REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Option : Matériaux en Génie Civil

ETUDE EXPERIMENTALE SUR L'INFLUENCE DE LA POUDRE DE COQUILLES D'ŒUFS SUR LES PERFORMANCES ET LA DURABILITE DES BETONS AUTOPLAÇANTS

Présenté par :

- **BOUKRIA Maroua**
- **SALHI Bouchra**

Proposé et Dirigé par :

Pr. SKENDER Zakaria

Promotion Juin 2022

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je tiens à remercier notre DIEU miséricordieux qui m'a donné la force et la patience à achever ce travail.

Mes remerciements à mes parents, pour leurs soutiens et leurs encouragements pendant toute la vie et que continueront à m'aider dans tous les projets de l'avenir.

Ainsi que tous les membres de ma famille qu'ont participé de près ou de loin à m'encourager et m'aider dans mon projet.

Je remercie très sincèrement mon promoteur Monsieur **SKENDER ZAKARIA** pour son Dévouement, ses conseils et ses critiques tout au long de l'élaboration de ce mémoire.

Je remercie sincèrement tous les enseignants de l'université de **MEDEA Dr Yahia FARES** en particulier ceux du Génie Civil qu'ont participés à ma formation.

Enfin, je remercie tous ceux qu'ont contribué de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à **Allah**

A mes chères parents **Maman** et **Papa** je vous souhaite le bonheur absolu et une longue vie

A mes chères frères : **MOHAMED**, **FAROUK**

A mon mari : **BRAHIM** et ma fille **SARAH**, due dieu les protéger

A mes chères sœurs : **DJEMIA**, **THOURIA**, **SADJIA**, **NAZIHA** et leurs enfants

A la femme de mon frère : **AMINA** et ses enfants

A la famille de mon mari ; **TRIFI**

A toute la famille **SALHI**

A tous mes amis

Et à tous les étudiants en génie civil**, PROMOTION 2022**

BOUCHRA

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à **Allah**

A mes chères parents **Maman** et **Papa** je vous souhaite le bonheur absolu et une longue vie

A mes chères frères : **NOUR EL ISLAM**, **AYHAM**, **HAROUN**, **MOHAMED et RIDA**

A mes chères sœurs : **ASMA**, **MERIEM**, **HADJER**, **TASNIME**,

A mes tantes : **KHIRA**, **FATIHA**, **DJAMILA**, **NORA**, **ZINEB**, **KHADIDJA**

A mes grand-mère : **FATMA**, **MESOUDA**

A mes filles de tante : **HASNA**, **KHADIDJA**, **ROMAISSA**, **AYA**

A mes nièces **RIMANA**, **RITAL**

A mes neveux, **ABD ALMOUIN**, **ABD ALMOGHITH**

A mon oncle **BOUALAM**, **KAMAL**

A toute la famille **BOUKRIA**

A toute la famille **TALEB**

A tous mes amis

MAROUA

RÉSUMÉ

Le béton autoplaçants se distingue des autres bétons par des critères : homogénéité, capacité de tassement capacité de passage.

L'objectif principal de ce projet est de savoir comment recycler les coquilles d'œufs pour les utiliser dans des choses utiles, ou nous avons remplacé une quantité de ciment par une quantité de coquilles d'œufs dans des proportions différentes (0%,5%,10%,15%), Nous avons analysé les propriétés tant à l'état frais qu'à l'état solide des différents échantillons obtenus.

A travers les résultats obtenus, il a été constaté que épandage de béton change à mesure que le pourcentage de coquilles d'œufs augmente.

Mots clés : Béton Autoplaçant ; coquilles d'œufs ; ciment ; l'état frais ; l'état solide

ملخص

تتميز الخرسانة ذاتية الضغط عن الخرسانة الأخرى بمعايير: تجانس، سعة التعبئة، سعة المرور.

الهدف الرئيسي من هدا المشروع هو كيفية إعادة تدوير قشور البيض لاستغلاله في أمور مفيدة حيث قمنا باستبدال كمية من الاسمنت بكمية من قشور البيض بنسب مختلفة (0%,5%,10%,15%) وقد قمنا بتحليل الخصائص في الحالة الطازجة وفي الحالة الصلبة لمختلف العينات الناتجة من خلال النتائج المتحصل عليها تبين ان انتشار الخرسانة يتغير كلما ارتفعت نسبة قشور.

الكلمات المفتاحية :الخرسانة ذاتية الضغط , قشور البيض ,الاسمنت , الحالة الطازجة ,الحالة الصلبة .

ABSTRACT

self –compacting concrete is distinguished from other concrete by the following criteria :homogeneity, packing capacity , passing capacity.

The main objective of this project is how to recycle eggshells to be used in useful matters, we replaced an amount of cement with a quantity of eggshells of different proportion (0%, 5%, 10%, and 15%), and we analyzed the properties in the fresh state and in the solid state for the various samples produced.

Through the results obtained, it was found that the spread of concrete changes as the percentage of eggshells increases.

Key words: self-compressing concrete, eggshells, cement, fresh status, solid state

SOMMAIRE

Sommaire

Remerciements

Dédicace

Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

Notations

Introduction générale 1

Chapitre 1 : le béton autoplacant

1-1.Introduction 3

1-2 Historique 3

1-3 Définition d'un BAP 4

1-4 Domaine d'utilisation des BAP 4

1-5 Avantages des BAP 5

1-5-1 Avantages technique 5

1-5-2 Avantages économiques 5

1-5-3 Avantages écologiques 5

1-6 Inconvénients des BAP 5

1-7 Caractéristiques des BAP 5

1-8 structure des BAP 6

1-9 mise en œuvre des BAP 7

1-9-1Coulage. 8

1-9-2Coffrage 8

1-9-3 Vibration 8

1-9-4 Cure 9

1-9-5Trantport 9

1-10. Propriétés des BAP à l'état frais 9

1-10-1 Le remplissage 9

1-10-2 La résistance à la ségrégation 10

1-10-3 La capacité de passage 10

1-11Durabilité d'un BAP 11

Chapitr 2 : les coquilles d'œufs

2-1 INTRODUCTION 13
2-2 Définition de coquille d'œuf 14
2-2-1 Composition de coquille d'œuf : 15
2-2-2 Composition chimique de coquille d'œuf 16
2-3 Addition minérale pour ciment 16
a) Les pouzzolanes naturelles 17
b) Le laitier de haut fourneau 17
c) La fumée de silice : 17
d) les cendres volantes 17
Conclusion : 18

Chapitr 3 : MATERIAUX ET ESSAIS

3-1 Introduction 19
3-2 Caractéristiques des Matériaux utilisés 19
3-2-1Le ciment 18
3-2-1-1CARACTERISTIQUES CHIMIQUES ET MINERALOGIQUES 18
3-2-1-2CARACTERISTIQUES PHYSICOMECANIQUES : 18
3-2-1-3La consistance normale 20
3-2-2 Les Granulats 20
3-2-2-1 Le Gravier 20
3-2-2-2 Sable 21
3-2-3L'eau de gâchage : 22
3-2-4. Adjuvants 22
3-2-5 Coquilles d'œufs 23
3-2-5-1 la poudre de coquille d'œuf 23
3-2-5-2La finesse : 26
3-3 Formulations des bétons autoplaçants adoptées 27
3-4 Procédure de malaxage 28
3-5 Essais relatifs au BAP à l'état frais : 29
3-5-1Essai d'étalement (Flow test) : 29
3-5-2 Essai à l'Entonnoir en V (V-Funnel test) 31
3-5-3 Essai à la boite en L (L-Box test) : 32
3-6 Récapitulatif du programme des essais réalisés 34
3-6-1 Essais sur le béton à l'état frais ; 34

3-7 Essais relatifs au BAP à l'état durci : 35
3-7-1Résistance à la compression : 35
3-7-2 Essai d'absorption d'eau par capillarité (sorptivité) : 35
3-7-3 Essais sur le béton à l'état durci 36
Conclusion 37

CHAPITRE 4 : RESULTATS EXPERIMENTAUX ET INTERPRETATIONS

4-1. Introduction 38
4-2. Effet des coquilles d'œufs sur les propriétés des BAP à l'Etat frais : 38
4-2-1. Etalement au cône d'Abram (Flow test) : 38
4-2-2. Temps T50 au cône d'Abram 39
4-2-3. Temps d'écoulement par l'essai d'Entonnoir en V (V-Funnel) : 41
4-2-4. Rapport H2/H1 de l'essai de la Boîte en L (L-Box) 42
4-3. Effet des fines coquilles d'œufs sur les propriétés des BAP à l'Etat durci : 43
4-3-1 Résistance à la compression 43
4-3-2 Absorption d'eau par capillarité 48
Conclusion 49

LISTES DES TABLEAUX

Liste de tableaux

Tableau 2-1 Composition chimique du Coquilles d'œufs 16

Tableau 3-1 Propriétés physiques des granulats 22

Tableau 3-2 les propriétés physiques du Coquilles d'œufs. 23

Tableau 3-3 Classes des BAP selon l'étalement et le domaine d'utilisation. 31

Tableau 4-1 des résultats d'essai au cône d'Abram : 39

Tableau 4-2 des résultats d'essai T50 : 40

Tableau 4-3 des résultats de l'essai d'entonnoir en V (V-Funnel) : 41

Tableau 4-4 des résultats de l'essai de la Boîte en L (L-Box) 43

Tableau4-5 des résultats de l'essai de Résistance à la compression à 7jours 44

Tableau 4-6 des résultats de l'essai de Résistance à la compression à 14 jours 46

Tableau 4-7des résultats de l'essai Résistance à la compression à 28 jours 47

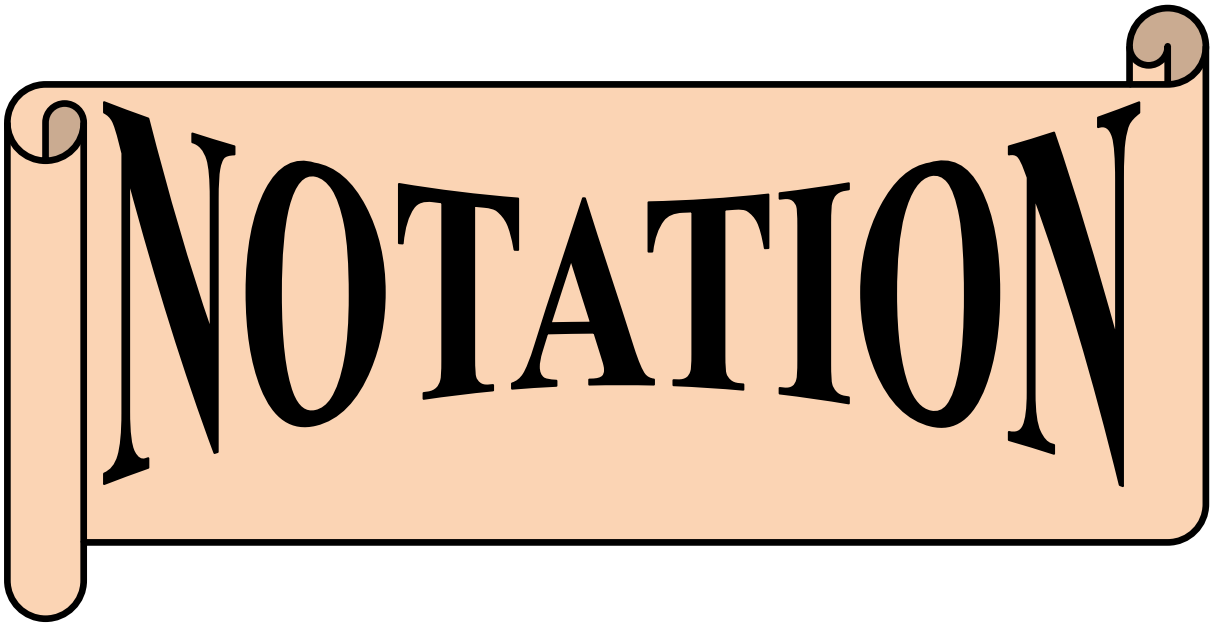
LISTE DES FIGURES

Listes des figures

Figure 1.1 : Comparaison de la structure d'un BAP et d'un BO 7
Figure 2-1 : Décharge des déchets des coquilles d'œufs. 14
Figure 2-2 : les coquilles d'œufs 15
Figure 3-1: Un appareil de VICAT 20
Figure 3-2: Analyse granulométrique de gravier (3 /8) et (8 /16) 21
Figure 3-3: Analyse granulométrique de sable concassé et naturel 22
Figure 3-4: une machine Los Angeles. 24
Figure3-5: Tamisage de coquille d'œuf 25
Figure 3-6: la poudre de coquille d'œuf. 26
Figure 3-7 : Un appareil de AUTOBLAINE 27
Figure3-8: Séquence de malaxage du béton autoplaçant 28
Figure 3-9 : Mesure du diamètre d'étalement 30
Figure 3-10: Dispositif de l'essai d'entonnoir en V (V-Funnel) 32
Figure 3-11: Dispositif de l'essai L-Box 33
Figure 3-12 : diagramme des essais réalisés sur le béton à l'état frais 34
Figure 3-13: Mesure de la résistance à la compression. 35
Figure3-14: Essai d'absorption d'eau par capillarité 36
Figure 3-15 : Diagramme des essais réalisés sur le béton à l'état durci 37
Figure 4-1 : Effet des coquilles d'œufs sur l'étalement au cône d'Abrams. 39
Figure 4-2 : Effet des coquilles d'œufs sur le T50. 40

Figure 4-3 : Effet des fines calcaires sur le temps d'écoulement pour l'essai d'Entonnoir en V 43
Figure 4-4 : Effet des coquilles d'œufs sur le rapport (H2/H1) de l'essai de la Boîte en L. 43
Figure 4-5 : Effet des coquilles d'œuf sur la résistance à la compression en substitution au ciment à 7jours. 45
Figure 4-6 : Effet des coquilles d'œuf sur la résistance à la compression en substitution au ciment à 14 jours 46
Figure 4-7 : Effet des coquilles d'œufs sur la résistance à la compression substitution au ciment à 28 jours. 48

Figure 4-8 : Effet des coquilles d'œufs sur l'absorption d'eau par capillarité 49


NOTATION

NOTATION

BAP	Béton autoplaçants
CaCO3	Carbonate de calcium
SiO2	silicon dioxide
Al2O3	Aluminium oxide
Mgo	Magnésium oxide
K2O	Potassium oxyde
Na2O	Oxyde de sodium
CO2	dioxyde de carbone
SO3	sulfur trioxide
E/C	Eau/Ciment
F/C	addition/Ciment
E/L	Eau/Liant
Dmax	dimensions maximales
T50	Temps d'écoulement pour que le diamètre d'étalement atteigne une valeur de 50 mm.
H2/H1	le rapport des hauteurs
T20	Temps mis après ouverture de la trappe pour atteindre la ligne des 20 mm.
T40	Temps mis après ouverture de la trappe pour atteindre la ligne des 40 mm.
T v f	Temps d'écoulement à l'entonnoir
EFNARC	the,European Federations of Spesialist Construction and Concrete

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le béton qui résulte du mélange des différents composants à savoir (pâte pure, granulats, d'éventuelles additions minérales et chimiques permet la réalisation de structures spectaculaires caractérisées par la complexité des formes proposées par les architectes concepteurs, dont les esquisses graphiques montrent des courbures et décrochements très variables qui nécessitent une forte concentration en armatures.

Après installation des coffrages et la pose d'un confinement d'armatures dense, ce cas nous oblige l'emploi d'un béton spécial, car le béton traditionnel risque de donner des désagréments pour ces structures. La mise en place du béton qui va permettre la garantie de bons résultats et un manque de surveillance pour une densité en armatures, rend l'application des bétons ordinaires à ces types d'ouvrages très difficiles avec des défaillances structurales très probables. Pour la construction de structures durables et résistantes, on doit développer non seulement un béton présentant des qualités améliorées, mais aussi d'assurer la bonne mise en place pour atteindre les objectifs de la mise en service de la structure.

La durabilité d'une structure en béton dépend intimement des différentes étapes de sa réalisation et de la méthode de sa conception. Jusqu'à la mise en service de la structure, le béton mis en place traverse deux étapes importantes doivent être satisfaites. On distingue : l'état frais, et l'état durci.

• L'état frais: Définit par l'état du matériau depuis le malaxage jusqu'au début de prise du liant, ou l'on doit avoir un bon remplissage dans les coffrages surtout la ou il y a un obstacle dû à une forte concentration en armatures tout en ayant un béton uniforme et homogène.

• L'état durci : On doit viser un comportement mécanique performant, de faibles valeurs de porosité. La combinaison de ces facteurs contribue à garantir une longue durée de vie de l'ouvrage.

Ajoutons à cela l'importante évolution dans le domaine du calcul des structures qui a fait que ces dernières soient de plus en plus complexes. En effet, beaucoup de structures actuelles se caractérisent par la complexité de leur architecture (formes variables et courbures multiples), ainsi que par une forte concentration en armatures, ce qui rend souvent difficile l'utilisation des bétons de plasticité conventionnelle. Chose qui a incité les chercheurs à concevoir des bétons qui seraient mieux adaptés aux nouvelles structures. Ces bétons qui sont

très fluides et qui se mettent en place sous le seul effet de leur poids propre sont connus sous le nom de « Bétons Autonivelants (BAN)» ou « Bétons Autoplaçants (BAP) »

Peu d'études ont étudié l'utilisation des déchets de coquilles d'œufs en remplacement partiel du ciment ou en tant que matériau de remplissage pour le ciment. Cette étude a évalué les effets de la poudre de coquille d'œuf sur le comportement des bétons autoplaçant. A cet effet, des mélanges ont été préparés avec une substitution partielle de ciment de (0% 5% 10% et 15%) par de poudre de coquille d'œuf. la résistance à la compression à 7,14et 28 jours de cure a été étudier.

CHAPITRE 1
BETON AUTOPLAÇANT

1-1 Introduction

Les bétons autoplaçants (BAP, ou SCC, en anglais, self compacting concrete) ont été utilisés pour la première fois au Japon vers la fin des années 1980 afin d'améliorer la rentabilité de la construction, d'assurer constamment une mise en place correcte avec un béton de qualité et de diminuer les nuisances sonores [1]. Ces bétons se développent maintenant en Europe et semblent être amenés à remplacer, à terme, les bétons vibrés classiques dans de nombreuses applications. Ils présentent en effet des intérêts à la fois techniques et économiques : possibilité de bétonner des zones fortement ferraillées ou à géométrie complexe et obtention d'une meilleure qualité du parement (pratiquement indépendante du savoir-faire des ouvriers) d'une part, diminution du temps et de personnel lors de la mise en place et réduction des coûts des processus industriels, d'autre part.

1-2 Historique

Les bétons autoplaçants sont des bétons spéciaux à haute performance qui se caractérisent essentiellement par leur fluidité à l'état frais et leur homogénéité à l'état durci. Ces bétons ont la capacité de se mettre en place sous l'effet de la gravité, sans apport de vibration même dans les coffrages très ferraillés. L'idée de ces bétons a été lancée vers le milieu des années 80 par des chercheurs de l'université de Tokyo, puis a été rapidement reprise par les grands groupes industriels Japonais (Kajima, Taisei, Obayashi, etc.) pour des projets d'envergure.

L'essor important de ce type de bétons se justifie par le fait qu'ils présentent deux intérêts technico-commerciaux :

- Facilité de mise en place : diminution du temps de réalisation, diminution du personnel donc du coût de la main-d'œuvre ; ainsi que la possibilité d'utiliser des coffrages de formes complexes et de forte densité d'armatures.
- Amélioration de la qualité du béton (résistance et durabilité), qui est indépendante du savoir-faire des ouvriers.

L'intérêt des autres pays pour ce type de béton n'est apparu qu'après quelques années, mais il est en plein essor. En France le LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) se penche sur la question au début des années 90. Les premières applications en grandeur réelle sont réalisées au début de 1988, à Brest, sur le chantier d'extension du parc de loisirs Océan polis pour des voiles courbes de grande hauteur fortement ferraillés. Aussi lors de la construction d'un collège dont les façades sont inclinées, à géométrie complexe, et des formes non répétitives excluant toute possibilité de préfabrication [2].

Les chercheurs et les industriels Japonais n'ont pas tout de suite publié leurs recherches. La viabilité des bétons autoplaçants devait être prouvée. Plusieurs équipes de recherche et de développement s'y sont consacré. Des réalisations en vraie grandeur ont confirmé le travail mené au
Japon depuis plus de dix ans [3].

Le challenge actuel consiste à maîtriser la formulation du béton autoplaçants dans plusieurs classes de résistance pour un prix compétitif, en prenant en compte d'une part le cahier des charges intégrant les performances rhéologiques et d'autre part les techniques et matériaux disponibles [4].

1-3 Définition d'un BAP

Par définition, les bétons autoplaçants se caractérisent par une grande fluidité et déformabilité, une bonne stabilité, une forte résistance à la ségrégation et au ressuage, une mise en place sous le seul effet de la gravité et une aptitude à s'écouler sans vibration dans des coffrages complexes et des ferraillages denses tout en donnant un aspect final homogène.
Grâce à leur formulation et à leur homogénéité, ils donnent des structures résistantes et durables [5].

1 -4Domaine d'utilisation des BAP

Les BAP sont utilisables aussi bien pour la réalisation d'ouvrages horizontaux que verticaux, sur tous les types de chantier, de bâtiments ou de génie civil et pour la réalisation de nombreux produits préfabriqués en béton [6]. La plupart des ouvrages peuvent être réalisés en BAP (voiles, poteaux, piles, poutres, planchers, dalles, dallages, fondations, éléments de façade, mobiliers urbains, etc.).

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

- Densités de ferraillage importantes.
- Formes et géométries complexes : voiles, courbes.
- Voiles minces et de grande hauteur : piles de ponts.
- Voiles complexes avec de nombreuses réservations ou de grandes ouvertures.
- Exigences architecturales et qualité de parement particulière.

1- 5Avantages des BAP :

1-5-1 Avantages techniques :

Avec l'apparition des BAP, les opérations traditionnelles de coulage, d'étalement, de talochage et de surfaçage se réduisent à une étape de coulage suivie d'un débullage dans le

cas des applications horizontales. Pour les opérations verticales, les divers déplacements sur les banches, à travers trappes et échelles, sont réduits de manière significative. On peut résumer les avantages techniques dans les points suivants [7].

- Facilité et rapidité dans la mise en oeuvre du béton.
- Bétonnage en milieux fortement ferraillés.
- Amélioration de la qualité des parements et de l'enrobage des aciers.

1-5-2 Avantages économiques :

- Réduction du cout de main d'oeuvre et du temps de bétonnage.
- Absence de systèmes de vibration réduisant ainsi les couts et les nuisances sonores dans et au voisinage du chantier.

1-5-3 Avantages écologiques :

- Valorisation des déchets de construction (récupération de ces déchets au niveau des chantiers, industries, carrières, stations de concassage).
- Diminution de la quantité de CO_2 émise par l'industrie cimentaire (due à la réduction de la quantité de ciment nécessaire au BAP).

1-6 Inconvénients de BAP

La composition des BAP implique un dosage délicat des matières premières. Il est donc préférable de faire appel à une entreprise spécialisée pour réaliser ces bétons. La liquidité des BAP est très précise et réclame donc un étroit partenariat entre la société de fabrication et l'entrepreneur du chantier. En effet, suivant le type de coffrage, sa disposition ou sa taille, on préférera plutôt un type de liquidité ou un autre.

Cela rajoute donc des contraintes dans les préparatifs du chantier puisque beaucoup de discussions s'imposent. De plus, la rigueur dans les délais est de mise, sans quoi la liquidité du béton peut varier. Cet aspect prend beaucoup plus d'importance que pour les bétons vibrés. Rajoutons à cela que les matières premières en elles-mêmes sont spécifiques et ne sont pas toujours disponibles de stock chez les fabricants [8].

1- 7 Caractéristiques des BAP :

La spécificité des bétons autoplaçants par rapport aux bétons traditionnels réside dans le fait qu'ils sont extrêmement fluides et qu'ils ne nécessitent pas de vibration pour être mis en oeuvre, se compactant sous l'effet de leur propre poids. A cet effet, les essais, mis au point pour caractériser le matériau à l'état frais, concernent deux propriétés essentielles et indissociables des BAP : la fluidité et l'homogénéité.

Apparaissant comme contradictoires, elles sont toutes deux nécessaires pour l'obtention d'une construction finale d'une qualité esthétique indéniable, mais également

conforme aux exigences techniques préconisées. Or, en l'absence de défauts de parements (ressuage, bullage), les éventuelles pertes d'homogénéité ne sont pas décelables en surface. Elles se caractérisent par une séparation des gros granulats du fluide suspendant, ce qui est particulièrement néfaste pour les propriétés mécaniques finales de la structure. Il est donc indispensable de s'assurer en amont que l'ensemble du matériau restera stable, aussi bien lors de la phase de mise en oeuvre qu'après, i.e. durant la période dite « dormante » précédant la prise [7].

1-8 Structure des BAP :

Pour parvenir au cahier de charges précédentes, les BAP sont formulés différemment des BO (fig. 1.1). Dans leur cas, la pâte, définie comme le mélange du ciment, de l'eau, de l'air et d'une addition minérale, est privilégiée au détriment des gravillons. En général, les BAP possèdent un même dosage en ciment et en eau que les BO, ainsi qu'un volume de sable assez proche.

C'est donc principalement l'ajout d'une addition minérale qui sert de substitut aux gravillons. Cependant, cette formulation n'est pas suffisante pour atteindre la fluidité, il est donc nécessaire d'ajouter aux BAP un défloculant (super plastifiant), sans lequel la demande en eau du mélange serait trop élevée, d'autres adjuvants chimiques tels que les agents colloïdaux (dits aussi agents de viscosité) peuvent être introduits afin d'empêcher la ségrégation et d'assurer une meilleure stabilité de béton, en revanche, leur utilisation est au contraire peu répandue, car ils engendrent un surcoût, qui s'ajoute à ceux dus au super plastifiant et aux additions minérales, les proportions exactes de chaque constituant dépendent bien sûr de la méthode de formulation choisie [9].

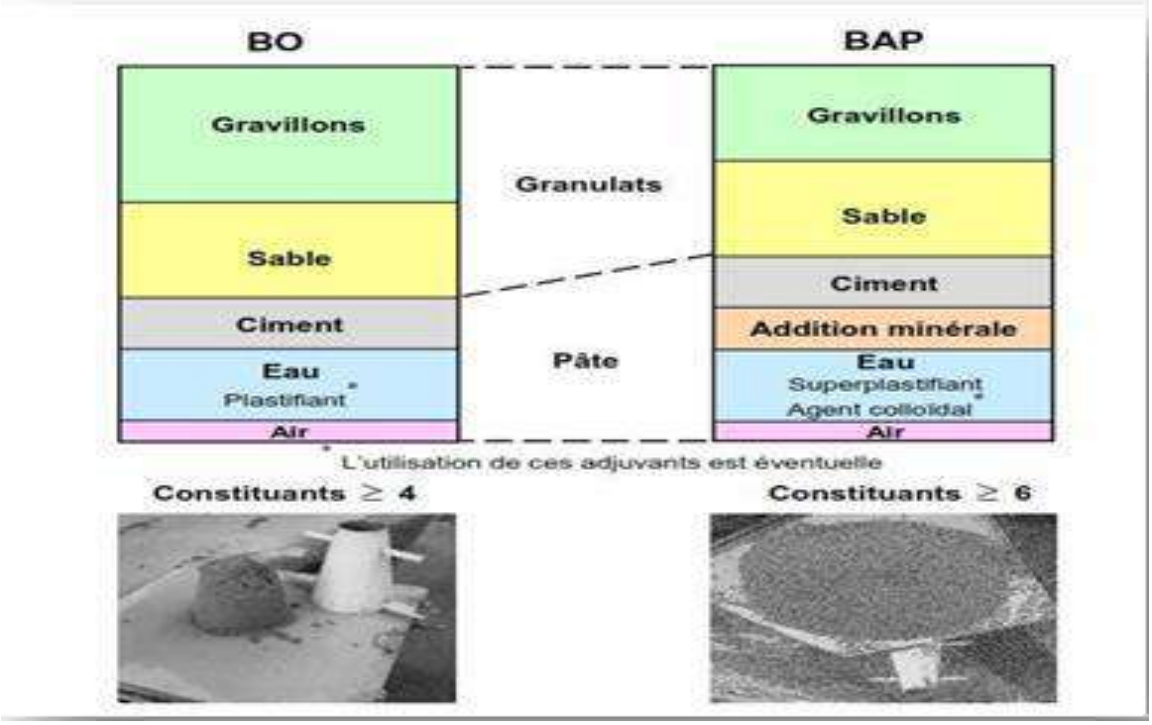


Figure 1.1 : Comparaison de la structure d'un BAP et d'un BO [9]

De manière plus approfondie, les recherches consacrées aux BAP nous permettent de souligner cinq particularités de leur structure dont le détail est décrit ci-dessous.

- Un volume de pâte élevé,
- Une quantité importante de fines,
- Un faible volume de gravillons,
- Un fort dosage de super plastifiant,
- L'utilisation éventuelle d'agent colloïdal [10].

1- 9 Mise en œuvre des BAP :

D'une manière générale, les contraintes de mise en oeuvre des BAP sont nettement plus faibles que celles des bétons mis en oeuvre par vibration, grâce à leur facilité de coulage sur de longues distances et de grandes hauteurs. Les propriétés d'écoulement des BAP donnent lieu à la mise en place de nouvelles procédures de remplissage des coffrages. Les caractéristiques du BAP autorisent des cheminements horizontaux importants. Ils peuvent être mis en œuvre, soit de façon traditionnelle, soit par pompage (en tête ou en pied de coffrage), le pompage permet une mise en oeuvre plus rapide du béton. L'extrême fluidité des BAP nécessite de soigner particulièrement l'étanchéité des coffrages. Il est

important de limiter leur hauteur de chute dans les coffrages afin d'éviter toute ségrégation en amenant le bas de la manchette en limite de la zone de bétonnage [11].

1-9-1 Coulage :

La méthode traditionnelle de remplissage par le haut du coffrage peut être utilisée avec une hauteur de chute plus importante. Il convient cependant de la limiter à 5m, pour éviter des problèmes de ségrégation dus à la chute du béton dans le coffrage [12]. L'utilisation d'un tube plongeur peut être une alternative pour limiter la hauteur de chute du matériau.

La fluidité des BAP permet par ailleurs l'injection du matériau en pied de coffrage, même pour des éléments verticaux.

D'après les recommandations de l'AFGC [12], quel que soit le mode de remplissage retenu, il convient de limiter la longueur de cheminement horizontal dans les coffrages. Une perte d'homogénéité peut en effet se manifester lorsque ce cheminement est trop important. Ainsi, la longueur de cheminement maximale préconisée est de 10 m. (Dans certains cas, elle peut être limitée à 5 m).

1-9-2 Coffrage :

La pression exercée par le BAP sur le coffrage dépendrait non seulement de la vitesse à laquelle il est mis en place mais également du mode de remplissage choisi. Lorsque le remplissage est effectué rapidement ou lorsqu'il est effectué en pied de coffrage, la pression latérale exercée sur le coffrage serait de l'ordre de la pression hydrostatique car le matériau n'a pas le temps de se structurer. En revanche, un remplissage plus lent et effectué par le haut du coffrage permet au matériau de se structurer et se comporte toujours comme un fluide [13].

Dans le cas de coulage par pompage, la perte de pression pour un BAP est de l'ordre de 40% par rapport au béton vibré [14], et selon l'étude faite par [15], la pression latérale exercée sur le coffrage d'un BAP ayant un étalement de 650±15 mm est significativement influencé par la concentration des gros granulats. Plus le volume de ces derniers est important, moins importante est la pression maximale initiale et plus vite elle diminue.

1-9-3 Vibration :

L'absence de vibration simplifie par ailleurs le calage des armatures et des réservations.

Comme pour les bétons ordinaires, il convient de vérifier les conditions atmosphériques avant coulage. En dehors de la gamme (5-25°C), des dispositions particulières sont à prendre selon les recommandations FBB [16]. [17] ont étudié l'influence de la vibration sur la cinétique des pressions pour les pâtes ayant un rapport eau/ciment (E/C=0,36).

L'absence de vibration entraîne un ralentissement du déroulement des différentes phases. Ce ralentissement est d'autant plus significatif que la hauteur du mélange augmente. L'absence de vibration retarde l'annulation de la pression de 90 minutes.

1-9-4 Cure :

Une attention particulière doit être portée à la cure des BAP, c'est à dire à la protection mise en oeuvre pour éviter l'évaporation, et particulièrement dans le cas d'applications horizontales. Le faible ressuage [18] des BAP les rend en effet plus sensibles au retrait plastique [19]. D'une manière générale, il est recommandé d'éviter une évaporation trop importante dans les premières heures après mise en œuvre [20].

1-9-5 Transport :

En raison de sa fluidité élevée, le BAP ne peut être transporté qu'au moyen d'un camion malaxeur. Il est indispensable de faire tourner la toupie lentement pendant toute la durée du transport. Un clapet de fermeture est recommandé pour les transports dans des endroits à forte pente. Avant de décharger le béton, il faut faire tourner la toupie à vitesse élevée durant deux minutes environ [21].

1 -10 Propriétés des BAP à l'état frais :

Les propriétés générales d'un béton autoplaçant frais sont la fluidité et l'homogénéité. Ces propriétés sont étudiées sur plusieurs aspects, et peuvent se diviser en trois critères mesurables par des tests empiriques : le remplissage, la résistance à la ségrégation, et la capacité à passer à travers les obstacles que nous appellerons capacité de passage [22].

1-10-1 Le remplissage :

Le remplissage du béton, ou la déformabilité, est un critère qui découle directement de sa fluidité. Le béton autoplaçant est capable de remplir les vides et les espaces difficiles dans un milieu confiné, en se déformant sous l'effet de son propre poids, et sans sollicitations.

Le remplissage est observé sous deux aspects, la capacité de remplissage et la vitesse de remplissage, le premier aspect est lié à la capacité de déformation du béton, il traduit le pourcentage rempli ou la distance atteinte dans l'espace, le second est lié à la vitesse de déformation, il traduit ainsi la vitesse d'écoulement du béton, le test d'étalement au cône d'Abram donne des indications sur les deux aspects [23].

1-10-2 La résistance à la ségrégation :

La ségrégation peut donc se manifester dans un béton de façons différentes, comme la séparation entre la pâte et les granulats, la séparation entre le gravier et le mortier qui peut conduire à un blocage en zones confinées, et une répartition non homogène de l'air occlus.

Pour éviter la ségrégation, il faut réduire la quantité d'eau libre dans le béton en réduisant le rapport E/C du béton. La résistance à la ségrégation du béton peut aussi être augmentée en élevant la viscosité de l'eau dans la suspension, avec certains agents de viscosité.

1-10-3 La capacité de passage :

Le béton autoplaçant doit réunir à la fois la fluidité (la capacité de remplissage) et la résistance à la ségrégation pour produire un bon écoulement. Cependant, dans les milieux confinés, il faut que le béton puisse s'écouler dans les espaces étroits et entre les armatures. En effet, le blocage des granulats est provoqué par la quantité importante de granulats dans le béton, et par la taille des plus gros granulats par rapport à l'ouverture entre armatures ou dans un confinement [23].

Donc, un béton est qualifié d'autoplaçant s'il satisfait les propriétés citées ci-dessus, en trouvant le bon compromis entre des caractéristiques presque contradictoires : fluidité et résistance à la ségrégation.

Pour résumer, on présente les propriétés des BAP, les moyens de les obtenir et les actions entreprises pour leur mise en oeuvre dans le (tableau 1.1).

L'ouvrabilité des bétons autoplaçant se décompose en trois caractéristiques ;

- La mobilité en milieu non confine (décrit par l'essai d'étalement) ;
- La mobilité en milieu confiné (décrit par la boite en L) ;
- La stabilité (résistance à la ségrégation et au ressuage) [23]

Propriétés D'un BAP	Moyens D'obtention	Actions A Mener Dans La Formulation
REMPLISSAGE (FLUIDITE)	Réduction des frictions entre les Particules	Augmentation des volumes de p Utilisation des Superplastifiants
	Optimisation de la pate	Optimisation du rapport e/c
RESISTANCE A LA SEGREGATION	Réduction de l'eau libre dans le Béton	Réduction du rapport e/c
		Utilisation des matériaux de grande surface
		Utilisation d'agent de viscosité
RESISTANCE A LA SEGREGATION	Réduction de la séparation de phases	Réduction du rapport e/c
		Utilisation d'agent de viscosité
		Réduction de la taille maximale des granulats
CAPACITE de PASSAGE	Réduction de blocage des granulats	Réduction de volume de gravier
		Réduction de la taille maximale des granulats

1-11 Durabilité d'un BAP

La durabilité d'une structure en béton est associée étroitement à sa perméabilité. En pratique, la durabilité dépend du choix des matériaux, de la composition du béton, ainsi que du degré de supervision durant la mise en place, la compaction et la cure du béton.

Le déficit de compaction dû aux difficultés de vibration dans des espaces étroits entre les bars et le coffrage a été reconnu comme étant un facteur clé de faible durabilité pour des structures en béton exposées à des environnements agressifs. Le surpasser était l'une des raisons essentielles pour le développement des bétons autoplaçants au Japon.

La durabilité en général est relative aux paramètres de composition en terme de compacité et de nature chimique du liant (et de la minéralogie des granulats pour l'alcali-réaction). Les règles applicables pour les bétons courants restent donc normalement

applicables aux BAP. La durabilité est une propriété qui a été relativement peu étudiée pour les BAP jusqu'à présent. Les données de la littérature dans ce domaine concernent la microstructure des bétons autoplaçants, la perméabilité (aux gaz), la migration des ions chlore, l'absorption d'eau, la carbonatation et la résistance au gel - dégel. Les caractéristiques microstructurales des BAP sont principalement influencées par:

- un volume de pâte élevé,
- la présence d'additions en quantité importante,
- un réseau de bulles d'air plus ou moins dense.

Les spécificités de composition des BAP ne semblent pas permettre de tirer un premier commentaire quant à une perméabilité différente de celle des bétons vibrés. Le volume de pâte plus important peut a priori être un handicap pour ces bétons mais l'utilisation d'addition minérale est susceptible d'améliorer cette propriété : la densification de la matrice cimentaire qu'elle engendre peut éventuellement diminuer la perméabilité du béton [7].

Ont trouvé qu'il n'y a pas une différence significative dans les propriétés physico-chimiques (perméabilité à l'oxygène, diffusion des ions chlore, absorption d'eau et carbonations par le nitrate d'ammonium) pour les deux types de béton, BAP et ordinaire.

CHAPITRE 2
LES COQUILLE D'ŒUFS

2-1 INTRODUCTION :

Le ciment est le deuxième matériau le plus consommé quotidiennement dans la vie humaine après l'eau. Il est obligatoire pour la croissance socio-économique et le développement des pays. La fabrication du ciment est extrêmement énergivore. C'est aussi une cause majeure de problèmes environnementaux et représente environ 5% des émissions mondiales de dioxyde de carbone [24] .la maitrise des déchets est aussi actuellement l'un des défis des pays. La mauvaise gestion des déchets solides entraine des problèmes de santé publique et d'environnement [25]. L'utilisation de sous-produits et de déchets industriels en remplacement partiel du ciment réduira les émissions de dioxyde de carbone provenant de la production de clinker, réduira la consommation d'énergie en produisant mois de clinker et facilitera la gestion des déchets. Les cendres volantes font partie des sous-produits de la combustion du charbon. L'utilisation de matériaux cimentaires supplémentaires(SCM) comme les cendres volantes aidera également sur les aspects écologiques et technologiques [26], [27] ont décrit comment les cendres volantes ont un impact sur l'écologie en réduisant les sites d'enfouissement problématiques, les émissions de co2 dans l'atmosphère et l'énergie produite lors de la production de ciment.

L'un des déchets est constitué de coquilles d'œufs provenant d'usines de poulets, d'éleveurs d'œufs, de ménages et d'usines de cassage d'œufs, selon des études, la production de déchets de coquilles d'œufs est de 15 000,190 000et 11 000 tonnes par an aux Etats-Unis, en lande et au Royaume-Uni, respectivement. Aux Etats-Unis, les entreprises éliminent les coquilles d'œufs usagées dans des décharges pour un cout d'environ 100 000 s par an [28]. Dans certains pays, ils ne veulent pas jeter les coquilles d'œufs dans décharges parce que la membrane qui est attachée aux coquilles d'œufs attire la vermine et provoque la propagation de maladies, (la figure 2-1) montre les coquilles d'œufs usagées qu'ont été envoyées dans des décharges à Edmonton, au canada, en 2017[29].Cependant, l'œuf est l'un des produits les plus consommés à travers le monde, il est considéré comme un ingrédient de base pour de nombreuses recettes de cuisine par exemple (des gâteaux, des omelettes, des plats etc.). Il fait partie du quotidien de la majorité des citoyens dans de nombreuses cultures à travers le monde.



Figure 2-1 : Décharge des déchets des coquilles d'œufs.

L'utilisation de ciment mélangé présente de nombreux avantages, tant sur le plan environnemental, économique que technique. L'ajout de $CaCO_3$ au ciment est également bénéfique en tant que concepts d'économie d'argent et d'énergie.

Les coquilles d'œuf sont l'un des déchets solides dans leur emploi aidera à créer un environnement durable en minimisant les déchets solides qui sont rejetés dans l'environnement. L'utilisation de la poudre de coquille d'œuf dans le ciment contribue également à réduire les émissions de dioxyde de carbone des cimenteries en réduisant la production de clinker.

2-2 Définition de coquille d'œuf :

Une coquille d'œuf est une enveloppe minéralisée externe plus ou moins résistante recouvrant les œufs amniotiques, sécrétée par la grande coquillière de l'oviducte, elle est composée de carbonates et de phosphates de calcium et de magnésium. Elle permet les échanges gazeux respiratoire à travers ses pores, mais limite la pénétration des microbes tout en augmentant la résistance aux chocs et à l'écrasement, elle est également une source de minéraux pour le futur squelette de l'embryon [30].



Figure 2-2 : les coquilles d'œufs.

2-2-1 Composition de coquille d'œuf :

La coquille d'œuf représente l'enveloppe extérieure dure de l'œuf, c'est une source naturelle riche en calcium naturel, elle est constituée presque entièrement de cristaux de carbonate de calcium, elle se compose d'environ de 40 % de calcium, pour chaque gramme de poudre de coquille d'œuf elle contient entre 381 à 401 milligrammes de calcium, le reste de la coquille est composé de protéines et d'autre minéraux. La poudre de coquille d'œuf est produite à partir des œufs de poulets utilisés par les pâtissiers et les restaurants collectées et traitées au laboratoire [31].

2-2-2Composition chimique de coquille d'œuf :

Comme on a déjà cité aux paragraphes précédents, la coquille d'œufs est composée principalement de la calcite ($CaCO_3$). L'analyse chimique de la poudre de coquille d'œufs obtenus est récapitulée dans le Tableau (2-1) :

Tableau 2-1 : Composition chimique du Coquilles d'œufs.

Composition chimique	
Oxydes	**Massique %**
SiO_2	0,01
Al_2O_3	0,01
Cao	52,75
MgO	0,51
K2O	0,04
Na_2O	0,05
LOI	46,62

- **L'effet des coquilles d'œufs sur les bétons autoplaçants :**

Après avoir étudié les composants des coquilles d'œufs , nous avons remarqué qu'ils ont un effet sur le béton autoplaçant , car il existe un lien entre ses composants et les composants du ciment , et cela l'effectué également en termes de résistance et de durabilité.

2-3 Addition minérale pour ciment :

Selon les recommandations on remarque incorporé des coquilles broyées en poudre dans la matrice des matériaux cimentaires [32], [33], [34], [35]. Ayant pour but la valorisation des coquilles comme addition cimentaire, ces auteurs n'ont trouvé aucune perturbation sur l'hydratation du ciment. Leur poudre s'intègre parfaitement dans la matrice des matériaux

cimentaires ; celle-ci joue donc vraisemblablement un rôle de remplissage en tant que matériau inerte.

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

De nos jours, des quantités considérables de plusieurs types de ces additions continuent d'être utilisée Nous présentons ci-dessous les différentes additions minérales éventuelles qu'on peut incorporer dans les compositions des BAP [36].

a) Les pouzzolanes naturelles :

Les pouzzolanes naturelles, substances finement broyées ont une finesse à peu près identique à celles du ciment, sont généralement d'origine volcanique ou des roches sédimentaires. Elles n'ont pas des propriétés hydrauliques intrinsèques mais, en présence d'eau avec de l'hydroxyde de chaux libéré par le clinker à la cour de son hydratation, elles forment, elles aussi des hydrates stables et peu solubles dans l'eau.

b) Le laitier de haut fourneau :

Le laitier de haut fourneau est un sous-produit de la fabrication de la fonte brusquement Refroidi par aspersion d'eau. Après le broyage, il se présente sous forme de nodules dont les Diamètres sont compris entre 10 et 45 μm. La composition chimique de laitier comporte de L'oxyde de calcium dans des proportions de l'ordre de 40 à 50 %, de la silice entre 25 et 35 %De l'alumine entre 12 et 30 % ainsi que de la magnésie et d'autres oxydes en très faibles Quantités.

c) La fumée de silice :

La fumée de silice est un sous-produit de l'industrie des alliages de silicium et notamment Ferro silicium récupérée dans les fumées émises par les fours électriques de fabrication de ces produits. Sa composition chimique doit contenir au moins 85 % de dioxyde de silicium SiO_2. La fumée de silice possède des propriétés pouzzolaniques s'avérant plus élevées que celles des pouzzolanes naturelles en raison de sa forte teneur en silice amorphe.

d) les cendres volantes :

Les cendres volantes sont des matériaux minéraux finement divisés, issus de la précipitation électrostatique ou mécanique de particules minérales contenues dans les fumées des chaudières alimentées au charbon pulvérisé, Ce sont donc des matériaux pulvérulents, de texture majoritairement vitreuse et de composition silico-alumineuse ou silico-calcique. Les

cendres siliceuses ont des propriétés pouzzolaniques et les cendres calciques peuvent posséder des propriété hydrauliques ou pouzzolaniques, les cendres volantes sont utilisées soit addition au béton, soit comme constituant principal autre que le clinker dans les ciments et contribuent ainsi à la réduction des émissions de CO_2. Elles peuvent être utilisées dans certains ciments.

Conclusion :

la poudre de coquille d'œuf est des nouveaux matériaux cimentaires complémentaires et une sources de carbonate de calcium sous forme de calcite pure , il a été démontré que la coquille d'œuf est de bonne qualité pour l'interaction avec d'autres matériaux , l'ajout de poudre de coquille d'œuf au ciment accélére la réaction de l'eau par interaction avec le trisilicate de calcium, Ce n'est pas seulement une charge ,mais contribue également au produit de mouillage du ciment , En recyclant les déchets solides , l'utilisation des coquilles d'œufs est l'une des méthode les plus rentables parce qu'il peut être obtenu facilement comme chez pâtisserie, par conséquent , il est préférable d'utiliser des matériaux moins chers pour le ciment ,et les coquilles d'œufs peuvent être un matériau alternatif.

CHAPITRE 3
MATERIAUX ET ESSAIS

3-1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre, on s'intéresse à la présentation des matériaux et les différents essais expérimentaux de notre recherche.

Dans une première partie on explicitera les différents matériaux qui ont été utilisés dans le cadre de ce travail tout en justifiant leur utilité ainsi que leurs caractéristiques et différentes propriétés. Dans une seconde partie, citez les différents essais tant pour coquille d'œuf que pour le béton.

3-2 Caractéristiques des Matériaux utilisés :

3-2-1Le ciment :

Dans cette étude expérimentale on a utilisé un seul type de ciment sans ajout de classe CEM I provenant de la cimenterie de BISKRA connue sue le nom commercial EL BESEKRIA, ce type de ciment est un ciment résistant aux sulfates CRS il est constitué de:

- 95% de clinker, des constituants secondaires (de 0 à 5%) peuvent être incorporés dans ce ciment.
- Du sulfate de calcium sous forme de gypse est rajouté en tant que régulateur de prise.

3-2-1-1CARACTERISTIQUES CHIMIQUES ET MINERALOGIQUES :

Analyses chimique	valeur
Perte au feu	<3
Teneur en sulfates(SO3)	2,2-2,6
Teneur en oxyde de magnésium (MgO)	<3,5
Teneur en chlorures (Cl-)	<0,04
Résidu insoluble	≤0,75

3-2-1-2CARACTERISTIQUES PHYSICOMECANIQUES :

Essai	Expansion à chaud (mm)	Consistance normal (%)	Début de prise min	Fin de prise min
Résultats	<1	26,5	180	320

3-2-1-3La consistance normale :

- **Mesure la consistance de la pâte – appareil Vicat (voire la figure 3-1) :**
- **Objectif de l'essai:**

La consistance de la pâte caractérise sa plus ou moins grande fluidité, l'objectif est de définir une telle consistance dite (CANSISTANCE NORMALISEE).



Figure 3-1: Un appareil de VICAT

3-2-2 Les Granulats :

3-2-2-1 Le Gravier :

calcaire provenant de la station de concassage de la wilaya de DJELFA, il est composé de deux classes granulaires :

La classe 3/8 et la classe 8/16. la quantité de la classe 8/16 par rapport à celle de la classe 3/8 pour assurer un meilleur volume de pâte couvrant les granulats.

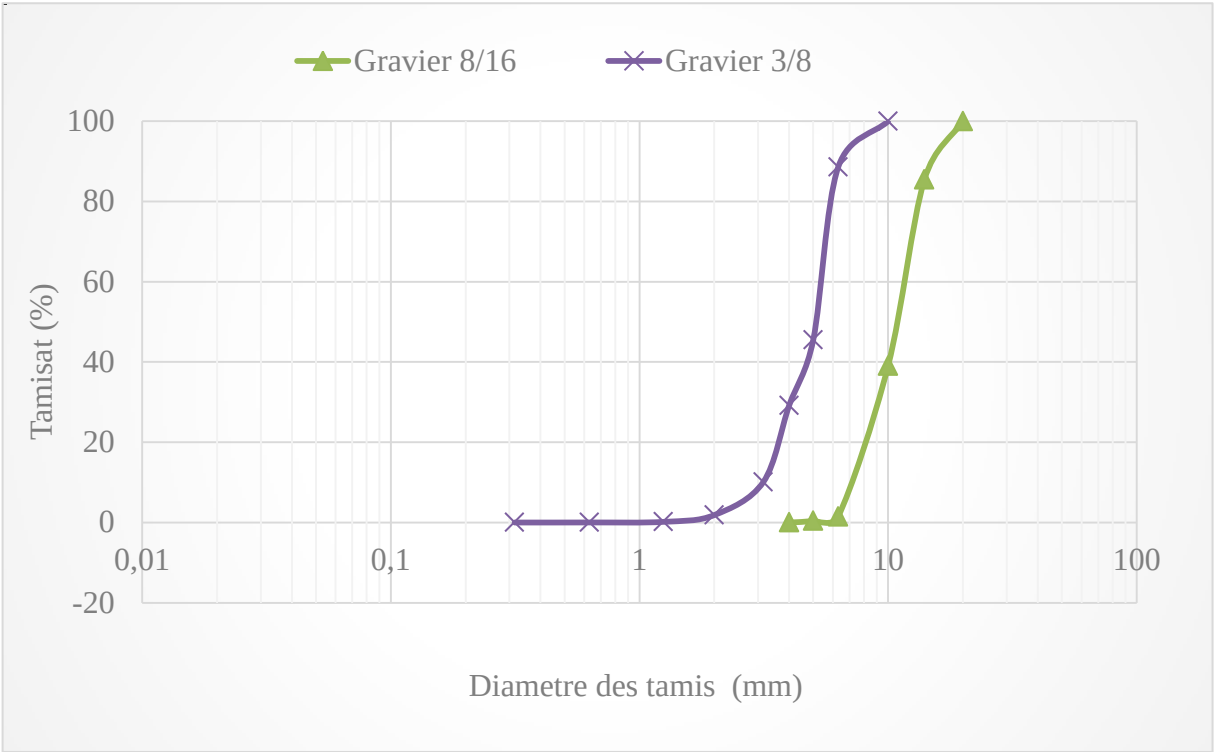


Figure 3-2: Analyse granulométrique de gravier (3 /8) et (8 /16)

3-2-2-2Sable :

Pour mener cette étude, deux types de sable ont été utilisés, le premier est un sable concassé provenant de la station de concassage de HANNACHA wilaya de MEDEA ayant un module de finesse de 3,23, et le second est un sable naturel roulé fin provenant de la sablière d'OUED SOUF ayant un module de finesse de 1,9. D'après les résultats de l'analyse granulométrique, les propriétés physiques des granulats utilises sont résumé sur (le tableau 3-1).

Tableau 3-1: Propriétés physiques des granulats

Granulats	d'OUED SOUF	Sable Concassé	Gravier (3/8)	Gravier (8/15)
Masse volumique absolue (g/ml)	2,623	2,670	2,59	2,42
Masse volumique apparente (g/ml)	1,563	1,546	1,27	1,24
Module de finesse	1,9	3,23	/	/

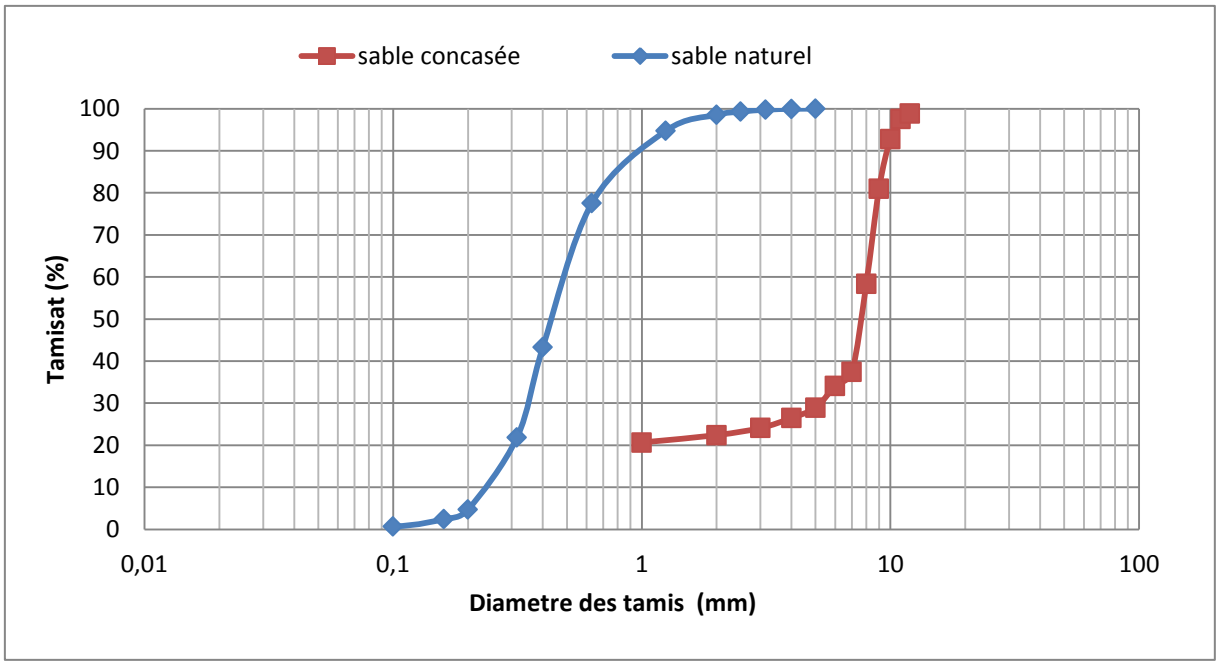


Figure 3-3: Analyse granulométrique de sable concassé et naturel

3- 2-3 L'eaux de gâchage :

L'eau de gâchage utilisée dans cette étude est l'eau potable du robinet de notre laboratoire exempte d'impuretés.

3-2-4 Adjuvants :

Afin d'obtenir la très grande fluidité requise d'un béton autoplaçant, on utilise Généralement un adjuvant à base de polycarboxylates. Ces adjuvants permettent de réduire de Manière importante le dosage en eau tout en ayant également un effet sur la viscosité.

L'efficacité d'un adjuvant peut-être plus ou moins prononcée selon le ciment et les additions Utilisés (compatibilité). De plus, un dosage élevé en adjuvant retarde généralement le début de prise.

Nous avons utilisé, pour notre étude, une famille de MEDAFLOW 30.

3-2-5 Coquilles d'œufs :

Pour mener cette étude, on a utilisé des coquilles d'œufs de couleur beige collecté des pâtissiers de la ville de MEDEA, ils ont été lavés séchées et broyés au sein de notre laboratoire, les résultats de l'analyse physiques des coquilles d'œufs sont représentés sur (le tableau 3-2)

Tableau 3-2 : les propriétés physiques du Coquilles d'œufs.

Propriétés physique		
Désignation	Valeurs	Unité
Masse volumique	2,50	g/ml
La finesse	3162	Cm^2/g

3-2-5-1 la poudre de coquille d'œuf :

- Rincer les coquilles d'œufs à l'eau claire puis laisser-les sécher dans le four. Il faut enlever toute trace de jaune ou de blanc sur le coquille. On parle bien ici de laver l'intérieur de la coquille (ne surtout pas laver les œufs avant de les consommer, c'est très mauvais pour leur conservation). Rincer les coquilles vides afin de ne pas laisser du blanc dessus.
- Stockez les coquilles d'œufs dans un four après les avoir nettoyées pendant un certain laps de temps.
- Une fois que nous avons assez de coquilles et qu'elles sont bien sèches, nous pouvons les broyer, pour broyer les coquilles d'œufs, nous avons utilisé une machine Los Angeles (voir la figure 3-4) à une vitesse de 56 tours par minute, et le temps nécessaire pour obtenir la poudre nécessaire a été fixé à 60 minutes.



Figure 3-4: une machine Los Angeles.



Figure3-5: Tamisage de coquille d'œuf.



Figure 3-6: la poudre de coquille d'œuf.

3-2-5-2La finesse :

L'étude de la finesse de mouture, pour les liants est indispensable puisqu'il influe considérablement sur la résistance mécanique, la maniabilité…etc. **(NF EN 196-6)** [38]. La finesse d'un coquille d'œuf peut être caractérisée par sa surface massique: c'est la surface totale des grains contenus dans une unité de masse exprimée en m² / kg de poudre ou (cm2/g) (voire la figure 3-7).

Dans cet essai de finesse, la coquille d'œuf est comprimée selon des conditions définies dans la norme, une certaine quantité d'air passera ensuite à travers la poudre compactée.

La détermination de la surface spécifique sert, fondamentalement, à contrôler l'uniformité du processus de broyage dans la coquille d'œufs.

Ainsi jusqu'à obtenir une surface spécifique de 3162 cm^2/g et une masse spécifique de 2,50 g /cm^3.



Figure 3-7 : Un appareil de AUTOBLAINE

3-3 Formulations des bétons autoplaçants adoptées :

La formulation du béton est une étape très importante dans le but d'obtenir un béton ouvrable, résistant et durable. En général, la formulation du béton dépend des caractéristiques souhaitées à l'état frais et durci. La formulation des bétons conventionnels dépend de deux caractéristiques qui sont choisies préalablement : la consistance souhaitée et la résistance caractéristique à 28 jours. Pour les bétons autoplaçants, la formulation semble plus complexe, puisque les BAP possèdent des propriétés spécifiques à l'état frais : une grande déformabilité et fluidité, une importante capacité de passage et une forte

résistance à la ségrégation. Ces propriétés doivent être mises en balance pour obtenir un bon béton autoplaçant [38] Indiquent que la formulation du BAP requiert une étude précise notamment dans le choix de ses constituants, et l'optimisation des paramètres influant en particulier les rapports Eau/Ciment (E/C), le rapport addition/Ciment (F/C), le dosage en super plastifiant, le volume de pâte et le diamètre maximal des gravillons.

L'objectif de la formulation des bétons, est de déterminer la quantité nécessaire pour chaque matériau de la gâchée, afin d'obtenir le béton qui aura les propriétés souhaitées. Le paramètre important considéré dans la formulation est le rapport E/L.

Dans notre étude, nous nous sommes fixés comme but essentiel l'influence des fines sur les caractéristiques de béton autoplaçant à l'état frais.

3-4 Procédure de malaxage :

La différence majeure entre la composition du BAP et celle du béton ordinaire est la présence du super plastifiant dans le premier. L'objectif de l'utilisation de cet adjuvant est d'obtenir un BAP de grande fluidité [39]. Cette dernière est cependant liée principalement au temps d'addition du super plastifiant durant le processus de malaxage, c'est à- dire au début ou au cours de ce processus, et à la durée de malaxage du mélange.

Le super plastifiant est plus efficace lorsqu'il est ajouté après l'humidification du béton

Généralement, pour un faible rapport eau/liant et un fort dosage en super plastifiant, le mélange nécessite un temps de malaxage plus prolongé [40]. Un malaxage intensif disperse mieux les particules de poudres. Dans le cas de mauvais malaxage, ces particules de poudres restent dans la phase pâte et rendent le béton plus visqueux [41].

Pour les bétons autoplaçants, la séquence de malaxage a un rôle important pour avoir une hydratation correcte, ce qui conduit à obtenir un béton performant et durable**.** (figure3-8) Cette séquence de malaxage a été utilisée pour tous les mélanges de bétons confectionnés.

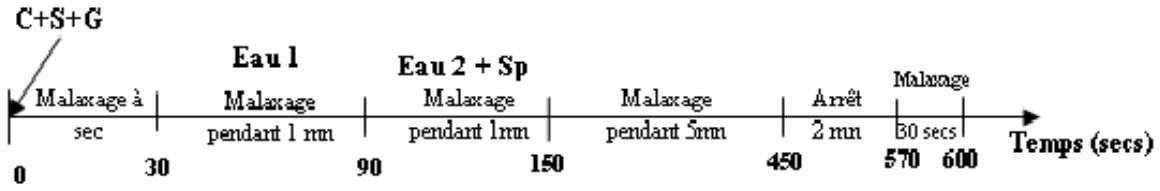


Figure3-8: Séquence de malaxage du béton autoplaçant[42]

3-5 Essais relatifs au BAP à l'état frais :

Les essais présentés ci-dessous caractérisent les propriétés du béton autoplaçant à l'état frais.

3-5-1Essai d'étalement (Flow test) :

L'essai d'étalement peut être utilisé pour évaluer la capacité de remplissage à l'état libre en l'absence d'obstacles. Cet essai permet de déterminer la capacité du béton à se déformer sous son poids propre. C'est l'essai type pour évaluer la déformabilité libre du béton autoplaçant [43].

L'essai d'étalement est effectué à l'aide d'un cône d'Abram. Ce dernier est un cône sans fond, dont le diamètre de base inférieur est de 203 mm et le diamètre de base supérieur est de 102 mm Il a une hauteur de 305 mm Le cône d'Abram est habituellement utilisé pour Caractériser les bétons conventionnels par une mesure d'affaissement. Dans le cas des bétons autoplaçants, l'essai de l'affaissement au cône d'Abram n'est pas significatif car ces bétons sont trop fluides. On utilise donc une mesure de l'étalement. Le principe de l'essai reste cependant le même.

On remplit le cône de l'échantillon de béton à tester, puis on soulève le cône lentement pour permettre au béton de s'étaler. Cette opération de soulèvement du cône doit durer 5 secondes environ. On mesure ensuite la taille de la galette de béton obtenue (figure 3-9). Sa dimension correspond à la moyenne de deux diamètres mesurés. A cause de la nature visqueuse du BAP, les lectures des mesures d'étalement doivent se faire après stabilité de la galette, soit environ 60 secondes après soulèvement du cône [43].



Figure 3-9 : Mesure du diamètre d'étalement

Selon [44], la mesure de l'étalement au cône d'Abram, peut être divisée en trois (03) classes. Le tableau 1-5 définit ces trois classes selon le domaine d'utilisation du BAP :

La classe SF3 est typiquement produite avec les petites dimensions maximales de granulats (D_{max} <16 mm), et donne généralement une meilleure finition de surface que la classe SF2, mais la résistance à la ségrégation est difficile à contrôler. Des valeurs d'étalement dépassant les 850 mm peuvent être spécifiées pour des cas spéciaux mais une attention particulière doit être portée quant à la résistance à la ségrégation, et la dimension maximale des granulats doit être normalement inférieure à 12 mm Avec le même essai, on mesurera le temps d'écoulement T_{50}, qui correspond au temps mesuré, à partir du commencement de l'étalement de la galette jusqu'à atteindre un diamètre de 500 mm Ce temps d'écoulement T_{50} peut donner des informations concernant l'uniformité et la résistance à la ségrégation du mélange [44].

Tableau 3-3: Classes des BAP selon l'étalement et le domaine d'utilisation.

Classe	Etalement (en mm)	Domaine d'utilisation du BAP
SF1	550 – 650	• Structures non ou peu ferraillées. Béton coulé à partir du haut (ex. les Dalles) • Coulage par système de pompage du BAP (ex. tunnels) • Petites sections (ex. les piles et les fondations profondes)
SF2	660 – 750	• La majorité des applications
SF3	760 – 850	• Applications verticales • Structures trop ferraillées • Coulage à partir du dessous du coffrage • Structures de forme complexe

3-5-2 Essai à l'Entonnoir en V (V-Funnel test) :

L'essai de l'Entonnoir en V (V-Funnel en anglais) a été mis en place par [45], il permet d'évaluer la capacité du béton à passer à travers les zones confinées grâce à la mesure du temps d'écoulement à l'entonnoir (en seconde). La procédure d'essai est comme suite :

L'entonnoir dont les dimensions sont définies à la (figure 3-10), est rempli complètement avec du béton environ 12 litres, puis on laisse reposer une période d'environ (10±2) secondes [46] la trappe de fermeture située à la base de l'entonnoir est ensuite ouverte, ce qui provoque l'écoulement libre du béton. L'essai consiste à observer l'écoulement du béton à travers l'entonnoir et à mesurer le temps d'écoulement entre le moment d'ouverture de la trappe (commencement d'écoulement libre) et le moment où on aperçoit la lumière du jour par l'orifice de base à travers le haut de l'entonnoir.

Dans la littérature, 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 et vice-versa ; si le mélange est trop visqueux, le temps d'écoulement du béton à travers l'entonnoir sera plus important [47]. Selon [46], le temps d'écoulement

du béton autoplaçant à l'entonnoir doit être généralement inférieur à 12 secondes, il est recommandé qu'il soit compris entre 5 et 12secondes, pour obtenir un béton autoplaçant à viscosité suffisante. L'essai de V-Funnel nous renseigne aussi sur la stabilité du béton, c'est-à-dire s'il existe de la ségrégation, on observe un amoncellement de granulats au goulot de l'entonnoir.



Figure 3-10: Dispositif de l'essai d'entonnoir en V (V-Funnel)

3-5-3 Essai à la boite en L (L-Box test) :

Pour caractériser la mobilité de béton autoplaçant dans une zone confinée, l'essai à la boîte en L, permet d'évaluer la capacité au remplissage et la capacité de passage du béton autoplaçant à traverser des ouvertures serrées, y compris des espaces entre les barres d'armature et d'autres obstructions sans ségrégation ou blocage. Il y a deux variantes ; le test à deux barres et le test à trois barres. Le test à trois barres simule un renforcement plus congestionné (Figure 3-11).

Cet essai consiste à mesurer l'écoulement du béton autoplaçant dans une boîte en L. On maintient le dispositif sur une base horizontale, après fermeture de la trappe entre les compartiments vertical et horizontal. Ensuite, la partie verticale du L (hauteur de 600 mm) est remplie entièrement de béton (soit environ un volume de 12,7 litres). On peut éventuellement laisser le béton au repos environ (60±10) secondes pour voir s'il y a de la ségrégation [46]. Puis on soulève la trappe de sorte que le béton s'écoule dans la partie horizontale de la boîte à travers un ferraillage standard, (41 mm entre 3 barres lisses de ø12) simulant des armatures d'un coffrage qui nous renseigne sur la capacité de remplissage du mélange qui correspond à des ouvrages fortement ferraillés.

Après la stabilisation du béton, on mesure les hauteurs H1 et H2 (Figure 3-11) et on exprime le résultat en terme de taux de remplissage par le rapport des hauteurs (H2/H1), Pour que le BAP soit accepté, ce taux de remplissage doit être supérieur à 0,8 selon les recommandations de [46] et [47]. De plus, des temps d'écoulement peuvent aussi être mesurés pour caractériser la viscosité du BAP.

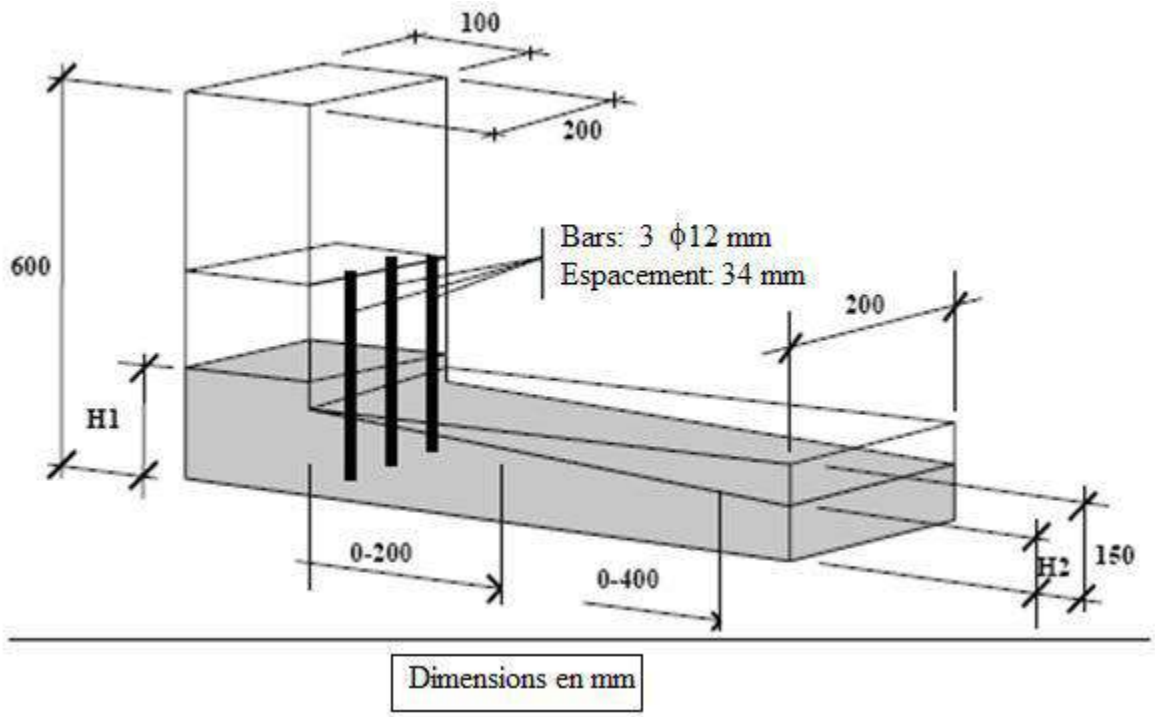


Figure 3-11: Dispositif de l'essai L-Box

❖ Mesures à prendre :

Après avoir soulevé la trappe, les paramètres suivants peuvent être mesurés :

- Le temps d'écoulement du béton T_{20} pour arriver à la distance 200 mm (dans la partie horizontale).
- Le temps d'écoulement du béton T_{40} pour arriver à la distance 400 mm (dans la partie horizontale).
- Une fois l'écoulement du béton achevé, on mesure les hauteurs H1 et H2.

On peut alors calculer le rapport H2/H1. Pour une bonne capacité de passage, une valeur du rapport entre 0,8 et 0,85 est acceptable. La capacité de passage et la résistance à la ségrégation, peuvent être détectées visuellement, si on observe un résidu de granulats dans la partie verticale du L (avant les barres de ferraillage), on pourra conclure qu'il y a soit blocage soit ségrégation. Si, par contre, on observe une bonne distribution des gros granulats tout au long de la partie horizontale du L-Box, on pourra dire que ce béton est

homogène. Certains auteurs recommandent des valeurs inférieures à 1.5 secondes pour T_{20} et inférieures à 3.5 secondes pour T_{40} afin de rester dans un domaine autoplaçant [48].

3-6 Récapitulatif du programme des essais réalisés :

3-6-1 Essais sur le béton à l'état frais ;

Le diagramme suivant figure 3-12: résume les essais réalisés sur le béton à l'état frais :

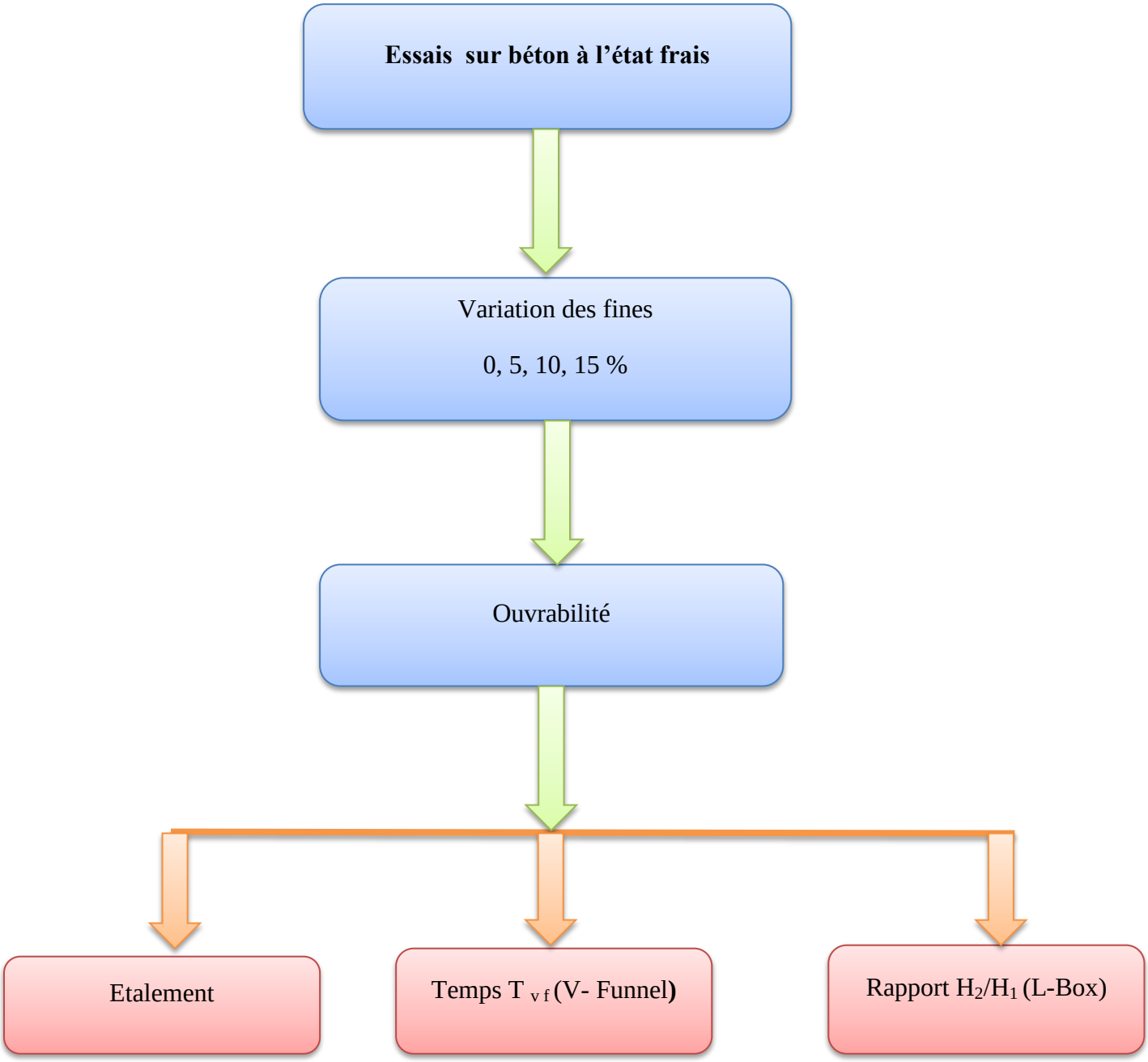


Figure 3-12 : diagramme des essais réalisés sur le béton à l'état frais.

3-7 Essais relatifs au BAP à l'état durci :

Les essais relatifs au BAP à l'état durci se limitent à la détermination des résistances mécaniques à la compression.

3-7-1Résistance à la compression :

La résistance à la compression a été effectués conformément aux prescriptions des normes (EN 2009) à 7,14 et 28 jours en utilisant des éprouvettes cubiques de (10cmx10cmx10 cm), à l'aide d'une presse hydraulique de capacité de 2000 kN équipée d'un affichage digital qui permet d'introduire des donnés de surface de l'éprouvette et la lecture de la contrainte (Figure 3-13).



Figure 3-13: Mesure de la résistance à la compression.

3-7-2 Essai d'absorption d'eau par capillarité (sorptivité) :

Cet essai consiste à mesurer le taux d'absorption de l'eau par succion capillaire des éprouvettes de bétons moulées ou carottées, non saturées, mises en contact avec l'eau sans pression hydraulique. Le protocole de cet essai consiste à sécher des éprouvettes prismatiques à l'étuve ventilée à 105°C pendant 72 heures jusqu'à masse constante. Les

surfaces latérales des éprouvettes sont ensuite imperméabilisées à l'aide d'une résine étanche, et ce pour assurer la remontée unidirectionnelle d'eau par capillarité, et aussi pour éviter l'évaporation latérale de l'eau absorbée durant l'essai. Après le durcissement de la résine, l'essai de l'absorption capillaire est commencé, il consiste à suivre l'évolution de masse des éprouvettes partiellement immergées (environ 5 mm) dans un récipient contenant de l'eau potable, soit M0 la masse de l'échantillon à l'état sec. Les éprouvettes sont retirées et pesées régulièrement à l'aide d'une balance de précision de 0,01g, suivant les échéances de mesure suivantes : 15min, 30min ,1h, 2h, 4h, 6h, 8h et 24h [49]

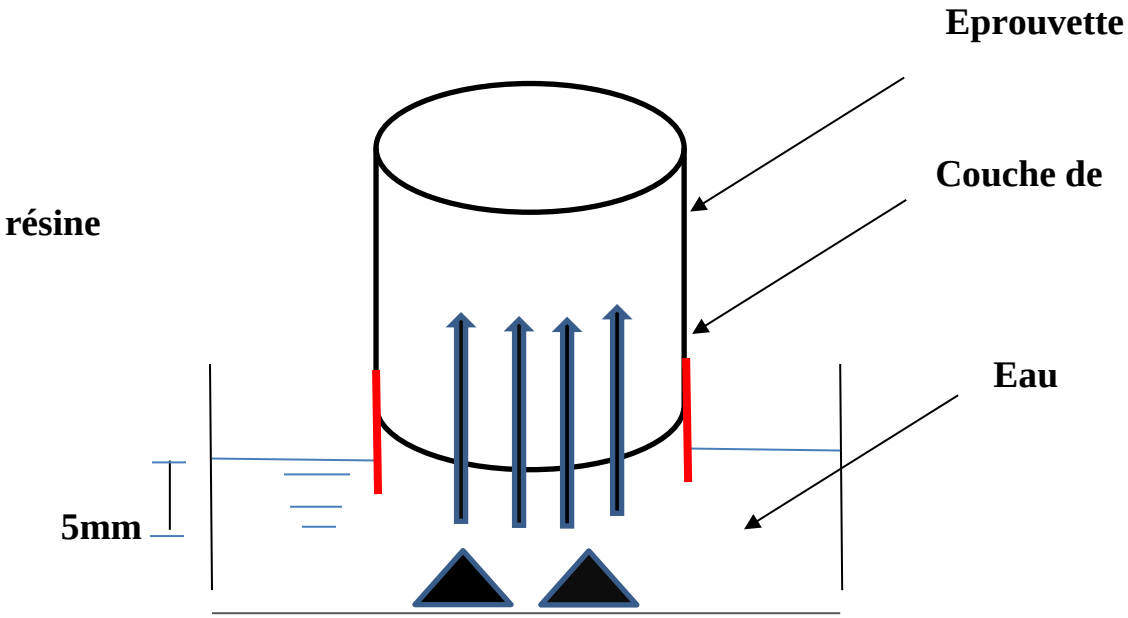


Figure3-14: Essai d'absorption d'eau par capillarité

Le coefficient de sorptivité (*S*), est obtenu en utilisant l'expression suivante :

$$\frac{Q}{A} = s.\sqrt{t}$$

Avec :

Q : Quantité d'eau adsorbée en (cm3).

A : Surface du spécimen en contact avec l'eau (cm^2)

t : Temps (s).

S : Coefficient de sorptivité du spécimen ($cm/s^{1/2}$).

3-7-3 Essais sur le béton à l'état durci :

Le diagramme représenté sur la Figure 3-15 résume les essais réalisés sur le béton à l'état durci :

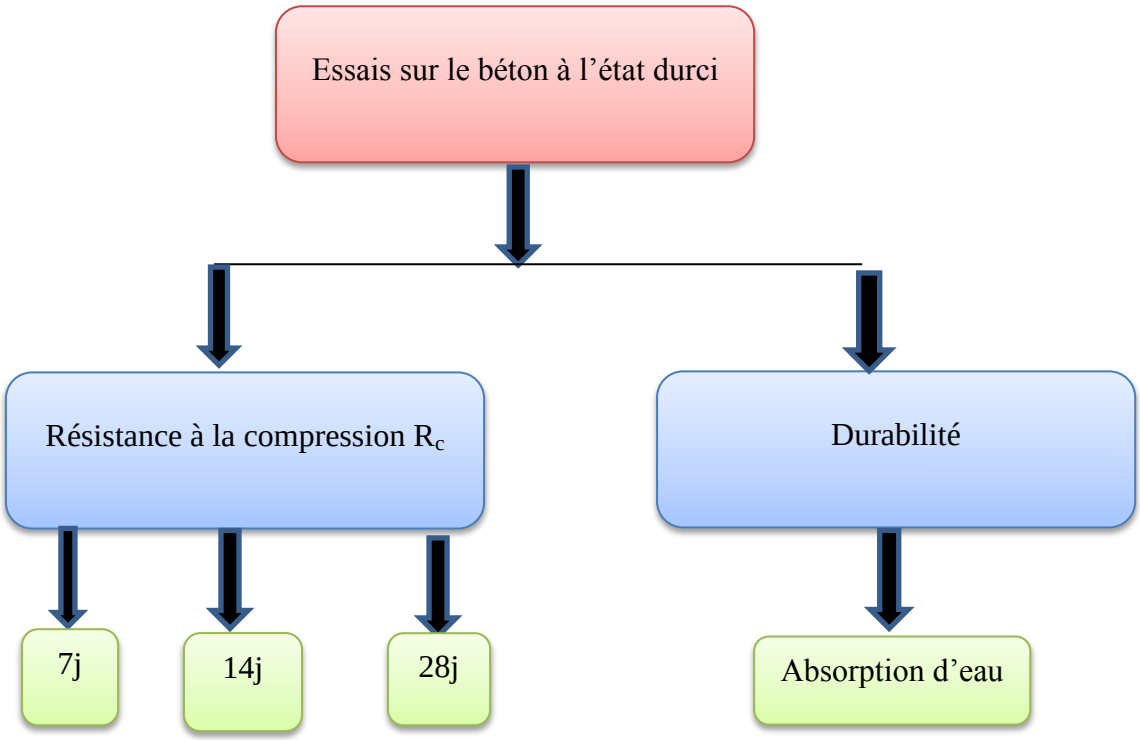


Figure 3-15 : Diagramme des essais réalisés sur le béton à l'état durci.

Conclusion :

A la fin de ce chapitre, on peut dire que le nombre d'essais effectué dans le cadre de Cette thèse est important et il n'était pas évident que tous les résultats allaient entrer dans les fourchettes préconisées par la littérature.

Pour ce qui est des essais sur béton, il était impératif de faire plusieurs essais Préliminaires afin d'optimiser les dosages en eau, en sable et surtout en super plastifiants

CHAPITRE 4
RESULTATS ET INTERPRETATIONS

4-1.Introduction

Dans ce chapitre nous exposerons et analyserons les résultats de l'étude expérimentale des différents essais effectués, l'étude se concentrera sur les expériences qui ont été menées sur le béton autoplaçant après avoir fixé tous les matériaux utilisé et substitué le ciment par des pourcentages varié de coquilles d'œufs et étudions son effet sur le comportement de béton, ainsi leur effet sur les propriétés mécanique et physiques .

4-2. Effet des coquilles d'œufs sur les propriétés des BAP à l'Etat frais :

4-2-1. Etalement au cône d'Abram :

Les résultats de test de l'effet des coquilles d'œufs sur d'étalement des bétons autoplaçant sont résumés sur la (Figure 4-1) et (Tableau 4-1). D'après cette figure, on remarque que globalement, pour tous les mélanges, l'étalement est compris entre 80et 57 mm, ce qui indique une bonne fluidité selon les recommandations de (Chemicals, E.F.f.S.C. & Systems, C(2002)) [51]. Cependant, L'augmentation du pourcentage de fines dans les mélanges provoque une faible diminution de l'étalement du béton frais. De plus, on peut noter que cette diminution de la fluidité pour les mélanges avec 15% de coquilles d'œufs substituées au ciment, est plus importante par rapport au béton de référence ; De manière générale, l'incorporation des fines de coquilles d'œufs affecte la maniabilité des bétons autoplaçants ; cette diminution est due à l'augmentation de la surface spécifique des agrégats fins, pour mouiller la surface des particules, il faut ajouter de l'eau . (Bosiljkov, V.B. (2003)) [52].ainsi que le taux élevé d'absorption des fines de coquille d'œufs . Il a été rapporté que le remplacement d'un matériau par un autre présentant des surfaces spécifiques différentes peut modifier la surface humide, ce qui entraîne une modification de la quantité d'eau adsorbée (Nehdi, M (1998.)) [53]. Ces résultats sont en concordances avec ceux trouvé par. (Olatokunbo M. Ofuyatan et al(2020))[54] ont remarqué une diminution importante de la galette d'étalement de béton autoplaçants contenant 15% de coquille d'œufs substitué au ciment par rapport au béton.

Tableau 4-1 des résultats d'essai au cône d'Abram :

Pourcentage des fines de coquilles d'œufs	Etalement D en mm
0%	80
5%	77
10%	67
15%	57

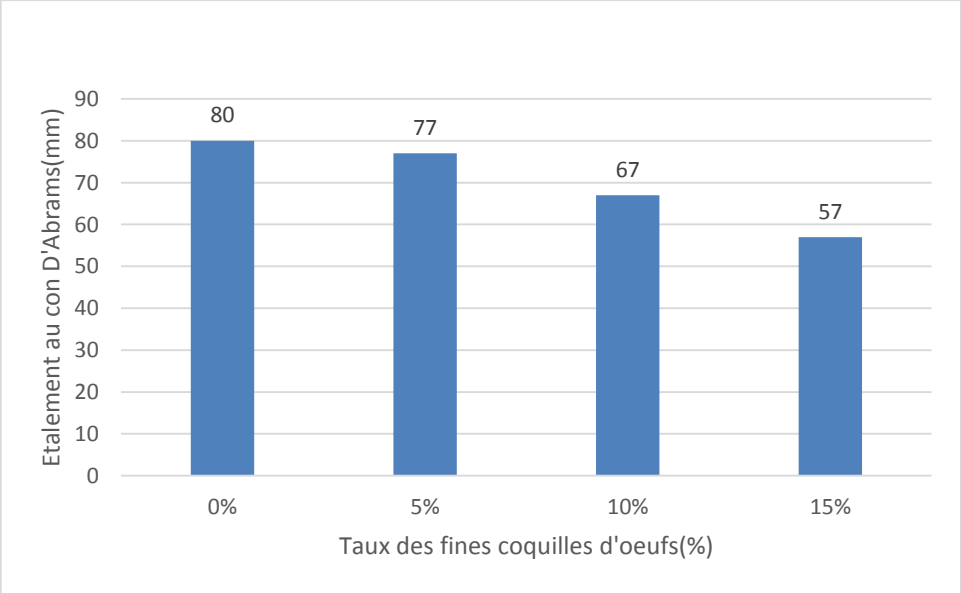


Figure 4-1 : Effet des coquilles d'œufs sur l'étalement au cône d'Abrams

.

4-2-2. Temps T50 au cône d'Abrams :

La figure (4-2) représente l'effet des coquilles d'œufs ajoutée au béton sur le temps d'écoulement de $T_{50.}$ D'après la et (Figure 4-2) et (Tableau 4-2), une bonne fluidité a été remarqué pour tous les mélanges testés, la plus haute valeur deT_{50} (4 ,5 S) a été enregistré avec 15% de substitution de ciment par de poudres de coquille d'œufs, selon les recommandations des normes de béton autoplaçants (Aarre, T. & Domone, P. (2003)). [55], Le temps d'écoulement de T_{50} doit être compris entre 2 et 4s, à cet effet on peut remarquer que tous les mélanges ont une fluidité acceptables. De plus, un effet

remarquable de la substitution des poudres de coquille d'œufs sur le temps d'écoulement T_{50}. Cet effet peut être dû à l'augmentation de la surface spécifique de particules fines, pour mouiller les surfaces [52]. Ainsi que le taux élevé d'absorption des fines de coquille d'œufs. Ces résultats sont en concordance a ceux trouvé par(Olatokunbo M. Ofuyatan et al(2020)) [54] ont observé une augmentation importante du tempsT_{50} environ 6s de béton autoplacant contenant 15% de coquille d'œufs substitué au ciment par rapport au béton contenant 5% de coquille d'œufs.

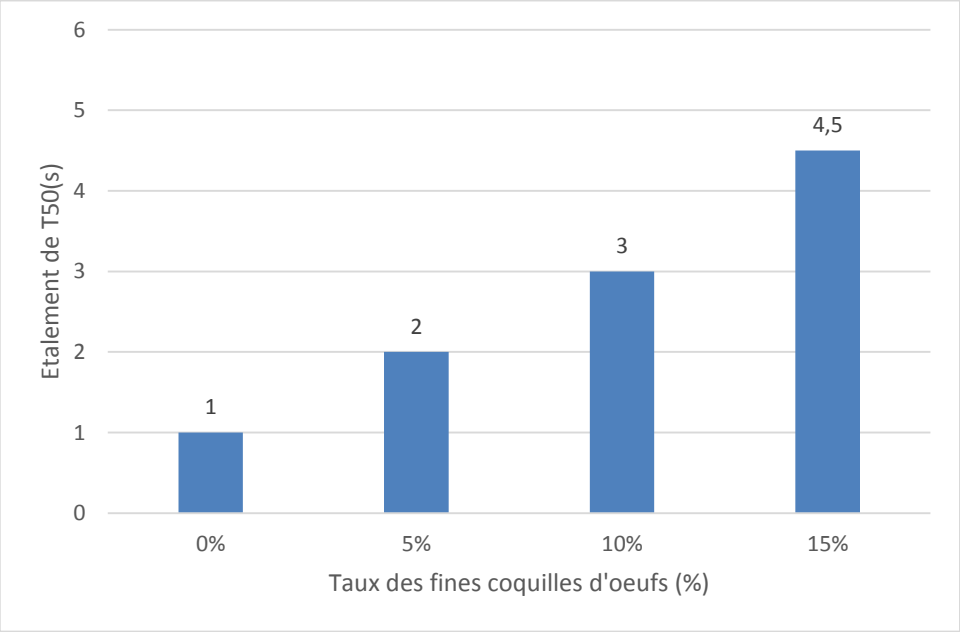


Figure 4-2 : Effet des coquilles d'œufs sur le T50.

Tableau 4-2 des résultats d'essai T_{50} :

Pourcentage des fines de coquilles d'œufs	T_{50} en (S)
0	1
5	2
10	3
15	4,5

4-2-3. Temps d'écoulement par l'essai d'Entonnoir en V (V-Funnel) :

Les résultats de l'effet de poudre de coquilles d'œufs pour tous les mélanges du béton autoplaçant sur le temps d'écoulement de l'entonnoir en V est exposé sur la (Figure 4-3) et (Tableau 4-3).

On peut remarquer d'après cette figure que l'histogramme a presque la même tendance que celle du temps d'écoulement T50, le temps d'écoulement d'entonnoir V-est supérieure à 8 s, a l'exception pour le béton de référence qui présente un temps de 6s, On peut également noter qu'une augmentation de la teneur en fines de coquille d'œufs dans les bétons en substitution de ciment affecte de manière remarquable l'écoulement du béton à travers l'entonnoir en V, une relation proportionnelle du temps en accroissant avec l'augmentation de pourcentage de substitution de coquille d'œufs, un temps de 25s a été enregistré avec la substitution de 15%de ciment, ce résultat indique nettement une viscosité élevé des mélanges contenant de fines de coquilles d'œufs, cela peut être due à l'effet élevé d'absorption d'eau par ces fines.

Ces résultats sont similaires à celles trouvés par (Olatokunbo M. Ofuyatan et al(2020)) [54] ont observé une augmentation importante du temps d'écoulement**.**

Tableau 4-3 des résultats de l'essai d'entonnoir en V (V-Funnel) :

Pourcentage des fines de coquilles d'œufs	Temps T_{50} (s)
0	6
5	12
10	20
15	25

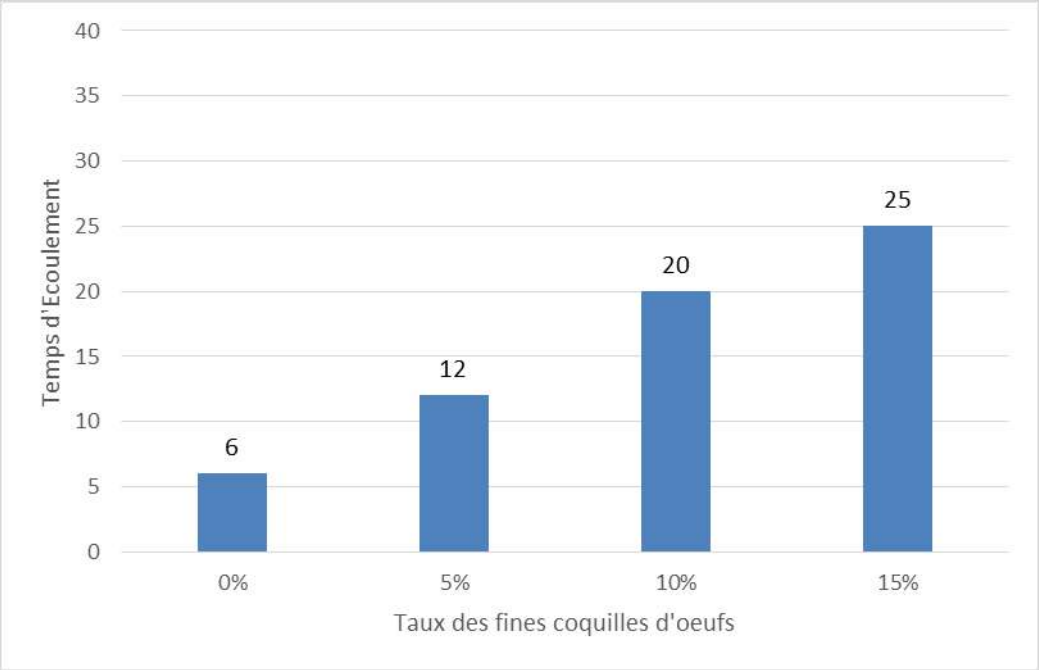


Figure 4-3 : Effet des fines des coquilles d'œufs sur le temps d'écoulement pour l'essai d'Entonnoir en V.

4-2-4. Rapport H2/H1 de l'essai de la Boîte en L (L-Box) :

L'essai de la boîte en L (L-Box) donne une bonne appréciation de la capacité de remplissage, de passage et de la résistance à la ségrégation. La (Figure 4-4) et (Tableau4-4) résument l'effet de la teneur en coquilles d'œufs de tous les mélanges de bétons autoplaçants sur le rapport des hauteurs (H2 / H1) de l'essai de la boite en L.

L'analyse des graphiques à colonnes tracées montre que l'ajout des coquilles d'œufs en substitution partielle au ciment affecte de prés les résultats de la boîte en L. De plus, les résultats ont montré que les mélanges des bétons contenant les proportions 0%, 5% et 10% ont un rapport de hauteurs acceptables selon (EFNARC, 2002), ce qui indique une capacité tolérable de remplissage dans les milieux confinés, tandis que le mélange contenant 15% de coquille présente de rapports de hauteur élevé de l'ordre de 0.37 qui n'est pas conforme aux recommandations des normes EFNARC, un blocage du mélange au niveau des barres d'acier a été observé lors de la réalisation de l'essai. Ce résultat indique nettement une viscosité très élevé du mélange contenant 15% de fines de coquilles d'œufs, cela peut être dû à un effet ; est la conséquence directe du taux élevé d'absorption d'eau par ces fines.

Ces résultats sont similaires à celles trouvés par(Olatokunbo M. Ofuyatan et al(2020)) [54]ont observé une augmentation haute du Rapport H2/H1.

Tableau 4-4 des résultats de l'essai de la Boîte en L (L-Box) :

Pourcentage des fines coquilles d'œufs(%)	Rapport H_2/H_1 (cm)
0	9
5	0,89
10	0,79
15	0,37

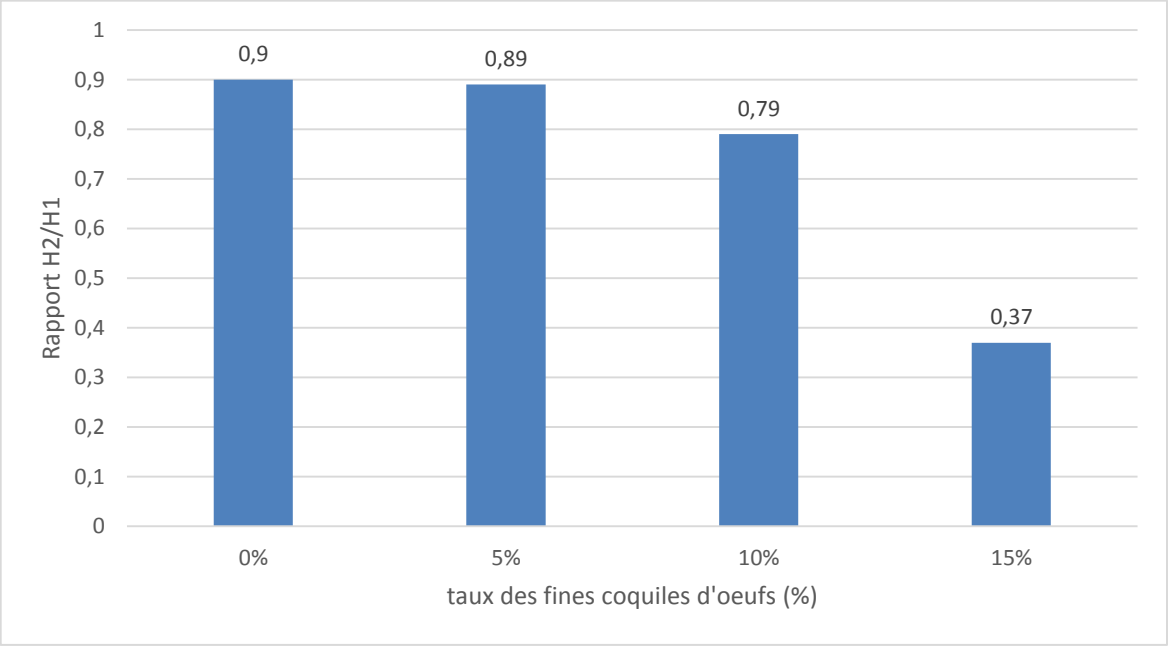


Figure 4-4 : Effet des coquilles d'œufs sur le rapport (H2/H1) de l'essai de la Boîte en L.

4-3 Effet des fines coquilles d'œufs sur les propriétés des BAP à l'Etat durci :

4-3-1 Résistance à la compression :

Les résultats de résistance à la compression à l'âge de 7 jours des pour mélanges de BAP de substitutions de ciment par les fines de coquille d'œufs sont illustrés sur la (Figures 4-5) et (Tableau 4-5) respectivement. On peut voir que l'influence des fines de coquille d'œufs sur le BAP semble avoir des effets négatifs à jeune âge pour les tous les d'échantillons. En augmentant le pourcentage de fines dans le béton, on constate une diminution de la résistance à la compression à 7 jours jusqu'à atteindre les valeurs les plus

basses de 29.8 MPA obtenu avec le mélange contenant 15% de poudres de coquille d'œufs (Aarre, T. & Domone, P. (2003)). [55] La diminution de la résistance à la compression est due à une faible zone de transition inter-faciale, la porosité du coquilles d'œufs lors l'adhésion aux granulats fins et grossiers et la formation de fissures dans les granulats [56] [57].

La diminution de la résistance à la compression pourrait être due à deux effets :

1/ Le premier effet concerne la teneur en silice (SiO_2) dans les fines utilisées, comme le signalent [58].

2/ Le deuxième effet est dû à la surface spécifique élevée de finesse Blaine des

Coquilles d'œuf utilisées dans le BAP par rapport au ciment. Le même argument a été avancé et rapporté par [59], qui ont précisé que l'hydratation du ciment était accélérée par l'ajout de fines à surface spécifique élevée.

Tableau4-5 des résultats de l'essai de Résistance à la compression à 7jours :

Pourcentage des coquilles d'œufs(%)	RESISTANCE A LA COMRESSION à 7jours (Mpa)			LA MOYENNE
0	39,13	33,97	36,83	36,643
5	34,69	36,33	30,59	33,870
10	28,41	35,5	31,53	31,813
15	33,35	28,83	27,27	29,817

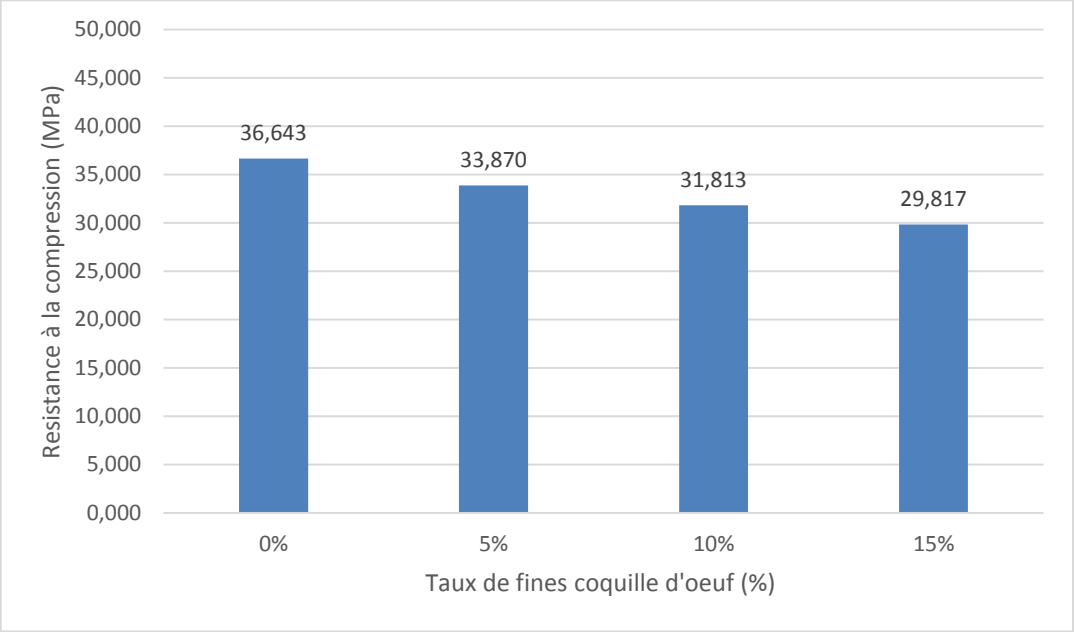


Figure 4-5 : Effet des coquilles d'œuf sur la résistance à la compression en substitution au ciment à 7jours**.**

présentent la variation de la résistance à la compression en fonction des les taux des coquilles d'œufs substituée au ciment à 14 jours de cure.

En analysant cette figure, on remarque que la même tendance de l'histogramme précédant est obtenu, une augmentation des valeurs de la résistance à la compression sont enregistrées a 14 jours par rapport à 7 jours cela est due au durcissement du ciment en fonction de temps de cure. La valeur de la résistance à la pression la plus élevée de 46,45Mpa a été enregistrée pour le mélange de référence (0% de poudre de coquilles d'œufs). La substitution de ciment par les fines de coquille d'œufs semble avoir le même effet à 14 jours de cure qu'a 7 jour pour tous les tous les d'échantillons BAP confectionné. Une relation inversement proportionnelle de la résistance à la compression en fonction de l'augmentation de pourcentage de fines dans le béton, une diminution de la résistance à la compression à 14 jours est constaté, cette diminution de la résistance à la compression pourrait être due à deux effets déjà mentionné au paragraphe précédent.

Une résistance à la compression d'environ 40Mpa est obtenues en ajoutant jusqu'à 15 %de fines de coquille d'œufs, cette valeur est comparable est acceptable en comparaison avec celle de béton de référence.

Ces résultats sont similaires à celles trouvés par [60]la résistance change en fonction des changements dans les proportions de la coquille d'œuf.

Tableau 4-6 des résultats de l'essai de Résistance à la compression à 14 jours :

Pourcentage des coquilles d'œufs(%)	RESISTANCE A LA COMRESSION à 14jours (Mpa)		LA MOYENNE
0	48,75	44,15	46,450
5	38,3	41,15	39,725
10	40,61	43,91	42,260
15	41,48	38,69	40,085

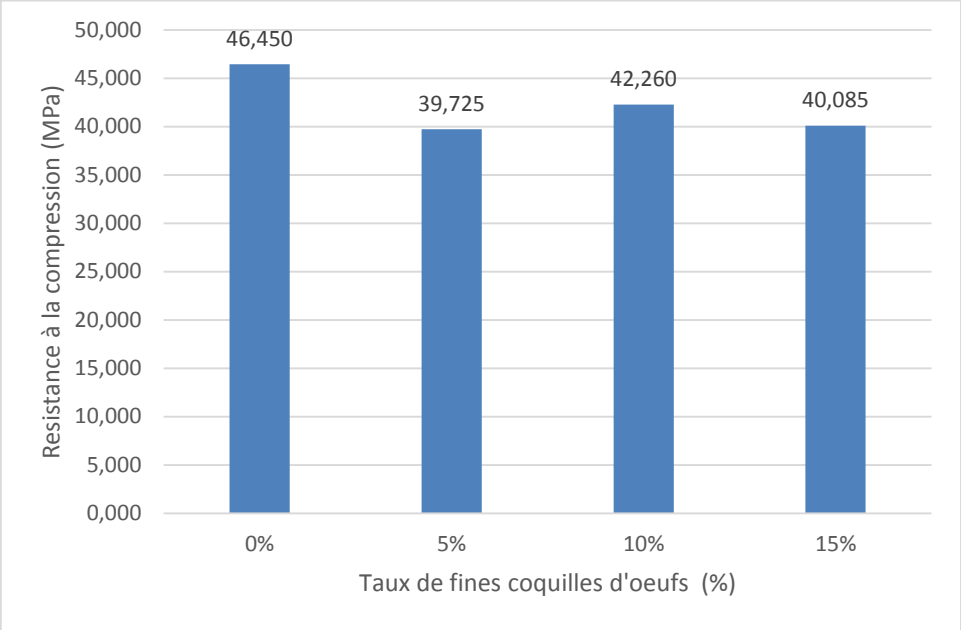


Figure 4-6 : Effet des coquilles d'œuf sur la résistance à la compression en substitution au ciment à 14 jours.

La (Figure 4-7 et Tableau4-7) présentent la variation de la résistance à la compression en fonction des les taux des coquilles d'œufs substituée au ciment à 28 jours de cure.

En analysant cette figure, on peut remarquer clairement que l'allure de l'histogramme est totalement différente à celle des figures précédentes, une faible chute de résistance à la compression a 28 jours est obtenue pour tous les mélanges a l'exception le béton contenant 5%de fines de coquille d'œufs qui a présenté une augmentation remarquable de résistance qui est de 49 MPA. Ce résultat pourrait être dû au taux élevé de gypse environ 7% existant dans le sable fin d'Oued Souf utilisé

Un résultat similaire a été obtenu par [61], qui ont mentionné que l'utilisation de fines de coquille d'œufs un taux de remplacement de 3 à 5% en substitution de ciment atteint la valeur maximum de résistance à la compression.

Tableau 4-7des résultats de l'essai Résistance à la compression à 28 jours :

Pourcentage des coquilles d'œufs(%)	RESISTANCE A LA COMRESSION à 28jours (Mpa)		LA MOYENNE
0	41,04	41,04	41,040
5	49,65	37,27	49,650
10	36,26	34,94	35,600
15	38,21	35,1	36,655

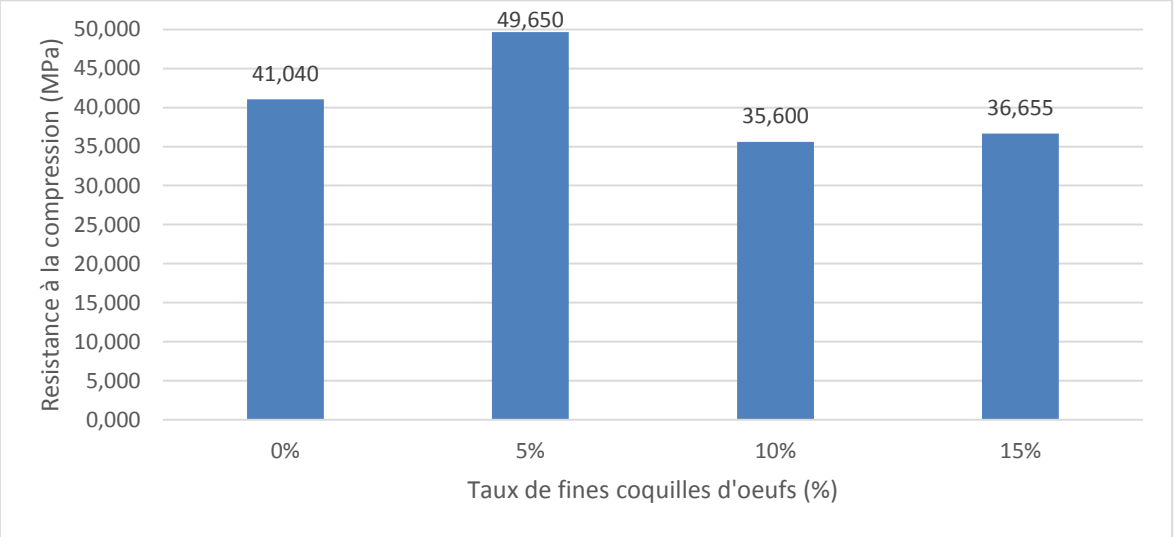


Figure 4-7: Effet des coquilles d'œufs sur la résistance à la compression en substitution au ciment à 28 jours.

4-3-2 Absorption d'eau par capillarité :

Les résultats des coefficients d'absorption d'eau par capillarité des échantillons de béton autoplaçant sont présentés aux(Figures 4.8), cette figure montre clairement une légère augmentation du coefficient de sportivité avec celle du pourcentage de fines de coquille d'œufs, le taux d'absorption primaire est presque similaire pour tous les échantillons de béton, tandis que en continuant l'essai le taux d'absorption commence à varier en fonction de taux de pourcentage de la coquille d'œufs, pour les échantillons contenant 10%de fines de coquille d'œufs présentent la pente la plus faible, qui est similaire à celle de béton de référence alors qu'à 15% de fines une légère différence de pente est obtenue. A cet effet, l'ajout de fines de coquille d'œufs semble affecter de manière positive, l'absorption d'eau par capillarité dans tous les spécimens de béton autoplaçant.

Cette diminution pourrait être expliquée a que l'addition des fines produisent un meilleur tassement des particules, entraînant ainsi une structure poreuse plus fine dans les BAP.

D'après les travaux de recherche effectués par (Amarnath Yerramala) [62], La substitution de ciment par des fines de coquille d'œufs a un taux de 10% présente une absorption d'eau similaire à celle de béton de référence.

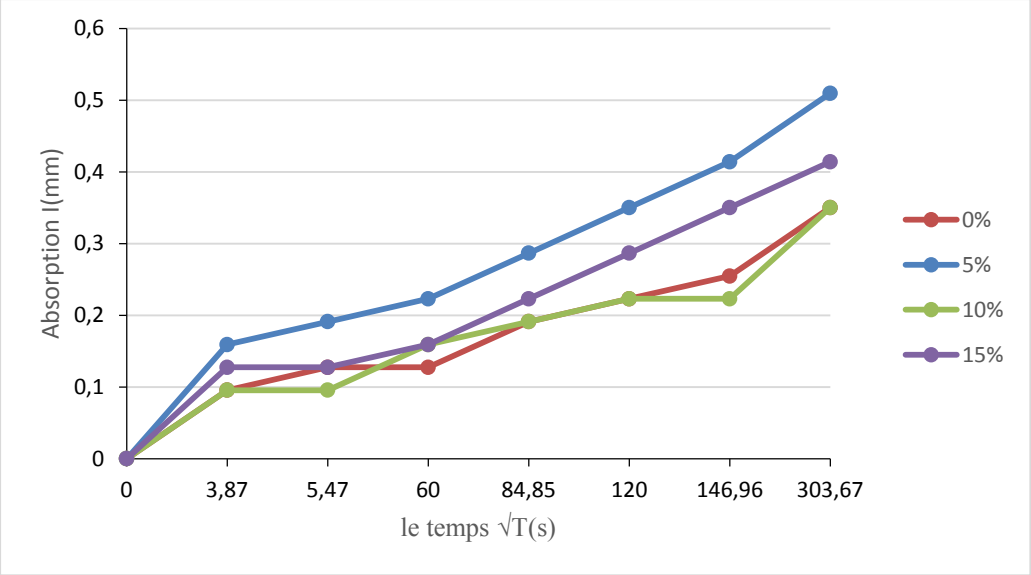


Figure 4-8: Effet des coquilles d'œufs sur l'absorption d'eau par capillarité

Conclusion :

Ces expériences visent à trouver des matériaux à faible cout et à recycler les déchets en objet utiles pouvant être utilisées dans le béton autoplaçants , par conséquent l'idée de cette étude implique l'un de ces matériaux , qui est des coquille d'œuf , comme l'évaluation de la capacité à utiliser coquille d'œufs dans des mélanges comme matériaux alternatif pour le ciment est l'objectif principal de cette étude , cette recherche a été menée en comparant les performances de mélanges contenant différents pourcentages de poudre de coquille d'œuf 0%,5%,10%,15% ,et en trouvant la teneur optimale en coquille d'œuf pour atteindre cet objectif.

Lors du remplacement partiel du ciment par la coquille d'œuf dans un rapport de 5% nous avons obtenu un bon résultat et nous avons dit que le béton se propage en modifiant les taux de remplacement des deux matériaux et que la résistance évoluait avec le temps .

Nous concluons à travers les résultats obtenus que le remplacement partiel du ciment par de la coquille d'œuf des effets sur les propriétés des BAP à l'Etat frais et l'Etat durci.

CHAPITRE 4 : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le béton autoplaçant offre plusieurs avantages techniques, économiques et environnementaux. Cependant, sa formulation à base de matériaux locaux nécessite une étude particulière et précise, afin de bien pouvoir la concrétiser. Le choix de la méthode n'était pas évident et dépendait de la disponibilité ou non des matériaux adéquats surtout en termes de superplastifiants et agents de viscosité.

L'objectif de ce travail de mémoire était donc d'étudier l'influence des paramètres de formulation sur les propriétés d'un béton autoplaçant, à travers la valorisation des coquilles d'œufs. Ainsi la coquille d'œufs a été introduite aux mélanges de béton par substitution au ciment à différents pourcentages (0% 5% 10% et 15%). Un type de superplastifiant, appartenant à un génération ont été utilisé.

Les propriétés générales d'un béton autoplaçant frais sont la fluidité et l'homogénéité. Ces propriétés sont étudiées sur plusieurs aspects, et peuvent se diviser en trois critères mesurables par des tests empiriques : le remplissage, la résistance à la ségrégation, et la capacité à passer à travers les obstacles que nous appellerons capacité de passage.

Grace à nos expériences, nous avons remarqué que la poudre de coquille d'œuf a un effet sur le béton autoplaçants à la fois à l'état frais et durci, au fur et à mesure que je modifie les proportions de poudre de coquille d'œuf, la propagation du béton autoplaçant change.

References Bibliographies

[1] OKAMURA H.ET AL, "Self-compacting high performance concrete, Proceeding of the fifth sec", Vol.3, pp.2381-2388, 1995.

[2] J.DESNYTER, J-C.BRAQUENIER, "Le béton autoplaçant ou autocompactant, un béton en pelin essor", Bruxelles, CSTC-Magazine, automne 2000.

[3] Carlo DE PAUW, "CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION recherche, CSTC", Rapport d'activités, Centre de Béton et ouvrages en béton, rapport d'activités. P.10, 2004.

[4]T.SEDRAN, "Les bétons autonivelants (BAN) synthe bibliographique", Bulletin de liaison LCPC. N°196 mars 1995.

[5] AMURA, H.O. & Ouchi, M. Self-compacting concrete. Development, present use and future. In: PRO 7: 1st International RILEM Symposium on Self- Compacting Concrete. RILEM Publications, p. 3. (1999).

[6]Ben Akili Sarah, "caractérisation expérimental des bétons autoplaçant obtenus par ajout des déchets de construction", thèse de Magister université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2009.

[7] Boukendakdji O Etude de l'influence des paramètres de formulation sur les propriétés d'un BAP: Optimisation des conditions opératoires, Thèse de doctorat, Université de Blida(2010).

[8]Benaddad .S, Benatsou. N, "Etude à la compression d'un Béton autoplaçant avec additions minérales (Argile cuite et broyée et Fillers calcaires)", Mémoire de Master. Université d'Abderrahmane Mira-Bejaia, 2012.

[9] L.Hasni « Bétons autoplaçants » Rapport de recherche n°98-004/98-006 du CEBTP présenté aux journées du PNBAP- juillet 1999.

[10] BRAHIM.N, "Etude des propriétés rhéologiques et mécaniques des bétons autoplaçants", Mémoire de magister. Université de Mohamed Khider –Biskra, 2006.

[11]TAGNIT-HAMOU.A, "Microstructure et physico-chimie des ciments et des bétons". Notes de cours. Université de Sherbrooke. GCI-712. 1995.

[12]Skender Z Durabilité du béton auto-plaçant à base de sable de concassage : Thèse de doctorat, Université de Médéa. (2020) .

[13]Association française de Génie Civil (AFGC) « Bétons Auto-Plaçant Recommandations provisoires » juillet 2002, 63 pages.

[14]Ovarlez, G. & Roussel, N. A physical model for the prediction of lateral stress exerted by self-compacting concrete on formwork. Materials and Structures, 39, 269-279. (2006).

[15]Maeda, M. (1999). Evaluation on the practicability of SCC. In: The Proceedings of the RTLEM Symposium on Self-Compacting Concrete, pp. 617-628. (2006).

[16]Assaad, J.J. & Khayat, K.H. Effect of casting rate and concrete temperature on formwork pressure of self-consolidating concrete. Materials and structures, 39, 333- 341. (2006).

[17]de Génie-civil, F.F.F. (2003). recommandations de mise en oeuvre des BAP et BAN. Vol. B, 52, 152.

[18]Andriamanantsilavo, N.R., Amziane, S. & Baudeau, P. Étude expérimentale sur l'évolution de la pression exercée par une pâte de ciment contre un coffrage pendant la prise. Rhéologie, 3, 12-21. (2003).

[19] Okamura H. and Ouchi M. « Self-compacting concrete » Journal of advanced Concrete Technology, 2003, vol 1, n°1, pp. 5-15.

[20]Turcry P. « Retrait et fissuration des bétons autoplaçants- influence de la formulation » Thèse de doctorat de l'Ecole centrale de Nantes, 2004, 213 pages.

[21]Association française de Génie Civil (AFGC) « Bétons Auto Plaçants Recommandations provisoires » juillet 2002, 63 pages.

[22] Holcim « Le béton autocompactant Recommandation » Suisse, SA, Version 26.11.2004

[23]SAMOUH. H, ROZIERE.E, LOUKILI.A, "Interprétation des mesures du retrait de dessiccation des bétons autoplaçants (BAP)", Conférence XXXe Rencontres AUGC-IBPSA Chambéry, Savoie, 6 au 8 juin 2012.

[24]NASRI.S, "Caractérisation aux moyens des essais non destructifs (NDT) et Essai direct d'un béton autoplaçant(BAP) à base de matériaux locaux (effet de la nature du sable)", Mémoire de Magister. Université de Mohamed Boudiaf-M'sila, 2016.

[25]Ejaz, N.; Akhtar, N.; Nisar, H.; Naeem, U.A. Environmental impacts of improper solid waste management in developing countries: A case study of Rawalpindi City. WIT Trans. Ecol. Environ. 2010, 142, 379–387. [CrossRef]

[26]Golewski, G.L. E_ect of fly ash addition on the fracture toughness of plain concrete at third model of fracture. J. Civ. Eng. Manag. 2017, 23, 613–620. [CrossRef]

[27]Golewski, G.L. The influence of microcrack width on the mechanical parameters in concrete with the addition of fly ash: Consideration of technological and ecological benefits. Constr. Build. Mater. 2019, 197, 849–861.
[CrossRef]

[28]Cree, D.; Rutter, A. Sustainable Bio-Inspired Limestone Eggshell Powder for Potential Industrialized Applications. ACS Sustain. Chem. Eng. **2015**, 3, 941–949. [CrossRef]

[29]KitchenWaste Piling up in Edmonton Landfill Since Compost Facility Closed Last Fall. Available online: https://www.cbc.ca/news/canada/edmonton/landfill-edmonton-waste-management-system-1.4565158 (accessed
on 26 July 2019).

[30]Chicken eggshell matrix proteins enchance calcium transport in the human intestinal epithelial cells Caco-2

[31]The Benefits and risks of eating Eggshells

[32]Yang, E.I., Yi, S.T. et Leem, Y.M., Effect of oyster shell substituted for fine aggregate on concrete characteristics: Part I. Fundamental properties. *Cement & Concrete Research*, 35, pp.2175-2182. 2005.

[33]Etuk, B.R., Etuk, I.F. et Asuquo, L.O., Feasibility of using sea shells ash as admixtures for concrete. Journal of Environmental Science & Engineering, A1, pp.121-127. 2012.

[34] Lertwattanaruk, P., Makul, N. et Siripattarapravat, C., Utilization of ground waste seashells in cement mortars for masonry and plasting. Journal of Environmental Management, 111, pp.133-141. 2012.

[35]Robillard-Engelaère, C, Étude de valorisation des coproduits marins coquilliers sous forme d'additions et de granulats dans les matériaux cimentaires. Ph. D. Université de Caen Basse Normandie. 2012.

[36]GR. Anstis, P. Chantikul, BR. Lawn, "A critical evaluation of indentation techniques for measuring fracture toughness: I, Direct crack measurements". J. Am. Ceram. Soc, Vol.64, pp.533–538, 1981.

[37] Nabila Boualla, Etude de l'influence de l'ajout de la pouzzolane sur les caractéristiques physico-chimiques des ciments

[38]BOUHAMOU, N., BELAS, N., MEBROUKI, A., MESBAH, H. & AMMAR, Y. Étude de l'influence des paramètres de composition sur le comportement a l'état frais du béton autoplaçant à base de matériaux locaux. Doctorat d'État, Université de Mostaganem, Algérie. (2004).

[39] Lang, E. & Geisler, J. Use of Blast Furnace Slag Cement with High Slag Content for High-Performance Concrete. Concrete in the Service of Mankind—Radical Concrete Technology, 67-76. (1996).

[40]Takada, K., Pelova, G. & Walraven, J. Influence of mixing efficiency on the fresh properties of self-compacting concrete. In: International Workshop on Self- Compacting Concrete, pp. 368-383. (1998).

[41]Takada, K. & Walraven, J. Influence of mixing efficiency on the properties of flowable cement pastes. In: *Proceedings of the Second* International Symposium on Self- Compacting Concrete, pp. 545-554. (2001).

[42]Domone P.L.J. and Jin J. "Properties of mortar for Self-Compacting Concrete" Proceedings of RILEM International Symposium on Self-Compacting Concrete, Stockholm, RILEM Proceedings PRO 7, 1999, Paris, pp. 109–120.

[43] Sonebi M. and Bartos P.J.M. « Filling ability and plastic settlement of self-compacting concrete » Materials and Structures, 2002, Vol 35, pp. 462-469.

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

[45] Okamura, H. & Ozawa, K. Self-compactable high-performance concrete in Japan. Special publication, 159, 31-44. (1996).

[46] De Schutter, G. Guidelines for testing fresh self-compacting concrete. *European Research Project(2005).*

[47] Sonebi, M. & Bartos, P. Filling ability and plastic settlement of self-compacting concrete. *Matériels and structures*, 35, 462-469. (2002).

[48] AFGC (2008). Recommandations pour l'emploi des bétons autoplaçants.
Documents scientifiques et techniques AFCG.

[49] De Schutter G. « Guidelines for testing fresh self-compacting concrete » European Research Project: Measurement of properties of fresh self-compacting concrete, Growth Contract No. GRD2-2000-30024, September 2005, 23 p, Available in www2.cege.ucl.ac.uk/research/oncrete/Testing-SCC.

[50] EN, B. 13057, Determination of resistance of capillary absorption. British Standards Institution, 20, 685. (2002a).

[51] Chemicals, E.F.f.S.C. & Systems, C. Specification and guidelines for self-compacting concrete. *European Federation of National Associations Representing producers and applicators of specialist building products for Concrete (EFNARC)*, 32. (2002).

[52] Bosiljkov, V.B. SCC mixes with poorly graded aggregate and high volume of limestone filler. *Cement and Concrete Research*, 33, 1279-1286. (2003).

[53] Nehdi, M. Micro filler effect on rheology, microstructure and mechanical properties of high-performance concrete, Ph. D. Thesis, The University of British Columbia, 1998.

[54] Olatokunbo M. Ofuyatan et al, Development of high-performance self-compacting concrete using eggshell powder and blast furnace slag as partial cement replacement, Constr. Build. Mater, 256(2020)119403.

[55]Aarre, T. & Domone, P. Reference concretes for evaluation of test methods for SCC. In: *Proceedings of 3rd RILEM international symposium on self-compacting concrete, Reykjavik, Iceland*, pp. 495-505. (2003).

[56]D. Gowsika, S. Sarankokila, K. Sargunan, Experimental investigation of egg
Shell powder as partial replacement with cement in concrete, Int. J. Eng. Trends Technol. 14 (2014) 65–68.

[57]Y.F. Silva, R.A. Robayo, P.E. Mattey, S. Delvasto, Properties of self-compacting concrete on fresh and hardened with residue of masonry and recycled concrete, Constr. Build. Mater. 124 (2016) 639–644.

[58] Nazari, A. &Riahi, S. The effects of SiO2 nanoparticles on physical and mechanical properties of high strength compacting concrete. *Composites Part B: Engineering*, 42, 570-578. (2011).

[59] Moon, G.D., Oh, S., Jung, S.H. & Choi, Y.C. Effects of the fineness of limestone powder and cement on the hydration and strength development of PLC concrete. *Construction and Building Materials*, 135, 129-136(2017)..

[60] Rokiah Othman et al, evaluation on the rheological and mechanical properties of concrete incorporating eggshell with tire powder. Journal of materials research and technology 2021; 14:439-451.

[61]Sheelan Mahmoud Hama et al, Effects of eggshell powder as partial replacement of cement on flexural behavior of one-way concrete slabs. Journal of engineering science and technology Vol.15, No. 5(2019)2509-2521.

[62]Amarnath Yerramala, Properties of concrete with eggshell powder as cement replacement.

ANNEXE A

FICHE TECHNIQUE

CEM I 42.5N SR3 LH

RÉSISTANT AU SULFATE A FAIBLE CHALEUR D'HYDRATATION

Un ciment gris à haute résistance aux environnements agressifs et à faible chaleur d'hydratation **(LH - Low Heat)**, pour tous vos travaux dans les milieux à haute teneur en sulfates, Il convient également aux travaux de bétonnage massif et continu par temps chaud qui nécessite un Ciment dégageant moins de Chaleur.

CEM I 42.5N SR3 LH :
Conforme à la norme Algérienne **(NA442-2013)**.



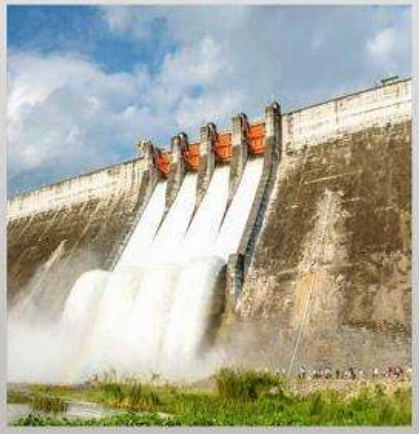
DOMAINES D'APPLICATION

Un ciment pour tous vos travaux de constructions demandant de hautes résistances aux environnements agressifs, pour travaux à la mer, il est utilisé tout au long de l'année, il est aussi recommandé pour les utilisations suivantes:

- Béton armé en milieux agressifs : eau de mer, eaux séléniteuses, pures ou industrielles.
- Ouvrage d'art massifs (ponts, barrages, murs de soutiennement...).
- Béton routier : béton extrudé pour glissières de sécurité, de cunettes.
- Béton pour les stations d'épuration.
- Béton pour les milieux salés.

APPLICATIONS RECOMMANDEES

- Stations et bassins d'épuration.
- Environnement marin.
- Ouvrages agricoles.
- Travaux de bétonnage massif des fondations.
- Travaux en Milieu à forte concentration des chlorures et les sulfures.



Produit conçu et fabriqué sous un Système de Management de la Qualité certifié **ISO 9001** par **AFAQ-AFNOR.**

FORMULATION CONSEILLÉE

	Ciment	Sable (sec) 0/5	Gravillons (sec) 8/15mm 15/25mm	Eau (litres)
Dosage pour béton	50k X1 +	X7 +	X5 + X4 +	25 L
	Ciment	**Sable Correcteur 0/1mm**	**Sable (sec) 0/4mm**	**Eau (litres)**
Mortier de briquetage	50k X1 +	X6 +	X9 +	35 L
Mortier de finitions	50k X1 +	X9 +	X6 +	35 L

Remarque: un bidon =10 litres

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

Analyses chimiques (%)	valeur
Perte au feu	< 3
Teneur en sulfates (SO3)	2.2 – 2.6
Teneur en Oxyde de Magnésium (MgO)	< 3.5
Teneur en Chlorures (Cl-)	< 0.04
Résidu insoluble	≤ 0.75
Composition Potentielle du Clinker (Selon Bogue) (%)	**valeur**
C3S	60
C3A	< 3
C4AF + 2 C3A	< 20
Propriétés physiques	**valeur**
Consistance normale (%)	26.5
Expansion à chaud (mm)	< 1
Temps de prise (min)	**valeur**
Début de prise	180
Fin de prise	320

Résistence à la compréssion	valeur
2 jours (MPa)	18
28 jours (MPa)	54



CONSIGNES DE SÉCURITÉ

PROTÉGEZ VOTRE PEAU:

Portez les équipements adapté dans vos chantiers:



Djar Belahrache, Branis, Biskra, Algerie
Tel: (+213) 0560 753 424
Fax: (+213) 033 62 73 92
www.biskriaciment-dz.com
contact@biskriaciment-dz.com
Biskria Ciment

01/2022

ANNEXE B

NOTICE TECHNIQUE 2 1 1 9

MEDAFLOW 30

Conforme à la norme EN 934-2:TAB 1, TAB 3.1 ET TAB 3.2 NA 774.

Super plastifiant
Haut réducteur d'eau

DESCRIPTION

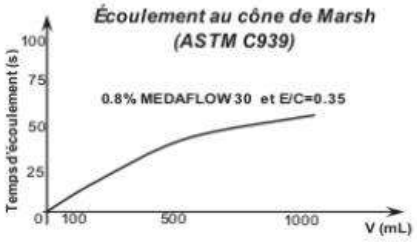
Le **MEDAFLOW 30** est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération. Il est conçu à base de polycarboxylates d'Ether qui améliorent considérablement les propriétés des bétons.
Le **MEDAFLOW 30** permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.
En plus de sa fonction principale de superplastifiant, il permet de diminuer la teneur en eau du béton d'une façon remarquable.
Le **MEDAFLOW 30** ne présente pas d'effet retardateur.

DOMAINES D'APPLICATION

- Bétons à hautes performances
- Bétons auto - plaçant
- Bétons pompés
- Bétons précontraints
- Bétons architecturaux.

PROPRIÉTÉS

Grâce à ses propriétés le **MEDAFLOW 30** permet :
Sur béton frais :
- Obtention d'un rapport E/C très faible
- Amélioration considérable de la fluidité
- Une très bonne maniabilité
- Éviter la ségrégation
- Faciliter la mise en œuvre du béton



Sur béton durci :
- Augmenter les résistances mécaniques à jeune âge et à long terme (voir tableau).
- Diminuer la porosité
- Augmenter la durabilité
- Diminuer le retrait et le risque de fissuration

Désignation	Rc (MPa)		
	3J	7J	28J
MEDAFLOW 30 (1.4%)	39.2	54.7	62.2

CARACTÉRISTIQUES

- Aspect ..... Liquide
- Couleur ..... Brun clair
- pH ..... 6 – 6,5
- Densité ..... 1,07 ± 0,01
- Teneur en chlore .....< 0,1 g/l
- Extrait sec 30%

MODE D'EMPLOI

Le **MEDAFLOW 30** est introduit dans l'eau de gâchage.
Il est recommandé d'ajouter l'adjuvant dans le béton après que 50 à 70% de l'eau de gâchage ait déjà été introduite.

DOSAGE

Plage de dosage recommandée :
0,5 à 2,0 % du poids de ciment soit 0.46 à 1.85 litre pour 100 Kg de ciment.

Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés.

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandé de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.

58

Granitex

Zone industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger
Tél : (213) 021 51 66 81 & 82
Fax : (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23
www.granitex-dz.com - E-mail: granitex@granitex-dz.com

NOTICE TECHNIQUE 2119

MEDAFLOW 30

Le **MEDAFLOW 30** est conditionné en bidons de 10Kg, fûts de 210 Kg et 240 Kg, cubiténaire 1100kg.

Délai de conservation :
Une année dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur (5°C < t < 35°C).
Lors d'une exposition du produit au soleil, sa couleur est sujette à changer de ton.

PRÉCAUTIONS D'EMPLOI

Manipulation non dangereuse.
Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur : **www.granitex-dz.com**

PV d'essais conforme aux normes, établi par le **CNERIB** en Avril 2005.

NB : Les produits à base de polycarboxylates d'Ether (PCE), exposé aux UV, changent dans la couleur mais sans aucun incident sur les propriétés et les effets de l'adjuvant.

Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandé de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.

Granitex
Granitex
Zone industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger
Tél : (213) 021 51 66 81 & 82
Fax : (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23
www.granitex-dz.com - E-mail: granitex@granitex-dz.com

59

ANNEXE C

Taux (%)	Sable Naturelle (Kg)	Sable Concassée (Kg)	Gravier Naturelle (Kg)		Ciment (Kg)	Coquille D'œuf (Kg)	Eau (Kg)		SP (Kg)
			3/8	8/15			E1	E2	
0	7,53	6 ,16	6,87	4,12	7,89	0	2,05	0,88	0,095
5	7,53	6 ,16	6,87	4,12	7,49	0,33	2,04	0,87	0,109
10	7,53	6 ,16	6,87	4,12	6,64	0,61	2,16	0,93	0,101
15	7,53	6 ,16	6,87	4,12	6,29	0,92	2,15	0,92	0,101