granulats recyclés sont issus d'une production spécifique effectuée sur la plateforme DLB de Gonesse (95). Ils sont fournis en 3 coupures 0/4, 4/10, 10/20. Les gravillons 4/10 sont classés Rcu98 et les gravillons 10/20 sont classés Rcu99 selon la norme 933-11 [1].

L'ensemble des granulats (environ 210 tonnes de granulats naturels et 200 tonnes de granulats recyclés) ont été fabriqués en une fois, puis conditionnés en big-bags de 500 kg ou 1000 kg, et palettisés pour être distribués aux partenaires du projet.

Pour les 9 premières formules, un ciment du commerce, le CEM II/A-L 42.5 de Rochefort fourni par Holcim a été sélectionné. Ce genre de ciment est couramment utilisé pour la confection de bétons C25/30 et C35/45. Le ciment a été livré en vrac en 2 lots de 19 tonnes. Chaque lot a été conditionné en usine en futs plastiques étanches de 60 litres, pour optimiser la conservation du ciment sur la durée du projet national. Le numéro de lot est rappelé sur chaque fut avant distribution aux partenaires.

Les ciments CR1 et CR2 destinés aux 3 dernières formules ont été confectionnés spécifiquement dans le cadre du PN Recybéton. Le CR1 est un CEM I qui a été fabriqué par Vicat dans son usine de Crechy et dont le cru contient 14,6% de sable recyclé. Le CR2 été obtenu par cobroyage du clinker de l'usine Lafarge de Port la Nouvelle avec 25% de sable recyclé. A ce titre le CR2 peut être assimilé à un nouveau type de ciment CEM II/ B-SBC (SBC=sable de béton concassé). Le détail de la confection de ces ciments est donné dans un rapport spécifique du PN Recybéton.

Un filler calcaire, le Betocarb HP-OG d'Omya, a également été sélectionné pour améliorer le squelette granulaire des bétons, le cas échéant. Ce matériau relativement inerte et régulier a été livré en sac de 25 kg palettisés.

MC Chimie, a été choisi par tirage au sort par le Synad pour fournir les adjuvants. Afin de minimiser les constituants, un superplastifiant unique a été retenu, le MC PowerFlow 3140, ainsi qu'un retardateur, le Centrament Retard 370.

Les FTP de l'ensemble des constituants sont données en annexe 6.1. Des essais de vérification ont été réalisés, ainsi que des essais complémentaires nécessaires à la formulation des bétons. Ils sont présentés dans les paragraphes suivants.

2.2 Ciment CEM II/A-L42.5 de Rochefort

A la réception du ciment (lot 1, livré le 04/02/2013), ont été réalisés:

- La mesure de la classe vraie du ciment, selon la norme EN 196-1
- La mesure du dosage à saturation du ciment, selon la méthode des coulis AFREM [2]. A noter toutefois que les mesures ont été faites sans sable
- La mesure de la compacité du ciment déduite de la mesure de la demande en eau sur pate normale, comme explicité dans [3]. L'essai a été réalisé en l'absence de superplastifiant et au dosage de saturation.

L'ensemble des résultats sont résumés dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Caractéristiques du ciment CEM III/A-L 42.5 de Rochefort (lot1)

| Propriété | Valeur |
|---|--------|
| Classe vraie 2 jours (MPa) | 25,1 |
| Classe vraie 28 jours (MPa) | 51,8 |
| Masse volumique (kg/l) | 3,09* |
| Dosage de saturation en MC PowerFlow 3140 (% d'extrait sec/masse de ciment) | 0,35 |
| Compacité sans superplastifiant | 0,548 |
| Compacité à saturation en MC PowerFlow 3140 | 0,598 |

* Donnée issue de la FTP

2.3 Ciment CR1

A la réception du ciment (le 19 oct 2016), les essais exposés dans le paragraphe précédent ont été réalisés. L'ensemble des résultats sont résumés dans le Tableau 3. On constate en particulier que la compacité du ciment est faible par rapport à celle des deux autres ciments. Cela est confirmée par la forte demande en eau (34,9%) donnée sur la ftp en annexe 6.1. On constate également que le dosage de saturation en superplastifiant est le plus élevé et que son effet sur la compacité est la plus réduite (seulement 0,029 de compacité en plus par rapport à la compacité sans adjuvant).

Tableau 3 : Caractéristiques du ciment CR1

| Propriété | Valeur |
|---|--------|
| Classe vraie 28 jours (MPa) | 62,2 |
| Masse volumique (kg/l) | 3,14* |
| Dosage de saturation en MC PowerFlow 3140 (% d'extrait sec/masse de ciment) | 0,50 |
| Compacité sans superplastifiant | 0,469 |
| Compacité à saturation en MC PowerFlow 3140 | 0,498 |

* Donnée issue de la FTP

2.4 Ciment CR2

L'ensemble des résultats obtenus sur le ciment CR2 sont résumés dans le Tableau 4.

Tableau 4 : Caractéristiques du ciment CR2

| Propriété | Valeur |
|---|--------|
| Classe vraie 2 jours (MPa) | 20,8 |
| Classe vraie 28 jours (MPa) | 41,5 |
| Masse volumique (kg/l) | 2,97* |
| Dosage de saturation en MC PowerFlow 3140 (% d'extrait sec/masse de ciment) | 0,40 |
| Compacité sans superplastifiant | 0,557 |
| Compacité à saturation en MC PowerFlow 3140 | 0,638 |

* Donnée issue de la FTP

2.5 Filler calcaire

A la réception du filler (livré le 10/12/2012), ont été réalisés:

- La mesure du dosage à saturation d'un mélange contenant 50 % de filler calcaire et 50% de ciment (proportions massiques), selon la méthode des coulis AFREM [2]. A noter toutefois que les mesures ont été faites sans sable. On a obtenu un dosage de saturation de 0.25% pour le mélange. Connaissant le dosage de saturation du ciment, on en déduit le dosage de saturation du filler seul;
- La mesure de la compacité du filler sans superplastifiant déduite de la mesure de la demande en eau sur pate normale, comme explicité dans [3].
- La mesure de la compacité du mélange contenant 90 % de filler calcaire et 10% de ciment (proportions massiques) ainsi que du mélange contenant 80 % de filler calcaire et 20% de ciment, en présence d'un dosage de saturation en superplastifiant. Elles sont déduites de la mesure de la demande en eau sur pate normale, comme explicité dans [3]. On en déduit, par extrapolation linéaire, la compacité à saturation du filler calcaire.

L'ensemble des résultats sont résumés dans le Tableau 5.

Tableau 5 : Caractéristiques du filler calcaire, HP-OG d'Omya

| Propriété | Valeur |
|---|--------|
| Masse volumique (kg/l) | 2,7* |
| Dosage de saturation en MC PowerFlow 3140 (% d'extrait sec/masse de filler) | 0,15% |
| Compacité sans superplastifiant | 0,591 |
| Compacité à saturation en MC PowerFlow 3140 | 0,681 |

* Donnée issue de la FTP

2.6 Granulats

A la réception des granulats (livré le 30/11/2012), ont été réalisés:

- La mesure de la granulométrie selon la norme NF EN 933-1
- La mesure de la masse volumique réelle et de l'absorption des sables selon la norme NF EN 1097-6 §9 sur sable lavé ou non;
- La mesure de la masse volumique et de l'absorption des gravillons selon la norme NF EN 1097-6 §7 ;
- La mesure de la compacité à sec à l'aide d'une table à secousse selon le mode opératoire LPC n°61 [4];
- Le terme k_c de résistance mécanique des gravillons recyclés (voir chapitre 3.3.1);
- La mesure du MDE et du LA respectivement suivant les normes NF EN 1097-1 et NF EN 1097-2. La valeur du MDE est utilisée pour évaluer, dans un premier temps, le terme k_c de résistance mécanique des gravillons recyclés, d'après la thèse de DAO [5].

Les figures suivantes résument les granulométries des matériaux livrés à l'Ifsttar.

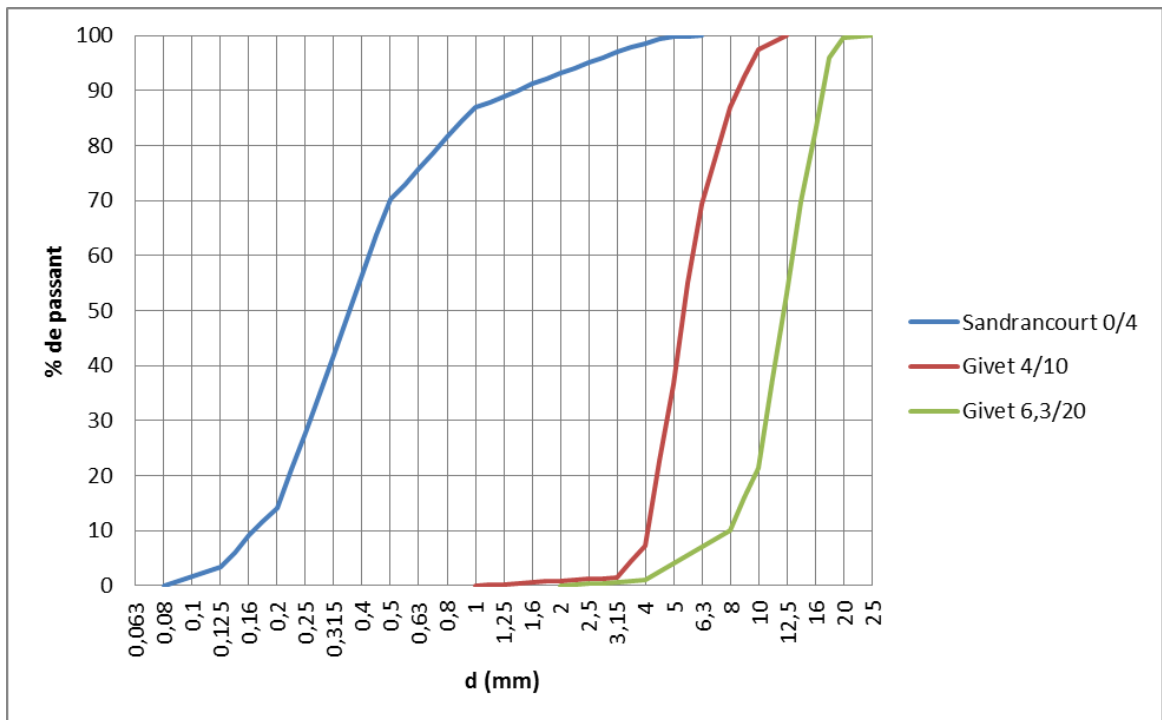


Figure 1: courbes granulométriques des granulats naturels livrés à l'Ifsttar

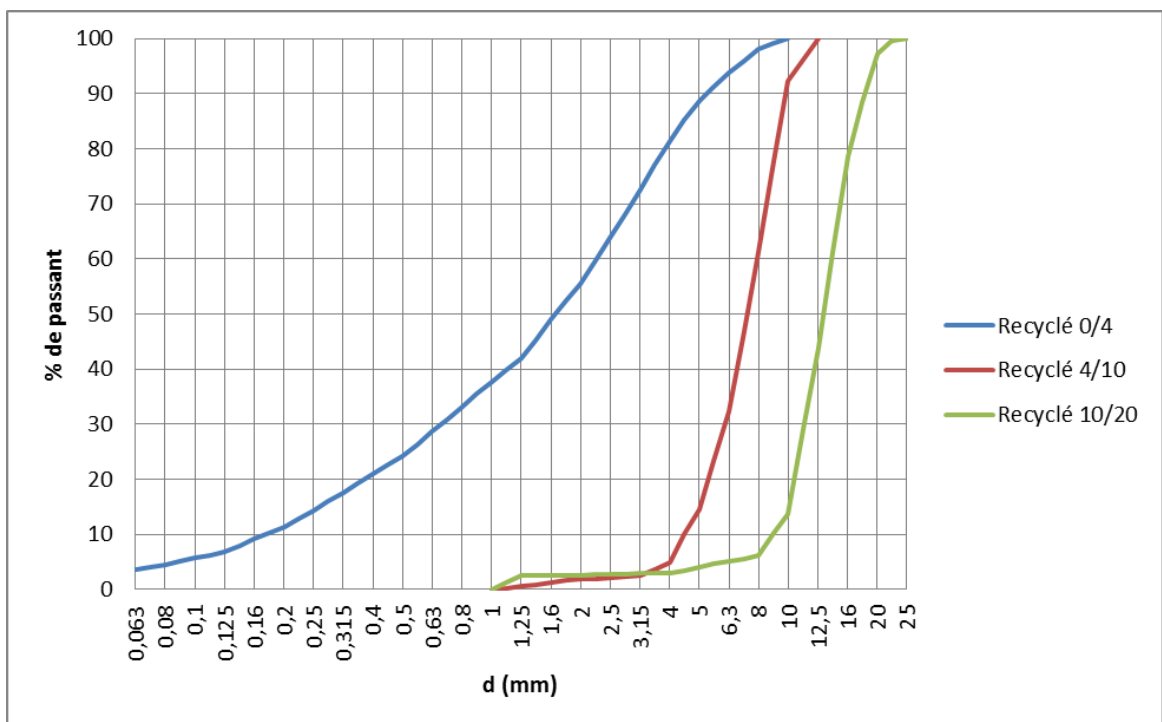


Figure 2: courbes granulométriques des granulats recyclés livrés à l'Ifsttar

Les granulats ont été livrés en big-bags de 500 ou 1000 kg. Pour des raisons pratiques évidentes, on cherche à éviter la phase fastidieuse de quartage de ces big-bags, pour la réalisation des gâchées de laboratoire. Pour que cela soit acceptable, il faut qu'il n'y ait pas de ségrégation dans les big-bags. Cette hypothèse est supposée vérifiée pour les gravillons qui sont fournis en coupures étroites, par contre il était nécessaire de la vérifier pour le sable.

Deux big-bags de sable recyclé ont été livrés à l'Ifsttar. Nous avons mesuré la granularité des prélèvements suivants:

- Un prélèvement en surface du big-bag 1
- Un prélèvement en fond de big-bag 1 (obtenu en couchant le big-bag sur le côté)
- Un prélèvement issu du quartage complet du big-bag 1
- Un prélèvement au milieu du big-bag 2

L'ensemble des courbes granulométriques sont présentées sur la Figure 3. Les courbes étant très proches, on conclut que les big-bags sont homogènes (pas de ségrégation) et sont comparables entre eux.

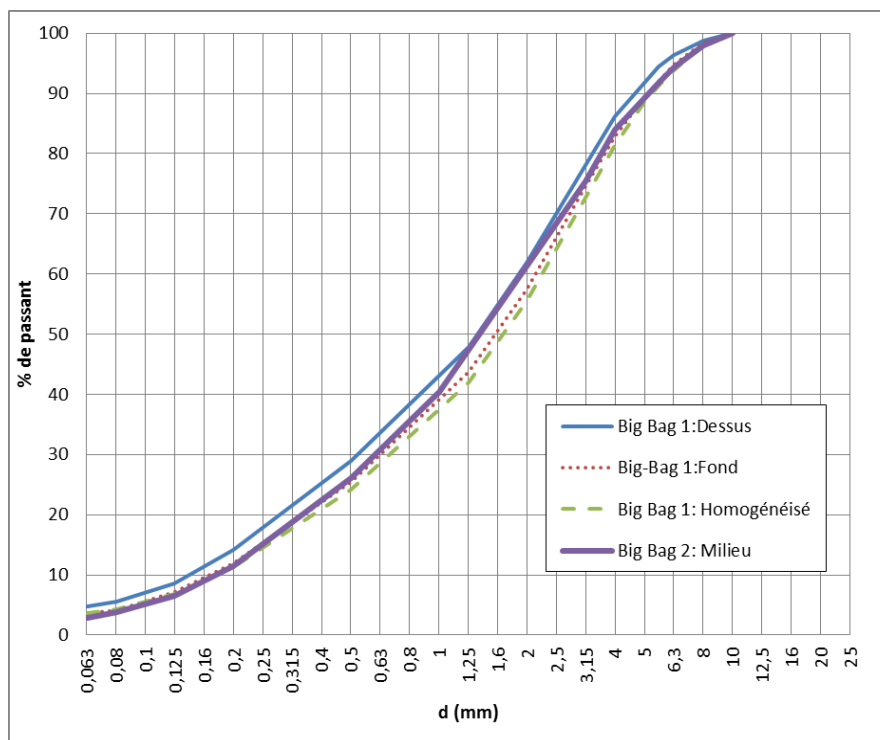


Figure 3: courbes granulométriques du sable recyclé livré à l'Ifsttar, suivant différents types de prélèvement

Un complément d'investigation a été réalisé pour s'assurer de l'homogénéité de la granularité du sable recyclé entre les différents laboratoires partenaires.

L'ensemble des courbes récoltées à cette occasion sont résumées sur la Figure 4. Cette figure appelle plusieurs commentaires:

- La courbe mesurée par Eurovia, présente un taux de fines inférieures à 63 μm de 10% [1], alors que l'ensemble des autres laboratoires trouvent des valeurs de l'ordre de 3%. Ceci s'explique probablement par le fait que la mesure a été faite sur un échantillon "frais" à la sortie du concassage, alors que les autres mesures ont été effectuées plus tard après livraison des big-bags. Il est donc fort probable que ce résultat traduise une certaine agglomération des fines entre elles ou sur les grains plus grossiers.
- On observe qu'une partie des laboratoires présentent des courbes avec pratiquement aucun retenu à 4 mm, alors que les autres ont un taux de refus de l'ordre de 20%, ce qui ne semble pas conforme pour un 0/4mm. Après enquête de l'UNPG auprès de la plateforme de Gonesse, il est apparu qu'au début de la fabrication du sable, fin 2012, un incident a eu lieu sur le crible. Une fuite de matériaux entre deux toiles de crible a laissé le passage pour des grains supérieurs à 4 mm. L'incident a été réparé rapidement, mais une partie des produits impactés par ce défaut avaient déjà été conditionnés et expédiés.

L'Ifsttar fait partie des laboratoires ayant été impactés par cet incident. Toutefois, comme on s'est aperçu du problème tardivement et qu'a priori il n'y a pas eu de pollution des matériaux recyclés par des matériaux d'autre origine sur la plateforme de Gonesse, on a décidé de poursuivre l'optimisation des formules de bétons avec le sable livré. Les formules de bétons avec le sable recyclé conforme seront alors déduites par simple recalage, pour retrouver les courbes granulaires proposées par l'Ifsttar.

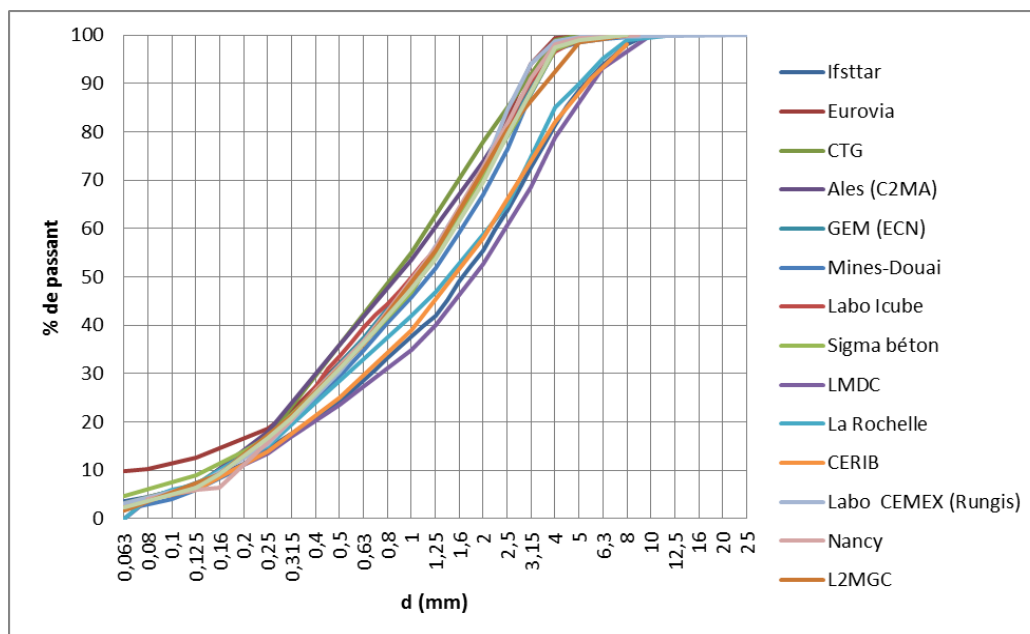


Figure 4: courbes granulométriques du sable recyclé livré chez différents partenaires

L'ensemble des autres propriétés des granulats livrés à l'Ifsttar sont résumées dans les tableaux suivants. Pour les sables recyclés, ce sont les valeurs de masse volumique réelle et d'absorption sans lavage qui ont été retenues, car plus représentatives du comportement du sable dans les bétons.

Tableau 6: propriétés mesurées sur les granulats livrés à l'Ifsttar, entre () mesures sur sable lavé à 63 μm

| Matériau | Mvr (kg/l) | Abs (%) | LA (%) | MDE (%) |
|--------------------------|-------------|-----------|--------|---------|
| Sable recyclé 0/4 | 2,08 (2,18) | 8,9 (7,3) | - | - |
| Gravillon recyclé 4/10 | 2,29 | 5,6 | - | - |
| Gravillon recyclé 10/20 | 2,26 | 5,8 | 37 | 23 |
| Sable naturel 0/4 | 2,58 (2,59) | 0,8 (1) | - | - |
| Gravillon naturel 4/10 | 2,71 | 0,51 | - | - |
| Gravillon naturel 6,3/20 | 2,71 | 0,46 | 16 | 17 |

Tableau 7: propriétés mesurées sur les granulats livrés à l'Ifsttar (suite): K_c et K_t voir chapitre 3.4 C_{exp} compacité expérimentale à sec, β compacité propre virtuelle déduite de C_{exp} [6], H hauteur de l'échantillon à la fin de l'essai de compacité (dans un cylindre $\varnothing 160$ mm)

| Matériau | K_c | K_t | C_{exp} | β | H (mm) |
|--------------------------|-------|-------|-----------|---------|--------|
| Sable recyclé 0/4 | 4,42 | 0,364 | 0,706 | 0,563 | 237,1 |
| Gravillon recyclé 4/10 | 5,173 | 0,364 | 0,569 | 0,593 | 267,3 |
| Gravillon recyclé 10/20 | 5,173 | 0,364 | 0,554 | 0,594 | 277,8 |
| Sable naturel 0/4 | 5,767 | 0,453 | 0,676 | 0,632 | 199,8 |
| Gravillon naturel 4/10 | 5,767 | 0,453 | 0,580 | 0,611 | 221,4 |
| Gravillon naturel 6,3/20 | 5,767 | 0,453 | 0,583 | 0,627 | 220,2 |

Nous avons effectué une mesure de compacité sur le sable livré à l'Ifsttar et tamisé à 4 mm et une mesure sur le lot livré à l'Ecole Centrale de Nantes qui lui n'avait pratiquement pas de passant à 4 mm, Les compacités étaient respectivement égales à 0,689 et 0,692. Ces valeurs ne sont pas statistiquement différentes, ce qui nous conforte dans l'idée que les deux lots sont issus du même stock de béton recyclé.

3 Formulation des bétons

3.1 Protocole de pré-humidification des granulats

Comme expliqué dans le chapitre 1, les granulats recyclés ont été utilisés dans un état d'humidité correspondant à leur absorption plus 1% (en valeur absolue) soit d'après le chapitre 2 à une teneur en eau de:

- 9,9% pour le sable recyclé 0/4
- 6,6 % pour le gravillon recycle 4/10
- 6,8 % pour le gravillon recyclé 10/20

Il est donc en général nécessaire de pré-humidifier ces granulats qui sont stockés en laboratoire, selon la procédure suivante:

- prélèvement d'un échantillon de granulat pour évaluation de la teneur en eau initiale;
- mise en fut étanche d'une certaine quantité de granulat (40 à 80 kg), Le fût doit au préalable être humidifié (en évacuant tout excès d'eau à l'aide d'une éponge) pour éviter toute perte d'eau par adsorption d'eau sur les parois du fût;
- ajout du complément d'eau nécessaire pour atteindre la teneur en eau visée;
- roulage du fût pour homogénéisation;
- mise au repos du fût à l'horizontale pendant un minimum de 2 heures.

Les granulats naturels sont quant à eux utilisés dans leur état naturel, pourvu qu'ils soient saturés.

3.2 Malaxeurs et protocole de malaxage

Deux types de malaxeurs ont été utilisés:

- Un malaxeur Couvrot VSM30 à train valseur de capacité maximale de 30 litres (voir Figure 5). Ce malaxeur a été utilisé pour dégrossir les formules;
- Un malaxeur Skako-Couvrot MTV125 à train valseur, de capacité maximale de 80 litres de béton (voir Figure 6).



Figure 5: Malaxeur Skako VSM30



Figure 6: Malaxeur Skako MTV125

Pour l'ensemble des gâchées, le protocole de malaxage est resté le suivant:

- 0 à 1': Malaxage à sec de tous les constituants
- 1' à 1'30": Introduction eau + adjuvants éventuels (superplastifiant + retardateur),
- 1'30" à 5": Malaxage

3.3 Méthode d'optimisation

Une fois les propriétés des constituants déterminées, les formules de bétons ont été optimisées à l'aide d'une version modifiée du logiciel BétonlabPro 3 [6], prenant en compte un modèle simplifié de résistance mécanique.

3.3.1 Modèles mécaniques choisis

Sur une plage réduite, la résistance à la compression du béton à 28 jours R_{c28} peut s'écrire de la façon suivante ([4], [7]):

$$R_{c28} = K_c R_m$$

Avec:

$$R_m = R_{28}^{ci} \left(\frac{1}{1 + \rho_c \frac{E_{eff} + 0,5V_v}{C_{equ}}} \right)^2 EMP^{-0.13}$$

Où

- R_m est la résistance de la matrice;
- R_{28}^{ci} est la classe du ciment;
- EMP est l'épaisseur maximale de pate;
- E_{ff} la masse d'eau (en kg/m³)
- C_{equi} le ciment équivalent (en kg/m³) prenant en compte l'effet de l'addition minérale [7]
- V_v le volume de vides (en l/m³) dans le béton
- ρ_c la masse volumique du ciment (en kg/l)

Et

$$K_c = S_n K_{cSn} + G_n K_{cGn} + S_r K_{cSr} + G_r K_{cGr}$$

Où

- K_c est le terme de résistance global des granulats;
- S_n, G_n, S_r, G_r sont les pourcentages volumiques respectifs du sable naturel, des gravillons naturels, du sable recyclé et des gravillons recyclés, par rapport au volume total de granulat dans la formule;
- $K_{cSn}, K_{cGn}, K_{cSr}, K_{cGr}$ sont les termes de résistance respectifs du sable naturel, des gravillons naturels, du sable recyclé et des gravillons recyclés.

Ce modèle est une version simplifiée de la loi de résistance présentée dans [7] et qui fait intervenir deux paramètres mécaniques pour les granulats, p et q . La gamme de résistances visées étant assez étroite, ce modèle est suffisamment précis, et il présente l'avantage de ne nécessiter le calage que d'un terme, K_c . Une version particulière de BétonlabPro3 a donc été écrite prenant en compte ce modèle.

De la même façon on peut écrire

$$R_{tb28} = K_t R_{c28}^{0,57}$$

Avec:

$$K_t = S_n K_{tSn} + G_n K_{tGn} + S_r K_{tSr} + G_r K_{tGr}$$

Où

- S_n, G_n, S_r, G_r sont les pourcentages volumiques respectifs du sable naturel, des gravillons naturels, du sable recyclé et des gravillons recyclés, par rapport au volume total de granulat dans la formule;
- $K_{tSn}, K_{tGn}, K_{tSr}, K_{tGr}$ sont les termes de résistance respectifs du sable naturel, des gravillons naturels, du sable recyclé et des gravillons recyclés;
- K_t est le terme de résistance global des granulats.

Ce modèle est le modèle de base retenu dans BétonlabPro 3.

3.3.2 Méthode d'optimisation

Le principe général d'optimisation des bétons avec BétonlabPro 3 est le suivant:

- On optimise dans un premier temps le squelette granulaire (gravillons et sable) pour minimiser l'indice de serrage (ce qui revient à augmenter la compacité du squelette);
- Dans un second temps, on fixe les proportions relatives de sable et de gravillons à l'optimum et on ajuste l'eau, le ciment, les additions et les adjuvants pour atteindre l'affaissement et la résistance souhaités, tout en minimisant le coût;
- Pour l'optimisation, des contraintes supplémentaires sont imposées à savoir:
 - Une viscosité inférieure à 180 Pa.s
 - $E_{eff}/C_{equ} \leq 0,65$ et $C_{equ} \geq 260$ pour les bétons XC1 et $E_{eff}/C_{equ} \leq 0,60$ et $C_{equ} \geq 280$ pour les bétons XF1

Les coûts pris en compte dans l'optimisation sont donnés dans le Tableau 8.

Tableau 8: coûts forfaitaires pris en compte dans les simulations

| Constituant | Prix (€/t) |
|---------------------------------------|------------|
| Ciment Cem II/A-L 42,5 N de Rochefort | 120 |
| CR1 (CEM I) | 120 |
| CR2 (CEM II/B-SBC) | 110 |
| Filler Calcaire Betocarb HP OG | 31 |
| Sable Sandrancourt 0/4 | 12 |
| Sable recyclé 0/4 | 10 |
| Gravillon Givet 4/10 | 12 |
| Gravillon recycle 4/10 | 10 |
| Gravillon Givet 6,3/20 | 12 |
| Gravillon recycle 10/20 | 10 |
| Superplastifiant MC PowerFlow 3140 | 1500 |

L'expérience montre toutefois que pour des bétons courants, cette méthode conduit souvent à des bétons certes optimisés d'un point de vue de la compacité, mais trop caillouteux et sans gravillons intermédiaires donc difficiles à manipuler et peu stables. On a donc adapté la méthode en imposant une teneur en gravillon intermédiaire minimale et en augmentant la teneur en sable par rapport à l'optimum granulaire. On a alors de nouveau optimisé la pâte pour répondre au cahier des charges. La nouvelle formule ainsi obtenue était validée si son coût et sa teneur en ciment ne dépassaient pas de plus de 2% ceux de la formule à l'optimum granulaire.

3.4 Première campagne de mise au point avec le CEM II de Rochefort

Une première série de gâchées de 10 litres ont été réalisées pour ajuster l'affaissement et recalculer les simulations faites avec BétonlabPro 3. Pour ces premières simulations nous avons retenu les valeurs de K_c par défaut suivantes:

- $K_{cSn} = 5$ et $K_{cGn} = 5,3$ qui sont des valeurs typiques de granulats calcaires basés sur notre expérience passée;
- $K_{cSr} = 4,42$ et $K_{cGr} = -0,0952 MDE + 8,3927 = 6,2$ pour les granulats recyclés d'après la thèse de DAO [5].

A l'issue de ces gâchées, l'optimisation du squelette granulaire a été affinée et une série de 8 gâchées de 72 litres ont été réalisées dans le but de vérifier l'affaissement et les performances mécaniques des bétons.

Les actions suivantes étaient réalisées sur chaque gâchées:

- Mesure de l'affaissement
- Mesure de l'air occlus à l'aéromètre à béton selon la norme
- Confection de 6 cylindres Ø16x32 cm pour mesurer à 28 j la résistance à la compression R_{c28} et 3 pour la résistance au fendage R_{tb28} . Les cylindres étaient compactés à refus sur une table vibrante.

L'ensemble des formules testées et des résultats obtenus sont résumés dans les tableaux suivants. Les formules sont données sur granulats secs.

Tableau 9: compositions et performances mécaniques de bétons 0R-0R (avec granulats naturels)

| Constituant (kg/m3) | C29-0R-0R-1a | C37-0R-0R-2a | C45-0R-0R-2a |
|--|--------------|--------------|--------------|
| Eau d'ajout | 190 | 186 | 185 |
| Ciment Cem II/A-L 42,5 N de Rochefort | 270 | 309 | 351 |
| Filler Calcaire Betocarb HP OG | 45 | 53 | 61 |
| Sable Sandrancourt 0/4 | 780 | 768 | 751 |
| Sable recyclé 0/4 | | | |
| Gravillon Givet 4/10 | 266 | 262 | 257 |
| Gravillon recycle 4/10 | | | |
| Gravillon Givet 6,3/20 | 820 | 807 | 789 |
| Gravillon recycle 10/20 | | | |
| Superplastifiant MC PowerFlow 3140 | 1,35 | 2 | 2,3 |
| <hr/> | | | |
| Eau efficace (kg/m3) | 180 | 176,2 | 175,6 |
| Sable Sandrancourt 0/4 (%vol) | 43 | 43 | 43 |
| Sable recyclé 0/4 (%vol) | | | |
| Gravillon Givet 4/10 (%vol) | 14 | 14 | 14 |
| Gravillon recycle 4/10 (%vol) | | | |
| Gravillon Givet 6,3/20 (%vol) | 43 | 43 | 43 |
| Gravillon recycle 10/20 (%vol) | | | |
| Superplastifiant MC PowerFlow 3140 (% es/ciment) | 0,15 | 0,2 | 0,2 |
| <hr/> | | | |
| Air (en %) | 1 | 0,8 | 0,7 |
| Affaissement (en cm) | 19 | 22 | 22 |
| R _{c28} (en MPa) | 33,9 | 42 | 49,9 |
| R _{t28} (en MPa) | 3,3 | 3,8 | 4,2 |

Tableau 10: compositions et performances mécaniques de bétons 100R-100R (avec 100% de granulats recyclés)

| Constituant (kg/m3) | C30-100R-100R-3a | C37-100R-100R-3a | C45-100R-100R-3a |
|--|------------------|------------------|------------------|
| Eau d'ajout | 313 | 305 | 297 |
| Ciment Cem II/A-L 42,5 N de Rochefort | 307 | 352 | 403 |
| Filler Calcaire Betocarb HP OG | 47 | 51 | 54 |
| Sable Sandrancourt | | | |
| Sable recyclé 0/4 | 823 | 810 | 798 |
| Gravillon Givet 4/10 | | | |
| Gravillon recycle 4/10 | 151 | 149 | 146 |
| Gravillon Givet 6,3/20 | | | |
| Gravillon recycle 10/20 | 447 | 440 | 433 |
| Superplastifiant MC PowerFlow 3140 | 1 | 1,23 | 2,1 |
| Eau efficace (kg/m3) | 206 | 199,9 | 194,1 |
| Sable Sandrancourt 0/4 (%vol) | | | |
| Sable recyclé 0/4 (%vol) | 60 | 60 | 60 |
| Gravillon Givet 4/10 (%vol) | | | |
| Gravillon recycle 4/10 (%vol) | 10 | 10 | 10 |
| Gravillon Givet 6,3/20 (%vol) | | | |
| Gravillon recycle 10/20 (%vol) | 30 | 30 | 30 |
| Superplastifiant MC PowerFlow 3140 (% es/ciment) | 0,1 | 0,11 | 0,16 |
| Air (en %) | 2,4 | 3,40 | 2,4 |
| Affaissement (en cm) | 21 | 20 | 22 |
| R _{C28} (en MPa) | 25,8 | 31,5 | 38,3 |
| R _{t28} (en MPa) | 2,2 | 2,2 | 3,0 |

Tableau 11: compositions et performances mécaniques de bétons 0R-100R (avec sable naturel et gravillons recyclés)

| Constituant (kg/m ³) | C33-0R-100R-1a | C39-0R-100R-1a | C45-0R-100R-2a |
|--|----------------|----------------|----------------|
| Eau d'ajout | 245 | 236 | 236 |
| Ciment Cem II/A-L 42,5 N de Rochefort | 285 | 310 | 353 |
| Filler Calcaire Betocarb HP OG | 32 | 54 | 53 |
| Sable Sandrancourt | 803 | 794 | 778 |
| Sable recyclé 0/4 | | | |
| Gravillon Givet 4/10 | | | |
| Gravillon recycle 4/10 | 163 | 161 | 157 |
| Gravillon Givet 6,3/20 | | | |
| Gravillon recycle 10/20 | 700 | 692 | 678 |
| Superplastifiant MC PowerFlow 3140 | 1,5 | 2 | 2,29 |
| Eau efficace (kg/m ³) | 189,2 | 181,9 | 183,3 |
| Sable Sandrancourt 0/4 (%vol) | 45 | 45 | 45 |
| Sable recyclé 0/4 (%vol) | | | |
| Gravillon Givet 4/10 (%vol) | | | |
| Gravillon recycle 4/10 (%vol) | 10,25 | 10,25 | 10,25 |
| Gravillon Givet 6,3/20 (%vol) | | | |
| Gravillon recycle 10/20 (%vol) | 44,75 | 44,75 | 44,75 |
| Superplastifiant MC PowerFlow 3140 (% es/ciment) | 0,15 | 0,2 | 0,2 |
| Air (en %) | 1,4 | 1,5 | 1,5 |
| Affaissement (en cm) | 18 | 18 | 20 |
| Rc ₂₈ (en MPa) | 28,5 | 37,7 | 43 |
| Rt ₂₈ (en MPa) | 2,8 | 3,2 | 3,6 |

Tableau 12: compositions et performances mécaniques de bétons 30R-30R (avec 30% en masse de sable recyclé et 30% en masse de gravillons recyclés)

| Constituant (kg/m ³) | C30-30R-30R-2b | C45-30R-30R-2a |
|--|----------------|----------------|
| Eau d'ajout | 227 | 220 |
| Ciment Cem II/A-L 42,5 N de Rochefort | 270 | 363 |
| Filler Calcaire Betocarb HP OG | 45 | 38 |
| Sable Sandrancourt | 531 | 515 |
| Sable recyclé 0/4 | 228 | 221 |
| Gravillon Givet 4/10 | 171 | 165 |
| Gravillon recycle 4/10 | 144 | 140 |
| Gravillon Givet 6,3/20 | 518 | 502 |
| Gravillon recycle 10/20 | 151 | 146 |
| Superplastifiant MC PowerFlow 3140 | 1 | 1,6 |
| <hr/> | | |
| Eau efficace (kg/m ³) | 183 | 178 |
| Sable Sandrancourt 0/4 (%vol) | 29,47 | 29,47 |
| Sable recyclé 0/4 (%vol) | 15,67 | 15,67 |
| Gravillon Givet 4/10 (%vol) | 9 | 9 |
| Gravillon recycle 4/10 (%vol) | 9 | 9 |
| Gravillon Givet 6,3/20 (%vol) | 27,32 | 27,32 |
| Gravillon recycle 10/20 (%vol) | 9,54 | 9,54 |
| Superplastifiant MC PowerFlow 3140 (% es/ciment) | 0,11 | 0,14 |
| <hr/> | | |
| Air (en %) | 1,8 | 1,9 |
| Affaissement (en cm) | 20 | 16 |
| R _{C28} (en MPa) | 27,7 | 45,2 |
| R _{t28} (en MPa) | 2,7 | 4,0 |

Le calage par la méthode des moindres carrés de l'ensemble des résistances à la compression obtenues conduit aux valeurs de K_c présentées dans le Tableau 13. On a fait ici l'hypothèse que l'ensemble des granulats naturels présentent le même terme K_c et qu'il en était de même pour les gravillons recyclés, la valeur du sable étant forfaitairement fixée à 4,42.

Tableau 13: valeurs de K_c calées (même valeur forfaitaire pour tous les granulats naturels, même valeur pour les gravillons recyclés)

| Constituant (kg/m ³) | K_c |
|----------------------------------|-------|
| Sable Sandrancourt 0/4 | 5,767 |
| Sable recyclé 0/4 | 4,42 |
| Gravillon Givet 4/10 | 5,767 |
| Gravillon recycle 4/10 | 5,173 |
| Gravillon Givet 6,3/20 | 5,767 |
| Gravillon recycle 10/20 | 5,173 |

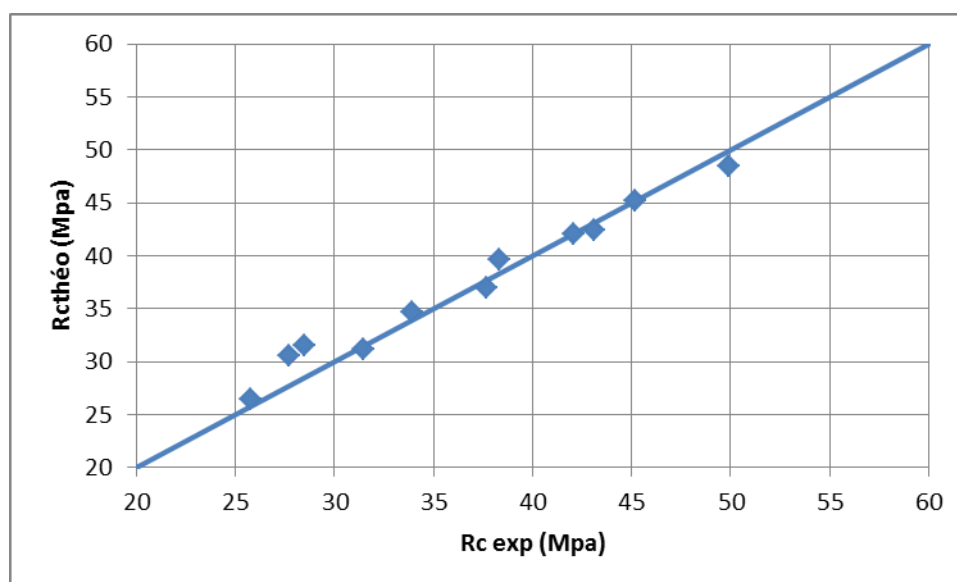


Figure 7: Comparaison des résistances à la compression expérimentales et théoriques après calibration des termes K_c (erreur moyenne de 1,07 MPA)

Le calage par la méthode des moindres carrés de l'ensemble des résistances au fendage obtenues conduit aux valeurs de K_t présentées dans le Tableau 14. On a fixé une valeur unique pour toutes les classes d'un même type de granulat.

Tableau 14: valeurs de K_t calées

| Constituant (kg/m ³) | K_t |
|----------------------------------|-------|
| Sable Sandrancourt 0/4 | 0,453 |
| Sable recyclé 0/4 | 0,364 |
| Gravillon Givet 4/10 | 0,453 |
| Gravillon recycle 4/10 | 0,364 |
| Gravillon Givet 6,3/20 | 0,453 |
| Gravillon recycle 10/20 | 0,364 |

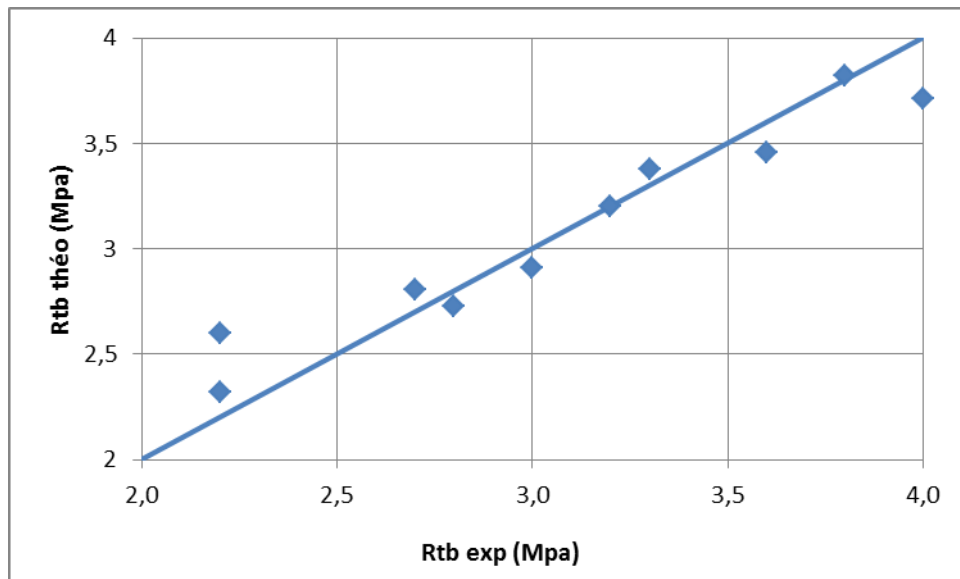


Figure 8: Comparaison des résistances au fendage expérimentales et théoriques après calibration des termes K_t (erreur moyenne de 0,12 MPA)

A l'issue de ces calages, il a été possible d'affiner la formulation des bétons pour répondre au mieux aux cahiers des charges.

3.5 Campagne de maintien de l'ouvrabilité avec le CEM II de Rochefort

Le maintien d'ouvrabilité des bétons a été dans un premier temps évalué suivant la méthode des coulées AFREM [8]. Pour cela on a conservé la partie passant 2mm des bétons pour évaluer l'évolution du temps d'écoulement au cône de Marsh en fonction du temps.

Le protocole d'essai est le suivant.

Fabrication du coulis

Un volume d'1,5 litre de coulis est préparé. On utilise le sable dans un état saturé. Les étapes sont les suivantes:

- mettre l'eau et les adjuvants dans le bol du malaxeur;
- mélanger à vitesse lente pendant 15 secondes;
- introduire le ciment et démarrer le chronomètre (t_0);
- mélanger à vitesse lente pendant 30 secondes;
- introduire le sable dans les 30 secondes suivantes, avec le malaxeur toujours en vitesse lente;
- mélanger à grande vitesse pendant 30 secondes;
- arrêter le malaxage pendant 30 secondes et racler le bol avec la spatule en caoutchouc, dans les 15 premières secondes après l'arrêt;
- reprendre le malaxage à vitesse lente pendant 15 secondes, puis à vitesse rapide pendant 1 mn 45 secondes.

Mesure du temps d'écoulement au cône de Marsh

- Installer la buse de diamètre 12,5 mm sur le cône;
- Juste à la fin du cycle de malaxage, verser 1 litre de coulis dans le cône (le niveau correspondant est repéré préalablement par calibrage avec de l'eau);
- S'assurer avant chaque mesure que les parois intérieures du cône sont mouillées (après avoir rincé le cône à l'eau, le placer à l'envers sur la pailleuse du laboratoire pendant 20 secondes environ);

- La première mesure du temps d'écoulement est faite à $t_0 + 5$ minutes (retrait du bouchon de la buse);
- Mesurer le temps d'écoulement de 500 millilitres de coulis et relever sa température.

Suivi dans le temps du temps d'écoulement

- Remettre le coulis dans le malaxeur;
- Le recouvrir d'un papier cellophane;
- Refaire l'essai à 35', 65', 95' (en re-malaxant à petite vitesse pendant 15", 1 minute avant l'essai).

Tableau 15: formules des coulis et résultats obtenus. A titre d'exemple, Coul 40-0R-100R-0,6 signifie que le coulis est tiré d'un béton de résistance moyenne visée 40 MPa, ne contenant que du sable naturel et 100% de gravillon recyclé, ainsi qu'un dosage de retardateur de 0,6% (sous forme liquide, en masse par rapport à celle du ciment).

| Constituant (kg/m3) | Coul 40-0R-0R-0 | Coul 40-100R-100R-0 | Coul 40-100R-100R-0,6 | Coul 40-100R-100R-1,0 | Coul 40-30R-30R-0 | Coul 40-30R-30R-0,4 |
|---------------------------------------|-----------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|---------------------|
| Eau d'ajout | 314,3 | 405,4 | 403,7 | 402,6 | 352,8 | 352,0 |
| Ciment Cem II/A-L 42,5 N de Rochefort | 523,6 | 700,7 | 697,8 | 695,8 | 592,6 | 591,2 |
| Filler Calcaire Betocarb HP OG | 101,5 | 128,8 | 128,2 | 127,9 | 77,0 | 76,9 |
| Sable Sandrancourt tamisé à 2mm | 1255,8 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 889,9 | 887,8 |
| Sable recyclé 0/4 tamisé à 2mm | 0,0 | 810,2 | 806,8 | 804,6 | 225,4 | 224,8 |
| Superplastifiant MC PowerFlow 3140 | 3,7 | 5,1 | 5,1 | 5,1 | 2,7 | 2,7 |
| Retardateur Centrament Retard 370 | 0,0 | 0,0 | 4,2 | 7,0 | 0,0 | 2,4 |
| Temps d'écoulement à | | | | | | |
| T _{0+5'} | 10,3 | 16,4 | 16,9 | 18,0 | 10,3 | 8,8 |
| T _{0+35'} | 11,7 | bloqué | 22 | 22,8 | 13,4 | 11,3 |
| T _{0+65'} | 12,4 | bloqué | 30 | 23,8 | 18,4 | 10,5 |
| T _{0+95'} | 13,4 | bloqué | 43,2 | 24,6 | 32 | 11,5 |

Les formules des mélanges testés ainsi que les résultats obtenus sont résumés dans le Tableau 15. Les formules sont données pour les sables secs, mais les mélanges ont été réalisés sur sables saturés, comme pour les bétons.

Si l'on suppose que les gravillons, qu'ils soient naturels ou recyclés, n'ont que peu d'influence sur le maintien de rhéologie, on peut tirer de ce tableau que pour maintenir l'ouvrabilité souhaitée pendant 1h30:

- Les bétons avec sable naturel ne nécessitent pas de retardateur ;
- Les bétons avec 30% de sable recyclé nécessitent un dosage de l'ordre de 0,4% (masse de produit liquide par rapport à la masse de ciment);
- Les bétons avec 100% de sable recyclé nécessitent un dosage de l'ordre de 0,8% à 1% (masse de produit liquide par rapport à la masse de ciment). A noter que le dosage maximum conseillé sur la FTP est de 0,8%.

Pour valider ces résultats, le maintien d'ouvrabilité de quelques bétons a également été étudié. Les formules sont données dans le Tableau 16 pour les granulats secs, mais les mélanges ont été réalisés sur granulats saturés, comme expliqué au chapitre 3.1.

Tableau 16: composition et maintien de l'ouvrabilité de quelques bétons

| Constituant (kg/m3) | C40-0R-0R-1a | C40-100R-100R-1a | C40-100R-100R-2a | C30-100R-100R-3a | C30-30R-30R-1a | C40-0R-100R-3a |
|---|--------------|------------------|------------------|------------------|----------------|----------------|
| Eau d'ajout | 178 | 299 | 287 | 300 | 221 | 238 |
| Ciment Cem II/A-L 42,5 N de Rochefort | 299 | 381 | 381 | 316 | 276 | 336 |
| Filler Calcaire Betocarb HP OG | 58 | 70 | 70 | 59 | 31 | 53 |
| Sable Sandrancourt | 771 | | | | 534 | 782 |
| Sable recyclé 0/4 | | 801 | 801 | 820 | 229 | |
| Gravillon Givet 4/10 | 264 | | | | 171 | |
| Gravillon recycle 4/10 | | 147 | 147 | 150 | 144 | 158 |
| Gravillon Givet 6,3/20 | 810 | | | | 520 | |
| Gravillon recycle 10/20 | | 453 | 453 | 446 | 151 | 682 |
| Superplastifiant MC PowerFlow 3140 | 2,1 | 2,8 | 2,8 | 1,83 | 1,3 | 2,18 |
| Retardateur Centrament Retard 370 | 0 | 0 | 2,28 | 3,16 | 1,1 | 0 |
| Eau efficace (kg/m3) | 168 | 196 | 184 | 194 | 177 | 185 |
| Sable Sandrancourt 0/4 (%vol) | 43 | 0 | 0 | 0 | 29,47 | 45 |
| Sable recyclé 0/4 (%vol) | 0 | 60 | 60 | 60 | 15,67 | |
| Gravillon Givet 4/10 (%vol) | 14 | 0 | 0 | 0 | 9 | |
| Gravillon recycle 4/10 (%vol) | 0 | 10 | 10 | 10 | 9 | 10,25 |
| Gravillon Givet 6,3/20 (%vol) | 43 | 0 | 0 | 0 | 27,32 | |
| Gravillon recycle 10/20 (%vol) | 0 | 30 | 30 | 30 | 9,54 | 44,75 |
| Superplastifiant MC PowerFlow 3140 (% es/ciment) | 0,21 | 0,22 | 0,22 | 0,18 | 0,14 | 0,2 |
| Retardateur Centrament Retard 370 (% liqu/ciment) | 0 | 0 | 0,6 | 1 | 0,4 | 0 |
| Teneur en air mesurée (%) | | | | 1,5 | 1,7 | 1,9 |
| Affaissement (cm) à | | | | | | |
| T _{0+10'} | 23 | 22 | 22 | 23 | 21 | 22 |
| T _{0+40'} | 21 | 18 | 20 | 22 | 20 | 22 |
| T _{0+70'} | 16 | 10 | 16 | 22 | 20 | 20 |
| T _{0+100'} | 16 | 8 | 12 | 21 | 20 | 19 |
| Seuil (Pa)/Viscosité (Pa.s) à | | | | | | |
| T _{0+10'} | 385/83 | | 910/123 | | 302/73 | |
| T _{0+40'} | 504/79 | | 1277/85 | | 477/57 | |
| T _{0+70'} | 539/137 | | 1542/70 | | 515/72 | |
| T _{0+100'} | 851/70 | | 1849/36 | | 517/66 | |

Les essais ont été réalisés sur des gâchées de 30 à 50 litres sur le malaxeur Skako MTV125. Une fois le malaxage réalisé, l'ensemble de la gâchée était vidée dans une benne. Un prélèvement de béton était effectué à intervalle régulier pour procéder à l'essai d'affaissement. Le béton était remis dans la benne après essai. Entre deux essais, le béton était recouvert d'une feuille plastique pour éviter l'évaporation. Le béton était remanié 1 minute à la main avec une sarclette avant prélèvement. Cette méthode de prélèvement est sans doute plus sévère (raidissement plus rapide) que ce que l'on pourrait faire avec un camion toupie dans lequel l'agitation du béton est permanente. Notre approche est donc sécuritaire.

Pour certains mélanges un suivi au rhéomètre à béton BTRHEOM a également été fait sur un échantillon prélevé en sortie de malaxeur. Pour éviter tout risque de ségrégation les essais étaient réalisés en l'absence de vibration. Le remplissage de la gamelle était fait par piquage.

Les résultats confirment que les dosages de retardateur estimés sur coulis sont satisfaisants, même en présence de gravillons recyclés.

3.6 Campagne de maintien de l'ouvrabilité avec le CR1 et le CR2

L'étude de maintien rhéologique avec le CR1 et le CR2 a été réalisée en premier lieu sur coulis selon la méthode exposée dans le chapitre précédent. Les coulis étaient extraits de formules de bétons estimées proches (avec le logiciel BétonlabPro) des formules 10, 11 et 12 visées in fine. Ils sont constitués exclusivement de sable naturel puisque les bétons visés avec ces ciments ne contiennent pas de granulats de béton recyclé.

Tableau 17: formules des coulis et résultats obtenus. A titre d'exemple, Coul 30-0R-0R-CR1-0,6 signifie que le coulis est tiré d'un béton fabriqué avec du ciment CR1, de résistance moyenne visée 30 MPa, ne contenant que du sable et des gravillons naturels, ainsi qu'un dosage de retardateur de 0,6% (sous forme liquide, en masse par rapport à celle du ciment).

| Constituant (kg/m3) | Coul 30-0R-0R-CR1-0 | Coul 30-0R-0R-CR2-0 | Coul 30-0R-0R-CR2-0,5 | Coul 30-0R-0R-CR2-1 |
|------------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
| Eau d'ajout | 321,9 | 327,3 | 327,3 | 327,3 |
| CR1 (CEM I) | 437,4 | | | |
| CR2 (CEM II/B-SBC) | | 533,2 | 533,2 | 533,2 |
| Filler Calcaire Betocarb HP OG | 187,5 | 0 | 0 | 0 |
| Sable Sandrancourt tamisé à 2mm | 1227,3 | 1291,1 | 1291,1 | 1291,1 |
| Superplastifiant MC PowerFlow 3140 | 3,7 | 3,1 | 3,1 | 3,1 |
| Retardateur Centrament Retard 370 | 0,0 | 0,0 | 2,7 | 5,3 |
| Temps d'écoulement à | | | | |
| T _{0+5'} | 14,5 | 13,0 | 10,0 | 8,0 |
| T _{0+30'} | 17,0 | 14,0 | 12,0 | 10,0 |
| T _{0+60'} | 18,0 | bloqué | 15,0 | 12,0 |
| T _{0+90'} | 18,0 | bloqué | 17,0 | 13,0 |

Les résultats obtenus sont résumés dans le Tableau 17. On constate que le CR1 ne nécessite pas de retardateur pour maintenir la rhéologie pendant 90 minutes alors qu'il est nécessaire d'en utiliser environ 1% (masse de produit liquide par rapport à la masse de ciment) avec le CR2. A noter que le dosage maximum conseillé sur la FTP est de 0,8%.

3.7 Première campagne de mise au point avec le CR1 et le CR2

Sur la base des calibrations des granulats naturels faite lors de la première campagne d'essais sur béton (voir paragraphe 3.4) et les essais de maintien de rhéologie (paragraphe 3.6), trois premières formules visant à répondre au cahier des charges ont été obtenues par simulations avec BétonlabPro et testées sur gâchées de 80 litres. Les résultats obtenus sont résumés dans le Tableau 18. On constate que ces formules satisfont le cahier des charges et sont proches des formules optimales

On constate que comme le filler ne peut pas être pris en compte dans le calcul du ciment équivalent avec le CR2 et que la classe du CR2 est faible, l'optimisation conduit à une formule C30-0R-0R-CR2 sans filler.

A contrario, la prise en compte du filler avec le CR1 conduit à mettre un dosage élevé de filler dans la formule C30-0R-0R-CR1 afin de répondre à l'exigence en Eff/C_{equ} de la norme EN 206/CN tout en limitant le prix et l'excédent de résistance.

Notons que, comme observé dans le chapitre 2.3, les formules avec le CR1 contiennent des dosages en superplastifiant assez élevés par rapport au mélange avec les CR2.

Des mesures d'affaissement ont été réalisées à 90 minutes sur un échantillon conservé en bidon étanche et malaxé énergiquement pendant une minute à l'aide d'une sarclette avant essai. On constate que les 3 bétons répondent bien au critère d'ouvrabilité S4 à 90 minutes, comme attendu à l'issue des essais sur coulis. Ce constat est confirmé par la stabilité rhéologique observée au rhéomètre à béton BTRHEOM.

Toutefois le dosage massif de retardateur, rendu nécessaire à ce maintien avec le CR2, a conduit à un retard de prise conséquent. Ainsi il n'a été possible de démouler les éprouvettes du mélange C30-0R-R-CR2 qu'au bout de 48 heures.

Tableau 18: composition, maintien de l'ouvrabilité et propriétés mécaniques de bétons avec du ciment CR1 ou CR2. Nomenclature :

- C30 (béton XC1 de résistance moyenne supérieure ou égale à 30 MPa) ou C40 (béton XF1 de résistance moyenne supérieure ou égale à 40 MPa)
- 0R-0R : sable et gravillon naturels
- CR1 ou CR2 : ciment utilisé

| Constituant (kg/m3) | C30-0R-0R-CR1 | C40-0R-0R-CR1 | C30-0R-0R-CR2 |
|---|---------------|---------------|---------------|
| Eau d'ajout | 191 | 190 | 183,7 |
| CR1 (CEM I) | 252 | 278 | |
| CR2 (CEM II/B-SBC) | | | 293 |
| Filler Calcaire Betocarb HP OG | 108 | 93 | 0 |
| Sable Sandrancourt | 760 | 758 | 790 |
| Gravillon Givet 4/10 | 260 | 260 | 270 |
| Gravillon Givet 6,3/20 | 799 | 796 | 830 |
| Superplastifiant MC PowerFlow 3140 | 2,16 | 2,55 | 1,13 |
| Retardateur Centrament Retard 370 | 0 | 0 | 2,93 |
| Eau efficace (kg/m3) | 181,3 | 180,8 | 175,6 |
| Sable Sandrancourt 0/4 (%vol) | 43 | 43 | 43 |
| Gravillon Givet 4/10 (%vol) | 14 | 14 | 14 |
| Gravillon Givet 6,3/20 (%vol) | 43 | 43 | 43 |
| Superplastifiant MC PowerFlow 3140 (% es/ciment) | 0,26 | 0,28 | 0,12 |
| Retardateur Centrament Retard 370 (% liqu/ciment) | 0 | 0 | 1 |
| Teneur en air (%) mesurée | 1,7 | 1,2 | 1,5 |
| Affaissement (cm) à | | | |
| T _{0+10'} | 20,5 | 23 | 22 |
| T _{0+90'} | 20,0 | 23 | 17 |
| Seuil (Pa)/Viscosité (Pa.s) à | | | |
| T _{0+15'} | 638/38 | 508/80 | 567/45 |
| T _{0+45'} | * | 568/79 | 731/35 |
| T _{0+75'} | * | 530/90 | 698/56 |
| T _{0+105'} | * | 594/77 | 819/39 |
| Propriétés à l'état durci | | | |
| R _{c28} (en MPa) | 38,0 | 44,3 | 31,0 |
| R _{t28} (en MPa) | 3,3 | 3,6 | 2,6 |
| E ₂₈ (GPa) | 35,0 | 36,8 | 32,0 |

*essai stoppé pour cause de joint déficient

4 Conclusions

Lors de la fabrication du sable recyclé sur la plateforme de Gonesse, fin 2012, un incident a eu lieu sur le crible (voir chapitre 2.6). Une fuite de matériaux entre deux toiles du crible a laissé le passage pour des grains supérieurs à 4 mm. L'incident a été réparé rapidement, mais une partie des produits impactés par ce défaut avaient déjà été conditionnés et expédiés. L'Ifsttar fait partie des quelques laboratoires ayant donc reçu un sable recyclé 0/4 mm avec près de 20% de refus à 4 mm.

Le problème ayant été détecté tardivement l'étude de formulation a été poursuivie à l'Ifsttar avec ce sable défectueux. Toutefois, comme les deux sables recyclés sont issus des mêmes matériaux, il est possible d'utiliser les modèles de l'Ifsttar pour proposer les formules de référence pour le bon sable 0/4 mm (avec un passant à 4mm de l'ordre de 95%) sur la base des essais contenus dans ce rapport.

Ainsi, un ensemble de 13 formules dites de référence ont été mises au point selon le cahier des charges imposé par le projet national Recybéton.

Le Tableau 19 et le Tableau 20 résument les formules pour les mélanges constitués de proportions variables de sable et de gravillons de béton recyclé et du ciment CEM II/A-L 42,5 de Rochefort.

La nomenclature utilisée est la suivante C25/30-xR-yR ou C35/45-xR-yR avec:

- C25/30 et C35/45 correspondent aux classes de résistance à la compression selon la norme EN 206/CN et on vise ici des valeurs moyennes respectives de 30 MPa et 40 MPa. Les C25/30 sont de classe d'environnement XC1 et les C35/45 de classe XF1, selon la norme NF EN 206/CN. L'ensemble des bétons sont d'ouvrabilité S4 pendant 90 minutes ;
- xR représente le pourcentage de sable recyclé par rapport à la masse totale de sable
- yR représente le pourcentage de gravillon recyclé par rapport à la masse totale de gravillon

Le Tableau 21 résume les formules constituées de granulats naturels mais avec le ciment CR1 (CEM I dont le cru contient des sables de béton recyclé) ou le ciment CR2 (CEM II obtenu par cobroyage du clinker avec 25% de sable de béton recyclé). Ces deux ciments ont été mis au point dans le cadre du PN Recybéton, afin d'évaluer la recyclabilité des sables de béton concassé dans l'industrie cimentière. A la nomenclature précédente, on ajoute en fin de nom CR1 ou CR2 (par ex C25/30-0R-0R-CR1).

On a visé ici des affaissements de l'ordre de 20 cm, pour une classe S4 souhaitée. Des ajustements à la marge du dosage en superplastifiant de ces formules seront probablement nécessaires pour prendre en compte la diversité des malaxeurs.

De même le dosage de retardateur pourra être ajusté en fonction des besoins de maintien de rhéologie. A titre indicatif, pour un maintien d'ouvrabilité de 90 minutes avec le CEM II de Rochefort :

- Les bétons avec sable naturel ne nécessitent pas de retardateur ;
- Les bétons avec 30% de sable recyclé nécessitent un dosage de l'ordre de 0,4% (masse de produit liquide par rapport à la masse de ciment);
- Les bétons avec 100% de sable recyclé nécessitent un dosage de l'ordre de 0,8% à 1% (masse de produit liquide par rapport à la masse de ciment). A noter que le dosage maximum conseillé sur la FTP est de 0,8%.

Les mêmes conclusions peuvent être proposées avec le CR1, celui-ci ne présentant aucun problème particulier de maintien d'ouvrabilité. Par contre les bétons constitués de CR2 nécessitent un dosage de retardateur important de l'ordre de 1% (masse de produit liquide par rapport à la masse de ciment) même s'ils ne contiennent que du sable naturel. Ce dosage est supérieur à la plage recommandée

(voir FTP) de 0,2 à 0,8% ce qui conduit à un retard de prise notable. Nous n'avons pas combiné dans le cadre de cette étude l'emploi de CR2 et de sable de béton recyclé, mais il apparait clairement que le problème du maintien de rhéologie doit être étudié de près dans ce cas.

Le CR1 semble présente une demande en eau notablement élevée. De même, le superplastifiant semble peu efficace sur ce ciment. Cela est peut-être lié à l'introduction de sable recyclé dans le cru.

Les prix affichés dans les tableaux suivants sont limités au coût des matériaux (hors retardateur) sur la base des valeurs du Tableau 8. Ces valeurs forfaitaires mériteraient d'être affinées.

Comme indiqué dans le chapitre 3.1, les granulats recyclés doivent être utilisés dans un état d'humidité correspondant à leur absorption plus 1% (en valeur absolue) soit à une teneur en eau de:

- 9,9% pour le sable recyclé 0/4
- 6,6 % pour le gravillon recycle 4/10
- 6,8 % pour le gravillon recyclé 10/20

Tableau 19: composition (sur granulats secs) des bétons C25/30 de référence avec le sable 0/4mm recyclé de référence (avec passant à 4 mm de l'ordre de 95%). **Les partenaires du PN Recybéton doivent donc s'assurer qu'ils sont en possession du bon sable avant de les fabriquer.**

| Constituant (kg/m3) | | | | | | |
|---|--------------|---------------|----------------|---------------|----------------|------------------|
| | C25/30-0R-0R | C25/30-0R-30R | C25/30-0R-100R | C25/30-30R-0R | C25/30-30R-30R | C25/30-100R-100R |
| Eau d'ajout | 190 | 210 | 244 | 213 | 228 | 303 |
| Ciment Cem II/A-L 42,5 N de Rochefort | 270 | 276 | 282 | 276 | 277 | 326 |
| Filler Calcaire Betocarb HP OG | 45 | 31 | 31 | 31 | 31 | 50 |
| Sable Sandrancourt | 780 | 813 | 806 | 549 | 500 | |
| Sable recyclé 0/4 | | | | 235 | 218 | 673 |
| Gravillon Givet 4/10 | 267 | 228 | | 190 | 171 | |
| Gravillon recycle 4/10 | | | 163 | | 145 | 304 |
| Gravillon Givet 6,3/20 | 820 | 462 | | 829 | 552 | |
| Gravillon recycle 10/20 | | 296 | 701 | | 167 | 442 |
| Superplastifiant MC PowerFlow 3140 | 1,31 | 1,51 | 1,4 | 1,16 | 1,08 | 1,18 |
| Retardateur Centrament Retard 370 | 0 | 0 | | 1,1 | 1,1 | 2,6 |
| Eau efficace (kg/m3) | 180 | 185 | 189 | 185 | 185 | 199 |
| Sable Sandrancourt 0/4 (%vol) | 43 | 45 | 45 | 30,3 | 27,6 | 0 |
| Sable recyclé 0/4 (%vol) | 0 | 0 | 0 | 16,1 | 14,9 | 49,6 |
| Gravillon Givet 4/10 (%vol) | 14 | 12 | 0 | 10 | 9 | 0 |
| Gravillon recycle 4/10 (%vol) | 0 | 0 | 10,25 | 0 | 9 | 20,4 |
| Gravillon Givet 6,3/20 (%vol) | 43 | 24,3 | 0 | 43,6 | 29 | 0 |
| Gravillon recycle 10/20 (%vol) | 0 | 18,7 | 44,75 | 0 | 10,5 | 30 |
| Superplastifiant MC PowerFlow 3140 (% es/ciment) | 0,15 | 0,17 | 0,15 | 0,13 | 0,12 | 0,11 |
| Retardateur Centrament Retard 370 (% liqu/ciment) | 0 | 0 | 0 | 0,4 | 0,4 | 0,8 |
| Prix (€/m3) hors prix du retardateur | 58,2 | 57,4 | 55,2 | 57 | 55,8 | 56,5 |

| | | | | | | |
|----------------------------------|----|----|----|----|----|----|
| Rc ₂₈ attendue (MPa)* | 34 | 33 | 31 | 32 | 32 | 30 |
|----------------------------------|----|----|----|----|----|----|

*A noter que certaines valeurs de Rc₂₈ attendues sont plus élevées que les 30 MPa du cahier des charges pour les C25/30. Cela est dû à l'exigence d'avoir $E_{eff}/C_{equi} \leq 0,65$.

Tableau 20: composition (sur granulats secs) des bétons C35/45 de référence avec le sable 0/4mm recyclé de référence (avec passant à 4 mm de l'ordre de 95%). **Les partenaires du PN Recybéton doivent donc s'assurer qu'ils sont en possession du bon sable avant de les fabriquer.**

| Constituant (kg/m3) | C35/45-0R-0R | C35/45-0R-100R | C35/45-30R-30R | C35/45-100R-100R |
|---|--------------|----------------|----------------|------------------|
| Eau d'ajout | 185 | 238 | 220 | 284 |
| Ciment Cem II/A-L 42,5 N de Rochefort | 299 | 336 | 321 | 381 |
| Filler Calcaire Betocarb HP OG | 58 | 53 | 44 | 70 |
| Sable Sandrancourt | 771 | 782 | 491 | |
| Sable recyclé 0/4 | | | 214 | 663 |
| Gravillon Givet 4/10 | 264 | | 168 | |
| Gravillon recycle 4/10 | | 158 | 142 | 299 |
| Gravillon Givet 6,3/20 | 810 | | 542 | |
| Gravillon recycle 10/20 | | 682 | 164 | 435 |
| Superplastifiant MC PowerFlow 3140 | 2,1 | 2,18 | 1,64 | 2,78 |
| Retardateur Centrament Retard 370 | 0 | 0 | 1,3 | 3 |
| <hr/> | | | | |
| Eau efficace (kg/m3) | 175 | 185 | 179 | 184 |
| Sable Sandrancourt 0/4 (%vol) | 43 | 45 | 27,6 | 0 |
| Sable recyclé 0/4 (%vol) | 0 | 0 | 14,9 | 49,6 |
| Gravillon Givet 4/10 (%vol) | 14 | 0 | 9 | 0 |
| Gravillon recycle 4/10 (%vol) | 0 | 10,25 | 9 | 20,4 |
| Gravillon Givet 6,3/20 (%vol) | 43 | 0 | 29 | 0 |
| Gravillon recycle 10/20 (%vol) | 0 | 44,75 | 10,5 | 30 |
| Superplastifiant MC PowerFlow 3140 (% es/ciment) | 0,21 | 0,2 | 0,16 | 0,22 |
| Retardateur Centrament Retard 370 (% liqu/ciment) | 0 | 0 | 0,4 | 0,8 |
| Prix (€/m3) hors prix du retardateur | 62,9 | 63,1 | 61,9 | 65,9 |
| Rc ₂₈ attendue (MPa) | 40 | 40 | 40 | 40 |

Tableau 21: composition (sur granulats secs) des bétons de référence avec les ciments CR1 ou CR2 et des granulats naturels

| Constituant (kg/m3) | C25/30-0R-0R-CR1 | C35/45-0R-0R-CR1 | C25/30-0R-0R-CR2 |
|---|------------------|------------------|------------------|
| Eau d'ajout | 191 | 180 | 183,7 |
| CR1 (CEM I) | 252 | 250** | |
| CR2 (CEM II/B-SBC) | | | 293 |
| Filler Calcaire Betocarb HP OG | 108 | 140 | 0 |
| Sable Sandrancourt | 760 | 759 | 790 |
| Gravillon Givet 4/10 | 260 | 259 | 270 |
| Gravillon Givet 6,3/20 | 799 | 797 | 830 |
| Superplastifiant MC PowerFlow 3140 | 2,16 | 2,9 | 1,13 |
| Retardateur Centrament Retard 370 | 0 | 0 | 2,93 |
| Eau efficace (kg/m3) | 181,3 | 170,9 | 175,6 |
| Sable Sandrancourt 0/4 (%vol) | 43 | 43 | 43 |
| Gravillon Givet 4/10 (%vol) | 14 | 14 | 14 |
| Gravillon Givet 6,3/20 (%vol) | 43 | 43 | 43 |
| Superplastifiant MC PowerFlow 3140 (% es/ciment) | 0,26 | 0,35 | 0,12 |
| Retardateur Centrament Retard 370 (% liqu/ciment) | 0 | 0 | 1 |
| Prix (€/m3) hors prix du retardateur | 58,7 | 60,4 | 57,2 |
| Rc ₂₈ attendue (MPa) | 37,5* | 40,0 | 30,0 |

*A noter que la valeur de Rc₂₈ attendue est plus élevée que les 30 MPa du cahier des charges pour les C25/30. Cela est dû à l'exigence d'avoir $E_{eff}/C_{equi} \leq 0,65$.

** Le dosage en ciment a été diminué et compensé par du filler calcaire par rapport à la formule du Tableau 18, pour diminuer la Rc₂₈ à 40 MPa

5 Références

[1] Rapport d'étude 13 BRE 0030-I002, " DLB site de Gonesse - Projet Recybéton – Analyse des granulats de recyclage", Eurovia, janvier 2013

[2] F. de LARRARD, F. BOSC, C. CATHERINE et F. de FLORENNE, La nouvelle méthode des coulis de l'AFREM pour la formulation des bétons à hautes performances, Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées n°202, pp 61-69, mars-avril 1996

[3] SEDRAN T., de LARRARD F., LE GUEN L., Détermination de la compacité des ciments et additions minérales à la sonde de vicat. Note technique, Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées 270-271, octobre-décembre 2007

[4] Essais de compacité des fractions granulaires à la table à secousses. Méthode d'essai des LPC n°61, juillet 2004, ed LCPC

[5] DAO D-T. (Multi-)recyclage du béton hydraulique, thèse de doctorat de l'ED SPIGA, 29 mars 2012

[6] SEDRAN T., de LARRARD F., BétonlabPro3, Logiciel de formulation des bétons, 1999-2008, www.lcpc.fr/betonlabpro

[7] F. de LARRARD, Structures granulaires et formulation des bétons, Collection Etudes et Recherches des Laboratoires des Ponts et Chaussées n°OA 34, 414 p, Avril 2000

6 Annexes

6.1 FTP des constituants



MC-PowerFlow 3140

Conforme NF EN
934.1/2

Superplastifiant/haut réducteur d'eau très performant reposant sur la dernière technologie polymérique

Propriétés du produit

- Réduction d'eau importante.
- Faible dosage.
- Très bon maintien de la rhéologie.
- Dispersion rapide dans le béton.
- Faible cohésion.
- Bonne stabilité des bétons autoplacants et autonivelants.
- Bonne compatibilité avec les entraîneurs d'air.
- Ne contient pas de chlorures.

Domaines d'application

- Béton prêt à l'emploi.
- Adapté pour l'association avec les ciments composites.
- Bétons très fluides.
- Béton autoplacant (BAP)

Indications de mise en œuvre

Consignes d'utilisation

MC-PowerFlow 3140 est un superplastifiant synthétique qui repose sur la dernière technologie MC des polycarboxylatether (PCE).

Le mécanisme actif particulier permet la fabrication de bétons à faible teneur en eau avec des qualités de mise en oeuvre excellentes. Les caractéristiques visées du béton frais sont généralement obtenues avec de faibles dosages

MC-PowerFlow 3140 se mélange rapidement et de manière homogène dans le béton et développe son effet fluidifiant. Ainsi, les cadences de productions rapides sont assurées.

MC-PowerFlow 3140 est conçu pour obtenir de longs maintiens de rhéologie. Les pertes de consistance souvent constatées avec les superplastifiants conventionnels peuvent être

réduites de manière considérable dans la plupart des cas. Une correction ultérieure de la consistance par un ajout de fluidifiant sur le chantier n'est plus nécessaire dans la majorité des cas.

Généralement, même si le maintien de la rhéologie est important, les temps de prise et de développement des résistances mécaniques sont normaux. Dans les cas isolés, un léger effet retardateur peut se produire en fonction du dosage et de la température.

La combinaison particulière des matières actives permet la fabrication de bétons stables sans risque de ségrégation sur toute la plage de consistance.





MC-Powerflow 3140 peut être combiné dans le béton avec beaucoup d'autres adjuvants MC. Pour les cas particuliers, veuillez contacter nos conseillers spécialisés dans la technologie du béton.

L'ajout de MC-PowerFlow 3140 au béton est effectué pendant le mélange. La meilleure efficacité est obtenue lors du dosage après l'ajout d'eau. Cependant le dosage dans l'eau de gâchage est également possible. Nous recommandons de choisir

la durée du mélange de manière à ce que l'adjuvant puisse pleinement produire son effet fluidifiant pendant l'opération de mélange.

Dans le cas d'un dosage sur le chantier en citerne, il convient de respecter la norme en vigueur.

Veuillez respecter les "Consignes générales d'application d'adjuvants pour béton".

Propriétés techniques du MC-Powerflow 3140

| Paramètres | Unité | Valeur | Observation |
|-----------------------------|------------|-----------|----------------------|
| Densité | Kg/L | env. 1,06 | valeur moyenne |
| Plage de dosage recommandée | % | 0,2 à 3,0 | du poids de ciment |
| Teneur max. en chlorure | % de masse | ≤ 0,10 | |
| Teneur max. en alcalins | % de masse | ≤ à 1,5 | |
| Extrait sec. | % | 29,8-31,8 | (methode infrarouge) |
| pH | | 4,5-6,5 | |

Caractéristiques produit du MC-Powerflow 3140

| | |
|---|--|
| Type d'adjuvant | Superplastifiant/haut réducteur d'eau: EN 934-2 T3.1/3.2 |
| Désignation (appellation) de l'adjuvant | MC-Powerflow 3140 |
| Couleur | Marron |
| Forme | Liquide |
| Certificat de conformité | DIN EN ISO 9001 / DIN EN 934-1/2/6 0754-CPD-02-1065.2 |
| Organisme homologué | MPA, Karlsruhe |
| Contrôle de la production en usine selon DIN EN ISO 9001 / DIN EN 934-1/2/6 | |
| Forme de la livraison | Fûts de 200 Kg Container de 1000 Kg |

Annotation : Les informations données dans la présente fiche technique sont basées sur notre expérience en toute bonne foi, mais sans engagement. Elles sont à adapter aux ouvrages respectifs, aux objectifs d'utilisation et aux exigences locales spécifiques. Dans ces conditions, nous garantissons l'exactitude de ces informations dans le cadre de nos conditions de vente et de livraison. Toute recommandation faite par nos collaborateurs et s'écartant des informations contenues dans nos fiches techniques sera valable uniquement à condition d'avoir été confirmée par écrit. De manière générale, les règles de l'art officiellement reconnues sont applicables.

Edition 09/09. Le présent imprimé a été révisé sur le plan technique. Les versions publiées antérieurement ne sont plus valables et ne doivent plus être utilisées. Toute nouvelle révision technique annule et remplace la précédente version.



Conforme
NF-EN 934.1/2

Centrament Retard 370

Retardateur de prise

Propriétés du produit

- Centrament Retard 370 est un adjuvant non chloré
- Amélioration des reprises de bétonnage.
- Bétonnage par temps chaud
- Augmente le maintien de la rhéologie.
- Amélioration des propriétés du béton durci :
 - Structure de béton plus homogène
 - Résistance supérieure à la compression et à la flexion
 - Taux de retrait et de fluage inférieur
 - Résistance aux substances agressives améliorée

Domaines d'application

- Béton prêt à l'emploi.
- Béton de centrale de chantier.
- Béton destiné à la construction de routes et ponts.
- Transport du béton sur de longues distances

Indications de mise en œuvre

Centrament Retard 370 est un retardateur de prise exempt de chlorures et autres composants corrodant l'acier.

Centrament Retard 370 a les effets suivants sur le béton frais :

- Amélioration de l'ouvrabilité dans le temps de mise en œuvre souhaité.
- Amélioration des reprises de bétonnage.

Le béton déjà mis en place peut être vibré de nouveau pendant un laps de temps plus long grâce à une ouvrabilité prolongée. Lors de cette reprise de bétonnage, le ressuage superflue s'incorpore facilement dans le béton, les pores encore existants et/ou nouvellement constitués sont éliminés et les fissures qui se sont formées ultérieurement dans le béton frais sont comblées, de sorte que l'on obtient un béton présentant de bonnes qualités.

Opérations de pompage et de transport du béton facilitées.

Un béton à prise retardée permet d'atteindre des résistances mécaniques plus élevées.

Centrament Retard 370 peut être utilisé avec tous les ciments normalisés. La diversité de ces types de ciments implique une épreuve de convenance pour vérifier le degré d'efficacité.

Centrament Retard 370 peut être incorporé soit à l'eau de gâchage pour faciliter sa dispersion lors du malaxage, soit introduit en différé, sur béton hydraté.

Il convient d'observer les temps de malaxage prescrits de même que les dispositions applicables concernant la fabrication, la mise en œuvre et le retraitement du béton à prise retardée, du béton précontraint etc.

Le retard de prise dépend largement de la nature du ciment, de la température du béton, de la température extérieure, de la composition du béton et d'autres facteurs. Des essais de convenances permettront de déterminer précisément le dosage.

Veillez observer les « Indications générales relatives à l'utilisation d'adjuvants pour béton ».





Propriétés techniques de Centrament Retard 370

| Paramètre | Unité | Valeur | Observations |
|-----------------------------------|--------------------|----------------------------|------------------------------------|
| Densité volumique | kg/dm ³ | env. 1,08 | |
| Dosage recommandé | g | 2 - 8 | par kg de ciment |
| Teneur maximale en ions chlorure: | % de taux de masse | ≤ 0,10 | |
| Teneur maximale en alcalins: | % de taux de masse | ≤ 1,0 | |
| Extrait sec | % | 18,53-20,48 19,29-21,32 | (methode infrarouge) (EN 480-8) |
| pH | - | 6,5-9,5 | |

Caractéristiques produit de Centrament Retard 370

| | |
|------------------------------------|---|
| Nature de l'adjuvant | Retardateur de prise EN 934-2 : section 8 |
| Appellation de l'adjuvant | Centrament Retard 370 |
| Couleur | bleu |
| Forme | liquide |
| Certificat de conformité | 0754-CPD-02-1065.2 0754-CPD-08-0260 |
| Organisme notifié | MPA, Karlsruhe |
| Contrôle de la production en usine | selon DIN EN ISO 9001 / DIN EN 934-2/6 |
| Forme de la livraison | Fûts de 230 kg Conteneurs de 1000 kg |

Annotation : Les informations données dans la présente fiche technique sont basées sur notre expérience en toute bonne foi, mais sans engagement. Elles sont à adapter aux ouvrages respectifs, aux objectifs d'utilisation et aux exigences locales spécifiques. Dans ces conditions, nous garantissons l'exactitude de ces informations dans le cadre de nos conditions de vente et de livraison. Toute recommandation faite par nos collaborateurs et s'écartant des informations contenues dans nos fiches techniques sera valable uniquement à condition d'avoir été confirmée par écrit. De manière générale, les règles de l'art officiellement reconnues sont applicables.

Edition 03/11. Le présent imprimé a été révisé sur le plan technique. Les versions publiées antérieurement ne sont plus valables et ne doivent plus être utilisées. Toute nouvelle révision technique annule et remplace la présente version

②



Fiche technique

Betocarb[®] HP - OG

SITE: ORGON, France (certifié ISO 9001)

DESCRIPTION DU PRODUIT: Addition calcaire sélectionnée pour bétons hydrauliques et filler pour bétons hydrauliques hautes performances (EN 12620).
 Produit particulièrement adapté aux bétons de parement et architectoniques (essai LG_007).
 Ce produit est de catégorie A selon la norme NF P 18-508.

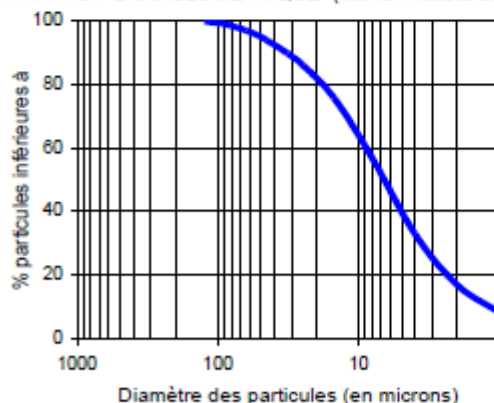
| | | | |
|------------------|----------------------------|-------|------|
| COMPOSITION TYPE | CaCO ₃ | 98.8 | % |
| DE LA ROCHE: | Carbonates totaux | 99.1 | % |
| | Chlorures | 0.001 | % |
| | Sulfates | 0.001 | % |
| | Soufre total | 0.005 | % |
| | Matières organiques | 0.01 | % |
| | Essai au bleu de méthylène | 0.3 | g/kg |
| | Alcalins équivalents | 0.005 | % |
| | Silice totale | 0.1 | % |
| | Réactivité aux alcalins | NR | |

| | | | |
|------------------------|-----------------------------|-----|--------------------|
| CARACTERISTIQUES TYPES | Granulométrie: | | |
| DU PRODUIT: | - Particules < 2 mm | 100 | % |
| | - Particules < 0.125 mm | 100 | % |
| | - Particules < 0.063 mm | 97 | % |
| | - Surface spécifique Blaine | 462 | m ² /kg |

| | | | |
|----------------------------|------------------------------|------|------|
| | Blancheur CIE L* | 95 | |
| | Indice d'activité à 28 jours | 0.79 | |
| | Taux d'humidité départ usine | 0.2 | % |
| CARACTERISTIQUES GENERALES | Densité | 2.7 | g/ml |
| DU PRODUIT: | Densité apparente tassée | 1.5 | g/ml |

APPLICATIONS PRINCIPALES:
 Béton auto-plaçant
 Béton prêt à l'emploi
 Eléments préfabriqués architectoniques
 Applications spéciales
 - Béton projeté

REPARTITION GRANULOMETRIQUE (Malvern Mastersizer 2000):



CONDITIONNEMENT STANDARD:

- VRAC
- SAC (papier) de 25 kg sur palette

Les informations contenues dans cette fiche technique ne concernent que le matériel spécifique mentionné et ne concernent pas l'utilisation conjointement avec tout autre matériel ou dans tout procédé. Les informations fournies dans le présent document se basent sur des données techniques qui, à la connaissance de Omya, sont fiables, toutefois Omya ne fournit aucune garantie de complétude ou d'exactitude de ces informations, et Omya n'assume aucune responsabilité résultant de leur utilisation ou vis-à-vis de toutes réclamations, pertes ou dommages subis par une tierce partie. Toute personne recevant ces informations doit exercer son jugement propre en ce qui concerne leur utilisation appropriée et il incombe à l'utilisateur d'évaluer si le matériel convient (y compris en matière de sécurité) pour un usage particulier avant d'en faire usage.

FICHE TECHNIQUE Fabriqué à ROCHEFORT

Mise à jour du 27/02/2012

Ciment Portland au calcaire

| | | |
|-----------------------|--|------------|
| <i>NF EN 197-1/A1</i> | CEM II/A-L 42,5 N N° de certificat : 0333-CPD-4304 | 01/06/2001 |
| CE+NF | CEM II/A-L 42,5 N CE CP2 NF | 27/01/1997 |
| <i>NF P15-318</i> | Ciments à teneur en sulfures limitée pour béton précontraint | CP2 |

Disponibilités : Vrac

COMPOSITION DÉCLARÉE (en %)

| <u>Constituant</u> | % | <u>Régulateur de prise</u> | % |
|---------------------------------------|----|--------------------------------|------|
| Clinker (K) | 87 | Gypse | 3,4 |
| Laitier de haut-fourneau (S) | — | Anhydrite | — |
| Schiste calciné (T) | — | Autre sulfate de calcium | — |
| Sulfate de calcium (Cs) | — | | |
| Pouzzolanes naturelles (P) | — | | |
| Cendres volantes siliceuses (V) | — | <u>Additif</u> | |
| Cendres volantes calciques (W) | — | Agent de mouture HEA 252 | 0,04 |
| Calcaires (L ou LL) | 11 | Sulfate ferreux | 0,25 |
| Constituants secondaires | 2 | | |

RESISTANCES A LA COMPRESSION (en MPa)

1 jour — 2 jours **29** 7 jours — 28 jours ... **53**

CARACTÉRISATION PHYSIQUE

| <u>Sur poudre</u> | <u>Sur pâte pure</u> | <u>Sur mortier</u> |
|---|-------------------------------|--|
| Masse volumique (en g/cm ³) 3,09 | Besoin en eau (en %) | 27,9 Chal. hydr. 41h (en J/g) |
| Surface massique (en cm ² /g) 3700 | Stabilité (en mm) | 1,1 |
| Indice de clarté | Début de prise (en min) | 150 |

CARACTÉRISATION CHIMIQUE

| PAF | INS | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | SO ₃ | K ₂ O | Na ₂ O | S ⁻ | Cl | CO ₂ | CaO _{Ess} | Na ₂ O éq actif |
|-----|-----|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-----|-----------------|------------------|-------------------|----------------|------|-----------------|--------------------|----------------------------|
| 5,1 | 1,0 | 18,7 | 4,9 | 3,7 | 62,0 | 1,3 | 2,7 | 0,68 | 0,17 | 0,05 | 0,04 | 4,7 | 1,5 | 0,59 |

Composition potentielle du clinker : C3A **7,9** C3S **61** C4AF **12**



La reproduction partielle ou intégrale de ce document est interdite sans accord préalable de notre part.
 Les résultats faisant l'objet du présent document sont basés sur des valeurs moyennes et sont donnés à titre purement indicatif. Etant susceptibles de varier dans les limites autorisées par les normes correspondantes, ils ne sauraient engager la responsabilité de Holcim France ou Holcim Belgique.



FICHE TECHNIQUE CIMENT

Ciment CR1 Recybéton

CIMENT

FTCR1.1724

Mise à jour : 03/01/2017
 Page 1/1

Produit : CEM I 52,5 N

Usine : Créchy (03)

Caractéristiques physiques et mécaniques

| | Masse Volumique (g/cm ³) | Finesse Blaine (cm ² /g) / Diamètre médian (µm) | Clarté L* | Demande en eau (%) | Temps de début de prise (min) | Expansion (mm) | Chaleur d'hydratation à 41h (J/g) | Résistance en compression (MPa) | | | |
|------------|--------------------------------------|--|-----------|--------------------|-------------------------------|----------------|-----------------------------------|---------------------------------|------|-----|------|
| | | | | | | | | 1j | 2j | 7j | 28j |
| Moyenne | 3,14 | 3630/ 11 | 62,8 | 34,9 | 280 | 2,0 | 350 | 20 | 35 | 55 | 58 |
| Ecart type | * | 200 / 0,5 | * | 0,5 | 18 | 1,0 | 18 | 1,6 | 1,5 | 1,1 | 1,0 |
| Limites | CE | * | * | * | ≥ 40 | ≤ 10 | * | * | ≥ 18 | * | ≥ 20 |
| | NF | * | * | * | ≥ 60 | ≤ 10 | * | * | ≥ 18 | * | ≥ 20 |

Caractéristiques chimiques

| (%) | Moyenne | Ecart type | Limites | |
|--|---------|------------|---------|--------|
| | | | CE | NF |
| Alcalins eq. actifs (Na ₂ O eq. actifs) | 0,79 | 0,04 | * | * |
| Perte au feu 950°C | 1,62 | * | ≤ 5,0 | ≤ 5,0 |
| SO ₃ | 3,35 | * | ≤ 4,5 | ≤ 4,5 |
| Cl ⁻ | 0,01 | * | ≤ 0,10 | ≤ 0,10 |
| S ²⁻ | 0,02 | * | * | ≤ 0,2 |
| Résidu insoluble | 0,32 | * | ≤ 5,0 | ≤ 5,0 |

Composition hors gypse et caractéristiques des constituants

| Constituant | Teneur (%) | Caractéristiques (%) | | | |
|--------------------------|------------|----------------------|------------------|------------------|-------------------|
| | | C ₂ S | C ₃ S | C ₃ A | C ₄ AF |
| Clinker | 100 | C ₂ S | C ₃ S | C ₃ A | C ₄ AF |
| | | 61,8 | 17,8 | 6,1 | 11,6 |
| Calcaire | * | * | * | * | * |
| Laitier | * | * | * | * | * |
| Constituants Secondaires | * | * | * | * | * |

Certificat CE et Marque NF-LH

Certificat CE

Marque NF-Liant Hydraulique

Les valeurs indiquées sont des valeurs moyennes, elles peuvent varier légèrement dans les limites autorisées par les normes.
 Le succès des travaux entrepris avec ce ciment n'est naturellement conditionné par le respect des règles de bonne pratique en matière de préparation, de mise en oeuvre et de conservation des mortiers et bétons.
 Le ciment contient un agent réducteur de chrome hexavalent autorisé afin de satisfaire à la réglementation en vigueur.

VICAT - DIRECTION QUALITE CIMENT - 4, RUE ARISTIDE BERGÈS - BP 137 - LES TROIS VALLONS
 38081 L'ISLE D'ABEAU CEDEX TEL : +33 (0)4 74 18 41 00 - FAX : +33 (0)4 74 18 40 18



FICHE TECHNIQUE CIMENT

Ciment CR2 Recybeton

| | |
|-------------|------------|
| Ref. | FTC-CR2 |
| Version | 1.1 |
| Mise à jour | 29-août-17 |

| | |
|--------------------|---|
| PRODUIT | CR2 RECYBETON |
| DESIGNATION | CEM II/B SBC 32,5N |
| USINE | Laboratoire SD-Tech Ales - Broyage/mélange/homogénéisation |

CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET MECANIQUES

| | Masse Volumique | Finesse Blaine | D med | Demande en eau | Temps de prise (début) | Temps de prise (fin) | Expansion | Chaleur d'hydratation | Résistances à la Compression | | | |
|-------------------|-------------------|--------------------|-------|----------------|------------------------|----------------------|-----------|-----------------------|------------------------------|------|------|------|
| | | | | | | | | | MPa | | | |
| | g/cm ³ | cm ² /g | µm | % | min. | min. | mm | 1/g à 41h | 1j | 2j | 7j | 28j |
| Valeur | 2,966 | 4 548 | 5 | 26,9 | 3h42 | 4h12 | nd | 250,2 | 9,6 | 20,2 | 32,9 | 38,9 |
| Ecart Type | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a |

| | | | | | | | | | | | | |
|---------|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Limites | CE | | | | | | | | | | | |
| | NF | | | | | | | | | | | |

| | Colorimétrie | | | Granularité (% Passant) | | |
|-------------------|--------------|-----|-----|-------------------------|-------|--------|
| | L* | a* | b* | <43µm | <80µm | <200µm |
| Moyenne | 64,9 | 0 | 6,5 | nd | 36,9 | nd |
| Ecart Type | 0,22 | 0,1 | 0 | n/a | n/a | n/a |

CARACTERISTIQUES CHIMIQUES

| Element | Unité | Valeur | Ecart-type | Limites | | |
|--------------------------------|-------|--------|------------|---------|----|------|
| | | | | CE | NF | ASTM |
| Perte au Feu | % | 6,63 | | | | |
| SiO ₂ | % | 27,27 | | | | |
| Al ₂ O ₃ | % | 5,37 | | | | |
| Fe ₂ O ₃ | % | 2,35 | | | | |
| CaO | % | 53,52 | | | | |
| MgO | % | 1,37 | | | | |
| MnO | % | 0,04 | | | | |
| SO ₃ | % | 3,06 | | | | |
| K ₂ O | % | 0,91 | | | | |
| Na ₂ O | % | 0,44 | | | | |
| TiO ₂ | % | 0,28 | | | | |
| P ₂ O ₅ | % | 0,06 | | | | |
| Total | % | 101,3 | | | | |

COMPOSITION & CONSTITUANTS

| Constituant | Teneur % | Caractéristique | | | |
|--------------------------|----------|-----------------|-----|-----|------|
| | | C3S | C2S | C3A | C4AF |
| DRX/Rietveld sur Clinker | | | | | |
| Clinker | 69 | nd | nd | nd | nd |
| Calcaire | - | | | | |
| Laitier | - | | | | |
| Cendre | - | | | | |
| Pouzzolane | - | | | | |
| Fumée Silice | - | | | | |
| SBC | 25 | | | | |
| Gypse | 6 | | | | |
| Total | 100 | | | | |

| DRX/Rietveld sur Ciment | | | | | |
|------------------------------|---|-----|--|--|--|
| Résidu Insoluble | % | 9,0 | | | |
| CaO Libre | % | 2,5 | | | |
| Na ₂ O eq. actifs | % | nd | | | |
| Sulfures S ₂ - | % | nd | | | |

| DRX/Rietveld sur Ciment | |
|-------------------------|------|
| C3S | 53,9 |
| C2S | 4,8 |
| C3A | 6,8 |
| C4AF | 6 |
| CaO L | 0,3 |
| Gypse | 5,2 |
| Calcite | 11,6 |
| Quartz | 4,9 |
| Albite | 6,4 |

CERTIFICAT CE et NF-LH

| | |
|------------------|-----|
| Certificat CE | N/A |
| Certificat NF-LH | N/A |



Granulats Nord Est / Champagne Ardennes

Fiche Technique Produit Mise à jour du : 03/01/2012 FTP Q2L442 A10 112

| | | |
|-----------------------|--------------------------|--------------------|
| Unité de production | Classe granulaire | Elaboration |
| Givet CE | 6.3 / 20 Cal CL - NF | Concassé Lavé |
| Norme | Article | Code |
| NF P 18545 | 10 : Bétons hydrauliques | A sauf Soufre en B |
| Nature pétrographique | | |
| Calcaire | | |

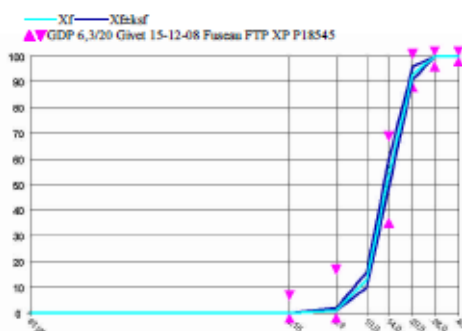
PARTIE NORMATIVE

| Nom | Symbole | V _{si} | V _{ss} | u | V _{si} - u | V _{ss} + u | Li | Ls | e | e / 3,3 |
|----------------------|----------|-----------------|-----------------|-----|---------------------|---------------------|----|----|----|---------|
| 2D | 40 mm | 100 | 100 | | | | | | | |
| 1.4D | 28 mm | 98 | 100 | 1 | 97 | 100 | | | | |
| D | 20 mm | 90 | 99 | 5 | 85 | 100 | | | | |
| D/1,4 | 14 mm | 37 | 67 | 6 | 31 | 73 | 25 | 70 | 30 | 9,09 |
| d | 6.3 mm | 0 | 15 | 5 | 0 | 20 | | | | |
| d/2 | 3.15 mm | 0 | 5 | 1 | 0 | 6 | | | | |
| 0,063 | 0.063 mm | 0 | 1.5 | 0.3 | | | | | | |
| FI | FI | | 20 | 4 | | 24 | | | | |
| LA | LA | | 30 | 3 | | 33 | | | | |
| Ab | Ab | | 2.5 | 0.3 | | 2.8 | | | | |
| Impuretés prohibées | IP | | 0.1 | | | | | | | |
| Teneur en soufre tot | S% | | 1 | 0.1 | | 1.1 | | | | |
| Boulettes d'argile | Arg | | 1 | | | | | | | |
| MBf | MBf | | 10 | 2 | | 12 | | | | |
| Teneur en fines | F | | 1.5 | 0.3 | | 1.8 | | | | |

PARTIE INFORMATIVE (k=1.25)

Du 07/07/2011 au 14/12/2011

| Nom | Symbole | Maxi | Xf + ksf | Xf | sf | Xf - ksf | Mini | Nb val |
|-----------------|---------|--------|----------|--------|------|----------|--------|--------|
| 40 | 40.0 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 0,00 | 100,00 | 100,00 | 34 |
| 28.0 | 28.0 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 0,00 | 100,00 | 100,00 | 34 |
| 20.0 | 20.0 | 98,00 | 96,40 | 93,90 | 2,00 | 91,40 | 88,80 | 34 |
| 14.0 | 14.0 | 66,10 | 60,20 | 54,60 | 4,40 | 49,10 | 46,60 | 34 |
| 6.3 | 6.3 | 3,30 | 2,40 | 1,90 | 0,50 | 1,30 | 1,10 | 34 |
| 3.15 | | 0,90 | 0,60 | 0,40 | 0,10 | 0,30 | 0,20 | 34 |
| 63 µm | 0.063 | 0,60 | 0,40 | 0,30 | 0,10 | 0,20 | 0,10 | 34 |
| Aplatissement | FI | 14,0 | | 10,7 | | | 7,8 | 5 |
| Teneur en eau | w | 2,5 | 1,7 | 1,0 | 0,5 | 0,4 | 0,2 | 34 |
| Teneur en fines | f | 0,61 | 0,41 | 0,29 | 0,09 | 0,17 | 0,14 | 34 |



| Date | Nom de l'essai | Norme essai | Symbole | Valeur |
|----------|------------------------------|-------------------------|-------------|--------|
| 25/01/11 | Abs d'eau (%) | NF EN 1097-6 articles 7 | WA24 | 0,57 |
| 05/04/11 | Alcalins solubles (%) | LPC n°37 | Na2O eq | 0,0012 |
| 21/11/11 | Aplatissement (%) | NF EN 933-3 | FI | 10,9 |
| 04/10/11 | Boulettes d'Argile (%) | XP P 18-545 10-1-6 | BA | 0,01 |
| 04/04/11 | Chlorure+eau (pot) (%) | NF EN 1744-1 art 8 | C | 0,0240 |
| 04/10/11 | Impuretés prohibées (%) | XP P 18545 3-42 | ImP | 0,01 |
| 05/10/11 | LA+MDE (%) | P18 545 8 1 | % | 40 |
| 05/10/11 | Los Angeles (.) | NF EN 1097-2 article 5 | LA | 21 |
| 04/04/11 | Matière humique | NF EN 1744-1 art 15.1 | Couleur | 0,024 |
| 05/10/11 | Micro-Deval (.) | NF EN 1097-1 | MDE | 19 |
| 25/01/11 | MV absolue 0/63 - µ a (t/m) | NF EN 1097-6 articles 7 | MVA (Absol | 2,74 |
| 31/03/11 | MV réelle - µ rd (t/m3) | NF EN 1097-6 articles 7 | prd | 0,00 |
| 25/01/11 | MV réelle saturé 0/63 - µ ss | NF EN 1097-6 articles 8 | MVS | 2,71 |
| 04/04/11 | Qualification Alcali | FD P18-542 | NR | |
| 04/04/11 | Soufre total (%) | NF EN 1744-1 article 11 | S | 0,360 |

| | | |
|--|--|--|
| | Éditée par : Granulats Nord Est / Champagne Ardennes - Aux trois Fontaines - 08600 - Givet | Tél : 03.24.42.85.46 Fax : 03.24.42.85.50 |
|--|--|--|



Granulats Nord Est / Champagne Ardennes

Annexe des caractéristiques de la Fiche Technique Produit

Mise à jour du : 03/01/2012
 FTP Q2L442 A10 112

| | | |
|---------------------|--------------------------|--------------------|
| Unité de production | Classe granulaire | Elaboration |
| Givet CE | 6.3 / 20 Cal CL - NF | Concassé Lavé |
| Norme | Article | Code |
| NF P 18545 | 10 : Bétons hydrauliques | A sauf Soufre en B |

| | | | | | | |
|-------------------------|--------|----------|------------|------|------------------------------|--|
| COMPTAGE PETROGRAPHIQUE | | | | | Date pétrographie 11/03/2010 | |
| SIR | QUARTZ | CALCAIRE | GRANITOIDE | GRES | AUTRE | |
| 1 | 0 | 98.5 | 1 | 0 | 0.5 | |

| | | | | | | | | | | | |
|--------|-------|-------|-------|------|-----|------|------|------|------|------------------------|------------|
| CHIMIE | | | | | | | | | | Date chimie 04/04/2011 | |
| SiO2 | Al2O3 | Fe2O3 | CaO | MgO | SO3 | Na2O | K2O | TiO2 | MnO | P2O5 | Perte au f |
| 6.98 | 1.77 | 0.88 | 46.57 | 3.47 | | 0.07 | 0.47 | 0.10 | 0.03 | <L.D. | 39.39 |

| | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------|------|------|-------|-----------------------------|-------|--------|--------|--|
| Détail: Analyse granulométrique | | | | | Du 07/07/2011 au 14/12/2011 | | | | |
| | 63 µm | 3.15 | 6.3 | 10.0 | 14.0 | 20.0 | 28.0 | 40 | |
| Maximum | 0.60 | 0.90 | 3.30 | 21.70 | 66.10 | 98.00 | 100.00 | 100.00 | |
| Xf + k sf | 0.40 | 0.60 | 2.40 | 16.30 | 60.20 | 96.40 | 100.00 | 100.00 | |
| sf | 0.10 | 0.10 | 0.50 | 2.40 | 4.40 | 2.00 | 0.00 | 0.00 | |
| Xf | 0.30 | 0.40 | 1.90 | 13.30 | 54.60 | 93.90 | 100.00 | 100.00 | |
| Xf - k sf | 0.20 | 0.30 | 1.30 | 10.20 | 49.10 | 91.40 | 100.00 | 100.00 | |
| Minimum | 0.10 | 0.20 | 1.10 | 10.30 | 46.60 | 88.80 | 100.00 | 100.00 | |

Observations
 Organisme certificateur : AFNOR Certification
 11 rue Francis Pressensé
 F-93571 La Plaine Saint Denis Cedex

| | | |
|--|--|--|
| | Éditée par : Granulats Nord Est / Champagne Ardennes - Aux trois Fontaines - 08600 - Givet | Tél : 03.24.42.85.46 Fax : 03.24.42.85.50 |
|--|--|--|



Granulats Nord Est / Champagne Ardennes

| Fiche Technique Produit | | Mise à jour du : 03/01/2012 | FTP Q2L270 A10 112 |
|-------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------|
| Unité de production | Classe granulaire | Elaboration | |
| Givet CE | 4 / 10 Cal CL - NF - | Concassé Lavé | |
| Norme | Article | Code | |
| P 18-545 | 10 : Bétons Hydrauliques | A sauf Soufre et Aplatissement en B | |
| Nature pétrographique | | | |
| Calcaire | | | |

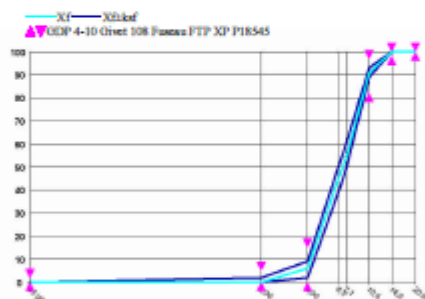
PARTIE NORMATIVE

| Nom | Symbole | V _{ai} | V _{ss} | n | V _{ai} - n | V _{ss} + n | Li | Ls | e | e / 3,3 |
|---------------|----------|-----------------|-----------------|------|---------------------|---------------------|----|----|----|---------|
| 2 D | 20 mm | 100 | 100 | | | | | | | |
| 1.4 D | 14 mm | 98 | 100 | 1 | 97 | 100 | | | | |
| D | 10 mm | 84 | 99 | 5 | 77 | 100 | 80 | 99 | 15 | |
| d | 4 mm | 0 | 15 | 5 | 0 | 20 | 0 | 20 | 15 | |
| d/2 | 2 mm | 0 | 5 | 1 | 0 | 6 | | | | |
| Fines | 0.063 mm | | 1.5 | 0.3 | | 1.8 | | | | |
| Aplatissement | A | | 35 | 4 | | 39 | | | | |
| Absorption | Ab | | 2.5 | 0.5 | | 3 | | | | |
| Los Angeles | LA | | 30 | 3 | | 33 | | | | |
| Gel | F | | 2 | | | | | | | |
| Soufre | S | | 1 | 0.1 | | 1.1 | | | | |
| Sulfates | AS | | 0.2 | 0.15 | | 0.35 | | | | |

PARTIE INFORMATIVE (k=1.25)

Du 07/07/2011 au 14/12/2011

| Nom | Symbole | Maxi | Xf+ksf | Xf | sf | Xf-ksf | Mini | Nb val |
|-----------------|---------|--------|--------|--------|------|--------|--------|--------|
| 20.0 | 2D | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 0,00 | 100,00 | 100,00 | 19 |
| 14.0 | 1.4D | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 0,00 | 100,00 | 100,00 | 19 |
| 10.0 | D | 94,40 | 93,30 | 91,30 | 1,70 | 89,20 | 88,00 | 19 |
| 4.00 | d | 13,80 | 9,30 | 6,00 | 2,60 | 2,80 | 3,40 | 19 |
| 2.00 | d/2 | 4,80 | 2,10 | 0,80 | 1,00 | 0,00 | 0,30 | 19 |
| 63 µm | 0.063 | 0,70 | 0,60 | 0,40 | 0,10 | 0,20 | 0,10 | 19 |
| Aplatissement | FI | 18,3 | | 16,1 | | | 13,3 | 7 |
| Teneur en eau | w | 3,6 | 3,2 | 1,9 | 1,0 | 0,6 | 0,4 | 19 |
| Teneur en fines | f | 0,72 | 0,56 | 0,37 | 0,15 | 0,19 | 0,10 | 19 |



| Date | Nom de l'essai | Norme essai | Symbole | Valeur |
|----------|------------------------------|-------------------------|--------------|--------|
| 24/01/11 | Abs d'eau (%) | NF EN 1097-6 articles 7 | WA24 | 0,62 |
| 04/04/11 | Alcalins solubles (%) | LPC n°37 | Na2O eq | 0,0012 |
| 14/12/11 | Aplatissement (%) | NF EN 933-3 | FI | 16,7 |
| 28/09/11 | Boulettes d'Argile (%) | XP P 18-545 10-1-6 | BA | 0,01 |
| 04/04/11 | Chlorure+eau (pot) (%) | NF EN 1744-1 art 8 | C | 0,0240 |
| 28/09/11 | Impuretés prohibées (%) | XP P 18545 3-42 | Imp | 0,01 |
| 03/10/11 | LA+MDE (%) | P18 545 8 1 | % | 40 |
| 03/10/11 | Los Angeles (°) | NF EN 1097-2 article 5 | LA | 21 |
| 03/10/11 | Micro-Deval (°) | NF EN 1097-1 | MDE | 19 |
| 24/01/11 | MV absolue 0/63 - µ a (t/m) | NF EN 1097-6 articles 7 | MVA (Absol) | 2,74 |
| 24/01/11 | MV réelle - µ rd (t/m3) | NF EN 1097-6 articles 7 | grd | 2,69 |
| 24/01/11 | MV réelle sature 0/63 - µ ss | NF EN 1097-6 articles 8 | MVS | 2,71 |
| 04/04/11 | Qualification Alcali | FD P18-542 | | NR |
| 04/04/11 | Soufre total (%) | NF EN 1744-1 article 11 | S | 0,360 |
| 04/04/11 | Sulfates dans acide (%) | NF EN 1744-1 article 12 | AS | 0,013 |

| | | |
|--|--|--|
| | Éditée par : Granulats Nord Est / Champagne Ardennes - Aux trois Fontaines - 08600 - Givet | Tél : 03.24.42.85.46 Fax : 03.24.42.85.50 |
|--|--|--|



Granulats Nord Est / Champagne Ardennes

Annexe des caractéristiques de la Fiche Technique Produit Mise à jour du : 03/01/2012
FTP Q2L270 A10 112

| | | |
|---------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| Unité de production | Classe granulaire | Elaboration |
| Givet CE | 4 / 10 Cal CL - NF - | Concassé Lavé |
| Norme | Article | Code |
| P 18-545 | 10 : Bétons Hydrauliques | A sauf Soufre et Aplatissement en B |

| | |
|-------------------------|------------------------------|
| COMPTAGE PETROGRAPHIQUE | Date pétrographie 18/01/2010 |
|-------------------------|------------------------------|

| | |
|--------|------------------------|
| CHIMIE | Date chimie 11/03/2010 |
|--------|------------------------|

| | | | | | | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|------|-----|------|------|------|------|--------|------------|
| SiO2 | Al2O3 | Fe2O3 | CaO | MgO | SO3 | Na2O | K2O | TiO2 | MnO | P2O5 | Perte au f |
| 6,98 | 1,77 | 0,88 | 46,57 | 3,47 | | 0,07 | 0,47 | 0,10 | 0,03 | < L.D. | 39,39 |

| | |
|---------------------------------|-----------------------------|
| Détail: Analyse granulométrique | Du 07/07/2011 au 14/12/2011 |
|---------------------------------|-----------------------------|

| | | | | | | | | |
|------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| | 63 µm | 2,00 | 4,00 | 6,3 | 7,1 | 10,0 | 14,0 | 20,0 |
| Maximum | 0,70 | 4,80 | 13,80 | 52,20 | 61,20 | 94,40 | 100,00 | 100,00 |
| Ncf + k sf | 0,60 | 2,10 | 9,30 | 50,40 | 60,40 | 93,30 | 100,00 | 100,00 |
| sf | 0,10 | 1,00 | 2,60 | 4,20 | 4,50 | 1,70 | 0,00 | 0,00 |
| Ncf | 0,40 | 0,80 | 6,00 | 45,10 | 54,70 | 91,30 | 100,00 | 100,00 |
| Ncf - k sf | 0,20 | 0,00 | 2,80 | 39,80 | 49,00 | 89,20 | 100,00 | 100,00 |
| Minimum | 0,10 | 0,30 | 3,40 | 37,60 | 46,70 | 88,00 | 100,00 | 100,00 |

Observations
 Organisme de certification : AFNOR Certification
 11 avenue de Francis de Pressensé
 93571 Saint Denis La Plaine
 Cedex

| | | |
|--|--|--|
| | Éditée par : Granulats Nord Est / Champagne Ardennes - Aux trois Fontaines - 08600 - Givet | Tél : 03.24.42.85.46 Fax : 03.24.42.85.50 |
|--|--|--|



LAFARGE

Fiche Technique
 de Produit

Engagement du 01/01/2012 au 30/06/2012

Page 1/1, Imprimé le jeudi 12 avril 2012

Producteur : Sandrancourt
 Granulats : 0/4 SC L NF

Partie contractuelle

Valeurs spécifiées sur lesquelles le producteur s'engage

Classe granulaire

| | |
|---|---|
| 0 | 4 |
|---|---|

Norme

Norme NF P 18-545 Article 10 - EN 12620+A1

Code

Code A

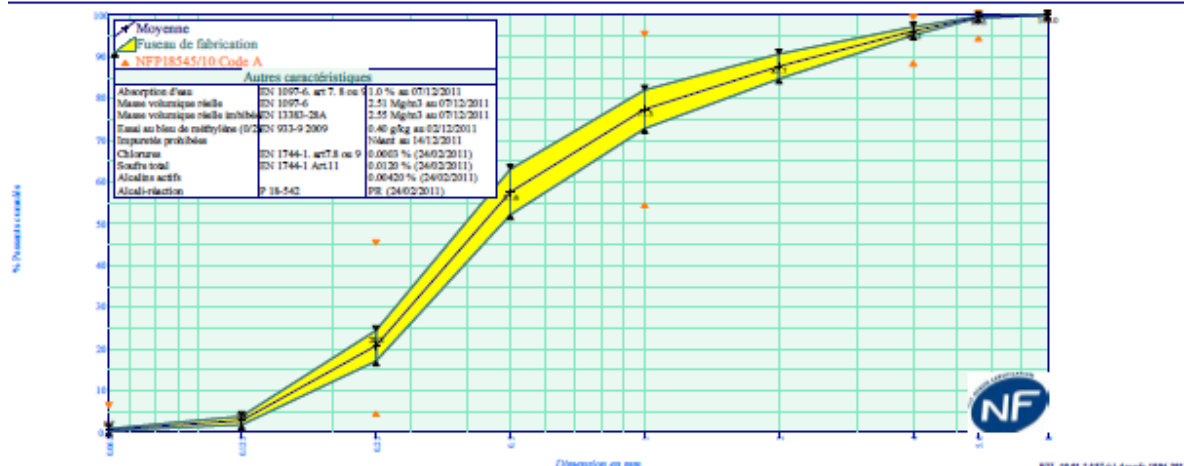
| | 0.063 | 0.125 | 0.25 | 0.5 | 1 | 2 | 4 | 5.6 | 8 | FM | SE10 | f |
|----------------|-------|-------|-------|-----|-------|---|-----|-----|-----|------|------|-------|
| Etendue e | 6 | | 40 | | 40 | | 10 | | | 0.6 | | 6 |
| V.S.S.+U | | | 46 | | 96 | | 100 | | | 2.95 | | 11.00 |
| V.S.S. | 6.0 | | 45 | | 95 | | 99 | | | 2.80 | | 10.00 |
| V.S.I. | | | 5 | | 55 | | 89 | 95 | 100 | 2.20 | 65.0 | |
| V.S.I.-U | | | 4 | | 54 | | 87 | 94 | | 2.05 | | |
| Ecart-type max | | | 12.12 | | 12.12 | | | | | 0.18 | | |

Partie informative

Résultats de production

du 01/07/11 au 27/12/11

| | 0.063 | 0.125 | 0.25 | 0.5 | 1 | 2 | 4 | 5.6 | 8 | FM | SE10 | f |
|---------------------|-------|-------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|------|-------|
| Maximum | 1.5 | 5 | 29 | 70 | 88 | 94 | 99 | 100 | 100 | 2.80 | 94.0 | 1.60 |
| XI-1.25(e)cart-type | 0.9 | 4 | 24 | 63 | 82 | 91 | 97 | 100 | 100 | 2.73 | 85.5 | 0.93 |
| Moyenne Xf | 0.7 | 3 | 21 | 58 | 77 | 88 | 96 | 100 | 100 | 2.57 | 83.0 | 0.70 |
| XI-1.25(f)cart-type | 0.4 | 2 | 17 | 52 | 73 | 85 | 95 | 99 | 100 | 2.41 | 80.5 | 0.47 |
| Minimum | 0.3 | 1 | 14 | 49 | 70 | 82 | 94 | 99 | 100 | 2.21 | 80.0 | 0.40 |
| Ecart-type | 0.19 | 0.8 | 2.9 | 4.4 | 3.7 | 2.4 | 0.8 | 0.1 | 0.0 | 0.130 | 2.00 | 0.185 |
| Nombre de résultats | 184 | 184 | 184 | 184 | 184 | 184 | 184 | 184 | 184 | 184 | 95 | 184 |



Eric Jammet