

## ESSAI DE CARACTERISATION EXPERIMENTALE DE LA SEGREGATION VERTICALE DES BETONS AUTOPLACANTS

Reçu le 20/01/2007 – Accepté le 22/06/2007

### Résumé

Un béton autoplaçant est par définition un béton qui s'écoule et se met en place dans les coffrages les plus complexes et les plus ferrailés sous le seul effet de son poids propre. Il est important de noter que le matériau ne devrait subir aucune forme de ségrégation. Cette dernière qui peut être « dynamique » quand elle se produit suite à un écoulement ou « statique » quand elle se produit dans le coffrage suite à un tassement des composants du matériau.

Dans cet article, on présente une étude portant sur la résistance à la ségrégation statique des bétons autoplaçants. L'appréciation expérimentale de la ségrégation est conduite selon un processus que nous avons proposé. Cet essai est inspiré de la Méthode de Sidky, Legrand et Barrioulet [6]. Pour les différents mélanges étudiés, on a mesuré aussi l'étalement, le rapport de hauteur à la boîte en L, la stabilité au tamis et le temps d'écoulement à l'entonnoir en V.

Les résultats obtenus ont montré que dans le cas des BAP, il est nécessaire de procéder à des essais spécifiques pour l'appréciation de la ségrégation statique surtout quand on confectionne des bétons dont l'étalement est supérieur à 70 cm. Il ressort aussi qu'il est possible d'obtenir des BAP de qualité (sans risque de ségrégation) avec des valeurs au tamis proches de 30%.

**Mots clés:** béton autoplaçant ; fillers calcaire ; ségrégation verticale ; essai

### Abstract

Self-Compacting concrete (SCC) is a special kind concrete that can flow through and fill the gaps of reinforcement and corners of molds without any need for vibration and compaction during the placing process. In order to achieve this property, SCC must have good deformability, high segregation resistance and no blocking around reinforcements. Good segregation resistance means that the distributions of aggregate particles in the concrete are relatively equivalent at all locations and at all levels. It also means that concrete should not segregate in vertical and horizontal directions.

In this article, we present a study of resistance to the vertical segregation of SCC. The experimental appreciation of the vertical segregation is led according to a proposed process.

The results obtained showed that it is necessary to carry out specific tests for the appreciation of the vertical segregation when we make concretes presenting a slump flow higher than 70 cm. It also arises that it is possible to obtain good SCC (without risk of segregation) with sieve test values close to 30%.

**Keywords:** Self-compacting Concrete ; fillers ; vertical segregation ; test

S. BENSEBTI<sup>1,3</sup>  
S. AGGOUNE<sup>2</sup>  
H. HOUARI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions  
Faculté des Sciences de l'Ingénieur  
Université Mentouri Constantine  
Algérie

<sup>2</sup> Université de Cergy Pontoise,  
France

<sup>3</sup> Département de Génie Civil  
Université de Skikda  
Algérie

### ملخص

الخرسانة ذاتية القبولية هي بالتعريف خرسانة قادرة على السيولة و تجميع كسل أجزاء و أنحاء القالب الذي وضعت فيه مهما يكن شكل و تسليح هذا القالب. و يكون هذا التجميع تحت تأثير الوزن الذاتي فحسب. بمعنى آخر، لا يحتاج هذا النوع من الخرسانة لأي شكل من أشكال عمليات الرص.

إن هذه الخاصية (ذاتية القبولية) يجب أن تكون مصحوبة بمقاومة فعلية لكل أنواع الانفصال بين المكونات. إن انفصال مكونات الخرسانة قد يحدث أثناء السيلان وهذا ما يسمى بالانفصال الأفقي (الديناميكي)، وقد يحدث الانفصال في حالة السكون وهذا ما يسمى بالانفصال العمودي (الستاتيكي).

في هذا المقال، نقدم بحثاً حول مقاومة الخرسانة ذاتية القبولية للانفصال العمودي وهذا باقتراح تجربة تمكن من تشخيص مدى مقاومة خليط لهذا النوع من الانفصال بين جزيئاته.

إن النتائج المحصل عليها تبين بأن إمكانية حصول انفصال بين المكونات للخرسانة يكون نادراً جداً إذا ما كان انبساط الخليط أقل من 70 سم في مخروط أبرامس.

و النتائج تبين كذلك أنه من الممكن جداً الحصول على خرسانة ذاتية القبولية من نوعية جيدة على الرغم من أن السيولة المقسودة في تجربة الغريال تقارب 30 بالمائة.

**الكلمات المفتاحية:** خرسانة ذاتية القبولية ؛ الانفصال العمودي ؛ تجربة

Le béton autoplaçant « BAP » est un nouveau type de béton pouvant remplir tous les coins et recoins d'un coffrage sans apport extérieur d'énergie. Afin d'assurer une telle propriété, le BAP doit présenter une grande fluidité, une bonne résistance à la ségrégation et ne devrait présenter aucune forme de blocage au niveau des mailles d'armature.

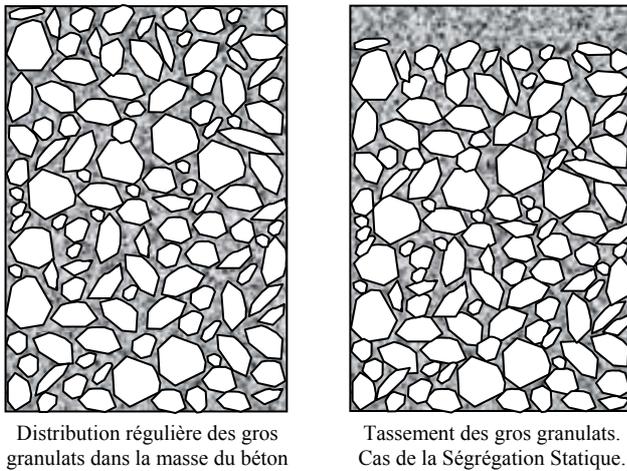
Une bonne résistance à la ségrégation se traduit par une distribution régulière des gros granulats dans toutes les parties de l'élément et à tous les niveaux. En d'autres termes, le béton ne doit subir aucune forme de ségrégation horizontale et verticale.

La ségrégation horizontale est causée par l'écoulement du matériau sur des distances plus ou moins importante. Elle est aussi amplifiée par les éventuels blocages des gros granulats au voisinage des mailles d'armatures.

La ségrégation verticale (figure 1), appelée aussi ségrégation statique, elle est souvent causée par la décantation des gros granulats au fond du volume du béton due à une mauvaise formulation de la pâte et/ou une vibration trop longue.

Les deux formes de ségrégation doivent faire l'objet d'une étude lors du travail de formulation du mélange et peuvent être facilement évitées par l'adoption d'une formulation adéquate.

L'essai à la boîte en L permet de simuler l'écoulement du béton dans un coffrage ferrillé. Cet essai permet de vérifier l'apparition ou non de blocage du béton au niveau des barres d'armature.



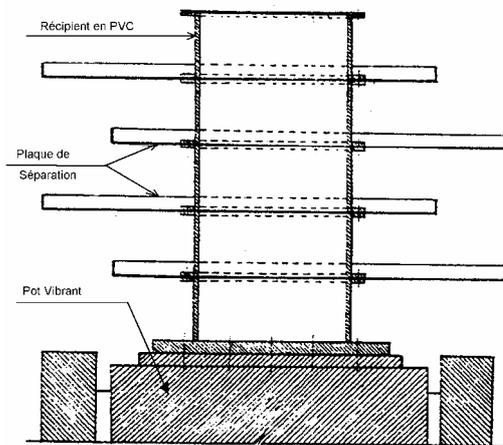
**Figure 1 :** Représentation du cas de ségrégation statique dans un volume de béton

L'appréciation de la ségrégation verticale peut être effectuée en se basant sur les résultats de l'essai de stabilité au tamis. Un béton dont la pâte est visqueuse et cohésive ne présente pas un grand risque de ségrégation verticale. Toutefois, cette manière de procéder reste une appréciation indirecte de la ségrégation statique.

Dans cet article on présente une nouvelle procédure d'essai pour l'appréciation directe de la résistance à la ségrégation verticale des BAP.

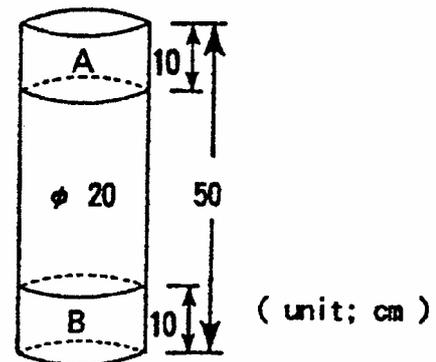
### 1. Etude de la ségrégation statique :

Les publications dans le domaine de la ségréabilité des BAP ne sont pas nombreuses. On peut toutefois citer les travaux de V.K. Bui et al. [2] qui ont présenté une méthode rapide pour tester la résistance à la ségrégation des BAP. Ces chercheurs ont proposé l'utilisation d'un dispositif similaire à celui du « Compacting Factor » pour apprécier la ségrégation verticale.



**Figure 2 :** Appareillage Expérimental utilisé par Sidky, Legrand et Barrioulet.

Sidky, Legrand et Barrioulet (1981) ont développé un essai pour les bétons ordinaires qui consiste à remplir un récipient de 425 mm de haut et de 187 mm de diamètre intérieur (figure 2) de béton. Le récipient est ensuite vibré. Le béton est séparé en cinq couches égales à l'aide de séparateurs incorporés dans le récipient. Chaque couche est analysée (masse de la pâte et masse des granulats) afin de déterminer un coefficient de ségrégation  $S_i$  qui indique la richesse en granulats. Le coefficient de ségrégation est la concentration en granulats d'une couche de béton sur la concentration initiale. Ainsi,  $S_i > 1$  indique un enrichissement en granulats et  $S_i < 1$ , un appauvrissement en granulats.



**Figure 3 :** Cylindre d'échantillonnage pour la détermination de la résistance à la ségrégation.

Parmi les essais développés pour la caractérisation de la résistance à la ségrégation, on retrouve l'essai de stabilité au tamis, recommandé par l'Association Française du Génie Civil AFGC (Annales du BTP, juin 2000). C'est un essai qui consiste à remplir un seau de 10 litre de béton, à attendre 15 minute, puis verser sur un tamis de 5 mm d'ouverture une quantité d'environ 4,8 kg de béton. Après 2 minutes, on enregistre la quantité de laitance passant par les mailles du tamis. Le rapport de la masse de la laitance passée sur la masse de l'échantillon initial offre une grandeur caractérisant la tendance à la ségrégation des BAP.

Un autre essai plus original a été développé par Ozawa et al [8] : le « V-Funnel ». Il consiste à mesurer le temps d'écoulement d'un échantillon de 10 litres de béton au travers d'un entonnoir dont l'ouverture inférieure est rectangulaire. La section rectangulaire a été choisie pour imposer un écoulement du même type que celui qui est imposé entre deux armatures parallèles. Les auteurs ont montré que cet essai permettrait d'évaluer la fluidité du béton (plus le temps d'écoulement est court, plus le béton est fluide) mais également sa stabilité lors de l'écoulement (moins le béton est stable, plus l'écoulement est perturbé par les collisions inter- granulaires et plus la durée de l'écoulement est longue).

### L'essai de mesure de l'indice de ségrégation :

La méthodologie proposée et utilisée pour l'étude des différents mélanges présentés dans cet article est inspirée

des travaux de Sidky ainsi que ceux de la méthode Japonaise du cylindre.

L'intérêt de cet essai réside que l'opération de séparation des différentes couches de béton se fait après la **stabilisation complète du système** (au moment de fin de prise). Ceci offre une grande facilité à l'opérateur étant donné que le béton ne risque pas de s'écouler. Les erreurs dues aux pertes de matériaux lors des opérations de séparation, de pesage sont donc relativement très minimales.



**Figure 4 :** Les différentes étapes de l'essai de mesure de l'indice de ségrégation statique.

Les différentes étapes de l'essai proposé sont présentées dans ce qui suit et sont illustrées par la figure 4.

- le moule utilisé est un cylindre de dimension 110 x 400 mm

- le béton est coulé dans le moule en une seule opération d'une hauteur de 20 cm,
- une fois le moule rempli il est arasé à l'aide d'une règle métallique,
- le temps d'attente est proche du temps de fin de prise,
- le moule est séparé en trois parties plus ou moins égales (partie supérieure, partie du milieu et partie inférieure)
- Pour chaque partie, après pesage puis lavage, on détermine le rapport de la masse granulats secs (>5mm) sur la masse totale de la partie considérée,
- Les teneurs en granulats de chaque partie ( $G_{supérieure}$ ,  $G_{milieu}$  et  $G_{inférieure}$ ) sont calculée : c'est le rapport de la masse des granulats secs sur la masse totale de la partie considérée.
- L'indice de ségrégation statique « ISS » est défini comme suit :

$$ISS = (G_{inf} - G_{sup}) \cdot 100$$

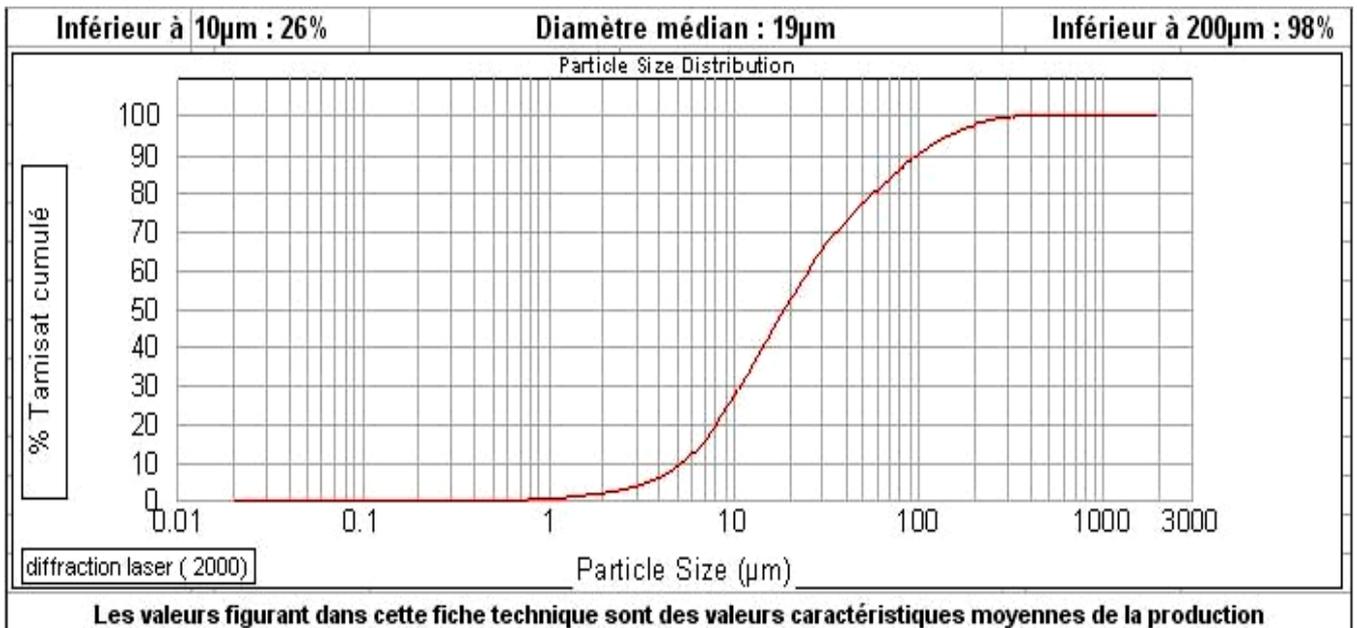
avec :

- $G_{inf}$  : Teneur en gros granulats dans la partie inférieure,
- $G_{sup}$  : Teneur en gros granulats dans la partie supérieure.

## 2. Matériaux :

Pour la confection des BAP étudiés, les matériaux utilisés sont :

- Un gravier concassé 8/15 d'origine calcaire de la carrière Hedna, région de Constantine,
- Un sable de mer 0/3 de Guerbes, région de Skikda,
- Un sable concassé 0/5, d'origine calcaire de la carrière Hedna, région de Constantine,
- Un ciment du type CEM/II 42.5 de provenance, ERCE Hamma, région de Constantine,
- Un Superplastifiant MEDAPLAST SP40 de Granitex,
- Un Filler Calcaire F20, de la carrière d'EL-Khroub, région de Constantine (figure 5).



**Figure 5 :** Courbe granulométrique du fillers calcaire.

**3. PROGRAMME EXPERIMENTAL :**

L'objectif est de valider la procédure expérimentale présentée précédemment et de situer les résultats obtenus par rapport aux résultats des essais recommandés.

En adoptant comme paramètres d'étude la nature du sable «roulé ou concassé», le dosage en filler calcaire exprimé par « Fillers/Liant » et le dosage en eau exprimé par « Eau/Liant », vingt trois (23) compositions ont été définies.

En fixant le dosage en superplastifiant à sa saturation, la formulation a été conduite selon les recommandations de la méthode Japonaise proposée par Okamura et al. Le dosage en gros granulats étant fixé à 50% de sa compacité et celui du sable à 40% du volume total du mortier. La composition de la pâte est donc déduite à partir des paramètres Eau/Liant et Fillers/Liant choisis.

Ainsi, pour tous les mélanges, on a défini un indice de ségrégation et réalisé l'ensemble des mesures suivantes : l'étalement, la stabilité au tamis, l'essai à la boîte en L et l'essai d'écoulement à l'entonnoir en V.

Pour chaque mélange étudié, lors des différents essais, des appréciations visuelles de la stabilité du béton sont notées.

Les tableaux 1 et 2 regroupent les compositions des différents mélanges étudiés.

| Composition au kg par mètre cube de béton |         |              |        |        |       |                  |
|---|---------|--------------|--------|--------|-------|------------------|
| Réf.                                      | Gravier | Sable de mer | Ciment | Filler | Eau   | Superplastifiant |
| BAP01                                     | 720,5   | 743          | 635,5  | 0      | 203   | 12,7             |
| BAP02                                     | 720,5   | 743          | 617    | 0      | 209,5 | 12,3             |
| BAP03                                     | 720,5   | 743          | 599,5  | 0      | 216   | 12               |
| BAP04                                     | 720,5   | 743          | 535,5  | 94,5   | 201,5 | 13,75            |
| BAP05                                     | 720,5   | 743          | 520    | 92     | 208   | 11,1             |
| BAP06                                     | 720,5   | 743          | 510,5  | 90     | 216   | 10,95            |
| BAP07                                     | 720,5   | 743          | 437,5  | 187,5  | 199,5 | 10,2             |
| BAP08                                     | 720,5   | 743          | 424,5  | 182    | 206,5 | 9,95             |
| BAP09                                     | 720,5   | 743          | 421    | 180,5  | 216,5 | 9,85             |
| BAP10                                     | 720,5   | 743          | 372,5  | 248,5  | 198,5 | 9,4              |
| BAP11                                     | 720,5   | 743          | 362    | 241,5  | 205   | 9,15             |
| BAP12                                     | 720,5   | 743          | 361,5  | 241    | 217   | 9,15             |

**Tableau 1. :** Compositions des mélanges réalisés avec le sable de mer «roulé ».

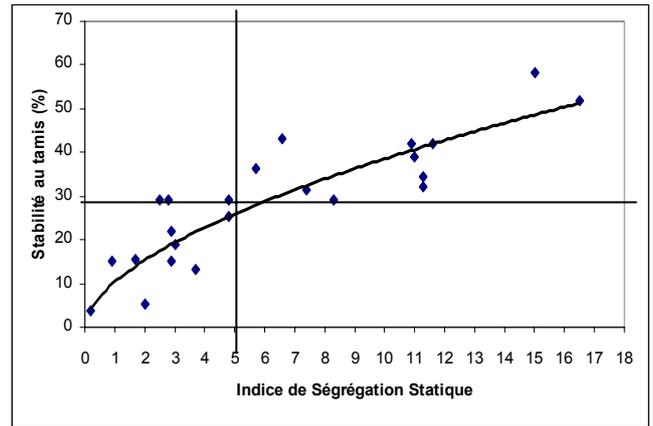
| Composition au kg par mètre cube de béton |         |                |        |        |     |                  |
|---|---------|----------------|--------|--------|-----|------------------|
| Réf.                                      | Gravier | Sable Concassé | Ciment | Filler | Eau | Superplastifiant |
| BAP13                                     | 772     | 762            | 625    | 0      | 199 | 12,5             |
| BAP14                                     | 772     | 762            | 607    | 0      | 205 | 12,14            |
| BAP15                                     | 772     | 762            | 590    | 0      | 211 | 11,79            |
| BAP16                                     | 772     | 762            | 574    | 0      | 217 | 11,47            |
| BAP17                                     | 772     | 762            | 558    | 0      | 220 | 11,16            |
| BAP18                                     | 772     | 762            | 450    | 157    | 206 | 10,25            |
| BAP19                                     | 772     | 762            | 450    | 157    | 224 | 10,25            |
| BAP20                                     | 772     | 762            | 450    | 157    | 236 | 10,25            |
| BAP21                                     | 772     | 762            | 400    | 200    | 211 | 9,6              |
| BAP22                                     | 772     | 762            | 400    | 200    | 222 | 9,6              |
| BAP23                                     | 772     | 762            | 400    | 200    | 234 | 9,6              |

**Tableau 2. :** Compositions des mélanges réalisés avec le sable concassé

Selon les recommandations de l'AFGC un béton autoplaçant devrait présenter à la fois un étalement

supérieur ou égal à 60, un rapport à la boîte en L supérieur ou égal à 0,8 et une stabilité au tamis inférieure à 15%. Quand la stabilité au tamis est entre 15 et 30% la stabilité est jugée critique et il est nécessaire de procéder à des essais spécifiques de ségrégation.

En premier lieu, il faut remarquer que tous les bétons étudiés ont présenté des étalements supérieurs à 60 cm et des rapport à la boîte en L supérieurs à 0,8 (hormis les BAP13 et 14). Ce qui permet de constater que l'ensemble de ces bétons présente une fluidité acceptable et ne présente pas de risque de blocage. Le point essentiel donc à vérifier pour l'ensemble de ces bétons est la ségrégabilité statique.

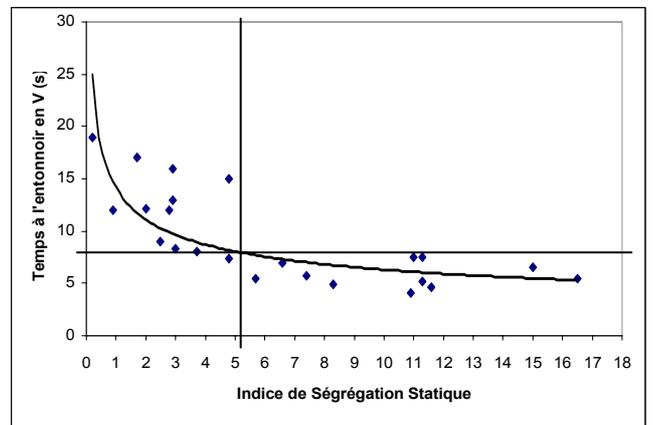


**Figure 6 :** Relation entre la stabilité au tamis et l'indice de ségrégation

L'appréciation visuelle de nos bétons (en matière de stabilité, de ressuage et de ségrégation) lors des différents essais, a permis de constater la bonne stabilité de tous les bétons dont la valeur au tamis était inférieure à 30%. Il s'avère que tous ces bétons ont présenté un ISS inférieur à 5.

On peut prétendre alors que quand la différence dans la teneur en granulats dans la colonne ne varie pas de plus de 5%, le béton peut être considéré comme très acceptable.

Tous les bétons situés dans le rectangle (voir figure 6) délimité par une stabilité au tamis de 30% et un indice de ségrégation ISS de 5 sont des BAP de bonne qualité.



**Figure 7 :** Relation entre le temps d'écoulement à l'entonnoir en V et l'indice de ségrégation

Ainsi, on peut prétendre que la limitation à 15% de la stabilité au tamis est trop sévère.

En notre sens, cette valeur peut facilement être augmenté sans grand risque à 20%.

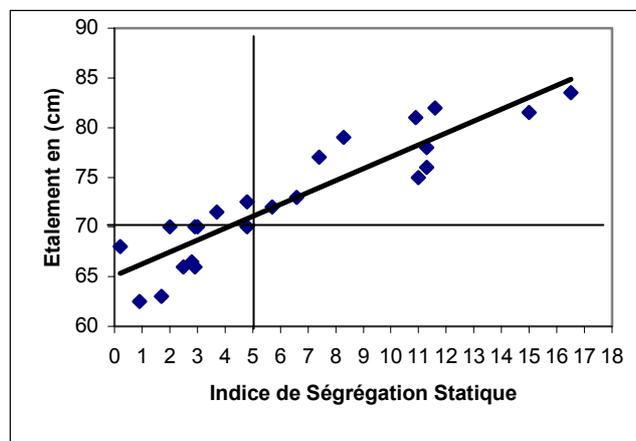
Sur la figure 7, on peut voir que l'essai d'écoulement ne permet pas de juger de la tendance à la ségrégation statique des BAP.

On peut voir sur la figure que pour un temps proche de 8 secondes l'ISS peut varier de 3 à 11, ce qui est en matière de ségrégabilité très significatif. Toutefois, il est toujours utile de noter que :

- Quand le temps à l'entonnoir en V est inférieur à 8 secondes la ségrégation statique est systématique et très importante.
- Quand le temps est supérieur à 10 secondes, le risque de ségrégation statique est minime.

En analysant les résultats représentés sur la figure 8, on peut noter que le risque de ségrégation statique commence à devenir important quand l'étalement dépasse les 70 cm.

Ainsi on peut admettre qu'il n'est pas nécessaire de procéder à des essais de détermination de l'indice de ségrégation statique si les bétons confectionnés présentent des étalements inférieurs ou égaux à 70 cm.



**Figure 8 :** Relation entre l'étalement et l'indice de ségrégation

#### 4. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les résultats obtenus sont rassemblés dans le tableau 3

| Ref.  | E/L  | F/L  | Etalement (cm) | Stabilité (%) | Boite en L | Entonnoir V (s) | Etude de la Ségrégation |       |       |      |                       |
|-------|------|------|----------------|---------------|------------|-----------------|-------------------------|-------|-------|------|-----------------------|
|       |      |      |                |               |            |                 | Gsup                    | Gmil  | Ginf  | ISS  | Appréciation Visuelle |
| BAP01 | 0,32 | 0    | 62,5           | 15,2          | 0,9        | 12              | 0,351                   | 0,352 | 0,36  | 0,9  | ++                    |
| BAP02 | 0,34 | 0    | 66             | 29            | 1          | 9               | 0,34                    | 0,34  | 0,365 | 2,5  | +                     |
| BAP03 | 0,36 | 0    | 72             | 36,5          | 1          | 5,5             | 0,312                   | 0,355 | 0,369 | 5,7  | -                     |
| BAP04 | 0,32 | 0,15 | 63             | 15,4          | 0,9        | 17              | 0,348                   | 0,352 | 0,365 | 1,7  | +                     |
| BAP05 | 0,34 | 0,15 | 66,5           | 29,3          | 1          | 12              | 0,334                   | 0,342 | 0,362 | 2,8  | ±                     |
| BAP06 | 0,36 | 0,15 | 73             | 43,3          | 1          | 7               | 0,303                   | 0,349 | 0,369 | 6,6  | -                     |
| BAP07 | 0,32 | 0,3  | 66             | 15,2          | 1          | 16              | 0,331                   | 0,345 | 0,36  | 2,9  | +                     |
| BAP08 | 0,34 | 0,3  | 76             | 32            | 1          | 7,5             | 0,28                    | 0,35  | 0,393 | 11,3 | ±                     |
| BAP09 | 0,36 | 0,3  | 81,5           | 58,1          | 1          | 6,5             | 0,28                    | 0,38  | 0,43  | 15   | --                    |
| BAP10 | 0,32 | 0,4  | 70             | 25,4          | 1          | 15              | 0,312                   | 0,35  | 0,36  | 4,8  | +                     |
| BAP11 | 0,34 | 0,4  | 75             | 39            | 1          | 7,5             | 0,288                   | 0,381 | 0,398 | 11   | --                    |
| BAP12 | 0,36 | 0,4  | 83,5           | 51,7          | 1          | 5,5             | 0,274                   | 0,416 | 0,439 | 16,5 | --                    |
| BAP13 | 0,33 | 0    | 68             | 3,6           | 0,3        | 19              | 0,328                   | 0,33  | 0,33  | 0,2  | ++                    |
| BAP14 | 0,35 | 0    | 70             | 5,3           | 0,68       | 12,2            | 0,315                   | 0,326 | 0,335 | 2    | ++                    |
| BAP15 | 0,37 | 0    | 71,5           | 13,3          | 0,8        | 8               | 0,305                   | 0,333 | 0,342 | 3,7  | ++                    |
| BAP16 | 0,39 | 0    | 77             | 31,3          | 0,83       | 5,7             | 0,3                     | 0,315 | 0,374 | 7,4  | ±                     |
| BAP17 | 0,4  | 0    | 78             | 34,3          | 0,95       | 5,2             | 0,281                   | 0,32  | 0,394 | 11,3 | -                     |
| BAP18 | 0,35 | 0,26 | 70             | 22            | 0,72       | 13              | 0,32                    | 0,329 | 0,349 | 2,9  | +                     |
| BAP19 | 0,38 | 0,26 | 72,5           | 29            | 0,92       | 7,4             | 0,306                   | 0,346 | 0,354 | 4,8  | +                     |
| BAP20 | 0,4  | 0,26 | 81             | 42            | 1          | 4,1             | 0,28                    | 0,317 | 0,389 | 10,9 | --                    |
| BAP21 | 0,36 | 0,33 | 70             | 19            | 0,89       | 8,3             | 0,312                   | 0,328 | 0,342 | 3    | +                     |
| BAP22 | 0,38 | 0,33 | 79             | 29,3          | 0,93       | 4,9             | 0,286                   | 0,297 | 0,369 | 8,3  | +                     |
| BAP23 | 0,4  | 0,33 | 82             | 42            | 0,97       | 4,7             | 0,274                   | 0,298 | 0,39  | 11,6 | --                    |

**Tableau 3 :** Résultats des essais

Appréciation Visuelle de la stabilité : ++ très bonne, + bonne, ± critique - Mauvaise, -- très mauvaise

**CONCLUSION**

Vu la fluidité importante des BAP, le risque de ségrégation verticale (statique) n'est pas des moindres. Ainsi, il est très important de vérifier la stabilité du système de granulats dans la masse du béton. Une ségrégation de ce type n'est pas visible et ne peut être constaté dans l'ouvrage que par des techniques très poussées.

Une distribution non uniforme des granulats dans la masse se traduit directement par une résistance différentielle.

Sous la lumière des résultats des essais réalisés sur un ensemble de 23 compositions différentes on peut conclure que :

- Les bétons dont l'étalement est inférieur à 70 cm le risque de ségrégation statique est très minime, voir nul.
- Les résultats ont montré que la limitation de la stabilité au tamis à 15% est assez sévère et on peut admettre un pourcentage de 20% sans grand risque.
- L'essai proposé est un essai très simple qui permet l'appréciation directe de la ségrégation statique dans les BAP.

Des résultats obtenus, il ressort aussi que pour obtenir un bon BAP il faudrait avoir un ISS inférieur ou égal à 5.

**REFERENCES**

- [1] S. Bensebti, S. Aggoune et H. Houari, Influence du dosage en eau et en filler calcaire sur la ségrégation statique des bétons autoplaçants, Cinquième conférence internationale sur les Sciences de Matériaux CSM5, 17-19 mai 2006, Beyrouth, Liban.
- [2] V.K. Bui, D. Montgomery, I. Hinczak and K. Turner, Rapid Testing Method for Segregation Resistance of Self-Compacting Concrete, *Cement and Concrete Research* 32 (2002), pp 1489 – 1496.
- [3] K. H. Khayat, Workability, Testing, and Performance of Self-Consolidating Concrete, *ACI Materials Journal*, V. 96, No. 3, May-June 1999.
- [4] S. Nagataky and H. Fujiwara, Self-Compacting Property of Highly Flowable Concrete, Second CANMET/ACI International Symposium on Advances In Concrete Technology, Las Vegas, ACI SP 154-16, pp 301-314, June 1995.
- [5] Nan SU, Kung-Chung Hsu and His-Wen Chai, A Simple mix Design Method for Self-Compacting Concrete, *Cement and Concrete Research* 31 (2001), pp 1799-1807.
- [6] Alain Trudel, Maniabilité, Uniformité et Comportement Structural du Béton Autonivelant à Haute Performance, Mémoire de Maîtrise ès Sciences Appliquées. Spécialité : Génie Civil. Université de Sherbrooke, CANADA, Avril, 1996.
- [7] Thierry Sedran, Rhéologie et Rhéométrie des Bétons. Application aux Bétons Autonivelants. Thèse de Doctorat de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, mars 1999.
- [8] K.Ozawa, N. Sakata and H. Okamura, Evaluation of Self Compactibility of Fresh Concrete using the Funnel Test, *Concrete Library of JSCE*, n°25, june, 1995.