REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : Matériaux en génie civil

Thème

Comparaison de la résistance en traction des éprouvettes par différentes techniques de mesure: application aux cas du BAP élaboré avec matériaux locaux sans ajouts

---

Présenté par

AGGAB ABDERRAZZAK

Proposé et Dirigé par

Dr. BENTCHIKOU MOHAMED

Mr. MERABET OUSSAMA

Promotion Juin 2021



DÉDICACES

Alhamd lilah

Je tiens à dédier ce mémoire:

A mes très chères parents a mes frères et mes soeurs, en témoignage et en gratitude de leurs dévouement, de leurs soutiens permanents durant toutes mes années d'études, leurs sacrifices illimités, leurs réconfort moral, eux qui ont consentis tant d'effort pour mon éducation, mon instruction et pour me voir atteindre ce but, pour tout cela et pour ce qui ne peut être dit, mes affections sans limite.

Je remercie ma femme Fatima Zohra, qui a contribué à ce modeste travail.

A mes Amis :

Je remercie aussi mon ami boubaker pour l'aide.

A tous mes professeurs qui m'ont accompagné tout au long de mes études.

abaja






Remerciement

Nous tenons tout d'abord à remercier ALLAH pour nous avoir guidés vers le bon chemin de la lumière et du savoir et pour nous avoir donné du courage, de la volonté afin de pouvoir réaliser ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre promoteur ***Dr. BENTCHIKOU mohamed ,Mr. MERABET oussama*** *pour l'encadrement de ce mémoire son aide, sa patience et sa confiance qu'elle nous a accordée.*

Nos sincères remerciements vont à tous les enseignants du département de Génie civil de l'université de ***Médéa et El oued*** *, et à tous les enseignants qui ont participé à Notre formation.*

On n'oublie pas nos parents.de les soutenir, de les encourager, de leur plus heureux et de nous defender à nous et à leur joie et de tristesse nous .

Et nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours encouragées au cours de la réalisation de ce mémoire.

Enfin nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire

ملخص:

في هذه الدراسة تم تنفيذ برنامج اختبار على الخرسانة ذاتية التموضع المتكونة من اسمنت وحصى ورمل وماء ومواد مساعدة ,أجريت سلسلة من الاختبارات باستخدام طرق تعتمد على قابلية التشغيل (اختبار الانتشار,اختبار ملء الصندوق ,اختبار الغربال ,اختبار القمع المحصور),لتحديد معايير الانسيابية خاصة السيولة.

يتم التوصيف الميكانيكي عن طريق السحق بهدف قياس المقاومة (مقاومة الضغط والشد بالانحناء والشد بالانقسام و الشد المباشر), لتقييم الاستجابة الميكانيكية في الحالة المتصلبة.

مع الخصائص الانسيابية المرضية المتحصل عليها ، تظهر نتائج اختبار الشد أن اختبار الشد بالانحناء أو بالانقسام أو المباشرة تتوافق على التوالي مع أعلى قيمة، وسيطة وأدنى قيمة للمقاومة.

كلمات مفتاحية : خرسانة ذاتية التموضع , الانسيابية ,اللزوجة,المقاومة، الشد.

Résumé:

Dans cette étude Un programme d'essais a été mis en œuvre sur du béton autoplaçant composé de ciment, de gravier, de sable, d'eau et adjuvant. Une série d'essais ont été menées à l'aide de méthodes basées sur l'opérabilité (étalement, essai de boite en L, essai de stabilité aux tamis, essai en entonnoir confiné), pour déterminer les paramètres rhéologiques, notamment la fluidité.

La caractérisation mécanique se fait par écrasement afin de mesurer la résistance (résistance à la compression, à la traction par fendage, à la traction par flexion et à la traction directe), pour évaluer la réponse mécanique à l'état durci.

Avec des propriétés rhéologiques satisfaisante les résultats de l'essai de traction montrent que l'essais par flexion, par fendage ou directe, correspond respectivement à la plus grande, intermédiaire et la plus faible valeur de résistance.

Most clés: béton autoplaçant, rhéologie, résistance à la traction.

ABSTRACT:

In this study, a test program was carried out on self-compacting concretes composed of concrete and gravel, sand, water and auxiliary materials, The series of tests were carried out using methods based on workability tests (Spread test, L-box and sieve stability tests, Restricted suppression test) to determine the rheological parameters

Mechanical characterization is done by crushing to measure the strength (Resistance to pressure, tensile strength by bending, tensile strength by splitting, and direct tensile strength test) to assess the mechanical response in the rigid state

With satisfactory rheological properties the results of the tensile test show that the bending, cracking or direct test corresponds respectively to the largest, intermediate and lowest strength value.

Key words: Self-compacting, rheology , tensile strength

SOMMAIRE

Dédicaces

Remerciement

Résume

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste de notations

Introduction générale…….……1

CHAPITRE I : Synthèse bibliographique sur le béton autoplaçants

I.1 Introduction:……...……..3

I.2.Définitiond'un béton autoplaçants (BAP) 3

I.3. Avantages techniques.....4

I.4. Matériaux constituants un BAP.....5

I.4.1Ciment 5

I.4. 2 Lesgranulats 6

I.4.3. Eau.....7

I.4.4. Les adjuvants.....7

I.4.5. Les superplastifiants 8

I.4.6. Les Addition Minérale.....8

I.5.Caractéristiques des bétons autoplaçants.....9

I.5.1 Propriétés d'un BAP à l'état frais.....9

I.5.1.1. La Capacité de Remplissage.....9

I.5.1.2. Etalement.....9

I.5.1.3. V-Funnel.....10

I.5.1.4. La Capacité de Passage.....10

I.5.1.5. Boite en L.....11

I.5.1.6. Essai de la stabilité au tamis.....12

I.5.1.7. Comportements Rhéologiques:..... 13

I.5.2. Propriétés d'un BAP à l'état durci 14

I.5.2.1 Résistances mécaniques.....14

I.5.2.2 Résistances a la compression.....14

I.5.2.3. Résistance à la traction.....14

I.5.2.4. Module d'élasticité.....14

I.5.2.5. Le retrait.....15

I.6. Méthode de formulation.....16

I.6.1. La Méthode Japonaise.....16

I.6.2. Méthode Française (LCPC) 17

I.6.3. Méthode Suédoise (CBI) 17

I.7. Fabrication, transport et mise en place des BAP.....18

I.7.1. Fabrication des BAP.....18

I.7.2. Transport des BAP 19

I.7.3 Mise en place.....19

I.8. Domaine d'utilisation des BAP.....20

I.9 Conclusion.....22

CHAPITRE II : Les matériaux utilisés

II.1 Introduction.……...……..23

II.2 Caractéristiques des matériaux utilisés.....23

II.2.1 Ciment 23

II.2.2 L'eau de gâchage …….....……...….25

II.2.3 Adjuvant …….....…….25

II.2.4 Les granulats …….....……...25

II.3 Formulation du mortier autoplaçant…….....….....28

II.4 Formulation du béton autoplaçant……...…….……..…28

II.5 Conclusion.....29

CHAPITRE III : Procédure Expérimentale

III.1 Introduction …….....…….30

III.2 Séquence de malaxage du béton…….……30

III.3 Remplissage de moules …….……32

III.4 Démoulage et conservation des éprouvettes ….…….……...32

III.5 Essais sur béton à l'état frais 33

III.5.1 Essais d'Etalement (Flow test) …….…….....……33

III.5.1.1 But L'essai.…….....…….…….33

III.5.1.2 Appareillage …….....……33

III.5.1.3 Mode opératoire.…… ……. .....……...…..34

III.5.2 Essaiàl'entonnoir enV(V-Funnel test).…….….....35

III.5.3 Essais dela boite en L.....……...…..…..36

III.5.3.1 Matériel utilisé.…….....…… ..…37

III.5.3.2 Mode opératoire.……....…….....…37

III.5.4 Essai de stabilité au tamis .....…….....… …….….37

III.5.4 Objet de l'essai.….....38

III.2.4.2 Matériel utilisé.…….....…… ……..…38

III.5.4.3 Mode opératoire.….....38

III.5.4.4 Critères d'acceptabilité.…….....……..…..39

III.6 Essais sur béton à l'état durci…….....……40

III.6.1 Résistance à la compression…….....…….40

III.6.2 Résistance à la traction par flexion…….....…...…40

III.6.3 Résistance à la traction par fendage…….....42

III.6.4 Résistance à la traction directe …….....42

III.7 CONCLUSION …….……...…44

CHAPITRE IV : Résultats expérimentaux et interprétation

IV.1 Introduction.....45

IV.2 Résultats des essais à l'état frais.....45

IV.3 Résultats des essais à l'état durci.....45

IV.3.1 La résistance à la compression à 50 jours d'un BAP.....46

IV.3.2 Résistance à la traction du BAP conservé à l'eau.....46

IV.3.3 Résistance à la traction du BAP conservé à l'air.....47

IV.3.4 Effet du milieu de cure sur la résistance à la traction.....48

IV.4 CONCLUSION.....50

Conclusion générale…….…….51

Les références bibliographiques

LISTE DESTABLEAUX

Tableau I.1: Classes d'étalement.....9

Tableau I.2: Classes de la viscosité apparente -t50.....10

Tableau I.3: Classes de viscosité apparente -V–funnel.....10

Tableau I.4: Classe l'aptitude à l'écoulement. 12

Tableau II.1: Composition chimique et minéralogique du ciment.....24

Tableau II.2: Caractéristiques du ciment utilisé.....24

Tableau II.3: Propriétés physiques et mécaniques des graviers utilisés. 27

Tableau II.4: Formulation de mortier autoplaçant 28

Tableau II.5: Compositions de différentes formulations BAP étudiés dans un volume de 1 m^3 de béton. 29

Tableau IV.1: Résultats d'essais sur les bétons frais. 45

LISTE DES FIGURES

FigI.1: Béton autoplaçant.....4

FigI.2: Composition des BAP……..…5

FigI.3: Les Granulats utilisé dans les bétons autoplaçants.....…...6

FigI.4: L'effet du superplastifiant sur les grains de ciment….....8

FigI.5: Les utilisations des superplastifiants. ….....8

FigI.6: Représentation en plan d'un blocage de granulats à travers deux armatures.....11

FigI.7: Laitance en périphérie de la galette d'étalement...…….....13

FigI.8: Classification des fluides selon leur comportement rhéologique.....13

FigI.9: Comparaison des modules élastiques de BAP et de bétons vibrés avec leurs valeurs expérimentales. ….....15

FigI.10: Phénomène du retrait….....16

FigI.11: Usine de fabrication de béton autoplaçant.....18

FigI.12: Les mécanismes de transport des BAP. ….....19

FigI.13: Mise ne place aisée du BAP par un seul ouvrier.....20

FigI.14: Le pont Akashi Kaikyo. ….....21

FigI.15: La tour Landmark Tower……..…….....21

Fig II.1: Le ciment utilisé. 23

Fig II.2: Super-plastifiant Midaflow145.....…...25

Fig II.3: Le sable utilisé.....26

Fig II.4: Courbe granulométrique du sable de oued souf.....26

Fig II.5: Gravier de Hanacha 8/15.....27

Fig II.6: Gravier de Hanacha 3/8.....27

Fig III.1: Séquence de malaxage du béton autoplaçant.....31

Fig III.2: Malaxage du béton autoplaçant.....31

Fig III.3: Moules utilisés.....32

Fig III.4 : Conservation des éprouvettes.....32

Fig III.5: Essai d'étalement d'un BAP.....35

Fig III.6 Essai V-funnel.....36

Fig III.7 Essai de boite en L.....36

Fig III.8 Essai de Boite en L'exécutés laboratoire.....37

Fig III.9 Essai de stabilité au tamis.....38

Fig III.10 Presse utilisée pour mesurer de résistance à la compression.....40

Fig III.11 Détermination de la résistance à la traction par flexion.....41

Fig III.12 Surface de rupture.....41

Fig III.13 Essai de traction par fendage.....42

Fig III.14 Dispositif de traction directe 43

Fig III.15 Essai de traction directe.....44

Fig IV.1: Effet du milieu de cure sur la résistance à la compressionà 50 jours d'un BAP formulé avec des matériaux locaux 46

Fig IV.2 : Résistance à la traction du BAP conservé à l'eau, obtenue par différents essais....47

Fig IV.3 : Résistance à la traction du BAP conservé à l'air obtenue par différents essais.....48

Fig IV4 : Effet du milieu de cure sur la résistance à la traction obtenue par différents essai..49

Nomenclature:

BAP	Béton autoplaçant
MAP	Mortier autoplaçant
D	Diamètre d'étalement
CEMI 42.5R	Ciment portland ordinaire de classe 42.5MPa
E/C	le rapport eau sur ciment
R	Résistance
LCPC	Laboratoire centrale des ponts et chaussées
AFGC	Association française de génie civil
S/M	Le rapport sable/Mortier
SP	Super- plastifiant
E	Eau
C	Ciment
G	Gravier
S	Sable
E/L	Le rapport eau sur liant
G/S	Le rapport gravier sur sable
S/M	Le rapport sable sur mortier
σ	La contrainte de flexion
MF	Module de finesse
$\mathbf{H_1}$	Hauteur du sédiment
$\mathbf{H_2}$	Hauteur du sédiment + floculant
$\mathbf{F_{cj}}$	Résistance à la compression à l'âge (j)
$\mathbf{E_{ij}}$	Module d'élasticité instantané
$\mathbf{T_{50}}$	Temps d'écoulement pour que le diamètre d'étalement atteigneune valeur de 50 cm

Introduction générale

Introduction générale

Le béton est un matériau de construction qui trouve pratiquement son champ d'utilisation dans tous les domaines du génie civil.

Actuellement, il est sans doute le plus utilisé pour les avantages économiques et techniques qu'il présente.

Le béton auto plaçant caractérisé par une forte fluidité, est un béton qui se met en place sans aucune vibration même dans des endroits très encombrés par le ferraillage et cela tout en préservant une bonne homogénéité jusqu'au sa durabilité. La grande maniabilité des BAP assure la fabrication d'ouvrages duquel la finition est toujours d'une bonne qualité. Cette fluidité peut être obtenue par l''utilisation de super plastifiant pour éviter la ségrégation. Les bétons auto plaçant (BAP), développés depuis les années 80, sont encore à l'heure actuelle qualifiés de nouveaux bétons.

Les bétons auto plaçant se différencient de bétons ordinaires par l'utilisation de fortes quantités en additions minérales, de super plastifiant. Ces bétons se distinguent également par leurs propriétés à l'état frais et leur mode de mise en œuvre.

L'objectif de l'étude est comparaison de la résistance en traction des éprouvettes par différentes techniques de mesure avec application aux cas du BAP élaboré avec matériaux locaux sans ajouts.

Les problèmes de qualité rencontrés dans les structures en béton apparaissent à différentes phases de la réalisation des ouvrages, c'est pour cette raison que depuis longtemps il y a une demande accrue pour des méthodes plus précises et, en même temps, plus souples d'évaluation de la qualité du béton.

Le contrôle par essais destructifs nécessite la confection d'éprouvettes prélevées représentant un échantillon. Ce contrôle ne peut être effectué à 100 % ou tout au moins sur un échantillonnage significatif. De plus, l'échantillon prélevé n'est pas toujours représentatif du béton de la structure réelle.

Un des essais qui présente un problème de disparité entre les valeurs trouvées est l'essai de traction pour lequel on a essayé de tester sur un BAP élaboré 3 méthodes existantes permettant de déterminer la résistance en traction. Il s'agit des essais de traction par flexion, par fendage et de traction directe.

Les résultats permettent de comparer les valeurs trouvées avec les différentes méthodes en faisant une petite analyse.

Pour ce faire, le mémoire est divisé en quatre chapitres :

- **Premier chapitre :** Synthèse bibliographique sur le béton autoplaçant.
- **Deuxième chapitre:** Les matériaux utilisés.
- **Troisième chapitre:** Procédure expérimentale.
- **Quatrième chapitre:** Résultats expérimentaux et interprétations.

CHAPITRE I

Synthèse bibliographique sur le béton autoplaçant

I.1 Introduction

Les bétons autoplaçants (BAP ou SCC en anglais pour self compacting concrete) ont été formulés au Japon vers la fin des années 80 afin d'améliorer la rentabilité de la construction, d'assurer constamment une mise en place correcte avec un béton de qualité et de diminuer les nuisances sonores **[01].**

Ces bétons se développent maintenant en Europe et semblent être amenés à remplacer, à terme, les bétons vibrés classiques dans de nombreuses applications. Ils présentent en effet des intérêts à la fois techniques et économiques : absence de nuisances sonores en milieu urbain, possibilité de bétonner dans des zones fortement ferraillées ou à géométrie complexe et obtention d'une meilleure qualité du béton (pratiquement indépendante du savoir-faire des ouvriers) d'une part, diminution du temps de personnel lors de la mise en place et réduction des couts des processus industriels, d'autre part.

Le constructeur Algérien ne semble pas vouloir quitter le système classique de la construction et les applications en béton autoplaçant semblent être très limitées. Il est à noter que le béton autoplaçant nécessite un système de coffrage de qualité et parfaitement étanche.

Le principal problème dans la formulation d'un béton autoplaçant est de concilier des propriétés a priori contradictoires comme la fluidité et la résistance à la ségrégation. Pour augmenter la fluidité du mélange béton, l'eau est ajoutée dans ce cas, mais ce constituant peut affecter la viscosité du mélange en diminuant ainsi la résistance à la ségrégation. De ce fait, le bon choix des constituants s'avère souvent très nécessaire pour certaines formulations.

Les BAP se développent aujourd'hui un peu partout dans le monde, et plus particulièrement en Europe, son utilisation se développe dans le domaine de la préfabrication et dans celui du béton près à l'emploi (B.P.E). En Algérie, ce type de béton présent un intérêt certain puisqu'une meilleure qualité des ouvrages et aussi la complexité des coffrages commencent à se sentir de plus en plus ces dernières années **[02]**.

I.2. Définition d'un béton autoplaçant (BAP)

Un béton autoplaçant est un béton très fluide, homogène et stable, mis en œuvre sans vibration (la compaction des BAP s'effectuent par le seul effet gravitaire) et conférant à la structure une qualité au moins équivalente à celle correspondant aux bétons classiques mis en oeuvre par vibration.

Les BAP se distinguent des bétons ordinaires principalement par leurs propriétés à l'état frais. Les critères caractérisant un béton autoplaçant sont :

- les valeurs cibles d'étalement au cône d'Abrams sont généralement fixés dans la fourchette 60 cm à 75 cm (et pas de ségrégation visible en fin d'essai : auréole de laitance ou amoncellement de gros granulats au centre) ;
- le taux de passage à la boite en L doit être supérieur à 0,8.
- Le béton doit être stable sous l'effet de la gravité (pas de ségrégation) et présenter une capacité de ressuage limitée. L'absence de ségrégation visuelle lors de l'essai d'étalement au cône d'Abrams n'est pas suffisante.



Fig I.1: Béton autoplaçant **[03].**

I.3. Avantages techniques

- ✓ Bon remplissage des coffrages et enrobage des armatures adéquat sans vibration
- ✓ Facilité de coulage dans des endroits confinés et/ou difficiles d'accès.
- ✓ Possibilité de confectionner des structures de géométrie complexe et/ou fortementferraillées.
- ✓ Meilleures performances et durabilité grâce à leur grande compacité.
- ✓ Propriétés mécaniques analogues ou supérieures à celles du béton vibré.
- ✓ Amélioration des qualités esthétiques des parements et des surfaces.
- ✓ Mise en place aisée par pompage **[04].**

I.4. Matériaux constituants un BAP

Le ciment, les granulats, et l'eau forment les éléments de base de tous types de béton.

Ils sont qualifiés ainsi puisqu'ils sont historiquement les seuls constituants des bétons de nos ancêtres et parce qu'ils ont toujours les plus grosses proportions relatives dans le mélange de BAP**. [05]**

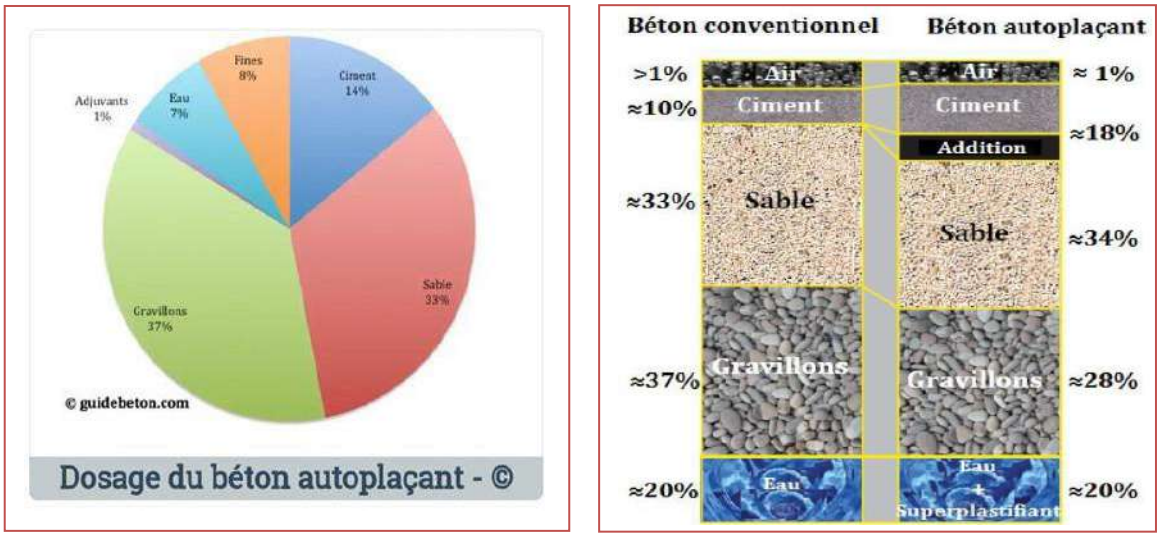


Fig I.2: Composition des BAP **[06].**

I.4.1 Ciment

Plusieurs travaux ont été menés sur les bétons autoplaçants dans le sens du choix du type de ciment à utiliser. Ces travaux montrent que la résistance et la durabilité du béton dépendent principalement du dosage du ciment **[07]**.

Avec l'augmentation du dosage de ciment dans le béton, plus de chaleur se produit au cours de l'hydratation du ciment ainsi que plus de déformations différées (retrait et fluage) à long terme. Il est à noter que les effets engendrés par l'ajout excessif du ciment sont propices à l'apparition des fissures pour les éléments en béton.

Etant donné que les bétons autoplaçants contiennent plus de fines que les bétons ordinaires, une partie du ciment est souvent remplacée par les additions minérales en vue de limiter les effets défavorables mentionnées ci-dessus tout en assurant la résistance et la durabilité suffisantes des bétons autoplaçants.

Tous les types de ciment utilisés dans les compositions des bétons conventionnels peuvent être utilisés pour les bétons autoplaçants.

Généralement, le ciment le plus utilisés pour la confection du béton autoplaçant est le CEM I 42,5 qui contient au moins 95% de clinker et éventuellement un constituant

secondaire, ou bien le ciment portland composé CEM II/A et B 42,5.

En principe tous les ciments conformes à la norme NF EN 197-1 conviennent pour la fabrication des BAP**. [08]**

I.4. 2 Les granulats

Les granulats sont définis comme l'ensemble de grains inertes compris Entre 0 mm et 40 mm (sable, graviers) dont l'origine peut être naturelle ou artificielle.

Nous distinguons les granulats roulés extraits de ballastières naturelles ou de rivières, et les granulats concassés, obtenus à partir des roches concassées exploitées en carrières. **[08]**

Les granulats sont classés selon les dimensions des grains qui les constituent et la courbe granulométrique représente la distribution, en pourcentage, des poids des matériaux passants dans des tamis de dimensions normalisées.

Pour faciliter l'écoulement du mélange, la confection d'un bon béton autoplaçant utilise généralement des granulats roulés de rivières et un apport de fines (par exemple des fillers calcaires) plus importants.

Du au fait que les frottements entre les granulats limitent l'étalement et l'aptitude au remplissage des bétons, la quantité de granulats est donc limitée, en général le rapport granulats/sable exprimé en masse est de 1 dans un BAP ($\frac{G}{S} = 1$).

Le risque de blocage dans un milieu fortement ferraillé augmente lorsque le D max augmente. Ainsi, le D max des granulats doit être compris entre 10 et 20 mm **[09]**.



Fig I.3: Les Granulats utilisés dans les bétons autoplaçants.

I.4.3. Eau

Il est connu que l'eau est l'un des facteurs les plus importants de l'ouvrabilité du béton autoplaçant. En augmentant la quantité d'eau, la concentration en solide diminue, et le béton devient fluide (seuil de cisaillement et viscosité diminuent) **[10]**. Cependant, en plus de diminuer la résistance mécanique du béton autoplaçant, l'introduction excessive d'eau provoque des problèmes de ségrégation

I.4.4. Les adjuvants

Les adjuvants sont des produits chimiques organiques ou inorganiques, incorporés en faible quantité (moins de 5% de la masse du ciment) sous forme de poudre ou de solution, avant ou pendant le malaxage, dans le but de modifier certaines propriétés du béton, qu'il soit à l'état frais, pendant la prise et le durcissement ou à l'état durci **[11,12].**

Chaque adjuvant est défini par une seule fonction principale et peut présenter une ou plusieurs fonctions secondaires **[12]**. On distingue essentiellement les adjuvants accélérateurs ou retardateurs de prise, les adjuvants réducteurs d'eau (plastifiant), les hauts réducteurs d'eau (superplastifiant ou fluidifiant) et les entraîneurs d'air.

Les adjuvants réducteurs d'eau et hauts réducteurs d'eau, comme leur nom l'indique, permettent de diminuer la quantité de l'eau de gâchage tout en ayant une bonne maniabilité du béton à l'état frais lors de sa mise en œuvre. Les fluidifiants sont des macromolécules de composition organique ayant une propriété dispersante. Ils agissent de deux manières :

- En s'adsorbant sur les particules du ciment, ils réduisent les forces d'attraction intergranulaires par la diminution des forces de Van der Waals ou la diminution de l'énergie superficielle du minéral ;
- En créant des forces de répulsion : encombrement stérique des molécules ou répulsion électrostatique. En effet, ces molécules sont généralement de charge négative.

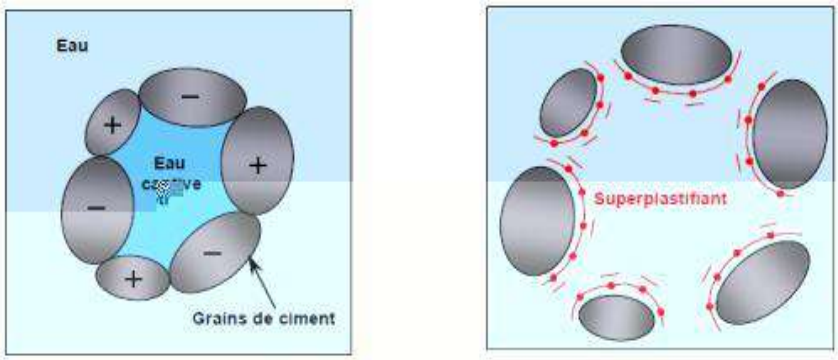


Fig I.4: L'effet du superplastifiant sur les grains de ciment.

I.4.5. Les superplastifiants

Un superplastifiants est un adjuvant qui, introduit dans un béton, un mortier ou un coulis, permet de réduire le dosage en eau et d'ajuster sa fluidité (augmenter l'affaissement au cône d'Abram), ceci entraîne une augmentation de la résistance mécanique avec:

A- augmentation de la fluidité (teneur en eau égale).

B- diminution de la teneur en eau (à fluidité égale).

C- diminution de la teneur en eau et augmentation de la fluidité**.**

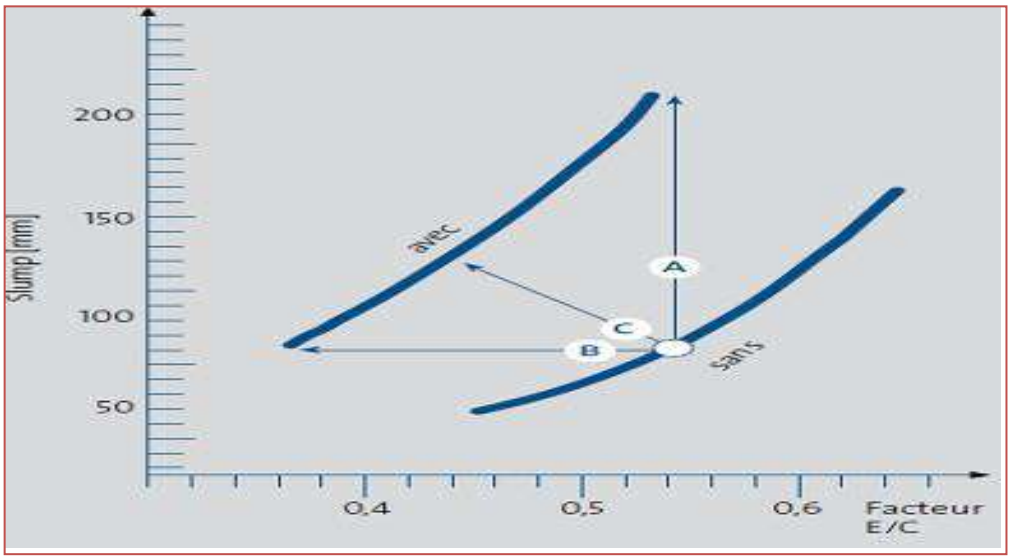


Fig I.5: Les utilisations des superplastifiants. **[13]**

I.4.6. Les Addition Minérales

L'emploi des pouzzolanes minérales pour faire des mortiers et des bétons est connu depuis l'Antiquité. Ces pouzzolanes désignent un grand nombre d'additions minérales aux origines diverses, mais qui présentent tous, le fait d'être fins et de réagir en présence d'eau et de chaux.

I.5. Caractéristiques des bétons autoplaçants

I.5.1 Propriétés d'un BAP à l'état frais

Pour pouvoir le qualifier d'autoplaçant, il faut s'assurer que le béton possède une très bonne capacité de remplissage qui résulte d'une déformabilité et d'une résistance à la ségrégation.

I.5.1.1. La Capacité de Remplissage

Le béton autoplaçant doit pouvoir remplir les coffrages les plus densément armés et sans l'intervention humain (pour la mise en place). Même dans le cas de présence d'obstacles qui peuvent interférer avec son écoulement.

Le remplissage est lié à la capacité de déformation de béton et le temps d'écoulement. Le test d'étalement au cône d'Abrams et L'essai Orimet qui a été développé à l'Université de Paisley donne des indications sur les deux aspects **[14].**

I.5.1.2. Etalement

La fluidité d'un BAP est estimée en mesurant l'étalement du matériau à l'aide d'un cône (cône d'Abrams). Le principe de cet essai est de mesurer le diamètre moyen final que prend le béton après le soulèvement vertical du cône **[15].**

Le diamètre de la galette de béton est le paramètre qui caractérise la fluidité, plus il est grand plus le béton est fluide (capacité de remplissage élevée) NF EN 12350 -8. L'étalement final d'un béton autoplaçant peut varier entre 50 cm et 80 cm **[16].**

La norme NF EN 206-9 prévoit une répartition des BAP en trois classes (Tableau I-1)

Tableau I.1: Classes d'étalement.

Classe	Etalement en mm
SF1	550 à 650
SF2	660 à 750
SF3	760 à 850

Cet essai est completé par la mesure du temps mis par l'étalement pour atteindre un diamètre de 50cm, et qui nous renseigne sur la vitesse de mobilité du béton. Deux classes sont définies (Tableau I-2). **[17]**

Tableau I.2: Classes de la viscosité apparente - t50

Classe	T_{50} en s
VS1	< 2,0
VS2	≥ 2,0

I.5.1.3. V-Funnel

L'objectif de cet essai est de mesuré le temps d'écoulement entre l'instant de l'ouverture de l'orifice de l'entonnoir et l'instant de l'apparition de la première lumière en regardant verticalement vers le bas de l'entonnoir de cet instrument (V Funnel) NF EN 12350-9.

Tableau I.3: Classes de viscosité apparente -V –funnel **[11]**

Classe	Temps en s
SF1	< 9,0
SF2	9,0 à 25,0

I.5.1.4. La Capacité de Passage

C'est la capacité du mélange de béton frais à l'étalement à travers des espaces confinés sans ségrégation, sans perte d'uniformisation et sans blocage. En définissant la capacité de passage, il faut prendre en considération, la géométrie et la densité du ferraillage, la capacité de remplissage du mélange ainsi que la dimension maximale du granulat, blocage des granulats est provoqué par la quantité importante de granulats dans le béton, et par la taille des plus gros granulats par rapport à l'ouverture entre armatures ou dans un confinement **[18].**

Le mécanisme de blocage peut être illustré dans un plan par le schéma de la Figure I-9 ci-dessous qui montre un béton s'écoulant entre deux armatures avant et au moment du blocage.

La capacité de passage peut être déterminée à l'aide de trois dispositifs, le cône d'Abrams en présence du J-Ring, la bote en L (L-Box) et la boite en U (U-Box) **[19].**

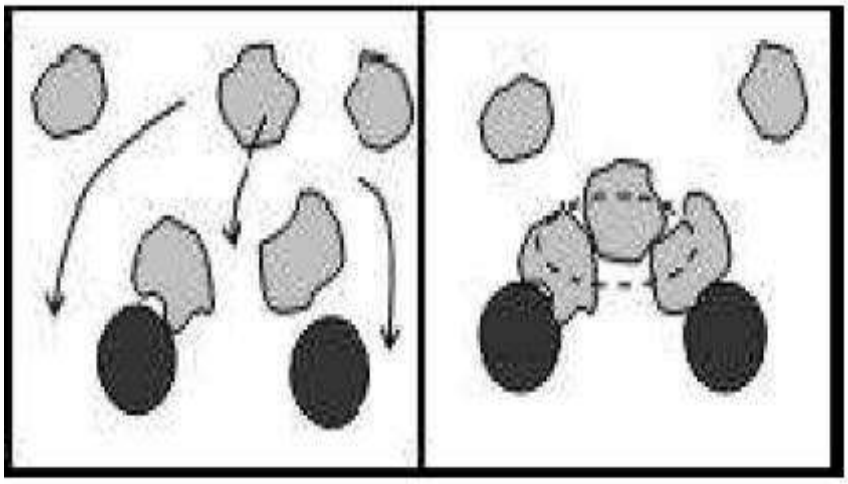


Fig I.6: Représentation en plan d'un blocage de granulats à travers deux armatures.

I.5.1.5. Boite en L

La résistance à la ségrégation dynamique se traduit par la capacité qu'a un BAP à traverser, sans blocage, ni formation de voûtes au voisinage des armatures. Cette propriété est aussi appelée la déformabilité restreinte.

Lors de l'écoulement d'un BAP, les risques de séparation de la phase granulaire de la pâte sont très élevés, notamment en présence d'armatures. Au coulage du béton, la trajectoire des granulats se trouve modifiée, les granulats ont tendance à converger vers les mêmes endroits en formant des voûtes au voisinage des armatures bloquant alors l'écoulement du béton.

Parmi les essais développés pour caractériser la déformabilité restreinte des BAP, il y a la boite en L décrit au paragraphe suivant.

Le principe de cet essai, est de remplir entièrement la partie verticale de la boite, laisser le béton se reposer 1 mn puis enlever la trappe et laisser le béton s'écouler dans la partie horizontale à travers le ferraillage NF EN 12350-10, On mesure les hauteurs H1 et H2 et on exprime le taux de remplissage H2/H1.

Notons que les distances entre les barres d'acier représentent un ferraillage standard pour des ouvrages de génie civil très ferraillés. Selon le groupe association française de génie civil AFGC **[18]**, le taux de remplissage doit être supérieur à 0,8.

Lorsque le béton s'écoule mal à travers le ferraillage et qu'il se produit un amoncellement de granulats en aval de la grille, c'est le signe d'un problème de blocage ou de ségrégation, il convient donc de diminuer le rapport G/S (augmenter la quantité de sable, ou diminuer celle des graviers), ou d'augmenter le volume de la pâte en maintenant le rapport E/C constant.

Tableau I.4: Classe l'aptitude à l'écoulement.

Classe	Taux de remplissage H2/H1
PL1	≥ 0,80 avec 2 armatures
PL2	≥ 0,80 avec 3 armatures

I.5.1.6. Essai de la stabilité au tamis

Une résistance à la ségrégation statique se traduit par la capacité qu'a un BAP à maintenir ses particules en suspension, sans risque de tassement des particules par gravité, ni ressuage.

Un BAP doit maintenir sa fluidité pendant la durée nécessaire pour son acheminement et sa mise en place. Or, pendant ce temps, en vertu de la loi de la gravité, les matières solides ont tendance à s'enfoncer, tandis qu'une partie de l'eau de gâchage et des fines remontent en surface de l'échantillon de béton frais (ressuage), créant ainsi une ségrégation des phases entre la partie supérieure et la partie inférieure du béton.

Pour caractériser la ségrégation statique d'un BAP on utilise l'essai de stabilité au tamis. L'essai de la stabilité au tamis permet de qualifier les BAP vis à vis du risque de ségrégation. Il s'agit de verser 10 litre du béton juste après le malaxage dans un sceau, puis couvrir le sceau pour protéger le béton de la dessiccation et laisser reposer durant 15 mn. Verser 5 kg du béton au centre d'un tamis 5mm, à une hauteur de chute de 50 cm, on récupère le béton passant dans un récipient. Après 2mn On mesure le pourcentage en poids de laitance par rapport au poids de l'échantillon passant au travers le tamis **[20].**

Les critères d'acceptabilité d'une formulation d'un béton autoplaçant sont divisés en trois classes**: [05]**

- 0% ≤ % **P**laitance ≤ 15 % : stabilité satisfaisante,
- 15% < % **P**laitance ≤ 30 % : stabilité critique : essai de ségrégation à réaliser in situ.
- % **P**laitance > 30 % : stabilité très mauvaise: ségrégation systématique, béton inutilisable.

$$\textbf{Le pourcentage de la laitance} = \frac{\textbf{la masse de laitance}}{\textbf{la masse de l'echantillan}} \times 100\ \%$$

❖ **Observation de la ségrégation**

Lors de l'essai d'étalement, deux indicateurs visuels peuvent alerter sur l'homogénéité du béton. Soit l'apparition d'un dôme de granulats au centre de la galette qui indique que la pâte n'apas les propriétés suffisantes pour entrainer les plus gros grains. **[21]**

Soit, l'apparition de laitance en périphérie de la galette qui montre une séparation des phases du béton (Figure I-7).



Fig I.7: Laitance en périphérie de la galette d'étalement.

I.5.1.7. Comportements Rhéologiques

La rhéologie est utilisé dans plusieurs domaines industriels, notamment les matériaux cimentaires (pâte, mortier et béton de ciment) afin de comprendre et d'identifier leur comportement à l'état frais.

Le comportement rhéologique des matériaux cimentaires est variable et dépend de la composition de la pâte (type de liant, adjuvant, rapport E/L), de la nature et de la teneur des granulats (sable, gros granulats), des différentes interactions entre les particules (hydrodynamiques, frictionnelles …etc.) et des conditions expérimentales. A travers la littérature **[22]**, on peut classifier les fluides selon leurs comportements rhéologiques (Figure. I-8). à savoir que les matériaux cimentaires considérés comme des suspensions de particules de tailles différentes dans un fluide de viscosité variable.

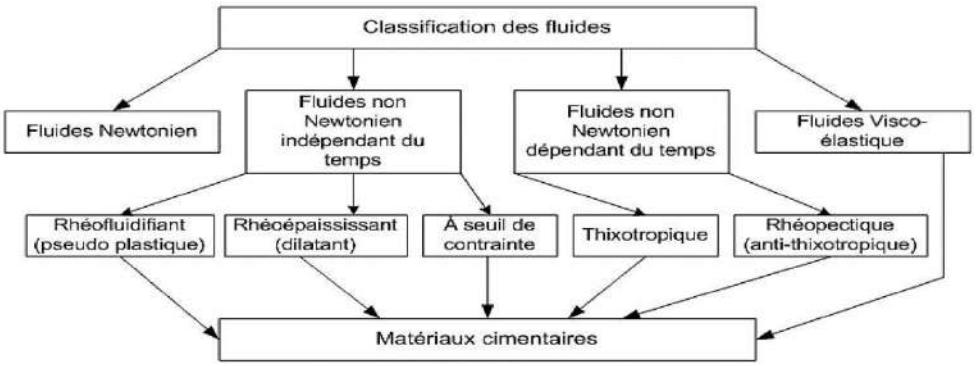


Fig I.8: Classification des fluides selon leur comportement rhéologique **[22].**

I.5.2. Propriétés d'un BAP à l'état durci

I.5.2.1 Résistances mécaniques

Le béton autoplaçant possède une structure plus homogène que le béton ordinaire, grâce à une résistance à la ségrégation élevée, conférant au béton autoplaçant une amélioration de résistance mécanique.

La résistance mécanique d'un BAP est directement liée à la qualité du squelette granulaire et au rapport E/C.

L'introduction d'un agent de viscosité peut diminuer légèrement la résistance mécanique d'un BAP aux jeunes âges **[23]**. Par contre le superplastifiant utilisé a un effet secondaire sur le temps de prise et le développement de la résistance mécanique.

I.5.2.2. Résistance à la compression

Un béton Autoplaçant avec un rapport E/L similaire, aura généralement une résistance légèrement plus élevée en comparaison à celle du béton ordinaire à cause du manque de vibration donnant une meilleure interface entre les agrégats et la pâte durcie **[24].**

I.5.2.3. Résistance à la traction :

Pour une résistance à la traction donnée d'un BAP, la résistance à la traction est comparable à celle d'un béton ordinaire car le volume de pâte (ciment + fines + eau) n'a aucune influence sur la résistance à la traction **[23].**

D'après Klug **[23]** la résistance à la traction des BAP est supérieure à celle des bétons vibrés, elle peut aller jusqu'à 40%.

Choi et al. **[25]** ont montré qu'il existe une relation entre la résistance à la compression et la résistance à la traction, cette relation est donnée par la formule suivante:

$$f_s = 0.076 f_{ck} + 0.5582$$

f_s : Résistance à la traction fendage (Mpa)

f_{ck} : Résistance à la compression à 28 jours (Mpa)

I.5.2.4. Module d'élasticité

Les différents matériaux de BAP peuvent montrer un différend comportement de relation contrainte-déformation si les BAP contiennent une faible quantité de gros granulats on se réfère à la formule réglementaire du module (Eij = 11000 fcj 1/3), celui-ci ne dépend que de la résistance du béton. Ainsi, à résistance égale, un béton autoplaçant aurait donc le même module qu'un béton vibré **[09].**

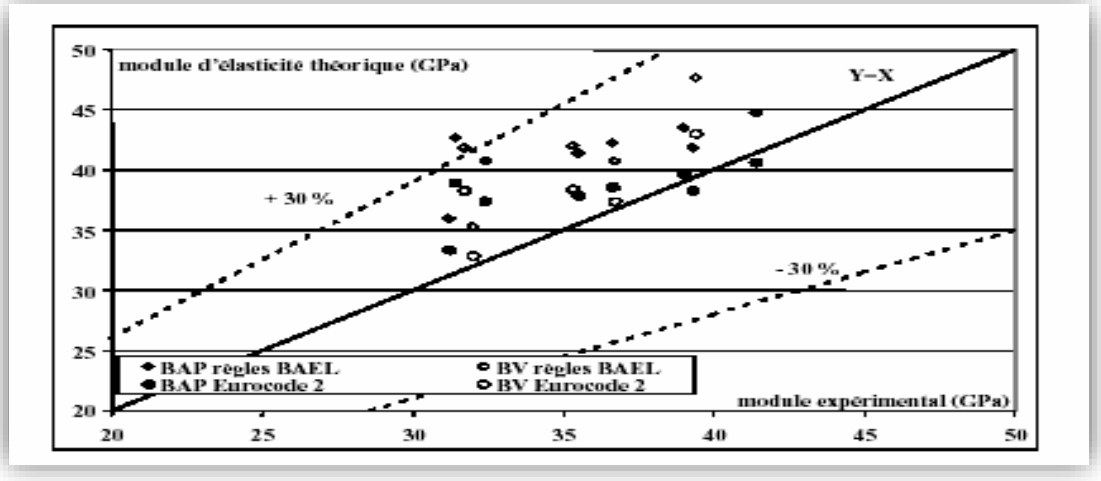


Fig I.9: Comparaison des modules élastiques de BAP et de bétons vibrés avec leurs valeurs expérimentales.

I.5.2.5. Le retrait

Le retrait est une variation dimensionnelle du béton en l'absence de chargement, du à l'élimination d'une partie de l'eau de gâchage et aux réactions d'hydratation des grains de ciment. Le siège du retrait se situé dans la pâte du ciment (Figure I-10).

Au moment du coulage, le béton est un mélange de particule en suspension. Pendant cette période, dite dormante, les réactions d'hydratation commencent et les premiers hydrates se forment. Le volume de ces hydrates étant inférieur aux réactifs, ce qui conduit à un retrait chimique appelé la contraction de Le Chatelier **[26].**

Avant le début de prise, le béton se trouve en phase plastique non cohésive. Pendant cette période, l'eau de gâchage n'est pas encore liée aux constituants du ciment, elle n'est retenue que physiquement et mécaniquement donc elle peut s'évaporer comme elle peut être absorbée par un coffrage en bois trop sec ou par des granulats poreux non humidifiés, et le béton subit une contraction volumique nommée retrait plastique qui est une déformation libre due à des phénomènes physico-chimiques (la gravité, les réactions d'hydratation, et les échanges thermiques avec l'extérieur) **[27].**

D'après Détriché (1996) **[28]**, ce retrait est d'origine exogène, la déformation engendrée se produit pendant un temps limité. Elle apparait dés que la surface d'exposition est exempte de l'eau de ressuage et son début coïncide avec le début de la prise qui est aussi la fin du ressuage. La fin dela période du retrait coïncide à peu près avec la fin de la prise**.**

A partir du début de prise, le volume des hydrates augmente et forme un squelette de plus en

plus dense. Comme l'eau dans les pores ne peut pas compenser la diminution du volume, elle se transforme en vapeur ; ce qui engendre des tensions capillaires et par la suite, une compression du squelette rigide (retrait d'auto-dessiccation).

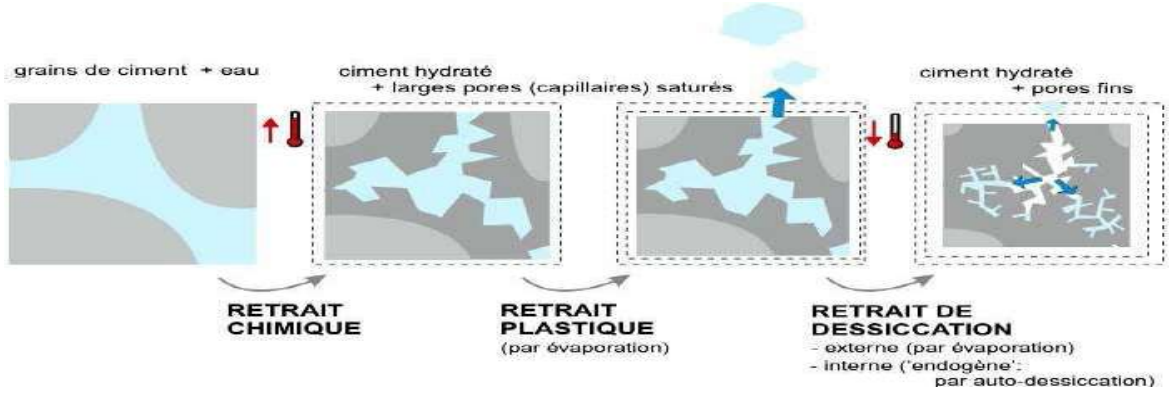


Fig I.10: Phénomène du retrait **[29].**

I.6. Méthode de formulation

I.6.1. La Méthode Japonaise

Plusieurs méthodes de formulation de béton autoplaçant ont été mise au point à savoir la méthode de Sakarta et les trois approches d'optimisation (du mortier, du volume de pâte et du squelette granulaire).

La méthode japonaise proposée en 1993 par l'équipe du professeur Okamura, connue sous le nom de la méthode de formulation basée sur l'optimisation du mortier, est celle optée dans ce travail **[30]**.

Elle propose de formuler le béton autoplaçant en composant en premier son mortier. Les bétons ainsi obtenus sont sous dosés en graviers et par conséquent loin d'un optimum économique.

Le principe de formulation est comme suit :

- Le volume de sable est posé arbitrairement à 40 % du volume du mortier du béton ;
- Les dosages en eau et en superplastifiant sont déterminés expérimentalement au moyen d'essais sur mortier (étalement avec cône à mortier et l'écoulement à l'entonnoir) ;
- Le dosage en gravillon est soigneusement déterminé pour minimiser le blocage ;
- La quantité du ciment doit être au minimum égal à 350 kg/m^3 ;
- Les rapports E/C et C/A peuvent être choisis sur des critères de résistance.

I.6.2. Méthode Française (LCPC)

Au LCPC , un model mathématique a été développé à partir d'un model de suspension solide , ce model est basé sur les interactions granulaire entre les différents constituants du mélange . Il permet de prévoir la compacité d'un mélange granulaire avec une précision inférieur à 1% à partir des constituants ci-après : **[28]**

- Les distributions granulaires,
- Les proportions du mélange
- La compacité propre
- La densité apparente

La procédure à adopter pour déterminer les proportions des divers constituants est lasuivante :

- la proportion du liant et fixée à priori (70% du ciment, 30% d'addition par exemple).
- le dosage, à saturation, du superplastifiant est déterminé, selon l'expérience du LCPC,ce dosage pourrait conférer au béton une viscosité élevée, la moitié de ce dosage serait plus pertinente.
- le besoin en eau de ce mélange (en présence de superplastifiant) est déterminé.
- les calculs sont effectués avec le logiciel en tenant en compte du confinement (effet de Paroi)
- La viscosité est fixée de manière arbitraire, La teneur en eau est réduite en conséquence et la proportion (liant / filler) est maintenue constante. Les proportions (granulats / phase liante) sont optimisées.

I.6.3. Méthode Suédoise (CBI)

La méthode de formulation suédoise est développée par CBI (Cément Och Betong Institute) et se caractérise par la prise en compte des conditions des chantiers. En effet, cette approche est basée sur l'évaluation des risques de blocage des granulats dans les milieux ferraillés. Elle permet d'optimiser la taille maximale des granulats par rapport à l'espacement entre les armatures et le volume des granulats dans le béton. **[31]**

Le principe de cette méthode s'appuie sur des tests effectués par différents auteurscités par **[05]** sur des mélanges de pâte de ciment et de granulats de différentes tailles.

Passant à travers différents espacements d'armature pour chaque taille de granulats, ils ont montré qu'il existe une teneur volumique critique de granulats en deçà de laquelle le risque de blocage est nul et au-dessus de laquelle le blocage est systématique. Cette teneur volumique critique est fonction de l'espacement entre les armatures (par rapport à la taille des granulats) et de la forme des granulats (roulés ou concassés).

Cette méthode suppose que le phénomène de blocage est indépendant de la nature de la pâte pourvu que celle-ci soit suffisamment fluide.
Les principales modifications et extensions de la méthode CBI sont apportées par **[32]**, qui a proposé un critère supplémentaire pour obtenir un béton autoplaçant. Il s'agit d'ajouter un volume de pâte pour assurer un espacement minimal suffisant entre les granulats afin de réduire les frictions et les frottements entre les granulats.

I.7. Fabrication, transport et mise en place des BAP

I.7.1. Fabrication des BAP

Pour la fabrication d'un BAP, notamment pour l'introduction de ses différents constituants, on appliquera les mêmes procédures que celles recommandées dans le cas du béton vibré bien entendu en les adaptant aux conditions locales dans chaque cas particulier.
Une attention spéciale doit être accordée à l'humidité des granulats, dont les variations devraient être le plus possible limitées. Des sondes d'humidité dans les silos granulats sont vivement conseillées à cet effet **(**Figure I-11**)**, afin de permettre une adaptation automatique de l'ajout d'eaudans le mélange **.** C'est la raison pour laquelle on se base généralement sur un temps de malaxage de 120 secondes. **[33]**



Fig I.11: Usine de fabrication de béton autoplaçant.

I.7.2. Transport des BAP

En raison de sa fluidité élevée, le béton autoplaçants doit être transporté en camion malaxeur. **(**Figure I-12**),** Comme dans le cas d'un béton vibré, la fluidité du béton peut se modifier durant le transport, la manière et l'ampleur de cette modification sont fonction de plusieurs paramètres :

Le type d'adjuvant, la durée de transport, le dosage en eau et la température.

Dans une certaine mesure il est possible de corriger ces modifications pour vérifier les exigences d'ouvrabilité souhaitées au moment du déchargement sur chantier.

Dans le cas de rajouts d'adjuvant dans le camion, il est recommandé de respecter impérativement le temps de malaxage minimal recommandé pour assurer la dispersion de l'adjuvant et sa répartition homogène dans l'ensemble du chargement de béton. En revanche tout ajout d'eau est à proscrire. **[33]**



Fig I.12: Les mécanismes de transport des BAP. **[34]**

I.7.3 Mise en place

Par rapport au béton vibré, la mise en place du béton BAP est grandement facilitée et peut généralement être réalisée par une seule (Figure I-13) personne, et selon trois méthodes différentes :

- La première méthode est celle utilisée pour les bétons ordinaires vibrés, la mise en place se fait à l'aide d'une goulotte. Pour limiter le phénomène de ségrégation favorisé par ce procédé il convient de fixer la hauteur de chute maximale du béton à 5m.
- La deuxième méthode consiste à utiliser un tube plongeur immergé dans le béton

frais, dansla partie inférieure du coffrage.

- La mise en place des BAP peut se faire par pompage, par cette troisième méthode il y a réduction du bullage et obtention de parements lisses. **[35]**



Fig I.13: Mise en place aisée du BAP par un seul ouvrier. **[34]**

I.8. Domaine d'utilisation des BAP

les BAP sont utilisables aussi bien pour la réalisation d'ouvrages horizontaux que verticaux, sur tous les types de chantier, de bâtiments ou de génie civil et pour la réalisation de nombreux produits préfabriqués en béton la plupart des ouvrages peuvent être réalisés en BAP (voiles, poteaux, piles, planchers, dalles, dallages, fondations, éléments de façade, mobiliers urbains, etc.)

les BAP sont particulièrement adaptés à la réalisation de structures pour lesquelles la mise en œuvre d'un béton classique est délicate, c'est-à-dire, présentant des :

-Densités de ferraillage importantes.

-formes et géométries complexes : voiles, courbes,……. .

-voiles minces et de grande hauteur : piles de pont,……. .

-voiles complexes avec de nombreuses réservations ou de grandes ouvertures.

-Exigences architecturales et qualité de parement particulière **[36].**

A titre d'exemple, nous citons quelques réalisations avec les BAP :

Le pont Akashi Kaikyo (Figure I-14), le plus long pont suspendu au monde (3910 m) ou

390000 m^3de béton autoplaçant ont été versés dans les coffrages des fondations et des piliers très congestionnés sans vibration.



Fig I.14: Le pont Akashi Kaikyo.

La tour Landmark Tower **(**Figure I-15**)**, ou un béton autoplaçant d'une excellente déformabilité a été mis en place avec succès dans 66 colonnes de 40 m de hauteur chacune.



Fig I.15: La tour Landmark Tower **[37].**

I.9 Conclusion

Le béton autoplaçant est un béton qui se compacte de lui-même par effet gravitaire, sans aucun apport d'énergie de compactage (par ex. vibration, damage).

Les propriétés caractéristiques de ce béton à l'état frais sont :

- fluidité et viscosité élevées, sans aucune tendance à la ségrégation
- capacité de passage dans les milieux confinés.
- excellente aptitude au remplissage des moindres recoins du coffrage par un béton homogène, même en présence de ferraillage dense. Le fastidieux travail de vibration est ainsi supprimé.

Un béton est qualifié d'autoplaçant lorsque ces trois critères sont vérifiés. Ainsi, un grand nombre de tests empiriques sont développés pour caractériser le béton vis-à-vis des propriétés d'ouvrabilité.

A l'état durci le béton doit garantir une durée de vie prolongée de la structure et des performances mécaniques donc une résistance élevée et une perméabilité minimale sont exigées pour celui-ci.

L'étape de formulation consiste une proportion optimale et bien précise des différents constituants dans le but d'obtenir les meilleures caractéristiques du béton.

Le facteur le plus important dans la formulation d'un BAP est l'eau. En effet, le principe de ce type de béton est de diminuer la quantité d'eau utilisée tout en assurant une bonne maniabilité à l'état frais. La diminution de la teneur en eau conduit à de bonnes caractéristiques mécaniques.

Toutes les méthodes trouvées dans la littérature demandent un certain nombre d'essais pour caractériser les constituants ou leurs interactions. Les essais en laboratoire sont pratiquement indispensables à une formulation scientifique des BAP.

CHAPITRE II

Les matériaux utilisés

II.1 Introduction

Nous présente dans ce chapitre les d'efférent qualités et caractéristique des matériaux locaux utilisés, pour la confection du béton, les essais ont été exécutés au laboratoire de génie civil à l'université de Médéa.

Les matériaux utilisés sont

- Le sable moyen de la région d'oued- souf .
- Le gravies 3/8 , 8/15 de carrière de la commune de hanacha wilaya de Médéa
- Le ciment utilisé est de type CEM I 42,5 R produit par group industriel de ciments SPA wilaya Biskra.
- Les adjuvants : le MEDAFLOW 145 (super-plastifiant).
- L'eau potable de laboratoire.

II.2 Caractéristiques des matériaux utilisés

II.2.1 Ciment

Le ciment utilisé est de type CEM I 42,5 R sans aucune addition (95 % clinker avec 5 % de gypse), produit par le groupe industriel des ciments de SPA Biskra (Figure II.1) et conforme à la norme NF EN 197-1 dont le clinker est produit et broyé conjointement avec le gypse par le groupe SPA. Ce ciment est utilisé pour la formulation des mortiers en fixant une fois le rapport E/L (eau/liant) à 0,38.

L'analyse chimique et physico-mécanique du ciment est donnée par le fournisseur est présentée dans le tableau **II.1** et **II.2**:



Fig II.1: Le ciment utilisé.

Tableau II.1: Composition chimique et minéralogique du ciment

Composition chimique	
Eléments	Teneur(%)
SiO_2	20.83
AL_2O_3	4.15
Fe_2O_3	5.58
CaO	62.19
MgO	1.42
K_2O	2.30
Na_2O	0.38
TiO_2	0.028
LOI	2.04
Composition minéralogique	
C3S	59.07
C2S	15.47
C3A	1.51
C4AF	16.96

Tableau II.2: Caractéristiques du ciment utilisé

Caracteristiques		Type de ciment	Norme
		Biskria	
Finesse (cm^2/g)		3300	NF EN 196-6 [64]
Masse volumique absolue (g/cm^3)		3.12	
Masse volumique apparente (g/cm^3)		1.01	NF EN 459-2 [65]
Consistance normale (%)		12.5	
Temps de prise	Début	2h36m	NF EN 196-3 [66]
	Fin	4h13m	
Classe de résistance (MPA)		42.5	NF EN 196-1 [67]

II.2.2 L'eau de gâchage

L'eau utilisée pour les mélanges de mortiers est une eau potable, exempte d'impuretés, issue du robinet de laboratoire de génie civil de l'université de Médéa.

II.2.3 Adjuvant

Les adjuvants permettent d'obtenir une grande fluidité et une parfaite homogénéité et qui sont nécessaires à l'obtention d'un MAP.

L'adjuvant qui sera utilisé est un super-plastifiant haut réducteur d'eau à base de poly-carboxylases modifies type MEDAFLOW 145, de masse volumique 1065 kg/m3, de pH = 5 - 6, de teneur en chlore < 1 g/L et l'extrait sec = 30 ± 1.5 (%.). Dosage d'utilisation recommandé varie de 0.3 à 2 % du poids du liant.



Fig II.2: Super-plastifiant Midaflow145.

II.2.4 Les granulats

- **Sable**

Le sable utilisé est un sable de dune qui provient de la région d'Oued-Souf. Il est propre, les grains sont de forme généralement isométrique et arrondie (Figure II .3). Il est séché pendant 24h à température de 105 °C. Les caractéristiques physiques de ce sable son données ci-après et sa courbe granulométrique est présentée dans la (Figure II.4**)**.



Fig II.3: Le sable utilisé.

Caractéristiques du sable :

- Masse volumique absolue : 2 .63 g/cm3
- Equivalent de sable : 83.33 %
- Module de finesse MF : 2.5
- Taux d'absorption : 0.7 %

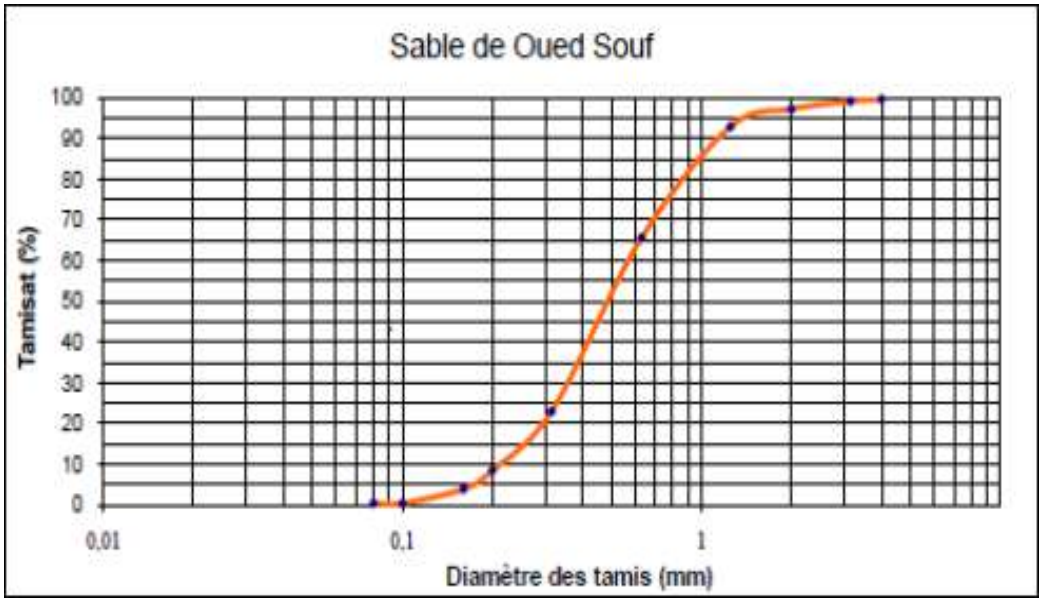


Fig II.4: Courbe granulométrique du sable de oued souf

- **Gravier**

Le gravier utilisé est un gravier concassé à deux classes granulaires (3/8 et 8/15) provenant de la carrière de HANACHA de la région de Médéa dont les propriétés physiques et mécaniques sont présentées au tableau II.3 et l'analyse granulométrique est présentée dans la figure (II.5 et II.6)



Fig II.5: Gravier de Hanacha 8/15.



Fig II.6: Gravier de Hanacha 3/8.

Tableau II.3: Propriétés physiques et mécaniques des graviers utilisés.

Caractéristiques du gravier	Fraction 3/8	Fraction 8/15	Normes
Masse volumique absolue (g/cm^3)	2.55	2.58	NF EN 1097-6 [38]
Masse volumique apparente (g/cm^3)	1.42	1.40	NF EN 459-2
Taux d'absorption d'eau (%)	2.3	2.5	NF EN 1097-6 [38]
Résistance aux chocs (los Angeles)	26.18	24.10	NF EN 1097-2 [39]

II.3 Formulation du mortier autoplaçant

Pour la formulation du mortier autoplaçant (MAP), comme mentionné précédemment, on s'est basé sur la méthode OKAMURA avec une amélioration au niveau de la teneur en sable, sur le rapport Eau/Liant (E/c) et le rapport Superplastifiant/Liant (Sp/L) pour s'adapter aux propriétés des matériaux locaux et en particulier le sable. La sélection du rapport sable/mortier et du rapport Sp/L est ajustée par l'essai d'étalement, dont le diamètre de la galette obtenue doit être dans l'intervalle 270 mm< d <330 mm, et par l'essai de l'entonnoir en (V-Funnel), dont le temps d'écoulement obtenu doit être compris entre 2 sec et 10 sec.

Tableau II.4: Formulation optimale du mortier autoplaçant.

Formulation du MAP
E/c = 0.4
S/M = 0.5
Sp = 0.85
Dmoy = 298 mm
Tmoy (s) = 5.62

II.4 Formulation du béton autoplaçant

en utilisant les résultats de la formulation du MAP , on passe à la formulation de BAP en suivant les étapes suivantes:

- On considère les résultats de MAP.
- L'optimisation de BAP toit être satisfaisante selon les recommandations d'EFNARC**.[40]**
- Si les résultats obtenus dans les MAP ne sont pas satisfaisants on essaye d'ajuster le SP vers le seuil inférieur ou supérieur pour obtenir un BAP.

Les constituants du BAP pour 1 m3 sont regroupés dans le tableau II. 5. Deux formulations sont testés et celle qui donne satisfaction par rapport aux recommandations d'EFNARC est la F2

Tableau II.5: Compositions de différentes formulations BAP étudiés dans un volume de 1 m^3 de béton.

Les compositions	F1	F2
Ciment (kg)	463.97	463.97
Sable (kg)	874.41	874.41
Gravier 3/8 (kg)	270.63	270.63
Gravier 8/15 (kg)	539.91	539.91
Eau1 (kg)	144.564	144.564
Eau2 (kg)	61.956	61.908
Super plastifiant (kg)	3.94	4.16
E/C	0.4	0.4
S/M	0.5	0.5
Sp(%)	0.85	0.9

La formulation qui répond aux normes d'un BAP est F2.

II.5 Conclusion

A l'issue de ce chapitre nous pouvons tirer quelques conclusions :

Après avoir préparé les matériaux de base, Le principe des formulations consiste à choisir une proportion optimale des différents constituants pour obtenir les meilleures caractéristiques du béton.

Le facteur le plus important dans la formulation d'un BAP est l'eau. En effet, le principe de ce type de béton est de diminuer la quantité d'eau utilisée tout en assurant une bonne maniabilité et une résistance à la ségrégation à l'état frais. La diminution de la teneur en eau conduit à de bonnes caractéristiques mécaniques. cela était rendu possible par l'utilisation d'un superspastifiant.

CHAPITRE III

Procédure expérimentale

III.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à la formulation des bétons autoplaçant étudiés, ainsi que leurs caractérisations rhéologiques à l'état frais (étalement au cône d'Abrams, boite en L et l'essai de stabilité au tamis, essai à l'entonnoir) et physico-mécanique à l'état durci (résistances mécaniques à la compression, à la traction par flexion, à la traction par fendage et à la traction directe).

Les connaissances acquises depuis l'apparition des BAP et la meilleure maîtrise de toutes les étapes (formulation, fabrication, mise en œuvre et contrôle) sont suffisantes pour permettre l'utilisation de ces bétons dans de nombreuses applications.

Le comportement d'un BAP à l'état frais se différencie notablement de celui d'un béton ordinaire. Son ouvrabilité se décline classiquement suivant : sa mobilité en milieu non confiné, sa mobilité en milieu confiné et sa stabilité (vis à vis de la ségrégation et du ressuage).

La formulation d'un tel béton est donc plus complexe que celle d'un béton traditionnel et implique une composition spécifique.

Nous avons choisi de présenter différemment les caractéristiques des BAP et d'aborder la complexité du matériau selon ses trois principales caractéristiques :

- La fluidité
- L'homogénéité
- La robustesse

III.2 Séquence de malaxage du béton

La séquence de mélange et la composition du béton jouent un rôle important dans l'obtention de l'hydratation correcte, ce qui se traduit par un béton efficace et durable. Le mélange se fait dans une bétonnière d'une capacité de 40 litres. La séquence de malaxage est décrite comme dans la (Figure III.1)

- Calculer la quantité d'eau effective que l'on va mettre dans la bétonnière. Ce calcul permet de prendre en compte l'eau contenue dans les gros granulats et le sable tout en connaissant le coefficient d'absorption de chacun (**Annexe D**).

- Calculer les proportions du ciment, sable, gravier 3/8, gravier 8/15 et superplastifiant (**Annexe D**).
- Malaxer le sable, ciment et gravier (3/8 et 8/15) pendant 30 secondes pour homogénéiser le mélange.
- Ajouter pendant 1 minute la première quantité d'eau (Eau 1 = 70% Eau).
- Ajouter pendant 1 minute le superplastifiant dilué dans le restant de l'eau de gâchage
- (Eau 2 = 30% Eau).
- Malaxer pendant 3 minutes
- Arrêter le malaxeur et laisser le mélange au repos pendant 2 minutes.
- Malaxer pendant 30 secondes.

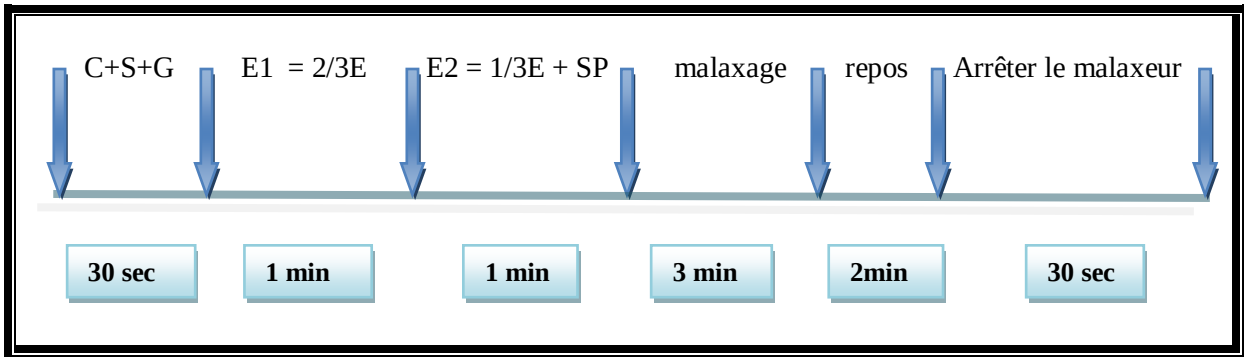


Fig III.1: Séquence de malaxage du béton autoplaçant.



Fig III.2: Malaxage du béton autoplaçant.

III.3 Remplissage de moules

Les moules utilisés pour les remplir avec du béton pour fabriquer des éprouvettes sont des moules en acier :

Moules cylindriques (10×20 cm) pour l'essai de compression + traction par fendage + traction directe.

Moules prismatiques (7×7×28 cm) pour l'essai de traction par flexion.



Fig III.3: Moules utilisés.

III.4 Démoulage et conservation des éprouvettes

Le coulage est réalisé sans vibration ni compactage dans des éprouvettes cylindriques de 10×20 cm et des éprouvettes prismatiques de 7×7×28 cm.

On stock le éprouvettes dons une salle en attendant le démoulage après 24 heures.

Après le démoulage, les éprouvettes ont été conservées soit dans un bac remplit d'eau à une température de 20 ± 2C°, ou bien a l'air libre du laboratoire à la température ambiante de 20°C ± 2°C, jusqu'au moment des essais.

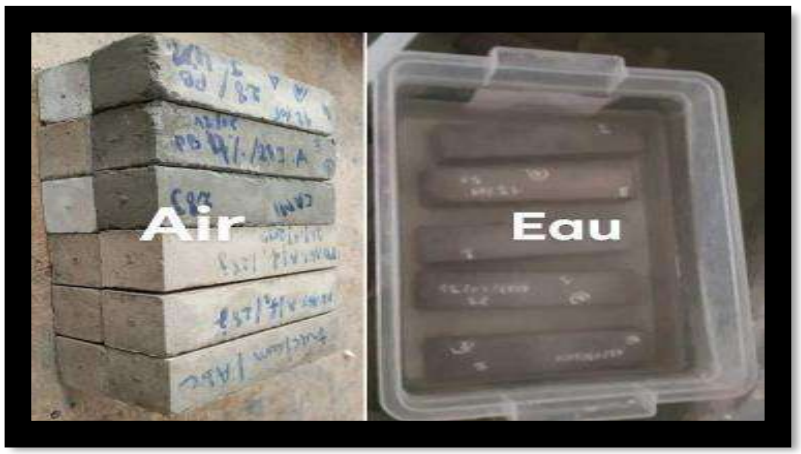


Fig III.4: Conservation des éprouvettes.

III.5 Essais sur béton à l'état frais

III.5.1 Essais d'Etalement (Flow test)

III.5.1.1 But L'essai

L'étalement au cône permet de mesurer la consistance d'un béton.

III.5.1.2 Appareillage

Table d'étalement : table mobile, comportant un plateau plan et carré d'au moins 900 mm de côté, qui est destiné à recevoir le béton. Le plateau de la table d'étalement doit être recouvert d'une plaque en acier inoxydable, d'une épaisseur minimale de 2 mm, non attaquable par la pâte de ciment. Le plateau doit être conçu de façon à éviter toute déformation de la plaque en inox. Le centre de la table doit être marqué de deux cercles concentriques centrés de (210 ± 1) mm et de (500 ± 1) mm de diamètre.

Cône d'Abrams: moule en métal non directement attaquable par la pâte de ciment, d'une épaisseur min. de 1,5 mm. La paroi intérieure du moule doit être lisse, sans aspérités telles que des protubérances de rivets et sans déformations locales. Le moule doit avoir la forme d'un tronc de cône creux aux dimensions intérieures suivantes :

- diamètre de la base : (200 ± 2) mm ;
- diameter du haut : (100 ± 2) mm ;
- hauteur: (300± 2) mm.

Les deux extrémités sont ouvertes, parallèles, et situées dans un plan perpendiculaire à l'axe du cône. Le moule doit être suffisamment lourd ou muni, à sa partie inférieure, de pattes d'appui afin de le rendre immobile durant le remplissage**. [41]**

Entonnoir, en matériau non absorbant et non directement attaquable par la pâte de ciment, ayant un collier permettant à l'entonnoir d'être placé correctement sur le cône d'Abrams spécifié ci dessus.

- Règle, graduée de 0 à 900 mm, avec des graduations de 5 mm, le zéro étant situé à une extrémité de la règle.
- Seau d'une capacité minimale de 10 litres et muni d'un bec verseur.
- Truelle.
- Chiffon humide.
- Chiffon humide.

- Minuterie ou horloge capable de mesurer à 1 s près.
- Main-écope.
- Niveau.

III.5.1.3 Mode opératoire

S'assurer que le plateau est placé sur un support stable et horizontal.

Humidifier la surface de la plaque ainsi que le cône d'Abrams (éliminer l'eau en excès avec le chiffon humide il y a lieu de ne plus avoir d'eau libre en surface de la plaque et du moule).
Placer et centrer le cône d'Abrams sur le plateau.

Prélever un échantillon de béton représentatif.

Le prélèvement est réalisé à l'aide d'un seau directement à la goulotte du mixer. S'il y a lieu d'utiliser une brouette, l'échantillon global doit être ré-homogénéisé à la main écope avant de constituer l'échantillon réduit (remplissage du seau).

Equiper la partie supérieure du cône de l'entonnoir. Remplir le cône en déversant de manière continue, à l'aide du seau, jusqu'à l'arase supérieure du cône.

Retirer l'entonnoir, araser si nécessaire à l'aide d'une truelle et nettoyer la plaque si nécessaire avec un chiffon humide.

Soulever le cône verticalement. L'enlèvement du moule doit se faire, par une remontée verticale régulière sans imprimer au béton un mouvement latéral ou de torsion, en maximum 5 s.

Maintenir le moule au-dessus du béton minimum 10 s et à une hauteur (par rapport à la base du moule) de maximum 30 cm.

L'ensemble des opérations, depuis le début du remplissage jusqu'à l'enlèvement du moule, doit être réalisé sans interruption et terminé en moins de 150 s.

Une fois que le béton s'est étalé sur la table, mesurer (au centimètre le plus proche)l'étalement selon deux diamètres perpendiculaires.

Noter ces deux valeurs D1 et D2.

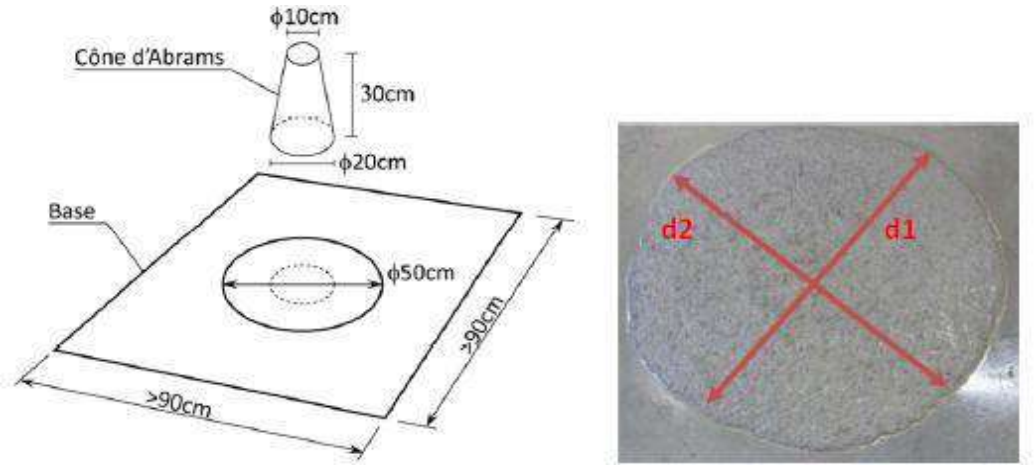


Fig III.5 Essai d'étalement d'un BAP**.**

Si les deux valeurs diffèrent de plus de 5 cm, l'essai doit être rejeté et reconduit. Exprimer le résultat final en terme de moyenne des deux valeurs obtenues, en arrondissant au centimètre supérieur. Slump flow =(D1+D2)/2.

- ✓ On peut également chronométrer la valeur du T50 (temps nécessaire après soulèvement ducône pour que le béton atteigne le cercle de 50 cm).
- ✓ Après mesure de l'étalement, un contrôle visuel de la galette de béton peut aussi s'avérer intéressant. En effet, les gros granulats doivent être apparents à la surface du mélange et être uniformément répartis. De plus, sur le pourtour de la galette, il ne peut y avoir une auréolede laitance.

III.5.2 Essai à l'entonnoir en V (V-Funnel test)

Cet essai consiste à étudier la mobilité du béton en milieu confiné. L'essai d'écoulement auV-Funnel, dont les dimensions sont définies (Figure III.6) mesure le temps d'écoulement d'un échantillon de béton à travers un entonnoir de dimension spécifiée.
Ce temps d'écoulement est un critère utilisé pour définir la viscosité du béton autoplaçant.
Il s'agit deremplir l'entonnoir de béton, puis on le laisse reposer pendant 1 minute.
L'essai consiste à observer l'écoulement du béton à travers l'entonnoir et à mesurer le temps d'écoulement entre le moment où la trappe est libre et le moment où on aperçoit la lumière par l'orifice. **[42]**

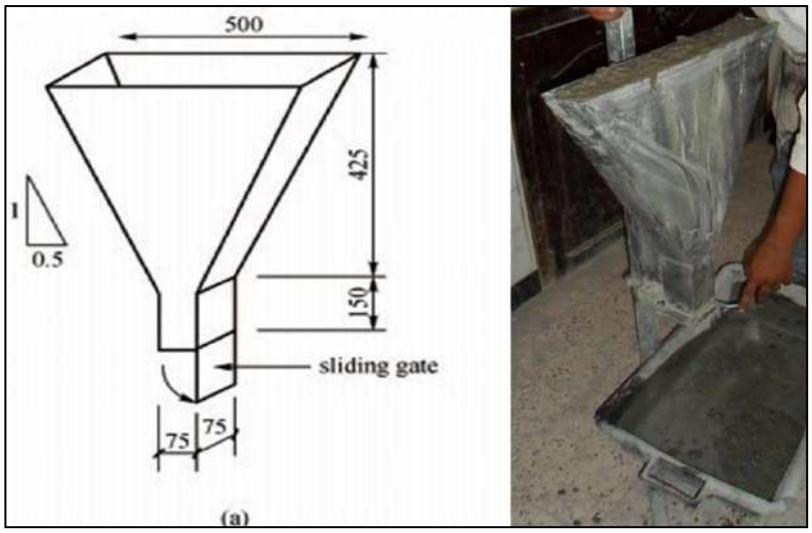


Fig III.6 Essai V-funnel.

III.5.3 Essais de la boite en L

La cohésion armée peut se mesurer avec l'essai de la boite en forme de L.

Cet essai permet de vérifier que la mise en place du béton ne sera pas contrariée par des blocages de granulats en amont des armatures. La méthode consiste à remplir de BAP la partie verticale d'une boite, puis en levant une trappe à laisser le béton s'écouler dans la partie horizontale à travers un ferraillage (le nombre et le diamètre des du béton, sa mobilité en milieu confiné et son aptitude à traverser une zone fortement armatures peuvent être adaptés pour traduire le ferraillage réellement présent dans la structure). Après écoulement du béton, on mesure la différence de hauteur dans la partie verticales (H1) et horizontale (H2). Le résultat de l'essai s'exprime par le taux de BAP. Remplissage H2/H1. Une valeur de ce rapport supérieur à 0.8 traduit un bon écoulement**. [43]**

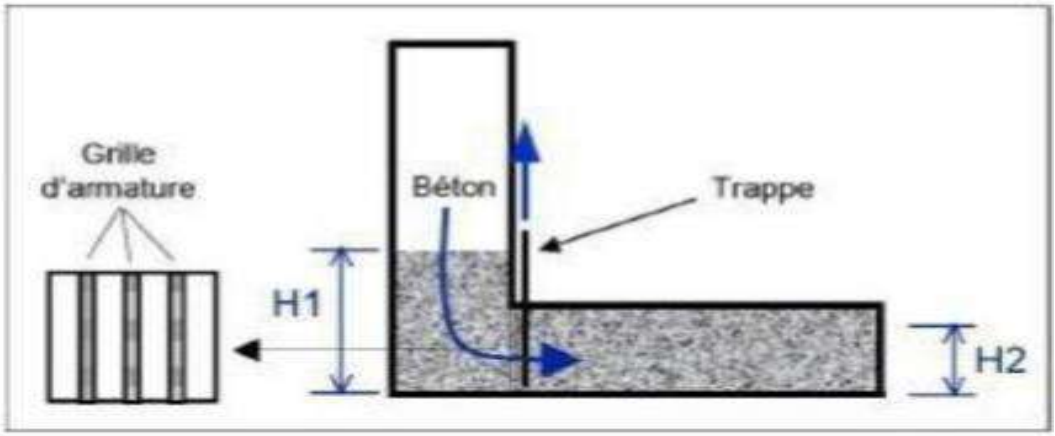


Fig III.7 Essai de boite en L

La boite en L permet de tester la mobilité de béton en milieu confiné et de vérifier que la mise en place du béton ne sera pas contrariée par des phénomènes de blocage inacceptables.

III.5.3.1 Matériel utilisé

Celui représenté sur la figure III.8



Fig III.8 Essai de Boite en L exécutés au laboratoire.

III.5.3.2 Mode opératoire

La parie verticale de la boite est entièrement remplie de béton (le volume nécessaire est d'environ 13 litres). 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 boite en L à travers le ferraillage. La distance libre entre les barres est de 39mm.

Quand le béton ne s'écoule plus, on mesure les hauteurs H1 et H2 et on exprime le résultat en terme de taux de remplissage H2/H1.

Lorsque le béton s'écoule mal à travers le ferraillage et qu'il se produit un amoncellement de granulat en avale de la grille, c'est le signe d'un problème de blocage ou de ségrégation.
A noter que les temps nécessaires pour des écoulements horizontaux respectifs de 20 cm et 40 cm (à matérialiser sur le fond de la boite en L) peuvent être mesurés pour estimer la viscosité du béton.

III.5.4 Essai de stabilité au tamis

Cet essai permet d'étudier la résistance à la ségrégation et au ressuage du BAP, qui doit être stable sous l'effet de la gravité. Il consiste à déverser une quantité de béton (2 litres) sur un tamis (de maille 5 mm) avec une hauteur de chute de 50 cm (NF EN 12 350-11). Le pourcentage en poids de laitance ayant traversé le tamis par rapport au poids de l'échantillon initial exprime lastabilité du béton. Ce rapport doit être compris entre 10 % et 20 % **[02]**



Fig III.9 Essai de stabilité au tamis.

III.5.4.1 Objet de l'essai

Cet essai vise à qualifier les bétons autoplaçant vis-à-vis du risque de ségrégation. Il peut être utilisé en phase d'étude de formulation d'un béton autoplaçant en laboratoire, ou pour le contrôle de la stabilité du béton livré sur chantier.

Cet essai complète les essais permettant d'apprécier la mobilité, en milieu confiné ou non, en Caractérisant la stabilité.

III.5.4.2 Matériel utilisé

- Seau de 10 L + couvercle
- Tamis 5 mm diameter 315 mm + fond
- Bascule : précision minimale 20 g, portée minimale 20kg

III.5.4.3 Mode opératoire

- Echantillonnage :
- En laboratoire : Malaxer, verser directement 10 litres de béton dans le seau.
- Temps d'attente entre l'arrêt du malaxeur et le prélèvement < 30s.
- Sur chantier, BPE amené par camion malaxeur : Malaxer à grande vitesse pendant 1 minute.
- Remplir le seau avec 10 litres de béton directement depuis la goulotte ducamion.
- Sur chantier avec centrale, mise en œuvre à la benne : Prélever 10 L debéton en tête de benne à la main écope pour remplir le seau.

- Couvrir le seau pour protéger le béton de la dessiccation.
- Attendre 15 mn.
- Peser le fond et le tamis à vide.
- Peser le fond seul.
- Poser tamis+fond sur la bascule.
- Faire la tare.
- Observer et noter l'éventuelle présence d'eau claire de ressuage à la surface du seau après les 15mn.
- Verser sur le tamis un poids de béton égal à 4,8 kg - tolérance ± 0.2 kg ; verser ce béton au centre du tamis : hauteur de chute du béton de 50 cm ± 5 cm.
- Noter le poids réel lu de l'échantillon.
- Attendre 2 mn.
- Faire la tare.
- Peser le fond avec la laitance :
  - ✓ On à : P laitances = P fond + laitance –P fond
  - ✓ Calculer le pourcentage en poids de laitance par rapport au poids del'échantillon.
  - ✓ ð = (P laitance/P échantillon)*100

III.5.4.4 Critères d'acceptabilité

Les critères qui suivent sont particulièrement adaptés aux applications de béton auto plaçant en éléments verticaux. La mesure de pourcentage de laitance conduit è classer les formules de béton auto plaçant de la façon :

- ❖ 0% ≤ %P laitance ≤ 15% **stabilité satisfaisante**.
- ❖ 15% < % P laitance ≤ 30% **stabilité critique** (essai de ségrégation à réaliser in situ)
- ❖ % P laitance > 30 **stabilité très mauvaise** (ségrégation systématiquement, béton inutilisable). Par ailleurs, la détection d'eau de ressuage lors de l'essai n'est pas acceptable.

Cela induit des risques de tassement, de délavage du parement et d'altération de la permutabilité.

III.6 Essais sur béton à l'état durci

III.6.1 Résistance à la compression

L'essai de compression consiste à soumettre des éprouvettes de béton cylindriques à diamètre (10) x(20) cm à l'écrasement par compression axiale (après 28 jours). La mise en charge doit se faire d'une manière continue jusqu' à la rupture de l'éprouvette **[44]**. On note la charge maximale atteinte P (KN) et la surface de chargement S (m^2). La contrainte maximale (résistance à la compression) s'écrit alors :

$$\sigma c\ [MPa] = P / S$$



Fig III.10 Presse utilisée pour mesurer de résistance à la compression.

III.6.2 Résistance à la traction par flexion

L'essai de résistance à la traction par flexion est effectué en conformité avec la méthode qui consiste à soumettre des éprouvettes prismatiques, reposant sur deux appuis, à une charge croissante concentrée au milieu jusqu'à la rupture. La charge est appliquée à l'aide d'une presse à lecture digitale reliée à un système d'acquisition (PC) par lequel on introduit la vitesse de chargement (50 N/s). La force à la rupture est donnée par le même système. La résistance à la traction par flexion est obtenue en faisant un simple calcul de résistance des matériaux.

On trouve la résistance à la flexion qui se localise au milieu de l'éprouvette, et se calcule parla formule suivante :

$$\sigma_f = \frac{3F_f l}{2a^3} \times 0.6$$

F_f *:* force concentrée en KN

l : distance entre les deux appuis l=3a (en cm)

a : Coté et hauteur de l'éprouvette prismatique



Fig III.11 Détermination de la résistance à la traction par flexion.



Fig III.12 Surface de rupture.

III.6.3 Résistance à la traction par fendage

La norme [EN 12390-6] précise en particulier les dispositions de mise en charge. L'éprouvette est placée horizontalement entre les plateaux de la presse. Le contact des génératrices supérieure et inferieure avec les plateaux est assure par l'intermédiaire de bandes de mesures en contreplaque Okoumé. **[45]**

$$\sigma_{max} = \frac{2 \times N_{max}}{\pi \times D \times L}$$



Fig III.13 Essai de traction par fendage.

III.6.4 Résistance à la traction directe

C'est un essai très délicat à réaliser, qui ne peut être utilisé de manière courante.

Cet essai est réalisé sur des éprouvettes cylindriques ou prismatiques, et consiste à appliquer à chacune des extrémités de l'éprouvette un effort de traction parfaitement centré afin d'éviter l'apparition d'un moment de flexion parasite. Il nécessite après sciage des extrémités de l'éprouvette sur un ou deux centimètres pour éliminer de béton dont la qualité est toujours perturbée.

Le collage des têtes de traction est assuré au moyen d'une colle dont la résistance est supérieure à celle du béton (Aral dite ou résine Epoxy).

Le dispositif comporte des tiges de traction centrées et articulées par rotules (Figure III.14).

La résistance à la traction R, est donnée par la formule classique de la résistance des matériaux :

$$R_T = N/S$$

N et S représentent respectivement l'effort de rupture et la section de l'éprouvette.

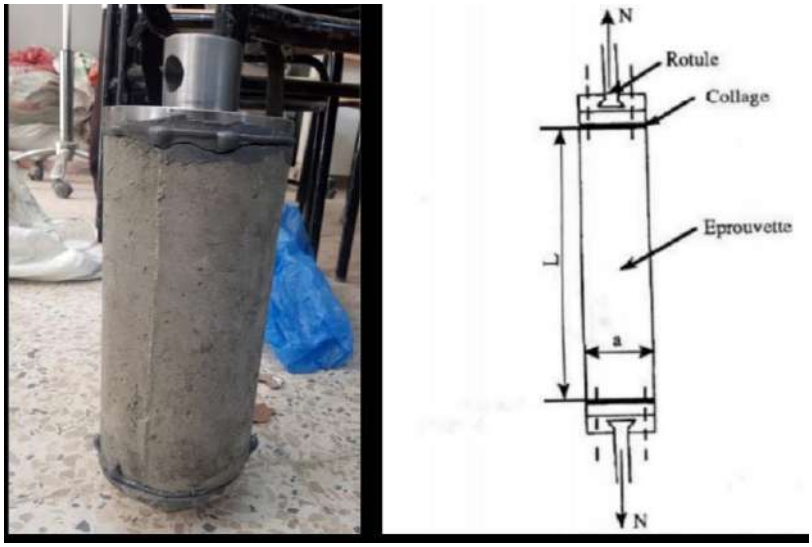


Fig III.14 Dispositif de traction directe**.**

Cet essai satisfaisant sur le plan théorique, présente néanmoins certaines difficultés au niveau pratique :

Il est assez dispersé dans ses résultats, en raison des ruptures qui se produisent souvent dans les zones de collage ou au niveau des mors de la machine (pour les appareils équipés de ce dispositif).

Dans cette zone se produit une importante concentration de contrainte provoquée par les forces d'écrasement dues au serrage (Figure III.15).
Il est relativement coûteux et nécessite une simplification pour être largement utilisé.



Fig III.15 Essai de traction directe.

III.7 CONCLUSION

Le troisième chapitre est consacré à l'étude pilote, dans laquelle nous présentons les essais réalisés dans notre laboratoire; ce sont les essais sur béton à l'état frais et à l'état durci , et la méthode utilisée est la méthode dite "AFGC", utilisée pour calculer les masses de composants de béton auto-référencés.

Dans cette partie, on s'intéresse à l'étalement du béton auto plaçant on utilisant le cône d'Abrams. Puis la fluidité (la capacité de remplissage) en utilisant la boit en L. l'étude du mouvement du béton dans un environnement confiné est mené au moyen d'essais de suppression et la résistance à la ségrégation par l'essai de stabilité au tamis.
En plus de l'essai de compression, 3 types d'essai de traction sont utilisés pour évaluer la différence de résistance obtenue entre ces 3 types.

CHAPITRE IV

Résultats expérimentaux et interprétation

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons une synthèse des essais rhéologiques, physiques et mécaniques réalisés sur un béton autoplaçant témoin sans ajouts à l'état frais et à l'état durci.

IV.2 Résultats des essais à l'état frais

Tableau IV.1: Résultats d'essais sur les bétons frais.

L'étalement (mm)	V-Funnel (sec)	la boite en L (%)	Stabilité au tamis (%)	Adjuvant Sp (%)
810	**6.37**	**90**	**15**	**0.9**

Ce tableau résume les paramètres avec lesquels on peut juger de la qualité du BAP à l'état frais. ces résultats sont obtenus avec un dosage de 0.9 % en superplastifiant SP

- Un étalement de 810 mm permet de classer ce BAP dans la catégorie 3 des bétons employés pour des applications verticales en structures très encombrées, structures avec des formes complexes.

- avec Tv = 6.37 s, ce BAP s'inscrit donc parmi les deux classes du BAP et montre une bonne capacité de remplissage même avec des renforts denses

- La valeur de 90% de H2/H1 est satisfaisante pour un bon BAP

- Pour compléter les essais permettant d'apprécier la mobilité, en milieu confiné ou non, l'essai de stabilité au tamis qui donne une valeur de 15 %, témoigne d'une Stabilité satisfaisante pour ce BAP

IV.3 Résultats des essais à l'état durci

On a utilisé des éprouvettes prismatiques 7x7x28 cm et cylindrique 10x20 cm pour évaluer la résistance du béton autoplaçant.
la durée de conservation est de 50 jours dans l'eau et à l'air.

IV.3.1 La résistance à la compression à 50 jours d'un BAP

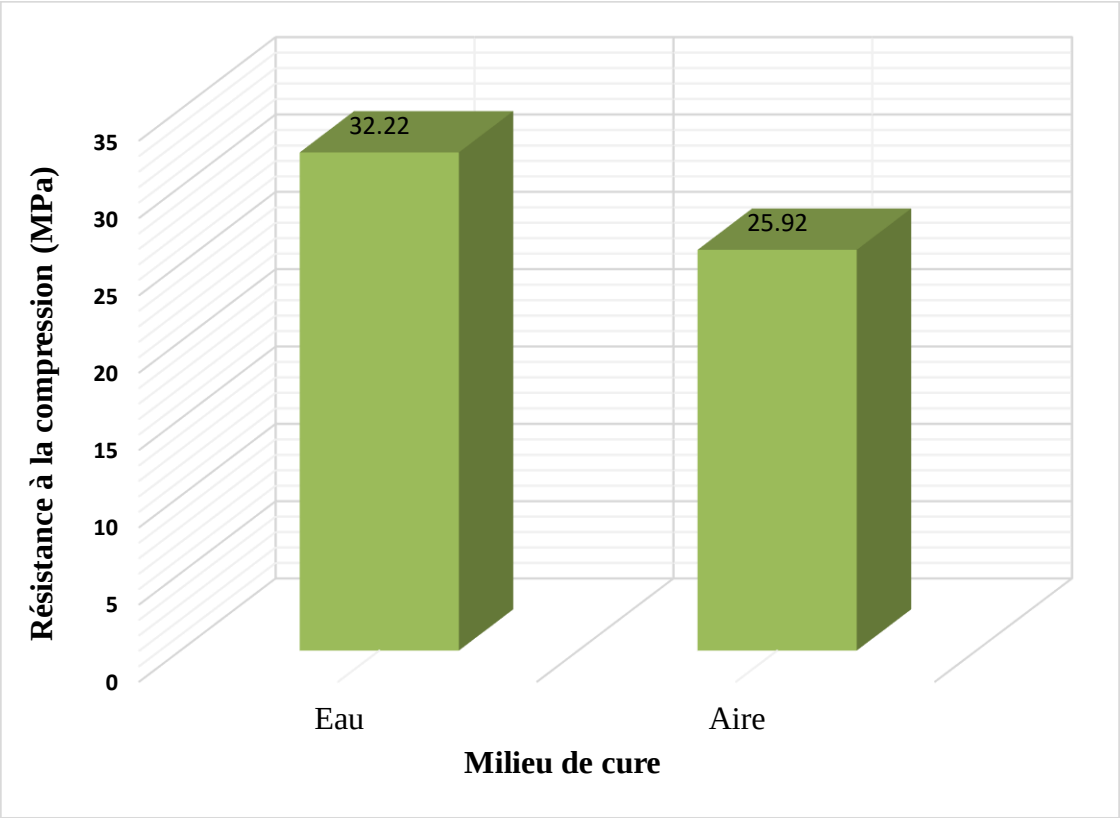


Fig IV.1 : Effet du milieu de cure sur la résistance à la compression à 50 jours d'un BAP formulé avec des matériaux locaux.

Selon la figure IV.1, on remarque que la résistance à la compression satisfait la règle générale pour un béton ordinaire où celle ci est meilleur pour un BAP conservée dans l'eau qu'à l'air libre. Un gain de résistance de 24% est obtenu

IV.3.2 Résistance à la traction du BAP conservé à l'eau

En représentant sur un même graphique, la résistance à la traction du BAP obtenue par 3 méthodes d'essai différentes, on obtient le graphe de la figure IV. 2. pour le cas de cure dans l'eau.



Fig IV.2 : Résistance à la traction du BAP conservé à l'eau, obtenue par différents essais.

En comparant les résultats de trois tests de la résistance en traction réalisés sur ces BAP, il est à constater que pour ce mode de conservation, l'essai de traction par flexion donne la valeur la plus élevée.

La méthode de mesure de la résistance par traction directe a donné la valeur de 1.62 Mpa. Comparée à celle de la résistance par flexion (5.28 Mpa) ou à celle par fendage (3.70), un facteur de 3.25 et de 2.28 relie ces derniers avec la résistance estimée par traction directe.

IV.3.3 Résistance à la traction du BAP conservé à l'air

Comme on a fait pour le BAP conservé à l'eau, on représente sur la figure IV.3, le graphe de la résistance à la traction obtenu par 3 méthodes d'essai.

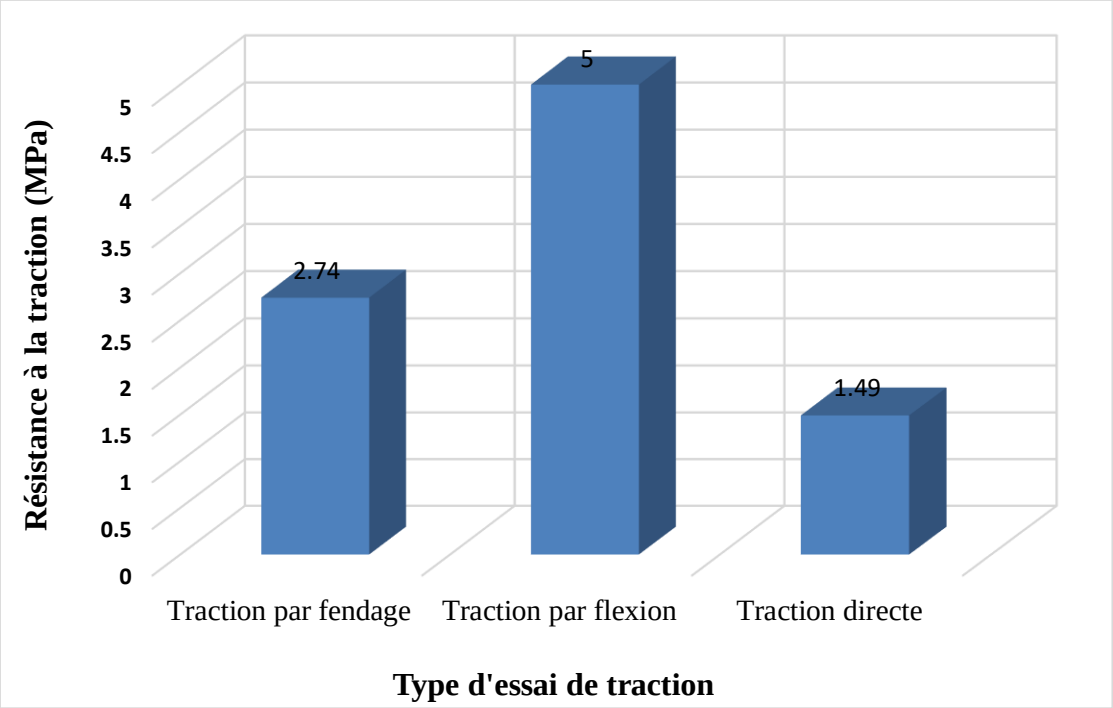


Fig IV.3:Résistance à la traction du BAP conservé à l'air obtenue par différents essais.

La même tendance précédente est observée pour ce mode de cure à l'air, avec des valeurs de résistance par fendage de 2.74 MPa, 5.00 MPa de résistance par traction par flexion et de 1.49 MPa par traction directe.

Un facteur de 2.63 et de 1.84 relie la résistance par traction par flexion et la résistance par fendage avec la résistance estimée par traction directe.

IV.3.4 Effet du milieu de cure sur la résistance à la traction

L'influence du milieu de cure sur le développement des résistances en traction est mieux représenté sur la figure IV.4.

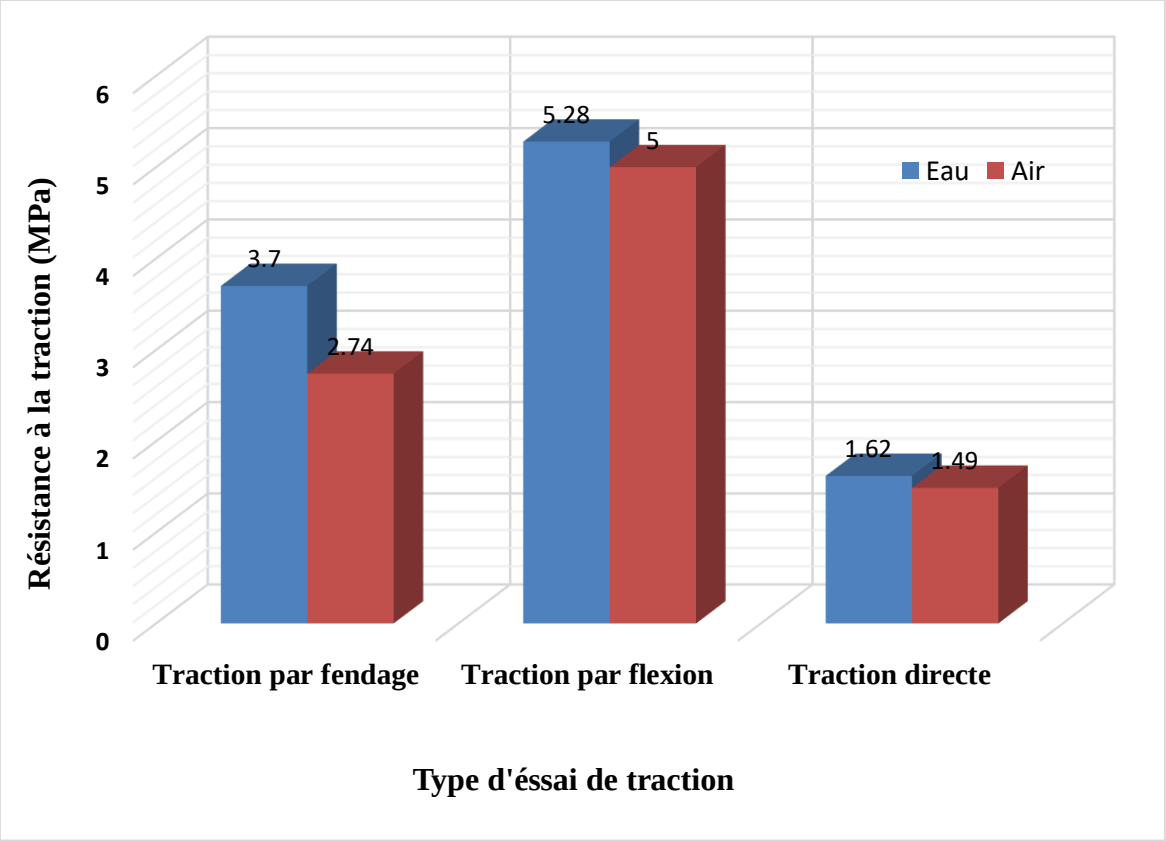


Fig IV.4 : Effet du milieu de cure sur la résistance à la traction obtenue par différents essais.

L'essai de traction par flexion reproduit le résultat bien connue de la résistance des produits cimentaires conservés dans l'eau qui est supérieure à ceux conservés à l'air.

Une augmentation de résistance respectivement de 8.72%, 5.6% et 35% est à remarquer pour les 3 méthodes d'essai entre les deux modes de cure.

IV.4 CONCLUSION

On confirme encore une autre fois pour ce BAP fabriqué que la résistance mécanique aussi bien en compression qu'en traction satisfait la règle générale pour un béton ordinaire où celle ci est meilleur pour un BAP conservée dans l'eau qu'à l'air libre.

La tendance globale permet de classer la résistance en traction estimée suite aux essais par flexion, par fendage ou directe, respectivement comme la plus grande, l'intermédiaire et la plus faible.

D'autre part et sachant que ces essais sont tous destinés à évaluer la résistance en traction, cette dernière ne peut être déterminé avec exactitude vue la disparité des résultats obtenus par ces essais.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

A travers ce thème, de l'étude est comparaison de la résistance en traction des éprouvettes par différentes techniques de mesure avec application aux cas du BAP avec matériaux locaux sans ajouts. Le béton auto plaçant caractérisé par une forte fluidité, est un béton qui se met en place sans aucune vibration même dans des endroits très encombrés par le ferraillage et cela tout en préservant une bonne homogénéité jusqu'au sa durabilité. La grande maniabilité des BAP assure la fabrication d'ouvrages duquel la finition est toujours d'une bonne qualité. Cette fluidité peut être obtenue par l''utilisation de super plastifiant pour éviter la ségrégation.

Dans cette étude Un programme d'essais a été mis en œuvre sur du béton autoplaçant composé de ciment, de gravier, de sable, d'eau et adjuvant. Une série d'essais ont été menées à l'aide de méthodes basées sur l'opérabilité (étalement, essai de boite en L, essai de stabilité aux tamis, essai en entonnoir confiné), pour déterminer les paramètres rhéologiques, notamment la fluidité où la caractérisation mécanique se fait par écrasement afin de mesurer la résistance (résistance à la compression, à la traction, à la flexion et à la traction directe), pour évaluer la réponse mécanique

Avec des propriétés rhéologiques satisfaisante les résultats de l'essai de traction montrent que l'essais par flexion, par fendage ou directe, correspond respectivement à la plus grande, intermédiaire et la plus faible valeur de résistance.

L'expertise des ouvrages est une discipline qui se base sur une profonde connaissance sur le comportement des matériaux, c'est donc un art qui mérite la même valeur que de celui de construire. Il doit être intégré dans la formation pour reconnaître et éviter les erreurs touchants les structures.

Les références bibliographiques

[01] H.Okamura and al « **Self compacting high performance concrete** »Proceeding of the fifth EASEC, vol3, pp2381-2388 (1995).

[02] Hamdi Amal «**Etude de l'influence des additions et des adjuvants sur les propriétés aux états frais et durci des bétons ordinaires et autoplaçants** » mémoire master, génie civil université Abou bekr belkaid- Tlemcen. 2015

[03] Messiad Boutheyna. « **Comparative de durabilte entre les bétons autoplaçants etles bétons ordinaires** » Mémoire de Master, l'Université de Guelma Juin 2018.

[04] Collection Technique ClM béton, Fiches Techniques,Tome 2, Les bétons : Formulation**,fabrication et mise en œuvre**, Edition octobre 2006.

[05] Turcry. Ph., 2004 « **Retraits et fissuration des bétons autoplaçants influence de la formulation** ». Thèse de doctorat. Ecole Centrale de Nantes. Université de Nantes. Ecole Doctorale Mécanique, Thématique et Génie Civil. France. 223p.

[06] Bouaziz Mohamed Hamza. « **Formulation d'un BAP : influence du rapport G/S et de lafibre de palmier dattier de 30 mm de longueur** » mémoire master, université de Annaba 2019**.**

[07] B.Safi. « **Formulation et caractérisation rhéologique et physico-mécanique des pâtes cimentaires et mortiers autoplaçants** » Thèse de doctorat de l'université M'hamed Bougara- Boumerdès-Algérie-2012.

[08] Djermouni Ghozlane. « **Optimisation de la composition d'un béton autoplaçant et substitution de la fibre de polypropylène par la fibre de palmier** » mémoire master, université de Annaba 2019**.**

[09] Hanaa Fares. «**Propriétés mécaniques et physico-chimiques de bétons autoplaçants exposés à une température élevée**», Thèse de doctorat en Génie Civil Ecole Doctorale Sciences et Ingénierie Université de Cergy-Pontoise, le 07 Décembre 2009

[10] Hu Chong. « **Rhéologie des bétons fluides**» Thèse de doctorat de l'école nationale des ponts et chaussées-Paris-France-1995.

[11] Boutiba. A. « **Accélération du durcissement par énergies renouvelables du béton frais et caractérisation du béton durc** ». Thèse de magister. Physiques et mécaniques des matériaux. Université M'hand Bougarra. Boumerdes. Algérie. 136

[12] Vicat. L**.,** « **La technologie du béton**. » GUF\FORMATION\BETON\TECHNOBETON v05_01. Degussa Construction Chemicals France. 140p

[13] Holcim «**Le béton auto compactant**». Recommandation étudiée par la sociétéholcim. Suisse. 26 Novembre 2004.

[14] Sonebi M. and Bartos P.J.M. « **Hardened SCC and its bond with reinforcement**» Proceeding of First International RILEM Symposium on Self Compacting Concrete, Stockholm, Sweden, 1999, pp. 275-289.
[15] Bates.J, « **les fibres naturelles pour les composites** », KU.LEUVEN, octobre2014.

[16] Boeraeve. R. P., 2009 -« **Cours de Béton armé**». 11p.

[17] Guilaume Camps, «**Etude des interactions chemo-mécaniques pour la simulation du cycle de vie d'un Elément de Stockage en Béton** », Thèse Doctorat de l'université de Toulouse soutenue le 10 Septembre 2008.

[18] Association Française de Génie Civil, « **Bétons auto-plaçants – Recommandations provisoires** », documents scientifiques et techniques, AFGC: juillet 2000.

[19] Felekoglu B., Yardimci M. Y. and Baradan B. «**A comparative study on the use of mineral and chemical types of viscosity enhancers in self-compacting concrete** »,

[20] KOUICI ABIR « **Etude de l'effet de l'introduction des fibres végétales sur les propriétés des bétons autoplaçant (BAP) à l'état frais et durcis** » Mémoire Master Université de Msila2015.

[21] RAHMOUNI .Z «**Etude de l'effet de l'introduction des fibres végétalessur les propriétés des bétons autoplaçant (BAP) à l'état frais et durcis** », Mémoire Master, Université de Msila2015.

[22] M.Bentalha. «**Influence de l'introduction de Fibres Métalliques sur le Comportement Différé d'une Matrice Cimentaire. Caractérisation - Comportement monotone - Microstructure**». Thèse de Doctorat d'état, Université Mentouri- Constantine, Octobre, 2007.

[23] Klug Y. and Holschemacher K. «**Comparison of the hardened properties of Self Compacting and Normal Vibrated Concrete** » 3rd International Symposium on Self Compacting Concrete, Reykjavik,Iceland, 2003, pp. 596-605.

[24] Efnarc «**The European guidelines for self-compacting concrete**» The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems. www.efnarc.org, 2005, 68p.

[25] Choi Y.W., Kim Y.J., Shin H.C. and Moon H.Y. « **An experimental research on the Fluidity and mechanical properties of high-strength lightweight self-compacting concrete** » Cement and Concrete Research, 2006, vol 36, pp. 1595-1602.

[26] Toma. G., 1999 - «**Comportement des bétons aux jeunes âges**». Thèse de PhD. Université Laval. Québec. Canada. 264p.

[27] Esping. O., Löfgren. I., 2006. -« **Investigation of early age deformation in self-compacting concrete** », 2nd International Symposium on Advances in Concrete Science. Quebec. Canada. PP: 11-15

[28] Détriché. C.H., 1996 –« **La maitrise de la fissuration précoce : Condition de la durabilité des ouvrages**». PP : 107-128.

[29] Boeraeve. R. P., 2009 - Cours de Béton armé. 11p.

[30] Dieryck. V., Desmyter. J., 2005 **–** « **Le béton auto-compactan t**». PP: 491- 502. In Apers. J., Broucke. A., Denoël. J.F., Hardy. P., Vandewalle.L., 2006 - Technologie du béton. Groupement Belge du Béton. 582p.

[31] Hu, C., « **Rhéologie des bétons fluides** » 1995, Ecole Nationale des ponts et chaussées :paris. P.201.

[32] Petersson.O, Billberg.P, Van.B.K, « **A model for self-compacting concrete** », Proceedings of RILEM International Conference on Production Methods and Workability of Fresh Concrete, Paisley, Ecosse, 1996.

[33] Yousef Fritih « **Apport d'un renfort de Fibres sur le comportement d'éléments en Béton autoplaçant armé** » Thèse de Doctorat de L'université de Toulouse ,08 Juillet 2009.

[34] Benaddad Sabrina et al « **Etude à la compression d'un Béton autoplaçant avec additions minérales(ArgilecuiteetbroyéeetFillerscalcaires)** » Mémoire de Fin d'Etude Université De Bejaia 2012.

[35] Yousef Fritih «Apport d'un renfort de Fibres sur le comportement d'éléments en Béton autoplaçant armé» Thèse de Doctorat de L'université de Toulouse ,08 Juillet 2009.

[36] DJEBRI NOURA, « **Formulation et caractérisation d'un béton autoplaçant fibré à base de matériaux locaux exposé aux hautes températures** », Thèse de Doctorat, Université de m'sila .2018

[37] KOUICI ABIR « **Etude de l'effet de l'introduction des fibres végétales sur les propriétés des bétons autoplaçant (BAP) à l'état frais et durcis** » Mémoire Master Université de Msila2015.

[38] NF EN 1097-6,2001. << **Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiqes des granulats**. Partie 6 :Détermination de la masse volumique réelle et du coefficent d'absorption d'eau >>, AFNOR

[**39] NF EN 1097-2,2001.** <<**Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats Partie 2: méthode pour la détermination de la résistance à la fragmentation >>.**

[40]M . EFNARC, The European Federation of Speciqlist construction and concrete system "the Europeau guidelines for Self-Compacting concret, Specification, Production and Use (2005).

[41] Ferhati Taieb «**Durabilité d'un béton exposé à un milieu Agressive (acide sulfurique) influence du rapport G/S** » mémoire master, université de M'silla 2015.

[42] Yahiaoui .w << DURABILITE DU BETON AUTOPLAÇANT EN CLIMAT CHAUD>> THÈSE DE DOCTORAT Spécialité: Génie civil UNIVERSITÉ DE BLIDA 1 2018

[43] Gharbi Fayza «**Evaluation de la qualité des bétons auto -plaçant (BAP) exposés à haute température aux moyens des essais non-destructifs (END) et essais direct**» mémoire master, université de m'sila2019.

[44] Taleb Mounir << **Optimisation de la pâte d'un béton autoplaçant(BAP) à base d'ajouts cimentaires locaux**>> MASTER en Génie des matériaux UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES 2017

[45] HADJERSI Fouad << **Caractérisation rhéologique d'un béton auto plaçant (BAP) à base defumée de silice**>> master en Génie des matériaux université MOHAMED BOUDIAF _ M'SILA 2018