



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



**Université Amar Thelidji- Laghouat**

**FACULTÉ : Génie civil et d'architecture**

**DÉPARTEMENT : Génie Civil**

## **MÉMOIRE DE MASTER**

**Présenté par : Bouabdelli Bouchra**

**DOMAINE : Science et Technologie**

**FILIERE : Génie Civil**

**OPTION : Matériaux en Génie Civil**

### **Thème**

**Contribution à la formulation des bétons  
autoplaçants allégés et fibrés**

#### **Jury de soutenance :**

<b>Nom et Prénom</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
Benchaa Benabed	Pr	Président
Ahmed Ziregue	MCA	Examineur
Aboubakeur Boukhalkhel	MCA	Rapporteur

**Promotion : 2023 - 2024**

# REMERCIEMENTS

*Tout d'abord je tiens à remercier, Dieu le tout puissant qui m'as accordé la force, la patience et la volonté d'accomplir ce travail.*

*Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à mon promoteur Dr.Boukhelkhal Aboubakeur pour sa disponibilité permanente, ses orientations, son savoir, sa modestie et son soutien durant toute la période de réalisation de ce travail.*

*Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury : Monsieur BENCHAA BENABED Professeur à la même Université, et Monsieur AHMED ZIREGUE Docteur à la même Université pour l'intérêt qu'ils ont porté à ma recherche en acceptant d'examiner ce travail. Et de l'enrichir par leurs propositions.*

*Mes remerciements vont également aux responsables et personnels du laboratoire Génie Civil, Université AMAR TELIDJI LAGHOUAT.*

*Je remercie mes très chers parents, qui ont toujours été là pour moi. Je remercie mes sœurs, et mon frère, pour leurs encouragements. Enfin, je remercie mes amis D.Chrifi Ryma , Zakaria, Achref et Safaa et Ramzi et Houda et mohamed qui ont toujours été là pour moi. Leur soutien inconditionnel et leurs encouragements ont été d'une grande aide...*

# بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## اهداء

الى من كلل العرق جبينه ومن علمني ان النجاح لا يأتي الا بالصبر والاصرار

الى النور الذي انار دربي والسراج الذي لا ينطفئ نوره بقلبي ابا

من بذل الغالي والنفيس واستمدت منه قوتي واعتزازي بذاتي

والذي العزيز

الى من جعل الجنة تحت اقدامها وسهلت لي الشدائد بدعائها

الى الانسانة العظيمة التي لطالما تمننت ان تفر عينها في يوم كهذا

امي العزيزة

الى من شددت عضدي بهم فكانوا انا بيع ارتوي منها الى خيرة ايامي وصفوتها الى قرة عيني

الى اخواني واخواتي الغالين

الى كل من كان عوننا وسندا في هذا الطريق للأصدقاء الاوفياء ورفقاء السنين

لاصحاب الشدائد والازمات الى من افاضني بمشاعره ونصائحه المخلصة

اليكم عائتي

اهديكم هذا الإنجاز وثمره نجاحي الذي لطالما تمنيت به ها انا اليوم اكملت واتممت اول ثمراته بفضلته سبحانه وتعالى

فالحمد لله على ما وهبني وان يجعلني مباركا وان يعنني أينما كنت فمن قال انا لها نالها

وانا لها وان ابت رغما عنها اتيت بها فالحمد لله شكرا وحبا وامتنانا على البدء والختام

﴿وَأَخِرُ دَعْوَاهُمْ أَنِ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ﴾



## **Université Amar Thelidji- Laghouat**

### **FACULTE GENIE CIVIL ET D'ARCHITECTURE DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL**

---

## **RESUME DE MEMOIRE DE MASTER**

**Domaine : Sciences et Techniques**

**Filière : Génie Civil**

**Option : Matériaux en Génie Civil**

**Thème : Contribution à la formulation des bétons autoplaçants allégés et fibrés**

**Présenté par : Bouabdelli Bouchra**

**Encadré par : Dr Aboubakeur Boukhalkhel**

### **Résumé :**

Le béton léger autoplaçant représente une avancée significative dans le domaine des matériaux de construction en combinant les caractéristiques techniques du béton autoplaçant à la faible densité, ce qui facilite sa mise en œuvre tout en améliorant ses capacités d'isolantes thermique et acoustique. Dans cette étude, nous allons essayer de développer un béton léger autoplaçant et fibré en utilisant de l'argile expansée et des fibres de polypropylène.

Nous avons préparé des échantillons de mortier et de béton en remplaçant les granulats naturels par des granulats d'argile expansée avec différentes proportions (10, 20, 30 et 50%), et à partir de cela, les propriétés rhéologiques, mécaniques et physiques des mortiers et des bétons autoplaçants et ont été évaluées.

Les résultats ont montré que l'utilisation des granulats d'argile expansée peut donner des bétons autoplaçants légers avec une résistance supérieure à 25 MPa. La substitution partielle des granulats naturels par des granulats d'argile a entraîné une réduction remarquable de la vitesse d'auscultation sonique. Ceci traduit la présence des vides dans ces mélanges d'où une réduction de leur densité.

**Mots clés:** béton autoplaçant, béton léger, argile expansée fibre polypropylène, densité, confort thermique.



People's Democratic Republic of Algeria  
Ministry of Higher Education and Scientific Research



## **Amar Telidji University – Laghouat**

**FACULTY:** CIVIL ENGINEERING AND  
ARCHITECTURE

**DEPARTMENT:** CIVIL ENGINEERING

---

### **MASTER'S THESIS SUMMARY**

**Field:** Science and Technology

**Discipline:** Civil Engineering

**Specialty:** Materials in Civil Engineering

**Thesis Title:** Contribution to the Formulation of Lightweight, Fiber-Reinforced, Self-Compacting Concrete

**Presented by:** Bouabdelli Bouchra

**Supervised by:** Dr. Aboubakeur Boukhalkhel

**Summary:**

Lightweight self-compacting concrete represents a significant advancement in the field of building materials by combining the technical characteristics of self-compacting concrete with low density, facilitating its implementation while improving its thermal and acoustic insulating capabilities. In this study, we will attempt to develop a lightweight, fiber-reinforced, self-compacting concrete using expanded clay and polypropylene fibers. We prepared mortar and concrete samples by replacing natural aggregates with expanded clay aggregates in various proportions (10%, 20%, 30%, and 50%). The rheological, mechanical, and physical properties of the self-compacting mortars and concretes were evaluated based on these samples. The results showed that using expanded clay aggregates can produce lightweight self-compacting concrete with resistance exceeding 25 MPa. Partial substitution of natural aggregates with expanded clay aggregates resulted in a notable reduction in sonic pulse velocity, indicating the presence of voids in these mixes, thus reducing their density.

**Keywords:** Self-compacting concrete, lightweight concrete, expanded clay, polypropylene fiber, density, thermal comfort.



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



جامعة عمار ثليجي – الأغواط

كلية/معهد: الهندسة المعمارية والهندسة المدنية  
قسم: الهندسة المدنية

## ملخص مذكرة الماستر

الميدان: علوم وتكنولوجيا

الشعبة: الهندسة المدنية

التخصص: مواد في الهندسة المدنية

عنوان المذكرة: المساهمة في صياغة الخرسانة ذاتية التركيب خفيفة الوزن والمعززة بالألياف

تقديم الطالبة: بوعبدلي بشرى

الأستاذ المؤطر: بوخلخال أبو بكر

**ملخص المذكرة:** تمثل الخرسانة ذاتية الضغط خفيفة الوزن تقدما كبيرا في مجال مواد البناء من خلال الجمع بين

الخصائص التقنية للخرسانة ذاتية الضغط مع الكثافة المنخفضة، مما يسهل تنفيذها مع تحسين قدراتها العازلة الحرارية

والصوتية. في هذه الدراسة، سنحاول تطوير الخرسانة خفيفة الوزن التخصيص الذاتي والألياف المقوى باستخدام الطين

الموسع مع ألياف البولي بروبيلين. قمنا بإعداد عينات من الملائم والخرسانة عن طريق استبدال الركام الطبيعي من خلال

الركام الطيني الموسع بنسب مختلفة (10 و20 و30 و50%)، وإلى من هذا، الخصائص الريولوجية والميكانيكية والفيزيائية

لقذائف الهاون والخرسانة تحديد المواقع الذاتية وتم تقييمها. أظهرت النتائج أن استخدام مجاميع الطين الموسعة يمكن

أن يحسن أداء الخرسانة ذاتية الضغط. على سبيل المثال، ملموسة مع مقاومة جيدة جدا من 50 ميغا باسكال تم تطويره

باستخدام مجاميع الطين الموسعة. وفقا لنتائج الموجات الصوتية، لاحظنا أن جميع التراكيب اختبار الحاضر الصفات

الجيدة من حيث التجانس والكثافة.

**الكلمات المفتاحية:** الخرسانة ذاتية الضغط، الخرسانة خفيفة الوزن، الطين الموسع، ألياف البولي بروبيلين، الكثافة،

الراحة الحرارية.

# Table de matières

Dédicaces

Remerciements

Résumé, abstract, ملخص

Introduction générale.....1

## Chapitre 1 : revue bibliographique sur les bétons légers autoplaçants

1.1.Introduction.....	3
1.2.Bétons autoplaçant.....	3
1.2.1. Définition.....	3
1.2.2. Historique du BAP.....	3
1.2.3. Spécificité de la composition de BAP.....	4
1.2.3.1.Un volume de pâte élevé.....	4
1.2.3.2.Une quantité de fines (particules <125 µm) élevée.....	4
1.2.3.3.L'utilisation de superplastifiants.....	5
1.2.3.4.L'utilisation éventuelle d'un agent de cohésion.....	5
1.2.3.5.Un faible volume de gravillons.....	5
1.2.4. Classification de BAP.....	6
1.2.4.1.Classification selon la fluidité et la consistance.....	6
1.2.4.2.Classification selon la composition.....	6
1.2.4.3.Classification selon les applications.....	6
1.2.8 Domaines d'utilisation des BAP.....	7
<b>1.3.Béton léger.....</b>	<b>7</b>
1.3.1. Définitions.....	7
1.3.2. Classification de bétons légers.....	8
1.3.2.1. Béton léger à base de granulats légers naturels.....	8

1.3.2.2. Béton léger à base de granulats légers artificiels.....	8
1.3.2.3. Béton léger à base de granulats recyclés.....	8
1.3.2.4. Béton cellulaire ou mousse de béton.....	9
1.3.2.5. Béton Léger structural.....	9
1.3.3. Composition du béton léger.....	10
1.3.3.1. Ciment.....	10
1.3.3.2. Granulats .....	10
1.3.3.3. Eau.....	10
1.3.3.4. Adjuvants.....	10
1.3.4. Propriétés physiques et mécaniques.....	11
1.3.4.1. Propriétés physiques.....	11
1.3.4.2. Propriétés mécaniques.....	12
1.3.4.3. Retrait.....	12
1.3.4.3.1. Isolation thermique .....	13

## **Chapitre 2 : matériaux utilisés et protocole expérimental**

2.1. Introduction.....	14
2.2. Caractérisation des matériaux.....	14
2.2.1. Ciment.....	14
2.2.2. Granulats.....	15
2.2.3. Adjuvant.....	16
2.2.4. Eau de gâchage.....	16
2.2.5. Fibre Polypropylène.....	17
2.3. Caractéristiques des matériaux.....	17
2.3.1. Analyse granulométrique.....	17
2.3.2 Coefficient d'absorption.....	19
2.3.3 Masse volumique apparente.....	20
2.3.4 Masse volumique absolue.....	20
2.3.5 Module de finesse.....	21

2.4. Formulation.....	21
2.5 Procédure de malaxage.....	23
2.5.1 Cas du mortier .....	23
2.5.2 Cas du Béton.....	24
2.6 Expérimentation.....	24
2.6.1. Essais sur mortier frais.....	24
2.6.1.1 Essai d'étalement au mini-cône .....	24
2.6.1.2 Essai d'écoulement au mini-entonnoir en V .....	25
2.6.2 Essais effectués sur béton frais .....	25
2.6.2.1. Essais d'étalement.....	25
2.6.2.2 Essai d'étalement à la couronne (J-Ring) .....	27
2.6.2.3 Essai de stabilité au tamis.....	28
2.6.2 Coulage, démoulage des éprouvettes.....	28
2.6.3 Essais sur mortier et béton durci .....	29
2.6.3.1 Résistance à la compression.....	30
2.6.3.2 Résistance à la flexion (trois points).....	30
2.6.3.3 Vitesse d'auscultation sonique (VAS).....	31
2.6.3.4 Absorption d'eau par immersion.....	32

### **Chapitre 3 : analyse et discussion des résultats**

<b>3.1. Introduction .....</b>	<b>33</b>
<b>3.2. Analyse et discussion des résultats.....</b>	<b>33</b>
3.2.1. Mortier frais .....	34
<b>3.2.2. Mortier durci .....</b>	<b>36</b>
3.2.2.1. Résistance à la compression.....	36
3.2.2.2. Résistance à la flexion.....	37
<b>3.2.3. Béton frais .....</b>	<b>39</b>
<b>3.2.4. Béton durci .....</b>	<b>42</b>
3.2.4.1. Résistance à la compression.....	42
3.2.4.2. Résistance à la flexion.....	43

3.2.4.3. Vitesse d'auscultation sonore .....	43
3.2.4.4. <i>Masse volumique sèche</i> .....	44
Conclusion générale et perspectives.....	45
Références bibliographiques.....	47

## Introduction Générale

Le béton autoplaçant a vu le jour au Japon en 1988, marquant ainsi l'une des avancées technologiques les plus remarquables des dernières décennies dans le domaine du béton. Ce matériau innovant est capable de se déployer de manière autonome dans des coffrages complexes et encombrés, sans nécessiter de vibrations pour compacter le mélange, ce qui résulte en un produit final exceptionnellement homogène. Pour atteindre cette fluidité remarquable, essentielle pour traverser efficacement les armatures serrées, le béton doit être très souple, ce qui implique souvent un ratio élevé en eau/ciment ou l'ajout de superplastifiants. Les bétons autoplaçants représentent ainsi une nouvelle génération de matériaux de construction, caractérisée par leur capacité à s'auto-niveler sans besoin de vibration, grâce à l'utilisation de superplastifiants et d'additions minérales. Ces ajouts permettent de maintenir une viscosité colloïdale appropriée, assurant que même les granulats les plus gros restent uniformément répartis sans risque de ségrégation. Toutefois, ce béton présente l'inconvénient d'être trop lourd avec l'absence presque total du confort thermique.

Le béton allégé autoplaçant est une avancée majeure dans le domaine de la construction contemporaine, en combinant les bénéfices du béton autoplaçant avec la diminution de poids obtenue grâce à l'utilisation de granulats légers. Ce nouveau matériau satisfait les exigences grandissantes de l'industrie en proposant des solutions constructives plus performantes notamment sur le plan confort thermique, durables et adaptées à diverses applications.

Le béton autoplaçant allégé peut être utilisé dans différentes applications, allant des infrastructures complexes aux éléments architecturaux spécifiques, en passant par les revêtements et les panneaux préfabriqués. Grâce à sa formulation particulière, il est possible de maintenir une densité réduite tout en préservant des caractéristiques mécaniques adaptées aux besoins du projet. La polyvalence du béton autoplaçant allégé en fait une option séduisante pour les ingénieurs et les architectes qui souhaitent maximiser les performances et la durabilité de la construction.

Ce travail vise à produire un béton autoplaçant léger capable d'être utilisé en éléments de façade et de couverture, et ce en utilisant des granulats d'argile expansé sous forme de sable et de gravier avec l'incorporation des fibres polypropylènes. Ces granulats d'argile expansé sont fabriqués localement par la société Algexpan installée à Blida.

Le mémoire comprend, en plus de l'introduction générale, trois chapitres comprenant une conclusion générale et des recommandations. Dans le premier chapitre, une recherche bibliographique est réalisée sur le béton autoplaçant et le béton léger. Dans le chapitre suivant, nous aborderons la caractérisation des matériaux qui composent le BAP allégé. Ensuite, nous aborderons la méthode de formulation du mortier et du béton autoplaçants. Au cours de la section expérimentale, nous allons réaliser des tests sur mortier et béton aux états frais et durci. Dans le dernier chapitre, nous présentons et analysons les différents résultats obtenus. La conclusion générale est consacrée à la présentation des principaux résultats obtenus.

## 1.1 Introduction

Le béton autoplaçant allégé est une variante innovante du béton autoplaçant traditionnel, conçue pour combiner les avantages de la fluidité et de la facilité de mise en œuvre avec une réduction significative du poids. Ce matériau de construction est formulé en incorporant des granulats légers ou des additifs spécifiques, permettant d'obtenir une densité plus faible tout en conservant une bonne résistance mécanique. Grâce à sa capacité à s'écouler librement et à remplir les coffrages complexes sans vibration, le béton autoplaçant allégé facilite la construction de structures où la réduction de la charge est cruciale, comme les bâtiments de grande hauteur ou les ponts. De plus, en diminuant le poids propre des éléments, il contribue à une diminution des charges sur les fondations et à une manipulation plus aisée sur les chantiers. Cette technologie offre également des avantages en termes d'isolation thermique et acoustique, renforçant ainsi le confort et l'efficacité énergétique des bâtiments.

## 1.2 Béton autoplaçants

### 1.2.1 Définition

Le béton autoplaçant "BAP" est un béton très fluide, homogène et stable, qui est traité sans vibrations (le compactage s'effectue uniquement par l'action de la gravité) [34]. Le béton autoplaçant « BAP » diffère du béton ordinaire « BO » principalement par ses propriétés à l'état frais et par sa capacité à se former, à enduire et à se compacter en utilisant uniquement l'action de la gravité [33-35].

Les composants d'un « BAP » peuvent différer sensiblement de ceux d'un « BO ». Ils peuvent varier considérablement en proportions et/ou en composition. Selon l'application, les composants utilisés dans la production du « BAP » représentent les matériaux de base : ciment, granulats, eau de gâchage, additifs minéraux et matières auxiliaires chimiques.

### 1.2.2 Historique de BAP

Les chercheurs K. OZAWA ET K. MAEKAWA de Université de Kochi (Tokyo) ont développé le premier prototype de BAP pendant l'été de 1988. Ces résultats ont été présentés par K. OZAWA pour la première fois au 2ème Congrès de l'Asie de l'Est et pacifique sur le Génie Civil et la Construction, tenu en Janvier 1989 à Chiangmai (Thaïlande). Trois années plus tard, en Mai 1992, au 4ème Congrès International CANMET & ACI à Istanbul, l'intervention du K. Ozawa a accéléré la diffusion mondiale du concept de cette nouvelle génération de béton.[14]

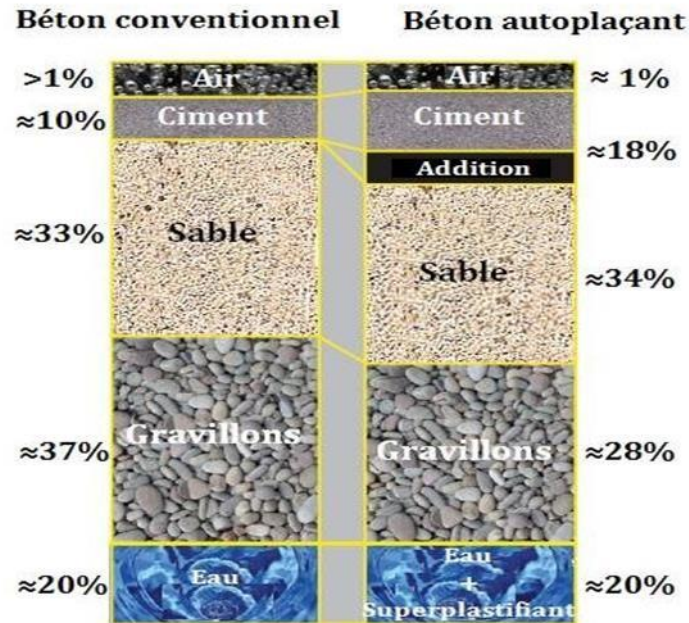


Figure 1.1 : Composition d'un béton ordinaire 'BO' et d'un 'BAP'

### 1.2.3 Spécificité de la composition de BAP

Le béton autoplaçant se caractérise par une composition spécifique qui lui confère ses propriétés uniques de fluidité et de résistance. Il est formulé avec un dosage précis de ciment, de granulats fins et grossiers, d'eau, et d'adjuvants. Les adjuvants, tels que les superplastifiants, jouent un rôle crucial en réduisant la quantité d'eau nécessaire et en améliorant la maniabilité du mélange sans compromettre sa résistance. Des agents modificateurs de viscosité peuvent également être ajoutés pour stabiliser la composition et prévenir la ségrégation des constituants. En outre, l'utilisation de fumée de silice ou de cendres volantes permet d'optimiser les propriétés mécaniques et durables du béton. Cette formulation soigneusement équilibrée permet au béton autoplaçant de s'écouler facilement dans les coffrages, de contourner les armatures denses et de remplir les formes complexes sans nécessiter de vibrations, tout en assurant une finition de surface de haute qualité et une densité homogène.

#### 1.2.3.1. Un volume de pâte élevé

Les frottements entre les granulats limitent l'étalement et l'aptitude au remplissage des bétons. C'est pourquoi, les BAP contiennent un volume de pâte (ciment + additions + adjuvants + eau efficace + air) important, typiquement de 330 à 400 l/m<sup>3</sup>, dont le rôle est d'écarter les granulats les uns des autres.

### **1.2.3.2. Une quantité de fines (particules <125 µm) élevée**

Pour leur assurer une maniabilité suffisante tout en limitant les risques de ségrégation et de ressuage, les BAP contiennent une quantité de fines (de l'ordre de 500 kg/m<sup>3</sup>) supérieure à celle des bétons conventionnels. Ces fines proviennent du ciment, des additions et des granulats. Toutefois, pour éviter des problèmes d'élévation excessive de la température lors de l'hydratation, le liant est souvent un composé binaire voire ternaire : ciment Portland mélangé avec cendre volante, laitier de haut fourneau, filler calcaire, etc. Le choix des additions et de leur teneur respective dans les BAP est réalisé pour répondre aux exigences de résistance à la compression à 28 jours et aux exigences de durabilité telles qu'imposées par les normes applicables (DTU 21, norme NF EN 206-1, normes produit préfabriqué en usine, etc.).

### **1.2.3.3. L'utilisation de superplastifiants**

Les BAP contiennent des superplastifiants permettant d'obtenir la fluidité souhaitée. Toutefois un dosage trop élevé (proche ou supérieur au dosage de saturation [4]) peut augmenter la sensibilité du béton à des variations de teneur en eau vis-à-vis du problème de la ségrégation et du ressuage. Il est possible d'utiliser un plastifiant en synergie avec un superplastifiant.

### **1.2.3.4. L'utilisation éventuelle d'un agent de cohésion**

Ce sont généralement des dérivés celluloses, des polysaccharides ou des suspensions colloïdales. Ces produits, comme les fines, ont pour rôle d'empêcher le ressuage et de limiter les risques de ségrégation des granulats en rendant la pâte plus épaisse. De façon schématique l'utilisation de ces produits semble se justifier dans le cas des bétons ayant des rapports eau/fines élevés car les fines ne sont pas toujours suffisantes pour fixer l'eau dans le béton. Ils peuvent s'avérer superflus dans le cas de BAP ayant des rapports eau/fines faibles (notamment BAP de résistance supérieure à 50 MPa). Pour la gamme intermédiaire des bétons, leur utilité est à étudier au cas par cas. Les agents de cohésion ont la réputation de rendre les BAP moins sensibles à des variations d'eau vis-à-vis du problème du ressuage et de la ségrégation [5, 6]. Par contre, leur utilisation peut conduire suivant les produits à des problèmes de dosage en centrale (cas de dosages faibles), à des entraînements d'air excessifs [7] et à une diminution de la fluidité.

### **1.2.3.5. Un faible volume de gravillons**

Il est possible d'utiliser des granulats concassés ou roulés pour la formulation des BAP. Toutefois, comme les gravillons sont à l'origine du blocage du béton en zone confinée, il faut

en limiter le volume. D'un autre côté la présence de gravillons permet d'augmenter la compacité du squelette granulaire du béton et donc de limiter la quantité de liant nécessaire pour obtenir l'ouvrabilité et la résistance souhaitées. En général, ces considérations conduisent à adopter un rapport gravillon/sable de l'ordre de 1 dans les BAP. Bien évidemment ce rapport peut être revu à la hausse si le confinement est faible (dans un ouvrage peu ferrailé par exemple) ou à la baisse dans le cas contraire. En général le diamètre maximal  $D_{max}$  des gravillons dans un BAP est compris entre 10 et 20 mm. Les risques de blocage pour un confinement donné augmentent lorsque  $D_{max}$  augmente, ce qui conduit à diminuer le volume de gravillon. Le choix d'un  $D_{max}$  plus important est donc possible mais ne se justifie que lorsque le confinement est faible.

## **1.2.4 Classification des BAP :**

### **1.2.4.1 Classification selon la fluidité et la consistance :**

Cette catégorie se base sur le niveau de fluidité du BAP, qui détermine son aptitude à se mettre en place sans vibration.

- BAP à consistance fluide : Conçu pour avoir une fluidité modérée, permettant de remplir des coffrages standards et des formes simples sans vibration.
- BAP à consistance très fluide : Caractérisé par une fluidité élevée, idéal pour des coffrages complexes, des armatures denses et des formes géométriques complexes.

### **1.2.4.2 Classification selon la composition :**

Cette catégorie considère les composants spécifiques utilisés pour formuler le BAP, affectant ses propriétés mécaniques et durables.

- BAP standard : Utilise des granulats ordinaires, des ciments Portland classiques, et des adjuvants pour améliorer la fluidité et la stabilité.
- BAP allégé : Contient des granulats légers ou des additifs pour réduire la densité du béton, adapté aux structures nécessitant une réduction de poids.
- BAP renforcé en fibres : Incorporation de fibres (métalliques, synthétiques ou naturelles) pour améliorer la résistance à la traction, la flexion et le contrôle de la fissuration.

### **1.2.4.3 Classification selon les applications**

Cette catégorie se base sur les usages spécifiques du BAP dans différents types de constructions et conditions d'exploitation.

- BAP pour structures verticales : Utilisé pour les murs, colonnes et pylônes, nécessitant une bonne capacité de remplissage et un comportement efficace autour des armatures.
- BAP pour structures horizontales : Destiné aux dalles, planchers et radiers, nécessitant une surface homogène et lisse sans vibration.
- BAP pour réparations : Formulé pour des travaux de réparation et de réhabilitation, avec des propriétés d'adhérence aux structures existantes et une performance durable.

### **1.2.5 Domaines d'utilisation des BAP :**

La technologie de bétonnage par BAP ne cesse d'augmenter dans nombreux domaines de la construction : constructions, renforcement et réparation d'ouvrages d'art (application de couches minces dans des endroits difficile d'accès), construction d'éléments préfabrication à haute résistance, moulage et mise au point de béton pour toute utilisation (bétons coulés sous l'eau pour des réparations, béton confinés, pieux...).

Le BAP est aussi une solution bien adaptée pour tous types de dalles y compris dalles de compression sur poutrelles :

- ✓ Radiers.
- ✓ Plancher dalle pleine et plancher chauffant.
- ✓ Rattrapage de niveau en rénovation.
- ✓ Fondations superficielles.
- ✓ Voiles, poteaux, poutres.

## **1.3 Bétons légers**

### **1.3.1 Définitions**

Le béton fabriqué à partir de granulats naturels issus de roches dures présente une masse volumique constante car la densité de la plupart des roches est constante. Si la masse volumique du béton est influencée par le volume des granulats, ce n'est pas un élément essentiel. De manière concrète, la densité d'un béton normale peut varier de 2200 kg/m<sup>3</sup> à 2600 kg/m<sup>3</sup>. Par conséquent, les éléments de béton ont un poids propre élevé et peuvent représenter une part importante de la charge sur la structure.

Selon RILEM [3] les bétons légers sont caractérisés par une masse volumique apparente sèche inférieure à 1800 Kg/m<sup>3</sup>. Des définitions légèrement différentes sont adoptées par d'autres auteurs : l'American Concrete Institute [4] stipule que la masse volumique apparente des bétons légers est limitée à 1800 Kg/m<sup>3</sup> après un séchage à l'air de 28 jours.

### **1.3.2 Classification de bétons légers**

#### **1.3.2.1 Béton léger à base de granulats légers naturels**

- Ponce : Utilisé comme granulat léger naturel, le ponce est une roche volcanique poreuse qui permet de produire un béton avec une densité réduite tout en conservant de bonnes propriétés mécaniques.
- Schiste expansé : Obtenu par traitement thermique du schiste, ce granulat léger naturel offre une résistance suffisante pour des applications structurelles. [9-10]

#### **1.3.2.2 Béton léger à base de granulats légers artificiels**

- Argile expansée : Produite par traitement thermique de l'argile, cette catégorie de béton léger offre une bonne résistance mécanique et est utilisée pour des éléments structurels et non-structurels.
- Perlite expansée : Granulat léger artificiel issu de la perlite traitée thermiquement, utilisé pour des applications nécessitant une excellente isolation thermique.
- Vermiculite expansée : Granulat léger obtenu par expansion thermique de la vermiculite, utilisé principalement pour des applications nécessitant une isolation thermique et acoustique. [9-10]

Tableau 1.1 : Caractéristique de béton de granulats légers

Types de bétons spéciaux	Propriétés, caractéristiques Particulières	Domaines d'application privilégiés
Béton de granulat léger	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Masse volumique réduite (1000 et 1800 Kg/m<sup>3</sup>)</li> <li>▪ Bonne résistance mécanique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Allègement des produits et des ouvrages</li> <li>▪ Isolation thermique et Phonique</li> </ul>

### 1.3.2.3 Béton léger à base de granulats recyclés

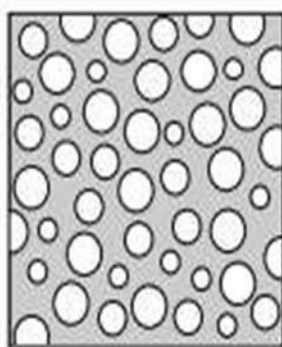
- Granulats de polystyrène expansé : Incorporation de billes de polystyrène recyclé dans le béton pour réduire la densité et améliorer l'isolation thermique, souvent utilisé pour des dalles et des panneaux non-porteurs.
- Granulats de verre cellulaire : Utilisation de verre recyclé transformé en granules légers, offrant une bonne isolation thermique et une réduction de poids, adapté pour des applications structurelles et non-structurelles.[46]

### 1.3.2.4 Béton cellulaire ou mousse de béton

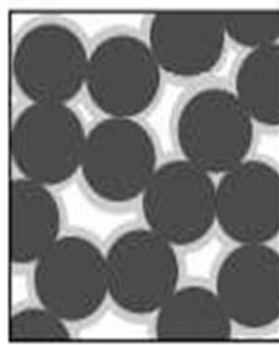
- Béton cellulaire autoclavé (BCA) : Produit par un processus d'autoclavage, ce type de béton léger présente une structure cellulaire fermée, offrant une excellente isolation thermique et une résistance suffisante pour des applications structurelles légères.
- Mousse de béton : Obtenue par mélange de ciment, de sable fin, d'eau et d'agents moussants, cette variante est utilisée pour des applications nécessitant une faible densité et une bonne isolation, comme les remplissages de sol et les éléments non-structuraux. [47]

### 1.3.2.5 Béton Léger structural

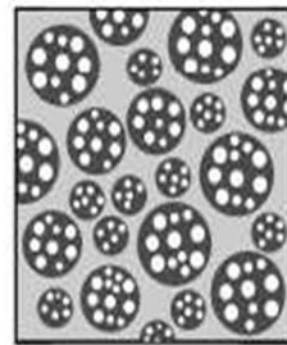
- Béton léger haute résistance : Formulé avec des granulats légers et des additifs pour atteindre des résistances mécaniques élevées, permettant son utilisation dans des applications structurelles où la réduction de poids est cruciale, comme les bâtiments de grande hauteur et les ponts. [48].



Béton cellulaire



Béton caverneux



Béton de granulats légers

Figure 1.7. Classification des bétons légers [6]

Tableau 1.2. Classification des bétons légers selon le guide ACI 213R-87. [6]

Classification	$\phi$ (Kg/m <sup>3</sup> )	Fc (MPa)
Bétons légers de structure	1350– 1900	>17
Bétons légers de résistance modérée	800 – 1350	7-17
Bétons de faible densité	300 – 800	<7

Tableau 1.3 : Propriétés du béton léger confectionné à partir d'argile expansée [2]

	P kg/m <sup>3</sup>	fc )Mpa(	Traction (Mpa) )Rc/Rτ(	E )GPa5(	Retrait )mm/m(	Dilatation (mm/m(	$\lambda$ )kcal/mh°C(
Argile expansé	600 à 1800	5 à 35	4 à 8	6 à 20	0.3 à 0.6	6 à 7 x 10-6	0.20 à 0.75

### **1.3.3 Composition du béton léger**

La composition des bétons légers dépend du type de béton léger que l'on souhaite produire. Cependant, tous les bétons légers ont des composants communs :

#### **1.3.3.1 Ciment**

Le ciment est le liant du béton. Il assure la cohésion des différents éléments du béton et permet son durcissement. Le type de ciment utilisé peut varier en fonction des propriétés souhaitées du béton léger.

#### **1.3.3.2 Granulats**

Les granulats légers sont l'élément principal qui confère au béton sa légèreté. Ils peuvent être naturels (pierre ponce, pumice, pouzzolane) ou artificiels (granulats de polystyrène expansé (PSE), granulats de verre expansé (GVE), cendres volantes). Le choix des granulats légers dépend des propriétés souhaitées du béton léger, telles que la densité apparente, la résistance mécanique et l'isolation thermique.

### 1.3.3.3 Eau

L'eau est nécessaire à l'hydratation du ciment et au durcissement du béton. La quantité d'eau utilisée doit être soigneusement contrôlée car elle affecte la rhéologie et les propriétés mécaniques du béton.

### 1.3.3.4 Adjuvants

Les adjuvants sont des produits chimiques ajoutés au mélange de béton pour améliorer ses propriétés. Les adjuvants couramment utilisés dans les bétons légers incluent les plastifiants, les agents moussants, les retardateurs de prise et les agents de prise d'air.

## **1.3.4 Propriétés physiques et mécaniques**

### 1.3.4.1 Propriétés physiques

#### **a) Densité:**

La principale caractéristique des bétons légers est leur faible densité, qui se situe généralement entre 500 et 2000 kg/m<sup>3</sup>. Cela les rend plus légers que les bétons traditionnels, dont la densité est d'environ 2500 kg/m<sup>3</sup>. Cette propriété permet de réduire le poids propre des structures construites avec des bétons légers, ce qui peut se traduire par des économies de matériaux et de main-d'œuvre.

#### **b) Porosité:**

Les bétons légers ont une porosité plus élevée que les bétons traditionnels, ce qui peut affecter leur durabilité et leurs propriétés mécaniques. La porosité est la quantité d'espace vide dans le béton. Elle est exprimée en pourcentage du volume total du béton. Les bétons légers ont une porosité comprise entre 20 et 80 %, tandis que les bétons traditionnels ont une porosité comprise entre 10 et 20 %.

#### **c) Conductivité Thermique:**

La capacité à isoler thermiquement du béton léger est grandement influencée par sa conductivité thermique. La conductivité thermique du béton léger est généralement inférieure à celle du béton traditionnel en raison de la présence d'air dans les pores des granulats légers. Cette particularité revêt une grande importance dans les domaines où l'isolation thermique est primordiale, tels que la construction de bâtiments à haute efficacité énergétique ou les structures qui sont soumises à des fluctuations de température significatives.



Fig1.8 Essai au CT-mètre du CNERIB

d) **Perméabilité :**

La perméabilité est la capacité d'un matériau à laisser passer des fluides. Les bétons légers sont plus perméables que les bétons traditionnels, ce qui signifie qu'ils sont plus susceptibles de laisser passer l'eau et les autres fluides. Cela peut être un problème dans les environnements où le béton est exposé à l'eau ou à d'autres agents agressifs.

**1.3.4.2 Propriétés mécaniques**

Plusieurs chercheurs ont étudié les diverses caractéristiques des granulats légers et des bétons légers. Les bétons de granulats légers se distinguent principalement des bétons de granulats rigides par leur masse volumique plus faible, ce qui réduit à la fois le module élastique et la résistance du béton. Malgré un niveau de résistance limité, des bétons légers à haute performance avec une résistance en compression supérieure à 60 MPa pour une masse volumique inférieure à 1900 kg/m<sup>3</sup> ont été fabriqués. On ne connaît pas encore les mécanismes qui permettent d'expliquer un tel niveau de performance. Le lien entre la résistance mécanique à la compression du béton et le dosage en ciment peut être mentionné [Lydon ; 1982].[39]

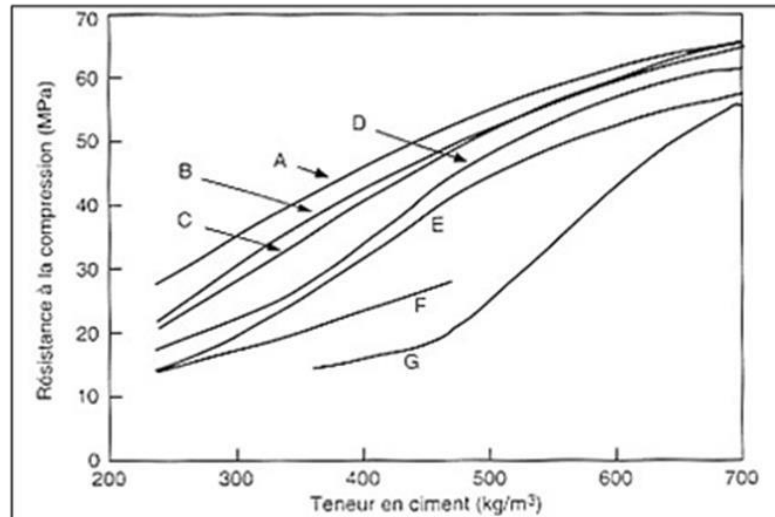


Figure 1.8. Relation entre la résistance à la compression du béton à 28 jours (mesurée sur confectionnés cubes) et le dosage en ciment des bétons ayant un affaissement de (5cm) et avec différents types de granulats légers. A cendres volantes frittées + granulat fin ordinaire, B laitier du haut fourneau + granulat fin ordinaire, C cendres volantes frittées, D schiste fritté, E ardoise expansée, F argile expansé + sable, G laitier expansé ;[Lydon,1982]

#### a) Retrait :

La plupart des bétons légers ont un retrait plus élevé que les bétons classiques et plus tardif, car l'eau absorbée par les granulats légers est progressivement restituée par la matrice, ce qui retarde la déshydratation du mortier, qui est la principale cause du retrait. La valeur finale de la réduction est déterminée en fonction du dosage en ciment, en eau et de la nature des granulats légers utilisés.

La figure 1.9 présente certains résultats de [Bentur & Coll] [39] concernant l'efficacité des granulats légers dans la prévention des dommages causés par le retrait endogène, en comparant la déformation d'un béton classique avec celle de deux bétons saturés et partiellement saturés.

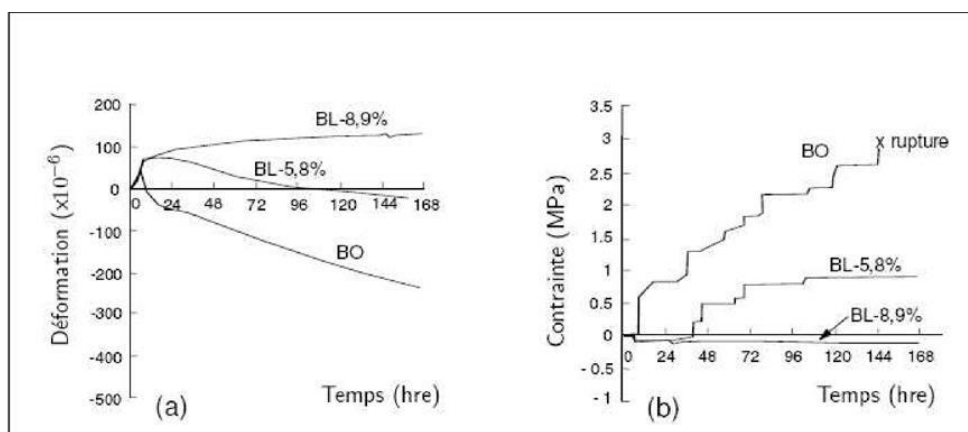


Figure 1.9. Retrait endogène en fonction du temps : déformation libres (a) et contraintes induites par le retrait empêché (b) ; bétons légers avec granulats saturés (BL-8,9%) et partiellement saturés (BL-5,8%) ; bétons de granulats rigides (BO) ; [Bentur & Coll].

Le retrait endogène est une diminution de volume de la pâte liante provoquée par son assèchement interne du fait de la consommation de l'eau pour l'hydratation ; on dit aussi retrait d'auto-dessiccation ou retrait d'hydratation.

### **b) Isolation thermique**

L'une des caractéristiques captivantes des bétons de granulats légers réside dans leur capacité d'isolation thermique grâce à la présence de nombreuses bulles d'air dans l'épaisseur du béton. Le béton sec est plus efficace en termes d'isolation que le béton humide. Ces bétons légers sont également des excellents isolants sonores .

Les performances d'isolation thermique sont influencées par la relation entre la masse et le coefficient de conductivité thermique, d'autant plus importante que la densité diminue. [40] [Nguyen, Beaucour, Ortola, Noumowé ;2011] .

Les bétons légers, à condition que les granulats soient minéraux, ont une conductivité thermique et un coefficient de dilatation plus faibles, ce qui leur confère une résistance au feu supérieure à celle des bétons courants.

*Chapitre 2 : Matériaux  
utilisés et protocole  
expérimental*

## 2.1. Introduction

Le comportement rhéologique et mécanique du béton autoplaçant allégé et fibrés est le résultat d'une interaction complexe entre ses divers constituants, pour cette raison, nous allons dans un premier temps caractériser les matériaux utilisés dans cette étude en présentant leurs propriétés chimiques et physiques. Nous précisons également les différents essais réalisés sur bétons frais et durci.

## 2.2. Matériaux utilisés

### 2.2.1 Ciment

Un ciment de type AL ESSES CEM I 42.5 N SR5, conçu pour résister aux sulfates, a été utilisé pour la confection de différents mélanges. Il est idéal pour les ouvrages en contact avec des milieux agressifs tels que l'eau, le sol et l'air. Ce ciment provient de l'usine d'Amouda Cement à El Baida.



Figure 2.1 Ciments utilisés CEM I 42.5 N SR5

Tableau 2.1 : Propriétés chimique du ciment

Propriétés chimique	Résultats moyen
SO <sub>3</sub>	1.9653%
SiO <sub>2</sub>	14.6171%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.0583%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.5208%
CaO	70.6134%
C <sub>3</sub> A	5%

Tableau 2.2 Propriété physiques et mécaniques du ciment

Propriétés physique et mécanique	Résultats moyens
Surface spécifique	2657
Masse volumique	3.24/3.22
RC après 2 Jours (MPa)	> 10
RC après 28 Jours (MPa)	42.5 < R < 62.5
Délai de prise (min)	> 60

## 2.2.2. Granulats

### 2.2.2.1 Gravier argile expansée

Depuis 2019 l'entreprise EURL KRIBI MESSAOUD s'est spécialisée dans la production et la commercialisation d'agrégats légers d'argile expansée sous la marque déposée ALGEXPAN ALGERIE, l'usine de production se trouve en ALGERIE dans la wilaya de BLIDA, commune de BOUINAN, les granulats légers d'argile expansée sont fabriqués à partir d'une argile naturelle sélectionnée soumise à un processus d'expansion à une température très élevée.



Figure 2.2: gravier d'argile expansé de dimension 3/8 et 8/15

### 2.2.2.2 Gravier naturel

Deux classes granulaires de gravier calcaire concassé 3/8 et 8/15 ont été utilisés.



Fig.2.3. Gravier utilisé de dimension 8/15

### 2.2.2.3 Sable

Dans cette étude on à utiliser deux types de sable

- ✓ Un sable d'argile expansé provenant de l'usine de production ALGEXPAN installée dans la wilaya de BLIDA
- ✓ Un sable alluvionnaire extrait de l'oued M'zi (région de Laghouat)

## **2.2.3 Adjuvant**

### 2.2.3.1 Superplastifiant

Dans le cadre de notre étude, on a utilisé un superplastifiant haut réducteur d'eau à base de polycarboxylates d'Ether et de dénomination commercial Granitex MEDAFLOW 30. Les données techniques de super plastifiant sont présentées dans le tableau suivant : Tableau 2.3 : caractéristiques MEDAFLOW 30

Caractéristiques techniques du super plastifiant						
Dénomination	Densité	pH	Extrait Sec	Teneur en chlore	Aspect	Couleur
MEDAFLOW 30	1.07 ± 0.01	6 – 6.5	30%	< 0.1 g/l	Liquide	Brun clair

### **2.2.4 Eau de gâchage**

. L'eau utilisée pour la fabrication de nos mélanges de béton est d'eau potable du robinet.

### **2.2.5 Fibre polypropylène**

Les fibres utilisées dans cette étude sont des fibres de polypropylène mon filament blanc de section transversale circulaire, d'une longueur moyenne de 12 mm et d'un diamètre de 32 µm (Fig. 2.4). Les propriétés physiques et mécaniques des fibres sont présentées dans le Tableau

2.4 (fourni par la société SIKA). Le choix de cette gamme de teneur en fibres repose sur des études antérieures (Consoli et al. 2009, Hamidi et Hooresfand 2013, Eldesouky et al. 2016, Eskisar et al. 2016), qui ont montré que la résistance optimale des sables renforcés par des fibres de polypropylène ont été obtenus pour des teneurs en fibres comprises entre 0.5 et 1%. [42]



Figure 2.4: Fibre polypropylène

Tab 2.4 : Données techniques des fibres PP [42]

Densité	0,90 g/cm <sup>3</sup>
Longueur	12 mm
Diamètre	29 à 45,5 µm
Résistance à la traction	340 à 500 MPa
Module d'élasticité	8,5 à 12,5 GPa

## 2.3. Caractéristiques des matériaux

### 2.3.1 Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles des grains constituant l'échantillon. Les images suivantes sont présentées lors de l'exécution du test de la figure 2.5.



Figure 2.5: Tamis d'analyse granulométrique

### **2.3.1.1. Gravier**

L'analyse granulométrique consiste à déterminer la distribution dimensionnelle des grains constituant un granulat dont les dimensions sont comprises entre 0.063 et 80, Cet essai est réalisé suivant la norme NF P18-598. L'échantillon représentatif doit avoir une masse comprise entre 200D et 600D. Ou D la plus grande dimension des granulats à analyser. On appelle tamisât ou passant l'ensemble des grains qui passent à travers le tamis, et refus l'ensemble des grains qui sont retenus sur le tamis. Les résultats de l'analyse granulométrique de gravier (Argile expansé, Naturel) 3/8 et 8/15 sont donnés dans le (Tableau 2.9 et 2.10,2.11,2.12) et leur courbe granulométrique est montrée dans (Figure2.6).

### **2.3.1.2 Sable**

L'expérience d'analyse granulométrique du sable vise à déterminer la distribution des tailles de grains de sable dans un échantillon particulier. Ces informations sont utilisées pour classer le sable et déterminer ses propriétés physiques et son aptitude à divers usages, et à travers notre étude, deux types de sable ont été utilisés : le sable alluvial de la vallée de M'zi, le sable argileux expansé de la région d'Alger dans l'État de Blida. Les résultats sont comme indiqué dans le tableau (2.13et 2.14) et la courbe granulométrique est montrée dans (Figure2.6).

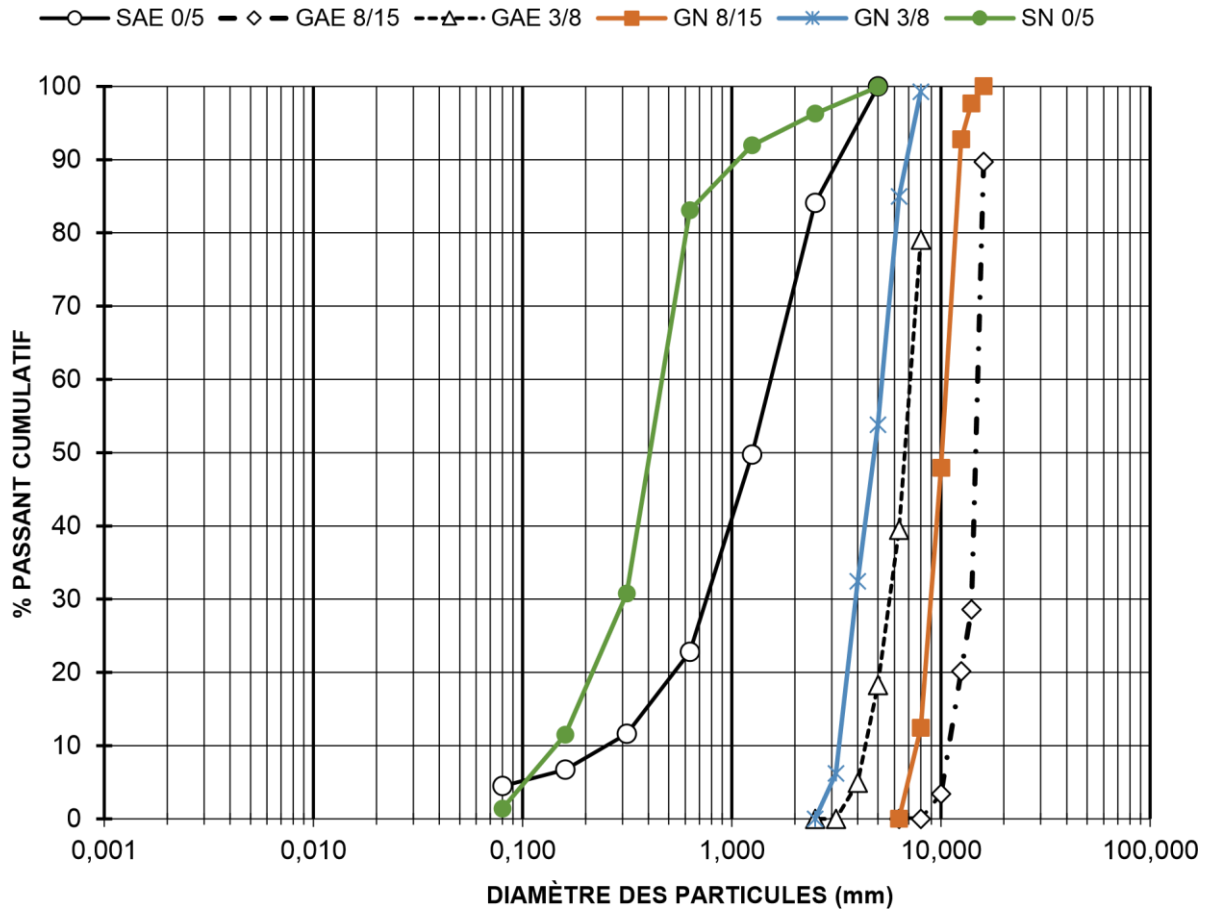


Figure 2.6: Courbe d'analyse granulométrique (SAE, GAE8/15, GAE3/8, GN8/15, GN3/8, SN)

### 2.3.2 Coefficient d'absorption

Ce test est réalisé en respectant la norme française P 18-554. On calcule un coefficient d'absorption en se basant sur la corrélation entre la masse augmentée de l'échantillon après l'immersion dans l'eau et la masse sèche de l'échantillon. Cette immersion est réalisée par immersion de l'échantillon dans l'eau pendant 24 heures à une température de 20 C°. (Equ2.1)

$$C_{abs} = \frac{M_h - M_s}{M_s} * 100 \quad (2.1)$$

Avec :

$M_h$  : masse de l'échantillon humide.

$M_s$  : masse de l'échantillon sèche

### 2.3.3 Masse volumique apparente (la norme NF P 18 -555) :

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables des grains et leurs à l'entour.

La masse volumique apparente ( $\lambda_{app}$ ) est donnée par la relation suivante :

$$\gamma_{app} = \frac{M1 - M0}{V_{tot}} \quad (2.2)$$

### **2.3.4 Masse volumique absolue : (NFP 18-555, NFP 18-554 et NA 255)**

La masse volumique absolue est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre des grains.

Tableau 2.10 : Résultats des essais du coefficient d'absorption, la masse volumique absolue et apparent

Matériaux	Coefficient d'absorption %	Masse volumique absolue g/cm <sup>3</sup>	Masse volumique apparent g/cm <sup>3</sup>
Gravier A.E 3/8	19.52 %	1.15	0.7
Gravier A.E 8/15	7.225 %	1.03	0.7
Gravier N 3/8	0.72 %	2.5	1.4
Gravier N 8/15	0.66 %	2.5	1.4
Sable d'argile expansé	23.15 %	1.58	0.93
Sable alluvionnaire	0,67	2,60	1.54

### **2.3.5 Module de finesse**

Les sables sont caractérisés par le module de finesse. Le module de finesse d'un granulat est égal au 1/100e de la somme des refus cumulés exprimés en pourcentages, sur les tamis de série suivant (0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5 mm). Le module de finesse surtout utilisé pour les sables permet de caractériser leur granularité par une seule valeur. Celle-ci dépend surtout de la teneur en grains fins du sable Plus le module de finesse est faible, plus le sable est fin. Un module de finesse élevée caractérise un sable grossier.[36]

$$\sum \%refus (cumulé)$$

$$Mf = \frac{\quad}{100}$$

- ✓ Le fuseau B correspond à un sable un peu trop fin)  $2,20 \leq \leq 1,80$ (
- ✓ Le fuseau A est le fuseau préférentiel )  $2,80 \leq \leq 2,20$ (
- ✓ Le fuseau C correspond à un sable un peu trop grossier ( $2,80 \leq \leq 3,20$ )

Tableau 2.11. Module de finesse des sables utilisés

Echantillons	Module de finesse (Mf)	Classement des sables
SAE	3.25	Trop grossier
SA	1,90	Trop fin

## 2.4. Formulation

Les chercheurs de l'université de Tokyo (Okamura et Ozawa [42] et Ouchi et al. [43]) ont été les premiers à proposer une méthode de formulation des bétons autoplaçants.

La teneur volumique du béton en gravillon est fixée à 50% de leur compacité. Les auteurs prétendent, sur la base de nombreux essais, qu'un tel ratio permet d'éliminer les risques de blocage si le mortier est convenablement formulé.

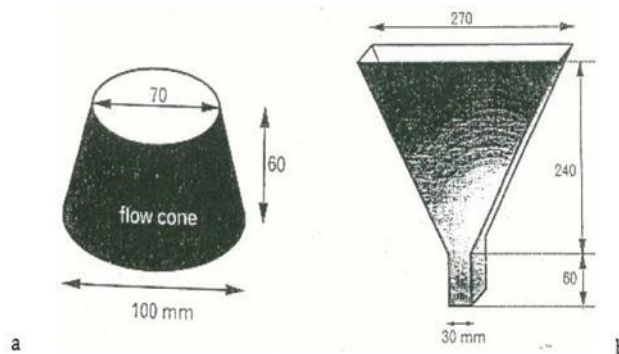


Figure 2.7 (a) essai d'étalement au mini-cône (b) essai d'écoulement au mini-entonnoir[44]

De même, afin d'assurer une ouvrabilité suffisante au mortier, ils fixent le volume de sable égal à 40% du volume total du mortier.

L'optimisation de la pâte s'effectue sur les mortiers dont la teneur volumique en sable est égale à 40%. Ces mortiers sont caractérisés conjointement par un étalement au cône et un temps

d'écoulement mesuré à l'entonnoir. Les dimensions de ces deux outils sont précisées sur la figure 2.5.

A partir de ces mesures, la méthode permet de déterminer :

a) L'étalement relatif

$$\Gamma_m = \frac{(d^2 - d_0^2)}{d_0^2}$$

b) La vitesse relative d'écoulement :

$$R_m = \frac{10}{T_V}$$

Où  $d$  (mm) est le diamètre final de la galette de mortier,  $d_0$  est le diamètre inférieur du cône (100mm) et  $t$  (en secondes) le temps d'écoulement à l'entonnoir.

Selon cette méthode, le terme  $\Gamma_m$  caractérise la fluidité du mortier (plus  $\Gamma_m$  est grand plus le mortier est fluide) alors que le terme  $R_m$  caractérise la viscosité (plus  $R_m$  est petit, la viscosité est grande).

D'après les travaux de l'équipe d'Okamura un béton autoplaçant acceptable vérifie les deux conditions suivantes:  $\Gamma_m = 5$  et  $R_m = 1$

La méthode d'Okamura semble très simple à appliquer et ne demande pas beaucoup de moyens. Dans cet article on présente une tentative d'utilisation et une adaptation de cette méthode pour formuler des BAP confectionné à partir de matériaux locaux.

## 2.5 Procédure de malaxage

La principale distinction entre le BAP et le béton courant réside dans la présence du superplastifiant dans le premier. Le but de l'emploi de cet adjuvant est d'obtenir un BAP très fluide. Toutefois, cette fonction est principalement liée au moment où le superplastifiant est ajouté pendant le processus de malaxage, c'est-à-dire au début ou pendant ce processus, ainsi qu'à la durée de malaxage du mélange. Le temps idéal pour ajouter le superplastifiant à base de polycarboxylates est de 0,5 à 2 minutes après le début du processus de malaxage, selon Domone et Jin. Une telle période permet d'obtenir un équilibre entre une grande fluidité et une meilleure ouverture. Selon Boukendakdji, l'efficacité du SP est d'autant plus élevée qu'il est ajouté (avec 30% d'eau) après avoir humidifié le béton (avec 70% de l'eau de gâchage ajoutée au début du malaxage). [38-39]

### 2.5.1 Cas du mortier :

Une fois la quantité de chaque élément ajouté à la composition du MAP calculée, on effectue un malaxage sec de la poudre et du sable pendant 15 secondes afin de rendre le mélange homogène. Ensuite, on ajoute 70% de l'eau de gâchage avec un début régulier dans le reste de la première minute. La minute suivante, le superplastifiant est ajouté de manière régulière à l'eau restante (après les avoir mélangées). Le malaxage a été poursuivi pendant encore 3 minutes. Toutes ces étapes sont résumées dans la figure 2.6

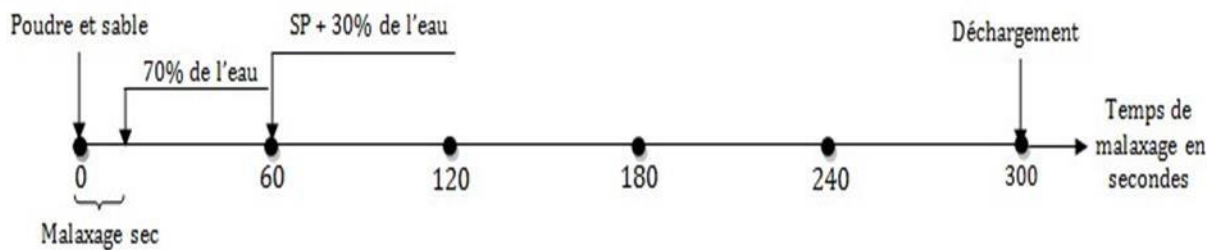


Figure 2.8 : Procédure de malaxage du mortier autoplaçant

### 2.5.2 Cas du Béton

L'annexe B présente un exemple de calcul des quantités des composants du BAP. Après avoir calculé et pesé toutes les quantités, on effectue un malaxage sec de la poudre, du sable et des gravillons pendant 30 secondes afin de rendre le mélange homogène. Ensuite, on incorpore 70% de l'eau de gâchage en commençant régulièrement dans les 60 secondes qui suivent. Pendant la minute suivante, le superplastifiant est ajouté de manière régulière à l'eau restante (après les avoir mélangées). Le malaxage a été poursuivi pendant 5 minutes supplémentaires. Ensuite, on interrompt le malaxage pendant 2 minutes, puis on le recommence pendant 30 secondes avant de décharger. La figure 2.7 résumé l'ensemble de ces étapes.

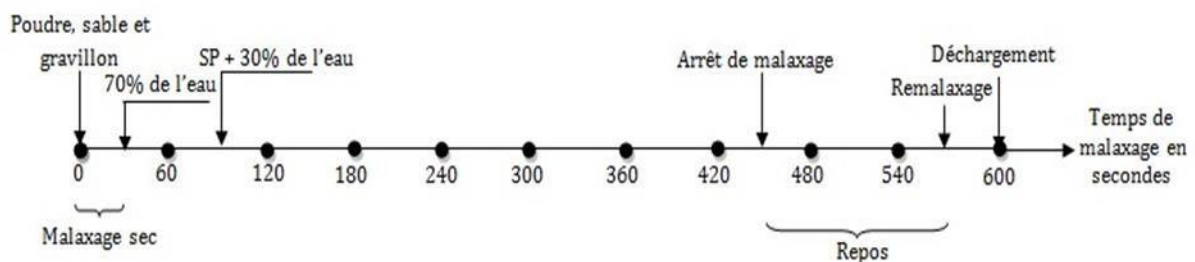


Figure 2.9 : Procédure de malaxage du béton autoplaçant.

## 2.6 Expérimentation

### 2.6.1. Essais sur mortier frais

Le mortier autoplaçant frais doit posséder des propriétés telles que la capacité de remplissage, la capacité de passage et la résistance à la ségrégation aux niveaux requis [13]. Celles-ci sont évaluées sur la base des spécifications EFNARC [28].

#### 2.6.1.1 Essai d'étalement au mini-cône :

C'est le test le plus fréquent, car il est le plus simple à réaliser. Il offre une description de la mobilité en milieu non fermé. On utilise l'essai d'étalement pour évaluer la fluidité du mortier. Il s'agit d'une variante de l'essai d'affaissement qui est réalisée sur un mini cône d'Abrams (test de flux d'affaissement mini). Les mesures d'étalement de la galette de mortier sont effectuées sur deux côtés perpendiculaires. Les valeurs d'étalement d'un MAP sont généralement établies entre 27 et 33 centimètres.

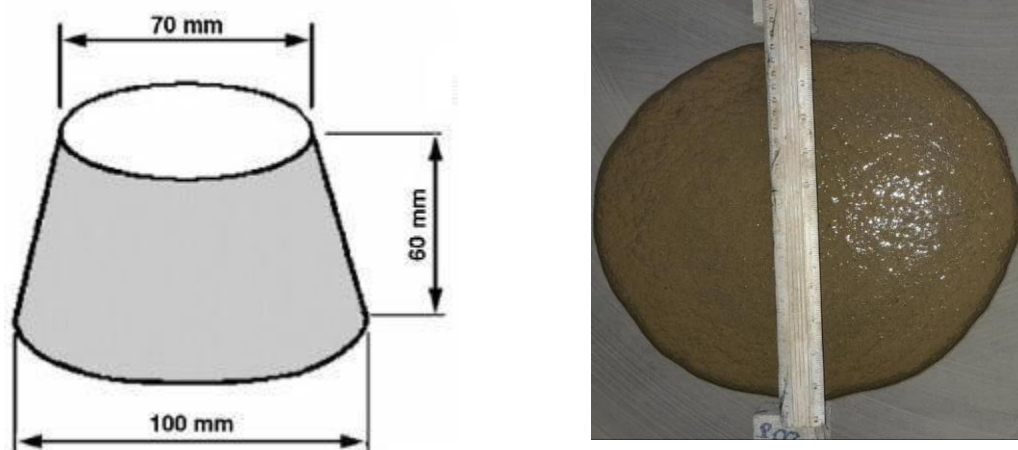


Figure 2.10 : Essai d'étalement au mini-cône : (a) exécution de l'essai, (b) mesure de l'étalement.

#### 2.6.1.2 Essai d'écoulement au mini-entonnoir en V :

La technique implique de remplir un mini-entonnoir en forme de V avec de l'eau de MAP tout en maintenant le clapet à la base du mini-entonnoir ouvert. Ensuite, le clapet est ouvert afin que le MAP puisse s'écouler à travers l'orifice. Le temps d'écoulement TV correspond à la période entre l'ouverture du clapet et l'apparition de la lumière du jour du haut du mini-entonnoir.

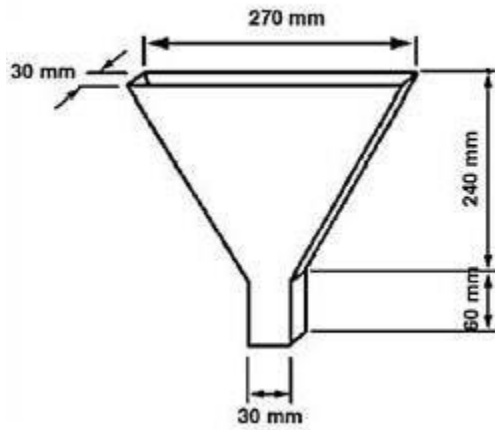


Figure 2.11 : Essai d'écoulement au mini-entonnoir en V : comptage du temps d'écoulement.

## 2.6.2 Essais effectués sur béton frais :

### 2.6.2.1. Essais d'étalement :

C'est le plus simple et le plus largement utilisé pour la caractérisation des bétons autoplaçants à l'état frais [Kuroiwa 1993, EFNARC 2002 et Bartos 2002].

Inspiré de l'essai classique d'affaissement au cône d'Abrams, cet essai caractérise la capacité d'un BAP à se placer par son propre poids sans intervention externe dans un milieu non confiné. Au lieu de mesurer l'affaissement, on mesure le diamètre moyen de la galette formée par le béton lors de l'étalement (Figure 2.10). On vise habituellement un étalement compris entre 600 et 750 mm pour un béton autoplaçant, ce diamètre serait proportionnel au seuil de cisaillement du béton [AFGC 2000]. Ce test nécessite un cône d'Abrams et une plaque métallique plane graduée à un diamètre de 50 cm afin d'y mesurer le temps de passage de la galette par ce diamètre, la valeur mesurée serait significative. La mesure du temps de passage de la galette de béton par le diamètre de 50 cm, noté T50 caractérise qualitativement la vitesse de déformation du béton. En général, des valeurs élevées de T50 traduisent un béton de vitesse de déformation faible (viscosité élevée). Pour un béton autoplaçant, la littérature mentionne des valeurs allant jusqu'à 7 secondes, Certains auteurs considèrent que cette valeur peut atteindre 12 secondes pour des bétons autoplaçants ayant une faible vitesse de déformation [El Barrak 2005]

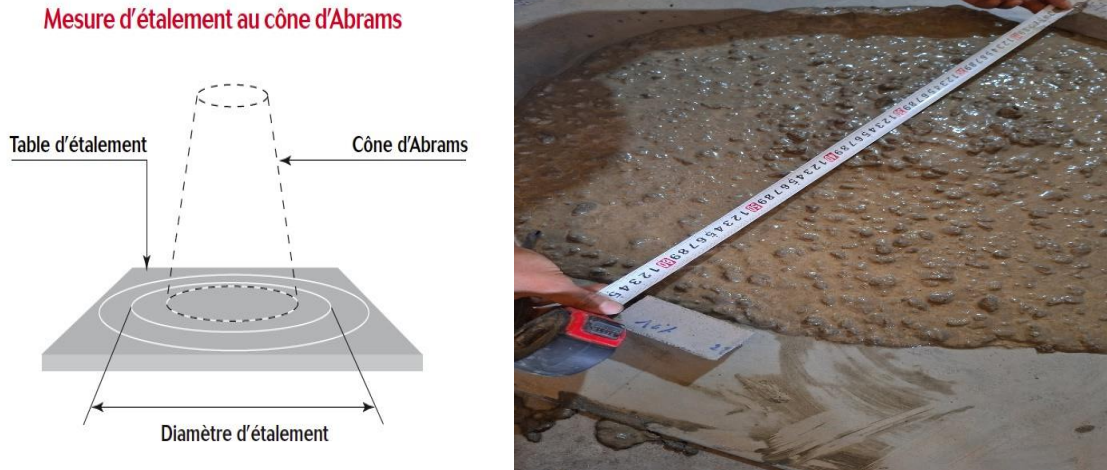


Figure 2.12 : Essai d'étalement au cône d'Abrams : (a) cône d'Abrams, (b) mesure de l'étalement.

Tableau 2.12: classes l'étalement

Classe	Étalement (mm)
SF1	550 à 650
SF2	660 à 750
SF3	760 à 850

### **2.5.2.2 Essai d'étalement à la couronne (J-Ring) :**

L'essai du J-Ring (Japanese Ring) consiste à associer un anneau d'armatures à l'essai de l'étalement au cône d'Abrams. Le cône d'Abrams est d'abord posé au centre de l'anneau d'armatures avant d'être relevé pour observer l'étalement du béton à travers les armatures (Figure 2.11). Les dimensions de l'anneau, des armatures et les espacements entre celles-ci sont différents selon les auteurs et les pays. A titre d'exemple, Nous citons quelques dimensions rapportées par [Daczko 2003]: Les diamètres des armatures et les espacements entre armatures peuvent varier respectivement dans les plages 10-16 mm et 34-48 mm. Le diamètre de l'anneau varie entre 23,5 et 30 cm.

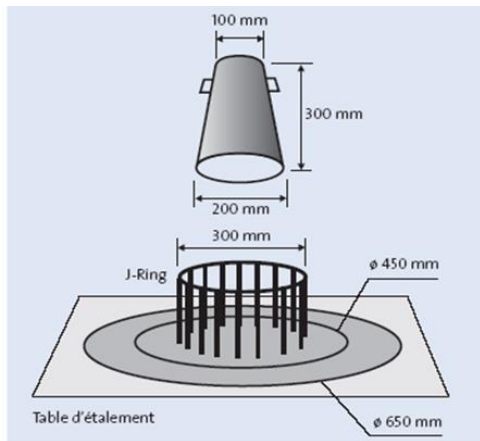


Figure 2.13 : Essai d'étalement à la couronne (J-Ring), (a) : Exécution de l'essai, (b) : mesure de l'étalement

La capacité de passage varie en fonction de la différence d'auteurs. Une valeur faible (inférieure à 1cm) indique une capacité de passage élevée, tandis qu'une valeur élevée indique une capacité de passage faible. La distinction entre les étalements avec et sans la couronne permet de mesurer le risque de blocage. Afin d'éviter ce danger, certains écrivains recommandent des dimensions inférieures à 5 cm. Les informations présentées dans le tableau 7 concernent le déroulement des BAP en fonction de la différence entre les étalements sans et avec la couronne.

Tableau 2.13 : Aptitude d'écoulement en fonction de différence d'étalements

Étalement- Étalement J-Ring (cm)	Commentaire
0 à 2,5	Bon écoulement
> 2,5 à 5	Écoulement partiellement bloqué
> 5	Écoulement sévèrement bloqué

### **2.5.2.3 Essai de stabilité au tamis**

Grâce à cet essai, on évalue la ségrégation des BAP. Pour cette raison, une fois le béton malaxé, deux litres de béton sont versés dans un seau. Après une 15 minutes de repos, on verse 4,8 kg de béton du eau sur un tamis de maille de 5 mm (Figure 2.12). La quantité passante (laitance) ayant effectivement traversé les mailles du tamis est pesée deux minutes plus tard. Le rapport entre cette quantité et la masse initiale fournit l'indice de ségrégation. Un taux élevé de laitance

témoigne d'une résistance à la ségrégation faible. Il est recommandé que ce pourcentage atteigne au moins 15 % [AFGC 2000].



Figure 2.14 : Essai de ségrégation dynamique au tamis (a) pesé du l'échantillon, (b) pesé de la laitance.

### 2.5.3 Coulage, démoulage des éprouvettes

Après avoir terminé le processus de malaxage et effectué tous les tests concernant les mortiers et les bétons à l'état frais, des éprouvettes cubiques et prismatiques sont coulées sans compactage afin de réaliser les tests concernant les mortiers et les bétons à l'état durci. (Figure 2.13). Après une période de 24 heures, les échantillons sont retirés, puis plongés dans l'eau, en respectant la norme NF P18-438[38].



Figure 2.15 : coulage des moules



Figure 2.16. Démoulage des éprouvettes

#### **2.5.4 Essais sur mortier et béton durci :**

Les résistances à la compression et à la traction ainsi que la vitesse de propagation d'ondes ultrasoniques sont mesurées sur des éprouvettes prismatiques ( $4*4*16\text{ cm}^3$ ), ( $7*7*28\text{ cm}^3$ ) pendant une période de 28 jours. On mesure immédiatement la densité des mélanges après avoir démoulé les éprouvettes. Après 28 jours de mûrissement dans l'eau, des essais d'absorption d'eau par capillarité et par immersion sont réalisés sur des éprouvettes de même type. Après 28 jours, on effectue l'essai de résistance à la ségrégation sur des éprouvettes cubiques. Les moyennes obtenues des résultats individuels de trois échantillons sont prises en considération. La résistance moyenne pour l'essai de compression est celle de six essais réalisés.

##### **2.5.4.1 Resistance à la compression**

On peut mesurer la résistance à la compression à l'aide d'éprouvettes cylindriques ou prismatiques en respectant la norme NF P18-430[38]. Dans notre situation, l'essai de compression est effectué sur 24 fragments de 12 éprouvettes prismatiques préalablement écrasées par flexion. En utilisant une presse hydraulique de capacité de 2000KN, l'éprouvette est soumise à une charge croissante jusqu'à ce qu'elle se brise. Cette presse est équipée d'un affichage numérique qui permet d'entrer la surface de l'éprouvette, la vitesse de chargement (2,5 KN/s) et d'obtenir la force et la résistance à la compression. (Figure 2.15)

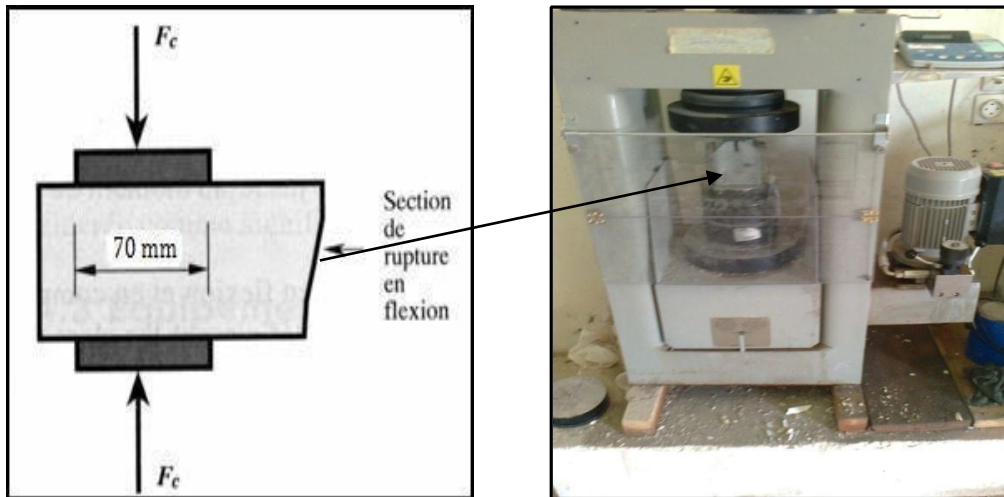


Figure 2.17 : Détermination de la résistance à la compression.

#### 2.5.4.2 Résistance à la flexion (trois points)

La flexion d'une éprouvette de béton (conformément à la norme NF EN 12390-5)

Ce test permet d'évaluer la résistance du béton à la flexion. Des éprouvettes prismatiques (7\*7\*28) seront soumises à une flexion en appliquant une charge. La résistance à la flexion du béton est calculée en fonction de la charge maximale infligée avant la rupture du béton . Différentes versions de l'essai de flexion existent, mais la plus répandue est la suivante : L'essai de flexion 3 points consiste à placer l'éprouvette prismatique de béton sur deux supports et à appliquer une force graduelle au centre de l'éprouvette jusqu'à ce qu'elle se scie. L'éprouvette en béton subit une compression sur la partie supérieure et une traction sur la partie inférieure.



Figure 2.18 : Détermination de la résistance à la traction par flexion trois point.

### 2.5.4.3 Vitesse d'auscultation sonore (VAS)

Les ultrasons désignent des ondes acoustiques ou élastiques dont la fréquence dépasse celle des sons perçus par l'oreille humaine et est inférieure à celle des vibrations thermiques des atomes. On peut entendre des sons allant de 10 à 20 000 Hz et les vibrations thermiques vont de 10<sup>9</sup> à 10<sup>13</sup> Hz (1 GHz - 10 THz). Les fréquences d'examen aux ultrasons ne couvrent pas l'ensemble de la gamme des ultrasons, mais s'étendent de 0,5 à 12 MHz au maximum. La vitesse de son  $c$  d'un solide est de  $\approx 5000$  m/s, ce qui correspond à l'intervalle des longueurs d'ondes ( $\lambda = c/v$ ) allant de 1 cm à 0.4 mm. La limite de 0.5 MHz inférieure est calculée en fonction de la perte totale en résolution des défauts de taille inférieure. La valeur de 0.5 MHz est calculée en fonction de la résolution totale des défauts dont la taille est inférieure à la longueur d'onde. Dans les matériaux solides (vitesse du son  $c \approx 5000$  m/s), une onde de 0,5 MHz n'est capable de détecter que les défauts de plus de 1 cm. En général, on se concentre également sur des imperfections beaucoup plus petites. L'augmentation de fréquence nécessaire entraîne une augmentation de l'absorption, ce qui restreint la profondeur accessible aux ultrasons.

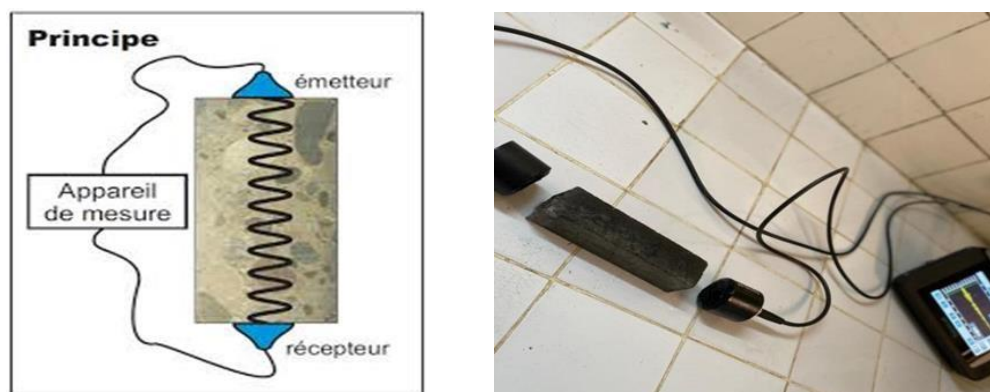


Figure 2.19 : Évaluation de la vitesse de transmission des ondes.

### 2.5.4.5 Absorption d'eau par immersion :

La méthode consiste à sécher préalablement des éprouvettes prismatiques à l'étuve à  $105 \pm 5$  °C pendant 72 heures. Les éprouvettes sont ensuite retirées et laissées refroidir, puis sont pesées soit  $M_0$ . Par la suite, les éprouvettes sont immergées totalement dans l'eau à 21 °C pendant 72 heures (Figure 2.18). Après cette période, les éprouvettes sont retirées, et après avoir étoffé leurs faces à l'aide d'une serviette, sont pesées de nouveau soit  $M_1$ . Le taux d'absorption est calculé comme suit :

$$A_{bi} = \frac{M_1 - M_0}{M_0} * 100$$

Où

$A_{bi}$  : taux d'absorption en %.

$M_0$  : masse de l'éprouvette à l'état sec en kg.

$M_1$  : masse de l'éprouvette à l'état saturé en kg.

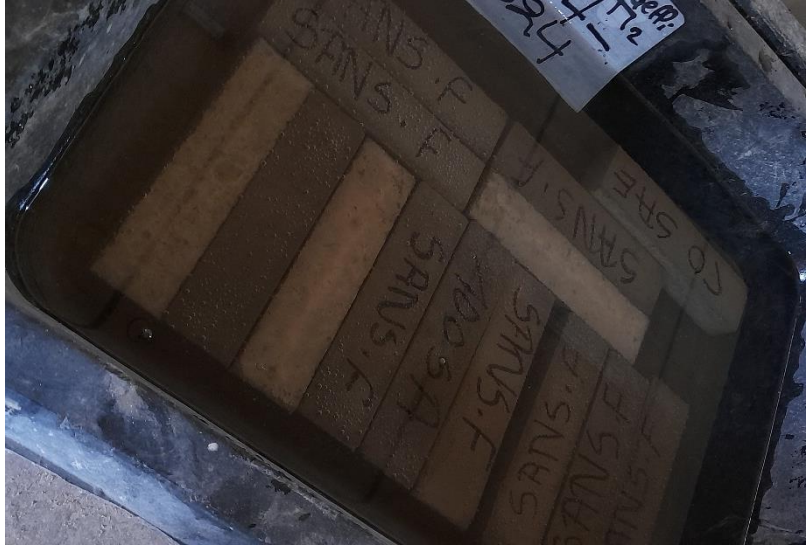


Figure 2.21: Immersion totale des éprouvettes

# *Chapitre 3 : analyse et discussion des résultats*

### **3.1. Introduction :**

Dans ce chapitre, nous allons analyser et discuter des résultats obtenus de différents essais que nous avons menés. Tout d'abord, nous avons déterminé la quantité appropriée de superplastifiant afin d'obtenir des mortiers et bétons ayant un caractère autoplaçant, puis nous passerons à l'analyse à l'interprétation des résultats issus des essais sur mortiers et bétons frais.

### **3.2. Analyse et discussion des résultats :**

Comme nous avons signalé au début, des essais préliminaires (étalement au mini-cône et écoulement au mini-entonnoir) ont été réalisés sur des mélanges de mortier pour déterminer le dosage optimal en superplastifiant. Ces tests ont été premièrement réalisés sur un mortier composé uniquement de sable alluvionnaire à 100 %. Pour déterminer le dosage de SP, on a commencé par un dosage de 0.9%, en faisant les deux essais d'étalement et d'écoulement, si les résultats obtenus sont acceptables (étalement entre 27 et 33 cm et temps d'écoulement entre 2 et 10 s) le dosage est considéré optimal sinon il faut changer le dosage jusqu'à trouver le pourcentage adéquat. Ensuite, nous avons effectué les mêmes tests sur des mortiers contenant des proportions de sable argile expansée, comme indiqué dans le tableau 3.1.

Les résultats montrent qu'il est nécessaire d'augmenter le dosage en SP à 1% pour avoir un mortier fluide et homogène.

Tableau 3.1. : Composition de matériaux à MAP (SF+AF)

Mélanges	E/L	Constituants								
		Sable A	S AE	Ciment	Fibre (%)	Fibre (g)	SP (%)	SP	Eau	Eau corrigée
<b>100SA</b>	0,4	1310,00	0,00	690,65	-	-	1,00	6,91	280,92	280,92
<b>10SAE</b>		1179,00	79,0		-	-				298,33
<b>20SAE</b>		1048,00	158,0		-	-				315,74
<b>30SAE</b>		917,00	237,0		-	-				333,15
<b>50SAE</b>		655,00	395,0		-	-				367,97
<b>100SA + 0,1 FP</b>		1310,00	0,00	0,60	0,55	1,20	8,28	280,92		
<b>10SAE + 0,1 FP</b>		1179,00	79,0			1,20	8,28	280,04		
<b>20SAE + 0,1 FP</b>		1048,00	158,0			1,20	8,28	279,16		
<b>30SAE + 0,1 FP</b>		917,00	237,0			1,30	8,98	278,28		

<b>50SAE + 0,1 FP</b>	655,00	395,0			1,60	11,05	276,53
-----------------------	--------	-------	--	--	------	-------	--------

### 3.2.1. Mortier frais :

La figure 3.1 illustre les valeurs de l'étalement pour mortiers avec et sans fibres. Les valeurs d'étalement pour les mélanges sans fibres variaient entre 28,55 et 34,25 cm, ce qui est presque dans la plage requise de 27-33 cm. Cependant, pour les mélanges 30 SAE et 50 SAE, il y avait une légère augmentation due à la proportion de sable expansé argileux présente dans le mortier. Quant aux résultats du temps d'écoulement, ils étaient compris entre 2,96 et 7,57 secondes (figure 3.2), respectant ainsi la plage requise. L'incorporation des fibres conduit à une diminution de l'étalement (25,80 et 28,03 cm) et une augmentation du temps d'écoulement (9,90 et 21,11 s).

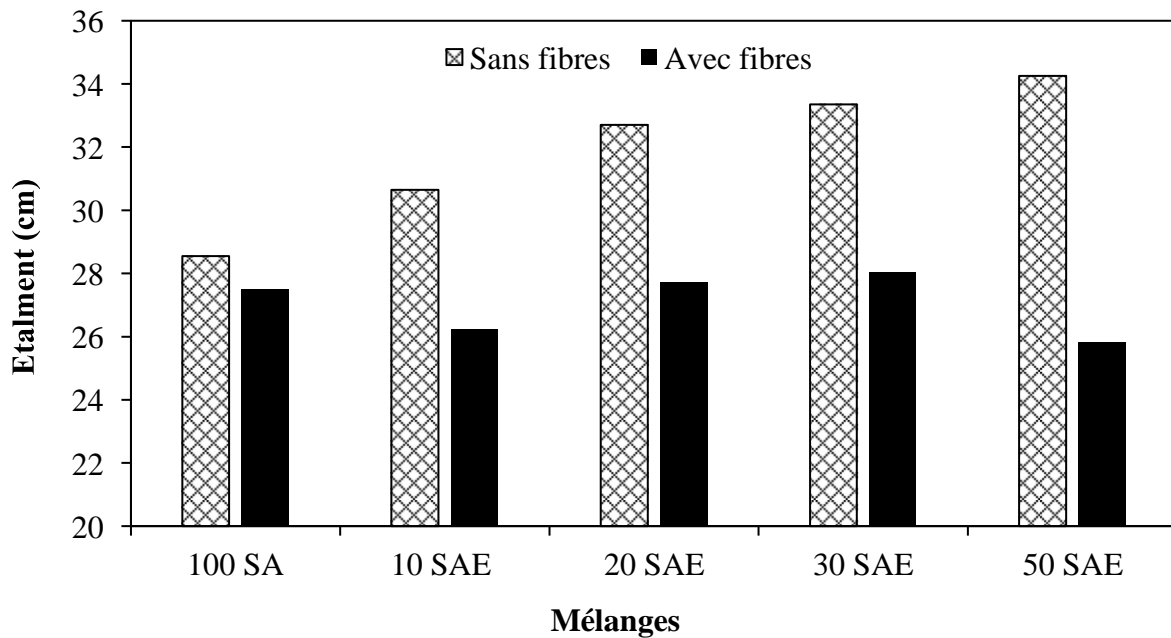


Figure 3.1. Valeurs de l'étalement avec le mini cône

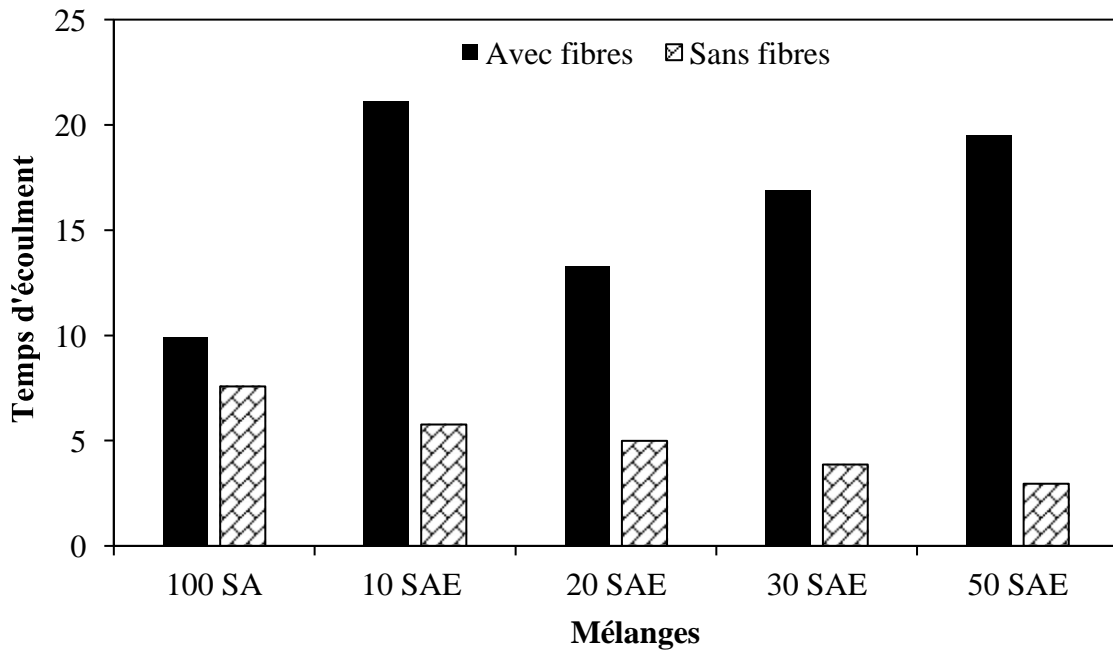


Figure 3.2. Evolution de l'écoulement avec le mini V-Funnel

### 3.2.2. Mortier durci :

#### 3.2.2.1. Résistance à la compression

Le Figure 3.3 présente l'évolution de la résistance à la compression pour les mortiers sans fibres aux jours 3 et 28. L'analyse des résultats permet de faire les constatations suivantes :

- Pour la résistance à la compression du mortier au jour 3, elle variait entre 11,78 et 20,92 MPa.
- Le mélange 50SAE avait la plus grande résistance avec une valeur de 20,92 MPa.
- L'augmentation de la quantité de sable expansé argileux dans les mélanges entraîne une augmentation proportionnelle de la résistance à la compression.
- Le mélange 20SAE a développé une résistance plus faible (11,78 MPa) par rapport au mélange de référence.
- En ce qui concerne la résistance à la compression au jour 28, les valeurs varient entre 33,09 et 56,70 MPa.
- Le mélange 10SAE a montré la plus grande résistance avec une valeur de 56,70 MPa.

- Pour le mélange 30SAE, sa résistance était plus faible (33,09 MPa) par rapport au mélange de référence.

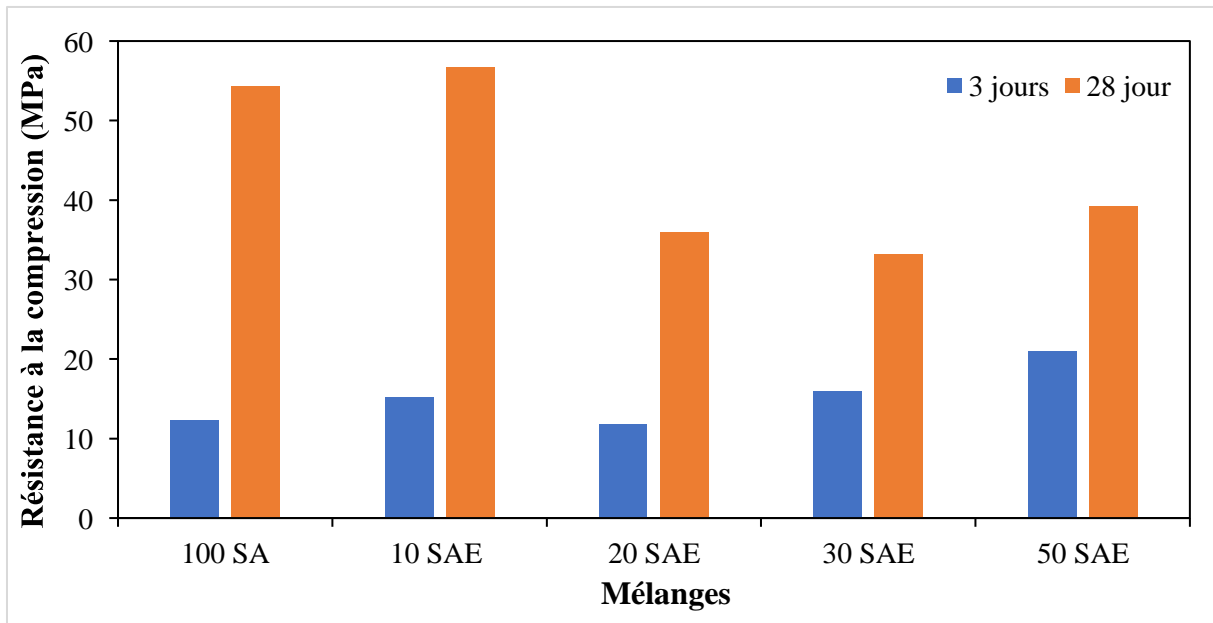


Figure 3.3 : Résistance à la compression sans fibre

La Figure 3.4 présente la variation de la résistance à la compression avec fibres aux jours 3 et 28. Les résistances obtenues variant de 12.06 MPa à 18.25 MPa (à 3 jours) et 36.84 MPa à 49.63 MPa (à 28 jours). Le mélange de à base sable alluvionnaire présente des résistances de 15.33 MPa à 3 jours et 46.83 MPa à 28 jours. L'ajout de 10% d'argile expansée améliore la résistance alors que des pourcentages supérieurs à 10 conduits à une réduction de la résistance.

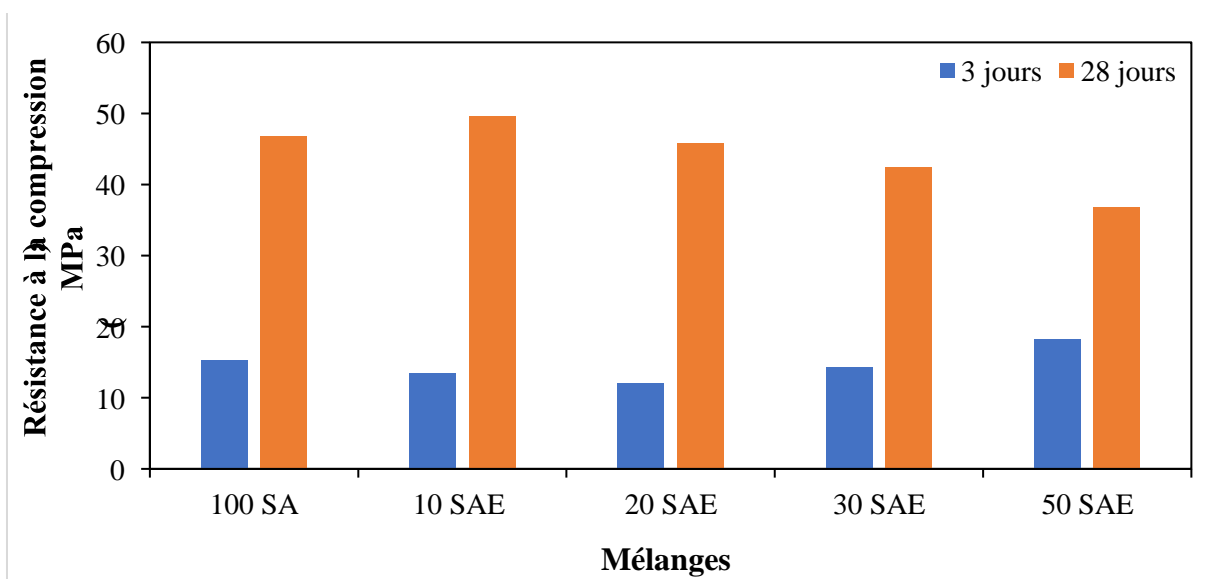


Figure 3.4 : Résistance à la compression avec fibre

### 3.2.2.2. Résistance à la flexion

La figure 3.5 montre la variation de la résistance à la flexion des mortiers sans fibres. Les résultats montrent que la résistance à la flexion à 3 jours varie entre 1,42 et 1,83 MPa. Au bout de 28 jours, ces valeurs varient entre 2,18 et 2,93 MPa. L'ajout des granulats d'argile expansée provoque une réduction de la résistance à la flexion à 28 jours.

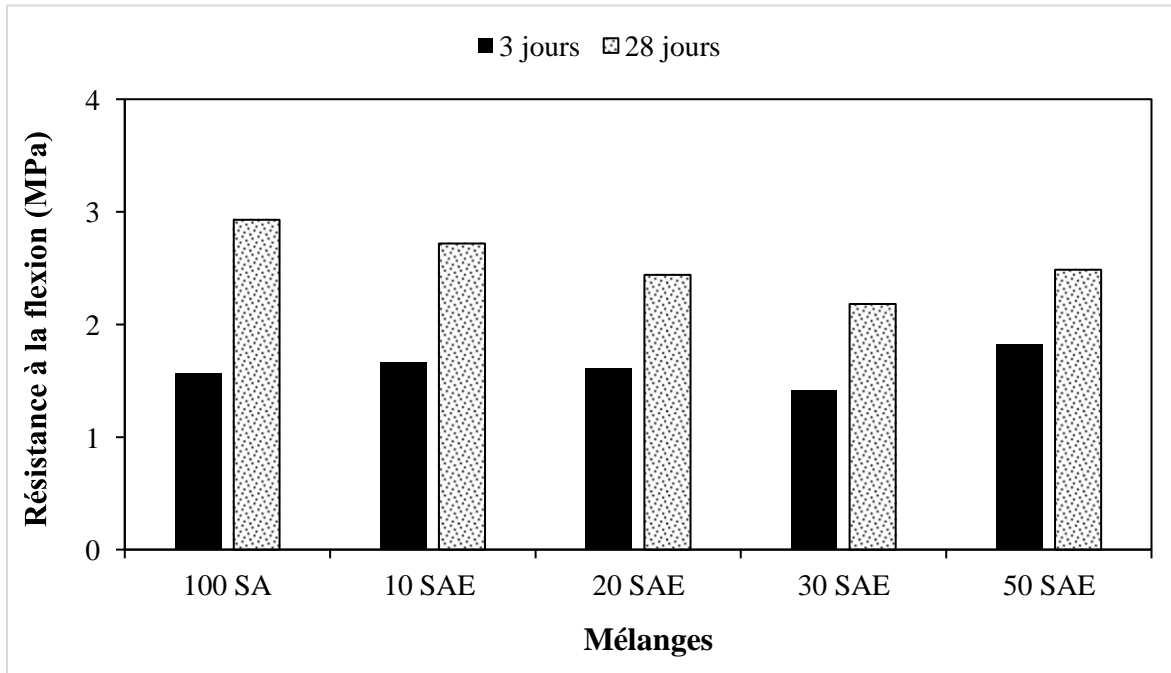


Figure 3.5 : Resistance à la flexion sans fibre

Quant aux résistances à la flexion des mélanges de béton fibrés, les résultats sont illustrés sur la figure 3.6. Il a été noté que la résistance à la flexion à 3 jours varie entre 1,54 et 1,81 MPa. Nous observons une légère amélioration de la résistance à la flexion à 28 jours avec l'emploi des granulats d'argile expansé.

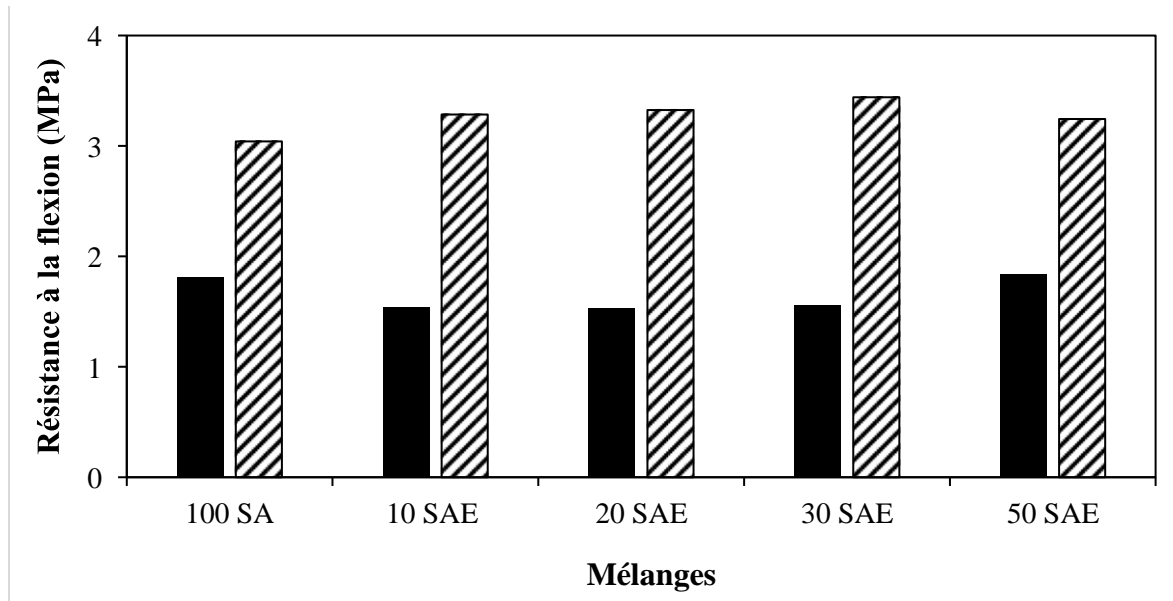


Figure 3.6 : Résistance à la flexion avec fibre

### 3.2.3. Béton frais :

Les différentes compositions des bétons sont données dans le tableau 3.1. Dans cette partie, nous nous intéressons à l'étude des propriétés des bétons autoplaçants allégés et fibrés. La figure 3.9 montre la variation de l'étalement des bétons testés. L'étalement est un bon indicateur de la capacité d'écoulement ou de déformation d'un béton sous son propre poids dans des moules libres. Les résultats montrent que toutes les compositions testées ont une bonne déformabilité (étalement entre 55 et 75 cm), à l'exception du mélange 50SAE où l'étalement est considéré faible (35,5 cm). Il est à noter que selon l'EFNARC, les valeurs d'étalement doivent s'inscrire dans la plage de 55 à 85 cm. Une diminution de l'étalement a été observée avec l'introduction des granulats d'argile expansée, ce qui signifie que les mélanges contenant de l'argile expansée ont une fluidité et une déformation moindres par rapport au mélange de référence (100SA).

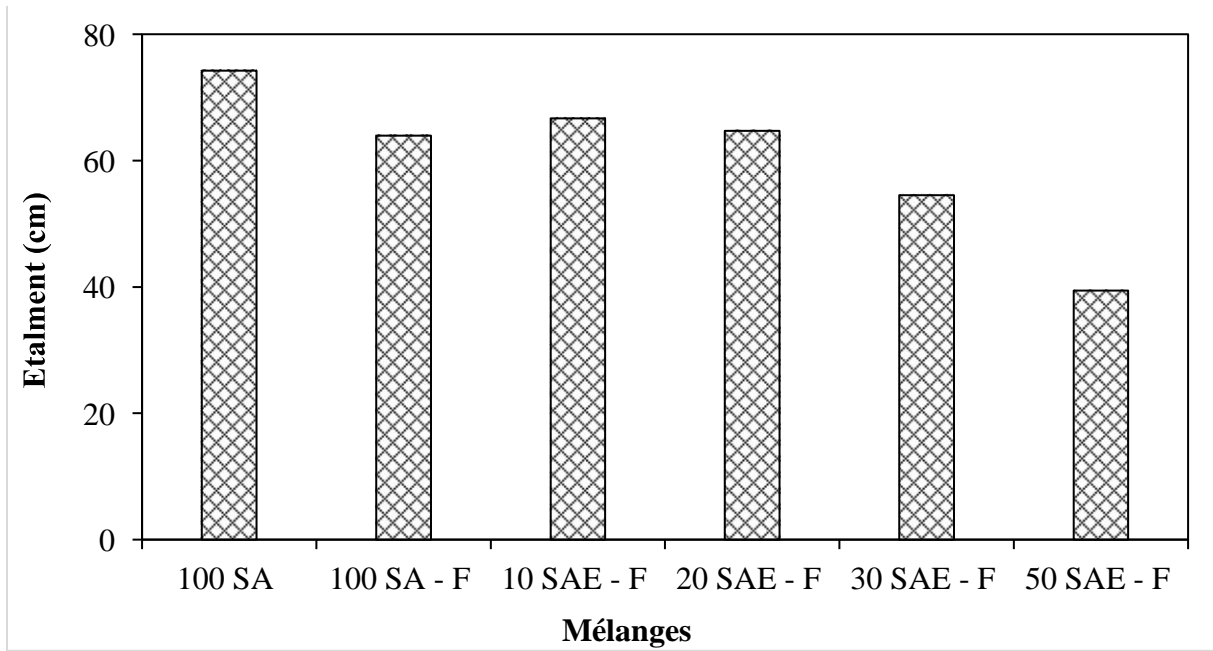


Figure 3.9. Variation de l'étalement des bétons autoplaçants allégés et fibrés

Chapitre 3 : analyse et discussion des résultats

Mélanges	E/L	Constituants													
		Sable A	Sable AE	G N 8/15	G AE 8/15	GN 3/8	G AE 3/8	Ciment	Fibre (%)	Fibre (g)	SP (%)	SP	Eau	Eau corrigée	
<b>100SA</b>	0,4	862,962	0,000	549,681	0,000	274,675	0,000	461,56	0,00	0,00	1,10	5,080	192,41	192,41	
<b>100SA + 0,1 FP</b>		862,962	0,000	549,681	0,000	274,675	0,000		0,60	546,00	1,20	5,540		192,41	
<b>10SAE + 0,1 FP</b>		776,725	52,045	494,818	21,949	247,293	12,248		0,60	546,00	1,20	5,540		191,83	
<b>20SAE + 0,1 FP</b>		690,422	104,090	439,838	43,899	219,816	24,495		0,60	546,00	1,20	5,540		191,25	
<b>30SAE + 0,1 FP</b>		604,120	156,136	384,859	65,848	192,339	36,743		0,60	546,00	1,30	6,000		190,68	
<b>50SAE + 0,1 FP</b>		431,514	260,226	274,899	109,747	137,385	61,238		0,60	546,00	1,60	7,380		189,52	

La variation du temps d'écoulement des bétons autoplaçants allégés et fibrés est illustrée sur la figure 3.10. On observe que le mélange de référence avec fibres avait un temps d'écoulement plus grand par comparaison au mélange témoin. L'utilisation des granulats d'argile expansé une légèrement augmentation du temps d'écoulement pour des pourcentages de 10 et 20%, au-delà lequel le temps d'écoulement augmente considérablement.

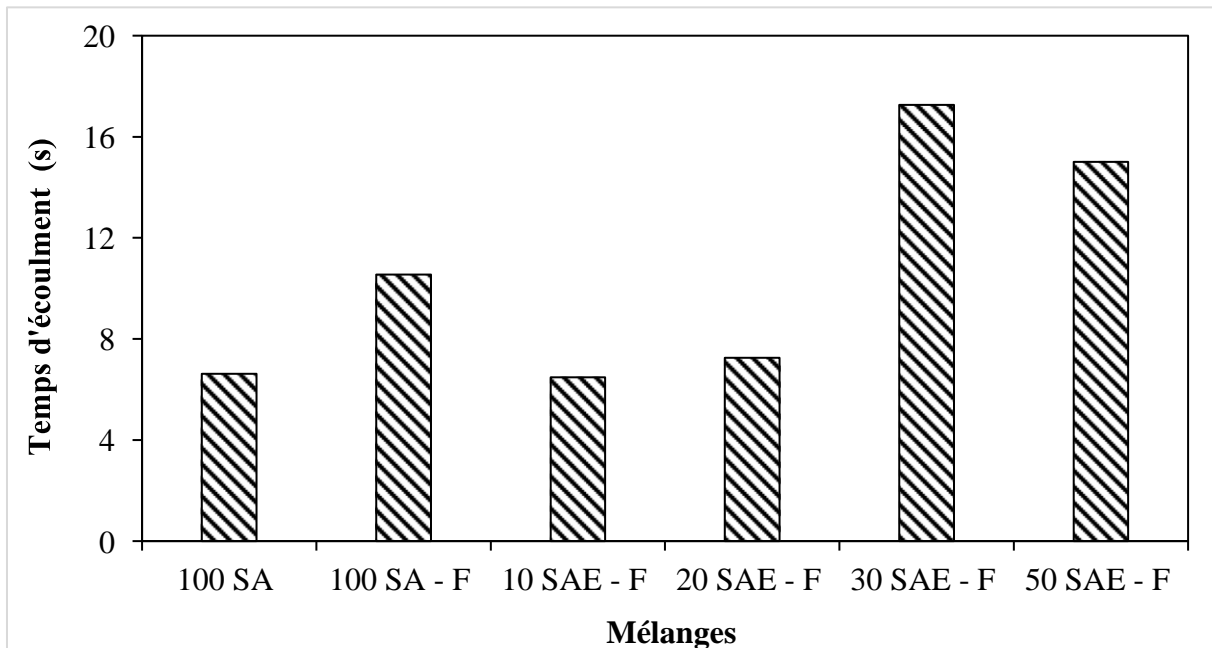


Figure 3.10. Variation de temps d'écoulement des bétons autoplaçants allégés et fibrés des bétons autoplaçants allégés et fibrés.

La figure 3.3 illustre la variation de l'étalement J-Ring des bétons autoplaçants allégés et fibrés. Les valeurs obtenues varient entre 28,5 et 70,7 cm. Nous remarquons que l'ajout des fibres au mélange de référence conduit à une réduction de l'étalement. Les résultats montrent également que l'utilisation des granulats d'argile expansé mène à une diminution de l'étalement, cette diminution est proportionnelle au pourcentage d'argile expansé.

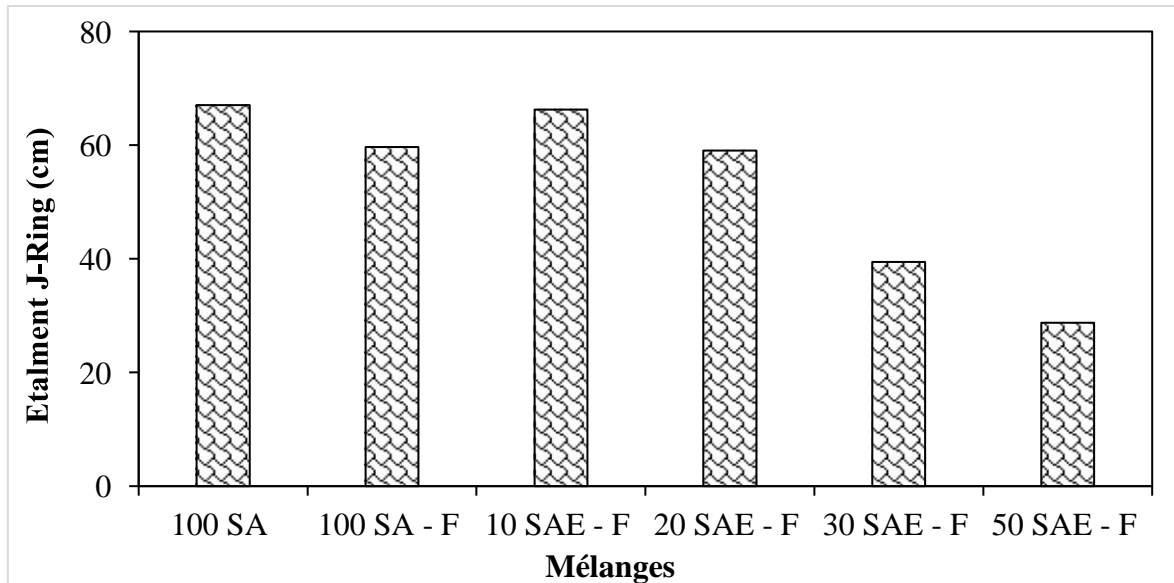


Fig 3.11 : Variation de l'étalement au J-Ring des bétons autoplacants allégés et fibrés.

### 3.2.4. Béton durci :

#### 3.2.4.1. Résistance à la compression

La figure 3.12 présente la variation de la résistance à la compression à 28 jours de différents mélanges étudiés. Les valeurs de résistance à la compression obtenues varient entre 25,62 et 47,04 MPa. Nous remarquons que la présence des fibres n'a affecté que légèrement la résistance de béton. Le mélange contenant 10% d'argile expansé est celui qui présente la résistance la plus grande (47,04 MPa). L'utilisation des granulats d'argile expansé avec 20, 30 et 50% entraîne une diminution de la résistance respectivement de 30, 37 et 43%.

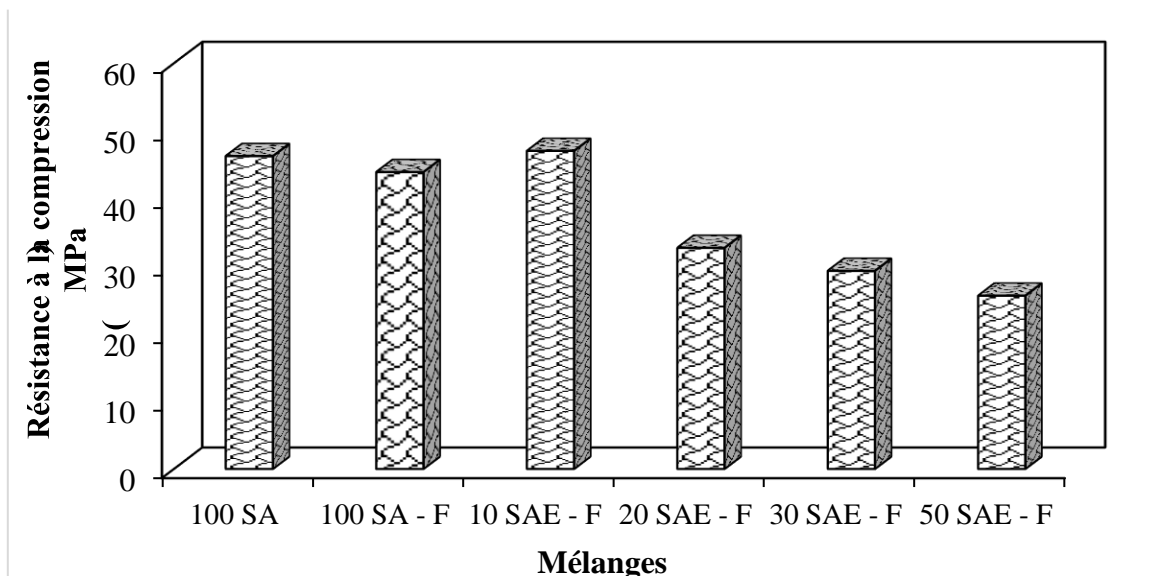


Figure 3.12. Evolution de la résistance à la compression à 28 jours des bétons autoplaçants allégés et fibrés.

### **3.2.4.2. Résistance à la flexion**

L'évolution de la résistance à la compression à 28 jours des bétons autoplaçants allégés et fibrés est illustrée sur la figure 3.13. Les valeurs de résistance à la flexion obtenues varient entre 6,24 et 6,83 MPa. Nous constatons que le mélange 10 SAE est celui qui présente la plus grande résistance à la flexion parmi les autres mélanges. Toutefois, l'allure de la courbe montre que la présence des fibres améliore légèrement la résistance à la flexion.

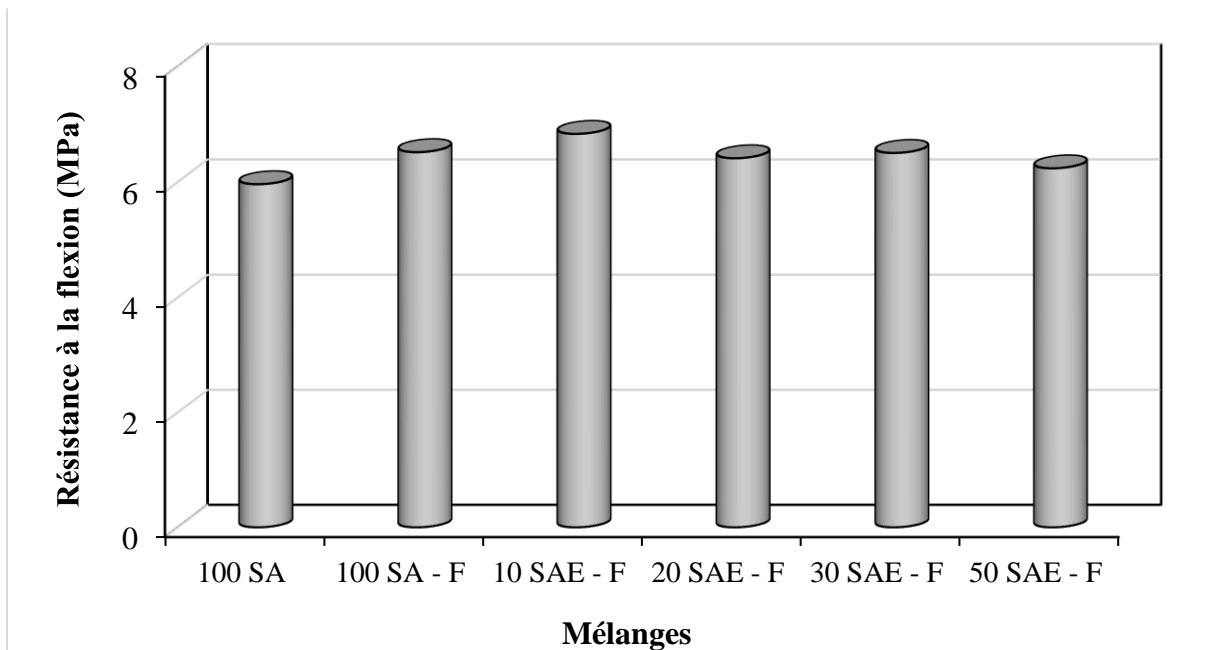


Figure 3.13. Evolution de la résistance à la flexion à 28 jours des bétons autoplaçants allégés et fibrés.

### **3.2.4.3. Vitesse d'auscultation sonore**

Les résultats de la vitesse d'auscultation sonore (à 28 jours) sont présentés sur la figure 3.14.

L'analyse des résultats permet de tirer les constatations suivantes :

- Les valeurs obtenues varient entre 1900 et 4383 m/s ;
- Les mélanges à base de granulats naturels présentent presque la même vitesse d'auscultation sonore ;

- La substitution partielle des granulats naturels par des granulats d'argile a entraîné une réduction remarquable de la vitesse d'auscultation sonore. Ceci traduit la présence des vides dans ces mélanges d'où une réduction de leur densité ;

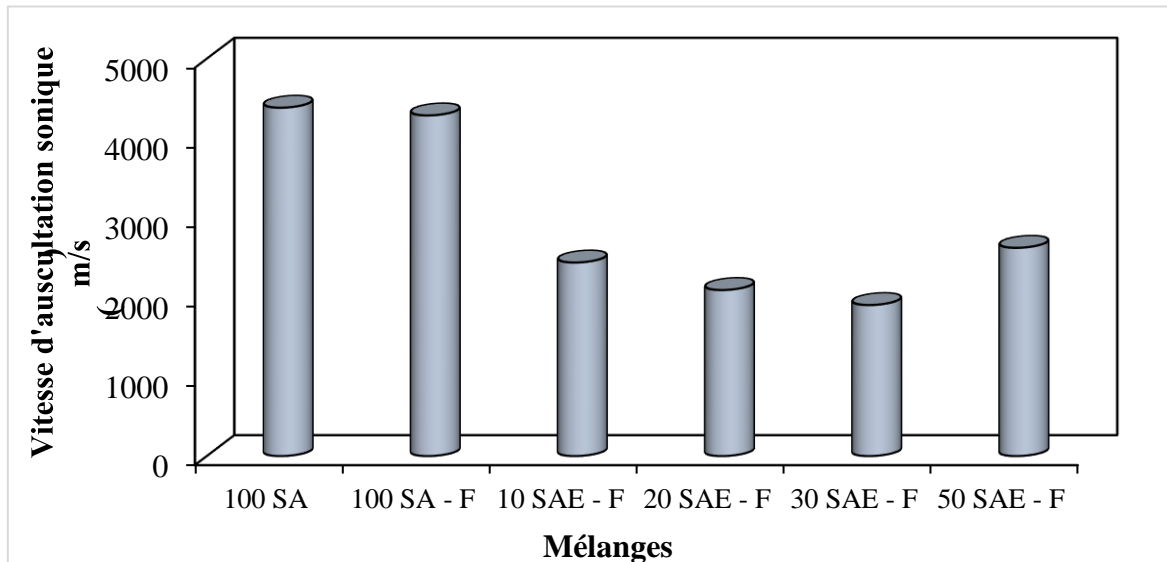


Figure 3.14 : La variation de vitesse d'auscultation sonore à 28 jours des bétons autoplaçants allégés et fibrés.

#### **3.2.4.4. Masse volumique sèche**

La variation de la masse volumique des bétons durcis en fonction de taux de substitution des granulats d'argile expansée est illustrée sur la figure 3.6. Les valeurs trouvées varient de 1880 à 2285 kg/m<sup>3</sup>. Les résultats indiquent une diminution de la masse volumique avec l'ajout des granulats d'argile expansée. A titre d'exemple l'ajout de 30% et 50% d'argile expansée permet de réduire la masse volumique respectivement par environ 14% et 19%, ce qui contribue efficacement à réduire le poids de structure ainsi que les dimensions des éléments porteurs. Ces résultats confirment ceux trouvés dans la section précédente (figure 3.14).

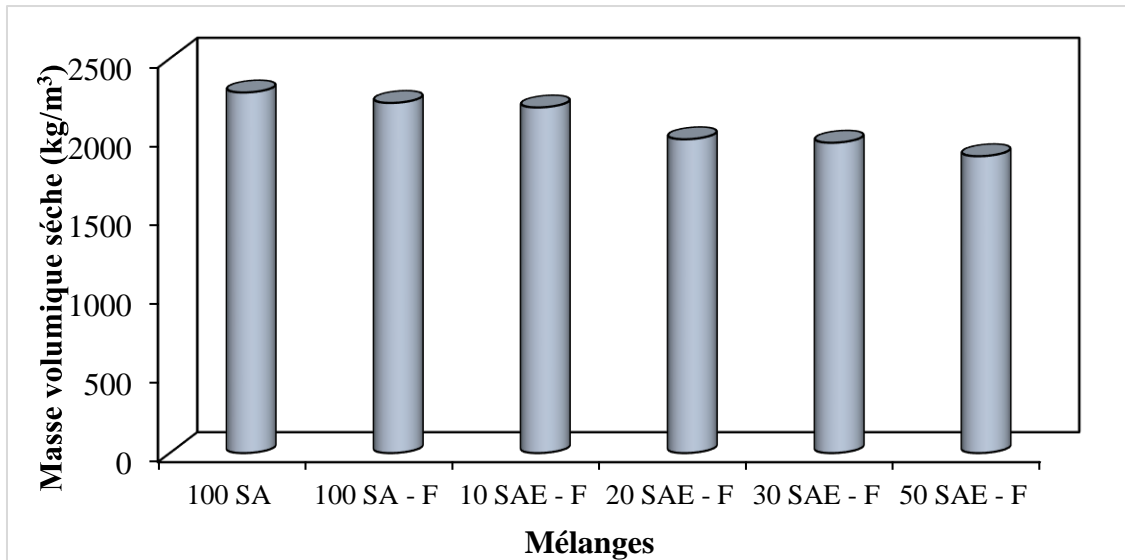


Figure 3.15 : La variation de la masse volumique sèche à 28 jours des bétons autoplaçants allégés et fibrés.

## Conclusion générale

Ce projet de fin d'études a été mené pour évaluer les effets des granulats d'argile expansée et des fibres polypropylènes sur les caractéristiques des bétons autoplaçants allégés aux états frais et durci. Il vise à produire un béton autoplaçants allégés et fibrés capable de supporter des contraintes de compression et de traction, et ce à travers l'exploitation des granulats d'argile expansé qui sont commercialisés dans notre pays. Sur la base des résultats expérimentaux, il est possible de tirer les conclusions suivantes :

- ✓ L'essai d'étalement révèle l'impact négatif de l'ajout de fibres de polypropylène sur la fluidité du mortier autoplaçant ;
- ✓ L'essai d'écoulement démontre clairement l'influence significative de l'ajout de fibres de polypropylène sur le temps d'écoulement du mortier autoplaçant. Les résultats montrent que pour tous les mélanges testés, le temps d'écoulement augmente avec l'addition des fibres ;
- ✓ A l'exception du mélange 50SAE où l'étalement est considéré faible (35,5 cm), les autres mélanges présentent de bonnes capacités d'écoulement et de déformabilité avec des valeurs d'étalement qui s'inscrivent dans la plage recommandée (55-75 cm) par la norme en vigueur.
- ✓ L'utilisation des granulats d'argile expansée avec 20, 30 et 50% entraîne une diminution de la résistance respectivement de 30, 37 et 43%. Le béton contenant 50% des granulats d'argile expansée a développé une résistance acceptable de 26 MPa. Cette résistance lui permet d'être utilisé dans le béton de structure dans nos chantiers.
- ✓ La présence de polypropylène améliore légèrement la résistance à la flexion des bétons formulés ;
- ✓ La substitution partielle des granulats naturels par des granulats d'argile a entraîné une réduction remarquable de la vitesse d'auscultation sonore. Ceci traduit la présence des vides dans ces mélanges d'où une réduction de leur densité ;
- ✓ Les résultats indiquent une diminution de la masse volumique sèche avec l'addition des granulats d'argile expansée. A titre d'exemple l'ajout de 30% et 50% d'argile expansée permet de réduire la masse volumique respectivement par environ 14% et 19%, ce qui contribue efficacement à réduire le poids de structure ainsi que les dimensions des éléments porteurs.

Vu les résultats obtenus dans cette investigation expérimentale, on peut avancer que l'utilisation des granulats d'argile expansé comme granulat avec les fibres de polypropylène pour la fabrication des bétons autoplaçants légers peut constituer une alternative aussi bien technologique et économique importante pour notre pays, en particulier dans les régions chauds et secs.

## Références bibliographiques

- [1] Arnould, M., Virlogeux, M., ALBENQUE, M., COUGNY, G., BERTRANDY, R., GAUDON, P., ... & MERRIEN, P. (1986). Granulats et bétons légers.
- [2] HERIHIRI, O. (2010). Formulation et Caractérisation des Bétons Légers (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).
- [3] RILEM: Commission des bétons légers. Terminologie et définition. Matériaux et construction N°13 (1970), pp60-69
- [4] American Concrete Institute : Guide pour le béton de structure à base du granulats légers. Traduction du CATED, SDT BTP (1970).
- [5] Mailhot, G., & Eng, M. DÉVELOPPEMENT DE MÉLANGES ET UTILISATION DU BÉTON LÉGER HAUTE PERFORMANCE DANS LE CADRE DE TRAVAUX VISANT LE REMPLACEMENT DE TABLIERS DE PONTS.
- [6] Mouldi, M. K. M., & Sayah, M. G. M. Étude d'un procédé d'élaboration d'un béton léger cellulaire à base de sable de dune de la région de GHARDAIA.
- [7] Bouaziz, S., & Tahar, K. A. (2010, August). BÉTON LÉGER À BASE DE GRANULATS COMPOSITES ARTIFICIELS. In Annales du Bâtiment et des Travaux Publics (No. 4, p. 16). Editions ESKA.
- [8] Hadjer, C. H. E. N. C. H. O. U. N. A. Caractérisation et modélisation d'un mortier léger à base des granulats des déchets plastiques.
- [9] Nguyen, L. H. (2013). Béton de structure à propriétés d'isolation thermique améliorées: approche expérimentale et modélisation numérique (Doctoral dissertation, Cergy-Pontoise).
- [10] Arnould, M., Virlogeux, M., ALBENQUE, M., COUGNY, G., BERTRANDY, R., GAUDON, P., ... & MERRIEN, P. (1986). Granulats et bétons légers.
- [11] Shink, M. (2003). Compatibilité élastique, comportement mécanique et optimisation des bétons de granulats légers (Doctoral dissertation, Université Laval).
- [12] ARNOULD, M and VIRLOGUEUX, M (1986), Granulats et Bétons Légers Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.
- [13] ZHANG, M.-H. and GJØRV, O. (1991), "Characteristics of Lightweight Aggregates for HighStrength Concrete", ACI Materials Journal, 88, 150-158

- [14] KABAGIRE, K. D. (2018). MODÉLISATION EXPÉRIMENTALE ET ANALYTIQUE DES PROPRIÉTÉS RHÉOLOGIQUES DES BÉTONS AUTOPLAÇANTS (Doctoral dissertation, Université de Sherbrooke).
- [15] Boukhelkhal, D., Boukendakdji, O., Kenai, S., & Bachene, S. (2015, May). Effect of mineral admixture type on stability and rheological properties of self-compacting concrete. In *Rencontres Universitaires de Génie Civil*.
- [16] AS, P. O. S. C. C. (2018). CHAPITRE 5 VERS LA PREDICTION DES PROPRIÉTÉS RHÉOLOGIQUES DES BÉTONS AUTOPLAÇANTS COMME MATERIAU DIPHASIQUE. MODÉLISATION EXPÉRIMENTALE ET ANALYTIQUE DES PROPRIÉTÉS RHÉOLOGIQUES DES BÉTONS AUTOPLAÇANTS, 111.
- [17] Fares, H. (2009). Propriétés mécaniques et physico-chimiques de bétons autoplaçants exposés à une température élevée (Doctoral dissertation, Université de Cergy Pontoise).
- [18] HADRI, S. (2012). Le passage d'un Béton à Haute Performance à un Béton Autoplaçant Haute Performance (Doctoral dissertation).
- [19] Behim, M., & Boucetta, T. A. (2013). Valorisation du verre à bouteille comme addition fine dans les bétons autoplaçants. *Environnement, Ingénierie & Développement*.
- [20] Association française de génie civil. (2008). Recommandations pour l'emploi des bétons autoplaçants : ecommendations for use of self-compacting concrete. AFGC.
- [21] Turcry, P. (2003). Retrait et fissuration des bétons autoplaçants : Influence de la formulation (Doctoral dissertation, Nantes).
- [22] Makkeb, R. (2023). Mortier autoplaçant avec addition de sable de dunes : propriétés rhéologiques et mécaniques (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou).
- [23] Mohaine, S. (2018). Etude des propriétés thermiques et mécaniques des bétons isolants structurels incorporant des cénoosphères (Doctoral dissertation, École centrale de Nantes).
- [25] Boumaza-Zeraoulia, F., & Behim, M. (2013). Formulation des bétons autoplaçants : Optimisation du squelette granulaire par la méthode graphique de Dreux-Gorisse. *Synthèse : Revue des Sciences et de la Technologie*, 27, 63-72.
- [26] Assié, S. (2004). Durabilité des bétons auto-plaçants (Doctoral dissertation, Toulouse, INSA).
- [27] MOHAMED, Y. EVALUATION DE LA QUALITE DU BETON DE FIBRES IN SITU CAS DE BETON AUTOPLAÇANT AVEC DES FIBRES MIXTES (Doctoral dissertation).
- [28] EFNARC. European guidelines for self-compacting concrete: specification Production and use, May 2005.
- [29] Y. Klug and K. Holschemacher. Comparison of the hardened properties of selfcompacting concrete and normal vibrated concrete. *Proceeding of 3rd International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete (Pro 33)*, Reykjavik, Iceland :596–607, 2003

- [30] Rachida, M. K., MECHAB, I., Noureddine, E. M., SENHADJI, Y., & LAOUFI, L. INFLUENCE DE LA SEGREGATION SUR LES PERFORMANCES DU BETON AUTOPLAÇANT.
- [31] Ramdani, S. (2019). Etude de l'influence de l'incorporation dans le béton des déchets recyclés issus du broyage des pneus usagés et verre broyé sur leurs caractéristiques et comportement.(Performance behavior of concrete made with waste rubber aggregates from grinding used tires and glass waste.) (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).
- [32] Chu, T. B. (2009). Hollow steel section columns filled with self-compacting concrete under ordinary and fire conditions.
- [33] Afnor NF EN 206-9., 'Béton – Part 9: Règles complémentaires pour le béton auto-plaçant 2010.
- [34] Association Française de Génie Civil 'AFGC'. Les BAP: recommandations provisionnels pour l'emploi des Bétons Auto-Plaçants, 2008, pp. 64 pages.
- [35] Kaid, N. (2021). Eléments de méthodes de formulation et tests de caractérisation des bétons autoplaçants à l'état frais.
- [36] Nécira, B. (2006). Étude des propriétés rhéologiques et mécaniques des bétons autoplaçants (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).
- [37] BELFERRAG, Allauoa, 2006. Valorisation des fibres métalliques issues des déchets pneumatiques dans les bétons de sable de dunes, Thèse de Magister, Université de Ouargla
- [38] Domone, P.L., And Jin, J, "Properties of mortar for self-compacting concrete", Proceedings of Rilem International Symposium on Self-Compacting Concrete, Stockholm, Sweden, 13-15 September, 1999; 109-20.
- [39] Boukendakdji, O, " Étude de l'influence des paramètres de formulation sur les propriétés d'un béton autoplaçant : Optimisation des conditions opératoires ", Thèse de doctorat de l'Université Saad Dahleb de Blida, Algérie, 2010.
- [40] Sedran, T, " Rhéologie et rhéomètre des bétons. Applications aux bétons autonivelants ", Thèse de doctorat de l'École Nationale Ponts et Chaussées, France, 1000.
- [41] Jin, J, " Properties of mortar for self-compacting concrete ", Doctoral Thesis of University of London, United Kingdom, 2002.
- [42] C. T. Maier, C. William Andrew Publishing/Plastics Design Library, 1998
- [43] Nguyen, N. H. (2009). Poutres en cisaillement avec béton de fibre en polypropylène. Library and Archives Canada= Bibliothèque et Archives Canada, Ottawa.
- [44] Eustace, J., & Lilley, A. (2009). Fibre-reinforced concrete at Southampton Container Terminal. Concrete, 43(8).
- [45] NF EN 993-15 – 'Méthodes d'Essai pour Produits Réfractaires Façonnés DensesPartie 15 : Détermination de la Conductivité Thermique par la Méthode du FilChaud', Octobre 2005