

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Mémoire de Magister

Présenté à l'Université de Guelma
Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de: Génie Civil et d'Hydraulique
Option : structures et matériaux

Par : LAOUAOU DA Djamel

Thème: Contribution à l'étude de la ségrégation statique des bétons fluides

Sous la direction du : Dr. Benouis Abdelhalim

GUENFOUD Mohammed	(Pr.) U. de Guelma	: Président
NACERI Abdelghani	(Pr.) U. de M'sila	: Examineur
BENOUIS Abdelhalim	(M.C.) U. de Guelma	: Rapporteur
CHERAIT Yacine	(M.C.) U. de Guelma	: Examineur

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé au sein du département de génie Civil de l'université de Guelma.

Je tenais tout d'abord à exprimer mes plus vifs remerciements et adresser toute ma reconnaissance à mon encadreur, M. BENOUIS Abdelhalim pour m'avoir fait confiance, m'avoir dirigé et surtout pour sa patience tout au long de ce travail, ainsi que pour la richesse de ses idées, et ses vastes connaissances.

Je suis également très reconnaissant au professeur GUENFOUD Mohammed de m'avoir accueilli dans son laboratoire et d'avoir présidé mon jury.

Je remercie chaleureusement Messieurs NACERI Abdelghani., professeur à l'université de M'sila, CHERAIT Yacine, Maître de conférence, qui ont eu la patience, malgré leurs nombreuses occupations, de disséquer ce manuscrit en tant qu'examineurs : qu'ils soient tous les deux remerciés pour la richesse de leurs commentaires.

Je tiens également à remercier Monsieur le chef de département docteur BENMARCE, et tous les enseignants du département de génie civil, pour leurs conseils et leurs aides précieuses.

Je tiens enfin à remercier mes amis. Je pense plus particulièrement à mes parents, à mes frères et à mes sœurs, à ma petite famille (ma femme, mes fils et ma fille) pour leurs encouragements, leur soutien et leur aide.

Mes remerciements vont aussi à tous mes amis que j'ai rencontrés pendant ces années et à tout le personnel du département de génie Civil.

ملخص:

إن التفكك هو ظاهرة انفصال مكونات الخرسانة أو الملاط الطازج ، يمكن أن يحدث هذا التفكك بسبب خلط غير كاف أو اهتزاز قوي أو عن طريق سيولة كبيرة. التفكك السكوني يتميز بانفصال الحبيبات عن العجينة بفعل (تحت تأثير الجاذبية الأرضية). لدراسة تفكك الخرسانة الطازجة (الطرية) اقترحت عدة اختبارات :

اختبار الأسطوانة

اختبار العمود

اختبار الكرية

اختبار المجداف (الصفحة)

إن الاختبار الأكثر استعمالاً هو دون شك المقترح من طرف AFGC (الجمعية الفرنسية للهندسة المدنية)

و المتمثل في الاختبار بالمنخل (الغربال) للخرسانة ذات التموغ الذاتي BAP . هناك أيضاً تجارب (اختبارات) تجرى على مخبرات من الخرسانة الصلبة أو في طريق التصلب تعتمد على تقنيات حساب (عد) الحبيبات الخشنة ، نلاحظ تعدد التجارب المستعملة لتحديد التفكك السكوني للخرسانة السائلة ، كما أن العلاقة بين نتائج مختلف الاختبارات لم تحدد بعد.

إن هدف العمل المقترح هو دراسة طرق و ميكانيزمات تفكك الخرسانة السائلة، تحليل العلاقات بين مختلف دلائل (عوامل) التفكك وكذلك محاولة اختيار (اقتراح) اختبار لتحديد التفكك السكوني.

الطريقة

1- دراسة وثائقية

a- خصائص الخرسانة الطرية

b – حركة جزيئي (حبيبية) في السوائل

c – سيولة و تفكك الخرسانة

d – اختبارات تحديد التفكك

2- دراسة تجريبية

نستعمل في هذه الدراسة التجريبية اثنين أو ثلاثة أنواع من الاختبارات البسيطة على الخرسانة الطرية و اختبار على الخرسانة الصلبة ، أين نحاول اكتشاف تأثير شكل المخبرات (الشكل و الطول) و كذلك نوع الحصى المستعمل (مكسر أو مدور) ، دلائل التفكك المحصل عليها من مختلف الاختبارات تحلل و تقارن.

3 – أخيراً (الهدف)

فهم ظاهرة تفكك الخرسانة و تحليل نقدي لمختلف اختباراتها.

الكلمات الرئيسية : خرسانة سائلة، تفكك، استقرار، مقاومة، علاقة.

Résumé

La ségrégation est un phénomène de séparation des constituants d'un béton ou d'un mortier frais, qui peut être provoqué par un malaxage insuffisant ou par une vibration excessive ou par une fluidité importante.

La ségrégation statique se caractérise par une séparation entre les granulats et la matrice sous l'effet des forces de pesanteur.

Plusieurs essais sont proposés pour caractériser la ségrégation d'un béton frais (essai au cylindre, à la colonne, à la bille, à la palette,...) mais l'essai le plus utilisé est sans doute celui recommandé par l'agence française de génie civil (AFGC), l'essai au tamis pour les BAP.

On retrouve aussi des essais sur éprouvettes de béton durci ou en cours de durcissement (essai du comptage des granulats, des ultrasons, des rayons gamma). Ces derniers se fondent généralement sur des techniques de comptage du pourcentage des gros granulats.

On remarque la multitude d'essais utilisés pour caractériser la ségrégation statique des bétons fluides. La corrélation entre les résultats de ces différents essais n'est pas établie.

L'objectif du travail proposé est d'étudier les mécanismes de ségrégation des bétons fluides, d'analyser les corrélations entre les différents indices de ségrégation. L'effet de la forme et des dimensions des éprouvettes a aussi été étudié. Deux types d'éprouvettes cylindriques et deux autres parallélépipédiques ont été utilisées.

Mots clés : béton fluide, ségrégation, stabilité, résistance, corrélation.

Abstract

The segregation is a phenomenon of separation of the components of a concrete or a fresh mortar, which can be caused by an insufficient malaxation or an excessive vibration or a significant fluidity.

The static segregation is characterized by a separation between the aggregates and the matrix under the effect of the forces of gravity.

Several tests are proposed to characterize the segregation of a freshly mixed concrete (test with the cylinder, the column, the ball, with the pallet...) but the test more used is undoubtedly that recommended by the French agency of civil engineering (AFGC).

We find also tests on samples of hardened concrete or in the course of hardening (test of the counting of the aggregates, ultrasounds tests, tests with gamma's rays). These tests are generally based on techniques of counting of the percentage of the coarse aggregates.

We notice the multitude of tests used to characterize static segregation of the fluid concretes. Correlation between results of these various tests is not established.

The objective of suggested work is to study segregation mechanisms of the fluid concretes, to analyze the correlations between the various indices of segregation.

Key words: fluid concrete, segregation, stability, resistance, correlation.

Contribution à la détermination de
la ségrégation statique des bétons
fluides.

TABLE DES MATIERES

ملخص	I
Résumé.....	II
Abstract.....	III
*- Introduction.....	1
** - Contexte et objectif.....	2
***- Organisation du mémoire.....	2

Chapitre -I- SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Introduction Générale.....	05
Partie -A- Bétons Autoplaçants	05
I.A.1. Introduction.....	05
I.A.2. Domaines d'emploi	07
I.A.3. Influence des granulats sur les propriétés des BAP.....	08
I.A.4. Rôle des fines	08
I.A.4.1. Les cendres volantes	08
I.A.4.2. Laitiers de hauts fourneaux	09
I.A.4.3. Fumées de silice	09
I.A.4.4. Les fillers calcaires	09
I.A.5. Influences des ajouts chimiques sur les propriétés des BAP... ..	09
I.A.5.1. Rôle des superplastifiants	09
I.A.5.2. Rôle des agents de viscosité (ADV) ou agents Colloïdaux	10
I.A.6. Mécanismes de ségrégation statique	10
I.A.6.1 Initiation de la ségrégation statique dans le cas d'une seule particule	11
I.A.6.2. Mouvement d'une particule dans un fluide à seuil.....	11
I.A.7. Essais et techniques de caractérisation des BAP.....	13
Partie -B- Les essais de caractérisation des BAP à L'état frais	14
I.B.1. Introduction	14
I.B.2. Les essais de caractérisation	14
I.B.2.1. L'ouvrabilité	14
I.B.2.2. La mesure de la vitesse d'écoulement	15
I.B.2.3. Essai à la boîte <<the Box test>>	15
I.B.2.4. Essai à la L-Box.... ..	15
I.B.2.5. Essai de l'entonnoir en forme de «V» «V-Funnel >>	16
I.B.2.6. Essai au cylindre	17
I.B.2.7. Essai à la colonne	18

I.B.2.8. Essai à la bille	19
I.B.2.9. Essai à la palette	20
I.B.2.10. Essai au tamis	21
I.B.2.11. Méthode de Sidky, Legrand et Barrioulet(1981)	22
I.B.2.12. Méthode japonaise du cylindre (Umeharaetcoll.,1994)	22
I.B.2.13. Proposition d'une procédure d'essai de mesure de ISS	23
I.B.2.14. Les méthodes de mesure sur béton durci	25
I.B.2.14. a) Méthode des ultrasons	25
I.B.2.14. b) Méthode du comptage des granulats.....	25
I.B.2.14. c) Méthode des rayons gamma	25
I.B.2.15. Conclusion	26

Chapitre -II-

CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX UTILISES

II.1.Introduction.....	28
II.1.1. Sable.....	28
II.1.1.1. Caractéristiques physiques du sable utilisé.....	28
II.1.1.2. Module de finesse.....	28
II.1.2. Graviers.....	29
II.1.2.1. Caractéristiques physiques.....	29
II.1.2.2. Caractéristiques mécaniques.....	29
II.1.2.3. Caractéristiques chimiques.....	30
II.1.3. Ciment.....	30
II.1.3.1. Caractéristiques physiques.....	30
II.1.4. Les fillers calcaires.....	31
II.1.5. Le superplastifiant	31
II.1.6. Eau de gâchage.....	32
II.2. Les essais effectués.....	32
II.2.1. Analyses granulométriques.....	32
II.2.1.1.Exemple d'analyse granulométrique	32
II.2.1.1.1. Essai sur le sable	32
II.2.1.1.2. Essai sur le Gravier.....	33
II.2.1.1.3. Essai d'humidité.....	34
II.3. Les moules utilisés	36

Chapitre -III-

METHODOLOGIE EXPERIMENTALE.

III.1.Introduction.....	39
II.2. Matériaux utilisés et formulation des bétons.....	39
III- III.2.1. Composition des bétons.....	39
III.2.2. Confection des éprouvettes	40
III.2.3. Cure appliquée	41
III.2.4. Propriétés mécaniques.....	42
II-III.3. Procédures d'essais.....	42
III.3.1. Les essais d'écrasement.....	42
III.3.1.1.Caractéristiques de la machine d'essai utilisée.....	43
III.3.2. Les essais d'étalement « Slump Flow »	44
III.3.3. Affaissement au cône d'Abrams	45
III.3.4. Détermination du risque de blocage à l'aide de la boîte en L	45
III.3.5. Détermination de la vitesse d'écoulement à l'aide du V-Fun	46
III.3.6. Détermination de la résistance à la ségrégation par l'évaluation de la stabilité au tamis	47
III.3.7. Autres méthodes de caractérisation de la ségrégation.....	49
III.3.7.1. Méthode japonaise du cylindre (Umehara et coll., 1994)...	49
III.3.7.2. Procédure d'essai de mesure de ISS après prise	51
Conclusion.....	53

Chapitre. -IV-

SYNTHESE ET INTERPRETATION DES RESULTATS.

IV.1. Introduction.....	55
IV.2. Présentation et analyse des résultats expérimentaux.....	55
IV.3. Influence du rapport (E/C)	56
IV.3.1. Influence du rapport (E/C) sur (H/B)	56
IV.3.2. Influence du rapport (E/C) sur l'indice de ségrégation (ISS)	60
IV.4. Influence de la forme du moule sur (H/B).....	62
IV.5. Relation entre la résistance à la ségrégation (H/B) et ISS.....	63
IV.6. Relation entre résistance à la ségrégation et stabilité au tamis	64
IV.7. Relation entre l'indice de ségrégation et stabilité au tamis ...	66

IV.8. Relation entre la résistance à la compression et (H/B).....	66
IV.9. Relation entre la résistance à la compression et ISS...	68
IV.10. Relation entre la vitesse d'écoulement et (H/B).....	69
IV.11. Relation entre la vitesse d'écoulement et ISS... ..	71
IV.12. Relation entre l'affaissement et la résistance à la ségrég	71
IV.13. Relation entre l'affaissement et l'indice de ségrégation ...	73
Conclusion.....	74
V- Conclusions générales et perspectives.....	76
Références Bibliographiques	79
<u>INDEX</u>	83
*- Liste des tableaux.....	84
**- Liste des figures.....	86
***- Liste des photos.....	88

Contribution à l'étude de la ségrégation statique
des bétons fluides

INTRODUCTION

Introduction

Contexte et objectif

La ségrégation est un phénomène de séparation des constituants d'un béton ou d'un mortier frais, qui peut être provoqué par un malaxage insuffisant ou par une vibration excessive ou par une fluidité importante.

La ségrégation statique se caractérise par une séparation entre les granulats et la matrice sous l'effet des forces de pesanteur.

Plusieurs essais sont proposés pour caractériser la ségrégation d'un béton frais (essai au cylindre, à la colonne, à la bille, à la palette,...) mais l'essai le plus utilisé est sans doute celui recommandé par l'agence française de génie civil (AFGC) et qui est l'essai au tamis pour les BAP.

On retrouve aussi des essais sur éprouvettes de béton durci ou en cours de durcissement (essais du comptage des granulats, essais par ultrasons, essais par rayons gamma). Ces derniers se fondent généralement sur des techniques de comptage du pourcentage des gros granulats.

On remarque la multitude d'essais utilisés pour caractériser la ségrégation statique des bétons fluides. La corrélation entre les résultats de ces différents essais n'est pas établie.

L'objectif du travail proposé est d'étudier les mécanismes de ségrégation des bétons fluides, d'analyser les corrélations entre les différents indices de ségrégation. L'effet des dimensions et de la forme des éprouvettes sera aussi abordé.

Organisation du mémoire

L'objectif de ce travail est d'étudier les mécanismes de ségrégation des bétons fluides, d'analyser les corrélations entre les différents indices de ségrégation et essayer d'adapter un essai de caractérisation de la ségrégation statique. Pour présenter les méthodes et les résultats obtenus par les essais, ce mémoire se compose de quatre chapitres :

Le premier est consacré à une synthèse bibliographique qui permet de présenter l'état des connaissances.

La première partie du chapitre est consacrée aux connaissances actuelles des propriétés des bétons fluides (particulièrement les BAP), le rôle des composants permettant d'obtenir des matériaux fluides et stables, les mouvements des particules dans les fluides, la fluidité et la ségrégation des bétons.

La deuxième partie est consacrée aux méthodes et technique d'essais utilisés pour la caractérisation des bétons fluides à l'état frais et à l'état durci.

Le deuxième chapitre présente les caractéristiques des différents matériaux utilisés et le mode de leur détermination, ainsi sept (07) compositions de bétons sont proposées

pour les différents essais dont six (06) des bétons classiques avec des variations des rapports (E/C) parmi eux des bétons fluides, le septième est un béton autoplaçant.

Le troisième chapitre expose la méthodologie expérimentale que nous avons suivie dans notre travail et qui s'articule principalement sur des mesures de la résistance à la ségrégation, l'indice de ségrégation, la stabilité au tamis et la résistance à la compression.

Le dernier chapitre aborde l'interprétation et l'exploitation des résultats des différents essais réalisés. Divers relations ont été étudiées, elles ont concerné la résistance à la ségrégation statique en fonction de divers paramètres tels que, le rapport (E/C), la forme des moules, les dimensions des moules et la résistance à la compression.

Enfin, nous terminons ce mémoire par une conclusion générale de nos travaux, ainsi que des perspectives qui en découlent sur les améliorations nécessaires à apporter afin de déboucher vers une corrélation fiable capable de donner des interprétations aux différents paramètres qui entrent en jeux.

Contribution à l'étude de la ségrégation statique
des bétons fluides

Chapitre - I -

SYNTHESE
BIBLIOGRAPHIQUE

Introduction Générale

Les bétons autoplaçants sont des bétons spéciaux, très fluides, qui se mettent en place et se serrent sous le seul effet de la gravité, donc sans apport de vibration interne ou externe, même dans les coffrages les plus ferrailés. Ces bétons ne sont évidemment qualifiés d'autoplaçants que si le matériau final présente des propriétés homogènes, c'est-à-dire s'il n'a pas subi de ségrégation.

L'idée de ces bétons a été lancée vers le milieu des années 80 par les chercheurs de l'université de Tokyo, puis a été reprise rapidement par les grands groupes industriels japonais pour des projets d'envergure. Ces bétons connaissent un essor important, car ils présentent deux intérêts technico-économiques majeurs. En Algérie, ce type de béton présente un intérêt certain puisque les impératifs d'une meilleure qualité des ouvrages, et aussi la complexité des coffrages commencent à se sentir de plus en plus ces dernières années.

Une partie consacrée aux méthodes et techniques d'essais les plus utilisés pour la caractérisation des BAP à l'état frais. Le matériau étant d'apparition récente, il n'existe pas encore d'essais normalisés, ce qui fait que le nombre d'essais publiés est presque égal au nombre d'équipes de recherche qui existe dans le domaine. Chaque laboratoire a confectionné une procédure, un appareil ou même une technique qui lui est propre.

L'étude de la ségrégation a été effectuée en utilisant les différents essais recommandés (essai au tamis, le V-Funnel, la boîte en L, l'appréciation visuelle) ainsi qu'une procédure proposée (analogue à l'essai à la colonne).

PARTIE-A-

A- BETONS AUTOPLAÇANTS

I.A.1. INTRODUCTION

Le processus de formulation d'un béton c'est de tenter, au moindre coût, de trouver un arrangement des divers constituants répondant à un cahier des charges exprimé en grandeurs mesurables. Le cahier des charges contient au minimum deux clauses fixant la résistance à la compression à 28 jours et la consistence, c'est-à-dire l'affaissement au cône d'Abrams. L'importante évolution dans le domaine du calcul des structures a fait que ces dernières soient de plus en plus complexes. En effet, beaucoup de structures actuelles se caractérisent par la complexité de leur architecture (formes variables et courbures multiples), ainsi que par une forte concentration en armatures, ce qui rend souvent difficile l'utilisation des bétons de plasticité conventionnelle [1]. Chose qui a incité les chercheurs à concevoir des bétons qui seraient mieux adaptés aux nouvelles structures. Ces bétons qui sont très fluides et qui se mettent en place sous le seul effet de leur poids propre sont connus sous le nom de « Bétons Autonivelants (BAN) » ou « Bétons Autoplaçants (BAP) ». Si on se limite au seul examen de la fabrication, le BAP représente un surcoût par rapport à un béton classique, mais présente beaucoup d'avantages qui le rendent économique et largement compétitif, parmi lesquels :

- l'absence de vibration, ceci réduit les nuisances sonores et les maladies professionnelles,

-la réduction du coût de la main d' oeuvre,

-l'utilisation de béton fluide qui permet le bétonnage dans les milieux confinés (très ferraillés),

-l'absence de ségrégation en gardant un squelette homogène qui permet d'avoir des bétons compacts et durables

-un impact positif sur l'organisation des chantiers.

Pour formuler les bétons conventionnels, la méthode la plus utilisée dans l'industrie et celle dite de Dreux-Gorisse. Elle propose différents abaques pour estimer les dosages en eau et en ciment permettant d'obtenir la résistance et l'affaissement souhaités. Elle se distingue également par une méthode originale pour proportionner les granulats, qui consiste à caler la courbe granulométrique du mélange sable – gravillons sur une courbe de référence.

Mais, la mise au point d'une formule de BAP est beaucoup plus complexe, parce que, d'abord, les constituants sont au nombre de six, contre quatre dans le cas des bétons ordinaires. Ensuite, le cahier des charges d'un BAP comporte plus de clauses, en particulier à l'état frais ; il faut réaliser, en plus de l'essai au cône, l'essai à la boîte en L et l'essai de stabilité au tamis. Enfin, et surtout, les propriétés des BAP sont contradictoires ; un béton riche d'une pâte fluide est très sensible à la ségrégation.

En général, les BAP possèdent un même dosage en ciment et en eau que les BO, ainsi qu'un volume de sable assez proche. C'est donc principalement l'ajout d'une addition qui sert de substitut aux gravillons. Les proportions exactes de chaque constituant dépendent bien sûr de la méthode de formulation choisie. [3] [1]

Le rôle de la pâte est de séparer les gravillons pour limiter les contacts, en particulier dans les milieux ferraillés, et ainsi prévenir la formation de voûtes susceptibles de bloquer l'écoulement.

Le volume important d'éléments fins permet aussi de garantir le compromis entre stabilité et maniabilité.

Mais il n'est pas suffisant pour atteindre la fluidité, il est nécessaire d'ajouter aux bétons un défloculant (superplastifiant), sans lequel la demande en eau du mélange serait trop élevée.

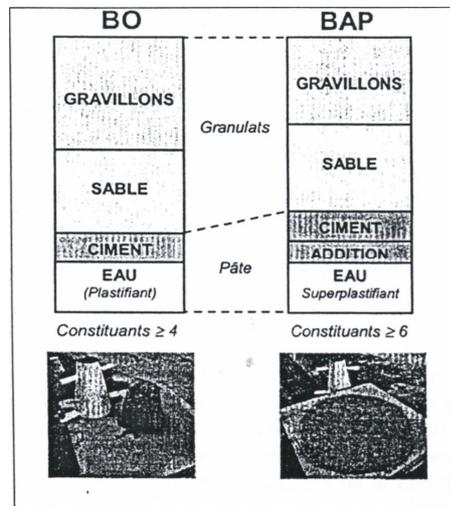


Figure .I.1. : Composition d'un béton ordinaire « BO » et d'un BAP.
Aspect à l'état frais d'un BO et d'un BAP.

La quantité de fines n'est pas non plus toujours suffisante pour empêcher la ségrégation. On a recours alors aux agents de viscosité. Ces adjuvants sont souvent des polymères, composés de longues molécules organiques, qui augmentent la viscosité de l'eau de gâchage. Ils assurent une meilleure stabilité du béton et le rendent moins sensible aux variations de teneur en eau des granulats. Cela étant, en pratique leur utilisation est au contraire peu répandue, car ils entraînent un surcoût, qui s'ajoute aux surcoûts dus au superplastifiants et aux additions.

Evidemment, un béton est qualifié d'autoplaçant, non pas par rapport à sa composition, mais parce qu'il possède certaines propriétés à l'état frais.

I.A.2. Domaines d'emploi :

Les caractéristiques des BAP laissent entrevoir de nombreuses possibilités techniques du fait de leur grande fluidité :

- possibilité de coulage de zones fortement ferraillées,
- possibilité de coulage de zones d'architecture complexe et difficilement accessibles,
- obtention de très bonnes qualités de parement.

L'un des avantages majeurs du BAP est de permettre la réalisation de parements de grande qualité. Leur composition, riche en éléments fins, permet d'obtenir une texture de surface plus fine et plus fidèle à la peau coffrante utilisée.

Les aspects satinés, lisses ou très structurés recherchés par les architectes sont alors plus facilement réalisables. Des teintes homogènes et régulières peuvent être obtenues si les conditions de mise en œuvre évoquées précédemment sont respectées, notamment du point de vue de la propreté des coffrages.

Le coulage d'un béton dans une zone très fortement ferraillée menait traditionnellement à un surdimensionnement de la pièce afin de rendre accessible tout point du bétonnage. L'utilisation des BAP présente des intérêts architecturaux importants puisque, sans augmenter les performances mécaniques d'une structure donnée, ils permettent l'optimisation des sections ou la réalisation d'éléments de forme complexe.

Les BAP constituent donc une alternative particulièrement intéressante au béton vibré dans les différents domaines de la construction : bâtiment, ouvrages d'art, tunnels, préfabrication, réhabilitation, etc.

En effet, la formulation des BAP est particulière : utilisation d'adjuvants et d'additions minérales. Leur sensibilité en ce qui concerne le dosage et la teneur en eau, la qualité et la régularité des composants ainsi que les conditions de malaxage, nécessite donc la mise en place d'un suivi plus important. [4]

I.A.3. Influence des granulats sur les propriétés des BAP :

Plusieurs études ont été réalisées afin de déterminer les quantités optimales en gros granulats capables de donner un maximum de déformabilité et d'ouvrabilité au béton. Selon Yurugi et coll. (1989) (cité par [5]), le volume des gros granulats dans le béton est le facteur le plus important pour le contrôle de la maniabilité et de la capacité de remplissage : plus la teneur en gros granulats augmente et plus la capacité de remplissage diminue.

Khayat et coll. (1994) (cité par [5]) ont déterminé les quantités optimales en gros granulats et en sable capables d'améliorer la fluidité des mélanges de béton en présence d'un agent colloïdal et de superplastifiant.

La quantité des granulats (granulats concassés lavés) a été de 300 L/m³ avec une teneur de 70% de granulats de diamètre maximum 14 mm et 30% de diamètre maximum 20 mm. Quant à la quantité de sable, elle correspondait à un rapport Sable/Pâte (volumique) de 0,6.[6]

Ces bétons autoplaçants développés avec 4% d'air entraîné, présentent une bonne durabilité car le rapport E/C est en général faible. En effet, le retrait par séchage est inférieur de 10 à 20% par rapport à un béton ordinaire (cure de 7 jours à 20°C) ; il varie de 6×10^{-4} à 8×10^{-4} à 26 semaines, ce qui est inférieur à la limite de la norme JASS5 (8×10^{-4}) (Kasai et coll. 1991, cité par [5]).

I.A.4. Rôle des fines :

Les superplastifiants permettent donc d'obtenir des bétons très fluides en réduisant les frottements entre grains de ciment et en libérant une certaine quantité d'eau. Leur utilisation n'est pas suffisante dans le cas des BAP. Les interactions entre les plus gros grains doivent aussi être réduites.

Pour augmenter la quantité de pâte d'un BAP, on peut alors envisager d'augmenter la quantité de ciment. Or ceci conduirait à une augmentation significative du coût du matériau mais également à des problèmes de retrait dus à l'élévation de la température lors de l'hydratation du ciment.

Il est donc nécessaire de remplacer une partie du ciment par des additions minérales. Différentes additions sont citées dans la littérature : cendres volantes, laitiers de hauts fourneaux, fumées de silice et filler calcaire. [4]

I.A.4.1 Les cendres volantes :

Le remplacement d'une partie du ciment par des cendres volantes à une faible influence sur le seuil et la viscosité des pâtes de ciment [7]. Leur utilisation peut améliorer la fluidité, car leur forme sphérique permet de réduire les frottements entre les grains de ciment [8]. En les associant à un superplastifiant, les cendres volantes permettent de réduire le dosage en adjuvant nécessaire à l'obtention d'une certaine fluidité.

I.A.4.2 laitiers de hauts fourneaux :

Le remplacement d'une partie du ciment par des laitiers de hauts fourneaux permet globalement de réduire le seuil et la viscosité des pâtes de ciment [7, 9].

Shi et al. [9] montrent par exemple que les laitiers de hauts fourneaux adsorbent le superplastifiant. Il est donc possible que la demande en superplastifiant soit plus importante pour obtenir une même fluidité.

I.A.4.3 fumées de silice :

Elles augmentent les valeurs de seuil et de viscosité en augmentant la compacité des mélanges, Ferraris et al. [8] montrent que l'utilisation de fumées de silice augmente la demande en eau et en superplastifiant que ce soit pour des pâtes de ciment ou pour des bétons.

I.A.4.4 les fillers calcaires :

Les fillers calcaires sont des produits secs finement divisés obtenus par broyage industriel des roches calcaires, dont les caractéristiques sont définies par la norme NF P18 – 305. Parmi ces caractéristiques, deux sont particulièrement significatives une teneur minimale en carbonates totaux (calcaire + dolomite) ainsi qu'une teneur minimale en carbonate de calcium CaCO_3 , Une valeur minimale de l'indice d'activité. [10]

I.A.4.4.1. Influence des fillers calcaires sur les paramètres rhéologiques :

Neto et Campitelli (rapporté par M. NEHDI en [11]) observent la réduction du seuil de cisaillement avec l'augmentation de la teneur en filler calcaire, et aussi l'augmentation de la viscosité plastique au-delà d'une certaine valeur de la finesse du calcaire.

Zhu et Gibbs [12], ont étudié l'influence de différents type de filler calcaire.

En revanche, leur étude sur bétons montre que le type de filler a une forte influence sur la demande en superplastifiant (choisit dans leur étude) pour obtenir un étalement donné.

Les résultats montrent que plus il y a de filler en remplacement du ciment, moins il faut de superplastifiant pour atteindre un étalement donné.

I.A.5. Influence des ajouts chimiques sur les propriétés des BAP :

Les adjuvants sont des additions qui sont incorporées durant le malaxage pour améliorer les caractéristiques du béton (fluidité, plasticité, propriétés rhéologiques).

Les adjuvants les plus utilisés dans les BAP sont les superplastifiants et les agents de viscosité. [10]

I.A.5.1. Rôle des superplastifiants :

L'apparition des bétons autoplaçants et des bétons hautes performances (BHP) est fortement liée aux progrès réalisés dans le domaine des adjuvants et plus particulièrement celui des superplastifiants (SP) [13,14]. Les superplastifiants permettent en effet de défloculer les grains de ciment. Ils agissent par répulsion électrostatique en neutralisant les charges électriques présentes à la surface des grains et/ou par répulsion stérique en écartant les grains les uns des autres, grâce à des chaînes moléculaires très longues. L'eau initialement piégée entre les floes est de nouveau disponible pour l'hydratation ou pour fluidifier le mélange (figure I.2). Il

devient donc possible de fabriquer des bétons très fluides, même avec moins d'eau qu'il n'en faut pour hydrater le ciment, donc de fabriquer des bétons à faible rapport E/C, faciles à mettre en place [14].

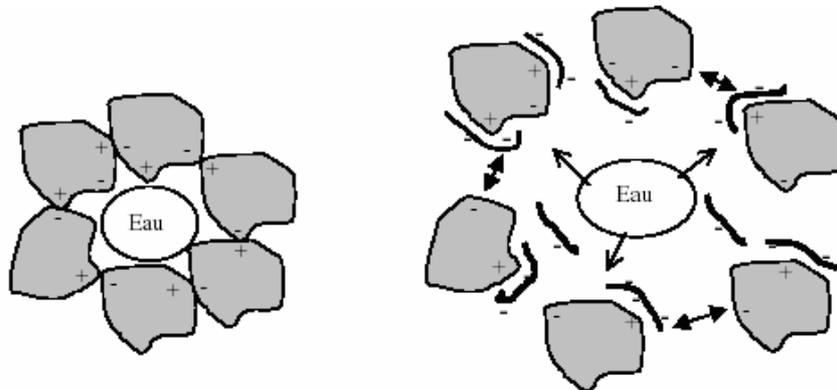


Figure I.2 : Action des superplastifiants – Déflocculation des grains de ciment. [4]

L'ajout d'un superplastifiant permet ainsi d'augmenter significativement la fluidité des BAP que ce soit du point de vue de leur étalement ou du point de vue de leur seuil d'écoulement. La figure I.3 montre par exemple que l'étalement augmente très fortement à partir d'un certain dosage en superplastifiant [15].

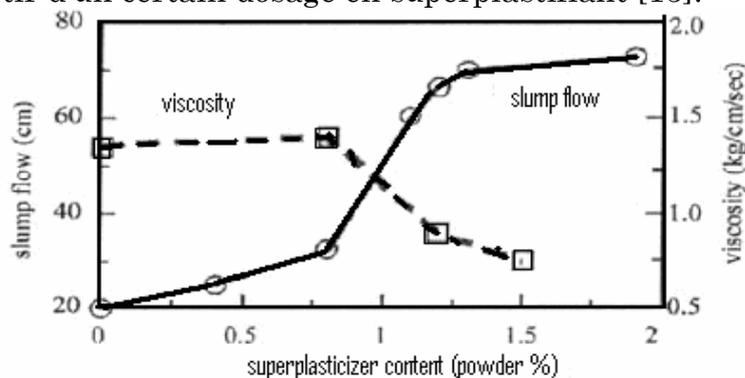


Figure I.3 : Influence de la quantité de superplastifiant sur l'étalement et la viscosité d'un béton [15].

I.A.5.2. Rôle des agents de viscosité (ADV) ou agents Colloïdaux :

Généralement les superplastifiants, par leur rôle de fluidifiant diminuent la viscosité du béton frais ce qui le rend moins stable vis-à-vis de la ségrégation, c'est pour cela que les agents de viscosité sont utilisés.

Ces produits sont des hypocycloïdes extraits dans les produits naturels qui ont pour rôle d'empêcher le ressuage et de limiter les risques de ségrégation en rendant la pâte plus épaisse.

Les agents colloïdaux améliorent la viscosité et diminuent la ségrégation et le ressuage dans les bétons, par contre ils augmentent la demande en eau du mélange et nécessitent leur utilisation en présence de superplastifiants (Khayat, 1993) [1].

I.A.6. Mécanismes de ségrégation statique :

Peu d'auteurs se sont intéressés aux mécanismes de ségrégation statique dans le cas des matériaux cimentaires. On peut citer les travaux de Tangtermsirikul et al. [34] et

ceux de Saak et al. [20]. La caractérisation du comportement des matériaux cimentaires à l'état frais n'est en effet pas simple. Ceci qui est d'autant plus vrai lorsque la composition fait intervenir un superplastifiant associé à un agent viscosant. Cependant les études numériques ou expérimentales dans des fluides modèles fournissent des pistes pour la compréhension des mécanismes de ségrégation statique. Le comportement d'un granulat sera alors assimilé à celui d'une sphère.

I.A.6.1. Initiation de la ségrégation statique dans le cas d'une seule particule :

La plupart des données les plus récentes que l'on trouve dans la littérature résultent de simulations numériques de chute de sphère(s) dans des fluides modèles [19-39]. Quelques articles présentent des résultats expérimentaux obtenus sur des fluides modèles de type gel [40, 41] ou sur pâtes de ciment [20].

Une particule sphérique rigide immergée dans un fluide est soumise à différentes forces : la force de gravité, la poussée d'Archimède, et la force de traînée. Figure I.4.

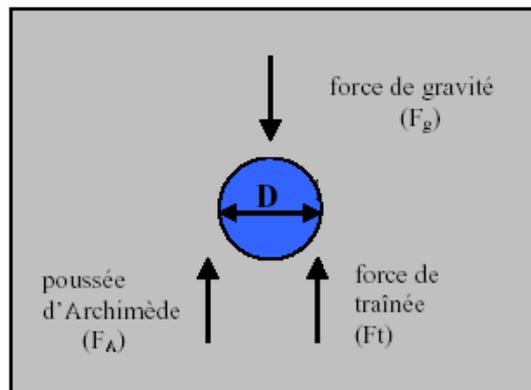


Figure I.4: Les forces qui agissent sur une particule Sphérique rigide immergée dans un fluide. [4]

Le critère de stabilité doit être déterminé dans le cas des matériaux cimentaires dont le comportement diffère probablement de celui des matériaux modèles. L'étude de Saak et al. [20] est intéressante mais nécessite quelques modifications.

En terme de formulation, il s'agit de trouver un compromis entre la nécessité de réduire le seuil d'écoulement pour que l'écoulement s'amorce rapidement et celle d'avoir un seuil suffisant pour supporter le poids des gros granulats. La réduction du seuil d'écoulement est obtenue par ajout de superplastifiant. Il s'agit donc de contrôler le dosage en superplastifiant [25, 42]. De plus, pour un seuil d'écoulement donné, le risque de ségrégation est d'autant plus élevé que le diamètre augmente. Comme pour le risque de blocage, le diamètre maximal des granulats doit donc être limité.

I.A.6.2. Mouvement d'une particule dans un fluide à seuil:

Dans le cas d'un fluide newtonien, il est introduit un coefficient de traînée C_d permettant d'adimensionner la force de traînée, F_{stokes} , tel que :

$$F_{\text{stokes}} = C_d \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_f \cdot v^2 \quad \text{avec} \quad C_d = \frac{24}{\text{Re}} \quad (\text{I-1})$$

Cette équation n'est valable que pour les fluides newtoniens. Certains auteurs ont donc proposé différentes expressions du coefficient de traînée lorsque la sphère est en mouvement dans d'autres fluides. Chabra [16] donne une revue de ces équations et il apparaît que les différents auteurs arrivent à une même conclusion : dans le cas d'un fluide à seuil, la traînée d'une sphère dépend de deux paramètres : la viscosité et le seuil d'écoulement du fluide.

Ainsi, pour prendre en compte les effets visqueux mais également les effets dus au seuil d'écoulement, les différentes études de chute de particule dans un fluide complexe font intervenir en plus du nombre de Reynolds, le nombre de Bingham :

$$B_n \equiv \frac{\tau_o D}{\eta_{pl} v} \quad (I-2)$$

Toutefois, ces modèles ne permettent pas de rendre compte du caractère thixotrope des matériaux cimentaires, comportement qui peut être défini comme étant une évolution des propriétés rhéologiques et plus particulièrement une évolution de la viscosité dans le temps. Ainsi, Ferroir, Huynh et Coussot [17] proposent un modèle permettant de prendre en compte la thixotropie des matériaux cimentaires, et de son influence sur la chute de sphère.

A partir d'un état de structuration du matériau (caractérisé par le paramètre λ), ils définissent les équations (I.3) et (I.4) :

$$\mu = \eta_o (1 + \lambda^n) \quad (I-3)$$

$$\frac{d\lambda}{dt} = \frac{1}{\theta} - \alpha \dot{\gamma} \lambda \quad (I-4)$$

où n est une constante ≥ 1 , η_o est la valeur limite de la viscosité correspondant à une déstructuration complète du matériau ($\lambda \rightarrow 0$), θ est le temps caractéristique de l'évolution de la microstructure, α est une constante dépendant du système.

Lorsque la particule est en mouvement, une partie du fluide est sollicitée. D'après Atapattu [18], la première visualisation de l'écoulement faite par Bulina (1967), suggérait l'existence de régions apparemment non déformées (ou stagnantes) liées à l'objet se déplaçant dans le milieu viscoplastique. Beris et al. [19] ont prédit numériquement l'allure de la zone entourant une sphère en mouvement dans un fluide comme présenté sur la figure I.5 :

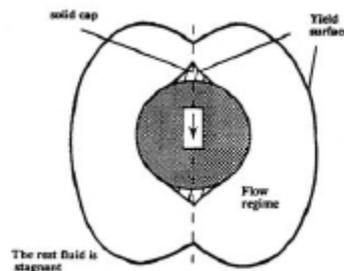


Figure I.5 : Champ d'écoulement autour d'une sphère immergée dans un fluide à seuil [20]

D'après Chhabra [16], les parois du récipient contenant le fluide peuvent avoir une influence sur la chute de la sphère lorsqu'elles interfèrent avec la zone cisailée. D'après Briscoe et al. [21], la vitesse de chute serait ralentie lorsque les parois sont proches.

I.A.7. Essais et techniques de caractérisation des BAP :

Afin de traiter des différentes caractéristiques et les moyens de les contrôler pour les bétons autoplaçant, on résume (tableau I.1) les propriétés essentielles recherchées ainsi que les différents paramètres qui les contrôlent.

<p>Pour Une Excellente Déformabilité</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. L'augmentation de la fluidité de la pâte : <ol style="list-style-type: none"> a. Par l'utilisation de Superplastifiants haut réducteurs d'eau, b. Par l'adoption d'un optimal rapport Eau/Liant, 2. La réduction des frictions intergranulaires : <ol style="list-style-type: none"> a. En diminuant le volume de gros granulats (un volume de pâte élevé) b. En utilisant un liant de granularité continue
<p>Pour Une Bonne Stabilité</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. La réduction des séparations des particules solides : <ol style="list-style-type: none"> a. Par la limitation de la teneur en granulats b. Par la réduction du diamètre maximal des granulats c. Par l'augmentation de la cohésion et de la viscosité : <ul style="list-style-type: none"> - un petit rapport Eau/liant - l'utilisation d'agent colloïdal (agent de viscosité) 2. La minimisation du ressuage : <ol style="list-style-type: none"> a. En adoptant un petit dosage en eau, b. En adoptant un petit rapport Eau/Liant, c. En utilisant des fines à grande surface spécifique, d. Et en augmentant le dosage en agent de viscosité.
<p>Pour Un Moindre Risque de Blocage</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Accroître la cohésion pour réduire la ségrégation des granulats : <ol style="list-style-type: none"> a. Par l'adoption d'un petit rapport Eau/Liant, b. Par l'utilisation d'agent colloïdal, 2. Respecter pue compatibilité entre l'espacement des armature et les granulats (volume et diamètre maximal) : <ol style="list-style-type: none"> a. Par l'utilisation d'un petit volume de granulats, b. En choisissant un petit diamètre maximal des granulats.

Tableau I.1. : Les propriétés essentielles des BAP frais. [6]

Partie B

Les essais de caractérisation des BAP à L'état frais :

I.B.1.Introduction :

Pour évaluer la fluidité, plusieurs essais normalisés et non normalisés sont recommandés. Ces essais ne mettant pas en relief l'importance du caractère homogène du béton, il est donc avéré nécessaire de développer une autre famille d'essais ; les tests de facilité et capacité de remplissage.

En ce qui concerne l'aptitude au remplissage, les travaux sur les BAP utilisent des tests non normalisés. En fait, pratiquement tous les laboratoires ont leur propre montage, ce qui complique grandement l'analyse des résultats de la littérature [5].

Les essais visant à évaluer la capacité de remplissage ont généralement comme principe d'évaluer l'aptitude du béton à passer à travers une série de barres d'armature en mesurant la quantité de béton ayant franchi ces obstacles.

Les méthodes de mesure de la ségrégation se présentent en deux groupes : le premier comprend les méthodes de mesure sur béton frais, alors que le second concerne les méthodes de mesure sur béton durci. Jusqu'à présent, aucune méthode ne fait l'unanimité.

I.B.2. Les essais de caractérisation :

I.B.2.1.L'ouvrabilité :

Essai d'étalement « Slump Flow » :

C'est un essai utilisé pour estimer la fluidité des BAP sans confinement. Cet essai s'effectue comme un essai d'affaissement au cône d'Abrams (Figure I.6). Le béton est introduit dans le cône sans compaction. On mesure le diamètre moyen (moyenne sur deux diamètres orthogonaux) de la galette de béton obtenue au bout d'une minute. Une observation visuelle permet également de constater si une ségrégation horizontale a lieu ou non. Cet essai est très facile à réaliser en chantier et ne nécessite qu'un petit échantillon (6 litres) de béton. Une valeur de l'étalement comprise entre 500 et 700 mm suffit au béton pour être autoplaçant. Pour un étalement supérieur à 700 mm, le béton risque de subir une ségrégation, et pour des étalements inférieurs à 500 mm, le béton risque de présenter une déformabilité insuffisante pour pouvoir passer à travers les zones fortement armées. [22] [23]

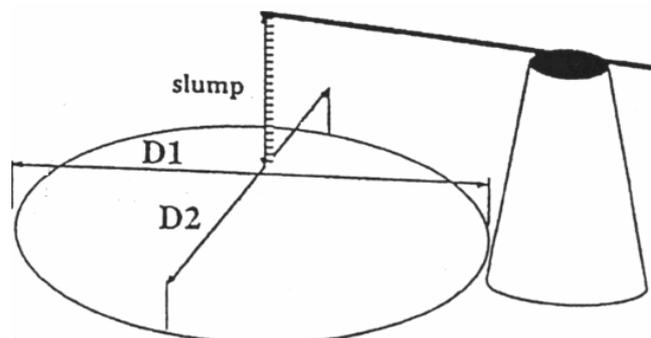


Figure I.6. : Représentation schématique de la mesure de l'affaissement et de l'étalement

I.B.2.2. La mesure de la vitesse d'écoulement :

C'est une mesure effectuée lors de l'essai d'étalement. C'est la mesure du temps nécessaire à l'obtention d'une galette de 50 cm de diamètre. Cette dernière valeur donne une indication sur la viscosité du matériau. Pour des BAP cette valeur est, généralement, comprise entre 4 et 10 secondes. [5] [24]

I.B.2.3. Essai à la boîte « the Box test » :

L'échantillon de béton est mis dans un des deux compartiments d'une boîte (Figure I.7). Quand la porte de séparation des deux compartiments est levée, on mesure la dénivellation de hauteur du béton entre les deux compartiments. Cet essai permet d'évaluer la déformabilité du mélange qui sera excellente dans le cas où la dénivellation est négligeable [5]. On note que cet essai est destiné à donner une appréciation sur la fluidité du béton et non sa capacité à remplir un milieu confiné. C'est pour cela que la zone intermédiaire entre le compartiment A et B (Figure I.7) n'est pas munie d'un système d'armatures.

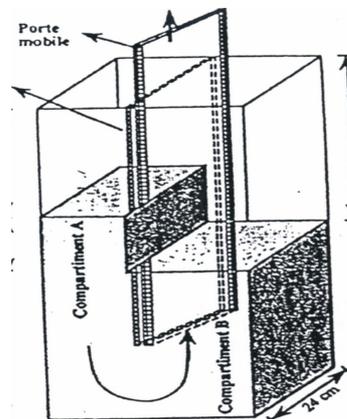


Figure I.7 : Essai du « Box test » [5]

I.B.2.4. Essai à la L-Box :

Cet essai est recommandé par l'AFGC [25]. Il permet de tester la mobilité du béton en milieu confiné et de vérifier que sa mise en place ne sera pas contrariée par des phénomènes de blocage (figure I.8).

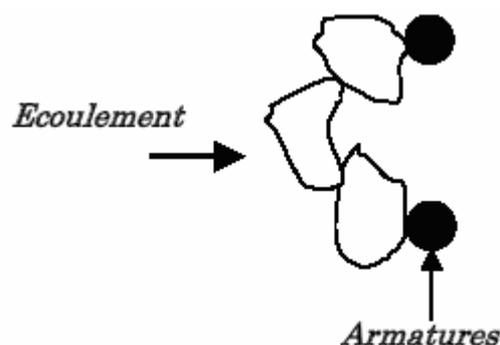


Figure I.8: Risque de blocage au droit des armatures [4].

Le dispositif d'essai est constitué d'une boîte en forme de L (figure I.9-b). La partie verticale est séparée de la partie horizontale par une trappe. Des armatures peuvent être intercalées avant la trappe. L'AFGC [25] recommande l'utilisation de trois barres de 14 mm de diamètre, espacées de 39 mm.

Le mode opératoire de l'essai à la L-Box est le suivant : la partie verticale du dispositif est remplie de béton (volume nécessaire de l'ordre de 13 l). Après arasement, le matériau est laissé au repos pendant 1min. La trappe est ensuite soulevée afin de laisser s'écouler le béton à travers le ferrailage. A la fin de l'essai, les hauteurs de béton, de la partie verticale et de l'extrémité de la partie horizontale, sont mesurées (respectivement H_1 et H_2). Le rapport H_2/H_1 permet de caractériser la dénivellation et doit être supérieur à 0,8. Un mauvais écoulement du béton à travers le ferrailage et un amoncellement de granulats au niveau de la grille sont signes d'un problème de blocage ou de ségrégation.

Un essai proche de celui que nous venons de décrire est l'essai à la boîte en U (U-box) présenté sur (figure I.9-a). Le principe est sensiblement le même que pour la boîte en L. Le béton doit s'écouler à travers des armatures et remonter dans la deuxième partie du U de la boîte. Une hauteur de remplissage supérieure à 300 mm est requise [26]. Différentes versions de la forme de la boîte existent : fond arrondi ou fond aplati.

Afin de vérifier la capacité d'un béton à s'écouler à travers des armatures, le J-ring test peut également être employé (figure I.9-c). Il s'agit d'un anneau sur lequel différentes armatures peuvent être fixées. Ce matériel est utilisé conjointement avec un essai d'étalement au cône d'Abrams ou l'Orimet-test et éventuellement un essai au V-funnel.

D'après l'EFNARC [27], la combinaison de ces essais est intéressante mais on ne sait pas encore comment interpréter les résultats. Par exemple, il est possible de comparer un essai d'étalement seul et un essai combiné : étalement et J-ring. La différence entre les étalements obtenus ne doit pas être supérieure à 50 mm. [27]

Il est également possible de mesurer la différence entre les hauteurs de matériau obtenues à l'intérieur et à l'extérieur du J-Ring. Mais cette opération est délicate à réaliser et peu précise.

D'après la RILEM [28], il serait plus intéressant d'utiliser le J-Ring avec l'Orimet-test. En effet, différentes informations seraient recueillies : le temps d'écoulement à l'Orimet-test que l'on peut relier à la viscosité et l'étalement du béton à travers les armatures indiquant un éventuel blocage.

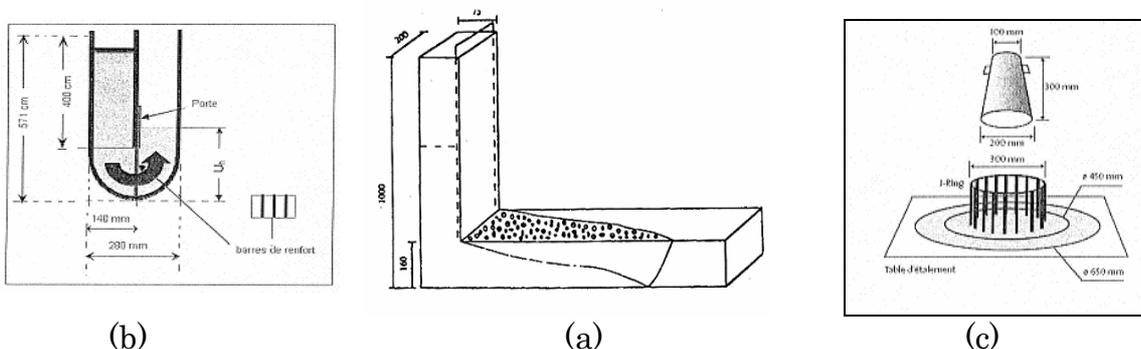


Figure I.9: Essais d'écoulement à travers des armatures
(a) L- Box , (b) U- box , (c) J- Ring

I.B.2.5. Essai de l'entonnoir en forme de «V» « V-Funnel » :

Cet essai consiste à mettre une quantité de béton frais dans l'entonnoir en forme de « V » (Figure I.10). Le temps d'écoulement est déterminé suivant une procédure très

simple : c'est le temps mesuré à partir de l'ouverture de l'orifice jusqu'à l'écoulement total du béton. D'après Khayat [6] et Manai [5], un temps d'écoulement à l'entonnoir en forme de « V » inférieur à 6 secondes est recommandé pour pouvoir qualifier le béton d'autoplaçant. Cet essai est utilisé aussi pour évaluer la stabilité du béton 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 [29] [30].

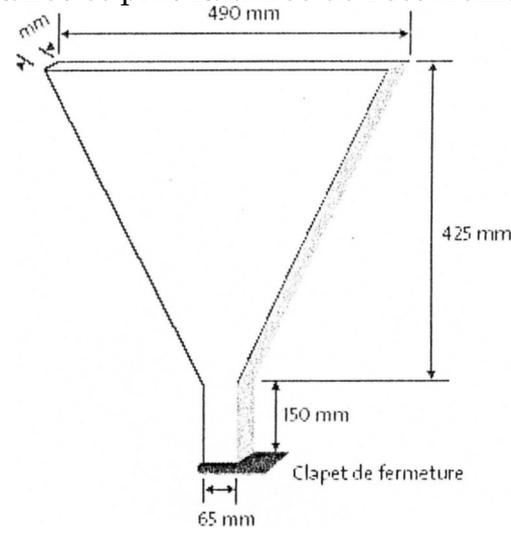


Figure I.10: Essai de l'entonnoir en forme de « V » [53]

I.B.2.6.Essai au cylindre :

L'essai de ségrégation au cylindre a été proposé par Van Bui et al. [31]. Il s'agit d'un appareillage assez simple, donc utilisable éventuellement sur chantier (figure I.11). L'essai consiste à placer un cylindre (en aluminium ou en plastique) sur la surface de l'échantillon de béton à tester et à le laisser pénétrer dans le matériau. Au bout de 45 s la hauteur de pénétration (P_d) est mesurée. Cette manipulation est répétée sur deux côtés diamétralement opposés de l'échantillon.

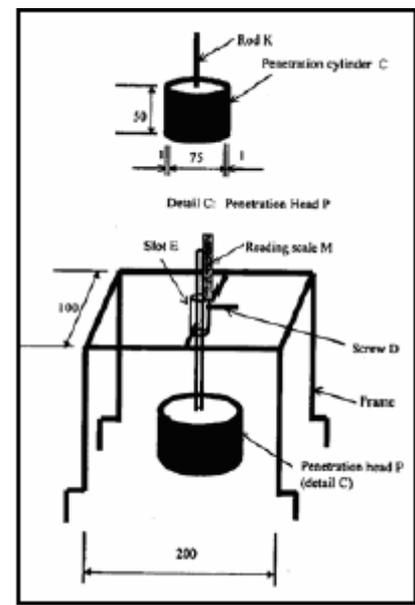


Figure I.11: Essai de stabilité au cylindre [31].

Le critère de stabilité associé à cet essai est le suivant :

- si $P_d \leq 8$ mm, alors le béton présente une bonne résistance à la ségrégation
- si $P_d > 8$ mm, le béton offre une faible résistance à la ségrégation.

Cet essai présente l'avantage d'être très simple à réaliser et les résultats sont obtenus directement.

De plus, l'appareillage est peu cher et peu encombrant. Mais la surface d'essai doit être parfaitement plane. Par ailleurs, il n'y pas de données prouvant le caractère répétable et reproductible de cet essai, ni de données concernant la précision de cet essai [28]. Sedran [2] soulevait la question de la représentativité du cylindre utilisé car il ne disposait pas de ses caractéristiques. Une publication récente de Van Bui et al. [31] indique que le cylindre pèse 54 g. En prenant une masse volumique de 2700 kg/m^3 , le diamètre du granulat que représente le cylindre est $D \approx 15.7 \text{ mm}$. Cependant, un doute persiste quant à la représentativité de la forme du cylindre utilisé et de son état de surface vis-à-vis d'un granulat réel.

I.B.2.7. Essai à la colonne:

Cet essai a été développé indépendamment par le centre ACM de l'Université de Paisley (en 2002) et par l'Université de Ghent (en 2001).

Il s'agit de remplir la colonne (figure I.12) et de laisser le matériau au repos pendant 1 min.

Après cette phase de repos, la colonne est vibrée à l'aide d'une table à secousses. Les échantillons des différentes parties de la colonne (haut, milieu, fond) sont prélevés. Chaque prélèvement est lessivé et tamisé afin de ne récupérer que les gros granulats qui sont ensuite pesés.

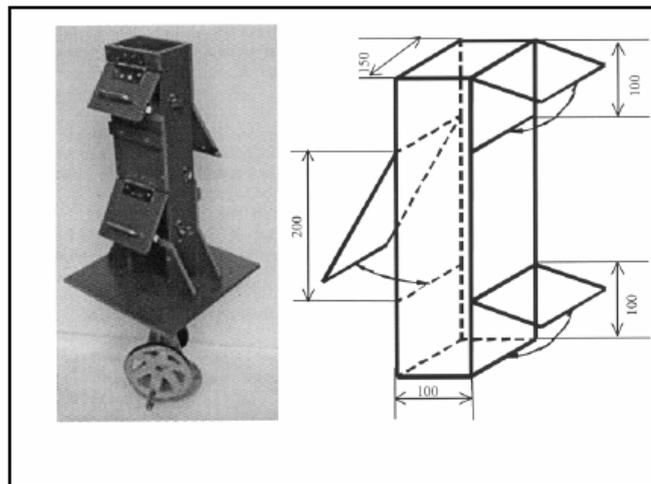


Figure I.12: Essai de stabilité à la colonne [28].

Le critère de stabilité de cet essai est le suivant :

- si le rapport entre la masse de l'échantillon supérieur/ masse de l'échantillon inférieur est supérieur à 0,9 alors le béton a une bonne résistance à la ségrégation
- si ce rapport est inférieur à 0,9 il y a un risque de ségrégation du béton. Cet essai permet d'obtenir une certaine appréciation de la ségrégation (gradation de la ségrégation). Le principe est simple et les résultats sont obtenus directement. Cependant, la réalisation d'un essai nécessite un appareillage spécifique (colonne et balances pour les pesées) et prend du temps. Il est plus adapté à des essais en laboratoire que sur chantier. Par ailleurs, la répétitivité s'amenuise à mesure que le risque de ségrégation augmente [28].

On peut s'interroger sur le sens physique de cet essai et de sa pertinence dans le cas des BAP puisque la vibration accélère les phénomènes de ségrégation.

I.B.2.8. Essai à la bille :

Il s'agit de mesurer l'enfoncement d'une bille de même dimension que les gros granulats, immergée dans un échantillon de béton figure (I.13). La densité apparente de la bille peut être ajustée grâce à un contre-poids et le déplacement de la bille est mesuré par un capteur LVDT relié à un ordinateur. Les résultats sont donc obtenus directement.

Le positionnement de la bille avant l'essai est primordial. Trudel [33] remarque que la bille devrait être positionnée avant le coulage du béton pour ne pas perturber l'arrangement du squelette granulaire, mais ceci ne semble pas possible avec son dispositif expérimental. Il fait donc le choix de positionner la bille par enfoncement sous la surface du béton. Par ailleurs, la densité de la bille est plus élevée que celle des granulats afin d'accélérer le phénomène de ségrégation. Les résultats sont comparés avec ceux obtenus sur éprouvettes durcies analysées par un logiciel de traitement d'image permettant de définir un indice de ségrégation. Une bonne corrélation est mise en évidence. Sedran [2] considère cependant que les paramètres de l'essai doivent être ajustés car le choix d'une densité de bille élevée peut perturber les résultats.

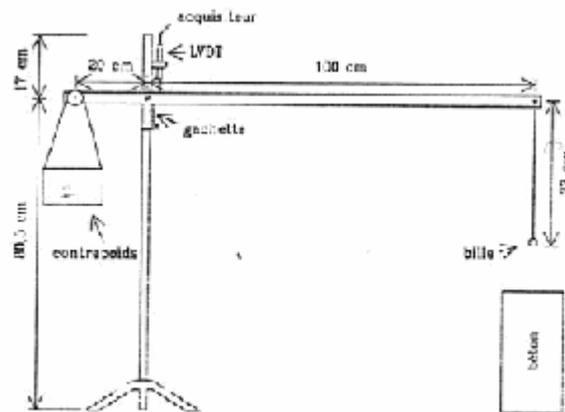


Figure I.13 : Essai à la bille développé par Trudel [33]

I.B.2.9. Essai à la palette :

Tangtermsirikul et al. [34] ont proposé un essai permettant de qualifier l'aptitude d'un mortier à résister au cisaillement d'un gravillon modèle, représenté dans cet essai par une palette métallique (figure I.14.a). Il s'agit de mesurer l'effort nécessaire pour extraire la palette d'un échantillon de mortier et de répéter la mesure à différentes vitesses. Les auteurs font en effet l'hypothèse qu'il existe une relation linéaire entre la vitesse et la force d'extraction. En extrapolant les résultats pour une vitesse d'extraction nulle, ils définissent la force de résistance à la ségrégation. La pente de la droite obtenue correspond à la viscosité apparente du mortier. La question de la représentativité de la palette par rapport à un granulats reste posée.

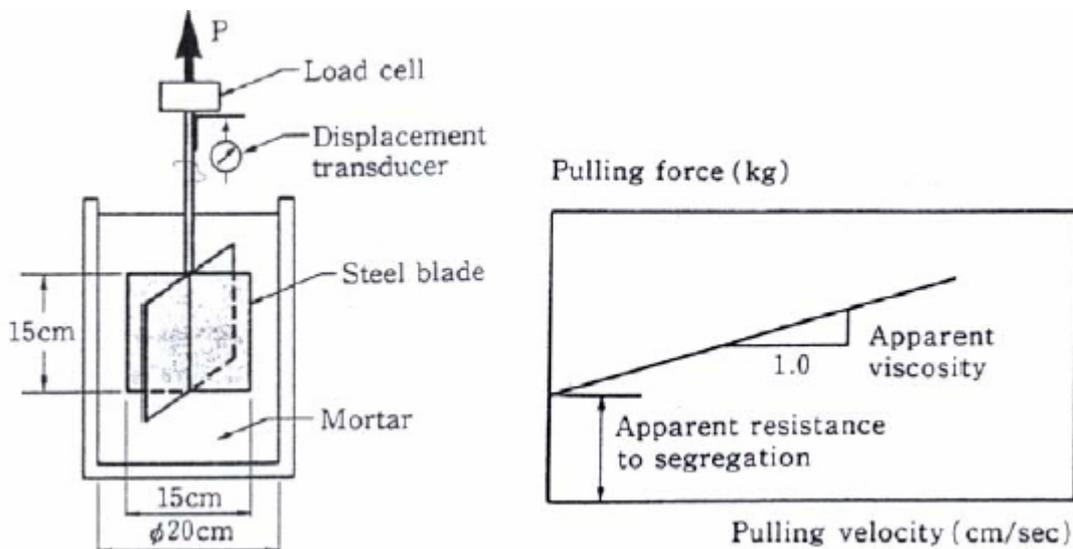


Figure I.14.a: Essai d'extraction d'une palette métallique [34]

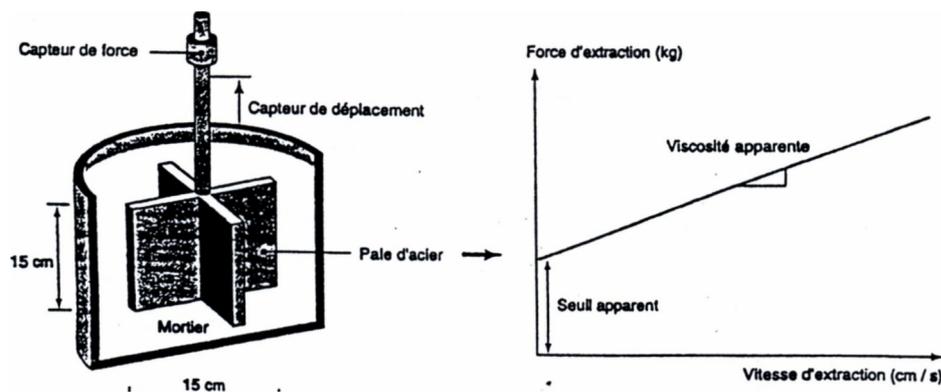


Figure I.14.b: Montage pour mesurer la résistance à la ségrégation d'un mortier. « Pulling Test » [2]

Cet essai ne peut pas être utilisé sur chantier puisqu'il ne permet pas de tester des bétons et qu'un appareillage spécifique est nécessaire. Il présente cependant l'intérêt de fournir une mesure physique de la résistance à la ségrégation ce qui n'est pas le cas des autres essais

I.B.2.10. Essai au tamis :

Cet essai est proposé dans les Recommandations Provisoires de l'AFGC [25] (figure I.15). Un échantillon de 10 l de béton est mis au repos pendant 15 min. Il s'agit ensuite de déverser 4,8 kg (tolérance $\pm 0,2$ kg) de l'échantillon sur un tamis.

Après 2 min d'attente, le pourcentage de laitance qui est passée au travers du tamis est calculé selon l'expression :

$$\pi = \frac{P_{\text{laitance}} \cdot 100}{P_{\text{échantillon}}} \quad (\text{I.5})$$



Figure I.15 : Essai au tamis

Le critère de stabilité de cet essai est :

* $0 \leq \pi \leq 15\%$, alors la stabilité est satisfaisante

* $15 < \pi \leq 30\%$, la stabilité est critique

* $\pi > 30\%$, la stabilité est très mauvaise.

Lorsque $0 \leq \pi \leq 5\%$, la résistance à la ségrégation est dite « trop importante ». La pâte ou le mortier est trop visqueux pour s'écouler à travers le tamis. Cela peut conduire à une qualité de parements assez mauvaise [35].

Ces trois essais (cylindre, colonne et tamis) ont été comparés dans le cadre du projet européen [35]. Il s'agissait dans un premier temps de vérifier la reproductibilité de l'essai. Le programme expérimental a donc été mené en parallèle dans trois laboratoires. Une formule de référence stable a été comparée à quatre autres formules pour lesquelles le dosage en eau ou en superplastifiant a été augmenté afin de provoquer une ségrégation. Il apparaît que la reproductibilité même du béton pose problème (influence du type de malaxeur, du mode opératoire de fabrication et de la température du béton). La quantité d'eau a donc parfois été ajustée pour atteindre l'étalement visé (705 ± 25 mm dans le cas de la formule de référence). La conclusion de cette étude [35] est que les trois essais sont sensibles aux variations de dosage en superplastifiant ou en eau. Par ailleurs, l'influence du mode opératoire de l'essai au tamis a été étudiée.

Deux modes de mise en œuvre sont utilisés (remplissage manuel et remplissage automatique) ainsi que trois vitesses de remplissage. Les résultats indiquent que l'essai ne dépend ni du mode, ni de la vitesse de remplissage [35].

I.B.2.11. Méthode de Sidky, Legrand et Barrioulet (1981) :

Un récipient en PVC de 425 mm de haut et de 187 mm de diamètre intérieur (Figure I.16) est rempli de béton puis vibré. On sépare ensuite le béton 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. Si 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,

Si > 1 indique un enrichissement en granulats

et Si < 1 , un , un appauvrissement en granulats.

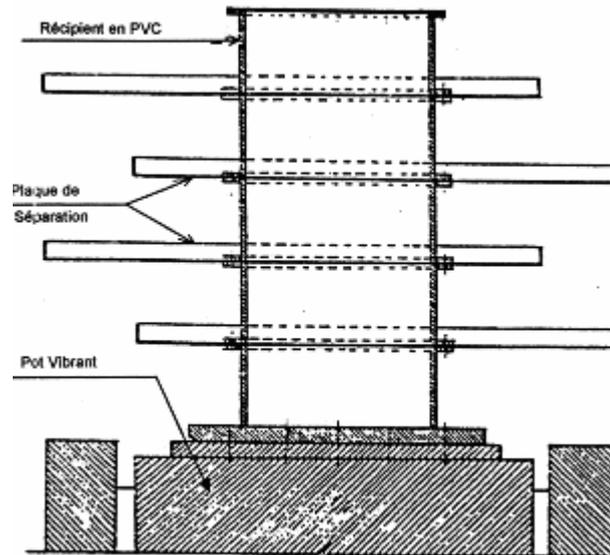


Figure I.16 : Appareillage Expérimental [36]

I.B.2.12. Méthode japonaise du cylindre (Umehara et coll., 1994)

Le béton frais est mis en place dans un cylindre de 500 mm de haut par 200 mm de diamètre (Figure I.17). Cet échantillon est ensuite vibré à l'aide d'une table vibrante. Après avoir laissé reposer le béton pendant une heure, on en prélève 10 cm de chaque extrémité du cylindre. La conception spéciale l'éprouvette permet de faciliter cette opération. Le béton est lavé, afin de séparer les granulats du mortier. Les granulats sont ensuite séchés, puis pesés. La résistance à la ségrégation du béton est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$F = H / B$$

Où :

H : la masse de granulats secs de la section supérieure,

B : la masse de granulats secs de la section inférieure.

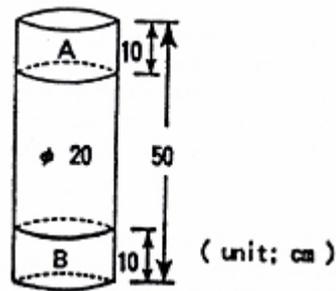


Figure I.17 : Cylindre d'échantillonnage pour la détermination de la résistance à la ségrégation. [36]

D'après Umehara et coll. (cités par 36]), un béton ayant une bonne résistance à la ségrégation présentera un coefficient de résistance à la ségrégation supérieur à 95 %. Des essais sur un viscosimètre ont permis d'établir une corrélation entre la résistance à la ségrégation et la viscosité de la pâte de ciment. La viscosité devrait être 1.8 Pa.s.

I.B.2.13. Proposition d'une procédure d'essai de mesure de l'indice de ségrégation

La méthodologie proposée par BENSEBTI .S.E [10] et utilisée pour l'étude des différents mélanges 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 minimes.

Les différentes étapes de l'essai proposé sont présentées dans ce qui suit et sont illustrées par la figure (I.18).

- Le moule utilisé est un cylindre de dimension 110 x 400 mm,
- Le béton est coulé dans le moule en une seule opération, puis 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 sur la masse totale de la partie considérée,
- Les teneurs en granulats de chaque partie ($G_{supérieure}$, G_{milieu} et $G_{inférieure}$) sont calculées : 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 :

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

Avec:

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



Figure I.18 :Les différentes étapes de l'essai de mesure de l'indice de ségrégation statique

I.B.2.14. Les méthodes de mesure sur béton durci

a) Méthode des ultrasons [36]

Il est possible de déterminer, à l'aide des ultrasons, la variation de la densité du béton selon la hauteur. En effet, le mortier et les granulats ne transmettent pas le son à la même vitesse, du moins dans les premiers jours du béton. A titre indicatif, le mortier d'un béton de un (01) jour permet une vitesse de son d'environ 3,2 km/s, alors qu'à 5-7 jours, cette vitesse est de 4,2 km/s. Dans les granulats, le son voyage habituellement à environ 5 km/s. ces différences peuvent donc servir à évaluer la quantité de granulats en fonction de la hauteur. La procédure expérimentale consiste à confectionner trois éprouvettes normalisées (15x30 cm) et, selon la consistance du béton, à vibrer la première pendant un laps de temps déterminé **t**, une deuxième à un temps **t + 2 minutes** et la dernière à un temps **t + 5 minutes**. On teste ensuite le béton à un jour au plus tôt et à 7 jours au plus tard. L'émetteur et le récepteur d'ultrasons devront avoir avec le béton une plus petite surface de contact possible, afin de bien épouser la forme arrondie de l'éprouvette. La fréquence utilisée est habituellement de 50 hertz. Les essais se font à tous les 2 à 4 cm.

b) Méthode du comptage des granulats

Cette méthode consiste à compter la répartition des granulats d'une certaine dimension en fonction de la hauteur d'un échantillon de béton durci scié longitudinalement. Cette méthode est fastidieuse, mais c'est la plus précise : Cette méthode est très utile pour vérifier la validité d'un autre essai visant à déterminer plus rapidement la résistance à la ségrégation d'un béton. Une façon plus rapide de compter les granulats a été mise au point par Khayat. Un logiciel d'analyse d'images permet, en effet, de réaliser le comptage des granulats. Il faut cependant, pouvoir bien distinguer les granulats du mortier qui l'entoure ; il faut que la différence soit assez marquée pour que le logiciel puisse mettre les granulats d'une couleur et le mortier, d'une autre.

c) Méthode des rayons gamma

Cette méthode consiste à mesurer l'uniformité de la distribution des gros granulats dans le mortier à l'aide des rayons gamma (d'après Popovics cité par [36]). En émettant des rayons gamma d'un côté de l'échantillon, il est possible de connaître la concentration en gros granulats selon l'intensité de rayonnement reçue de l'autre côté de l'échantillon. Il faut répéter cette opération en plusieurs endroits sur l'éprouvette de béton pour arriver à obtenir une bonne image de la résistance à la ségrégation d'un tel béton. Cette méthode peut également être utilisée sur des structures existantes.

I.B.2.15. Conclusion

Cette synthèse bibliographique montre que les méthodes proposées pour mesurer la ségrégation sont nombreuses et se présentent en deux groupes : le premier comprend les méthodes de mesure sur béton frais, alors que le second concerne les méthodes de mesure sur béton durci. La comparaison des indices choisis n'est pas aisée à cause de la reproductibilité des essais. D'où la nécessité de conduire une étude comparative de ces méthodes et indices sur les mêmes matériaux et dans les mêmes conditions.

Contribution à l'étude de la ségrégation statique
des bétons fluides

Chapitre - II -

CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX

II.1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter, les caractéristiques des matériaux utilisés pour la confection du béton. Le choix des matériaux s'est porté, sur leur disponibilité dans la région de Guelma. Les matériaux utilisés sont :

- ↗ Un sable de la carrière de SARL SAPAM de la carrière (Bendjerah Guelma)
- ↗ Deux types de gravier concassés : le gravier 5/15 et le gravier 15/25 de la carrière de SARL SAPAM (Bendjerah Guelma),
- ↗ Le ciment, CEM II-A (classe 42.5) de Hedjar Essoud (Skikda),
- ↗ Des fillers calcaires de la carrière ENG (Elkhroub),
- ↗ Un superplastifiant Medaflow 30 de Granitex,
- ↗ Et de l'eau au niveau du laboratoire LGCH Guelma.

II.1.1. Sable.

II.1.1.1. Caractéristiques physiques du sable utilisé.

Les caractéristiques du sable utilisée sont déterminées expérimentalement, au laboratoire de génie civil et d'hydraulique de l'université de Guelma, suivant les normes françaises [44] dont les résultats d'essais sont exposés dans le tableau suivant :

CARACTERISTIQUES		RESULTATS	NORMES
Masse spécifique « absolue » (g/cm ³)		2.53	NF EN 1097-6
Masse spécifique « apparente » (g/cm ³)		1.47	
Equivalent de sable	E.S.V (%)	84	NF EN 933-8
	E.S.P (%)	81	
Teneur en eau (%)		2.45	NF P 18-555

Tableau II- 1 : Caractéristiques physique du sable utilisé.

Remarque :

Les résultats des équivalents de sable (E.S.V > 80% et E.S.P >80%) indiquent que c'est un bon sable [45].

II.1.1.2. Module de finesse.

C'est un facteur très important, qui nous permet de juger la grosseur du sable [46]. Il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumulés des tamis de mailles : 0.16-0.315-0.63-1.25-2.5 et 5 (mm) sur 100 et calculé par la relation suivante :

$$M_f = \sum \frac{R_c}{100} \quad (\text{II-1})$$

Avec : Rc : refus cumulé sur tamis de module 23, 26, 29,32, 35, 38.

$M_f \geq 3.2$ Sable gros
 $1.8 \leq M_f < 3.2$ Sable moyen
 $M_f < 1.8$ Sable fin

Le résultat trouvé pour le sable utilisé est :

Sable	A
Module de finesse (moy)	2.56

Tableau II-2 : Module de finesse du sable [47]

REMARQUES

Si $M_f < 3.2$: le sable est alors considéré comme un bon sable moyen. Il s'agit d'un bon sable, qui convient aussi bien pour obtenir une ouvrabilité satisfaisante qu'une résistance.

II.1.2. Graviers.

II.1.2.1. Caractéristiques physiques.

Les résultats sont regroupés dans le tableau II-3 :

Caractéristiques	Gravier				Normes
	Echantillon 1		Echantillon 2		
	5/15	15/25	5/15	15/25	
Masse volumique absolue (g/cm^3)	2.631	2.70	2.72	2.70	NF EN 1097-3
Masse volumique apparente (g/cm^3)	1.582	-	1.582	-	
Teneur en eau du gravier (%)	0.164	0.1605	0.315	0.125	NF EN 1097-5

Tableau II- 3 : Caractéristiques physiques des graviers utilisés

II.1.2.2. Caractéristiques mécaniques.

Les graviers utilisés dans l'étude du béton, ont été soumis à deux essais mécaniques en laboratoire.

- Essai de résistance au choc (essai Los Angeles) : NF EN 1097-2 : méthodes pour la détermination de la résistance à la fragmentation [48].

La présente norme est utilisée pour la mesure de la résistance à la fragmentation par chocs des éléments d'un échantillon de gravier.

- Essai de résistance à l'usure (Essai Micro-DEVAL) : NF EN 1097-1: détermination de la résistance à l'usure (Micro-DEVAL) [49].

L'essai consiste à mesurer, la quantité d'éléments inférieurs à 1.6mm , en soumettant le matériau à l'usure de boulets normalisés dans la machine de Micro- DEVAL (MD).

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

CARACTERISTIQUES	Dénomination du gravier	
	5/15	15/25
Coefficient de Los Angeles	27.0	29.0
Coefficient Micro-DEVAL « MD »	19.0	20.0

Tableau II-4 : Caractéristiques mécaniques des graviers utilisés

Remarques

a)- Selon le mode opératoire défini par la norme NF EN 1097-2, pour le coefficient de Los Angeles, le seuil est fixé à 40%.

Pour les deux types du gravier $LA < 40$, nous pouvons conclure que les deux types du gravier sont utilisables pour le béton hydraulique.

b)- Selon la norme NF EN 1097-1, le seuil est fixé à 35%.

Si «*MD*» < 35% (ce qui est le cas pour notre gravier), il en résulte que le gravier est acceptable pour le béton.

II.1.2.3. Caractéristiques chimiques.

On a obtenu les résultats de l'analyse chimique du gravier de la SARL SAPAM. Ces résultats sont donnés par le tableau (TAB.II-5).

Désignation	% Insolubles	% carbonates	% gypses	Observations
5/15	09.10	88.62	-	Calcaires marneux
15/25	10.40	84.80	-	Calcaires marneux

Tableau II-5: Analyse chimique des graviers

II.1.3. Ciment.

Le ciment de base utilisé dans notre travail, est un ciment portland composé CEM II-A (CPJ) de classe 42.5, qui provient de la cimenterie de Hedjar Essoud (wilaya de SKIKDA).

II.1.3.1. Caractéristiques physiques.

Les différentes caractéristiques sont regroupées dans le tableau suivant :

Caractéristiques	Ciment CEM II-A (CPJ, classe 42.5)
Masse volumique absolue (g/cm ³)	3.1
Masse volumique apparente (g/cm ³)	1.12
Surface spécifique (cm ² /g)	3702

Tableau II-6: Caractéristiques physiques du ciment utilisé.

II.1.4. les fillers calcaires.

Nous avons utilisés les fillers calcaires de l'ENG El khroub, dont la composition chimique et les propriétés physiques sont regroupées dans les deux (02) tableaux suivants :

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaCO ₃ (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Perte au feu	pH
0.06	0.09	0.02	99	0.01	0.01	43.8	9

Tableau II-7 : Composition chimique des fillers calcaires ENG El khroub

Poids spécifique	Densité apparente	Blancheur	Prise d'huile	Humidité
2.7 kg/l	1.23	92%	18%	0.1%

Tableau II-8 : Propriétés physiques des fillers calcaires ENG El Khroub

II.1.5. Le superplastifiant

Le MEDAFLOW 30 est un superplastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération

Caractéristiques	MEDAFLOW 30
Forme	Liquide
Couleur.....	Jaunâtre
PH.....	6- 6.5
Densité.....	1.7 ± 0.01
Teneur en chlore.....	<1 g/l
Extrait sec.....	30%

Tableau II-9:Caractéristiques de MEDAFLOW 30

II.1.6. Eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée est l'eau disponible au niveau du laboratoire de génie civil et d'hydraulique de l'université de Guelma.

II.2. LES ESSAIS EFFECTUES.

II.2.1. Analyses granulométriques.

Dans nos travaux, on s'est proposé de réaliser sept compositions de bétons. Les analyses granulométriques sont effectuées au niveau du laboratoire de génie civil et hydraulique de Guelma.

II.2.1.1. Exemple d'analyse granulométrique.

La courbe granulométrique est déterminée par tamisage suivant la norme NF EN 933-1: détermination de la granularité. Analyse granulométrique par tamisage [50] [51].



Photo. II.1: La tamiseuse utilisée.

II.2.1.1.1. Essai sur le sable.

Deux échantillons pour chaque granulat ont été testés.

Echantillon 1 : $P_1=2000$ g.

Maille(mm)	Module	Poids (g) tamis	Poids après vibration (g)	Refus (g)	Rc(%)
5.00	38	429.53	439.83	10.30	0.52
2.50	35	443.84	594.59	150.75	8.05
1.25	32	461.35	881.93	420.58	29.08
0.63	29	452.95	1014.88	561.93	57.18
0.315	26	464.17	947.42	483.25	81.34
0.16	23	441.79	684.65	242.86	93.48
0.08	20	410.27	529.96	119.69	99.47
fond	-	245.74	251.68	05.94	99.76

Tableau II-10: Analyse granulométrique du sable (Echantillon1).

Echantillon 2 : $P_2=2000$ g.

Maille(mm)	Poids (g) tamis	Poids après vibration (g)	Refus (g)	Rc(%)	moyRc(%)
5.00	429.53	442.08	12.55	0.63	0.57
2.50	443.84	607.65	163.81	8.82	08.44
1.25	461.35	879.80	418.45	29.74	29.41
0.63	452.95	1026.20	573.25	58.40	57.79
0.315	464.17	941.36	477.19	82.26	81.80
0.16	441.79	673.16	231.37	93.83	93.66
0.08	410.27	523.19	112.92	99.48	99.47
fond	245.74	250.30	06.56	99.80	99.78

Tableau II-11. Analyse granulométrique du sable (Echantillon2).

II.2.1.1.2. Essai sur le Gravier.

↳ Gravier 5/15.

Echantillon 1 : $P_1=5001.32$ g.

Maille	Poids (g)	Poids après vibration (g)	Refus (g)	Rc (%)
20 mm	451.68	3092.24	Rc.56	52.80
514 mm	436.00	2476.08	2040.08	93.59
10 mm	459.93	618.19	158.26	96.75
8 mm	444.13	540.57	96.44	98.68
6.30 mm	432.28	481.93	49.65	99.67
5.00 mm	429.26	437.24	7.98	99.83
2 mm	410.71	411.80	1.09	99.85
Fond	245.81	249.44	3.63	99.92

Tableau II-12. Analyse granulométrique du gravier 5/15 (Echantillon 1).

Echantillon 2 : $P_1=5001.60$ g.

Maille	Poids (g) tamis	Poids après vibration (g)	Refus (g)	Rc (%)
20 mm	451.68	2450.34	1998.66	39.96
14 mm	436.00	2591.49	2155.49	83.05
10 mm	459.93	909.48	449.55	92.03
8 mm	444.13	728.75	284.62	97.74
6.3 mm	432.28	512.96	80.68	99.35
5.0 mm	429.26	447.05	17.79	99.70
2 mm	410.71	413.24	2.53	99.75
Fond	245.81	256.00	10.19	99.96

Tableau II-13. Analyse granulométrique du gravier 5/15 (Echantillon 2).

↳ **Gravier 15/25.**

Echantillon 1 : $P_1=5007.45$ g.

Maille	Poids (g) tamis	Poids après vibration (g)	Refus (g)	Rc (%)
37.5 mm	442.41	-	-	-
28 mm	434.73	2442.08	2007.35	40.09
20 mm	451.68	2585.53	2133.85	82.70
14 mm	436.04	1155.50	719.46	97.07
10 mm	459.94	567.90	107.96	99.22
Fond	245.42	282.87	37.45	99.97

Tableau II-14. Analyse granulométrique du gravier 15/25 (Echantillon 1).

Echantillon 2. $P_1=5000.64$ g.

Maille	Poids (g) tamis	Poids après vibration (g)	Refus (g)	Rc (%)
37.5 mm	442.41	-	-	-
28 mm	434.73	2234.59	1799.86	35.99
20 mm	451.68	2568.88	2117.20	78.33
14 mm	436.04	1223.50	787.46	94.08
10 mm	459.94	614.30	154.36	97.16
Fond	245.42	386.35	140.93	99.98

Tableau II-15. Analyse granulométrique du gravier 15/25 (Echantillon 2).

II.2.1.1.3. Essai d'humidité.

Les essais d'humidité ont pour but de déterminer la quantité d'eau comprise dans les granulats et d'en tenir compte dans la quantité d'eau nécessaire à nos bétons.

Préparation de l'échantillon : le poids de l'échantillon est déterminé selon le tableau ci-dessous.

Grosseur minimale des grains (mm)	Poids (kg)
à 10	0.5 au moins
à 20	1 au moins
à 40	1.5 au moins
à 70	5 au moins

Tableau II-16. Poids de l'échantillon en fonction de la grosseur des graviers

Mode opératoire:

Remplir le vase avec les gravillons, peser et sécher jusqu'au poids constant. L'humidité est obtenue, à 0.1 % près, par la formule suivante :

$$W = [(g' - g) / g] 100 \% \quad (II-2)$$

où :

g' : poids en état humide (en grammes).

g : poids en état sec (en grammes).

La valeur adoptée sera la moyenne arithmétique résultant de deux prises d'échantillon différentes [52].

Poids Granulats	Avant séchage (g)	1 ^{ère} pesée (g)	2 ^{ème} pesée (g)	3 ^{ème} pesée (g)
Gravier 5/15 (1)	2008.70	2006.43	2005.84	2005.46
Gravier 5/15 (2)	2008.42	2006.00	2005.49	2005.05
Gravier 15/25 (1)	2010.06	2007.79	207.40	2007.16
Gravier 15/25 (2)	2010.71	2008.27	2007.38	2007.14
Sable (1)	2005.28	1964.64	1964.09	1964.02
Sable (2)	2005.02	1948.40	1947.93	1947.55

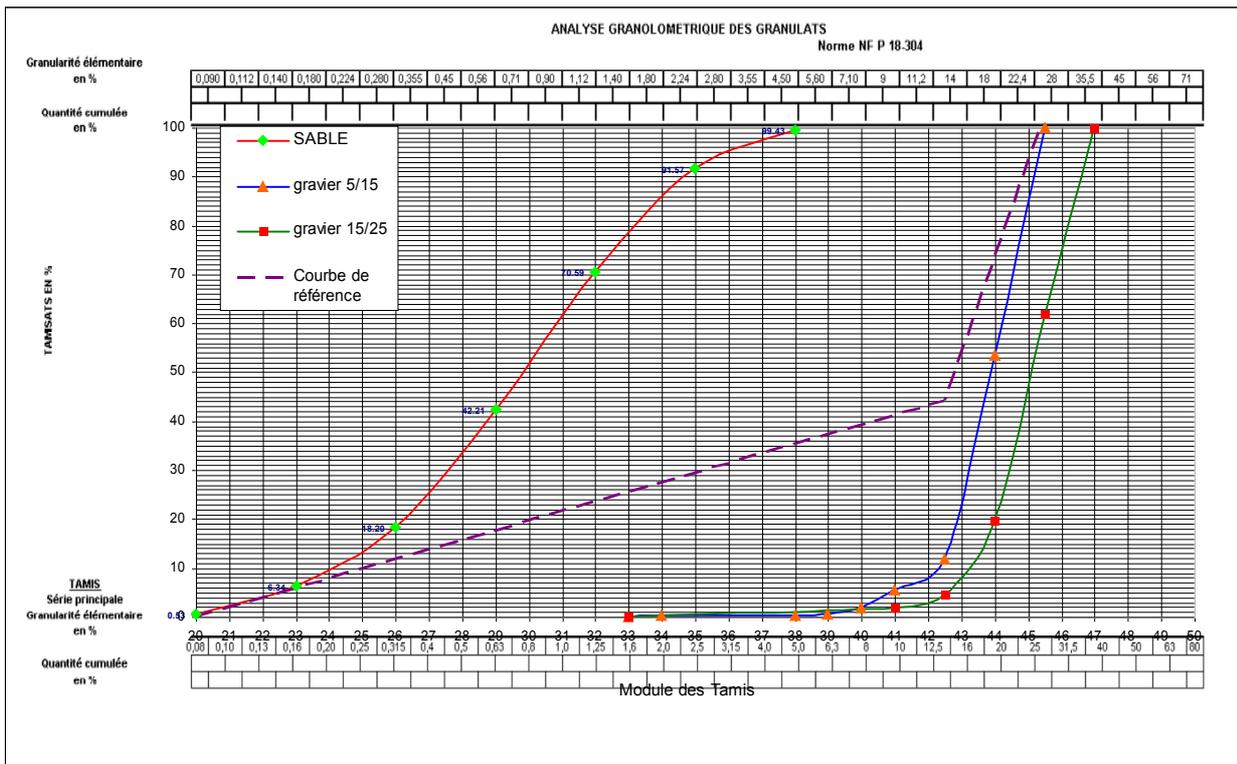
Tableau II-17. Essai d'humidité

Pourcentage en eau ; (valable pour tous les types de béton).

Gravier 5/15 = 0.164 %

Gravier 15/25 = 0.1605%

Sable = 2.45 %.



II.3. Les moules utilisés.

Pour la détermination de la résistance à la ségrégation et de l'indice de ségrégation, nous avons utilisés douze (12) moules, chaque moule comporte deux(02) collets et un(01) support.

- Trois (03) moules cylindriques ($\text{Ø}=200\text{mm}$, $H=500\text{mm}$) désignées par : **C200**
- Trois (03) moules prismatiques ($a=177\text{mm}$, $H=500\text{mm}$) qui ont la même section et le même volume que les C200, désignées par : **P200**
- Trois (03) moules cylindriques ($\text{Ø}=110\text{mm}$, $H=400\text{mm}$) désignées par : **C110**
- Trois (03) moules prismatiques ($a=97\text{mm}$, $H=400\text{mm}$) qui ont la même section et le même volume que les C110, désignées par : **P110**

Désignation	Diamètre (Coté) (mm)	Hauteur (mm)	Section (m ²)	Volume (m ³)
C200	200	500	0.031	0.0157
P200	177	500	0.031	0.01566
C110	110	400	0.0095	0.0038
P110	97	400	0.0094	0.00376

Tableau II-18: Dimensions des moules utilisées



Moule cylindrique 200



Moules prismatiques 200



Moule cylindrique



Moules prismatiques 110

Photos. II.2: Les moules utilisés

Contribution à l'étude de la ségrégation statique
des bétons fluides

Chapitre - III -

METHODOLOGIE EXPERIMENTALE

III.1.Introduction :

Dans ce chapitre, nous commençons par la caractérisation des matériaux utilisés au cours des travaux expérimentaux. En particulier, la composition, la cure appliquée et les propriétés mécaniques sont rapportées, en suite, nous exposons le dispositif expérimental utilisé. En expliquant le principe de détermination de la résistance à la ségrégation et l'indice de ségrégation.

III.2. Matériaux utilisés et formulation des bétons

La formulation des bétons consiste, d'une certaine façon, à la caractérisation des constituants du béton à fin d'éclairer leur choix car les performances du béton sont en relation avec le choix et les proportions de ces constituants.

III.2.1. Composition des bétons

En se référant aux essais effectués dans le laboratoire –L.G.C.H- de Guelma (§ chapitre. II) dont les quels la méthode de Dreux Gorisse [51] a été choisie pour la formulation des bétons, le Tableau (III-1) présente les compositions des bétons.

Tableau III-1. Compositions des bétons utilisés

Composition (kg)	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
Gravier 15/25	232	286.5	286.5	286.5	275.42	508.7	
Gravier 5/15	928	875.7	875.7	875.7	899.74	524.57	835.6
Ciment	440	350	350	350	350	350	350
Sable	500	601.3	601.3	601.3	617.31	539.39	879.7
Eau	186	157.5	175	192.5	212.12	221.51	175.5
Fillers Calcaires							150
Superplastifiant							10
S/S+G	0.3	0.341	0.341	0.341	0.34	0.34	0.51
E/C, E/(C+F)	0.42	0.45	0.50	0.55	0.60	0.63	0.50 (0.35)

Remarque:

- Les bétons B2, B3 et B4 présentent la même composition avec comme seule différence la quantité d'eau.

Le ciment utilisé est un ciment portland (CEM II-A 42,5) de Hedjar Essoud, Skikda.

- Les graviers employés sont des graviers concassés : 5/15 et 15/25 de la carrière Bendjerah, Guelma, voir photo III-1
- Le sable est celui de la carrière Bendjerah, Guelma
- Préparation de l'échantillon et mode opératoire (§ Chapitre. II).



Photo III-1. Le gravier concassé utilisé

III.2.2. Confection des éprouvettes

Les constituants du béton ont été introduits dans le malaxeur par ordre décroissant de granulométrie et ont été mélangés à sec pendant 30 secondes. L'eau a été ensuite introduite pendant 1 minute et le malaxage poursuivi durant 3 minutes.

La mise en place du béton a été réalisée conformément aux normes européennes [54].

- Essai pour béton frais EN-12350.
- Essai pour béton durci EN-12390.

Partie 1 ; Forme, dimension et autre exigences relative aux éprouvettes et aux moules.

Partie 2 ; confection et conservation des éprouvettes pour essais de résistance.

Partie 3 ; résistance a la compression des éprouvettes.

Les éprouvettes de dimensions 16 x 32mm, ont été coulées dans des moules, (photo III-2) leurs dimensions, leurs tolérances de forme, etc., sont conformes aux normes EN 12390-1. (Fig. III-1).

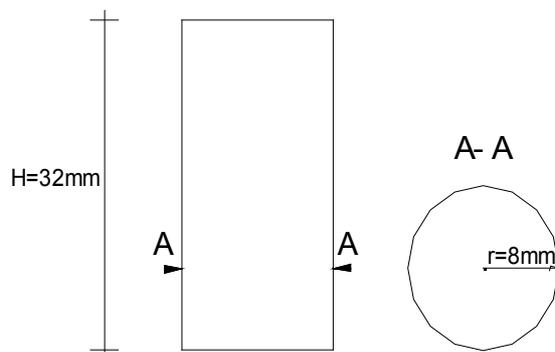


Figure III.1. Géométrie de l'éprouvette [55].



Photo III-2. Les moules utilisés pour les éprouvettes

III.2.3. Cure appliquée.

Toutes les éprouvettes utilisées dans ce travail ont suivi la même cure et le même conditionnement conformément aux normes EN-12350 et EN-12390.

Après coulage, les éprouvettes ont été conservées pendant 24 heures au laboratoire L.G.C.H. à l'issue de ce temps de conservation initiale, elles ont été démoulées, puis plongées dans l'eau à la température du laboratoire pendant 28 jours. Ce type de conservation est le plus favorable vis-à-vis du processus d'hydratation du ciment.

Pour la préparation des éprouvettes, nous avons procédé de la façon suivante :

- 1- Huiler les moules.
 - 2- Vérifier le serrage des moules.
 - 3- Préparer un mélange homogène du béton (ciment sable et gravier), bien déterminé, avec un rapport E/C bien précis, puis poser le béton frais dans le récipient.
 - 4- Remplir les moules par le béton frais avec la pelle métallique.
 - 5- Vibrer le béton.
 - 6- Une fois le moule est rempli, araser la surface à l'aide d'un réglet.
 - 7- Découffrer le moule après 24 heures.
 - 9- Répéter la même opération pour les différentes compositions.
- Le malaxage est effectué dans une bétonnière (photo III-3) et le volume de la gâchée doit être compris entre la moitié et le tiers du volume total de la cuve.
 - Pour l'essai sur béton frais, on a utilisé la mesure de l'affaissement à l'aide du cône d'ABRAMS, (photo III-4), le béton utilisé pour cet essai, prélevé aussitôt le malaxage terminé, ne doit pas être utilisé pour la confection des éprouvettes.
 - Remplissage du moule : pour faciliter le démoulage, on a enduit les parois latérales d'une légère couche d'huile (la graisse et l'huile employées ne doivent pas être réactives au liant).
 - Introduire le béton dans les moules au moyen d'une truelle ou d'une pelle à coque cylindrique de dimension appropriée au volume des éprouvettes : accompagner l'introduction d'un mouvement de répartition.
 - Le démoulage s'effectue après 24 heures [52].

La même technique de confection des éprouvettes de béton a été suivie pour les différentes compositions testées.



Photo III-3. La bétonnière utilisée.



Photo III-4. Le cône d'Abrams.

III.2.4. Propriétés mécaniques

Le Tableau (III-2) présente les résistances en compression à l'âge de 28 jours (après la cure humide). Ce sont les valeurs moyennes, calculées sur trois éprouvettes à une échéance de mesure.

Tableau III-2. Résistance en compression des bétons

Propriété	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
Résistance (MPa)	29.73 ± 2.14	28.78 ± 2.10	28.17 ± 1,52	27.86 ± 1,87	27.38 ± 2.08	26.85 ± 1.50	32,12 ± 1.92

III.3. Procédures des essais.

III.3.1. Les essais d'écrasement.

La sollicitation mécanique appliquée est une compression uni axiale. Le mode de rupture du béton en compression simple en particulier la formation des fissures suite à l'extension transversale et la formation des cônes de frettage à la rupture, est présenté respectivement sur la Figure III.2 (a) et (b). La Figure III.2 (c) présente un mode de rupture dans un cas parfait sans frettage. Le phénomène de frettage peut être réduit par différentes solutions technologiques : surfaçage au soufre, boîte à sable...etc. dans notre cas on a interposé des cartons de 2 à 4 mm d'épaisseur destinés à atténué les irrégularités superficielles [52].

(a) Formation des fissures suite à l'extension transversale.

(b) Formation des cônes de frettage à la rupture.

(c) Rupture sans frettage.

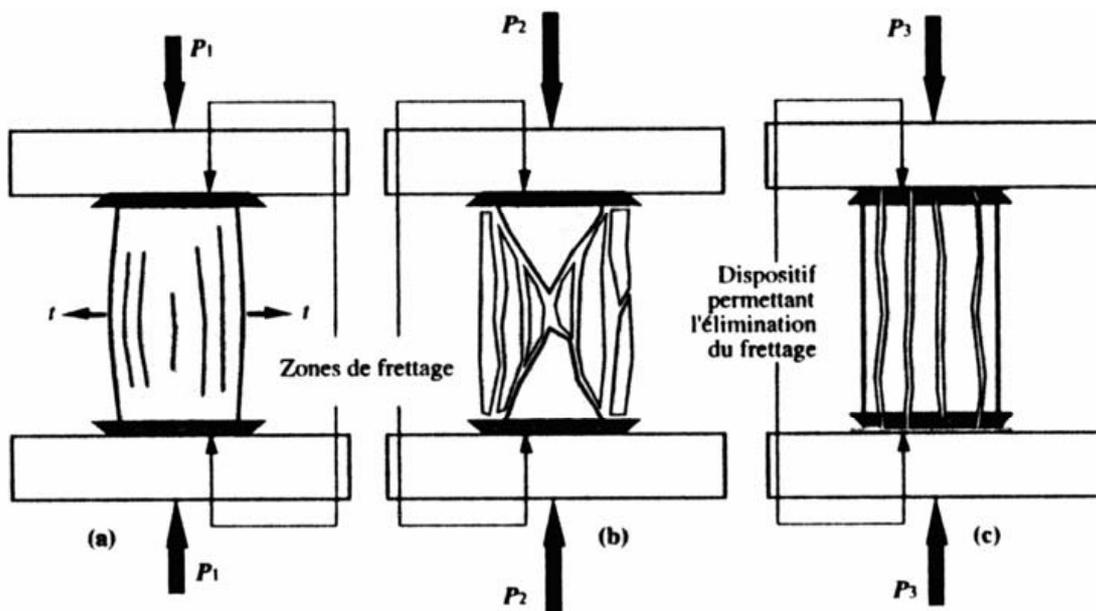


Figure III.2. Mode de rupture du béton en compression uni axiale [55]

III.3.1.1. Caractéristiques de la machine d'essai utilisée.

Dans le cas de nos essais, la compression uni axiale est appliquée à l'aide d'une presse hydraulique MODEL 50-C55G2/L de capacité 3000 kN (CONTROLS.) programmable. Elle est présentée sur la photo (III-5)- (a).

L'éprouvette en béton, placée préalablement entre les deux plateaux métalliques est positionnée entre les appuis de la presse, dont le plateau supérieur est monté sur rotule et le plateau inférieur est pourvu d'un repérage pour le centrage de l'éprouvette, Photo (III-5)- (b).

L'utilisation des joints en carton pour la diminution des frottements entre les plateaux métalliques et le béton, contribue à la réduction du fretage [52].

Pendant l'essai, l'éprouvette est chargée par paliers de déplacement axial du vérin. Celui-ci est mesuré à l'aide d'un appareil à microprocesseur pour la mesure et l'élaboration de charges appliquées (le DIGIMAX-PLUS, unité d'acquisition). La force exercée par la presse est mesurée à partir de la pression hydraulique du circuit par un capteur de force, relié également à ce même appareil.

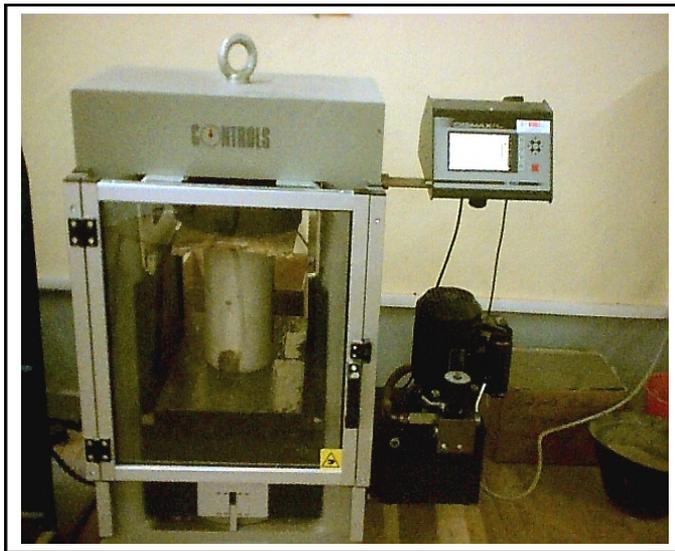


Photo III-5: (a) Presse hydraulique utilisée.

(a) Appuis de la presse : rotule (en haut) et appui pourvu d'un repérage pour le centrage de l'éprouvette (en bas).

III.3.2. Les essais d'étalement « Slump Flow » (détermination de la consistance au cône d'Abrams) :

C'est un essai dérivé de l'essai d'affaissement, sauf qu'au lieu de mesurer l'affaissement, on mesure cette fois-ci le diamètre moyen de la galette formé par le béton lors de l'étalement.

III.3.2.1. Matériel utilisé :

- Une plaque carrée d'au moins 90 centimètres de côté,
- Un cône d'Abrams,
- Une règle de 90 centimètres.

III.3.2.2. Mode opératoire :

- Placer la plaquette sur un support stable et horizontal, figure (III-3).
- Humidifier la surface de la plaque, et éliminer l'eau en excès avec un chiffon.
- Placer le cône d'Abrams au centre de la plaque, et le faire remplir avec le béton en versant de manière continue, jusqu'à la face supérieure du cône.
- Araser si nécessaire à l'aide d'une truelle et nettoyer la plaque si nécessaire avec un chiffon humide.
- Soulever le cône verticalement à l'aide des deux poignées,
- Une fois que le béton s'est étalé sur la table, mesurer le diamètre final sur deux côtés perpendiculaires.
- Noter le résultat des deux valeurs. Si les deux valeurs diffèrent de plus de 5 cm, l'essai doit être invalidé et reconduit.
- Le résultat final est la moyenne des deux valeurs obtenues. Soit :

$$SlumpFlow = \left(\frac{D_1 + D_2}{2} \right)$$

D

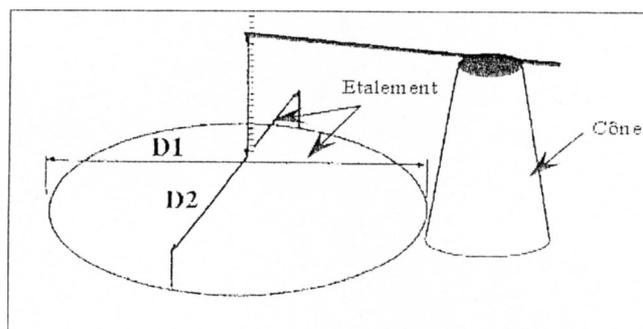


Figure III.3. : Représentation schématique de la mesure de l'affaissement et de l'étalement

En pratique, on vise habituellement un étalement compris entre 60 et 70 cm pour un béton autoplaçant..

Selon Nagataki et Fujiwara [23] pour un étalement supérieur à 700 mm, le béton risque de subir une ségrégation, et pour des étalements inférieurs à 500 mm, le béton risque de présenter une déformabilité insuffisante pour pouvoir passer à travers les zones fortement armées.

III.3.3. Affaissement au cône d'Abrams :

III.3.3.1. Matériel utilisé :

- Un cône d'Abrams.
- Une plaque carrée.
- Une tige d'acier.

III.3.3.2. Mode opératoire :

- Remplir de béton un moule en tôle tronconique.
- Le remplissage s'exécute en quatre couches.
- Chaque couche est tassée à raison de 25 coups.
- On soulève ensuite le moule avec précaution.
- On mesure l'affaissement.
- On classe le béton, Tableau (III-3).

Classe de consistance	Affaissement (cm)	Tolérance (cm)
Très ferme (T.F.)	0 à 4	± 1 cm
Ferme (F.)	5 à 9	± 2 cm
Plastique (P.)	10 à 15	± 3 cm
Très plastique (TP.)	≥ 16	± 3 cm

Tableau III-3. Appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône [32]

III.3.4. Détermination du risque de blocage à l'aide de la boîte en L :

Cet essai permet de tester la mobilité du mélange frais en milieu confiné et de vérifier que la mise en place du béton ne sera pas contrariée par des phénomènes de blocage inacceptables tel que la présence d'armatures par exemple, figure III-4.

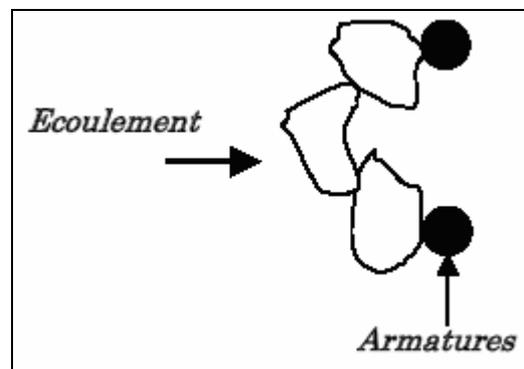


Figure III.4. Blocage des granulats par la présence d'armatures.

III.3.4.1. Le dispositif d'essai :

Le dispositif d'essai est constitué d'une boîte en forme de L.

La partie verticale est séparée de la partie horizontale par une trappe.

Des armatures peuvent être intercalées avant la trappe.

L'AFGC [25] recommande l'utilisation de trois barres de 14 mm de diamètre, espacées de 39 mm.

III.3.4.2. Mode opératoire :

Son principe est le suivant :

- La partie verticale de la boîte est entièrement remplie de béton, figure III.5.

Après arasement, on laisse le béton reposer pendant une minute, puis on lève la trappe et on laisse le béton s'écouler dans la partie horizontale de la boîte à travers le ferrailage.

- Quand le béton ne s'écoule plus, on mesure les hauteurs H_1 et H_2 .

H_1 : la hauteur de béton de la partie verticale.

H_2 : la hauteur de béton de l'extrémité de la partie horizontale.

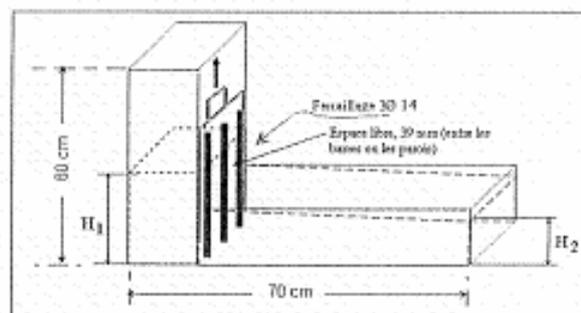


Figure III.5. Essai de la boîte en L.

On vise un rapport H_2/H_1 d'au moins 0.8 pour un béton autoplaçant.

III.3.5. Détermination de la vitesse d'écoulement à l'aide du V-Funnel [53]

III.3.5.1. Matériel utilisé :

- Un entonnoir dont les dimensions sont définies à la figure (III-6).
- Un chronomètre.

III.3.5.2. Mode opératoire

La procédure d'essai avec l'entonnoir est la suivante :

- S'assurer que le clapet de fermeture à la base de l'entonnoir est fermé.
- Remplir l'entonnoir en béton jusqu'en haut.
- Araser si nécessaire à l'aide d'une truelle.
- Ouvrir le clapet de fermeture, le béton va s'écouler.
- Mesurer le temps nécessaire jusqu'à ce que l'entonnoir se soit entièrement vidé.

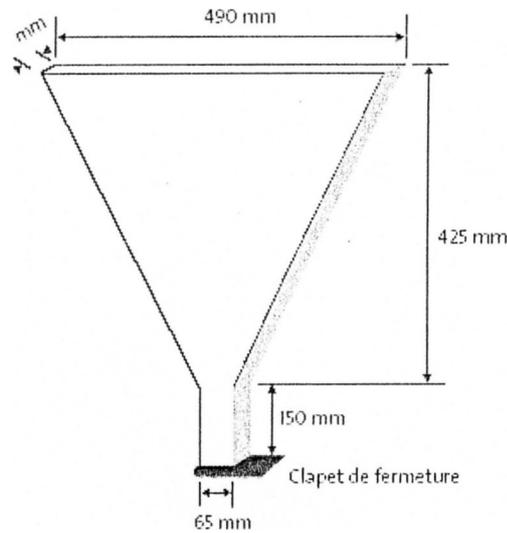


Figure III.6. Essai d'entonnoir.

Le temps d'écoulement au cône est souvent utilisé comme critère pour définir la viscosité du béton autoplaçant. Un temps d'écoulement compris entre 8 et 14 secondes est recommandé pour le béton autoplaçant.

III.3.6. Détermination de la résistance à la ségrégation par l'évaluation de la stabilité au tamis [53]

III.3.6.1. Matériel utilisé :

- Un sceau de 10 litres équipé d'un couvercle.
- Un tamis de 5 mm, ainsi qu'un fond.
- Une bascule de précision (pesée minimale 20 grammes).

III.3.6.2. Mode opératoire :

- Après le malaxage du béton, verser le béton dans le sceau. Le temps d'attente entre l'arrêt de malaxage et le prélèvement doit être inférieur à 30 secondes.
- Couvrir le sceau pour protéger le béton de la dessiccation, et attendre 15 minutes.
- Peser le fond et le tamis à vide.
- Peser le fond seul.
- Poser tamis fond sur la bascule, et faire la tare.
- Après 15 minutes, verser sur le tamis un poids de béton égal à 4,8 kg,
- Noter le poids réel de l'échantillon.
- Attendre 2 minutes, puis faire la tare.
- Peser le fond avec la laitance.

Nous avons :

- Calculer le pourcentage en poids de laitance par rapport au poids de l'échantillon :

$$\pi = \left(\frac{P_{\text{laitance}}}{P_{\text{échantillon}}} \right) 100$$

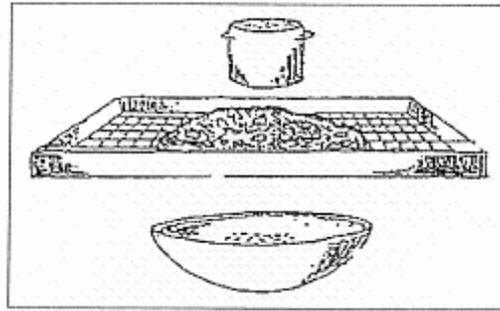


Figure III.7. Essai de la stabilité au tamis



Photo III-6. Essai de la stabilité au

En fonction du résultat trouvé, on classe les bétons comme suit :

% de laitance π	Classement de la formulation
$0 \leq \pi \leq 15$	Stabilité satisfaisante
$15 < \pi \leq 30$	Stabilité critique
$\pi > 30$	Stabilité très mauvaise (béton inutilisable)

Tableau III-4. Classement de la formulation selon le pourcentage π .

III.3.7. Autres méthodes de caractérisation de la ségrégation

III.3.7.1. Méthode japonaise du cylindre [43]

Les différentes étapes de l'essai sont présentées dans ce qui suit et sont illustrées par les photos (III.7).

- Le béton frais est mis en place dans un cylindre de 500 mm de haut par 200 mm de diamètre figure (III.8),
- Cet échantillon est ensuite vibré à l'aide d'une table vibrante,
- Laissé reposer le béton pendant une heure,
- On en prélève 10 cm de Chaque extrémité du cylindre,
- La conception spéciale de l'éprouvette permet de faciliter cette opération,
- Le béton prélevé est lavé, afin de séparer les granulats du mortier,
- Les granulats sont ensuite séchés, puis pesés,
- La résistance à la ségrégation du béton est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$F = (H / B)$$

Où : H : la masse de granulats secs de la section supérieure,
B : la masse de granulats secs de la section inférieure.

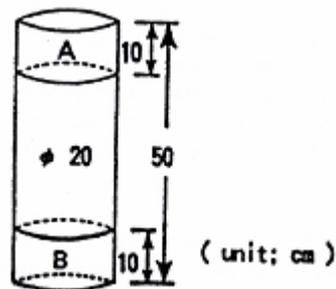
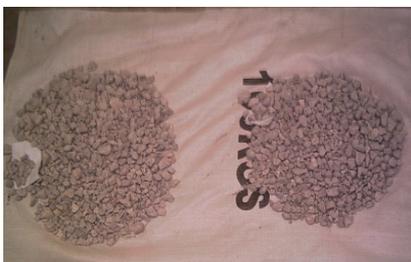


Figure III.8. : Cylindre d'échantillonnage pour la détermination de la résistance à la ségrégation

D'après Umehara et coll. (cités par [43]), un béton ayant une bonne résistance à la ségrégation présentera un coefficient de résistance à la ségrégation supérieur à 95 %.



Photos (III.7).Les différentes étapes de l'essai de mesure de la résistance à la ségrégation.

III.3.7.2. Procédure d'essai de mesure de l'indice de ségrégation après prise [10]:

La méthodologie proposée et utilisée pour l'étude des différents mélanges 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 minimes.

Les différentes étapes de l'essai proposé sont présentées dans ce qui suit et sont illustrées par les photos (III.8).

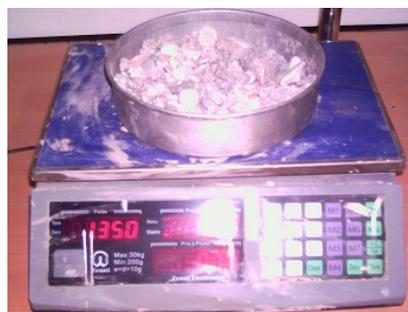
- Le moule utilisé est un cylindre de dimension 110 x 400 mm,
- Le béton est coulé dans le moule en une seule opération,
- Le temps d'attente est proche du temps de fin de prise,
- Le moule est séparé en trois parties plus ou moins égales (partie supérieure, partie du milieu et partie inférieure),
- Pesage puis lavage, du béton pour chaque partie,
- 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 calculées,
- 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 :

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

avec :

G_{inf} : Teneur en gros granulats dans la partie inférieure,

G_{sup} : Teneur en gros granulats dans la partie supérieure.



Photos (III.8). Les différentes étapes de l'essai de mesure de l'indice de ségrégation statique

Conclusion :

Cette partie a été consacrée à la caractérisation de la fluidité des bétons fluides. Les frottements intergranulaires jouent un rôle prépondérant que ce soit lors de l'étalement ou vis-à-vis des paramètres intrinsèques du matériau. Ainsi d'expliquer le principe de détermination de la résistance à la ségrégation et l'indice de ségrégation.

La fluidité des bétons fluides est un de leurs atouts majeurs puisqu'il n'est plus nécessaire de les vibrer pour les mettre en œuvre. Cependant, si cette propriété est nécessaire, elle n'est pas suffisante pour qu'un béton soit considéré comme autoplaçant. La stabilité est également une caractéristique primordiale car l'homogénéité des propriétés de la structure finale en dépend.

Dans la littérature existe un nombre important de méthodes permettant de définir la composition d'un béton autoplaçant. Le nombre d'essais pour la caractérisation de la fluidité, de la capacité de remplissage et la ségrégabilité est presque égal au nombre d'équipes de recherche qui existent dans le monde. Chaque laboratoire a conçu son propre appareillage.

Contribution à l'étude de la ségrégation statique
des bétons fluides

Chapitre - IV -

SYNTHESE ET INTERPRETATION
DES RESULTATS

IV.1. Introduction

On présente dans ce chapitre les résultats obtenus lors des essais et leur interprétation pour en tirer des conclusions.

A partir des résultats des essais réalisés on essaye d'établir les relations qui peuvent exister entre les différentes propriétés étudiées à savoir :

la résistance à la ségrégation et le rapport (E/C), la résistance à la ségrégation - la forme et les dimensions des moules, la résistance à la ségrégation et la résistance, la vitesse d'écoulement, l'affaissement...

IV.2. Présentation et analyse des résultats expérimentaux

Les résultats obtenus concernent les propriétés suivantes : la résistance à la ségrégation, l'indice de ségrégation, la stabilité au tamis et la résistance à la compression.

L'ensemble des résultats présentés dans cette partie se rapporte aux essais réalisés sur douze moules de différentes formes et dimensions :

-Trois (03) moules cylindriques ($\varnothing=200\text{mm}$, $H=500\text{mm}$) désignés par : **C200**

-Trois (03) moules prismatiques ($a=177\text{mm}$, $H=500\text{mm}$) de section et volume équivalents aux **C200**, désignés par : **P200**

-Trois (03) moules cylindriques ($\varnothing=110\text{mm}$, $H=400\text{mm}$) désignés par : **C110**

-Trois (03) moules prismatiques ($a=97\text{mm}$, $H=400\text{mm}$) de section et volume équivalents aux **C110**, désignés par : **P110**

Désignation	Diamètre (Coté) (mm)	Hauteur (mm)	Section (m ²)	Volume (m ³)
C200	200	500	0.031	0.0157
P200	177	500	0.031	0.01566
C110	110	400	0.0095	0.0038
P110	97	400	0.0094	0.00376

Tableau IV-1 : Les dimensions des moules utilisés pour la ségrégation

Les résultats des essais de la résistance à la ségrégation et de l'indice de ségrégation pour les différents rapports (E/C) sont regroupés dans le tableau suivant :

N°	(E/C)	E/(C+F)	moules cylindriques			Moules prismatiques		
			200mm	110 mm		200 mm	110 mm	
			(H/B) (%)	(H/B) (%)	ISS (%)	(H/B) (%)	(H/B) (%)	ISS (%)
1	0.42	-	96.55	102.16	0.35	95.59	100.00	0.398
2	0.45	-	96.12	98.37	0.37	95.08	97.09	0.400
3	0.50	-	91.75	93.92	0.46	89.86	91.76	0.50
4	0.55	-	88.26	90.34	0.88	86.96	92.73	0.82
5	0.60	-	85.36	93.48	1.14	83.82	99.47	1.74
6	0.63	-	77.29	93.74	1.31	75.03	77.34	1.91
7	0.50	0.35	70.68	96.39	1.35	75.81	106.59	1.92

Tableau IV-2 : Résultats des essais de ségrégation

Le tableau (IV-3) comporte les résultats des essais : affaissement, l'étalement, la boîte en L, la vitesse d'écoulement, la résistance au tamis et la résistance à la compression.

N°	(E/C)	E/(C+F)	aff (cm)	Etal(cm)	b,en L	V (s)	tamis(%)	fc ₂₈ (Mpa)
1	0.42	-	5.90			80.0	0.06	29.73
2	0.45	-	6.15			53.0	0.07	28.78
3	0.50	-	7.55			40.0	0.08	28.17
4	0.55	-	10.50			29.0	0.10	27.86
5	0.60	-	13.10			9.5	0.42	27.38
6	0.63	-	16.40			6.7	0.63	26.85
7	0.50	0.35		74.50	0.80	23.0	10.57	31.12

Tableau IV-3: Résultats de essais sur béton frais

IV.3. Influence du rapport (E/C) :

IV.3.1. Influence du rapport (E/C) sur la résistance à la ségrégation (H/B) :

moule	E/C	E/(C+F)	H/B (%)
cylindrique 200 mm	0.42	-	96.55 ± 1.30
	0.45	-	96.12 ± 1.10
	0.50	-	91.75 ± 1.21
	0.55	-	88.26 ± 0.38
	0.60	-	85.36 ± 2.05
	0.63	-	77.29 ± 1.58
	0.50	0.35	70.68 ± 0.27

Tableau IV-4 : Influence du rapport E/C sur la résistance à la ségrégation des bétons (C200)

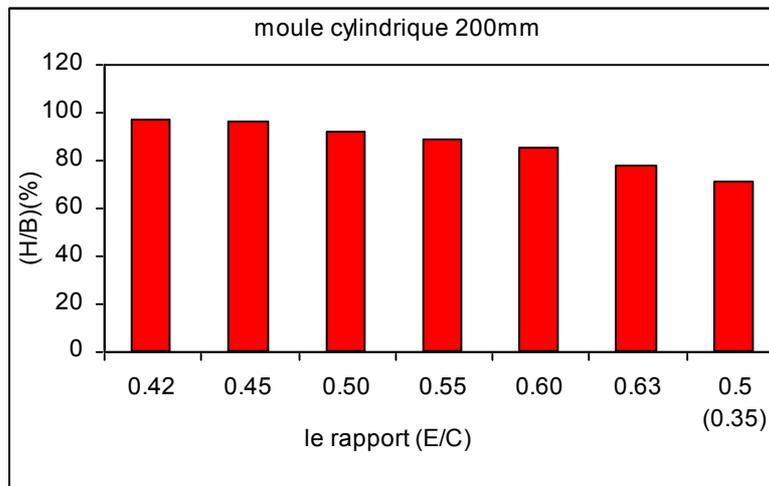


Fig.IV-1 : Influence du rapport E/C sur la résistance à la ségrégation H/B des bétons (C200)

moule	E/C	E/(C+F)	H/B (%)
prismatique 200 mm	0.42	-	(H/B) (%)
	0.45	-	95.59 ± 0.74
	0.50	-	95.08 ± 1.39
	0.55	-	89.86 ± 0.91
	0.60	-	86.96 ± 1.01
	0.63	-	83.82 ± 0.81
	0.50	0.35	75.03 ± 0.92

Tableau IV-5 : la résistance à la ségrégation des bétons (P200)

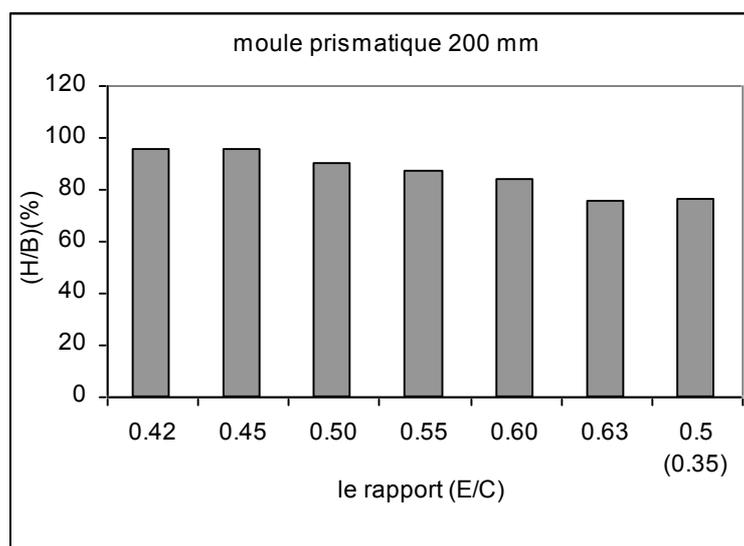


Fig.IV-2: Influence du rapport E/C sur la résistance à la ségrégation H/B des bétons (P200)

moûle	E/C	E/(C+F)	H/B (%)
cylindrique 110 mm	0.42	-	102.16 ± 2.45
	0.45	-	98.37 ± 1.93
	0.50	-	93.92 ± 1.51
	0.55	-	90.34 ± 1.44
	0.60	-	93.48 ± 1.11
	0.63	-	93.74 ± 0.99
	0.50	0.35	96.39 ± 1.33

Tableau IV-6 : la résistance à la ségrégation des bétons (C110)

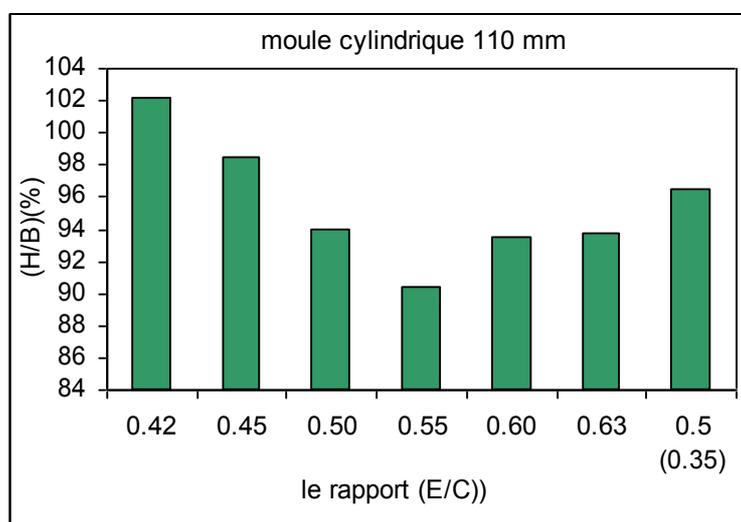


Fig.IV-3: Influence du rapport E/C sur la résistance à la ségrégation H/B moule cylindrique (C110)

moûle	E/C	E/(C+F)	H/B (%)
prismatique 110 mm	0.42	-	100 ± 2.14
	0.45	-	97.09 ± 1.08
	0.50	-	91.76 ± 1.25
	0.55	-	92.73 ± 1.08
	0.60	-	99.47 ± 1.31
	0.63	-	77.34 ± 0.99
	0.50	0.35	106.59 ± 2.06

Tableau IV-7: la résistance à la ségrégation des bétons P110

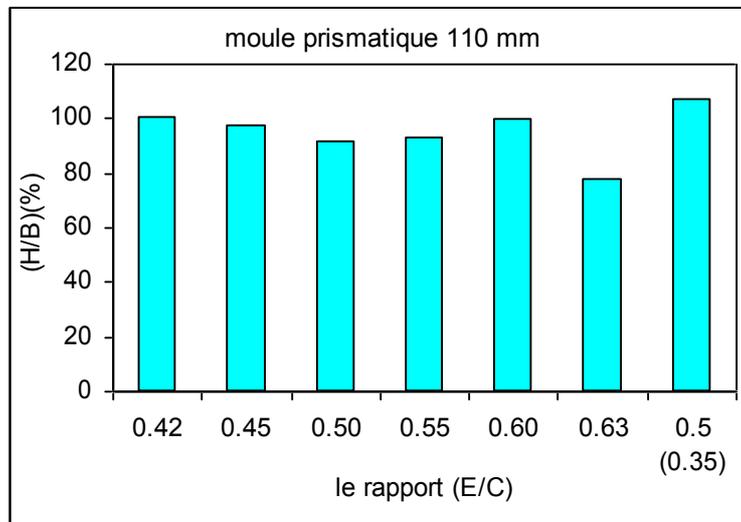


Fig.IV-4: Influence du rapport E/C sur la résistance à la ségrégation H/B moule prismatique (P110)

REMARQUES

Pour les moules C200 et P200, on observe que lorsque le rapport (E/C) croît (H/B) décroît la résistance à la ségrégation diminue fig. (IV-1) et fig. (IV-2), ce qui était prévisible. Les valeurs de (H/B) pour les deux types de moules sont très proches donc la forme du moule a un faible impact sur la résistance à la ségrégation (fig. IV-5). Les valeurs de (H/B) pour P200 sont légèrement inférieures que celles des moules C200. La ségrégation dans les moules C110 et P110 est moins importante que dans les moules C200 et P200 ce qui permet de déduire que les dimensions des moules ont une influence sur la caractérisation de la ségrégation (fig. IV-5) par sa résistance (H/B). L'ensemble des bétons, pour tous les moules, résistent à la ségrégation quant le rapport E/C ne dépasse pas 0.5.

E/C	Moules			
	C200	P200	C110	P110
0,42	96.55	95.59	102.16	100.00
0,45	96.12	95.08	98.37	97.09
0,50	91.75	89.86	93.92	91.76
0,55	88.26	86.96	90.34	92.73
0,60	85.36	83.82	93.48	99.47
0,63	77.29	75.03	93.74	77.34
0.50(0.35)	70.68	75.81	96.39	106.59

Tableau IV-8 : la résistance à la ségrégation H/B (%) des bétons

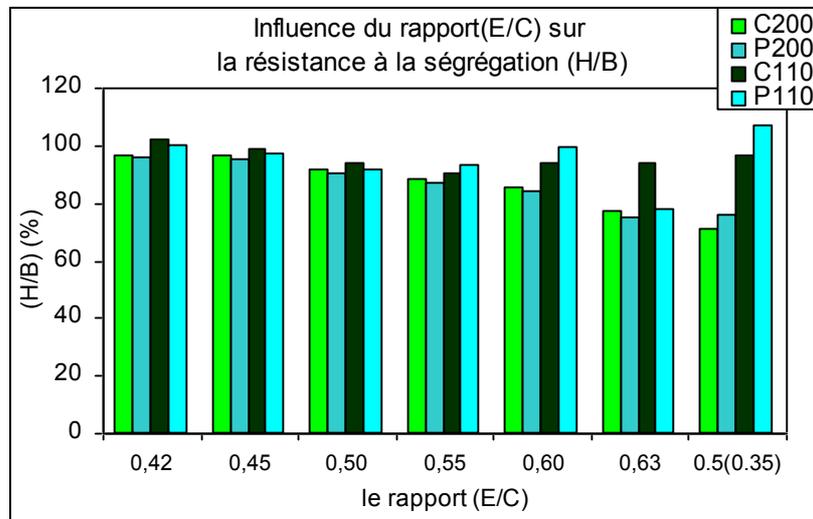


Fig.IV-5: Influence du rapport E/C sur la résistance à la ségrégation H/B

IV.3.2. Influence du rapport (E/C) sur l'indice de ségrégation (ISS) :

Pour les moules C110 et P110, on observe que lorsque le rapport E/C croît l'ISS croît par conséquent le risque de ségrégation augmente. Les valeurs de (ISS) sont très proches (fig. IV-6 et fig. IV-7), comme pour la résistance à la ségrégation la forme des moules (cylindrique ou prismatique) a un effet faible sur la valeur de cet indice. Les valeurs de l'ISS pour les moules P110 sont légèrement supérieures à celles des moules C110, les moules prismatiques favorisent plus la ségrégation que les moules cylindriques.

moule	E/C	E/(C+F)	ISS (%)
cylindrique 110 mm	0.42	-	0.35 ± 0.02
	0.45	-	0.37 ± 0.02
	0.50	-	0.46 ± 0.03
	0.55	-	0.88 ± 0.03
	0.60	-	1.14 ± 0.031
	0.63	-	1.31 ± 0.11
	0.50	0.35	1.35 ± 0.033

Tableau IV-9: L'indice de ségrégation des bétons (C110)

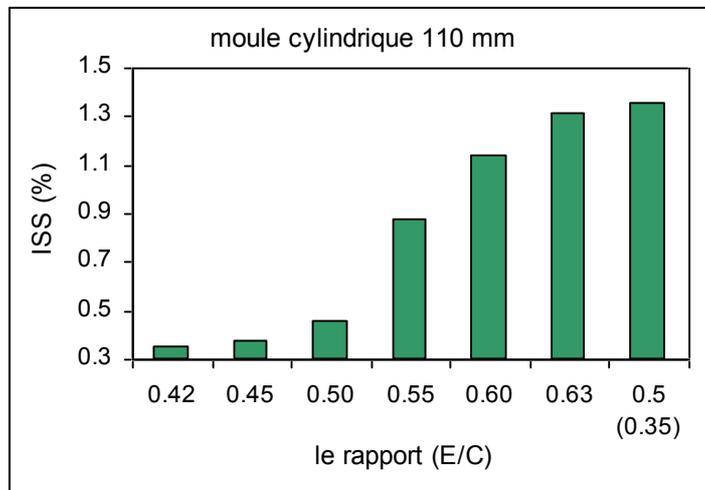


Fig.IV-6: Influence du rapport E/C sur l'indice de ségrégation ISS moule cylindrique (C110)

moule	E/C	E/(C+F)	ISS (%)
prismatique 110 mm	0.42	-	0.398 ± 0.033
	0.45	-	0.40 ± 0.029
	0.50	-	0.50 ± 0.036
	0.55	-	0.82 ± 0.048
	0.60	-	1.74 ± 0.010
	0.63	-	1.91 ± 0.114
	0.50	0.35	1.92 ± 0.123

Tableau IV-10: L'indice de Ségrégation des bétons (P110)

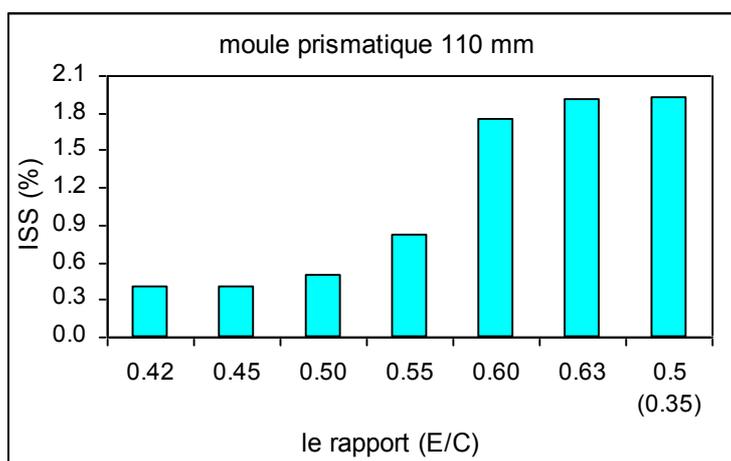


Fig.IV-7: Influence du rapport E/C sur l'indice de ségrégation ISS moule prismatique (P110)

IV.4. Influence de la forme du moule sur la résistance à la ségrégation (H/B) :

REMARQUES

Pour les moules C110 et P110, on remarque que les valeurs de (H/B) sont très proches et conduisent à la même conclusion c- à- d la forme du moule a un effet faible sur la résistance à la ségrégation, les valeurs de (H/B) décroît quand (E/C) est inférieur à 0.55, puis elles croît, Fig. (IV-8), on constate que, pour caractériser la ségrégation des bétons en utilisant les petits moules, il convient de procéder à la mesure de l'indice de ségrégation (ISS).

H/B (%)	Moules			
E/C E/(C+F)	C200	P200	C110	P110
0,42	96.55	95.59	102.16	100.00
0,45	96.12	95.08	98.37	97.09
0,50	91.75	89.86	93.92	91.76
0,55	88.26	86.96	90.34	92.73
0,60	85.36	83.82	93.48	99.47
0,63	77.29	75.03	93.74	77.34
0.50(0.35)	70.68	75.81	96.39	106.59

Tableau IV-11 : Résistances H/B des différents moules

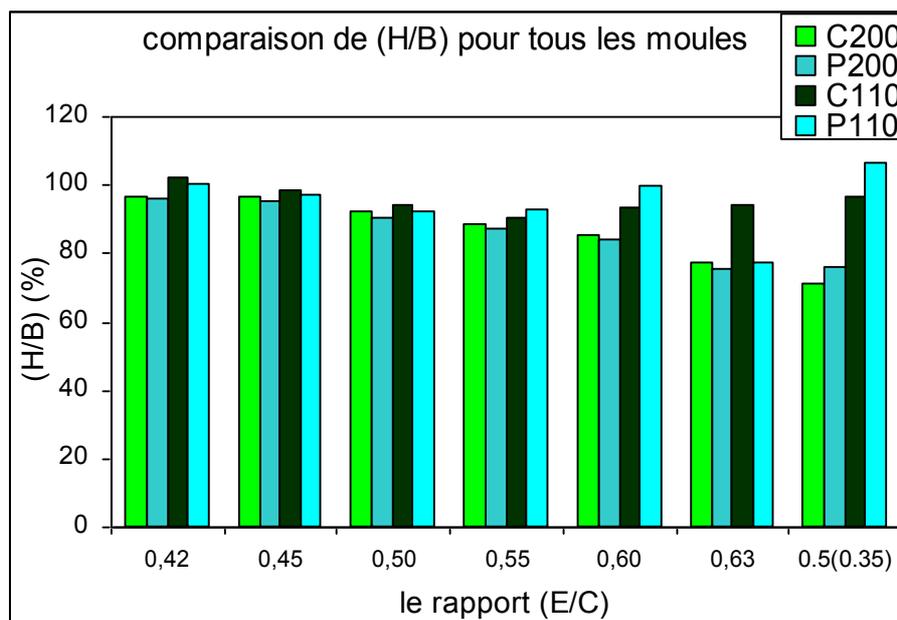


Fig.IV-8: Comparaison de (H/B) des différents moules Pour différents (E/C)

IV.5. Relation entre la résistance à la ségrégation (H/B) et l'indice de ségrégation (ISS) :

Les valeurs de (H/B) et (ISS) pour C110 et P110 donnent la même conclusion qui est la suivante : on peut appliquer la méthode japonaise du cylindre en utilisant ces moules pour les bétons fluides sauf les BAP, Tableau (IV-12) et Tableau (IV-13).

D'après ISS pour tous les moules le béton résiste à la ségrégation quant le (E/C) est inférieur à 0.50, ce qui confirme la conclusion faite sur la résistance à la ségrégation (la méthode japonaise du cylindre).

moûle	E/C E/(C+F)	H/B (%)	ISS (%)
cylindrique 110 mm	0.42	102.16	0.35
	0.45	98.37	0.37
	0.50	93.92	0.45
	0.55	90.34	0.87
	0.60	93.48	1.13.
	0.63	93.74	1.31
	0.50(0.35)	96.39	1.35.

Tableau IV-12: (H/B) et (ISS) moûle C110

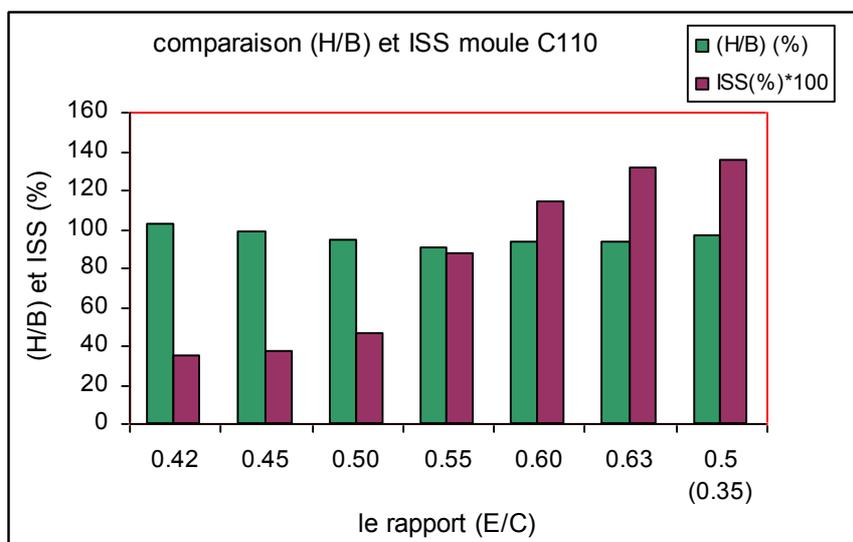


Fig.IV-9 : Relation (H/B) et (ISS) moûle C110

moûle	E/C E/(C+F)	H/B (%)	ISS (%)
prismatique 110 mm	0.42	100.00	0.39
	0.45	97.09	0.40
	0.50	91.76	0.501
	0.55	92.73	0.82
	0.60	99.47	1.74
	0.63	77.34	1.91
	0.50(0.35)	106.59	1.92

Tableau IV-13 :(H/B) et (ISS) moûle P110

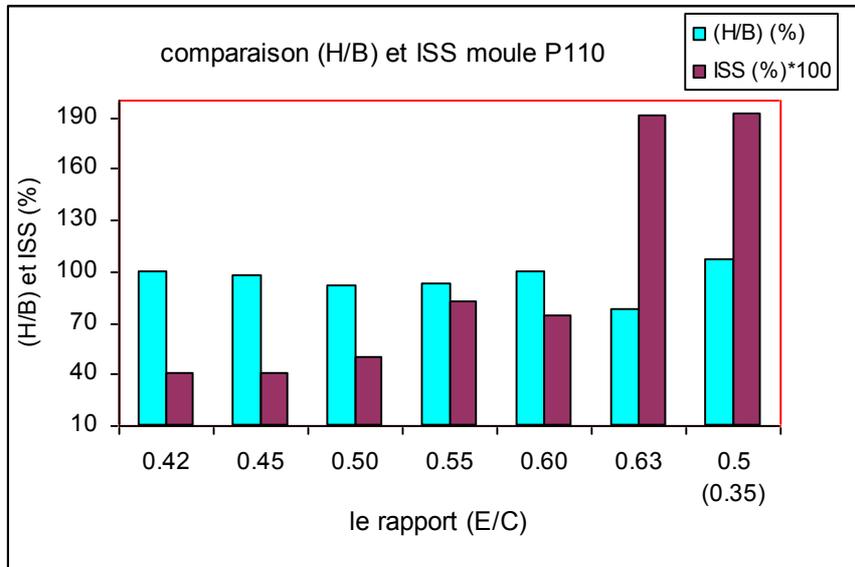


Fig.IV-10 : Relation (H/B) et (ISS) moule P110

IV.6. Relation entre la résistance à la ségrégation et stabilité au tamis :

La stabilité au tamis est satisfaisante pour tous les rapports (E/C), ($0 \leq \pi \leq 15\%$) selon AFGC, la résistance à la ségrégation croît quand la stabilité au tamis décroît, chose confirmée pour tous les moules Tableau (IV-14) et Tableau (IV-15), pour avoir un béton qui résiste bien à la ségrégation, il faut que π soit inférieure à 8 %.

D'après les courbes de tendance Fig. (IV-11), on remarque que les points sont proches pour les C200 et P200 mais il y'a une grande dispersion pour les C110 et P110 Fig. (IV-12), c-à-d qu'on ne peut pas se fier au seul essai de stabilité au tamis pour en déduire la résistance à la ségrégation.

Quand la stabilité au tamis croît l'indice de ségrégation croît, le risque de ségrégation augmente, pour avoir un béton qui à un ISS (0.3–0.4), il faut que π soit inférieure à 0.08%.

N°	E/C		C200	P200
	$E/(C+F)$	Tamis(%)	(H/B) (%)	(H/B) (%)
1	0.42	0.06	96.55	95.59
2	0.45	0.07	96.12	95.08
3	0.50	0.08	91.75	89.86
4	0.55	0.10	88.26	86.96
5	0.6	0.42	85.36	83.82
6	0.63	0.63	77.29	75.03
7	0.50(0.35)	10.57	70.68	75.81

Tableau IV-14: Stabilité au tamis – résistance à la ségrégation H/B (C200 et P200)

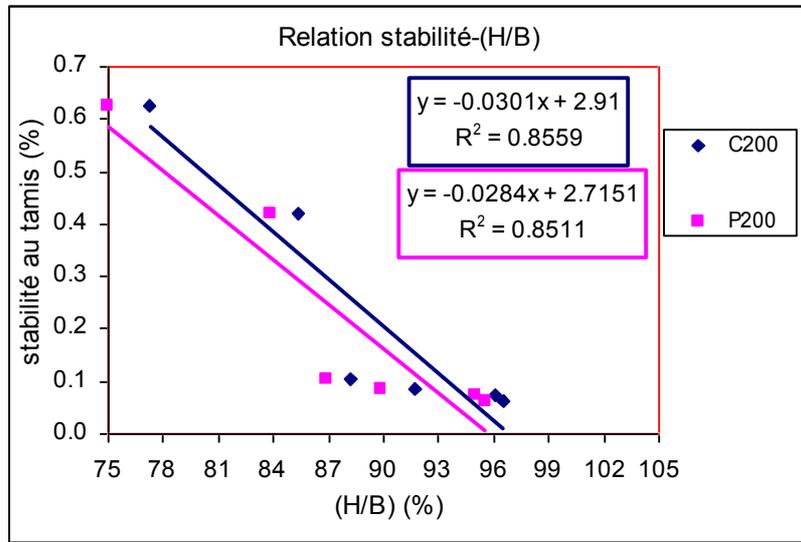


Fig.IV-11:Relation stabilité au tamis - (H/B) moules (C200 et P200)

N°	E/C E/(C+F)	Tamis (%)	C110	P110
			(H/B) (%)	(H/B) (%)
1	0.42	0.06	102.16	100.00
2	0.45	0.07	98.37	97.09
3	0.50	0.08	93.92	91.76
4	0.55	0.10	90.34	92.73
5	0.6	0.42	93.48	99.47
6	0.63	0.63	93.74	77.34
7	0.50(0.35)	10.57	96.39	106.59

Tableau IV-15 : Stabilité au tamis - (H/B) moules (C110 et P110)

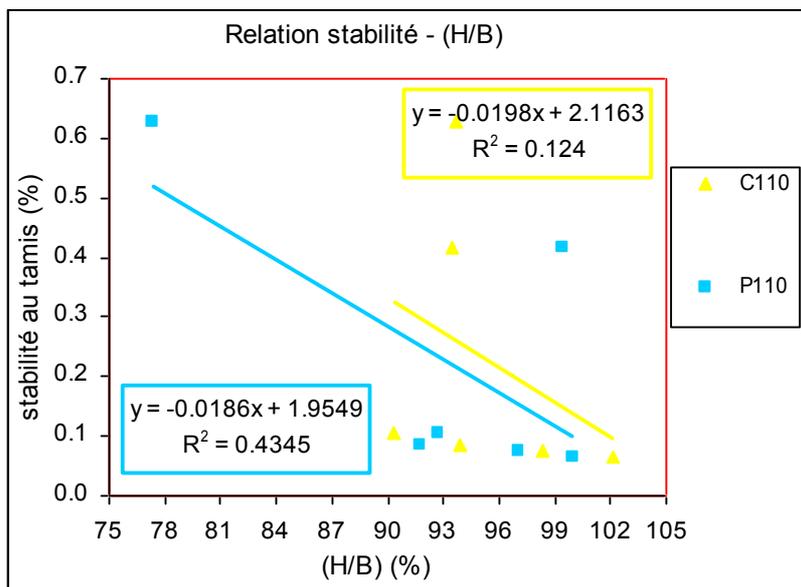


Fig.IV-12:Relation stabilité au tamis - (H/B) moules (C110 et P110)

IV.7. Relation entre l'indice de ségrégation et stabilité au tamis :

N°	E/C E/(C+F)	tamis(%)	C110	P110
			ISS(%)	ISS(%)
1	0.42	0.06	0.35	0.398
2	0.45	0.07	0.37	0.40
3	0.50	0.08	0.46	0.50
4	0.55	0.10	0.88	0.82
5	0.6	0.42	1.14	1.74
6	0.63	0.63	1.31	1.91
7	0.50(0.35)	10.57	1.35	1.92

Tableau IV-16: Stabilité au tamis - (ISS) moules (C110 et P110)

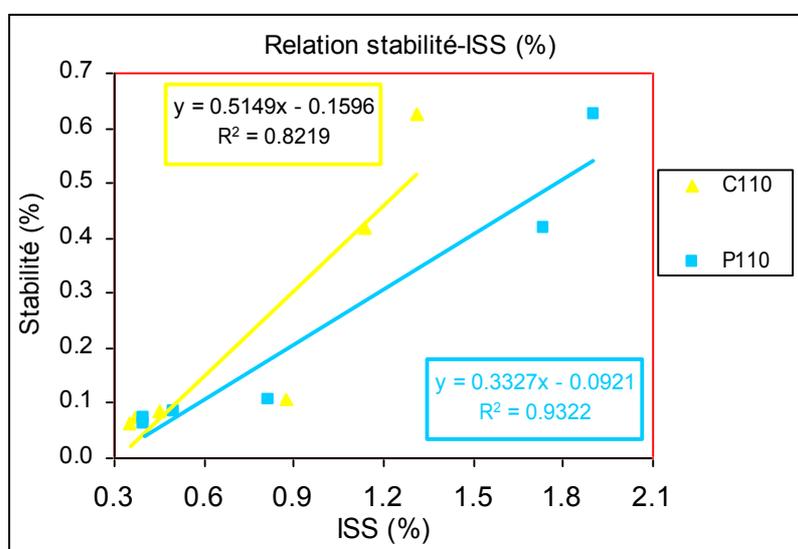


Fig.IV-13:Relation stabilité au tamis - (ISS) moules (C110 et P110)

IV.8. Relation entre la résistance à la compression et la résistance à la ségrégation

On remarque que lorsque $(H/B) > 95\%$ et (ISS) (0.3 -0.4) nous avons une bonne résistance à la compression, c-à-d que les intervalles précédentes sont valables aussi pour les bétons fluides classiques (Tableaux. (IV-17), (IV-18) et (IV-19)).

Lorsque (H/B) décroît f_{C28} décroît aussi la relation entre elles est linéaire, tandis que quand (ISS) croît f_{C28} décroît.

N°	E/C E/(C+F)	f _{c28} (MPa)	C200	P200
			(H/B) (%)	(H/B) (%)
1	0.42	29.73	96.55	95.59
2	0.45	28.78	96.12	95.08
3	0.50	28.17	91.75	89.86
4	0.55	27.86	88.26	86.96
5	0.6	27.38	85.36	83.82
6	0.63	26.85	77.29	75.03
7	0.50(0.35)	31.12	70.68	75.81

Tableau IV-17 : Relation résistance à la compression –résistance à la ségrégation H/B (C200 et P200)

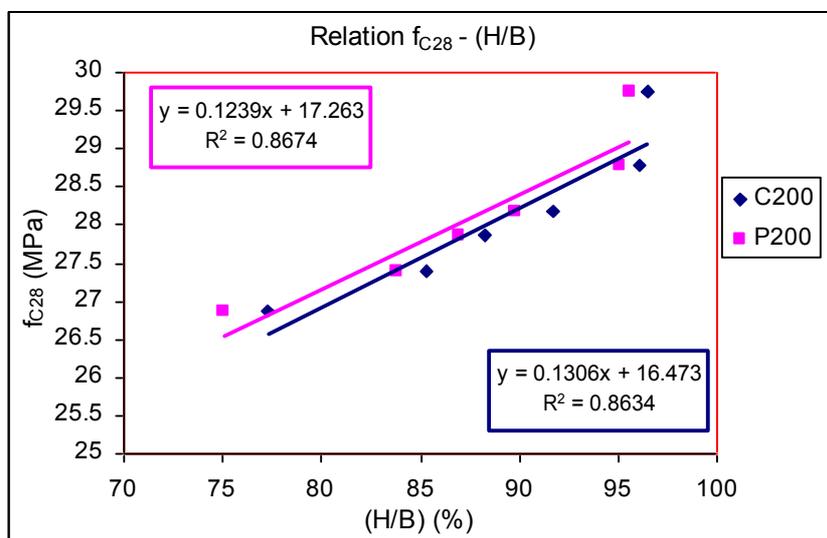


Fig.IV-14 : Relation résistance à la compression - résistance à la ségrégation H/B (C200 et P200)

N°	E/C E/(C+F)	f _{c28} (MPa)	C110	P110
			(H/B) (%)	(H/B) (%)
1	0.42	29.73	102.16	100.00
2	0.45	28.78	98.37	97.09
3	0.50	28.17	93.92	91.76
4	0.55	27.86	90.34	92.73
5	0.6	27.38	93.48	99.47
6	0.63	26.85	93.74	77.34
7	0.50(0.35)	31.12	96.39	106.59

Tableau IV-18: Relation résistance à la compression - résistance à la ségrégation H/B (C110 et P110)

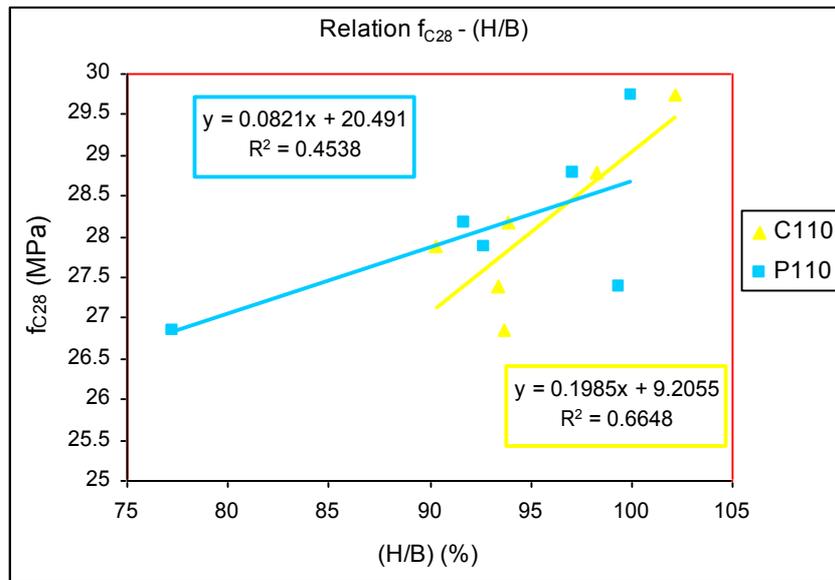


Fig.IV-15 : Relation résistance à la compression-résistance à la ségrégation H/B (C110 et P110)

IV.9. Relation entre la résistance à la compression et l'indice de ségrégation

N°	E/C E/(C+F)	f _{c28} (MPa)	C110	P110
			ISS (%)	ISS (%)
1	0.42	29.73	0.35	0.398
2	0.45	28.78	0.37	0.40
3	0.50	28.17	0.46	0.50
4	0.55	27.86	0.88	0.82
5	0.6	27.38	1.14	1.74
6	0.63	26.85	1.31	1.91
7	0.50(0.35)	31.12	1.35	1.92

Tableau IV-19 : Résistance à la compression - ISS (C110 et P110)

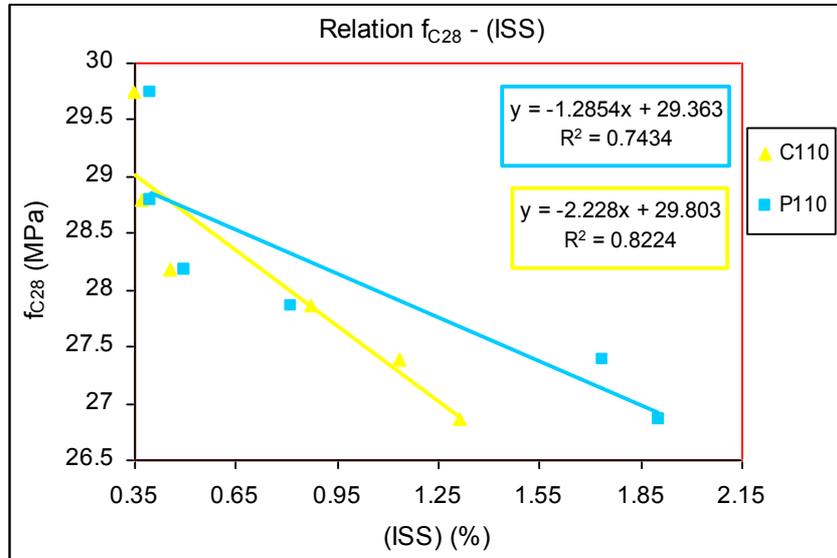


Fig.IV-16 : Résistance à la compression - ISS (C110 et P110)

IV.10. Relation entre la vitesse d'écoulement et la résistance à la ségrégation

On observe pour tous les moules, quand on a une bonne résistance à la ségrégation ($H/B > 95\%$) et un bon indice de ségrégation ($ISS = 0.3 - 0.4$), que la vitesse d'écoulement est supérieure à 53 seconde, cette valeur qu'on peut la noter pour les bétons classiques fluides, une vitesse d'écoulement plus petite implique un risque de ségrégation.

N°	E/C E/(C+F)	V (s)	C200	P200
			(H/B) (%)	(H/B) (%)
1	0.42	80.0	96.55	95.59
2	0.45	53.0	96.12	95.08
3	0.50	40.0	91.75	89.86
4	0.55	29.0	88.26	86.96
5	0.6	9.5	85.36	83.82
6	0.63	6.7	77.29	75.03
7	0.50(0.35)	23.0	70.68	75.81

Tableau IV-20: Vitesse d'écoulement - résistance à la ségrégation H/B (C200 et P200)

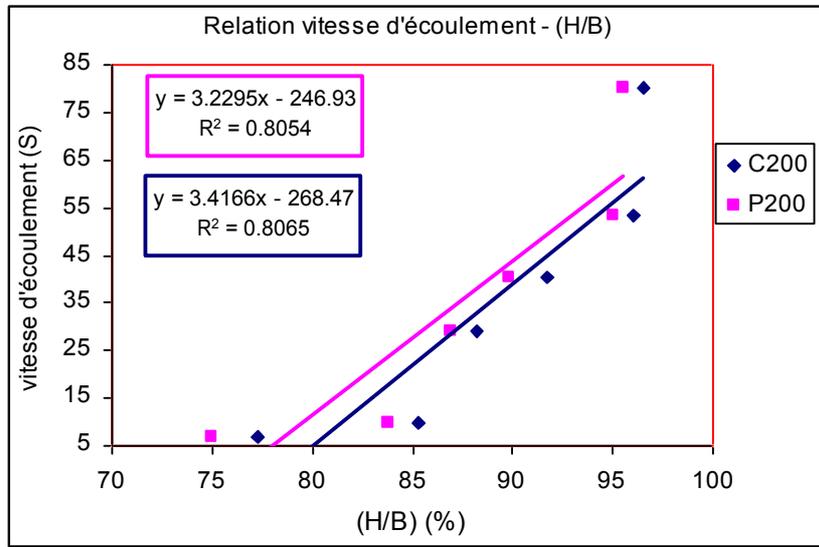


Fig.IV-17: Vitesse d'écoulement - résistance à la ségrégation H/B (C200 et P200)

N°	E/C E/(C+F)	V (s)	C110	P110
			(H/B) (%)	(H/B) (%)
1	0.42	80.0	102.16	100.00
2	0.45	53.0	98.37	97.09
3	0.50	40.0	93.92	91.76
4	0.55	29.0	90.34	92.73
5	0.6	9.5	93.48	99.47
6	0.63	6.7	93.74	77.34
7	0.50(0.35)	23.0	96.39	106.59

Tableau IV-21 : Vitesse d'écoulement - résistance à la ségrégation H/B (C110 et P110)

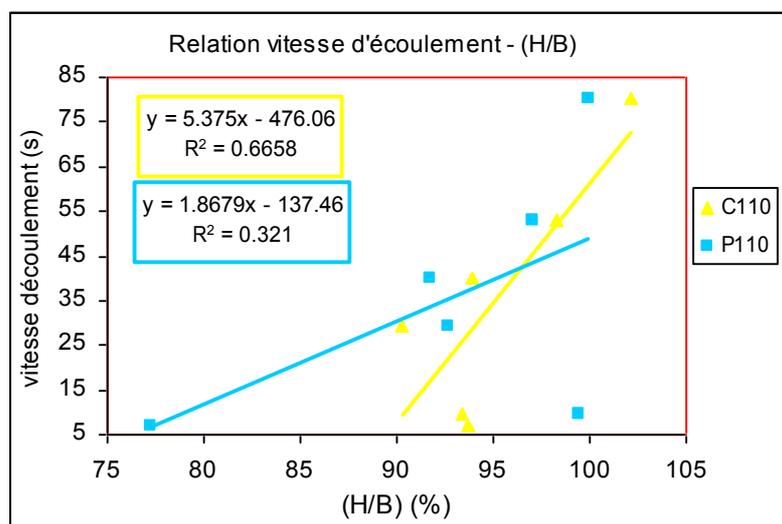


Fig.IV-18 : Vitesse d'écoulement - résistance à la ségrégation H/B (C110 et P110)

IV.11. Relation entre la vitesse d'écoulement et l'indice de ségrégation

N°	E/C E/(C+F)	V (s)	C110	P110
			ISS(%)	ISS(%)
1	0.42	80.0	0.35	0.398
2	0.45	53.0	0.37	0.40
3	0.50	40.0	0.46	0.50
4	0.55	29.0	0.88	0.82
5	0.6	9.5	1.14	1.74
6	0.63	6.7	1.31	1.91
7	0.50(0.35)	23.0	1.35	1.92

Tableau IV-22: Vitesse d'écoulement - indice de ségrégation ISS (C110 et P110)

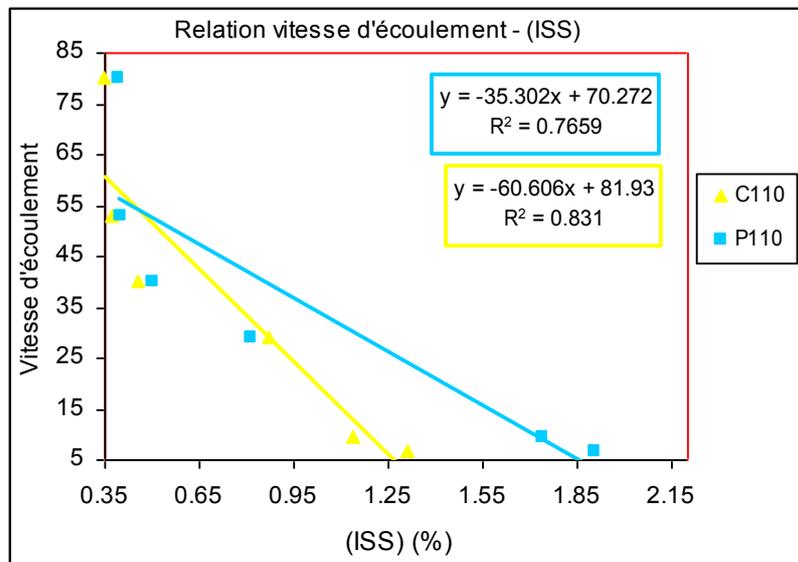


Fig.IV-19 : Vitesse d'écoulement - indice de ségrégation ISS (C110 et P110)

IV.12. Relation entre l'affaissement et la résistance à la ségrégation:

On remarque également pour tous les moules, quand on a une bonne résistance à la ségrégation et un bon indice de ségrégation on obtient un affaissement inférieur à 7 cm. Le BAP présente un étalement supérieur à 70 cm, tandis que sa résistance à la ségrégation est mauvaise, même chose pour ISS.

N°	E/C E/(C+F)	Aff (cm)	C200	P200
			H/B (%)	H/B (%)
1	0.42	5.90	96.55	95.59
2	0.45	6.15	96.12	95.08
3	0.50	7.55	91.75	89.86
4	0.55	10.50	88.26	86.96
5	0.6	13.10	85.36	83.82
6	0.63	16.40	77.29	75.03
7	0.50(0.35)	74.50	70.68	75.81

Tableau IV-23 : Affaissement (cm) - résistance à la ségrégation H/B (C200 et P200)

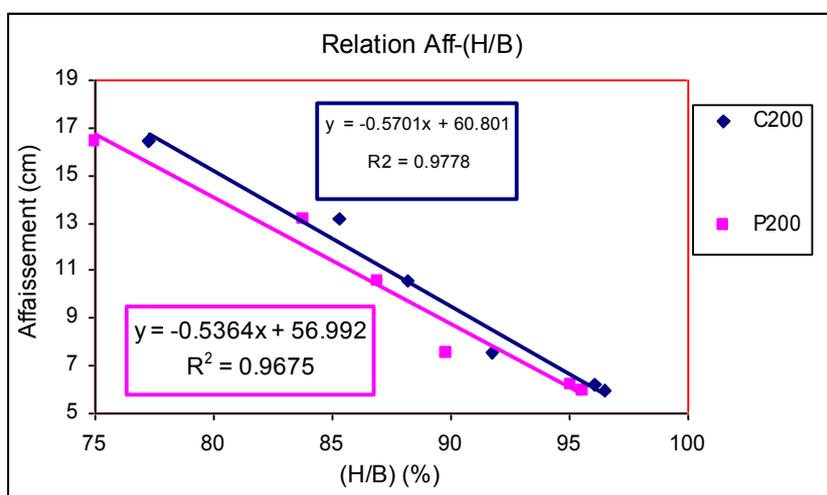


Fig.IV-20 : Affaissement (cm) - résistance à la ségrégation H/B (C200 et P200)

N°	E/C E/(C+F)	Aff (cm)	C110	P110
			H/B (%)	H/B (%)
1	0.42	5.90	102.16	100.00
2	0.45	6.15	98.37	97.09
3	0.50	7.55	93.92	91.76
4	0.55	10.50	90.34	92.73
5	0.6	13.10	93.48	99.47
6	0.63	16.40	93.74	77.34
7	0.50(0.35)	74.50	96.39	106.59

Tableau IV-24: Affaissement (cm) - résistance à la ségrégation H/B (C110 et P110)

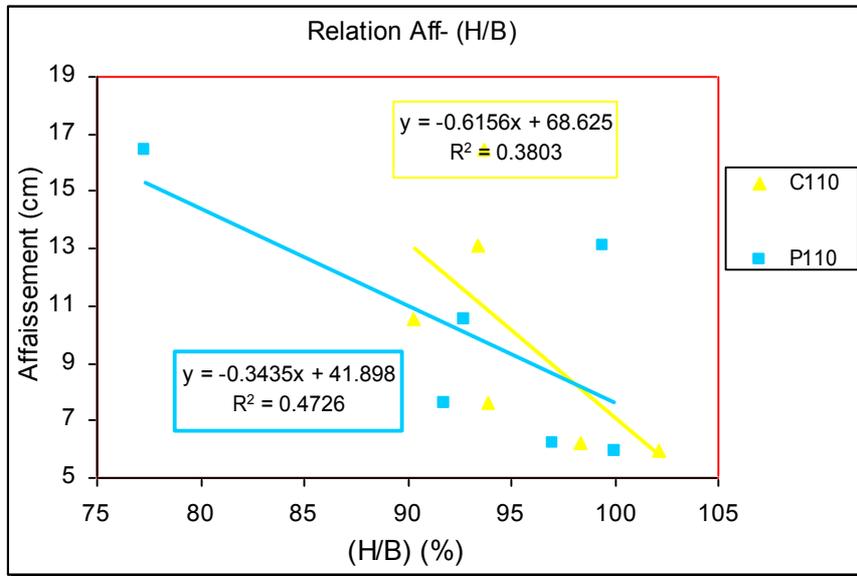


Fig.IV-21: Affaissement (cm) - résistance à la ségrégation H/B (C110 et P110)

IV.13. Relation entre l'affaissement et l'indice de ségrégation:

N°	E/C E/(C+F)	Aff (cm)	C110	P110
			ISS (%)	ISS (%)
1	0.42	5.90	0.35	0.398
2	0.45	6.15	0.37	0.40
3	0.50	7.55	0.46	0.50
4	0.55	10.50	0.88	0.82
5	0.6	13.10	1.14	1.74
6	0.63	16.40	1.31	1.91
7	0.50(0.35)	74.50	1.35	1.92

Tableau IV-25: Affaissement (cm) - indice de ségrégation ISS (C110 et P110)

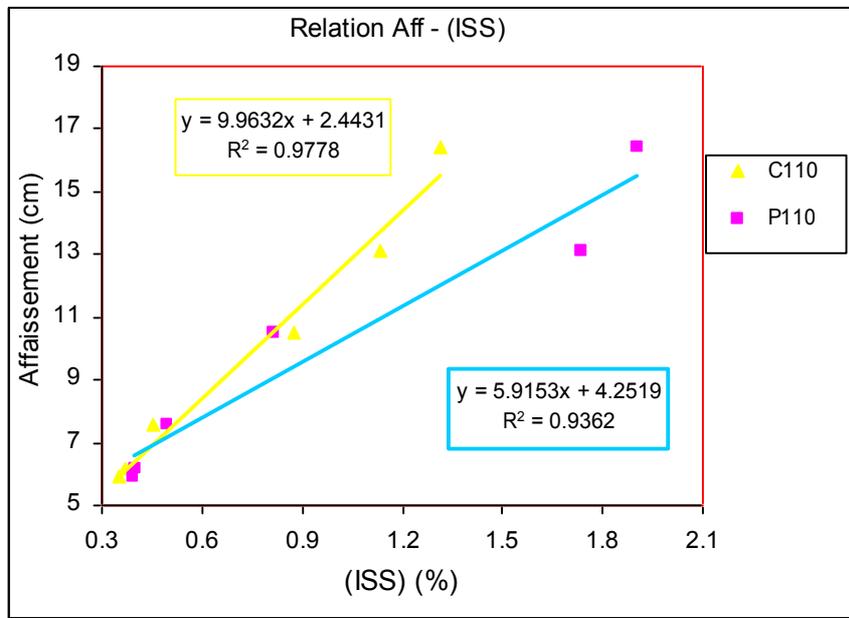


Fig.IV-22:Relation affaissement - Indice de ségrégation (C110 et P110)

Conclusion

Les résultats obtenus montrent une augmentation de la vitesse d'écoulement, de l'affaissement et la laitance avec l'augmentation du rapport E/C et en contre partie une diminution de la résistance (à l'exception du BAP). Ce qui est conforme aux prévisions.

La forme du moule a un faible effet sur la résistance à la ségrégation, les moules prismatiques favorisent un peu la ségrégation comparativement aux moules cylindriques. Le BAP est plus sensible au type du moule, pour la mesure de la résistance et l'indice de ségrégation, que les bétons ordinaires.

Pour caractériser la ségrégation des bétons, en utilisant les petits moules, il convient de procéder à la mesure de l'indice de ségrégation (ISS) plutôt que de la résistance à la ségrégation (H/B).

On remarque que lorsque (H/B) > 95% et (ISS) (0.3 - 0.4) nous avons une bonne résistance à la compression.

Les relations entre les différentes propriétés mesurées semblent suivent une certaine linéarité, donc on peut déduire une des propriétés à partir de l'autre (après une expérimentation plus fournie statistiquement en compositions et en nombre d'essais).

Contribution à l'étude de la ségrégation statique
des bétons fluides

V- Conclusions

V- Conclusions générales et perspectives

Les méthodes proposées pour mesurer la ségrégation sont nombreuses et se présentent en deux groupes : le premier comprend les méthodes de mesure sur béton frais, alors que le second concerne les méthodes de mesure sur béton durci. La comparaison des indices choisis n'est pas aisée à cause de la reproductibilité des essais. D'où la nécessité de conduire une étude comparative de ces méthodes et indices sur les mêmes matériaux et dans les mêmes conditions.

Le nombre d'essais pour la caractérisation de la fluidité, de la capacité de remplissage et la ségrégabilité est presque égal au nombre d'équipes de recherche qui existent dans le monde. Chaque laboratoire a conçu son propre appareillage.

La fluidité des bétons fluides est un de leurs atouts majeurs puisqu'il n'est plus nécessaire de les vibrer pour les mettre en œuvre. Cette propriété est nécessaire, mais elle n'est pas suffisante pour qu'un béton soit considéré comme autoplaçant. La stabilité est également une caractéristique primordiale car l'homogénéité des propriétés de la structure finale en dépend.

Les résultats obtenus montrent une augmentation de la vitesse d'écoulement, de l'affaissement et la laitance avec l'augmentation du rapport E/C et en contre partie une diminution de la résistance (à l'exception du BAP). Ce qui est conforme aux prévisions.

La forme du moule a un faible effet sur la résistance à la ségrégation, les moules prismatiques favorisent un peu la ségrégation comparativement aux moules cylindriques. Le BAP est plus sensible au type du moule, pour la mesure de la résistance et l'indice de ségrégation, que les bétons ordinaires.

Pour caractériser la ségrégation des bétons, en utilisant les petits moules, il convient de procéder à la mesure de l'indice de ségrégation (ISS) plutôt que de la résistance à la ségrégation (H/B).

Pour les moules C200 et P200, on observe que lorsque le rapport (E/C) croît (H/B) décroît la résistance à la ségrégation diminue, les valeurs de (H/B) sont très proches et donnent la même conclusion c-à-d la forme du moule a un effet faible sur la résistance à la ségrégation, les valeurs de (H/B) pour P200 sont un peu inférieures que C200, les moules prismatiques favorisent un peu la ségrégation que les moules cylindriques

Pour les moules C110 et P110, on remarque que les valeurs de (H/B) sont très proches et donnent la même conclusion c-à-d la forme du moule a un effet faible sur la résistance à la ségrégation, les valeurs de (H/B) décroît quand (E/C) est inférieur à 0.55, puis elles croît, on constate que, pour caractériser la ségrégation des bétons en utilisant les petits moules, il convient de procéder à la mesure de l'indice de ségrégation (ISS).

La ségrégation dans les moules C110 et P110 est moins importante que dans les moules C200 et P200 ce qui confirme que les dimensions des moules ont influence sur la ségrégation, pour tous les moules le béton résiste à la ségrégation quand le (E/C) est inférieur à 0.50.

Les valeurs de (H/B) et (ISS) pour C110 et P110 donnent la même conclusion qui est la suivante : on peut appliquer la méthode japonaise du cylindre en utilisant ces moules pour les bétons fluides sauf les BAP.

D'après ISS pour tous les moules le béton résiste à la ségrégation quand le (E/C) est inférieur à 0.50, ce qui confirme la conclusion faite sur la résistance à la ségrégation (la méthode japonaise du cylindre).

La stabilité au tamis est satisfaisante pour tous les rapports (E/C) ($0 \leq \pi \leq 15\%$) selon AFGC, la résistance à la ségrégation croît quand la stabilité au tamis décroît, chose confirmée pour tous les moules, pour avoir un béton qui résiste bien à la ségrégation, il faut que π soit inférieure à 0.08%.

D'après les courbes de tendance, on remarque que les points sont proches pour les C200 et P200 mais il y'a une grande dispersion pour les C110 et P110 c-à-d qu'on ne peut pas se fier à le seul essai de stabilité au tamis pour en déduire la résistance à la ségrégation.

Quand la stabilité au tamis croît l'indice de ségrégation croît, le risque de ségrégation augmente, pour avoir un béton qui à un ISS (0.3-0.4), il faut que π soit inférieure à 0.08%.

On remarque que lorsque (H/B)>95% et (ISS) (0.3 -0.4) nous avons une bonne résistance à la compression, c-à-d que les intervalles précédentes sont valables aussi pour les bétons fluides classiques.

Lorsque (H/B) décroît f_{C28} décroît aussi la relation entre elles est linéaire, tandis que quand (ISS) croît f_{C28} décroît.

On observe pour tous les moules, quand on a une bonne résistance à la ségrégation (H/B)>95%) et un bon indice de ségrégation (ISS)=(0.3 -0.4) que la vitesse d'écoulement est supérieure à 53 seconde, cette valeur qu'on peut la noter pour les bétons classiques fluides, lorsque la vitesse d'écoulement est petite le risque de ségrégation augmente.

On remarque également pour tous les moules, quand on a une bonne résistance à la ségrégation et un bon indice de ségrégation lorsque l'affaissement est inférieur à 7 cm pour les bétons classiques fluides, mais on ce qui concerne les BAP, on constate qu'un étalement de (60-70) cm est bon, parce que notre BAP a un étalement égal 74.5 cm, sa résistance à la ségrégation est mauvaise, même chose pour ISS.

Perspectives :

Comme tout travail expérimental, une étude statistique plus fournie est nécessaire pour en tirer des relations qui intègrent les différents paramètres mis en jeu.

On pense particulièrement :

- Faire plusieurs compositions des bétons autoplaçants pour comparer les résultats avec ceux des bétons fluides classiques.
- Utiliser des moules de différentes matières (métallique, en bois, en PVC).
- Essayer de trouver d'autres méthodes pour caractériser la ségrégation des bétons fluides.

Contribution à l'étude de la ségrégation statique
des bétons fluides

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] KHAYAT K., Les Bétons Autonivelants, Les Bétons : Bases et Données pour leur Formulation, Association Technique de l'Industrie des Liants Hydrauliques, Sous la Direction de J. BARON et J.-P. OLLIVIER, Edition Eyrolles, Paris, Troisième Tirage 1999.
- [2] SEDRAN T, Rhéologie et Rhéométrie des Bétons. Application aux Bétons Autonivelants. Thèse de Doctorat de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, France, Mars 1999.
- [3] TURCRY P., Retrait et Fissuration des Bétons Autoplaçants Influence de la formulation, Thèse de Doctorat, Ecole Centrale de Nantes, Février 2004.
- [4] BETHMONT S., Mécanisme de Ségrégation dans les Bétons Autoplaçants (BAP) : Etude Expérimentale des Interaction Granulaires, Thèse de Doctorat de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Décembre 2005.
- [5] MENAI K., Etude de l'Effet d'Ajouts Chimiques et Minéraux sur la Maniabilité, la Stabilité et les Performances des Bétons Autonivelants, Mémoire de Maîtrise ès Sciences Appliquées. Spécialité : Génie Civil. Université de Sherbrooke, CANADA, Septembre, 1995.
- [6] KHAYAT K., Workability, Testing, and Performance of Self-Consolidation Concrete, ACI Materials Journal, V. 96, No. 3, May -June 1999.
- [7] PARK N. P., Rheological properties of cementitious materials containing mineral admixtures, Cement and Concrete Research, vol 35, pp 842-849, 2005.
- [8] FERRARIS, O., Influence of mineral admixtures on the rheology of cement paste and concrete, Cement and Concrete Research, vol 31, pp245-255, 2001.
- [9] SHI S. and al., A study of effect of superfine powders on fluidity of cement paste, Transactions of the Japan Concrete Institute, vol 20, pp 9-14, 1998.
- [10] BENSEBTI S. E., Formulation et propriétés des bétons autoplaçants à base de matériaux locaux, Thèse de Doctorat en Sciences Université Mentouri, Constantine, Algérie, Juillet 2008.
- [11] NEHDI M., Why some carbonate filler cause rapid increases of viscosity in dispersed cement-based materials", Cement and Concrete Research, vol. 30, pp 1603-1669, June 2000
- [12] ZHU S. and GIBBS A., Use of different limestone and chalk powders in self-compacting concrete, Cement and Concrete Research, vol. 35, pp1457-1462, 2005.
- [13] BURY, C., The role of innovative chemical admixtures in producing self consolidating concrete, Proceedings of the first North American conference on the design and use of self-consolidating concrete, , pp 141-146, Chicago, 12-13 Novembre 2002,

-
- [14] AITCIN et al., L'interaction ciment / superplastifiant. Cas des polysulfonates, Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées, n° 233, pp 87-98, 2001.
- [15] SHIDOH M., Development of combinaison type Self-Compacting Concrete and Evaluation Test Methods, Journal of Advanced Concrete technology, vol. 1, n°1, pp 26-36, 2003.
- [16] CHAPRA R.P., Bubbles, Drops, and Particles in Non-Newtonian Fluids, CRC Press, 417 pages, 1993.
- [17] FERROIR, H., Coussot, Motion of solid object trough a thixotropic paste, Physics of fluid, vol. 16, pp 594-601, 2004.
- [18] ATAPATTU and al., Creeping sphere motion in Hershel-Bulkley fluids : flow field and drag, Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, vol. 59, pp. 245-265, 1995.
- [19] BERIS and al., Creeping motion of a sphere through a bingham plastic, Journal of Fluid Mechanics, vol. 158, pp. 219-244, 1985.
- [20] SAAK et al., New methodology for designinig self-compacting concrete, ACI Materials Journal, pp 429-439, 2001.
- [21] BRISCOE and al., The falling of speres trough bingham fluids, Colloids and Surface, vol 65, pp 69-75, 1992.
- [22] LACHEM M. and al., Self-consolidating concrete incorporating new; viscosity modifying admixtures, Cement and Concrete Research, vol. 34, pp 917-926, 2004.
- [23] NAGATAKI S. and FUJIWARA H., 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.
- [24] HASNI L., Bétons Autoplaçants, Synthèse Bibliographique Rapport de Recherche N°. 98- 004, CEBTP, Juillet 1999.
- [25] Association française de Génie Civil (AFGC), Bétons Auto-Plaçants Recommandations provisoires, 63 pages, 2002.
- [26] Jin S., Properties of mortar for self-compacting concrete, PhD thesis, University of London, 398 pages, 2002.
- [27] EFNARC, Specifications and guidelines for self-compacting concrete, 32 pages, 2002.
- [28] RILEM, Workability ans Rheology of Fresh Concrete : Compendium of Tests, Report of Technical Committee TC145 WSM. Edité par Bartos, Sonebi et Tamimi.
- [29] BOUZOUBAA N.et LACHEMI M., Bétons autoplaçants; Synthèse bibliographique, Rapport de recherche CEBTP, centre Saint-Rémy, N°: 98-006, juillet 1999.
-

-
- [30] BOUZOUBAA N., M. LACHEMI, Self-compacting concrete incorporating high volumes of class F fly ash : Preliminary Results, Cement and Concrete Research, vl. 31, pp 413-420, 2001.
- [31] VAN BUI et al., Rapid testing method for segregation resistance of self-compacting concrete, Cement and Concrete Research CCR, vol 32 ,pp 1489-1496, 2002.
- [32] DREUX G., nouveau guide du béton, Editions Eyrolles, paris, 1985.
- [33] TRUDEL A., Mise au point d'un essai rapide de mesure de la résistance à la ségrégation du béton frais, rapport de stage, Université de Sherbrooke, Québec, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, 122 pages, 1995.
- [34] TANGTERMSIRIKUL K., and al., Evaluation of resistance to segregation of superworkable concrete and role of a new type of viscosity agent, Taisei technical research report, n°24, 1991.
- [35] CUSSIGH, S., Project testing SCC-segregation test method, Proceedings of the third international RILEM conference on SCC, , Reykjavik, Islande, pp 311-322, août 2003.
- [36] TRUDEL A., 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.
- [37] BENSEBTI S. et al., Essais de caractérisation expérimentale du ségrégation verticale des bétons autoplaçants, Revue sciences et technologie B –Constantine n° 25, pp 41-49, Juin 2007.
- [38] BENSEBTI S. et al., La ségrégation des bétons autoplaçants, mise en place d'un procédure expérimental, Annale de bâtiment et des travaux publics, n° 2-3 pp 22-28, Juin 2007.
- [39] Laskowski H., Particle movement in non-newtonian slurries : the effect of yield stress on dense medium separation, Chemical Engineering Science, 56, pp. 2991-2998, 2001.
- [40] Mekhatria A., Stabilité et sédimentation de sphères dans un fluide à seuil, thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, 220 pages, 2001.
- [41] Jossic L. et Magnin A., Trainée et stabilité d'objet en fluide à seuil, Les Cahiers de Rhéologie, 18, pp. 55-64, juin 2001.
- [42] Flatt, Toward a prediction of superplasticized concrete rheology, Materials and structures, 2004, vol 37, pp 289-300.
- [43] GEIKER M. and al., Effect of measuring procedure on the apparent rheological properties of self-compacting concrete, Cement and Concrete Research, 32, pp 1791 – 1795, 2002.

-
- [44] AFNOR, Recueil de normes françaises, Béton et constituants du béton, Paris 1991.
- [45] LANCHON R., cours de laboratoire, granulats bétons sols, Editions Casteilla, Paris, 1989.
- [46] BARON J. et al., Viser la durabilité, Les bétons bases et données pour leur formulation, Eyrolles, Paris,1997.
- [47] KECHKAR C., Contribution à l'étude des empilements granulaires approche théorique et expérimentale, Mémoire de Magister, Université de Guelma, Algérie, 2005.
- [48] AFNOR, norme NF EN 1097-2 essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats –partie2: méthodes pour la détermination de la résistance à la fragmentation ,1998.
- [49] AFNOR, norme NF EN 1097-1 essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats –partie1: détermination de la résistance à l'usure (Micro-DEVAL) ,1996.
- [50] AFNOR, norme NF EN 1097-1 essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats –partie1: détermination de la granularité analyse granulométrique par tamisage ,1997
- [51] DREUX G., nouveau guide du béton, Editions Eyrolles, paris, 1981.
- [52] KEDJOUR N.-E., Le laboratoire du béton, Office des publications universitaires, Algérie, 2003.
- [53] CHERIAT Y., BENOUIS A., KECHKAR. C, Algérie Equipement, Revue Technique de l'Ecole Nationale des Travaux Publics, N°44, Algérie, Mai 2008.
- [54] AFNOR, normes européennes document diffusé par l'association française de normalisation, 2008.
- [55] GRINI AW., contribution à la détermination de la porosité des bétons par les ultrasons, Mémoire de Magister, Université de Guelma, Algérie, 2008.

Contribution à l'étude de la ségrégation statique
des bétons fluides

INDEX

LISTE DES TABLEAUX

N°	DESIGNATION	PAGE
01	I-1 : Les propriétés essentielles des BAP frais.	13
02	II-1 : Caractéristiques physiques du sable utilisé.	28
03	II-2 : Module de finesse du sable.	29
04	II-3 : Caractéristiques physiques des graviers utilisés.	29
05	II-4 : Caractéristiques mécaniques des graviers utilisés	30
06	II-5 : Analyse chimique des graviers.	30
07	II-6 : Caractéristiques physiques du ciment utilisé.	31
08	II-7 : Composition chimique des fillers calcaires ENG El khroub	31
09	II-8 : Propriétés physiques des fillers calcaires ENG El Khroub	31
10	II-9 : Caractéristiques de MEDAFLOW 30	31
11	II-10 : Analyse granulométrique du sable (Echantillon1).	32
12	II-11 : Analyse granulométrique du sable (Echantillon2).	33
13	II-12 : Analyse granulométrique du gravier 5/15 (Echantillon 1).	33
14	II-13 : Analyse granulométrique du gravier 5/15 (Echantillon 2).	33
15	II-14 : Analyse granulométrique du gravier 15/25 (Echantillon 1).	34
16	II-15 : Analyse granulométrique du gravier 15/25 (Echantillon 2).	34
17	II-16 : Poids de l'échantillon en fonction de la grosseur des graviers.	34
18	II-17 : Essai d'humidité.	35
19	II-18: Dimensions des moules utilisés.	36
20	III-1 : Compositions des bétons utilisés.	39
21	III-2 : Résistance en compression des bétons.	42
22	III-3 : Appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône	45
23	III-4 : Classement de la formulation selon le pourcentage ^{π}	48
24	IV-1 : Les dimensions des moules utilisés pour la ségrégation	55
25	IV-2 : Résultats des essais de ségrégation	55
26	IV-3 : Résultats de essais sur béton frais	56
27	IV-4: Influence du rapport E/C sur la résistance à la ségrégation (C200)	56
28	IV-5: la résistance à la ségrégation des bétons (P200)	57
29	IV-6: la résistance à la ségrégation des bétons (C110)	58
30	IV-7 : la résistance à la ségrégation des bétons P110	58
31	IV-8 : la résistance à la ségrégation H/B (%) des bétons	59

32	IV-9 : L'indice de ségrégation des bétons (C110)	60
33	IV-10 : L'indice de Ségrégation des bétons (P110)	61
34	IV-11 : Résistances H/B des différents moules	62
35	IV-12 : (H/B) et (ISS) moule C110	63
36	IV-13 : (H/B) et (ISS) moule P110	63
37	IV-14 : Stabilité au tamis – résistance à la ségrégation H/B (C200 et P200)	64
38	IV-15 : Stabilité au tamis - (H/B) moules (C110 et P110)	65
39	IV-16 : Stabilité au tamis - (ISS) moules (C110 et P110)	66
40	IV-17 : Relation résistance à la compression – H/B (C200 et P200)	67
41	IV-18 : Relation résistance à la compression - H/B (C110 et P110)	67
42	IV-19 : Résistance à la compression - ISS (C110 et P110)	68
43	IV-20 : Vitesse d'écoulement - résistance à la ségrégation H/B (C200 et P200)	69
44	IV-21 : Vitesse d'écoulement - résistance à la ségrégation H/B (C110 et P110)	70
45	IV-22 : Vitesse d'écoulement - indice de ségrégation ISS (C110 et P110)	71
46	IV-23 : Affaissement (cm) - résistance à la ségrégation H/B (C200 et P200)	72
47	IV-24: Affaissement (cm) - résistance à la ségrégation H/B (C110 et P110)	72
48	IV-25 : Affaissement (cm) - indice de ségrégation ISS (C110 et P110)	73

LISTE DES FIGURES

<u>N°</u>	<u>DESIGNATION</u>	<u>page</u>
01	I-1 : Composition d'un béton ordinaire « BO » et d'un BAP.	07
02	I-2 : Action des superplastifiants – Défloculation des grains de ciment.	10
03	I-3 : Influence de la quantité de superplastifiant sur l'étalement et la viscosité d'un béton	10
04	I-4 : Les forces qui agissent sur une particule immergée dans un fluide.	11
05	I-5 : Champ d'écoulement autour d'une sphère immergée dans un fluide à seuil	12
06	I-6 : Représentation schématique de la mesure de l'affaissement et de l'étalement	14
07	I-7 : Essai du « Box test » (Khayat et coll., 1995)	15
08	I-8: Risque de blocage au droit des armatures.	15
09	I-9 : Essais d'écoulement à travers des armatures (a) L- Box , (b) U- box , (c) J- Ring	16
10	I-10 : Essai de l'entonnoir en forme de <<v>>	17
11	I-11 : Essai de stabilité au cylindre	17
12	I-12 : Essai de stabilité à la colonne	18
13	I-13 : Essai à la bille développé par Trudel	19
14	I-14.a: Essai d'extraction d'une palette métallique b: Montage pour mesurer la résistance à la ségrégation d'un mortier	20 20
15	I-15: Essai au tamis	21
16	I-16: Appareillage Expérimental utilisé par Sidky, Legrand et Barrioulet.	22
17	I-17: Cylindre d'échantillonnage pour la détermination de (H/B)	23
18	I-18: Les différentes étapes de l'essai de mesure de ISS	24
19	III-1 : Géométrie de l'éprouvette.	40
20	III-2 : Mode de rupture de béton en compression uni axiale.	42
21	III-3: Représentations schématique de la mesure de l'affaissement et de l'étalement	44
22	III-4 : Blocage des granulats par la présence d'armatures.	45
23	III-5: Essai de la boîte en L.	46
24	III-6 : Essai d'entonnoir.	47
25	III-7 : Essai de la stabilité au tamis	48

26	III-8:Cylindre d'échantillonnage pour la détermination de la résistance à la ségrégation	49
27	IV-1 : Influence du rapport (E/C) sur la résistance à la ségrégation (H/B) C200	57
28	IV-2 : Influence du rapport (E/C) sur ation (H/B) moule prismatique P200	57
29	IV-3: Influence du rapport (E/C) sur la résistance à la ségrégation(H/B) moule cylindrique C110	58
30	IV-4: Influence du rapport (E/C) sur la résistance à la ségrégation(H/B) moule P110)	59
31	IV-5 : Influence du rapport (E/C) sur la résistance à la ségrégation (H/B) Pour tous les moules	60
32	IV-6: Influence du rapport (E/C) sur l'indice de ségrégation (ISS) moule cylindrique C110	61
33	IV-7: Influence du rapport (E/C) sur l'indice de ségrégation (ISS)moule Prismatique P110	61
34	IV-8: Comparaison de (H/B) des différents moules Pour différents (E/C)	62
35	IV-9: Relation (H/B) et (ISS) moule C110	63
36	IV-10: Relation (H/B) et (ISS) moule P110	64
37	IV-11: Relation stabilité au tamis - (H/B) moules (C200 et P200)	65
38	IV-12: Relation stabilité au tamis - (H/B) moules (C110 et P110)	65
39	IV-13: Relation stabilité au tamis - (ISS) moules (C110 et P110)	66
40	IV-14: Relation résistance à la compression - résistance à la ségrégation H/B (C200 et P200)	67
41	IV-15: Relation résistance à la compression- H/B moules (C110 et P110)	68
42	IV-16: Résistance à la compression - ISS (C110 et P110)	69
43	IV-17: Vitesse d'écoulement - résistance à la ségrégation H/B (C200 et P200)	70
44	IV-18: Vitesse d'écoulement - H/B moules (C110 et P(110)	70
45	IV-19: Vitesse d'écoulement - indice de ségrégation ISS (C110 et P110)	71
46	IV-20: Affaissement (cm) - résistance à la ségrégation H/B (C200 et P200)	72
47	IV-21: Affaissement (cm) - résistance à la ségrégation H/B (C110 et P110)	73
48	IV -22:Relation affaissement - Indice de ségrégation (C110 et P110)	74

LISTE DES PHOTOS

N°	DESIGNATION	PAGE
01	II-1 : La tamiseuse utilisée.	32
02	II-2 : Les moules utilisés	37
03	III-1 : Le gravier concassé utilisé.	40
04	III-2 : Les moules utilisés pour les éprouvettes.	40
05	III-3 : La bétonnière utilisée.	41
06	III-4 : Le cône d'Abrams.	41
07	III-5 : (a) Presse hydraulique utilisée.	43
	(b) appui de la presse.	43
08	III-6 : Essai de la stabilité au tamis.	48
09	III-7: Les différentes étapes de l'essai de mesure de la résistance à la ségrégation	50
10	III-8: Les différentes étapes de l'essai de mesure de l'indice de ségrégation statique	52