



Université Mohamed khider – Biskra

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie civil et d'Hydraulique

# MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies

Filière : Génie civil

Spécialité : Matériaux en Génie civil

Réf :

---

Présenté et soutenu par :

**BABOUCHE Mourad**

Le : mercredi 12 juin 2024

## Formulation et caractérisations d'un béton auto plaçant à base des matériaux locaux

---

Jury :

Président : Professeur ZEGHICHI Leila

Examineur : Dr BENKHADDA Benammar

Encadreur : Dr BENAICHI Elhadj

Année universitaire : 2023 - 2024

## Remerciements

*Je tiens à exprimer ma sincère gratitude à mon encadreur, le Docteur BENAICHI Elhadj, pour son soutien et ses conseils tout au long de la réalisation de ce mémoire. Votre expérience et votre disponibilité ont été essentiels pour mener à bien cette recherche. Merci pour votre accompagnement et votre engagement.*

*Je souhaite également adresser mes remerciements aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont manifesté à l'égard de ce travail.*

*Enfin, je tiens à exprimer ma reconnaissance envers ma famille, surtout mon cher fils DIA EDDINE ainsi que toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à l'accomplissement de ce travail.*

## ملخص

تتميز هذه الخرسانة الخاصة والسائلة للغاية بقدرتها على وضعها تحت تأثير وزنها، دون الحاجة إلى اهتزاز خارجي أو داخلي. لديهم ما يكفي من التماسك لملء أي نوع من المساحة تقريبا دون فصل. هذه الخرسانة مناسبة بشكل خاص لصب الأماكن ذات التسليح المكثف.

الهدف من هذه الدراسة هو تحديد التركيبة المناسبة للخرسانات ذاتية الدمج، وتحليل تأثير الإضافات المعدنية مثل حشوات الحجر الجيري على أدائها من أجل تحسين بعض الخصائص الميكانيكية لهذه الخرسانة، لدراسة سلوك هذه الخرسانة، استخدمنا معايير مختلفة من حشوات الحجر الجيري مع إدخال الملدن الفائق.

**الكلمات المفتاحية:** الخرسانة المصبوبة ذاتيا، اضافة، التركيبة، الخصائص، التأثير

## Résumé

Ces bétons spéciaux, très fluides, se caractérisent par leur capacité à se mettre en place sous l'effet de leur poids propre, sans nécessiter de vibration externe ou interne. Ils présentent une cohésion suffisante pour remplir presque tous les types d'espaces sans ségrégation.

Les BAP s'avèrent particulièrement adaptés au bétonnage de coffrages complexes ou comportant une densité élevée d'armatures.

L'objectif de cette étude est pour identifier la formulation adéquate des bétons autoplaçants (BAP) et d'analyser l'influence des additions minérales de type fillers calcaires sur les performances du BAP. Afin d'améliorer quelques propriétés mécaniques de ces bétons nous avons utilisés différents dosages et types de fillers calcaires avec l'introduction d'un superplastifiant.

**Mots de clés :** béton autoplaçant, ajout, formulation, caractérisation, influence

## Summary

These special, very fluid concretes are characterized by their ability to be placed under the effect of their own weight, without the need for external or internal vibration. They have enough cohesion to fill almost any type of space without segregation.

BAP are particularly suitable for concreting complex formwork or formwork with a high density of reinforcement.

The objective of this study is to identify the appropriate formulation of self-consolidating concretes (SPC) and to analyze the influence of mineral additions such as limestone fillers on the performance of the SPC. In order to improve some of the mechanical properties of these concretes, we used different dosages and types of limestone fillers with the introduction of a superplasticizer.

**Keywords:** self-consolidating concrete, addition, formulation, characterization, influence

## Liste des abréviations

**BAP** : Béton autoplaçant.

**BO** : Béton ordinaire.

**BV** : Béton vibré.

**AFGC** : Association française de génie civil.

**E/C** : Rapport Eau sur Ciment.

**G/S** : Rapport Gravier sur Sable.

**C** : Ciment.

**G** : Gravier.

**S** : Sable.

**E** : Eau.

**FC** : Fillers Calcaires.

**SP** : Super plastifiant.

**CPJ** : Ciment portant composé.

**D max** : Diamètre maximal du gros granulat.

**Esp** : Equivalent de sable par piston.

**Esv** : Equivalent de sable visuel.

**V<sub>C</sub>** : volume ciment.

**V<sub>G</sub>** : volume gravier.

**V<sub>S</sub>** : volume sable.

**V<sub>E</sub>** : volume eau.

**V<sub>SP</sub>** : volume super plastifiant.

**V<sub>A</sub>** : volume air.

**LA** : Coefficient de Los Angeles.

**A** : aplatissement.

**P** : propreté superficielle.

**MF** : Module de finesse du sable.

**F<sub>c</sub>** : Résistance mécanique moyenne à la compression.

**F<sub>tf</sub>** : Résistance mécanique moyenne à la traction par flexion.

## Table des matières

|   |    |
|---|----|
| <b>Remerciements</b> .....  | 2  |
| <b>Résumé</b> .....   | 3  |
| <b>Liste des photos</b> .....   | 10 |
| <b>Liste des figures</b> .....  | 11 |
| <b>Introduction générale</b> .....  | 14 |
| <b>CHAPITRE I :</b> .....   | 18 |
| <b>GENERALISTES SUR LE BETON AUTO PLAÇANT (BAP)</b> .....                                       | 18 |
| <b>1.1 Introduction</b> .....   | 18 |
| <b>1.2 Définition des bétons autoplaçant</b> .....  | 18 |
| <b>1.3 Domaine d'utilisation des bétons autoplaçant</b> .....                                   | 19 |
| <b>1.4 Avantages des bétons autoplaçant</b> .....   | 20 |
| <b>1.5 Inconvénients des bétons autoplaçant</b> .....   | 20 |
| <b>1.6 Structure des bétons autoplaçant</b> .....   | 20 |
| <b>1.7 Principaux constituants des bétons autoplaçant</b> .....                                 | 21 |
| 1.7.1 Matériaux de base .....   | 21 |
| 1.7.2 Les granulats .....   | 22 |
| 1.7.3 L'eau de gâchage.....   | 22 |
| 1.7.4 Les additions minérales.....  | 22 |
| 1.7.5 Les ajouts chimiques .....  | 23 |
| <b>1.8 Caractérisations des bétons autoplaçants</b> .....                                       | 25 |
| 1.8.1 Caractérisation des bétons autoplaçants à l'état frais .....                              | 25 |
| 1.8.1.1 Fluidité et mobilité en milieu non confiné (Essai d'étalement).....                     | 25 |
| 1.8.1.2 Mobilité en milieu confiné (Essai de la boîte en L (L-box test)).....                   | 26 |
| 1.8.1.3 Résistance à la ségrégation et stabilité du mélange (Essai de stabilité au tamis) ..... | 27 |

|  |           |
|--|-----------|
| 1.8.1.4 Essai d'entonnoir (V - Funnel) .....   | 27        |
| 1.8.1.5 Essai de ressuage .....  | 28        |
| 1.8.1.6 Essai J-Ring .....   | 29        |
| 1.8.1.7 Essai à la boîte en U (U-Box) .....  | 29        |
| 1.8.2 Caractérisation d'un béton autoplaçant à l'état durci .....                        | 30        |
| 1.8.2.1 Propriétés mécaniques (résistances à la compression) des béton autoplaçant ..... | 30        |
| 1.8.2.2 Résistances traction par flexion des béton autoplaçant .....                     | 31        |
| <b>1.9 Formulation des béton auto plaçant .....</b>                                      | <b>31</b> |
| 1.9.1 Principes des formulations .....   | 32        |
| 1.9.2 Différentes formulations des bétons autoplaçants .....                             | 32        |
| 1.9.2.1 Méthode japonaise .....  | 32        |
| 1.9.2.2 Méthode suédoise .....   | 33        |
| 1.9.2.3 Méthode française (LCPC).....  | 33        |
| 1.9.2.4 Méthode basée sur un plan d'expérience.....                                      | 34        |
| <b>1.10 Fabrication, transport et mise en place des BAP .....</b>                        | <b>35</b> |
| 1.10.1 Fabrication .....   | 35        |
| 1.10.2 Transport.....  | 35        |
| 1.10.3 Mise en œuvre .....   | 36        |
| <b>1.11 Conclusion.....</b>  | <b>37</b> |
| <b>CHAPITRE II .....</b>   | <b>40</b> |
| <b>CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISE ET PROCEDURE EXPERIMENTALE .....</b>            | <b>40</b> |
| <b>2.1 Introduction .....</b>  | <b>40</b> |
| <b>2.2 Matériaux utilisés .....</b>  | <b>40</b> |
| <b>2.3 Caractéristiques des matériaux utilise .....</b>                                  | <b>40</b> |
| 2.3.1 Caractéristiques des granulats .....   | 41        |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.3.1.1 Essai analyse granulométrique.....  | 41        |
| 2.3.1.2 Propreté superficielle des granulats .....  | 44        |
| 2.2.1.3 Essai équivalent de sable .....   | 44        |
| 2.2.1.4 Masse volumique absolue et apparente .....  | 45        |
| 2.3.1.5 Essai à la fragmentation par la méthode Los Angeles (LA).....                               | 46        |
| 2.3.1.6 Coefficient d’aplatissement .....   | 46        |
| 2.2.4 Caractéristique du ciment utilisé .....   | 47        |
| 2.2.5 Caractéristique des fillers de calcaire.....  | 47        |
| 2.2.6 Caractéristiques d’adjuvants utilisé .....  | 48        |
| 2.2.6.1. Description de l’adjuvant (SUPERIOR 126).....  | 48        |
| <b>2.4 Etude de formulation du béton auto plaçant (BAP).....</b>                                    | <b>49</b> |
| 2.4.1. Calcul des constituants d’un BAP sans d’ajouts selon les normes AFGC :.....                  | 49        |
| 2.4.2 Calcul des constituants d’un béton autoplaçant (BAP) avec d’ajouts des fillers calcaire ..... | 50        |
| 2.4.3 Préparation des mélanges.....   | 52        |
| 2.4.4 Conservation des éprouvettes .....  | 52        |
| <b>2.5 Essais de caractérisations du béton auto plaçant à l’état frais .....</b>                    | <b>53</b> |
| 2.5.1 Essai d’étalement au cône d’Abrams (slump flow) .....   | 53        |
| 2.5.2 Essai de stabilité au tamis .....   | 54        |
| 2.5.3 Essai de la boîte en L (L-box test) .....   | 54        |
| <b>2.6 Essais de caractérisations du béton auto plaçant à l’état durci .....</b>                    | <b>55</b> |
| 2.6.1.1 Essai compression .....   | 55        |
| 2.6.1.2 Essais traction par flexion .....   | 55        |
| <b>2.7 Conclusion.....</b>  | <b>56</b> |

---

|   |    |
|---|----|
| <b>CHAPITRE III</b> .....                                   | 58 |
| <b>RESULTATS ET INTERPRETATIONS</b> .....                   | 58 |
| <b>3.1 Introduction</b> .....                               | 58 |
| <b>3.2 Résultats des essais à l'état frais</b> .....        | 58 |
| 3.2.1 Essai d'étalement au cône d'Abrams (slump flow) ..... | 58 |
| 3.2.2 Essai de la stabilité au tamis.....                   | 59 |
| 3.2.3 Essai de la Boite en L.....                           | 60 |
| <b>3.3 Résultats des essais à l'état durcis</b> .....       | 60 |
| 3.3.1 Résistances à la compression.....                     | 61 |
| 3.3.2 Résistance à la traction par flexion .....            | 62 |
| <b>3.4 Interprétations des résultats</b> .....              | 63 |
| <b>Conclusions générales et perspectives</b> .....          | 65 |
| <b>Références bibliographiques</b> .....                    | 67 |

## Liste des photos

### CHAPITRE I : GENERALISTES SUR LE BETON AUTO PLAÇANT (BAP)

|   |    |
|---|----|
| <b>Photo 1-1</b> : Le béton autoplaçant ..... | 18 |
| <b>Photo 1-2</b> : Le pont Akashi Kaikyo..... | 19 |

### CHAPITRE II : CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISE ET PROCEDURE EXPERIMENTALE

|  |    |
|--|----|
| <b>Photo 2-1</b> : Filler de calcaire. ....                              | 47 |
| <b>Photo 2-2</b> : Conservation des éprouvettes.....                     | 53 |
| <b>Photo 2-3</b> : Essai d'étalement au cône d'Abrams (slump flow). .... | 53 |
| <b>Photo 2-4</b> : Essai de stabilité au tamis.....                      | 54 |
| <b>Photo 2-5</b> : Essai de la boîte en L (L-box test). ....             | 54 |
| <b>Photo 2-6</b> : Essai compression simple.....                         | 55 |
| <b>Photo 2-7</b> : Essai traction par flexion. ....                      | 56 |

---

## Liste des figures

**CHAPITRE I : GENERALISTES SUR LE BETON AUTO PLAÇANT (BAP)**

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure 1-1</b> : Comparaison de la structure d'un BAP et d'un BO. ....  | 21 |
| <b>Figure 1-2</b> : Mécanisme d'action des plastifiants et superplastifiants.....                                | 24 |
| <b>Figure 1-3</b> : Essai d'étalement .....  | 26 |
| <b>Figure 1-4</b> : Essai de la boîte en L (L-box test).....   | 26 |
| <b>Figure 1-5</b> : Essai de stabilité au tamis .....  | 27 |
| <b>Figure 1-6</b> : L'essai V-funnel .....   | 28 |
| <b>Figure 1-7</b> : Essai de ressuage. ....  | 28 |
| <b>Figure 1-8</b> : Essai J-Ring.....  | 29 |
| <b>Figure 1-9</b> : Essai à la boîte en U (U-Box). ....  | 29 |
| <b>Figure 1-10</b> : Evolution de la résistance mécanique d'un BAP (SCC) et d'un BO (REF)<br>correspondant. .... | 30 |

**CHAPITRE II : CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISE ET PROCEDURE EXPERIMENTALE**

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure 2- 1</b> : Courbes granulométriques des graviers 3/8 et 8/15. .... | 42 |
| <b>Figure 2- 2</b> : Courbes granulométriques du sable.....                  | 43 |
| <b>Figure 2- 3</b> : filler de calcaire.....                                 | 47 |
| <b>Figure 2- 4</b> : Conservation des éprouvettes. ....                      | 53 |
| <b>Figure 2- 5</b> : Essai d'étalement au cône d'Abrams (slump flow).....    | 53 |
| <b>Figure 2- 6</b> : Essai de stabilité au tamis. ....                       | 54 |
| <b>Figure 2- 7</b> : Essai de la boîte en L (L-box test).....                | 54 |
| <b>Figure 2- 8</b> : Essai compression simple. ....                          | 55 |
| <b>Figure 2- 9</b> : Essai traction par flexion.....                         | 56 |

**CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRETATIONS**

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure 3- 1</b> : L'étalement en fonction de type de béton .....                    | 58 |
| <b>Figure 3- 2</b> : Stabilité au tamis en fonction du type de béton .....             | 59 |
| <b>Figure 3- 3</b> : Le taux de remplissage en fonction du type des bétons (BAP) ..... | 60 |
| <b>Figure 3- 4</b> : Variation de la résistance à la compression. ....                 | 61 |
| <b>Figure 3- 5</b> : Variation de la résistance à la traction par flexion. ....        | 62 |

---

## Liste des tableaux

### CHAPITRE II : CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISE ET PROCEDURE EXPERIMENTALE

|   |    |
|---|----|
| Tableau 2- 1 : Analyse granulométrique du gravier 3/8 .....   | 41 |
| Tableau 2- 2: Analyse granulométrique du gravier 8/15 .....   | 42 |
| Tableau 2- 3: Analyse granulométrique du sable .....  | 43 |
| Tableau 2- 4: Module de finesse du sable.....   | 44 |
| Tableau 2- 5: Propreté superficielle des granulats .....  | 44 |
| Tableau 2- 6: Équivalent de sable (ES) .....  | 45 |
| Tableau 2- 7: Masse volumique absolue .....   | 45 |
| Tableau 2- 8: Masse volumique apparente .....   | 46 |
| Tableau 2- 9: Résistance à la fragmentation (LA%) .....   | 46 |
| Tableau 2- 10: Coefficient d’aplatissement .....  | 46 |
| Tableau 2- 11: Caractéristiques physiques -mécaniques du ciment utilisé.....                              | 47 |
| Tableau 2- 12: Caractéristiques physiques filler calcaire.....  | 48 |
| Tableau 2- 13: Caractéristiques chimiques et physiques d’adjuvants utilisé.....                           | 48 |
| Tableau 2- 14: Récapitulatif la composition d’un béton autoplaçant sans ajout .....                       | 50 |
| Tableau 2- 15: Récapitulatif les compositions des bétons autoplaçants avec ajout de fillers calcaire..... | 51 |

### CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

|   |    |
|---|----|
| Tableau 3- 1: Résultats d’étalements .....                  | 58 |
| Tableau 3- 2: Résultats essai de la stabilité au tamis..... | 59 |
| Tableau 3- 3: Résultats d’essai de la boîte en L .....      | 60 |
| Tableau 3- 4: Résistance à la compression.....              | 61 |
| Tableau 3- 5: Résistance à la traction par flexion.....     | 62 |

# *INTRODUCTION GENERALE*

## **Introduction générale**

Le béton autoplaçant (BAP) a émergé comme une innovation majeure dans le domaine de la construction, offrant des avantages significatifs en termes d'efficacité de la construction, de qualité du produit final et de durabilité des structures. Contrairement aux bétons ordinaires, le BAP est conçu pour s'auto-niveler et remplir les coffrages de manière autonome, sans nécessiter de vibration externe. Cette caractéristique unique repose sur une formulation précise qui assure à la fois la fluidité nécessaire pour un écoulement facile et la stabilité nécessaire pour maintenir l'intégrité structurelle.

La caractérisation et la formulation du BAP représentent des défis complexes qui nécessitent une compréhension approfondie des matériaux constitutifs, de leurs interactions et des exigences spécifiques du projet. Les propriétés rhéologiques du BAP, telles que la viscosité, la plasticité et la capacité d'auto-nivellement, sont étroitement liées à sa composition, son granulats, ses adjuvants et ses additifs. De plus, la performance à long terme du BAP dépend de sa résistance, de sa durabilité et de sa compatibilité avec les conditions environnementales et les exigences de conception.

Dans ce contexte, ce mémoire se propose d'explorer en profondeur les différentes facettes de la caractérisation et de la formulation du BAP. En examinant les avancées récentes dans la recherche et les pratiques industrielles, nous visons à identifier les meilleures pratiques et les approches innovantes pour optimiser la performance du BAP dans diverses applications de construction. À travers une analyse critique des méthodes de caractérisation et des modèles de formulation existants, nous chercherons à déterminer les paramètres clés qui influencent la qualité et la fiabilité du BAP.

Ce mémoire est structuré en plusieurs sections qui abordent successivement les aspects théoriques, expérimentaux et pratiques de la caractérisation et de la formulation du BAP. Nous commencerons par une revue de la littérature exhaustive pour établir un cadre conceptuel solide, suivie par une analyse détaillée des méthodologies de caractérisation disponibles. Ensuite, nous explorerons les principes fondamentaux de la formulation du BAP, en mettant en lumière les interactions complexes entre les différents composants et leurs implications sur les performances finales.

Le but de cette étude est de trouver une méthode pour fabriquer un béton autoplaçant. Les ajouts minéraux, en particulier le filler de calcaire, à différentes doses, seront également observés pour influencer le comportement du béton autoplaçant à l'état frais et à l'état durci.

Ce mémoire comportera deux parties :

- Une partie théorique : qui est une synthèse bibliographique de la littérature spécialisée. Elle englobe la définition d'un béton autoplaçant, de ses composants et des propriétés recherchées. Les méthodes de formulation d'un BAP, les essais de caractérisation à l'état frais et à l'état durci.
- Une partie expérimentale : qui présente l'ensemble des essais effectués au laboratoire de génie civil de l'université Mohamed Khider Biskra, leur principe et leur mode opératoire. Un récapitulatif des méthodes de formulation adoptées dans cette recherche et des essais effectués sur le béton à l'état frais et à l'état durci.

*PARTIE I :*

*RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE*

CHAPITRE I :  
GENERALISTES SUR LE BETON AUTO  
PLAÇANT (BAP)

## CHAPITRE I : GENERALISTES SUR LE BETON AUTO PLAÇANT (BAP)

### 1.1 Introduction

Le béton autoplaçant (BAP), on désigne un béton très fluide, très déformable, stable et mis en œuvre sans vibration (la compaction des BAP s'effectuant par le seul effet gravitaire). Il confère à la structure une qualité au moins équivalente à celle correspondant au béton classique mis en œuvre par vibration, il garantit à la structure la résistance et la durabilité.

Les bétons auto plaçant (BAP) ont été développés dans les années 80 par des chercheurs de l'université de Tokyo au Japon. Leur objectif était d'augmenter les cadences de travail en réduisant la main d'œuvre sur chantier et le temps de mise en œuvre de béton[1].

Ce chapitre fait une synthèse sur la description des constituants entrant dans la fabrication des bétons autoplaçant et les caractéristiques à l'état frais et durci.

### 1.2 Définition des bétons autoplaçant

Les bétons autoplaçant sont des bétons très fluides qui se mettent en place et se serrent sous le seul effet de la gravité, donc sans apport de vibration interne ou externe, mêmes dans les coffrages très ferrailés, ils se distinguent des bétons ordinaires par leur comportement à l'état frais, notamment par [2] :

- Une très grande maniabilité.
- Une très grande stabilité vis-à-vis de ségrégation.



Photo 1-1 : Le béton autoplaçant

### 1.3 Domaine d'utilisation des bétons autoplaçant

Les bétons autoplaçants 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 béton autoplaçant (voiles, poteaux, piles, poutres, planchers, dalles, dallages, fondations, éléments de façade, mobiliers urbains, etc.) [3].

Les bétons autoplaçants 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 ferrailage importantes
- Des formes et des géométries complexes : voiles courbes, etc.
- Des voiles minces et de grande hauteur : piles de ponts, etc.
- Des voiles complexes avec de nombreuses réservations ou de grandes ouvertures
- Des exigences architecturales et de qualité des parements particulières
- Des accès difficiles voire impossibles pour déverser le béton dans le coffrage et pour assurer la vibration.

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

Le pont Akashi Kaikyo , le plus long pont suspendu au monde (391m) où 390000 m<sup>3</sup> de béton autoplaçant ont été versés dans les coffrages des fondations et des piliers très congestionnés sans vibration[4].



Photo 1-2 : Le pont Akashi Kaikyo

### 1.4 Avantages des bétons autoplaçant

Les bétons autoplaçants présentent de multiples avantages :

- Mise en œuvre sans vibration.
- Bétonnage plus rapide.
- Coulage des murs verticaux de grande hauteur.
- Bétonnage des formes complexes avec un excellent remplissage.
- Plus grande fluidité pour un meilleur pompage.
- Enrobage des armatures amélioré.
- Amélioration de la qualité de parement.
- Absence de nuisance sonore liée à la vibration.
- Réduction du nombre des ouvriers.

### 1.5 Inconvénients des bétons autoplaçant

Comme le béton autoplaçant est très fluide, son temps de séchage est légèrement prolongé, et il peut présenter un risque accru de ségrégation si le mélange n'est pas correctement effectué. En outre, son coût est légèrement plus élevé. Cependant, ces aspects ne représentent pas d'énormes inconvénients pour l'utilisation du béton autoplaçant [5].

### 1.6 Structure des bétons autoplaçant

Les bétons autoplaçant sont formulés différemment des bétons ordinaires, dans leur cas la pâte est définie comme un mélange du ciment, de l'eau, de l'air et d'une addition minérale. Les béton autoplaçant possèdent un même dosage en ciment et en eau qu'un bétons ordinaires, assez qu'un volume assez proche de sable. Cette formulation n'est pas suffisante pour atteindre la fluidité voulue, il est donc nécessaire d'ajouter un superplastifiant (dé flocculant), sans lequel la demande en eau du mélange sera trop élevée. D'autres adjuvants chimiques tels que les agents colloïdaux (agents de viscosité) peuvent être introduits afin d'empêcher la ségrégation et d'assurer une meilleure stabilité du béton. La proportion de chaque constituant dépend de la méthode de formulation choisie[6].

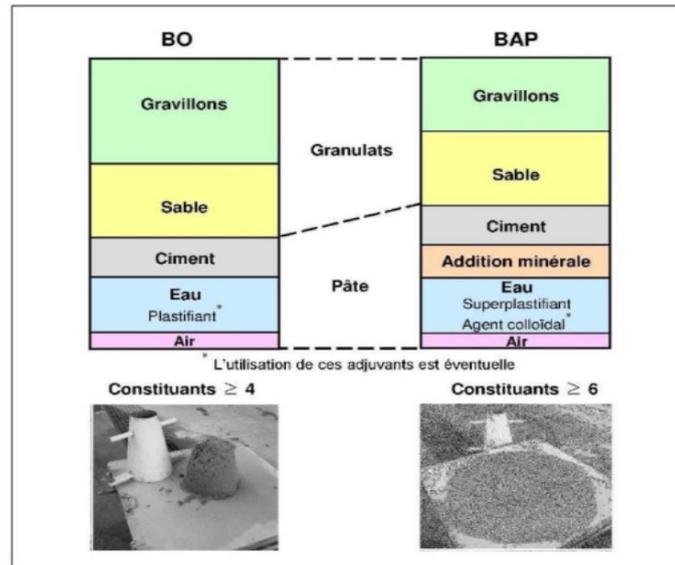


Figure 1-1 : Comparaison de la structure d'un BAP et d'un BO.

Les particularités de la structure des béton autoplaçant peuvent être résumées en [6]:

- Un volume de pâte élevé (pour maintenir et de séparer les gravillons afin de limiter leur contact en particulier dans les milieux ferraillés).
- Une quantité importante de fines.
- Un faible volume en gravillons.
- Un fort dosage en superplastifiant.
- L'utilisation éventuelle d'un agent de viscosité.

### 1.7 Principaux constituants des bétons autoplaçant

Les constituants des béton autoplaçant peuvent être assez différents de ceux des bétons ordinaires. Ils peuvent différer tant par leurs proportions que par leur choix. Étant donné le mode de mise en place des béton autoplaçant BAP, les constituants entrant dans la fabrication du autoplaçant BAP, selon leur utilisation, en trois catégories ; les matériaux de base (ciment, granulats et eau de gâchage), les additions minérales, ainsi que les adjuvants chimiques[3].

#### 1.7.1 Matériaux de base

Les composants fondamentaux de tout type de béton sont les granulats, le ciment et l'eau. Cette qualification découle de leur statut historique en tant que seuls constituants des bétons

utilisés par nos ancêtres, et ils conservent toujours les proportions relatives les plus importantes dans le mélange de béton autoplaçant (BAP).

### 1.7.2 Les granulats

Les granulats roulés ou concassés peuvent en principe être utilisés. Les granulats roulés en vrac présentent un plus petit volume de vide intergranulaire, ce qui nécessite une plus faible quantité de pâte de ciment pour le remplir. La flottabilité des granulats concassés dans la pâte de ciment est cependant meilleure, en raison de leur plus grande surface spécifique. Masse identique. Afin d'empêcher tout risque de blocage du béton autoplaçant par les barres d'armature lors du coulage, on limite en général le diamètre maximal des granulats à 16 mm. L'expérience a néanmoins montré qu'il était également possible d'utiliser des granulats de diamètre maximal différent. Le mélange pour béton (granularité) est caractérisé par une teneur élevée en sable et en éléments fins. Le choix d'une granularité continue appropriée est très important, étant donné la forte incidence du volume des vides sur la quantité nécessaire de pâte de ciment. Afin d'assurer une bonne stabilité du béton autoplaçant (éviter toute ségrégation), il est recommandé de choisir un sable spécialement optimisé, au besoin recomposé. Partir de plusieurs fractions.

### 1.7.3 L'eau de gâchage

Toute eau du réseau public d'eau potable convient pour la fabrication de béton Autoplaçant. Les eaux recyclées de gâchage et de lavage ne conviennent que sous certaines conditions restrictives en raison d'éventuels effets indésirables sur les propriétés du béton. Etant donné que le dosage en eau influence de manière considérable la viscosité et la capacité d'autoplaçant du béton, il est indispensable de s'écarter le moins possible de la valeur planifiée. Il est ainsi très important de mesurer et de prendre en compte l'humidité des granulats et tout spécialement du sable. Cas échéant, on tiendra également compte de la teneur en eau des adjuvants.

### 1.7.4 Les additions minérales

L'utilisation des additions minérales est intéressante sur le plan rhéologique car ils sont d'une part moins réactive à court terme que le ciment, ce qui permet d'avoir un temps prolongé

d'ouvrabilité et d'autre part, la combinaison de plusieurs matériaux cimentaires ayant des granulométries différentes permet aussi d'améliorer la granulométrie totale des particules fines ainsi que celle du mélange de béton. Ceci favorise l'augmentation de la stabilité et l'accroissement de la déformabilité du béton. D'autre part, le grand volume d'additions minérales utilisées dans les bétons autoplaçants pour remplacer une partie du ciment contribue à la réduction de la chaleur d'hydratation et du retrait du béton. En général, une matière pouzzolanique tel que la cendre volante améliore la déformabilité du béton (particules sphériques et lisses), le laitier est supposé d'améliorer la résistance et la maniabilité (particules vitreuses). La fumée de silice augmente la résistance à la séparation des constituants du béton et réduit significativement les phénomènes de ressuage et de ségrégation.

Généralement les BAP contiennent une quantité de ciment et de fines de l'ordre de  $500 \text{ kg/m}^3$  de dimension inférieure à  $80 \text{ }\mu\text{m}$ . Les additions utilisées sont en général des cendres volantes, fumées de silice, laitier de haut fourneau ou les fillers calcaires. Nous allons nous intéresser dans notre cas à la formulation des BAP avec les fillers calcaires parce qu'ils sont les plus utilisés pour des raisons de coût essentiellement.

- **Les fillers calcaires**

Les fillers calcaires sont des produits secs finement divisés obtenus par broyage industriel des roches calcaires, dont les caractéristiques sont définies par la norme NF P18 – 305[7].

### 1.7.5 Les ajouts chimiques

Les ajouts chimiques sont des adjuvants qui, incorporés au béton modifient une ou plusieurs de ses propriétés à l'état frais ou durci. Etant constitués le plus souvent de produits tensio-actifs, il suffit donc de très faibles proportions du produit pour provoquer des modifications importantes des propriétés du béton, notamment si le dosage prescrit par le fabricant est respecté. Pour certains types d'adjuvants, et pour un dosage moindre, le même adjuvant peut présenter une fonction secondaire[8].

- **Adjuvant plastifiant –réducteur d'eau**

A dosage en eau constant il permet d'augmenter l'affaissement au cône d'Abrams. Et à consistance égale, il permet de réduire le dosage en eau et ainsi d'augmenter la résistance mécanique du béton. L'emploi de ce produit est très simple, il est ajouté à l'eau de gâchage à un certain dosage recommandée par le fabricant. En dose exagérée ce type d'adjuvant peut retarder la prise et /ou entraîner de l'air ce qui diminue la résistance du béton.

- **Adjuvant super plastifiant –haut réducteur d'eau**

Sa définition est identique à celle du plastifiant –réducteur d'eau mais la réduction du dosage en eau et l'augmentation de l'affaissement sont plus marquées. L'augmentation de la résistance à la compression à 1 jour est supérieure à celle de 28 jours, ceci s'explique par un effet thermique accélérant les réactions d'hydratation du ciment.

- **Mécanismes d'action des plastifiants et superplastifiants**

Au contact de l'eau les grains de ciment s'agglomèrent naturellement car ils sont attirés les uns avec les autres par des forces électrostatiques (phénomène de floculation). Ces floccs piègent une partie de l'eau de gâchage qui ne va pas être disponible pour apporter de la fluidité au béton.

Lorsqu'on ajoute du plastifiant, celui-ci va défouler une partie les grains de ciment par effet de répulsion électrostatique. L'eau piégée par les floccs est alors libérée, générant ainsi une augmentation de la fluidité.

L'action du superplastifiant est plus marquée que celle du plastifiant. Il permet une plus grande défloculation[8].

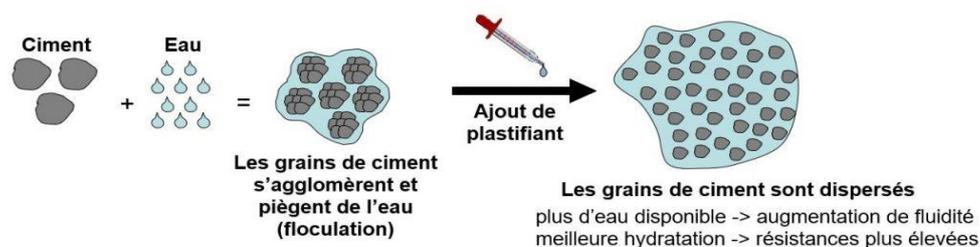


Figure 1-2 : Mécanisme d'action des plastifiants et superplastifiants

## 1.8 Caractérisations des bétons autoplaçants

Les béton autoplaçant doivent présenter une grande fluidité et pouvoir s'écouler sans apport d'énergie externe (vibration) à travers des zones confinées (armatures et coffrages).

Ils doivent donc offrir une bonne résistance à la ségrégation « dynamique » (en phase de coulage), mais aussi à la ségrégation « statique » (une fois en place), afin de garantir l'homogénéité de leurs caractéristiques, de ne pas présenter de ressuage ou de tassement et de garantir un remplissage optimal des coffrages.

Trois principaux essais permettent de caractériser et de contrôler la rhéologie des BAP et leurs propriétés à l'état frais.

### 1.8.1 Caractérisation des bétons autoplaçants à l'état frais

Les béton autoplaçant doivent présenter une grande fluidité et pouvoir s'écouler sans apport d'énergie externe (vibration) à travers des zones confinées (armatures et coffrages). Ils doivent donc offrir une bonne résistance à la ségrégation « dynamique » (en phase de coulage), mais aussi à la ségrégation « statique » (une fois en place), afin de garantir l'homogénéité de leurs caractéristiques, de ne pas présenter de ressuage ou de tassement et de garantir un remplissage optimal des coffrages. Trois principaux essais permettent de caractériser et de contrôler la rhéologie des BAP et leurs propriétés à l'état frais [9].

#### 1.8.1.1 Fluidité et mobilité en milieu non confiné (Essai d'étalement)

La fluidité et la mobilité du béton autoplaçant en milieu non confiné sont caractérisées par la mesure de l'étalement au cône d'Abrams (essai d'étalement ou slump flow). Le matériel utilisé pour réaliser cet essai est constitué d'un cône d'Abrams posé sur une plaque métallique. L'essai consiste à remplir le cône d'Abrams en une fois, puis de le soulever et de mesurer le diamètre moyen de la galette d'étalement obtenue (2 mesures correspondant à 2 diamètres perpendiculaires). Plus le diamètre est grand, plus le matériau est fluide. Des valeurs de l'ordre de 600 à 750 mm correspondent à l'étalement moyen conseillé d'un béton autoplaçant. L'étalement doit être défini en fonction des caractéristiques de la formulation et des conditions et méthodes de mise en œuvre. Cet essai est utilisé pour la mise au point de la

formulation du béton autoplaçant. Il permet aussi de vérifier la fluidité du béton lors de sa réception sur chantier [10].

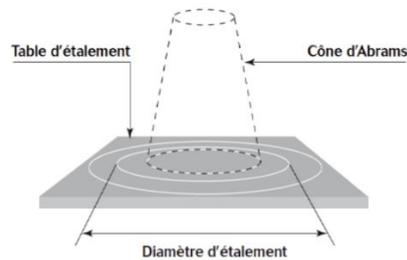


Figure 1-3 : Essai d'étalement

### 1.8.1.2 Mobilité en milieu confiné (Essai de la boîte en L (L-box test))

La mobilité du béton autoplaçant en milieu confiné et son aptitude à traverser une zone fortement armée, sont mesurées avec l'essai de la boîte 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 béton autoplaçant la partie verticale d'une boîte en forme de L, puis en levant une trappe (séparant les parties verticale et horizontale de la boîte) de laisser le béton s'écouler dans la partie horizontale à travers des armatures de diamètre 12 mm (ferraillage complexe : 3 barres distantes de 41 mm, ou simple : 2 barres distantes de 59 mm). Après écoulement du béton, on mesure la différence de hauteur dans les parties verticale ( $H_1$  côté trappe) et horizontale ( $H_2$ ). Le résultat de l'essai s'exprime par le taux de remplissage  $H_2/H_1$  qui traduit la capacité à circuler en milieu confiné. Une valeur de ce rapport supérieure à 0,8 traduit un bon écoulement du béton autoplaçant. Cet essai est utilisé pour la formulation des béton autoplaçants [11].

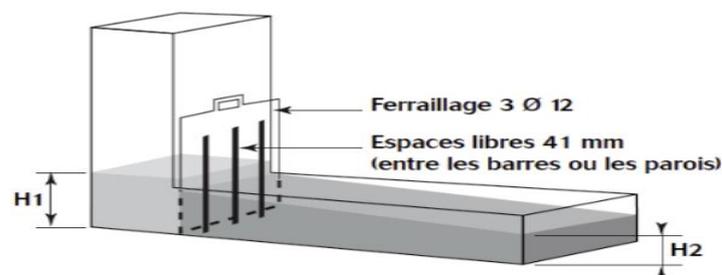


Figure 1-4 : Essai de la boîte en L (L-box test)

### 1.8.1.3 Résistance à la ségrégation et stabilité du mélange (Essai de stabilité au tamis)

Cet essai permet d'évaluer le risque de ségrégation « statique » et d'étudier le ressuage du béton autoplaçant, qui doit être stable et conserver une composition homogène sous l'effet de la gravité. Il consiste à déverser une quantité de béton sur un tamis (de maille 5 mm) avec une hauteur de chute de 50 cm. Au bout de 15 min, on pèse le volume de laitance qui a traversé le tamis. Le pourcentage en masse de laitance passée à travers le tamis, par rapport à la masse de l'échantillon initial, exprime la stabilité du béton. Ce rapport doit être compris entre 10% et 20%. Plus il est faible, plus le béton est stable. Au-delà de 20%, le béton présente un risque de ségrégation. Cet essai permet l'optimisation d'une formulation de bétons autoplaçants [12].

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

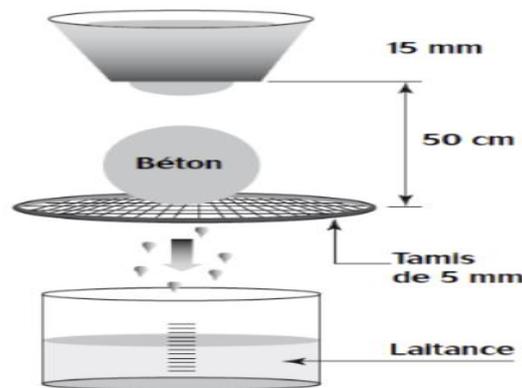


Figure 1-5 : Essai de stabilité au tamis

### 1.8.1.4 Essai d'entonnoir (V - Funnel)

La procédure d'essai avec l'entonnoir est la suivante, l'entonnoir dont les dimensions sont définies sur la (voir figure 1.6) est remplie de béton jusqu'en haut. Le clapet de fermeture situé à sa base est ensuite ouvert, ce qui provoque l'écoulement du béton, dont on mesure le temps nécessaire jusqu'à ce que l'entonnoir se soit entièrement vidé. Ce temps d'écoulement est souvent le critère utilisé pour définir la viscosité du béton autoplaçant. Plus le béton

s'écoule rapidement hors de l'entonnoir, plus sa viscosité est faible. Un temps d'écoulement compris entre 8 et 14 secondes est recommandé pour le BAP[13].

Le temps d'écoulement au V-Funnel dépend également du type d'application, mais n'est groupé que selon 2 classes :

- Classe VF1 : temps d'écoulement inférieur à 10s.
- Classe VF2 : temps d'écoulement compris entre 7 et 27s.

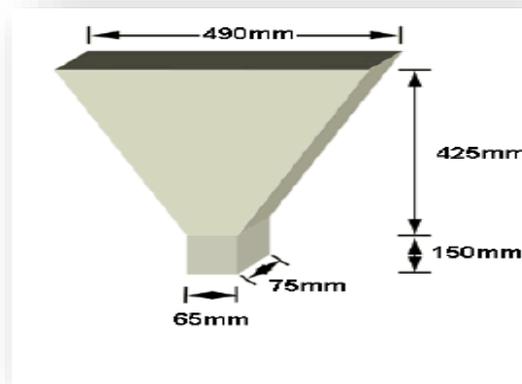


Figure 1-6 : L'essai V-funnel

#### 1.8.1.5 Essai de ressuage

On peut évaluer la capacité de ressuage en effectuant un test à l'aéromètre modifié (développé par le LCPC) (voir figure 1.7). L'échantillon de béton libère un volume d'eau supérieur au perchloroéthylène (dont la densité est supérieure à celle de l'eau : 1,59) dans une colonne graduée où l'estimation est facile. Cependant, ce test semble peu pratique à faire en raison de la toxicité du produit utilisé[6].

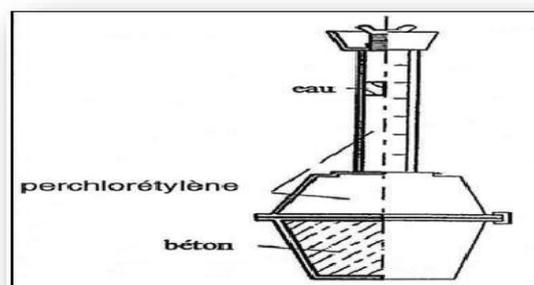


Figure 1-7 : Essai de ressuage.

### 1.8.1.6 Essai J-Ring

L'objectif de cet essai est de permettre l'écoulement du béton à travers des barres d'armatures pour pouvoir le guider.

Le béton s'écoule à partir du cône situé au centre d'un anneau métallique (figure 1.8) pour évaluer sa tendance à se séparer et à enrober les armatures. De plus, il est important que la répartition des granulats soit homogène[14].

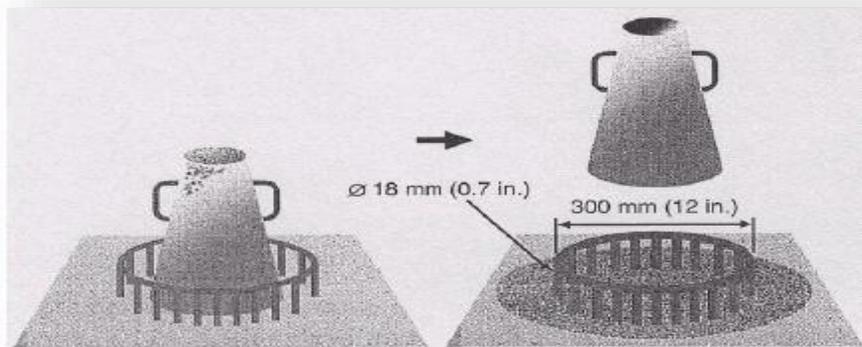


Figure 1-8 : Essai J-Ring.

### 1.8.1.7 Essai à la boîte en U (U-Box)

Le principe de cette méthode est largement similaire à celui de la boîte en L au Japon et en Angleterre. Le béton doit s'écouler à travers des armatures et remonter dans la deuxième partie du U de la boîte, avec une hauteur de remplissage supérieure à 300 mm [15].

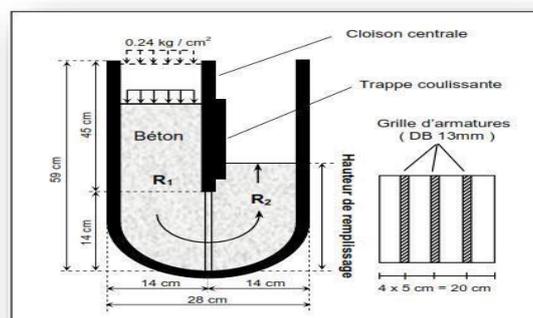


Figure 1-9 : Essai à la boîte en U (U-Box).

## 1.8.2 Caractérisation d'un béton autoplaçant à l'état durci

Les particularités de composition des béton autoplaçant conduisent à étudier les différentes propriétés mécaniques de ce béton et plus particulièrement les déformation instantanée et différées, supposées différentes de celles des bétons vibres.

### 1.8.2.1 Propriétés mécaniques (résistances à la compression) des béton autoplaçant

Les résistances mécaniques d'un BAP sont, comme pour la plupart des bétons directement liées à la qualité du squelette granulaire et au rapport eau efficace sur ciment, elles dépendent aussi de la composition du liant. L'optimisation de ces paramètres permet d'obtenir une large gamme de résistances jusqu'à des BAP à hautes performances (80 à 100 MPa au 28<sup>ème</sup> jour).

L'évolution des résistances à la compression des BAP semble être voisine aux bétons ordinaires en raison de l'utilisation fréquente de fillers calcaires connus pour avoir un effet accélérateur sur l'hydratation des silicates de calcium. Aux très jeunes âges, les résistances des BAP peuvent être affectées lorsque ces bétons contiennent des quantités importantes de superplastifiants car un dosage trop élevé pouvant conduire à un retard de prise considérable. Il est possible cependant d'atteindre des résistances mécaniques élevées au démoulage en optimisant le choix et le dosage en adjuvant[16].

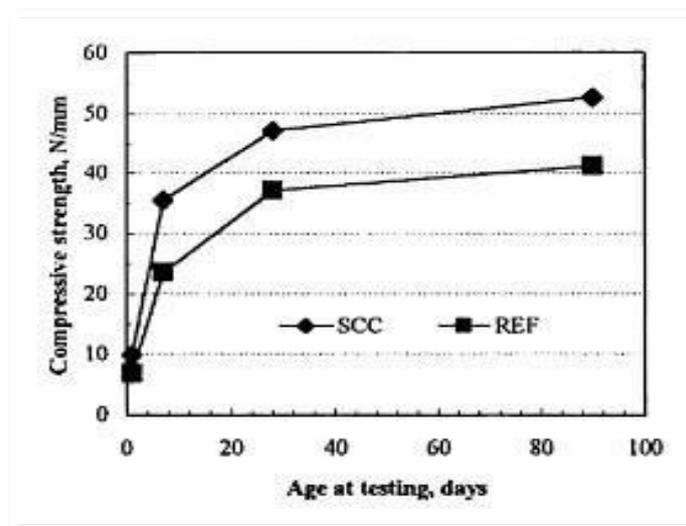


Figure 1-10 : Evolution de la résistance mécanique d'un BAP (SCC) et d'un BO (REF) correspondant.

### 1.8.2.2 Résistances traction par flexion des béton autoplaçant

La particularité de BAP peut entraîner des variations de résistance, la quantité de fines ou le volume de sable peuvent influencer la résistance en traction. Ils montrent que l'augmentation de la quantité de sable et du volume de fines entraîne une élévation de la résistance en traction. En effet, la résistance d'un béton à la traction est conditionnée par de nombreux paramètres. La microstructure de la pâte cimentaire et la porosité de l'auréole de transition sont fréquemment utilisées pour expliquer les variations ou les résultats de résistance à la traction obtenus. La porosité de l'auréole de transition de BAP est inférieure à celle de BO. Par conséquent la résistance en traction de BAP est supérieure à celle de BO[16].

## 1.9 Formulation des béton auto plaçant

Plusieurs approches de formulation des béton autoplaçant ont été élaborées à travers le monde (approche japonaise, approche suédoise, approche du LCPC, etc.) pour répondre aux exigences d'ouvrabilité de ce type de béton. Deux grandes familles prévalent actuellement :

La première [Haya kawa 95, Nagataki 95] concerne des formulations fortement dosées en ciment et contenant une proportion d'eau réduite. La quantité de ciment très importante (450 à 600 kg/m<sup>3</sup>) est nécessaire pour augmenter le volume de pâte afin d'améliorer la déformabilité du mortier. Ce volume important de pâte limite par conséquent les interactions inter-granulats (dont la quantité est parallèlement diminuée) et l'utilisation d'adjuvants tels que les superplastifiants et les agents de viscosité permettent d'en contrôler la fluidité et la viscosité. Cette approche de formulation conduit toutefois à des bétons de hautes performances mécaniques, onéreux et mal adaptés à des ouvrages courants.

Une deuxième famille de formulations repose sur le remplacement d'une partie du ciment par des fines minérales [Peterson 96]. Ces additions, comme les fillers calcaires par exemple, permettent d'obtenir un squelette granulaire plus compact et plus homogène. La quantité d'adjuvant nécessaire à l'obtention d'une fluidité et d'une viscosité données est alors diminuée. Leur utilisation conduit également à conserver des résistances mécaniques et des chaleurs d'hydratation raisonnables [19].

### 1.9.1 Principes des formulations

Le principe de formulation vise à réduire le seuil de cisaillement du béton en lui conservant une viscosité suffisante pour éviter tout risque de ségrégation et de ressuage. Formuler un béton autoplaçant consiste donc à concilier des propriétés a priori contradictoires : fluidité, stabilité, résistance à la ségrégation « dynamique » (cheminement dans des zones ferrillées) et à la ségrégation « statique » (pas de ressuage, pas de tassement) une fois le béton en place (la suspension des divers grains qui le constituent doit rester homogène jusqu'à la prise du matériaux). Les études d'optimisation de la formulation des béton autoplaçant ont pour objectif d'obtenir une formule fiable et robuste facilement contrôlable sur chantier.

### 1.9.2 Différentes formulations des bétons autoplaçants

#### 1.9.2.1 Méthode japonaise

La formulation des bétons autoplaçants par l'approche développée à l'Université de Kochi se fait de manière sécuritaire, en privilégiant le volume de pâte au détriment des granulats. Les bétons obtenus sont sous dosés en granulats et par conséquent loin d'un optimum économique. Le surcoût engendré sur le matériau est compensé, au Japon, par les économies sur la main d'œuvre. Les principes de formulation et leur application sont les suivants[17].

#### a. Dosage des gravillons

Les chercheurs japonais ont montré que le risque de blocage est minimisé lorsque le volume du gravillon pour 1 m<sup>3</sup> de béton est limité à la moitié de sa compacité. Par définition, la compacité d'un mélange de grains est le rapport du volume de grains et du volume total du système grains + vides. Elle dépend bien sûr du mode de compactage. A défaut d'indication, nous avons choisi de la mesurer en suivant la procédure du LCPC. La compacité est pour chaque gravillon d'environ 0,57. Dans le cas de la formule de granulométrie 0/10 mm, le volume du gravillon est donc posé à 285 l/m<sup>3</sup>. Dans le cas de la formule de granulométrie 0/14 mm, nous choisissons de répartir ce volume pour moitié en 6/10 et en 10/14.

#### b. Dosage du sable

Le volume du sable est posé forfaitairement à 40% du volume de mortier du béton. La fluidité du béton est garantie par la réduction des frictions granulaires.

### c. Dosage du liant

La méthode ne précise pas comment doser le liant. Néanmoins la quantité de ciment peut être fixée, par exemple, en respectant la donnée des normes (soit ici une masse minimale de ciment de 350 kg/m<sup>3</sup>). Les rapports massiques eau sur ciment et filler sur ciment peuvent également être choisis sur des critères de résistance.

### d. Dosage de l'eau et du super plastifiant

Les dosages en eau et en super plastifiant sont déterminés au moyen d'essais sur mortiers, dont le volume de sable est fixé à 40%. On réalise des mesures d'étalement avec un cône à mortier et des mesures d'écoulement à l'entonnoir.

#### 1.9.2.2 Méthode suédoise

La méthode suédoise est basée sur l'étude effectuée par [Tangtermsirikul et al, 1995]. En fait, ils ont repris l'approche d'évaluation du risque de blocage et l'ont intégrée dans le processus de formulation. Le rapport G/S final est celui qui donne le même volume de pâte pour avoir les propriétés recherchées. Les fines, l'eau et le superplastifiant sont ajustés par la suite pour obtenir une viscosité suffisante, un faible seuil de cisaillement et la résistance à la compression visée. Cette méthode propose une meilleure optimisation du squelette granulaire mais le critère de blocage n'est pas général pour tout type de granulat [17].

#### 1.9.2.3 Méthode française (LCPC)

Méthode française (LCPC) : proposée par [De Larrard et al, 1994] : au LCPC, un modèle mathématique a été développé à partir d'un modèle de suspension solide (RENE LCPC). Ce modèle est basé sur les interactions granulaires entre les différents constituants du mélange. Il permet de prévoir la compacité d'un mélange granulaire avec une précision inférieure à 1% à partir des constituants ci-après :

- 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 la suivante :

- La proportion de liant est fixée a priori (70% de 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 du superplastifiant) est déterminé
- Les calculs sont effectués avec le logiciel en tenant compte du confinement (Effet de paroi).

La viscosité est fixée de manière arbitraire à  $5.10^4$  La teneur en eau est réduite en conséquence et la proportion liant/filler est maintenue constante. Les proportions granulats/phase liante sont optimisées.

Une formulation de béton autoplaçant est donc proposée basée sur les prévisions du modèle.

La teneur en eau est ajustée pour obtenir la résistance ciblée. Le dosage en superplastifiant est ajusté également afin d'obtenir la valeur d'étalement et le seuil de cisaillement souhaités et par conséquent les propriétés requises pour le béton autoplaçant sont atteintes [17].

#### 1.9.2.4 Méthode basée sur un plan d'expérience

Le principe de cette méthode est l'utilisation d'un plan d'expérience pour connaître l'effet des paramètres de composition du béton. Khayat et al ont réalisé une telle étude avec les facteurs suivants :

Le volume de gravillons, la masse de fines (C+A), le rapport massique eau sur fines  $E/(C+A)$ , la masse de super plastifiant et la masse d'agent de viscosité. Chaque facteur est varié sur une plage comportant cinq points, ce qui élève le nombre de compositions effectuées à 25. Au final, les modèles obtenus sont fournis avec les résultats des essais, notamment l'étalement et le taux de remplissage, en fonction des différents facteurs. Même si ces modèles ne sont exploitables que pour les constituants utilisés dans l'étude, cette approche fournit surtout un support pour corriger une formule ne répondant pas, par exemple, aux critères de l'AFGC[18].

## 1.10 Fabrication, transport et mise en place des BAP

### 1.10.1 Fabrication

Les formules de BAP sont en général plus « pointues » que celles des bétons ordinaires. Les précautions et contrôles particuliers à mettre en place portent sur la maîtrise des constituants, le niveau d'équipement de la centrale, et les procédures de la fabrication des BAP qui doit intégrer les dispositions visant à maîtriser la teneur en eau du béton, la séquence de malaxage (ordre d'introduction, temps de malaxage), la fourchette d'étalement acceptable, les variations de dosage en eau correspondantes, ainsi que les contrôles sur béton frais.

Il est nécessaire d'appréhender au stade de l'étude de formulation la sensibilité des BAP aux écarts de composition et principalement aux variations de teneur en eau, la plage d'étalement du dosage en eau acceptable peut être obtenue en mesurant la résistance à la ségrégation du béton, les valeurs d'étalement, les taux de remplissage, et les densités en fonction du dosage en eau.

La formule possédant le plus fort dosage en eau doit présenter une stabilité satisfaisante. Celle contenant le dosage en eau le plus faible doit conduire à un temps de remplissage correct sans induire de ségrégation de la densité par manque de compactage gravitaire.

En principe tous les types de malaxeurs conviennent pour la fabrication des BAP. Donc, le malaxage d'un béton autoplaçant ne nécessite pas de matériel particulier ; il s'agit juste d'un malaxeur étanche dont le temps de malaxage est généralement plus long de 50 à 100% que celui d'un béton ordinaire car on doit assurer une homogénéité du squelette granulaire d'une part, et une bonne dispersion du liant et ajouts chimiques dont les proportions sont très faibles d'autre part[19].

Le temps de malaxage est toutefois plus long que pour un béton classique, il faut que le mélange riche en éléments fins et en adjuvants soit le plus homogène possible.

### 1.10.2 Transport

L'hyperfluidité du béton conduit à prendre des dispositions spécifiques pour éviter des déversements, à adapter l'ouvrabilité au temps de transport et de mise en œuvre.

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.

Il est important d'appliquer les procédures de fabrication rigoureusement également pour les facteurs qui paraissent moins importants et qui sont négligés dans le cas d'un béton vibré, comme les résidus d'adjuvants dans le malaxeur, ou le reste d'eau dans le camion malaxeur, qui peuvent entraîner certains problèmes[20].

### **1.10.3 Mise en œuvre**

La principale différence, entre un BAP et un béton traditionnel, réside dans le comportement du matériau à l'état frais et donc dans sa mise en œuvre. La spécificité d'un BAP est d'être extrêmement fluide. Il se compacte sous l'effet de son propre poids et ne nécessite donc pas de vibration pour être mis en place. Par ailleurs, le matériau doit être stable pour assurer l'homogénéité de la structure finale.

En termes de mise en œuvre, les BAP offrent des conditions plus souples que le béton traditionnel du fait de la suppression de la vibration. Un des avantages majeurs des BAP, que nous aborderons également dans la partie traitant de leur impact économique, est la réduction de la durée de la phase de coulage : la vidange de la benne se fait plus rapidement, l'écoulement du matériau est bien évidemment plus aisé, la phase de vibration est supprimée et l'arase supérieure est plus facile à réaliser[21].

### 1.11 Conclusion

Actuellement, il n'y a pas de méthode de formulation du béton autoplaçant, et la majorité des formules sont élaborées de manière empirique. En se basant sur les caractéristiques à l'état frais, on peut déterminer si la formulation est acceptable ou non. Dans cette optique, [AFGC] a formulé des recommandations qui se résument à trois essais couramment utilisés : la mesure d'étalement, l'essai de la boîte en « L » et l'essai de stabilité au tamis.

**PARTIE II :**  
**ETUDE EXPERIMENTALE**

CHAPITRE II :

CARACTERISATION DES MATERIAUX

UTILISE ET PROCEDURE EXPERIMENTALE

## CHAPITRE II

### CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISE ET PROCEDURE EXPERIMENTALE

#### 2.1 Introduction

Avant d'entamer une formulation il est nécessaire de connaître les matériaux utilisés à cet effet. Leurs caractéristiques sont déterminées au moyen d'un certain nombre d'essais, ces essais sont pour la plupart normalisés. La convenance de ces matériaux étant établie grâce aux spécifications.

Les essais ont été réalisés au laboratoire de génie civil de l'Université de Mohamed Khider Biskra.

#### 2.2 Matériaux utilisés

Les matériaux utilisés dans cette campagne expérimentale font partie d'une gamme de constituants disponibles localement (contexte algérien), leurs caractéristiques sont étudiées expérimentalement aux laboratoires.

- Ciment du type CPJ-CEM II/A-L 42,5 N de la cimenterie AIN TOUTA Batna.
- Des fillers calcaires de la carrière ENG Khroub wilaya de Constantine.
- Sable roulée d'oued de la région LIOUA wilaya de Biskra.
- Gravier concassée fraction 3/8 et 8/15 de la carrière AIN TOUTA Batna
- Un superplastifiant SUPERIOR 126 de TEKNA CHEM Alger.
- L'eau du robinet du laboratoire de génie civil de l'université Mohamed khider Biskra.

#### 2.3 Caractéristiques des matériaux utilise

Dans cette analyse des essais d'identification des matériaux employés dans le béton autoplaçant, nous examinerons les différentes méthodes et techniques employées pour étudier les caractéristiques des différents composants, tels que le ciment, les agrégats, les adjuvants et les fillers. Les résultats de ces essais apportent des données essentielles

concernant la composition chimique, la granulométrie, la résistance, la réactivité et d'autres paramètres essentiels qui impactent la performance globale du BAP.

### 2.3.1 Caractéristiques des granulats

#### 2.3.1.1 Essai analyse granulométrique

L'analyse granulométrique est un procédé utilisé pour classer et définir les matériaux de construction en fonction de la taille de leurs grains constitutifs.

Pour ce faire, on utilise une série de tamis et de passoires. Un tamis est caractérisé par des mailles carrées formées par des fils entrecroisés, tandis qu'une passoire présente des trous ronds percés dans une tôle.

Les résultats de cette analyse sont représentés sous forme de courbe granulométrique. Cette méthode est réalisée conformément à la norme française P 18-560.

Les analyses granulométriques ainsi que les courbes correspondantes pour chaque fraction sont présentées dans les tableaux et les figures suivants :

**Tableau 2-1 : Analyse granulométrique du gravier 3/8**

| Tamis (mm) | Refus Partiel (g) | Refus cumules (g) | Refus cumules (%) | Tamisats cumulés (%) |
|------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------------|
| 8.00       | 5,1               | 5,1               | 0,26              | 99,74                |
| 6.30       | 159,2             | 164,3             | 8,25              | 91,75                |
| 5.00       | 420,5             | 584,8             | 29,38             | 70,62                |
| 4.00       | 642,3             | 1227,1            | 61,65             | 38,35                |
| 3.15       | 467,1             | 1694,2            | 85,12             | 14,88                |
| 2.50       | 176,2             | 1870,4            | 93,97             | 6,03                 |
| Fond       | 120               | 1990,4            | 100,00            | 0,00                 |

Tableau 2-2 : Analyse granulométrique du gravier 8/15

| Tamis (mm) | Refus partiel (g) | Refus cumules (g) | Refus cumules (%) | Tamisats cumulés (%) |
|------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------------|
| 16.00      | 40,32             | 40,32             | 1,37              | 98,63                |
| 12.50      | 798,41            | 838,73            | 28,55             | 71,45                |
| 10.00      | 1569,5            | 2408,23           | 81,98             | 18,02                |
| 8.00       | 410,3             | 2818,53           | 95,95             | 4,05                 |
| 6.30       | 97,7              | 2916,23           | 99,28             | 0,72                 |
| 5.00       | 16,2              | 2932,43           | 99,83             | 0,17                 |
| Fond       | 5                 | 2937,43           | 100,00            | 0,00                 |

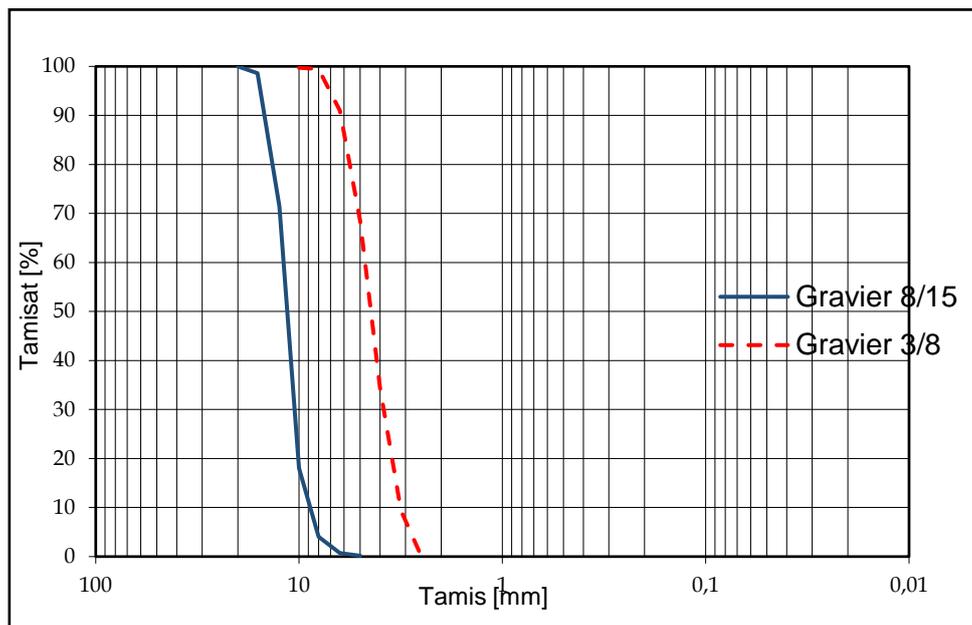


Figure 2-1 : Courbes granulométriques des graviers 3/8 et 8/15.

Tableau 2-3 : Analyse granulométrique du sable

| Tamis (mm) | Refus Partiel (g) | Refus Cumulés (g) | Refus Cumulés (%) | Tamisats Cumulés (%) |
|------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------------|
| 5.00       | 4,2               | 4,2               | 0,21              | 99,79                |
| 2.50       | 226,67            | 230,87            | 11,56             | 88,44                |
| 1.25       | 232,19            | 463,06            | 23,18             | 76,82                |
| 0.63       | 611,76            | 1074,82           | 53,80             | 46,20                |
| 0.315      | 599,34            | 1674,16           | 83,80             | 16,20                |
| 0.16       | 179,24            | 1853,4            | 92,77             | 7,23                 |
| 0.08       | 137,21            | 1990,61           | 99,64             | 0,36                 |
| Fond       | 7,2               | 1997,81           | 100,00            | 0,00                 |

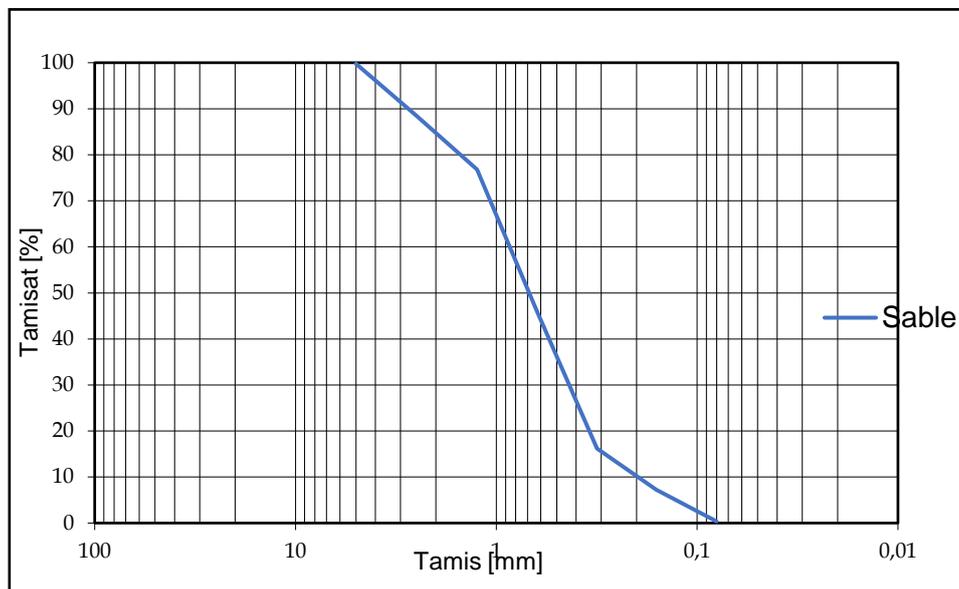


Figure 2-2 : Courbes granulométriques du sable.

- **Module de finesse**

Il s'agit d'un coefficient utilisé pour déterminer la taille d'un sable pour béton. Le coefficient d'un sable grossier est de  $2,8 < M_f < 3,2$ , tandis que le coefficient d'un sable fin

est de  $1,8 < M_f < 2,2$ . Le coefficient du sable moyen est de  $2,2 < M_f < 2,8$ , ce qui le rend préférable pour la fabrication des bétons.

Le module de finesse est principalement influencé par la quantité de grains fins dans le sable.

Le module de granulométrie d'un sable correspond au pourcentage des refus cumulés, exprimés en pourcentage sur les différents tamis de la série suivante :  $(5 - 2,5 - 1,25 - 0,63 - 0,315 - 0,16) / 100$ . Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 2.4.

**Tableau 2-4 : Module de finesse du sable**

| Granulats    | Module de finesse |
|--------------|-------------------|
| Sable roulée | 2,65              |

### 2.3.1.2 Propreté superficielle des granulats

La propreté superficielle est définie comme étant le pourcentage pondéral de particules inférieures à 0,5 mm mélangées ou adhérentes à la surface des granulats supérieures à 2 mm. Ces particules sont séparées par lavage sur le tamis correspondant. Selon la norme NFP 18-591 le pourcentage des impuretés ne doit pas dépasser 2%.

Les résultats de l'essai effectué sur gravier sont présentés dans le tableau 2.5.

**Tableau 2-5: Propreté superficielle des granulats**

| Granulats                       | Gravier<br>3/8 | Gravier<br>8/15 |
|---------------------------------|----------------|-----------------|
| Propreté superficielle en P (%) | 0,47           | 0,34            |

### 2.2.1.3 Essai équivalent de sable

L'essai d'équivalent de sable, permet de mesurer la propreté de sable entrant dans la composition des bétons. L'essai consiste à séparer les particules fines d'un poids défini de sable par une solution flocculante.

On laisse décanter le mélange pendant 20 minutes, après agitation (90 cycles de secouage en 30 s) on mesure une hauteur (H1) qui correspond au sédiment et (H2) au sédiment + floculat.

L'équivalent de sable est donné par :  $ES = (H1 / H2) * 100$  Si le pourcentage de filler est inférieur ou égale à 10%, on exécute directement l'essai d'équivalent de sable de manière classique.

Si le pourcentage de filler est supérieur à 10%, on procède à une augmentation de la fraction sableuse 0,063/ 2mm, afin de ramener la teneur en filler du sable à 10%.

Tableau 2-6 : Équivalent de sable (ES)

| Granulat                | E.S.V (%) | E.S.P | Spécifications                  |
|-------------------------|-----------|-------|---------------------------------|
| Sable roulée<br>(LIOUA) | 79,11     | 75,62 | 70 à 80%<br>Pour un sable roulé |

#### 2.2.1.4 Masse volumique absolue et apparente

La densité apparente, aussi connue sous le nom de masse volumique apparente, indique la quantité de matière par unité de volume, intégrant à la fois les particules solides et les vides entre elles. D'un autre côté, la densité absolue, ou masse volumique absolue, représente la masse par unité de volume du matériau constituant le granulat, sans prendre en compte les vides éventuels entre les grains.

Ces deux mesures sont obtenues par des méthodes conventionnelles, soit en pesant un volume spécifique de matériau, soit en utilisant une éprouvette graduée (ou un pycnomètre). Les résultats sont résumés dans le tableau 2.7, qui présente les densités apparentes et absolues pour différentes fractions de granulats.

Tableau 2-7 : Masse volumique absolue

| Granulats                                  | Sable roulé<br>(LIOUA) | Gravier<br>3/8 | Gravier<br>8/15 |
|--|------------------------|----------------|-----------------|
| Masse volumique absolue gr/cm <sup>3</sup> | 2,64                   | 2,62           | 2,64            |

Tableau 2-8 : Masse volumique apparente

| Granulats                                    | Sable roulé<br>(LIOUA) | Gravier<br>3/8 | Gravier<br>8/15 |
|--|------------------------|----------------|-----------------|
| Masse volumique apparente gr/cm <sup>3</sup> | 1,53                   | 1,50           | 1,42            |

### 2.3.1.5 Essai à la fragmentation par la méthode Los Angeles (LA)

L'essai vise à évaluer la résistance à la fragmentation sous chocs et à l'usure due aux frottements réciproques. Il est réalisé sur les classes granulaires 4/6,3, 6,3/10 et 10/14. Dans un tombeur équipé d'une plaque intérieure suivant la génératrice, 5 kg de granulats et des boules en acier (pesant de 7 à 11 de 420 g) sont placés. Après un nombre standardisé de rotations (500 tours à 33 tours/mn), le passant P est récupéré au tamis de 1,6 mm.

Le coefficient Los Angeles, exprimé par  $LA = 100P / 5000$ , augmente à mesure que la qualité du granulat diminue.

Tableau 2-9 : Résistance à la fragmentation (LA%)

| Granulats                        | Gravie 3/8 | Gravie 8/15 | Spécification  |
|----------------------------------|------------|-------------|--|
| Coefficient de Los Angeles (LA%) | 21         | 20          | LA < 15 Très bon à bon<br>15 ≤ LA < 20 Bon à moyen<br>20 ≤ LA < 30 Moyens à faible<br>LA > 30 Médiocre |

### 2.3.1.6 Coefficient d'aplatissement

La détermination du coefficient d'aplatissement est l'un des tests permettant de caractériser la forme plus au moins massive des granulats dont le pourcentage pondéral des éléments vérifier la relation :  $G/E > 1.58$  (la grosseur excède 1.58 fois l'épaisseur).

Tableau 2-10 : Coefficient d'aplatissement

| Granulats                          | Gravier<br>8/15 | Gravier<br>3/8 | Spécifications |
|------------------------------------|-----------------|----------------|----------------|
| Coefficient d'aplatissement<br>A % | 18              | 17             | A < 25%        |

### 2.2.4 Caractéristique du ciment utilisé

Le ciment utilisé pour l'ensemble des compositions est un ciment portland (CPJ) obtenu par le mélange finement broyé de clinker et d'ajouts (gypse et calcaire) conforme à la norme algérienne NA 442, provenant de la cimenterie de AIN-TOUTA Wilaya de Batna du groupe GICA, il est commercialisé comme étant un CPJ-CEM II/A-L 42,5 N.

**Tableau 2-11** : Caractéristiques physiques -mécaniques du ciment utilisé

| Caractéristiques  | Ciment CPJ-CEM II/A-L 42,5 N |
|---|------------------------------|
| Masse volumique absolue ( $\rho_s$ ) (Kg/m <sup>3</sup> )   | 3,10                         |
| Masse volumique apparente ( $\rho_a$ ) (Kg/m <sup>3</sup> ) | 1,11                         |
| Début de prise (min)  | 121,5                        |
| Fin de prise (min)  | 198                          |
| Résistance à la compression 2 jours (MPa)                   | 20,60                        |
| Résistance à la compression 28 jours (MPa)                  | 42,5                         |

### 2.2.5 Caractéristique des fillers de calcaire

Pour le béton autoplaçant, on à utiliser les fillers calcaires commercialisées par l'Entreprise Nationale des Granulats (ENG) du gisement El Khroub wilaya de Constantine qui est constitué de calcaire d'origine biochimique néritique caractérisé par une grande pureté chimique et une blancheur élevée.



**Photo 2-1** : Filler de calcaire.

Tableau 2-12 : Caractéristiques physiques filler calcaire

| Caractéristiques                               | Filler calcaire          |
|--|--------------------------|
| Couleur  | Blanche                  |
| Masse volumique apparente (g/cm <sup>3</sup> ) | 1,50 Kg/m <sup>3</sup>   |
| Masse volumique absolue (g/cm <sup>3</sup> )   | 2,70 g/cm <sup>3</sup>   |
| Surface spécifique (cm <sup>2</sup> /g) S.S.B  | 3 000 Cm <sup>2</sup> /g |

### 2.2.6 Caractéristiques d'adjuvants utilisé

Les adjuvants sont des substances ajoutées lors du mélange du béton à une proportion inférieure ou égale à 2% en poids par rapport au poids du ciment. Leur objectif est de modifier ou d'améliorer les propriétés du mélange à l'état frais et/ou durci, conformément à la norme EN 934-2.

Dans le cadre de notre étude, nous avons utilisé un certain type d'adjuvants fournis par la société TEKNA CHEM à Alger, à savoir : le SUPERIOR 126.

#### 2.2.6.1. Description de l'adjuvant (SUPERIOR 126)

Selon les informations fournies dans la fiche technique, le SUPERIOR 126 est un adjuvant super plastifiant à base de polycarboxylates de nouvelle génération, qui permettent de réaliser des bétons très fluides avec des rapports E/C très réduits. Il est compatible avec tous les types de ciment. Par son action dispersante et la bonne synergie de ses composants, il confère au béton un maintien prolongé de l'ouvrabilité avec des bonnes caractéristiques de compacité et de résistances mécaniques.

Tableau 2-13 : Caractéristiques chimiques et physiques d'adjuvants utilisé

| Caractéristiques                      | Adjuvant (SUPERIOR 126) |
|---------------------------------------|-------------------------|
| Etat physique                         | Liquide                 |
| Couleur                               | Brun                    |
| Densité (g/cm <sup>3</sup> , à 20 °C) | 1,13 (± 0,03)           |
| PH (20 °C)                            | 5,5 (± 1)               |
| Extrait sec                           | 38 % (± 2 %)            |
| Teneur en chlorures                   | ≤ 0,1 %                 |

## 2.4 Etude de formulation du béton auto plaçant (BAP)

La formulation du béton autoplaçant ne suit pas une approche classique. Nous avons plutôt suivi des conditions spécifiques pour assurer l'autoplaçabilité, en nous appuyant sur des compositions préconisées dans la littérature spécialisée.

Il s'agit de choisir les proportions des constituants dans 1 m<sup>3</sup> de béton en ayant comme données les paramètres suivants :

- Un rapport G/S = 1.
- Un rapport E/C relativement faible.
- Un dosage en ciment plutôt élevé.
- Un pourcentage déterminé en ajouts (superplastifiant, filler de calcaire, ou encore les deux).

Pour pouvoir comparer les performances des différents bétons indépendamment de l'action du ciment, on a fixé le dosage de ce dernier à 400 kg/m<sup>3</sup> pour tous les bétons testés.

Le dosage en superplastifiant est fixé à 2% du poids du ciment pour tous les bétons testés.

### 2.4.1. Calcul des constituants d'un BAP sans d'ajouts selon les normes AFGC :

Pour calculer les proportions des constituants dans un mètre cube on fixe les rapports suivants :

- G/S =1 pour augmenter la quantité de sable, celle-ci permet d'assurer une meilleure stabilité et une quantité suffisante de mortier.
- E/C = 0,45 le dosage en ciment étant constant.
- Le volume d'air occlus (A) est de l'ordre de 5% dans 1m<sup>3</sup>.

De béton on a les constituants suivants :

$$V_G + V_S + V_C + V_E + V_{SP} + V_A = 1000 \text{ l}$$

Avec :

$$A = 5 \text{ l/m}^3$$

$$E/C = 0,45 \text{ avec } C = 400 \text{ kg /m}^3 = (400/3,1) \text{ l/m}^3 = 129,03 \text{ l/m}^3$$

$$\text{On a donc } E = 180 \text{ l/m}^3$$

On obtient alors  $G + S = 1000 - 129,03 - 180 - 7,07 - 5 = 678,90$  l

Le rapport étant fixé à :  $G/S = 1$

On peut calculer les volumes G et S :

$$G = S = 339,45 \text{ l/m}^3$$

Pour les deux fractions du gravier on a choisi d'utiliser 50% de 8/15 et 50% du 3/8.

On obtient la composition suivante (tableau 2.14).

**Tableau 2-14** : Récapitulatif de la composition d'un béton autoplaçant sans ajout

| Composant         | Volume absolu (l/m <sup>3</sup> ) | Densité absolue (kg/m <sup>3</sup> ) | Masse de Composant (kg/m <sup>3</sup> ) |
|-------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|---|
| Sable roulée      | 339,45                            | 2,64                                 | 896,15                                  |
| Gravier 3/8       | 169,72                            | 2,62                                 | 444,66                                  |
| Gravier 8/15      | 169,72                            | 2,64                                 | 448,06                                  |
| Ciment            | 129,03                            | 3,1                                  | 400                                     |
| Eau               | 180                               | 1                                    | 180                                     |
| SP (SUPERIOR 126) | 7,07                              | 1,13                                 | 8                                       |

#### 2.4.2 Calcul des constituants d'un béton autoplaçant (BAP) avec d'ajouts des fillers calcaire

La formulation d'un béton autoplaçant (BAP) avec l'ajout minéral reste identique à celle d'un béton autoplaçant sans minéral (filler de calcaire). Mais la quantité de l'ajout dans le mélange étant importante (une quantité non négligeable), la présence de cet ajout est prise en compte dans le calcul des constituants.

##### Exemple du calcul

Si on prend un dosage en filler de calcaire de 5% en poids du ciment on a :

$$FS = 5\%C = 20 \text{ kg/m}^3 = (20/2,70) \text{ l/m}^3 = 7,41 \text{ l/m}^3$$

Les constituants présents dans le mélange sont :

$$V_G + V_S + V_C + V_E + V_A + V_{SP} + V_{FC} = 1000 \text{ L}$$

Avec :

- $A = 5 \text{ l/m}^3$
- $E/C = 0,45$

$$C = 400 \text{ kg/m}^3 = (400/3,1) \text{ l/m}^3 = 129,03 \text{ l/m}^3$$

$$\text{On a donc } E = 180 \text{ l/m}^3$$

On peut calculer les proportions des graviers et du sable :

$$G+S = 1000 - (129,03+180+7,07+5+7,41) = 671,49 \text{ l}$$

$$\text{Avec } G/S = 1$$

$$\text{On a donc : } G = S = 335,74 \text{ l/m}^3$$

Pour les deux fractions du gravier on a choisi d'utiliser 50% de 5/15 et 50% du 3/8.

On obtient les formulations suivantes avec un différent pourcentage des filler calcaire 5%,10% ,15%,20% (voir tableau 2.15).

**Tableau 2-15** : Récapitulatif des compositions des bétons autoplaçants avec ajout de fillers calcaire.

| Composant<br>(Kg/m <sup>3</sup> ) | Destinations des bétons autoplaçants |            |            |            |
|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|------------|------------|
|                                   | BAP<br>5%                            | BAP<br>10% | BAP<br>15% | BAP<br>20% |
| Sable roulée                      | 886,35                               | 876,58     | 866,82     | 857,02     |
| Gravier 3/8                       | 439,82                               | 434,97     | 430,12     | 425,25     |
| Gravier 8/15                      | 443,17                               | 438,29     | 433,41     | 428,50     |
| Ciment                            | 400                                  | 400        | 400        | 400        |
| Filler calcaire                   | 20                                   | 40         | 60         | 80         |
| Eau                               | 180                                  | 180        | 180        | 180        |
| SP (SUPERIOR 126)                 | 8                                    | 8          | 8          | 8          |

### 2.4.3 Préparation des mélanges

La préparation du béton autoplaçant nécessite une attention et une précision par rapport à la préparation d'un béton ordinaire. Pour mener à effectuer plusieurs essais sur le béton frais, il est essentiel de suivre une méthodologie spécifique.

Le premier paramètre à considérer est la capacité du malaxeur utilisé, une fois les proportions de chaque constituant déterminées, le processus opérationnel est le suivant :

- Vérifier en premier le nombre et l'état des moules cubiques/prismatiques nécessaires pour les essais. Graisser ces moules avec de l'huile pour faciliter le décoffrage.
- Rassembler tout le matériel nécessaire pour les essais.
- S'assurer que les matériaux ne sont pas humides ; les sécher au besoin dans l'étuve.
- Peser les matériaux secs (gravier, sable, ciment, filler calcaire) et les introduire dans le malaxeur.
- Préparer la quantité d'eau nécessaire pour le mélange.
- Mettre le malaxeur en marche pour homogénéiser le mélange sec.
- Laisser le malaxeur en marche et ajouter progressivement la première moitié de l'eau de gâchage.
- Ajouter le superplastifiant à la première moitié de l'eau de gâchage.
- Ajouter la deuxième moitié d'eau progressivement.
- Effectuer immédiatement les essais après l'arrêt du malaxage, les essais sont réalisés au moins deux fois pour valider les valeurs obtenues.
- Remplir les moules en deux/trois couches sans vibration pour le béton autoplaçant.

### 2.4.4 Conservation des éprouvettes

Après le remplir des moules, que ce soit pour un béton autoplaçant (BAP), les moules sont placés dans un endroit à température ambiante et sont démoulés après 24 heures. Une fois

démoulées, afin d'assurer un bon processus de maturation du béton, les éprouvettes sont conservées dans un bac d'eau (voir photo 2.2) à une température de  $20 \pm 2$  °C. Cette mesure permet de prévenir les pertes d'eau et de garantir le déroulement normal du processus d'hydratation du ciment.



Photo 2-2 : Conservation des éprouvettes.

## 2.5 Essais de caractérisations du béton auto plaçant à l'état frais

### 2.5.1 Essai d'étalement au cône d'Abrams (slump flow)

Ce test est généralement réalisé pour le béton ordinaire vibré afin de déterminer sa consistance en mesurant son affaissement, pour le béton autoplaçant (BAP), ce test permet de mesurer la mobilité du béton dans un environnement non confiné. Il consiste à mesurer le diamètre d'une galette de béton (voir photo 2.3) après le soulèvement du cône. Les valeurs cibles de l'étalement se situent généralement dans une fourchette de 60 à 75 cm.



Photo 2-3 : Essai d'étalement au cône d'Abrams (slump flow).

### 2.5.2 Essai de stabilité au tamis

L'essai de stabilité au tamis est l'essai le plus approprié pour évaluer la stabilité (voir photo 2.4). Ce test consiste à évaluer la proportion de laitance par rapport au poids de l'échantillon qui passe à travers un tamis d'ouverture de 5 mm. L'essai a été mené sur toutes les formes de béton autoplaçant.



Photo 2-4 : Essai de stabilité au tamis.

### 2.5.3 Essai de la boîte en L (L-box test)

On a effectué l'essai de la boîte en L (voir photo 2.5) spécifiquement pour le béton autoplaçant. Le but est de mesurer le risque de blocage et la capacité de remplissage du béton dans un environnement restreint. On recouvre la partie verticale de la boîte avec du béton, puis on mesure le taux de remplissage en soulevant la trappe en acier. Ce taux est défini comme le rapport entre les hauteurs de béton dans les parties verticales. Le rapport  $H1/H2$  doit être plus élevé que 0,8 pour un béton autoplaçant.



Photo 2-5 : Essai de la boîte en L (L-box test).

## 2.6 Essais de caractérisations du béton auto plaçant à l'état durci

Les essais relatifs au béton autoplaçant à l'état durci se limitent à la détermination des résistances mécaniques à la compression et à la traction par flexion.

### 2.6.1.1 Essai compression

Les essais de résistance à la compression ont été effectués sur des éprouvettes cubiques (10×10×10) cm, à 7 et 28 jours, à l'aide d'une presse de capacité de 2000 kN (voir photo 2.6). L'éprouvette est placée et centrée entre les deux plateaux de la presse puis chargée progressivement jusqu'à la rupture.

La contrainte maximale (résistance à la compression), notée  $\sigma_c$  (MPa), peut être exprimée comme le rapport entre la charge maximale atteinte, notée P (MN), et la surface de chargement, notée S (m<sup>2</sup>), soit :

$$\sigma_c = P / S$$

P : charge de rupture

a : arête de l'éprouvette cubique

$\sigma_c$  : résistance à la compression



Photo 2-6 : Essai compression simple.

### 2.6.1.2 Essais traction par flexion

Pour effectuer nos essais de traction par flexion, on a procédé à l'essai sur des éprouvettes prismatiques de dimensions (7×7×28) cm, conformément à la norme (NFP 18-433).

L'appareil utilisé est une presse hydraulique de flexion dont la capacité maximale est de 150 kN en cisaillement (voir photo 2.7).

La résistance à la traction par flexion est calculée par la formule suivante :

$$\sigma_t = \frac{3FL}{2a.(a)^2}$$

$\sigma_t$  : la résistance en flexion.

F : charge maximale de rupture.

L : l'écartement entre les deux rouleaux d'appui.

a : dimensions de la section transversale de l'éprouvette.



Photo 2-7 : Essai traction par flexion.

## 2.7 Conclusion

Les conclusions obtenues concernant les matériaux utilisés ont confirmé leur qualité et leur conformité à la fabrication du béton autoplaçant.

Dans le chapitre suivant, nous allons présenter les résultats des essais sur le béton autoplaçant à l'état frais et durci, puis nous allons discuter et interpréter les résultats.

CHAPITRE III :  
RESULTATS ET INTERPRETATIONS

## CHAPITRE III

### RESULTATS ET INTERPRETATIONS

#### 3.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter les différents résultats expérimentaux des essais effectués sur le béton autoplaçant.

Et, on essaye de déterminer l'influence des ajouts minéraux (fillers calcaires) sur les caractéristiques rhéologiques et mécaniques du béton autoplaçant.

#### 3.2 Résultats des essais à l'état frais

##### 3.2.1 Essai d'étalement au cône d'Abrams (slump flow)

Les résultats obtenus à partir d'essais de l'étalement utilisés pour caractériser la fluidité du béton sur les différents types des bétons sont représentés sur le tableau 3.1.

Tableau 3-1 : Résultats d'étalements

| Type de béton              | Résultats d'étalements (cm) |
|----------------------------|-----------------------------|
| BAP 0% filler de calcaire  | 59                          |
| BAP 5% filler de calcaire  | 60                          |
| BAP 10% filler de calcaire | 63                          |
| BAP 15% filler de calcaire | 65                          |
| BAP 20% filler de calcaire | 66                          |

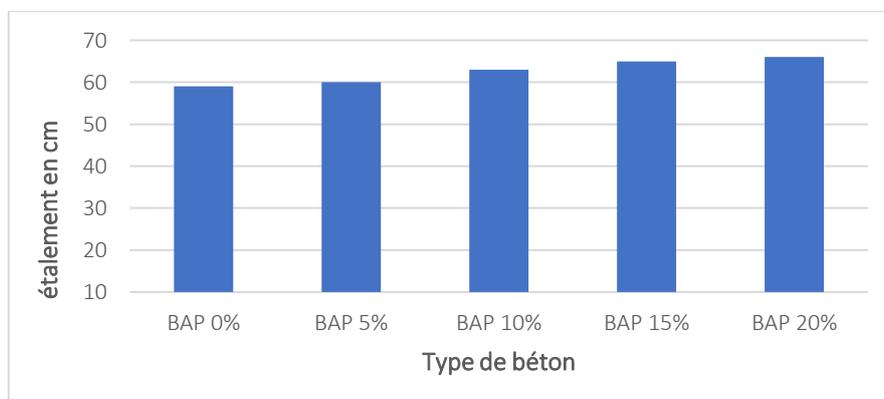


Figure 3 -1 : L'étalement en fonction de type de béton

### 3.2.2 Essai de la 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.

Les critères d'acceptabilité d'une formulation sont :

- $0 < P_{\text{laitance}} < 15 \%$   $\Rightarrow$  Stabilité suffisante.
- $15 < P_{\text{laitance}} < 30 \%$   $\Rightarrow$  Stabilité critique.
- $P_{\text{laitance}} > 30$   $\Rightarrow$  Stabilité très mauvaise.

Les résultats obtenus des essais sont représentés le tableau 3.2.

Tableau 3-2 : Résultats essai de la stabilité au tamis.

| Type de béton              | Résultats de la stabilité au tamis % |
|----------------------------|--------------------------------------|
| BAP 0% Filler de calcaire  | 4,30                                 |
| BAP 5% Filler de calcaire  | 4,45                                 |
| BAP 10% Filler de calcaire | 5,23                                 |
| BAP 15% Filler de calcaire | 6,10                                 |
| BAP 20% Filler de calcaire | 6,25                                 |

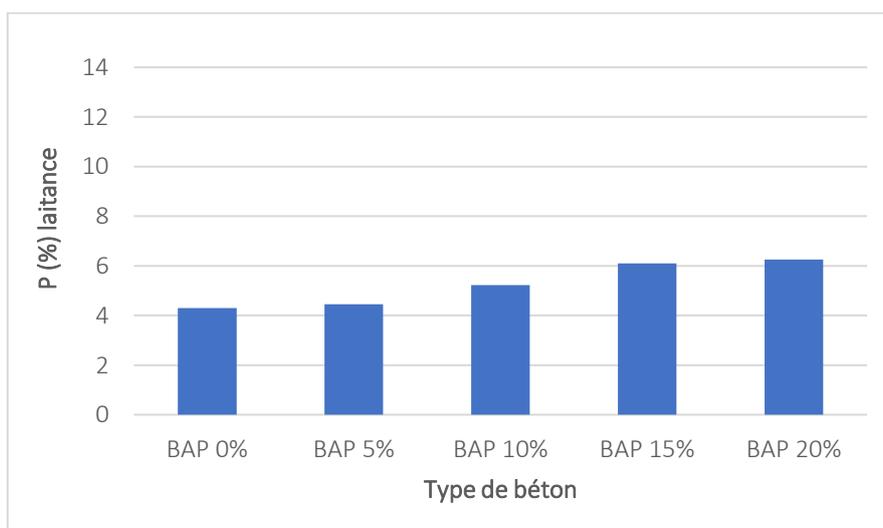


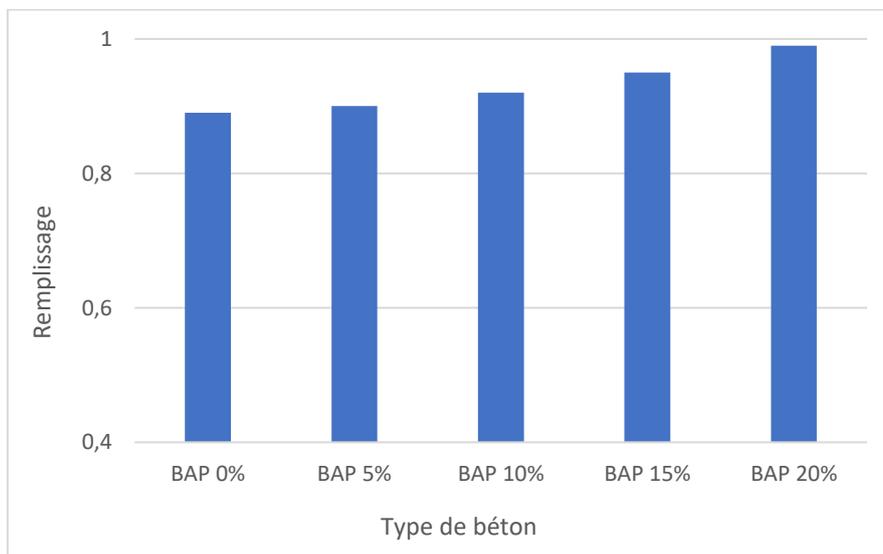
Figure 3-2 : Stabilité au tamis en fonction du type de béton

### 3.2.3 Essai de la Boite en L

L'objectif de cet essai est de voir la capacité du béton à s'écouler dans une zone confinée, sans qu'il soit contrarié par des phénomènes de blocage inacceptable. Les résultats obtenus de cet essai (pour les différents mélanges des bétons formulés) sont représentés sur le (tableau 3.3)

**Tableau 3-3 : Résultats d'essai de la boite en L**

| Type de béton              | Résultats d'essai de la boite en L |
|----------------------------|------------------------------------|
| BAP 0% Filler de calcaire  | 0,89                               |
| BAP 5% Filler de calcaire  | 0,90                               |
| BAP 10% Filler de calcaire | 0,92                               |
| BAP 15% Filler de calcaire | 0,95                               |
| BAP 20% Filler de calcaire | 0,99                               |



**Figure 3-3 : Le taux de remplissage en fonction du type des bétons (BAP)**

### 3.3 Résultats des essais à l'état durcis

Ces essais permettent d'évaluer la qualité du béton en fournissant des informations sur sa résistance de compression et à la traction par flexion, en prenant en compte son âge et les proportions de filler calcaire.

3.3.1 Résistances à la compression

Le tableau et la figure ci-dessous résument les résultats obtenus :

Tableau 3-4 : Résistance à la compression.

| Type de béton               | Résistance à la compression en (MPa) |       |          |       |
|-----------------------------|--------------------------------------|-------|----------|-------|
|                             | 7 jours                              |       | 28 jours |       |
| BAP 0 % Filler de calcaire  | 31,51                                | 30,67 | 39,94    | 40,66 |
|                             | 29,87                                |       | 41,23    |       |
|                             | 30,63                                |       | 40,81    |       |
| BAP 5 % Filler de calcaire  | 30,44                                | 31,58 | 40,79    | 40,70 |
|                             | 32,43                                |       | 40,35    |       |
|                             | 31,88                                |       | 40,21    |       |
| BAP 10 % Filler de calcaire | 33,10                                | 32,75 | 42,72    | 42,74 |
|                             | 31,45                                |       | 41,65    |       |
|                             | 32,22                                |       | 43,84    |       |
| BAP 15 % Filler de calcaire | 32,91                                | 32,96 | 44,30    | 43,80 |
|                             | 33,21                                |       | 44,61    |       |
|                             | 32,78                                |       | 42,50    |       |
| BAP 20 % Filler de calcaire | 33,78                                | 33,84 | 45,3     | 44,54 |
|                             | 33,26                                |       | 43,56    |       |
|                             | 34,49                                |       | 44,76    |       |

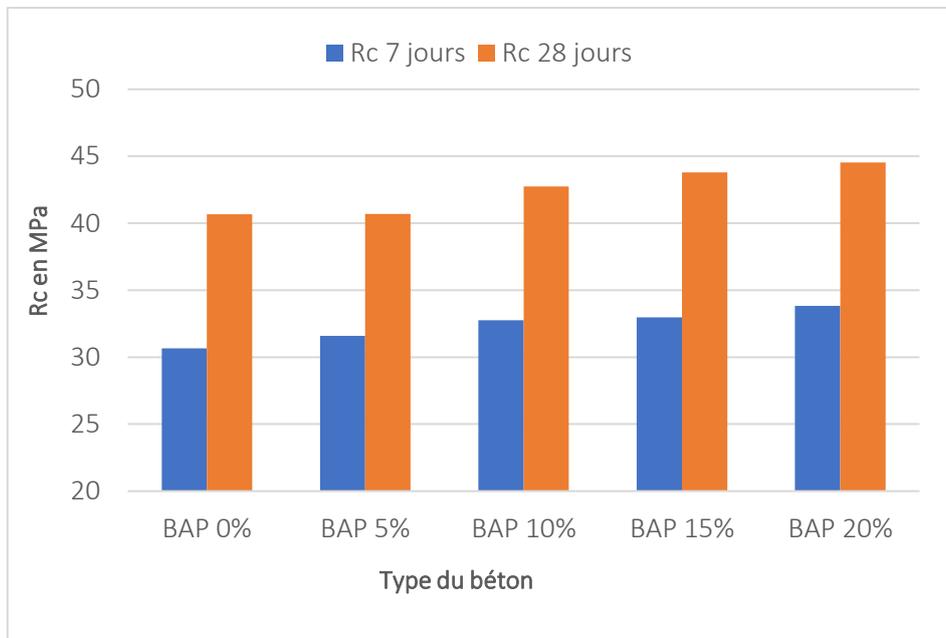


Figure 3-4 : Variation de la résistance à la compression.

3.3.2 Résistance à la traction par flexion

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau et figure suivant :

Tableau 3-5 : Résistance à la traction par flexion.

| Type de béton              | Résistance à la traction par flexion en (MPa) |      |          |      |
|----------------------------|---|------|----------|------|
|                            | 7 jours                                       |      | 28 jours |      |
| BAP 0% Filler de calcaire  | 5,51  | 5,46 | 6,23     | 6,01 |
|                            | 5,69  |      | 5,99     |      |
|                            | 5,20  |      | 5,81     |      |
| BAP 5% Filler de calcaire  | 5,6   | 5,51 | 6,17     | 6,11 |
|                            | 5,44  |      | 5,96     |      |
|                            | 5,51  |      | 6,22     |      |
| BAP 10% Filler de calcaire | 5,21  | 5,39 | 6,19     | 6,24 |
|                            | 5,32  |      | 6,31     |      |
|                            | 5,64  |      | 6,24     |      |
| BAP 15% Filler de calcaire | 4,98  | 5,24 | 6,06     | 6,06 |
|                            | 5,35  |      | 6,14     |      |
|                            | 5,41  |      | 5,98     |      |
| BAP 20% Filler de calcaire | 4,86  | 4,86 | 5,91     | 5,83 |
|                            | 5,01  |      | 5,86     |      |
|                            | 4,73  |      | 5,72     |      |

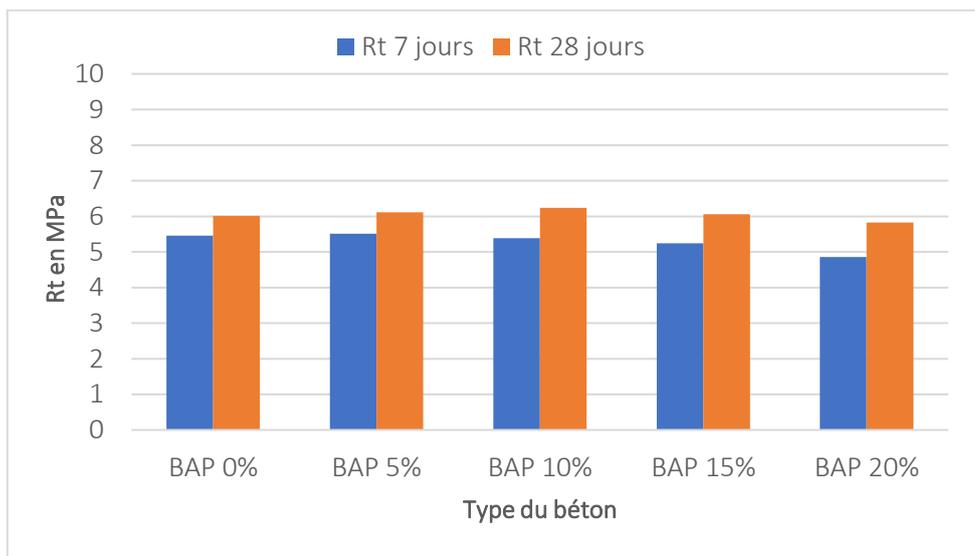


Figure 3-5 : Variation de la résistance à la traction par flexion.

### 3.4 Interprétations des résultats

L'ajout de 5% de filler calcaire dans le ciment avec un dosage constant de superplastifiant (2%) a obtenu pratiquement les mêmes résultats pour le béton témoin à 0% de filler calcaire. On peut donc conclure que cette quantité ne suffit pas à améliorer le comportement rhéologique du BAP. Cependant, en utilisant des dosages de 10%, 15% et 20%, le comportement rhéologique du béton s'est progressivement amélioré, avec des résultats tels que :

- Une augmentation du diamètre de la galette.
- Une optimisation de la stabilité.
- Un bon écoulement à l'essai de l'étalement.

Selon les résultats des tests des écrasements réalisés sur des échantillons cubiques et prismatiques, la résistance à la compression du béton autoplaçant (BAP) est améliorée lorsque le ciment est soutenu par des ajouts minéraux (fillers calcaires) et donne des résultats satisfaisants en ce qui concerne la résistance à la traction par flexion. Ces propriétés sont attribuables à un certain nombre de facteurs :

Le superplastifiant, qui réduit la quantité d'eau nécessaire pour le gâchage et la porosité. Le filler calcaire présente une surface spécifique élevée qui agit comme un correcteur granulométrique, ce qui entraîne une réduction de la porosité, ce qui entraîne une augmentation de la compacité et de la résistance à la compression et à la traction par flexion.

*CONCLUSION GENERALE ET*  
*PERSPECTIVES*

### **Conclusions générales et perspectives**

En conclusion, cette étude sur la caractérisation et la formulation d'un béton autoplaçant (BAP) a permis de démontrer les avantages considérables de ce matériau innovant, tout en identifiant les défis techniques à surmonter. Le BAP, avec ses propriétés exceptionnelles de fluidité et de stabilité, offre des bénéfices significatifs en termes de qualité de construction, de réduction du temps de travail et d'amélioration des conditions de chantier.

Les résultats des recherches expérimentales effectuées lors de notre étude sont les suivants : L'optimisation de la composition granulométrique, l'ajustement précis des superplastifiants et le contrôle des paramètres rhéologiques sont essentiels pour obtenir un BAP performant. Les résultats obtenus confirment que le BAP peut répondre aux exigences des normes internationales en matière de résistance, tout en offrant une grande flexibilité d'application.

La fabrication des BAP permet d'améliorer leurs performances à l'état frais (étalement, écoulement, stabilité au tamis) et à l'état durci (résistance à la compression). De plus, ils offrent des résultats satisfaisants pour la résistance à la traction par flexion en ajoutant un pourcentage de filler calcaire jusqu'à 20 % dans le ciment.

## *REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES*

## Références bibliographiques

- [1] « Cléo Laneyrie, « Valorisation des déchets de chantier du BTP : comportement à haute température des bétons de granulats recyclés », Thèse de doctorat en Génie Civil, Ecole doctorale de Sciences et Ingénierie Université de Cergy-Pontoise, le 15 d'cembre 2014 ».
- [2] « DOUNANE Nawel, Étude de l'influence de différents types de fillers calcaires sur les performances du béton autoplaçant BAP, mémoire du Projet de Fin d'Etudes d'Ingénieur, Ecole Nationale Polytechnique, 2010 ».
- [3] « Chapitre 3 • Les bétons aux nouvelles performances 3.3 Les bétons autoplaçants.pdf ».
- [4] « Hanaa FARES "Propriétés mécaniques et physico-chimiques de bétons autoplaçant exposés à une température élevée », Thèse de doctorat, Université de Cergy-Pontoise, 2009 ».
- [5] « Patrick Guiraud. Atouts des BAP. Septembre 2016. <https://www.infociments.fr/betons/atouts-des-bap>. ».
- [6] « Eléments de matériaux de construction et essais, Cherait yassine et Nafa zahredinne 2006, pdf ».
- [7] « Mr. BENSEBTI Salah Eddine, Formulation et Propriétés des Bétons Autoplaçants à Base de Matériaux Locaux, mémoire Magistère en Génie Civil, université mentouri-constantine, 2008 ».
- [8] « Erce – ctc est-granitex, Les adjuvants : définitions et opportunités d'utilisation, journée d'information (ciment, béton, adjuvants), 2004 ».
- [9] « [www.infociments.fr/betons/essais-de-caracterisation-specifiques-au-bap.pdf](http://www.infociments.fr/betons/essais-de-caracterisation-specifiques-au-bap.pdf) ».
- [10] « NF EN 12350–8., Essai pour béton frais - Partie 8 béton autoplaçant - Essai d'étalement au cône d'Abrams, PDF ».
- [11] « NF EN 12350–10., Essai pour béton frais - Partie 10 béton autoplaçant - Essai à la boîte en L, Novembre 2010.pdf ».
- [12] « NF EN 12350–11., Essai pour béton frais - Partie 11 béton auto-plaçant - Essai de stabilité au tamis, pdf ».
- [13] « NF EN 12350–9, "Essai pour béton frais - Partie 9 : béton auto-plaçant - Essai d'écoulement à l'entonnoir en V", 2010 »
- [14] « NF EN 12350–12., Essai pour béton frais - Partie 12 : béton auto-plaçant - Essai d'écoulement à l'anneau. Novembre 2010 ».

- [15] « BETHMONT.S, "Mécaniques de ségrégation dans les bétons autoplaçants (BAP)", Thèse de doctorat. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Décembre 2005 ».
- [16] « Othmane BOUKENDAKDJ, étude de l'influence des paramètre de formulation sur la propriété d'un béton autoplaçant, thèse doctorat, université Saad dahleb de blida,2010».
- [17] « IDJAHNINE Mohamed Yahia A/Halim, formulation et caractérisation des bétons autoplaçants avec ajout le déchet de brique broyé.pdf Université abderrahmane mira béjaia,Mémoires de Magister ,2009 ».
- [18] « ZAIDI Hadj et SAADOUNE Lotfi Caractérisation mécanique d'un béton auto plaçant à partir d'un essai d'indentation, mémoire master, université BBA 2020 ».
- [19] « Melle Nawel DOUNANE, Étude de l'influence de différents types de fillers calcaires sur les performances du béton autoplaçant BAP, Mémoire du Projet de Fin d'Etudes d'Ingénieur, Ecole Nationale Polytechnique,2010 ».
- [20] A. el Hilali, E. Ghorbel, P. Gonnon. Influence des fillers sur l'ouvrabilité des BAP. Université de cergy-pontoise.
- [21] Z. Abib. Formulation et caractérisation des bétons autoplaçants. Thèse de magister USTHB, 2004.

# *ANNEXE*

# SUPERIOR 126

SUPERPLASTIFIANT POUR BÉTON - HAUT RÉDUCTEUR D'EAU - MAINTIEN RHÉOLOGIQUE - AVEC EFFET RETARD



## DESCRIPTION

**SUPERIOR 126** est un adjuvant super plastifiant à base de poly-carboxylates de nouvelle génération, qui permettent de réaliser des bétons très fluides avec des rapports E/C très réduits.

Il est compatible avec tous les types de ciment.

Par son action dispersante et la bonne synergie de ses composants, il confère au béton un maintien prolongé de l'ouvrabilité avec des bonnes caractéristiques de compacité et de résistances mécaniques.

## PROPRIETES CHIMIQUES ET PHYSIQUES

Etat physique :.....Liquide  
Couleur :.....Brun  
Densité (g/cm<sup>3</sup>, à 20 °C) :.....1,13 (± 0,03)  
PH (20 °C) :.....5,5 (± 1)  
Extrait sec :.....38 % (± 2 %)  
Teneur en chlorures :.....≤ 0,1 %

## CARACTERISTIQUES

Le **SUPERIOR 126** est particulièrement recommandé pour la fabrication de béton à faible rapport E/C, à très long maintien d'ouvrabilité. Il présente une excellente imperméabilité aux bétons.

Le **SUPERIOR 126** a été formulé pour un long maintien de l'ouvrabilité avec des résistances élevées à la compression et flexion à 28 jours. Il diminue le retrait hygrométrique, avec des parements parfaits et une meilleure durabilité.

## DOMAINES D'APPLICATION

- Bétons transportés sur de longues distances.
- Bétons de fondations (parois moulés, pieux...).
- Bétons pompés.
- Bétons de Génie- Civil (ouvrages d'art, tunnels).
- Béton prêt à l'emploi.

## DOSAGE

- Le dosage de **SUPERIOR 126** varie entre 0,6 à 2 % du poids du ciment soit de 0,6 à 1,8 litre pour 100 Kg de ciment.
- Le dosage optimal est déterminé en fonction des caractéristiques désirées, selon la composition du béton. Des essais d'optimisation sur site sont conseillés.
- **SUPERIOR 126** présente un léger effet retardateur, quand le dosage est supérieur à 1,2 %.

## MODE D'EMPLOI

- L'addition du **SUPERIOR 126** ne doit jamais se faire sur un béton sec avant l'ajout de l'eau (Il serait adsorbé par les agrégats et le sable d'où une inefficacité avec le ciment).
- Il est conseillé d'ajouter le **SUPERIOR 126** après l'ajout des composants du béton et environ 90 % de l'eau de gâchage nécessaire.
- Terminer le mélange en ajoutant graduellement l'eau restante (10 %) jusqu'à l'obtention de la consistance désirée. Les dosages sont évalués au poids du ciment.

## CONDITIONNEMENT

- Bidon de 20 Litres.
- Fût de 216 Litres.
- Cubitainer de 1000 Litres.

## VALIDITE

12 mois dans son emballage hermétiquement fermé, stocké entre 5°C et 35°C et à l'abri du soleil.

## PRECAUTION D'EMPLOI

Se référer à la fiche de données de sécurité.

## DOCUMENT DE REFERENCES

PV d'essais établi par le CNERIB.



### Siège & Usine :

B.P 203 Zone Industrielle de Sidi-Bel-Abbès  
Tél. : + 213 (0) 48 70 34 63  
Fax : + 213 (0) 48 70 34 62  
E-mail : info@teknachem.com  
WWW.TEKNACHEM.COM

### Antenne d'Alger :

Rue de la Soummam lot N° 06 Z.I. Oued Smar Alger  
Tél./Fax : + 213 (0) 23 92 05 62

### Antenne de Sétif :

Zone d'Activité Artisanale 6<sup>ème</sup> Tranche - Sétif  
Tél. : + 213 (0) 36 93 90 10 - Fax : + 213 (0) 36 93 90 60

Les informations contenues dans la présente fiche technique, bien que représentant le stade le plus avancé de la connaissance, ne dispensent pas l'utilisateur de procéder à des tests préliminaires dans ses propres conditions d'emploi ou à faire appel à l'assistance technique de la société. Par conséquent la **TEKNACHEM ALGERIE SARL** décline toutes responsabilités pour l'emploi inapproprié du produit.



www.teknachem.com

# CEM II/A-L 42.5 N

Ciment Portland au Calcaire

CEM II/A-L 42.5 N

## Présentation

Le **CEM II/A-L 42.5 N** est un Ciment Portland au Calcaire (**CPC**), certifié selon exigences et les normes en vigueur.

## Domaine d'emploi

Le ciment **CEM II/A-L 42.5 N** de GICA est adapté pour les usages suivants :

- Travaux de fondation, souterrains, d'assainissement ;
- Génie civil (ouvrage et routes) ;
- Les bétons armés et non armés, préfabriqués ou précontraints, étuvés et auto étuvés ;
- Travaux de construction (logements, locaux commerciaux et industriels);
- Produits dérivés du ciments.

## Recommandations spécifiques et générales

- Pour les travaux sous la pluie, par temps chaud, par grand vent ou par temps de gel utilisé des adjuvants normalisés et appropriés ;
- Les coulées doivent être régulières et continues par couches de faible épaisseur ;
- La hauteur de chute du béton ne peut pas dépasser 1 mètre de hauteur, de façon à éviter toute ségrégation. Au delà de cette hauteur, il est indispensable de prévoir l'utilisation d'une goulotte amenée à hauteur convenable, ou d'une cheminée d'alimentation ;
- Adapter la vibration du béton à sa consistance pour obtenir une compacité optimal sans ségrégation ;
- Veiller au respect des temps de prise lors de la livraison du béton frais.

## COMPOSITION

|        | Clinker     | Ajout calcaire             | Constituant secondaire |
|--------|-------------|----------------------------|------------------------|
| Taux % | (80 à 94) % | Catégorie A<br>(06 à 20) % | (De 0 à 5) %           |

## PACKAGING

Sacs 50kg / Disponible en Vrac

## CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES

|       | TEMPS DE PRISE | STABILITÉ    |
|-------|----------------|--------------|
| TEMPS | ≥ 60 minutes   | ≤ 10 minutes |

## CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES

| Résistance à la compression à 02 j | Résistance à la compression à 28 j                      |
|------------------------------------|---|
| ≥ 10.0 N/mm <sup>2</sup>           | ≥ 42.5(N/mm <sup>2</sup> ) & ≤ 62.5(N/mm <sup>2</sup> ) |

## CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES

| Teneur en sulfates (SO <sub>3</sub> ) | Teneur en chlorures (Cl) |
|---------------------------------------|--------------------------|
| ≤ 3.5 %                               | ≤ 0.10 %                 |



Grande Industriel des Ciments d'Algérie (GICA) 2019

## Certification



Retrouvez nous sur



Grande Industriel des Ciments d'Algérie (GICA)  
Siège social : Route de Dar El Beida Meflah (W. de Blida), Algérie  
Tél/Fax : +213(0) 25 45 61 98 / 213(0) 25 45 62 61  
site web : www.gica.dz