

Formulation des bétons autoplaçants : Optimisation du squelette granulaire par la méthode graphique de Dreux - Gorisse

Fatiha Boumaza - Zeraoulia* & Mourad Behim

Laboratoire Matériaux, Géo – Matériaux et Environnement - Département de Génie Civil
Université Badji Mokhtar Annaba - BP 12, 23000 Annaba – Algérie

Révisé le 07/03/2013

Accepté le 19/06/2013

ملخص

تشكيل خرسانة ذاتية الرص هي عملية معقدة تتطلب إيجاد تركيبة جيدة من المواد الملائمة والكميات المناسبة لكل مادة للحصول على تشكيلة تلبي خصائص هذه الخرسانة (سيولة وتجانس)، وقد وضعت مناهج متعددة في جميع أنحاء العالم لتشكيل خرسانة ذاتية الرص. تم تصميم معظم الطرق التجريبية، تركز أساساً على مناهج ثنائية الطور للخرسانة الذاتية الرص. وهذه الطرق تنقسم إلى صنفان: صنف يركز على تحسين حجم العجينة (العجينة الإسمنتية أو الملاط)، و الآخر يركز على تحسين الهيكل الحبيبي. مساهمتنا تمكن في فهم مشكلة خليط الخرسانة الذاتية الرص بصورة إجمالية لإدماج في أن واحد تحسين حجم العجينة بإضافات حشو الحجر الجيري بثلاثة نسب و تحسين الهيكل الحبيبي بطريقة الرسم البياني لـ 'Dreux Gorisse' النتائج المتحصل عليها تبين بأن هناك حجم أمثل للعجينة وأن تركيبة الهيكل الحبيبي بطريقة الرسم البياني لـ 'Dreux Gorisse' تطبق باختيار أنواع الحصى و تحليلهم الحبيبي الذي يسمح بإبراز الفئات الناقصة.

الكلمات المفتاحية: خرسانة ذاتية القوية - التحسين - الحصى - الإضافات - توصيف

Résumé

La formulation d'un béton autoplaçant (BAP) est une opération complexe qui nécessite de trouver une bonne combinaison de matériaux compatibles et le dosage convenable de chacun de ses constituants afin d'obtenir une formulation répondant aux propriétés des BAP (fluidité et homogénéité). De multiples approches se sont développées à travers le monde pour la formulation d'un béton autoplaçant. La plupart des méthodes de formulation sont conçues actuellement de manière empirique. Ces méthodes se basent essentiellement sur des approches diphasiques du béton autoplaçant. Elles sont divisées en deux catégories : celles qui sont axées sur l'optimisation du volume de pâte (sous forme de pâte pure ou de mortier) et celles qui sont focalisées sur l'optimisation du squelette granulaire. Notre contribution est d'appréhender la problématique de la formulation des BAP de façon globale en intégrant à la fois l'optimisation du volume de pâte par l'ajout de filler calcaire avec trois dosages et l'optimisation du squelette granulaire par la méthode graphique de Dreux – Gorisse. Les résultats obtenus montrent qu'il existe un volume de pâte optimum et que la composition du squelette granulaire par la méthode graphique de Dreux – Gorisse est applicable par le choix des fractions granulaires et leurs analyses granulométriques qui permet de mettre en évidence les classes manquantes

Mots Clés : BAP – Optimisation – Granulats – Additions – Caractérisation

Abstract

The mix design of a self-compacting concrete (SCC) is a complex operation that requires finding a good combination of compatible materials, and the proper dosage of each of these components in order to obtain a formulation that meets the properties of SCC (fluidity and homogeneity). Multiple approaches have been developed in the world wide for the formulation of a self-compacting concrete. Most methods of formulation are currently designed empirically. These methods are mainly based on the fact that the BAP is a two-phase material. These methods are divided into two categories: those that focus on optimizing the volume of paste (paste form pure or mortar) and those that focus on optimizing the granular skeleton. Our contribution is to apprehend the problem formulation SCC in a comprehensive manner, integrating both the optimization of the paste volume by adding the limestone filler with three dosages and optimizing the skeleton by the graphical method Dreux - Gorisse. The results obtained show that to formulate a self-compacting concrete, there is an optimum paste volume. Whereas the composition of the granular skeleton by the graphical method of Dreux - Gorisse is applicable by the choice of granular fractions and particle size analysis which allows highlighting the missing classes

Keywords : SCC – Formulation – Optimization – Aggregate – Additions – Characterization

*Auteur correspondant : fatiha.boumaza@lgc-univ-annaba.dz

1. INTRODUCTION

Réaliser un béton autoplaçant (BAP) est une opération complexe qui nécessite de trouver une bonne combinaison de matériaux compatibles et le dosage convenable de chacun de ses constituants afin d'obtenir une formulation répondant aux propriétés des BAP. Plusieurs approches ont été élaborées à travers le monde, approche japonaise [1], approche suédoise [2], approche LCPC [3] pour répondre aux exigences d'ouvrabilité de ce type de béton. Néanmoins, ces approches restent empiriques et sont basées sur l'optimisation soit de la fraction fine de la pâte de ciment ou de mortier [1, 2, 4], soit du squelette granulaire [3, 5, 6].

L'objectif de cette étude est de formuler un béton autoplaçant en optimisant le volume de pâte (par l'ajout de filler calcaire avec trois dosages) et le squelette granulaire.

A cet effet notre travail est structuré en trois parties :

- Optimisation du squelette granulaire

Le squelette granulaire est optimisé par le choix des fractions granulaires et leurs analyses granulométriques permettant de détecter les classes manquantes. L'application de la méthode graphique de Dreux – Gorisse [7] permet de déterminer la composition du squelette granulaire qui est appliquée pour formuler un béton ordinaire (BO) sans addition et sans superplastifiant.

- Optimisation du dosage en superplastifiant

Un béton à caractère autoplaçant (BAP0) est formulé en s'appuyant sur la composition

granulaire validée sur le béton ordinaire (BO), en visant l'ouvrabilité d'un béton autoplaçant à l'aide de superplastifiant.

- Optimisation du volume de pâte

Trois bétons autoplaçant (BAP 1, 2 et 3) sont formulés en se basant sur la composition du béton à caractère autoplaçant (BAP0) en introduisant le filler calcaire avec différents dosages pour assurer la stabilité du mélange et éliminer les risques de ressuage et de ségrégation.

2. CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX UTILISES

2.1 Ciment

Dans cette étude, un CPJ - CEM II/A 42.5 a été utilisé qui répond à la norme Algérienne NA 442 [8]. Les analyses chimiques ont été réalisées au laboratoire de la cimenterie de Hadjar-soud la composition minéralogique est calculée par les formules de Bogue corrigées, les résultats sont représentés dans le tableau 1.

2.2 Le filler calcaire

Le filler calcaire est composé essentiellement de calcite (> 80 %), produit d'un broyage à boulets d'une finesse de l'ordre de 6000 cm²/g. Les caractéristiques chimiques et physiques du filler calcaire sont regroupées dans le tableau 2.

Tableau 1. Caractéristiques Chimiques et physiques du Ciment

Composition chimique et minéralogique du ciment, %		Caractéristiques physiques et mécaniques du ciment	Unité	Valeurs		
CaO	60.41	Densité apparente	kg/m ³	1020		
SiO ₂	21.91	Densité absolue	kg/m ³	3000		
Al ₂ O ₃	5.19	Consistance normale	%	27		
Fe ₂ O ₃	2.94	Surface Spécifique Blaine	cm ² /g	3480		
SO ₃	1.60	Début de prise	h et mn	1 h 40		
MgO	2.19	Fin de prise	h et mn	4 h 50		
CaO _{libre}	1.01	Résistance mécanique		2 j	7 j	28 j
C ₃ S	58.2	Compression	MPa	7.0	24.17	30.25
C ₂ S	18.5					
C ₃ A	9.3	Flexion	MPa	2.97	5.3	8.12
C ₄ AF	8.2					

Tableau 2. Caractéristiques Chimique et physiques du filler calcaire.

Composition chimique		Caractéristiques physiques	Unité	Valeurs
CaO	55.58	Densité apparente	kg/m ³	960
SiO ₂	0.15			
Al ₂ O ₃	0.05	Densité absolue	kg/m ³	2620
Fe ₂ O ₃	0.10			
SO ₃	0.13	Surface Spécifique Blaine	cm ² /g	6285
MgO	0.05			
Na ₂ O	0.11			
K ₂ O	0.04	Fines < 63 µm	%	75
PAF	43.60			

2.3 Eau de gâchage

Pour la confection des différents bétons, l'eau potable a été utilisée. L'analyse chimique de cette eau a été réalisée au laboratoire de l'Algérienne des eaux. Les résultats sont présentés dans le tableau 3. Ils répondent aux prescriptions de la norme XP P 18-303 [9].

Tableau 3. Composition de l'Eau de Gâchage (mg/l)

Ca	Mg	Na	K
200	150	200	20
Fe	Al	Cl	SO ₄
0.3	0.2	500	400

2.4 Adjuvant

L'adjuvant utilisé est un superplastifiant à base de polycarboxylates modifiés, de masse volumique 1110 kg / m³, de pH = 5 ± 1, de teneur en ions chlore ≤ 0.1 %, de teneur en Na₂O Eq. ≤ 2.5 % et l'extrait sec = 36.4 ± 1.8 (%). La plage d'utilisation recommandée varie de 0.25 à 2.5 % du poids du liant.

2.5 Les granulats

Les courbes granulométriques des granulats sont présentées sur la figure 1.

- **Le sable** : le sable utilisé est un sable roulé, siliceux de dune de la sablière de Coudiet Oued Ali de Tébessa, de module de finesse de 2.51 et de grosseur (0/2).

- **Les graviers** : les graviers utilisés sont des graviers concassés, de roche naturelle calcaire de fractions (2/8 et 6.3/15), les caractéristiques physiques et chimiques sont représentées dans le tableau 4.

3. METHODES EXPERIMENTALES

3.1 Formulation des bétons par la méthode de Dreux – Gorisse

- **Données** :
 - D_{max} = 15 mm
 - Ouvrabilité exprimée par l'affaissement au cône d'Abrams : AC = 6cm
 - La résistance nominale visée (béton d'ouvrage) : σ'n = 20 MPa.
- **Analyses granulométriques et composition du squelette granulaire**

Dans le but de composer le squelette granulaire des bétons par la méthode graphique de Dreux-Gorisse, une analyse granulométrique est réalisée sur les granulats et présentée sur la figure 1.

Tableau 4. Caractéristiques Physico – Mécaniques des granulats

Caractéristiques	Unité	Sable	Gravillon	Gravier
Masse volumique apparente	kg/m ³	1410	1333	1238
Masse volumique absolue	kg/m ³	2570	2650	2730
d/D	-	0/2	2/8	6.3/15
Module de finesse	-	2.51	-	-
Essai Los-Angeles	%	-	-	$\frac{10}{14}$ 33
Essai Micro Deval	%	-	-	$\frac{10}{14}$ 28
Coefficient d'Aplatissement	%	-	-	7.40

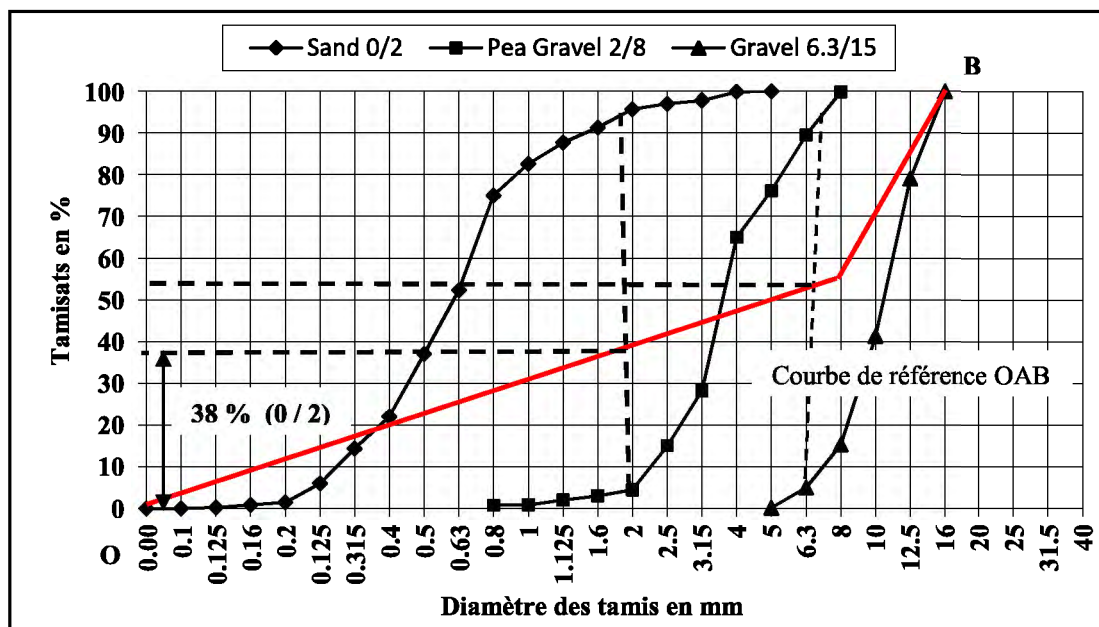


Figure 1. Courbes granulométriques et répartition graphique des granulats

3.2 Compositions des bétons

Les compositions des bétons formulés sont données dans le tableau 5.

Tableau 5. Compositions de BO et des BAP

Composants	Unité	BO	BAP0	BAP1	BAP2	BAP3
Ciment	kg/m ³	400	400	400	400	400
Sable	kg /m ³	660	660	660	660	660
Gravillon	kg /m ³	255	255	255	255	255
Gravier	kg /m ³	868	868	868	868	868
G/S	-	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
FC	kg /m ³	0	0	100	140	180
FC/ Leq	-	0	0	0.2	0.259	0.31
Léq	kg /m ³	400	400	425	435	445
E/C	-	0.50	0.50	0.53	0.54	0.56
E/Léq	-	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
E	l/m ³	200	200	212	217	222
SP	kg /m ³	0	8	8	8	8
	% de ciment	0	2	2	2	2

3.3 Fabrication des bétons

Le malaxeur utilisé pour la fabrication des bétons est une bétonnière à axe incliné d'une capacité de 30 litres. La séquence de malaxage retenue a été la suivante [10].

a - Introduction des granulats dans la bétonnière et pré-humidification pendant 10 minutes avec une partie de la quantité d'eau de gâchage égale à 3% de la masse totale des granulats

b - Introduction du liant équivalent (ciment + addition) et malaxage pendant 30 secondes avec les granulats.

c - Introduction de l'eau de gâchage restante avec une partie de l'adjuvant puis malaxage pendant 90 secondes,

d - Introduction de la partie restante de l'adjuvants et malaxage pendant 2 minutes.

3.4 Caractérisation des bétons.

3.4.1 Caractérisation des BAP à l'état frais

Les bétons autoplaçants formulés doivent satisfaire plusieurs tests normalisés [11] dont les valeurs données dans le tableau 6, qui permettent de caractériser les principales propriétés des BAP à l'état frais.

Les essais de caractérisation ont été effectués selon les procédures décrites par les normes [12 – 14].

- la mobilité en milieu non confiné, caractérisée par la mesure de l'étalement au cône d'Abrams (SF) et le temps d'étalement pour un diamètre de 500mm (T_{500}),

- mobilité en milieu confiné, caractérisée par l'essai du taux de remplissage dans la boîte en L (PL)

- la résistance à la ségrégation exprimée par l'essai de stabilité au tamis (SR).

Nous avons aussi choisi deux autres essais comme paramètres rhéologiques : la viscosité (μ) selon le modèle de Sedran [5] et le seuil de cisaillement (τ) selon la méthode de la boîte LCPC [15].

3.4.2 Caractérisation des bétons à l'état durci

A l'état durci, une caractérisation classique des différents BAP (résistances mécaniques à la compression et à la traction par flexion) a été réalisée sur des éprouvettes cubiques de 10 x 10

x 10cm [16], qui ont été conservées sous l'eau à la température ambiante jusqu'à l'âge d'écrasement de 2, 7, 28 et 365 jours

4. RESULTATS ET DISCUSSION

4.1 Sur béton frais

• Essai d'étalement au cône d'Abrams (Slump flow)

Les résultats présentés sur la figure 2, montrent que l'étalement des quatre bétons se situe entre 63 et 73 cm, ce qui les qualifie d'autoplaçant selon la Norme Européenne [11].

On peut cependant noter deux situations :

- En l'absence d'addition (béton sans addition) l'essai montre un ressuage très significatif et un léger amoncellement des granulats au centre de galette, signe d'un début de ségrégation (Fig. 3a). Après ajout de 25 % de filler calcaire, les signes de ressuage et de ségrégation observés ont pratiquement disparues, alors que le diamètre d'étalement est resté quasiment le même, (Fig. 3b), d'où le rôle et l'utilité de l'addition.

- A 45 % d'ajout de filler on note plutôt une perte d'ouvrabilité se traduisant par une diminution importante de l'étalement de l'ordre de 5cm.

Tableau 6. Valeurs préconisées par les normes [11]

Essais	Etalement (SF), cm		Stabilité au tamis (SR), %		Boite en L PL = (H_1 / H_2)		T_{500} , Secondes
Classes	SF 1	550 - 650	SR 1	≤ 20	PL 1	$\geq 0.8^a$	VS 1 < 2
	SF 2	650 - 750	SR 2	≤ 15	PL 2	$\geq 0.8^b$	VS 2 ≥ 2
	SF 3	750 - 850	-	-	-	-	-

a - Deux armatures (l'essai est réalisé avec deux armatures)

b - Trois armatures (l'essai est réalisé avec trois armatures) (Fig.5)

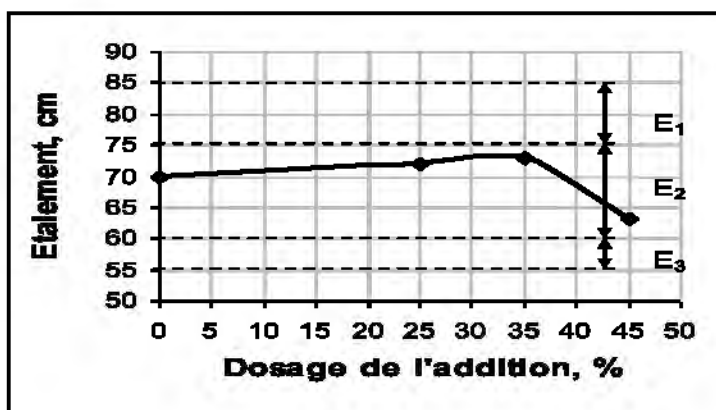


Figure 2. Etalement (Slump flow)



a. D = 73cm sans addition de FC (Ressuage et début de ségrégation)



b. D = 73cm avec 35% d'addition de FC

Figure 3. Essai d'étalement

▪ Essai à la boîte en L (L-BOX)

Les résultats présentés sur la figure 4, montrent que le BAP0 (0% d'addition) donne un taux de remplissage de 0.5. L'ajout de 25 % de filler n'est pas suffisant pour ramener le taux de remplissage à 0.8, valeur recommandée par la norme [11]. L'ajout de 45 % de filler donne un taux de remplissage à la limite admissible. Le taux de filler calcaire ajouté qui donne un taux de remplissage supérieur à 0.8 est de 35 % par rapport à la masse de ciment.

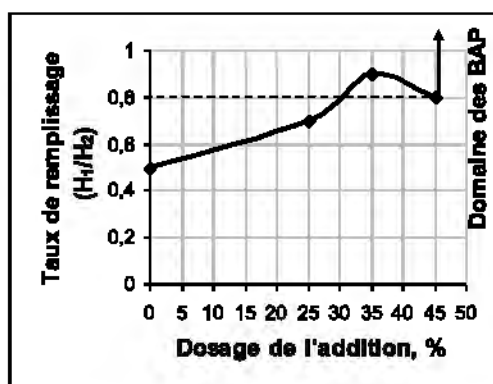


Figure 4. Essai L – BOX

($H_2/H_1 > 0.8$) [11]



Figure 5. Mesure du taux de remplissage

• Essai de stabilité au tamis

Les résultats des essais de stabilité au tamis présentés sur la figure 6, montrent que les compositions testées ont une stabilité satisfaisante $\eta < 20\%$ [11] à l'exception du BAP0 sans addition qui présente un risque d'instabilité évaluée à 22%. Le BAP3 donne une valeur inférieure à 8 %, se traduisant par un risque de blocage et une perte d'ouvrabilité

corroborés par l'essai de la boîte en L et l'essai d'étalement.

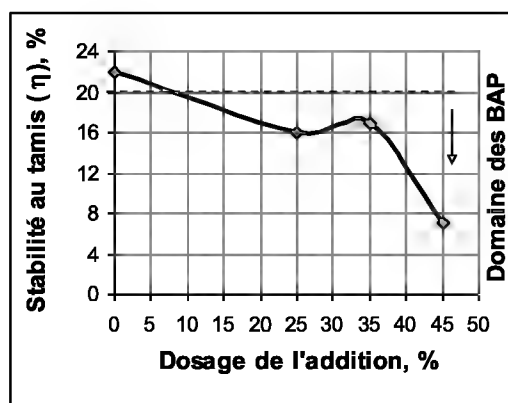


Figure 6. Stabilité au tamis

• **Le temps d'étalement T_{500}**

Le temps de passage de la galette de béton à un diamètre de 50 cm donne une idée sur la vitesse de déformation du béton. En général, pour un béton autoplaçant la littérature mentionne des valeurs moyennes de l'ordre de 2 secondes [11], mais peuvent aller jusqu'à 7 secondes [17].

Les résultats obtenus présentés sur la figure 7, montrent en effet une légère augmentation du T_{500} avec l'accroissement du taux de l'addition résultant de l'épaississement de la pâte et traduisant l'augmentation de la viscosité.

• **Estimation de la viscosité plastique**

Les corrélations rhéologie - ouvrabilité les plus pertinentes sont celles reliant la viscosité au T_{500} . En effet la relation (1) [5] qui souligne la corrélation entre la viscosité et la mesure du temps d'étalement T_{500} confirmée par ailleurs par Emborg [18] a été utilisée pour le calcul de la viscosité

$$\mu = \frac{\rho}{1000} (0.0268Sf - 2.39)T_{500} \quad (1)$$

- μ : viscosité plastique du matériau (Pa.S),
- ρ : masse volumique du béton (kg/m^3),
- SF : étalement (mm),
- T_{500} : temps que met la galette à atteindre un diamètre de 500 mm (S).

Les résultats présentés sur la figure 8 et obtenus par application de la relation (1) montrent qu'avec l'augmentation du volume de la pâte on note une augmentation de la viscosité, ce qui d'une part, corrobore les résultats obtenus par

les mesures du T_{500} et d'autre part validerait la relation (1).

L'augmentation du dosage de filler calcaire entraîne une augmentation de la viscosité de la pâte, qui lui confère d'ailleurs un pouvoir d'entraînement des granulats et une meilleure stabilité ce qui corrobore parfaitement les résultats obtenus à la boîte en L et la stabilité au tamis.

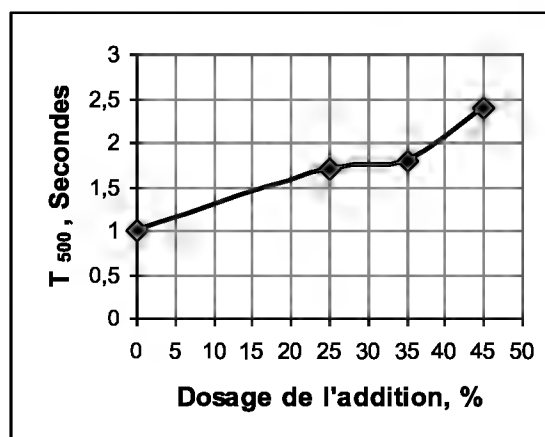


Figure 7 Evolution du temps d'écoulement (T_{500}) en fonction du taux de l'addition

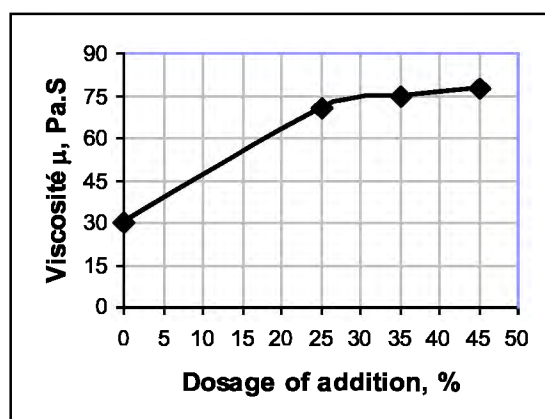


Figure 8. Evolution de la viscosité en fonction du taux de l'addition

• **Essai d'étalement à la boîte LCPC (Détermination du seuil de cisaillement τ)**

La méthode LCPC [15] s'appuie sur la mesure de la longueur d'étalement (L) du BAP dans une boîte de longueur 120cm A l'aide de l'abaque présentée sur la figure 9 en fonction de (L). On peut lire le rapport (seuil de cisaillement / Densité) (τ/ρ) et déduire analytiquement la valeur numérique du seuil d'écoulement (τ).

Les résultats obtenus présentés sur la figure 10 corroborent ceux obtenus par les essais du T_{500} et de viscosité.

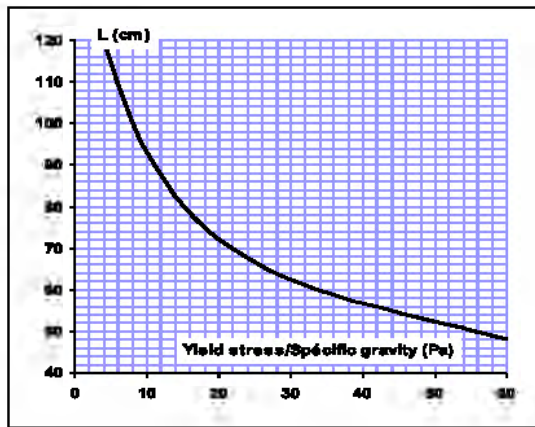


Figure 9. Relation entre longueur d'étalement et seuil de cisaillement.

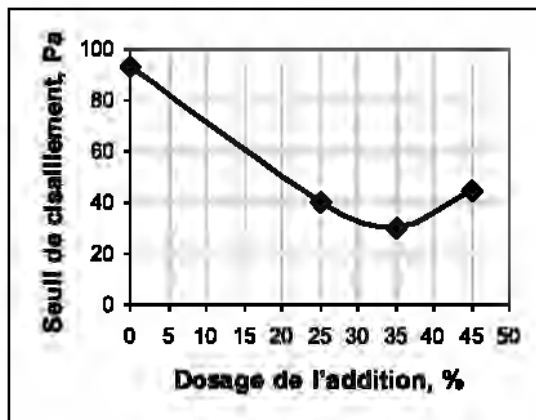


Figure 10. Evolution seuil de cisaillement en fonction du taux de l'addition

DISCUSSION

Après avoir réalisé les trois essais préconisés par les normes [12 - 14] et complétés par des essais de T_{500} , l'estimation de la viscosité [5] et du seuil de cisaillement [15] sur les bétons formulés, à l'état frais, on peut tirer les enseignements suivants :

- Les résultats ont montrés que l'applicabilité de la méthode graphique de Dreux-Gorisse pour la formulation des bétons autoplaçants est vraisemblable. A cet effet le choix des constituants granulaires est primordial, finesse des sables, grosseur des gravillons et graviers et continuité des courbes granulométriques.

- L'emploi d'une addition fine est tout à fait justifié, améliorant l'épaississement du mélange cimentaire, lui conférant ainsi un

pouvoir d'entraînement des granulats et par conséquent un meilleur taux de remplissage et une meilleure stabilité notamment vis-à-vis de la ségrégation et du ressuage.

- Il a été noté que le dosage de l'addition de 35 % était optimal, satisfaisant les paramètres préconisés par la norme [11]. Alors que l'ajout de 25% de filler calcaire reste insuffisant pour garantir un taux de remplissage correct. Au contraire, l'ajout de 45% d'addition semble un peu excessif car il diminue l'étalement, donne un taux de remplissage limite de 0.8 et une stabilité critique $\eta < 8 \%$.

- Il semble établi qu'il existerait une quantité d'addition optimale de l'ordre de 35 % permettant d'assurer un remplissage correct des coffrages sans risque de ségrégation ni ressuage. Cette quantité d'addition s'inscrit justement dans les limites recommandées par l'AFGC [19] (100 à 200 kg/m³).

4.2 Sur béton durci

• **Contrôle de la ségrégation.**

L'état de ségrégation est contrôlé visuellement par une méthode simple et efficace consistant à scier dans l'axe des éprouvettes en béton durci (Fig.11).

Les observations permettent de mettre en évidence une bonne répartition des gros granulats dans la masse du BAP, ce qui confirme l'absence de ségrégation observée lors de l'essai d'étalement sur bétons frais.



Figure 11. Eprouvettes sciées (absence de ségrégation)

• **Résistance en compression et traction par fendage**

Généralement les BAP ont des résistances légèrement supérieures à celles des bétons ordinaires. Il est utile de rappeler qu'on a opté

pour un rapport E/ Léq constant ce qui a entraîné un dosage en eau croissant parallèlement au dosage en addition, induisant ainsi une légère perte de résistance qui a été vraisemblablement rattrapée par un gain de résistance dû à l'effet de remplissage induit par l'addition. Les résultats présentés sur la figure 12 montrent qu'au jeune âge le BO et les trois BAP donnent presque les mêmes valeurs avec une légère baisse pour le BAP4. Une augmentation des résistances est cependant notée à long terme ce qui peut s'expliquer par l'effet de remplissage joué par l'addition. Les résultats présentés sur la figure 14 montrent une légère baisse de résistance au jeune âge pour les trois dosages d'addition résultant, probablement de l'augmentation du rapport E/Léq en fonction du dosage en addition et par l'effet retardateur de l'adjuvant. A long terme on note plutôt une légère amélioration des résistances

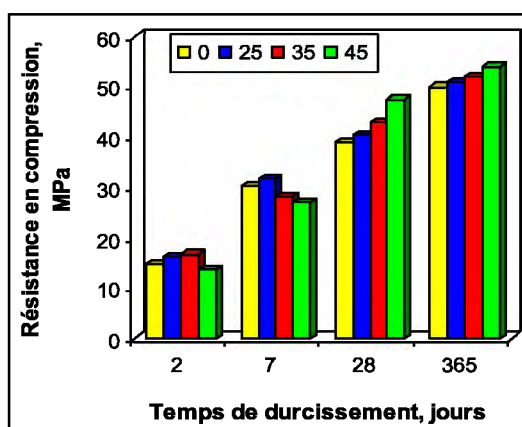


Figure 13. Résistance à la compression

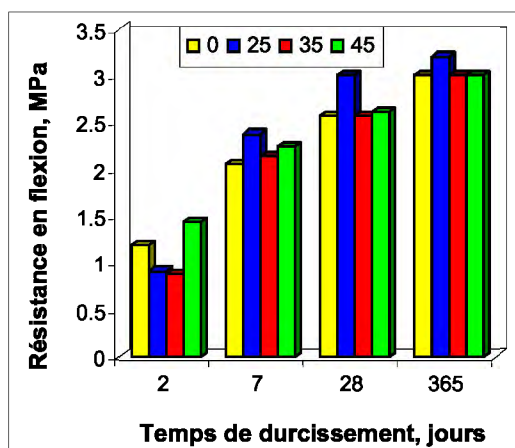


Figure 14. Résistance à la traction par Fendage

5. CONCLUSION

Les méthodes de formulation des BAP sont nombreuses et diverses, mais peuvent

s'accorder en trois critères essentiels que sont : l'addition d'une poudre fine pour réduire les risques de ressuage et de ségrégation par suite d'une grande fluidité et une stabilité que nécessitent les BAP, un squelette granulaire optimisé garanti par une continuité des courbes granulométriques des différents granulats (sables et gros granulats) et enfin l'emploi de superplastifiant afin d'assurer une fluidité suffisante tout en gardant le rapport E/C raisonnable pour sauvegarder la résistance mécanique.

L'optimisation du squelette granulaire par la méthode graphique de Dreux-Gorisse a donné des résultats encourageants. Il est vrai aussi que le choix des granulats notamment la finesse des sables et la grosseur maximale des graviers est un paramètre non négligeable, mais plus encore se rapprocher d'un rapport G/S proche de 1 semble être un paramètre déterminant dans l'obtention d'un béton à caractère autoplaçant. L'introduction d'une addition fine tel que le filler calcaire est tout à fait justifié à un dosage optimum qui se situerait vraisemblablement entre 30 et 40 % pour produire des BAP avec des caractéristiques qui s'inscrivent dans les valeurs préconisées par les normes [11] et permet même une certaine amélioration des résistances mécaniques par effet de remplissage résultant de l'emploi de filler calcaire.

REFERENCES

- [1] Okamura H. & Ouchi M. 2003, Self-compacting concrete, Journal of advanced Concrete Technology. Vol 1, n°1, pp 5-15.
- [2] Billberg P. 1999, Self-compacting concrete for civil engineering structures – the Swedish experience, Report 2:99, Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockholm, 80p.
- [3] de Larrard F. 2000, Structures granulaires et formulations des bétons, Etudes et recherches des Laboratoires des Ponts et Chaussées, Ouvrages d'Arts 34, 414p.
- [4] Saak AW., Jennings HM., Shah SP. 2001, New methodology for designing self-compacting concrete, ACI Material Journal, 98, 6, pp 429-439.
- [5] Sedran T., 1999, Rhéologie et Rhéométrie des bétons : application aux bétons autonivelants, Thèse de l'ENPC, 220p.
- [6] Su N., Hsu KC. Chai HW. 2001, A simple mix design method for self-compacting concrete, Cement and concrete Research, 31, 12, pp 1799-1807.

- [7] Dreux G. et Festa J. 1998, Nouveau guide du Béton et de ses constituants. Eyrolles, 416p
- [8] NA 442, 2005. Ciment, Composition, Spécification et Critère de Conformité. Iancor, 21 p.
- [9] Norme Française XP P 18-303, 1999. Normalisation française: Eau de gâchage pour béton, 16p.
- [10] Assié S., 2004. Durabilité des bétons autoplaçants, chapitre 2.Thèse INSA Toulouse, LMDC, 248p.
- [11] NF EN 206 – 9, Juin 2010. Béton-partie 9, règles complémentaires pour le béton autoplaçant, Afnor, 26 p
- [12] NF EN 12350 – 8, Novembre 2010. Essai pour béton frais - Partie 10 Partie 8, béton autoplaçant – Essai d'étalement au cône d'Abrams. Afnor, 8 p
- [13] NF EN 12350 – 10, Novembre 2010. Essai pour béton frais - Partie 10, béton autoplaçant – Essai à la boîte en L. Afnor, 9 p.
- [14] NF EN 12350 – 11 Novembre 2010. Partie 11, Béton autoplaçant – Essai de stabilité au tamis. Afnor, 7 p.
- [15] Roussel N. 2007, The LCPC Box cheap and simple technique for yield stress measurement of SSC, Materials and structures, 40/9, pp 889-896.
- [16] Neville A.M, 2000. Propriétés des bétons. Eyrolles, 806 p.
- [17] Grunewald S. & Walraven J.C., 2003, Rheological measurements on self-compacting fibre reinforced concrete. Proceedings of the Third International Symposium on SCC, Reykjavik, Island, 49-58.
- [18] Emborg, 1999, Rheology tests for self-compacting concrete-How useful are they for the design of concrete mix for full-scale production, Proceedings of the 1st international RILEM Symposium, Stockholm, 95-105.
- [19] Association Française de Génie civil (AFGC), 2008, Les Bétons Autoplaçants : recommandations provisoires pour l'emploi des Bétons autoplaçants, 63 p.