REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA

Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : Matériaux en génie civil

Propriétés mécaniques et durabilité des bétons autoplaçant contenants des coquilles d'œufs

---

Présenté par

BOUKHEDIMI Kouider & SOUALHI Wafa Nesrine

Proposé et Dirigé par

Mr.SKENDER Zakaria

Promotion Juin 2023

Remerciements

Tout d’abord, nous remercions notre Bon DIEU "Allah" le Miséricordieux qui nous a donné la force et la volonté d’achever ce travail.

Ce travail a été réalisé essentiellement au sein du laboratoire de génie civil de l’Université de MEDEA, Nous remerciements vont également à tous le personnel de laboratoire « des responsables, Ingénieurs, doctorants ou nos collègues de classe » qui nous ont beaucoup aidés pour achever notre travail, avec leurs conseils et soutien qui nous ont permis de cibler nos buts.

Nous remercions également toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin dans l’accomplissement de ce travail.

Nous souhaitons également remercier les membres de jury qui nous ont fait l’honneur d’accepter d’examiner ce travail :

- **Dr M. YOUCEFI** — **Président du jury**
- **Dr W. HERIHIRI** — **Examinatrice**

Nos chaleureux remerciements à Nos parents, Nos Familles qui nous ont Supporté tout au de long de notre chemin d’études jusqu’à ce jour.

Enfin nous tenons à remercier notre encadreur monsieur SKENDER Zakaria pour son soutien, ses orientations et conseils tout au long de ce travail

ملخص

إن الخرسانة المرصوصة ذاتيا معروفة كونها عالية المرونة أو السيولة، ومتجانسة للغاية، وتأخذ مكانها فقط بفعل وزنها. هذا النوع من الخرسانة لها مميزات خاصة (سعة المرور والتعبئة ومقاومة لفصل المواد). لأسباب تقنية واقتصادية وبيئية، يتم استعمال بعض المضافات الأسمنتية (مواد ناعمة، البزولان والرماد المتطاير) كثيرا ما تستخدم في صناعة هذه الفئة من الخرسانة. نتيجة لذلك، تم إجراء العديد من الأبحاث حول أداء الخرسانة ذاتية الرص بناءً على الإضافات المعدنية. بينما تم إنجاز القليل من الأعمال التي استخدمت مسحوق قشر البيض علي خصائص الخرسانة ذاتية الرص.

إن الهدف الرئيسي لهذا العمل البحثي هو دراسة خصائص الخرسانة المرصوصة ذاتيا والمصنوعة في المخبر مع استبدال جزئي للإسمنت بنسب من مسحوق قشر البيض المتفحم ESA والغير متفحم ESP في الحالة اللينة والصلبة وكذا خصائص الديمومة. إن الدراسة التجريبية قد أنجزت مع استبدال الحجمي للإسمنت بنسب متفاوتة (0,5, 10, 15,20, 25%) من مسحوق قشور البيض.

أوضحت النتائج التجريبية أن الاستبدال الجزئي للأسمنت بمسحوق قشر بيض ESP غير المفحم بنسبة تصل إلى 25٪ في حالة اللينة للخرسانة المرصوصة ذاتيا إلى نتائج ملموسة من. بينما لم يلاحظ أي تأثير على للخرسانة في الحالة اللينة مع استعمال لمسحوق قشر البيض المفحم ESA. لكنه قد أظهر زيادة لمقاومة الضغط مقارنة مع استعمال قشر بيض غير المفحم.

كلمات مفتاحيه: الخرسانة المرصوصة ذاتيا، مسحوق قشور البيض، مسحوق قشور البيض المتفحمة، الحالة اللينة، االديمومة، المقاومة الضغط.

Abstract

Self-Compacting Concretes (SCC) are known to be very fluid concretes, homogeneous, that take place by the only mean of gravity. In addition, these concretes have specific properties which are (capacity of filling without segregation). For technical, economic and environmental reasons, fine elements (fillers, slag, pozzolan or fly ashes) are very often used in the manufacture of this type of concrete. Consequently, several research works have been carried out on the performance of SCCs based on this type of mineral additions. However, little work has been done using eggshell powder on the properties of self-compacting concretes.

The main objective of this experimental research work is to study the effect of partial replacement of cement with (calcined ESA and uncalcined ESP) eggshell powder on the rheological, mechanical and durability properties of self-compacting concrete.

The experimental study is based on concretes containing different volume percentages (0, 5, 10.15, 20 and 25%) of fines partially substituted in cement.

The experimental results revealed that the partial substitution of cement by uncalcined ESP eggshell powder up to 25% in fresh SCCs state led to appreciable property results. While no significant effect on the fresh state is observed for the calcined eggshell powder ESA. However, in the hardened state, the ESA replacement increases the compressive strength compared to the uncalcined ones.

Keywords: Self compacting concrete, egg shell powder, calcined egg shell, durability, fresh state, compressive strength.

Résumé

Les bétons autoplaçants se caractérisent par une grande fluidité et déformabilité, qui se met en place sous le seul effet de la gravité, En plus, Ces bétons présentent des propriétés spécifiques (capacité de passage, de remplissage et résistance à la ségrégation). Pour des raisons techniques, économiques et environnementales des additions cimentaires (fillers, laitier, pouzzolane ou cendres volantes) sont très souvent utilisées dans la fabrication de ce type de béton. Par conséquence, plusieurs travaux de recherche ont été menés sur les performances des BAP à base de ce type d'ajouts. Cependant, peu de travaux ont été réalisés en utilisant de poudre de coquille d'œuf sur les propriétés des BAP.

L'objectif principal de ce travail expérimental est d'étudier l'effet du remplacement partiel du ciment par de la poudre de coquille d'œuf (ESA calciné et ESP non calciné) sur les propriétés rhéologiques, mécaniques et de durabilité du béton autoplaçant. L'étude expérimentale porte sur des bétons contenant différents pourcentages volumiques (0, 5, 10, 15, 20 et 25 %) de fines partiellement substituées au ciment.

Les résultats expérimentaux ont révélé que la substitution partielle de ciment par la poudre de coquille d'œuf non calciné jusqu'à 25% dans les BAP à l'état frais a conduit à des résultats de propriétés appréciable. Tandis qu'aucun effet significatif sur l'état frais est observé pour la poudre de coquille d'œuf calciné. Cependant à l'état durci, le remplacement de ESA augmente la résistance à la compression en comparaison avec celles non calciné.

Mot clés : Béton autoplaçant, coquille d'œuf, coquille d'œuf calciné, durabilité, état frais, résistance à la compression.

Table de matière

Résumé

Remerciements

Table de matière

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des symboles et abréviations

Introduction Générale……..02

Chapitre I : LE BÉTON AUTOPLAÇANT-ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 Introduction …….....05

I.2 Définition et historique…….05

I.3 Spécificité et Avantage du BAP...…….…….....05

I.4 Classification et Domaine d'application ……...….....07

I.5 Constituants d'un béton autoplaçant ……...…….....07

I.5.1 Le ciment …….....08

I.5.2 L'addition minérale ……..……...08

I.5.3 Les granulats …….....08

I.5.4 L'eau…….……...09

I.5.5 Le superplastifiant……...09

I.6 Concept et formulation du BAP ……...…….....10

I.6.1 Méthode japonaise ou Méthode Générale ……...11

I.6.2 Méthode Suédoise (CBI) ……12

I.6.3 Autres approches pour la conception du BAP……...……..12

I.6.4 Procédures d'optimisation de la composition du mélange du BAP…..……..13

I.7 Caractérisation du BAP à l'état frais…….....14

I.8 Caractérisation du BAP à l'état Durci …….....17

I.9 Durabilité du BAP…….....18

I.10 BAP à base de fillers……...…….....19

I.11 Procédure de fabrication du BAP …….....20

I.11.1 Mélange et dosage……. …….....20

I.11.2 Transport…….…….....21

I.11.3 Mise en œuvre ……..…….....21

I.11.4 Coffrage ……..…….....22

I.11.5 Cure du BAP …….....22

I.12 Conclusion……...…….....23

Chapitre II : LA COQUILLE D'ŒUF

II.1 Introduction……..25

II.2 La coquille d'œuf ……..……....25

II.3 Composition de la coquille d'œuf …….……...27

II.4 Coquille d'œuf comme substitution du ciment ……....28

II.5 Influence de poudre et cendre de coquille d'œuf sur propriétés du béton ……...30

II.5.1 Etats frais ……...30

II.5.2 Etats durci……32

II.6 Conclusion ……33

Chapitre III : MATÉRIAUX et ESSAIS

III.1 Introduction…….35

III.2 Caractéristiques des Matériaux……...……....35

III.2.1 Le Ciment……..35

III.2.2 La coquille d'œuf …….37

III.2.2.1 La poudre de coquille d'œuf (non calciné) ……..….37

III.2.2.1.1 La finesse …….…….….38

III.2.2.2 La cendres de la coquille d'œuf (calcinés)……...…...…...39

III.2.3 Les granulats…….41

III.2.3.1 Le sable …….....41

III.2.3.2 Le gravier ……...43

III.2.4 L'eau de gâchage…….....44

III.2.5 Le superplastifiant…….44

III.3 Formulation adoptée des bétons autoplaçants…….…….....45

III.3.1 Optimisation de la formulation du BAP……45

III.3.2 Séquence de malaxage……..……47

III.3.3 Confection des éprouvettes et conditionnement……..…48

III.4 Essais effectués……49

III.4.1 À l'état frais…….....49

III.4.1.1 Étalement (slump flow) et T50 ……...…….....50

III.4.1.2 Entonnoir en V (V-Funnel) …….....51

III.4.1.3 Boite en L (L-Box) …….....52

III.4.1.4 Stabilité au tamis …….....54

III.4.2 À l'état durci ……56

III.4.2.1 Résistance à la compression ……..….56

III.4.2.2 Absorption Capillaire …….57

III.4.2.3 Porosité accessible à l'eau ……..59

III.5 Récapitulatif du programme des essais …….....60

III.5.1 Récapitulatif du programme à l'état frais ……..60

III.5.2 Récapitulatif du programme à l'état durci ……61

III.6 Conclusion ……...61

Chapitre IV : RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION

IV.1 Introduction…….63

IV.2 Description des recommandations suivit ……...…..……...63

IV.3 Résultats d'essai à l'état frais……...…..…….65

IV.3.1 Effet sur l'étalement de cône d'Abrams et T50…….....65

IV.3.1.1 Effet sur l'étalement de cône d'Abrams …….....65

IV.3.1.2 Effet sur le T_{50} d'étalement …….....67

IV.3.2 Effet sur le temps d'écoulement à travers V funnel…….....68

IV.3.3 Effet sur la ségrégation dynamique à travers L-Box…….....69

IV.3.4 Effet sur la ségrégation statique (stabilité au tamis) ...……70

IV.4 Résultats de l'état durci……....71

IV.4.1 Effet sur la résistance mécanique……..71

IV.4.2 Effet sur la porosité accessible à l'eau…….....76

IV.4.3 Effet sur l'absorption capillaire…….78

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES ……..82

Références ……....84

Annexe A : Fiche technique du ciment matine……...…….…….....92

Annexe B : Fiche technique du superplastifiant Sika Tempo 10……...……....94

Annexe C : Le sable ……...…….……..96

Annexe D : Exemple de calcul de la composition du béton ……....99

Annexe E : Info et quantité des éprouvettes faites …….101

Annexe F : Éprouvettes de béton après écrasement ……...103

Liste des Figures

Figure I.1 Volumes relatifs de la pâte de ciment pour un béton vibré et un BAP……...06

Figure I.2 La composition du béton ordinaire et le béton autoplaçant……08

Figure I.3 La défloculation des grains de ciment par le superplastifiant…….09

Figure I.4 Influence de la quantité du superplastifiant sur l'étalement et la Viscosité d'un béton……..09

FigureI.5 Optimisation du dosage agent de viscosité – superplastifiant d'après (Tangtermsirikul et al. 1991)……10

Figure I.6 Comparaison des proportions du mélange des composition BAP, béton ordinaire et béton compacté au rouleau……....12

Figure I.7 Evolution de la résistance mécanique d'un BAP et d'un BV(REF) correspondant (Gibbs & Zhu 1999)……..17

Figure I.8 Retrait plastique des formules de BAP et de béton ordinaire (Turcry 2003) ……...18

Figure I.9 Représentation schématique d'un solide poreux et différent Type des pores. (Ollivier & Vichot 2008)……...18

Figure I.10 Essai d'absorption capillaire sur BAP-ESP et BAP-ESA de notre thèse ……19

Figure I.10 Pompage du béton autoplaçant……..22

Figure II.1 la coquille d'œuf……25

Figure II.2 les déchets de coquilles d'œufs qui ont été envoyés dans les décharges d'Edmonton, au Canada en 2017……...26

Figure II.3 a) coquille d'œuf, b) coquille d'œuf non calciné (ESP) ; c) coquille d'œuf calcinés (ESP) ……....28

Figure II.4 Résultats FT-IR des pâtes de ciment……..29

Figure II.5 Influance de ESP et laitier de haut fourneau sur l'ouvrabilité de BAP (t_{50} et V-funnel) (Olatokunbo M. Ofuyatan et .al 2020) ……..……...30

Figure II.6 Influence de ESP et laitier de haut fourneau sur l'ouvrabilité de BAP (étalement) (Olatokunbo M. Ofuyatan et .al 2020) …….31

Liste des Figures

Figure II.7 Influence de ESP sur l'étalement de BAP selon Jhatial A.A. ……...31

Figure II.8 Influence de ESP sur l'étalement de BAP selon (Tan Y.Y. et al)……...32

Figure II.9 Influence de ESP sur la résistance à la compression d'un BO selon (Amarnath Y. et al) ……..…….32

Figure II.10 Influence de ESP et ESA sur la résistance à la compression d'un MAP selon (Hussein Alaa Jaber et al2019) …….33

Figure III.1 ciment grise de matine ……36

Figure III.2 déchets de Coquille d'œuf de poule…...…….37

Figure III.3 Machine de Los Angeles (broyeur à boulet)……37

Figure III.4 Coquille d'œuf (ESP- non calciné)……..38

Figure III.5 Appareil automatique de perméabilité à l'air Blaine-finesse (surface spécifique) …….39

Figure III.6 La calcination de la coquille d'œuf dans le four……..40

Figure III.7 (A) Poudre de coquille d'œuf (ESP), **(B)** Cendre de coquille d'œuf (ESA)……40

Figure III.8 changements de couleur lors de l'essai de la masse volumique absolue ……41

Figure III.9 Le sable de Laghouat de Oued M'Zi.……42

Figure III.10 L'analyse granulométrique des granulats utilisés ……42

Figure III.11 Gravier de Djelfa **(A)** Gravier 3/8, **(B)** Gravier 8/15 ……43

Figure III.12 Superplastifiant utilisé (TEMPO-10) ……44

Figure III.13 Béton de référence achevé avec E/C=0.403 ……..46

Figure III.14 Séquence de malaxage du béton autoplaçant **…..**……..48

Figure III.15 Malaxeur de béton …….48

Figure III.16 La coupure par la scie de béton……..49

Figure III.17 Les éprouvettes effectués et cure de béton…….49

Figure III.18 Cône d'Abrams …...……..50

Figure III.19 Plaque métallique……...50

Figure III.20 Mesure et calcul du diamètre moyen…….50

Figure III.21 Mesure de T_{50} ……50

Figure III.22 Dimensions d'Entonnoir en V (V-funnel) et l'essai au laboratoire ……..51

Figure III.23 Dimensions de Boite en L et la mesure des hauteurs…….53

Figure III.24 Stabilité au tamis et la mesure du poids de laitance……...55

Figure III.25 La presse hydraulique équipée d'un affichage digital……56

Figure III.26 Exemple de rupture pour BAP-ESP 10% lors du 14jours……..57

Figure III.27 L'essai d'absorption capillaire ……..57

Figure III.28 Absorption d'eau par succion capillaire ……58

Figure III.29 Mesure de poids lors de l'absorption capillaire ……59

Figure III.30 Essai de porosité accessible à l'eau ……...59

Figure III.31 Diagramme des essais du BAP à l'état frais . . ……60

Figure III.32 Diagramme des essais du BAP à l'état Durci……61

Figure IV.1 étalement on fonction des taux des fines de la coquille d'œuf ……....65

Figure IV.2 étalements de (A) BAP-T 0% ;(B) 25% de BAP-ESP ;(C) 10% de BAP-ESA...66

Figure IV.3 Le $\mathbf{T_{50}}$ d'étalement on fonction des taux des fines de la coquille d'œuf …….67

Figure IV.4 Le Temps d'écoulement $\mathbf{T_{V\text{-}funnel}}$ on fonction des taux des fines de la coquille d'œuf ……68

Figure IV.5 Le Rapport (H2/H1) on fonction des taux des fines de la coquille d'œuf ……..69

Figure IV.6 La laitance (%) on fonction des taux des fines de la coquille d'œuf ……..70

Figure IV.7 Diagramme en colonne de résistance de compression de BAP-ESA en fonction du temps (jours) ……...72

Figure IV.8 Diagramme en colonne de résistance de compression de BAP-ESP en fonction du temps (jours) ……...74

Figure IV.9 comparaisons entre BAP-T, BAP-ESP et BAP-ESA au jeune âge (7jour)…….75

Figure IV.10 comparaisons entre BAP-T, BAP-ESP et BAP-ESA l'âge de (14jour)……75

Figure IV.11 comparaisons entre BAP-T, BAP-ESP et BAP-ESA au 28éme jours……...76

Figure IV.12 Résultat de d'essai de porosité (%) en fonction de taux de fines de coquille d'œuf…….77

Figure IV.13 Résultat de d'essai d'absorption capillaire (kg/m²) de différents taux de fines ESP en fonction de temps ($h^{0.5}$) ……...79

Figure IV.14 Résultat de d'essai d'absorption capillaire (kg/m²) de différents taux de fines **ESA** en fonction de temps ($h^{0.5}$) ……..79

Figure IV.15 Coefficient de sorption (kg/mm²/ $h^{0.5}$) en fonction de différents taux de fines ESA et ESA en comparaison avec BAPT (0%) ……..80

Liste des Tableaux

Tableau I.1 Variables influençant la capacité de remplissage (Khayat et Daczko, 2002)…...14

Tableau I.2 Variables influençant la capacité de passage (Khayat et Daczko, 2002)…….15

Tableau I.3 Variables influençant la stabilité (Khayat et Daczko, 2002)……16

Tableau I.4 Différents essai de propriétés du béton autoplaçant ……16

Tableau II.1 Les cinq premiers pays producteurs d'œuf au monde en 2020……...25

Tableau II.2 cinq premiers pays producteurs d'œufs en Afrique en 2012 (The Poultry Site,2014)……..26

Tableau II.3 exemples de composition de la coquille d'œuf et différence entre la couleur de la coquille d'œuf blanche et marron(beige)……..27

Tableau III.1 Nomenclature de différents BAP faits……...35

Tableau III.2 composition minéralogique du ciment ……..35

Tableau III.3 Composition chimique du ciment……..36

Tableau III.4 propriétés physiques et mécanique du ciment ……...36

Tableau III.5 propriétés physiques de la poudre de la coquille d'œuf non calciné ……38

Tableau III.6 Caractéristique du sable utilisé ……41

Tableau III.7 Caractéristique du gravier utilisé ……43

Tableau III.8 Caractéristique du superplastifiant utilisé (TEMPO-10) ……44

Tableau III.9 Les composantes du BAP-ESP formulés pour 1m³ ……46

Tableau III.10 les composantes du BAP-ESA formulés pour 1m³ ……...47

Tableau III.11 Les différents essais à l'état frais……49

Tableau III.12 Classes d'étalements ……50

Tableau III.13 Classes de Viscosité de T_{50} et $T_{V\text{-}Funnel}$……52

Tableau III.14 Classes de capacité de passage de L-Box……54

Tableau III.15 Classes de résistance de ségrégation……...55

Tableau IV.1 Essai préféré pour les caractéristiques du BAP ……63

Tableau IV.2 Les différents classe du BAP extrait de chaque essai ……..64

Tableau IV.3 La conformité aux propriétés de BAP est confirmée si les critères spécifiés satisfont aux limites indiquées ……64

Tableau IV.4 Résultat de l'essai d'étalement (Slump Flow) …….65

Tableau IV.5 Résultat du $\mathbf{T_{50}}$ de l'essai d'étalement ……..67

Tableau IV.6 Résultat du temps d'écoulement $T_{V\text{-}funnel}$ …….68

Tableau IV.7 Résultat du Rapport H2/H1 d'essai de L-Box ……..69

Tableau IV.8 Résultat du calcul de laitance (essai de stabilité au tamis) ……...70

Tableau IV.9 critères de la stabilité au tamis……...71

Tableau IV.10 Résultats de la résistance de compression pour BAP-ESA ……72

Tableau IV.11 Résultats de la résistance de compression pour BAP-ESP ……..73

Tableau IV.12 Résultats de l'essai de porosité accessible à l'eau pour le BAP-ESA ……77

Tableau IV.13 Résultats de l'essai de porosité accessible à l'eau pour le BAP-ESP …….77

Tableau IV.14 Résultats de l'essai de l'absorption capillaire pour le BAP-ESA……78

Tableau IV.14 Résultats de l'essai de l'absorption capillaire pour le BAP-ESP……78

Notations

BAP :	Béton autoplaçant
SCC :	Béton autoplaçant
ESA :	Egg shell ash (coquille d'œuf calcine) (cendre de coquille d'œuf)
ESP :	Egg shell powder (coquille d'œuf non calciné) (poudre de coquille d'œuf)
BAP-ESA :	Béton conçu de base de coquille d'œuf calciné
BAP-ESP :	Béton conçu de base de coquille d'œuf non calciné
BAPT :	Béton de référence (béton témoin) (béton de 0% de fines)
BO :	Béton ordinaire (béton vibré)
A :	La surface de l'éprouvette en contact avec l'eau, (m^2)
CaCO 3 :	Carbonate de calcium
CEM II 42.5 :	Ciment portland composé
C_3A :	Aluminate tricalcique
C_2S :	Silicate bicalcique
C_3S :	Silicate tricalcique
C-S-H :	Silicate de calcium hydraté
CO_2 :	Dioxyde de carbon
CaO :	Oxyde de calcium
$Ca(OH)_2$:	Hydroxyde de calcium
D_{max} :	Diamètre maximal des Granulats
D_{moy} :	Diamètre moyen
E/C :	Rapport Eau sur Ciment
E/F :	Rapport Eau sur Fines
E/L :	Rapport Eau sur Liant
g/G :	Rapport gravier 3/8 /Gravier 8/15

S/M:	Rapport sable/mortier
G :	Gravier
S :	Sable
G/S :	Rapport Gravier sur Sable
H :	Hauteur du spécimen
LCPC :	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
Mf :	Module de finesse
M_{air} :	Masse des spécimens à l'air immédiatement retiré de l'eau
M_{sec} :	Masse des spécimens a l'état sec
M_{eau} :	Masse des spécimens immergés dans l'eau
S :	Coefficient de sorptivité du spécimen ($kg/m^2/h^{1/2}$)
Sp :	Superplastifiant
Sp/L :	Superplastifiant/Liant
SSB :	Surface spécifique de Blaine
t :	Temps en heure
μ	Viscosité
T50	Temps d'écoulement pour que le diamètre d'étalement atteigne une valeur de 50 cm(sec).
T_{vf}	Temps d'écoulement en V-funnel
EFNARC:	The European Federation of National Associations Representing producers and applicators of specialist building products for Concrete
MSC	Matériaux Cimentaire supplémentaire

INTRODUTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GENERALE

Les bétons autoplaçants ont connu un intérêt croissant ces dernières années en raison de leur capacité à s'écouler et à se compacter de manière autonome, sans vibration. Ce type de béton offre de nombreux avantages en termes de facilité de mise en œuvre, de qualité des finitions et de performances mécaniques. Cependant, l'utilisation de matériaux traditionnels dans la composition des bétons autoplaçants soulève des préoccupations en matière de durabilité et d'impact environnemental.

Dans ce contexte, l'utilisation de coquilles d'œufs comme un sous-produit issu de l'industrie alimentaire, comme matériau de substitution de ciment, dans les bétons autoplaçants présente un double avantage. D'une part, cela permet de valoriser ce déchet, et d'autre part, offre la possibilité d'améliorer les propriétés mécaniques et la durabilité du matériau final.

L'objectif principal de ce mémoire de fin d'étude est d'étudier les propriétés béton autoplaçant contenant la poudre de coquilles d'œufs calcinées et non calcinées à l'état frais (capacité de remplissage, capacité de passage et la résistance de ségrégation) et à l'état durci tels que les résistances mécaniques et la durabilité de ce type de bétons.

Pour atteindre cet objectif, un programme expérimental a été réalisé, deux séries de bétons ont été fabriqué, la première série en substituant le ciment par la poudre de coquilles d'œufs (ESP) avec une surface spécifique de 3162 cm^2/g et la deuxième en substituant le ciment par la poudre de coquille d'œufs calciné (ESA) à 800°c, la préparation des échantillons de béton avec différentes proportions de (0%,5% ,10% 15%, 20%,25%). La méthode utilisée pour la fabrication de BAP est celle d'Okamura.

Cette recherche contribuera à l'enrichissement des connaissances sur les bétons autoplaçants et ouvrira de nouvelles perspectives pour une utilisation plus durable des coquilles d'œufs. Les résultats obtenus pourront être utilisés par les professionnels de la construction et de l'industrie des matériaux de construction pour concevoir des bétons plus respectueux de l'environnement, tout en répondant aux exigences de performance et de durabilité.

Ce travail est constituée de quatre chapitre, le premier chapitre est consacré à une présentation générale du béton autoplaçant ,ainsi que ses propriétés à l'états frais et l'états durci .de plus une variété de formulations et aussi présenté .Le deuxième chapitre résume une

reconnaissance générale sur la coquille d'œuf ,sa composition chimique et son effet sur les différents types de béton .La partie expérimentale est présenté dans le troisième chapitre qui englobe la caractérisation des matériaux utilisés et la formulation adoptée, ainsi que les différents essais effectués à l'états frais , à l'état durci et durabilité , nous avons analysé et interprété les résultats expérimentaux obtenus pour les différents essais réalisés au quatrième chapitre.

A la fin, nous terminons ce travail de recherche par une conclusion générale, qui rappelle les objectifs de cette étude et les principaux résultats obtenus ainsi que d'éventuelles recommandations et perspectives.

CHAPITRE I

LE BÉTON AUTOPLAÇANT
ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 Introduction

Le présent chapitre constitue une exploration approfondie du béton autoplaçant (BAP) et de ses applications dans le domaine de la construction. En tant que matériau innovant, le BAP à créer un intérêt considérable au sein de l'industrie du génie civil en raison de ses propriétés uniques et de ses avantages potentiels.

Ce chapitre vise à examiner en détail les caractéristiques du BAP, ses composants clés, ainsi que les aspects essentiels de sa formulation et de sa mise en œuvre.

I.2 Définition et historique

Le béton autoplaçant (BAP) est un type particulier de béton qui est fluide, c'est-à-dire il a la capacité de se consolider sous l'effet de la gravité seulement, de remplir tous les espaces étroits et de produire un béton dense et lisse lorsqu'il est placé dans un coffrage. Cette propriété particulière du béton autoplaçant est due à son excellente maniabilité et ouvrabilité à l'état frais.il présente également une homogénéité et une forte cohésion entre ses composants sans avoir aucune ségrégation.

Avec le développement rapide du secteur de construction et la réalisation des structures de forme complexe avec un ferraillages dense ainsi que les problèmes de durabilité rencontré qui présente un sujet d'actualité, cette situation a engendré la nécessité d'existence d'une nouvelle génération de béton pour résoudre ces problèmes

Dans les années 80, au japon à l'université de Tokyo, un certain Hajimé Okamura été en train de faire une étude pour avoir un béton fluide et homogène et a réussi de réaliser un prototype de en 1988, en utilisant des matériaux déjà au marché ; le résultat été satisfaisante, c'été un béton frais : auto compactable et un faible ratio d'eau/poudre, il a été nommé béton autoplaçant de haute performance. Plusieurs études ont été faite (Ozawa 1989, Okamura 1993 et Maekawa 1999) et depuis le béton a été connue dans tout le monde. **[1]**

I.3 Spécificité et Avantage du BAP

Le Béton autoplaçant se spécifie essentiellement par deux (sa fluidité et homogénéité) et on peut résumer d'autre comme suit **[2]** :

- Grande proportion en fines pour assurer la maniabilité et limiter les risques de ressuage et de ségrégation.
- Volume de pate important pour écarter les granulats les uns des autres et diminuer les Forces de frottements qui ont tendance limiter l'étalement du béton.

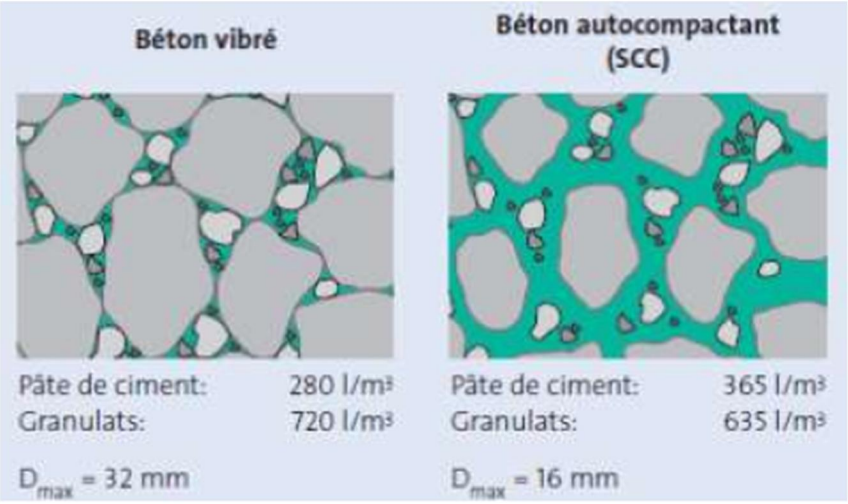


Figure I.1 Volumes relatifs de la pâte de ciment pour un béton vibré et un BAP **[3]**

- Ajouts de superplastifiant et d'agents de viscosité pour augmenter l'ouvrabilité du béton et réduire sa viscosité.
- Ajouts minéraux artificiel ou naturel
- Les gros granulats ont tendance bloquer le passage et interrompre l'écoulement du béton. (Pour les BAP le rapport massique gravier /sable est proche de 1 et le diamètre maximal du gravier est de 16mm **[4]**).

Les avantages du BAP sont nombreux, on peut les distinguer comme avantage technique et avantages d'lmpact socio-économiques, et on cite les plus important selon **[3,5]** :

- Facilité et rapidité dans la mise en œuvre du béton (coulage en un seul point, augmentation du débit de béton pompé) ;
- Bétonnage en milieux fortement ferraillés et ne nécessite pas de vibration ;
- Amélioration de la qualité des parements et de l'enrobage des aciers ;
- Permettre la réalisation de parements de grande qualité ;
- Souvent adoptés dans le domaine de la préfabrication ;
- Une diminution de la pénibilité des tâches ;
- Une réduction des risques d'accident ;
- Une réduction du cout de la main d'œuvre ;
- Compatibilité des matériaux et étanchéité des coffrages ;
- Absence de systèmes de vibration (intérieurs ou extérieurs) réduisant ainsi les couts et les nuisances sonores dans et du voisinage du chantier ;

L'utilisation d'un BAP est réellement plus économique que celle d'un béton ordinaire, malgré le cout cher des matières premières et celle des ajouts et superplastifiants.

I.4 Classification et Domaine d'application

Le concept de classement du BAP est relativement récent mais constitue un paramètre important dans l'élaboration de ces bétons. Car les béton autoplaçant pour les ouvrages en génie civil a une différentes formulation et paramètres à celui de préfabrication et du bâtiments ..cetera, le BAP peut être classé selon différents paramètres mais lu plus utilisé est celle l'EFNARC (De Schutter 2005) **[6]**:, le diamètre d'étalement au cône d'Abrams doit être compris entre 550 mm et 850 mm, il est divisé en trois principales catégories SF1, SF2 et SF3 selon la destination d'utilisation du béton autoplaçant comme elles sont définies au (Tableau III.12)

Le domaine d'application alors dépendra selon les classes et on peut les décrire comme suit :

- **SF1 :** pour les structures non ou peu ferraillées comme les plancher ou les dalles (béton coulé à partir du haut ; les structures coulées par système de pompage ; ainsi que les fondations profondes et toutes petites section
- **SF2 :** pour la majorité des applications, comme les ouvrages épais ou il y'a risques de ségrégation et tous ouvrages verticaux ou horizontaux (avec exclusion de ouvrages avec ferraillages complexe)
- **SF3 :** ce sout toutes les structures très fortement ferraillées et les structures de formes complexe ainsi que les applications verticales et celle coulé à partir du dessous de coffrages.

I.5 Constituants d'un béton autoplaçant

Les composantes du béton ordinaire (béton vibré) se sont : le ciment ; l'eau ; le sable ; le gravier ; l'air), le BAP à les mêmes constituants mais en rajoutant le superplastifiant et les additions minérales (les fines) avec modification de rapport E/P (Figure I.2)

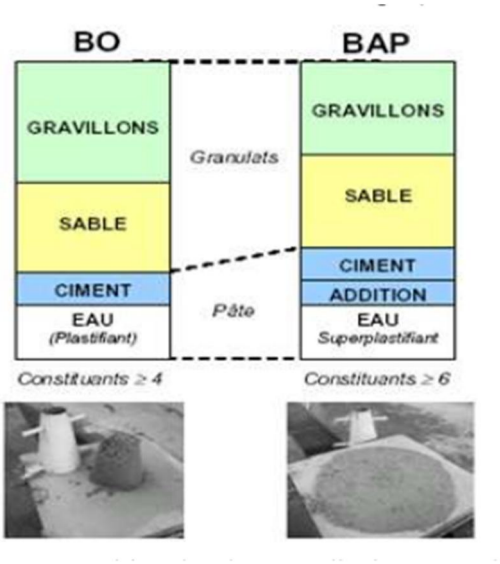


Figure I.2 La composition du béton ordinaire et le béton autoplaçant **[7]**

I.5.1 Le ciment

Tous les ciments qui conforment à la norme **[8]** NF EN 197-1 peuvent être utilisé pour la production du BAP.

I.5.2 L'addition minérale

Les Différentes addition minérales comme les fillers calcaires, la fumée de silice, les cendres volantes, laitier, pouzzolanes, et comme pour notre étude la poudre et la cendre de Coquille peuvent être ajoutées au BAP, comme substitution de ciment ou non afin d'améliorer certains de ces propriétés ou lui donner des propriétés particulières **[9]**,il permettent aussi d'améliorer les propriétés mécanique et la durabilité du béton ainsi que diminuer la chaleur dégagé lors de l'hydratation **[10]**.l'augmentation de dosage des fines comme substitution de ciment peut influencer l'écoulement .

I.5.3 Les granulats

Le béton autoplaçant peut être formulé avec des granulats roulés ou concassés comme le béton ordinaire, la forme du granulat peur influencer le comportant rhéologique ; la coefficient de frottement est plus faible entre les granulats roulés et concassés ;il faut noter que le diamètre maximale du gravier est de 16mm.**[4]** ,ou selon **[11]** D_{max} entre 10-20mm cela pour éviter tout risque de blocage lors du coulage .il faut mesurer l'humidité et le pourcentage d'absorption des granulats care ils sont très important lors de la formulation du béton.

I.5.4 L'eau

Généralement pour la confection des bétons l'eau utilisé est l'eau potable (du robinet) disponible pour le publique, l'eau utilisé pour la formulation du BAP exige seulement qu'e y'a pas d'excès d'impuretés car cela peut réduire les propriétés physique et corrosion des armatures.

I.5.5 Le superplastifiant

Pour obtenir la fluidité qui caractérise le BAP en rajoute le superplastifiant, ce dernier a pour but la défloculation les grains de ciment (Figure I.3) et Il est alors possible de mettre en œuvre des bétons très fluides, avec des rapports E/C faibles **[12]**, il faut noter que le dosage du superplastifiants de max est de 3% de poids de ciment (cela dépond de type d'adjuvant et sur sa fiche technique), l'augmentation du dosage du superplastifiant donne une meilleur dispersion des grains de ciment et augmente la fluidité et l'étalement (Figure I.4) et peut causer le ressuage.

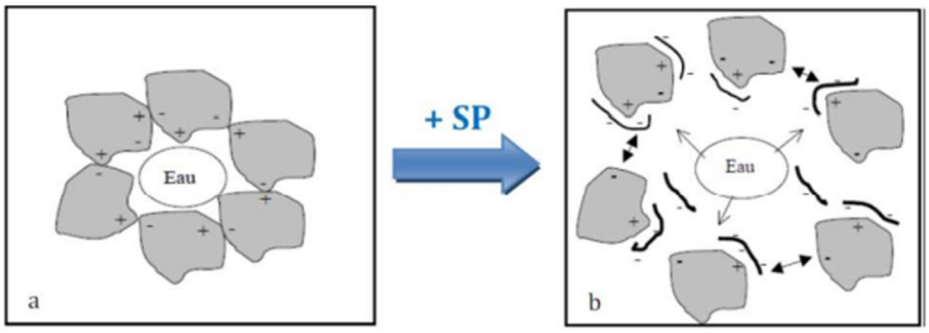


Figure I.3 La défloculation des grains de ciment par le superplastifiant **[13]**

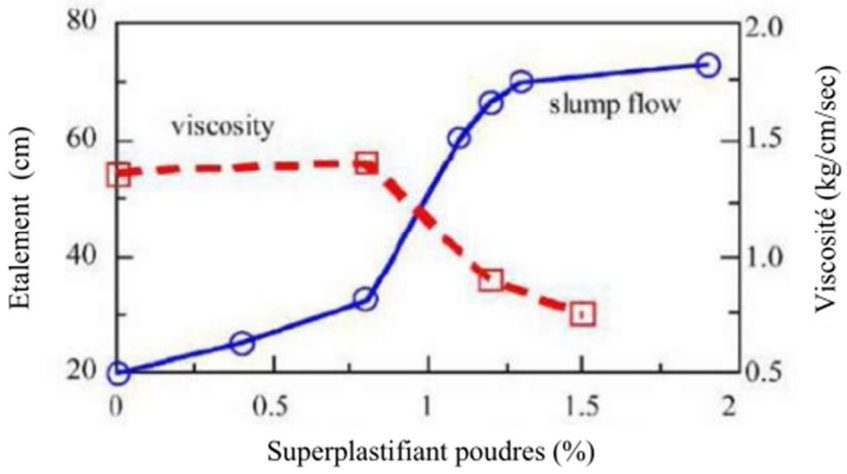


Figure I.4 Influence de la quantité du superplastifiant sur l'étalement et la Viscosité d'un béton **[14]**

On note certaines compositions du BAP nécessite des agents de viscosité qui sont des polysaccharides hydrosolubles pour diminuer la sensibilité du BAP frais vis-à-vis du ressuage et de la ségrégation (AFGC 2008) **[11]**.

Les agents de viscosité sont donc utilisés en même temps que les superplastifiants pour obtenir un béton autoplaçant.

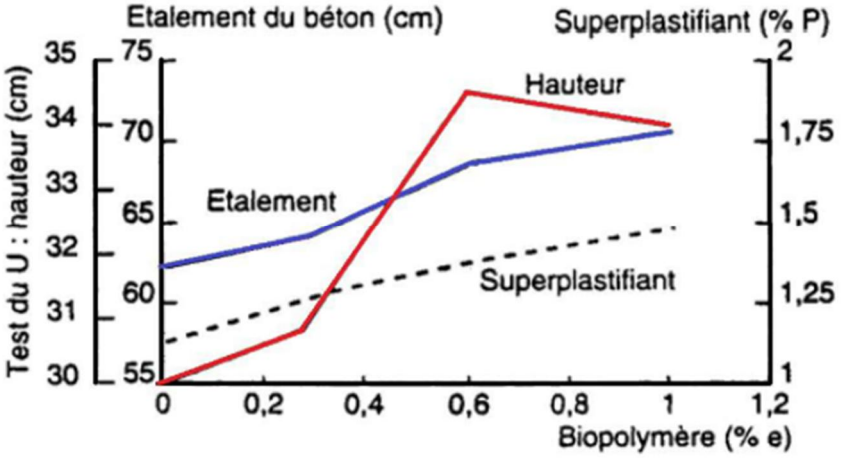


Figure I.5 Optimisation du dosage agent de viscosité – superplastifiant d'après (Tangtermsirikul et al. 1991) **[15]**

I.6 Concept et formulation du BAP

Le mélange de BAP est choisi pour atteindre les critères de performance requis pour le béton à l'état frais et à l'état durci. Le béton à l'état frais et à l'état durci. Comme dans le cas du béton vibré, le rapport eau/matériaux cimentaires complémentaires (w/cm) est l'un des paramètres fondamentaux du mélange qui régissent les propriétés, y compris la rhéologie, la résistance et de la durabilité du BAP, comme dans le cas du béton vibré normal, le E/C est l'un des facteurs clés fondamentaux qui régissent son comportement. Cependant, lors de la conception d'un SCC, un certain nombre de facteurs doivent être pris en considération dans une plus large mesure que le béton conventionnel, comme suit **[16]**:

- Les propriétés des matières premières disponibles localement, y compris les propriétés physiques des ajouts cimentaires, des ajouts minéraux et des agrégats.
- Une sélection appropriée des adjuvants chimiques afin de garantir une bonne compatibilité avec les ajouts cimentaires sélectionné.
- Et adapter les propriétés fraîches en fonction de la méthode de coulée (pompage, etc.), de la géométrie de l'élément coulé et de la disposition des barres de renforcement.

La conception des mélanges de BAP doit prendre en compte les propriétés à l'état frais et à l'état durci, en fonction de l'application concernée. La considération doit inclure des spécifications concernant le rapport des ajouts cimentaires et les fillers, la teneur en eau ou E/C, le volume de granulats grossiers, le rapport sable-gravier (G/S), ainsi que la teneur en air pour les spécifications relatives à la durabilité. **[16]** La sélection appropriée du type et des combinaisons d'adjuvants chimiques fait partie du processus de conception du mélange et dépend des caractéristiques d'écoulement requises pour l'application en question. En principe, trois approches de base en matière de pour la conception des mélanges SCC ont été utilisées :

- Le type de poudre (c'est-à-dire l'augmentation de la teneur en poudre et des fractions fines sous forme de cendres volantes, de laitier de haut fourneau ou de chaux-calcaire).
- Le type d'agent de viscosité (c'est-à-dire l'utilisation d'un adjuvant modificateur de viscosité approprié pour améliorer la stabilité du mélange)
- Et le type combiné (c'est-à-dire la combinaison des approches susmentionnées)

En principe, trois approches différentes ont été utilisées pour la production de BAP :

La première approche consiste à augmenter contenu de particules ultrafines par l'ajout des produits cimentaire ; Cette approche était principalement basée sur l'augmentation des matériaux cimentaires supplémentaires, y compris les cendres volantes, le laitier de haut fourneau ou la fumée de silice, et la teneur en matière de remplissage (type de poudre) (Sonebi et Bartos, 1999 ; Skarendahl, 2001) . La seconde approche a consisté à diminuer contenu en poudre et à incorporer un dosage modéré d'adjuvants modificateurs de viscosité afin de garantir une stabilité adéquate du mélange. D'autre part, la troisième approche consistait à incorporer des doses relativement modérées d'adjuvants modificateurs de viscosité et de matériaux cimentaires supplémentaires dans la conception des BAPs. La première et la deuxième approche ont été initialement utilisées au Japon et en Asie, tandis que la troisième a été employée en Amérique du Nord (ACI 237). Pour chacune de ces approches, le contenu en eau est choisi en conséquence pour garantir les propriétés requises.**[16]**.

Le principe et l'application des approche des approches sont :

I.6.1 Méthode japonaise ou Méthode Générale

Des chercheurs de l'Université de Tokyo Okamura et Ozawa **[17]** et Ouchi et al **[18]**. Le premier à proposer la méthode de préparation du béton autoplaçant **[19] [20]**.

La méthode japonaise de conception des BAP est une méthode relativement exigeante en termes de travail, mais elle permet d'acquérir une compréhension fondamentale de l'interaction des ingrédients du mélange. Cette méthode peut être résumée en trois étapes : test de la pâte, optimisation de la pâte de mortier et enfin ajustement des mélanges SCC. La teneur en gros granulats (< 20 mm) doit être de 50 % (rapport volumétrique gros granulats/volume solide du béton hors air). L'autre partie doit être la phase mortier, qui est composée de 40 % de sable (< 5 mm) et de 60 % de pâte de ciment (< 0,09 mm). Le rapport eau-poudre est supposé être de 0,9 - 1,0, en volume, en fonction des propriétés de la poudre et, enfin, du dosage en superplastifiant. Ainsi que le rapport eau-poudre final sont déterminés afin d'assurer l'ouvrabilité.

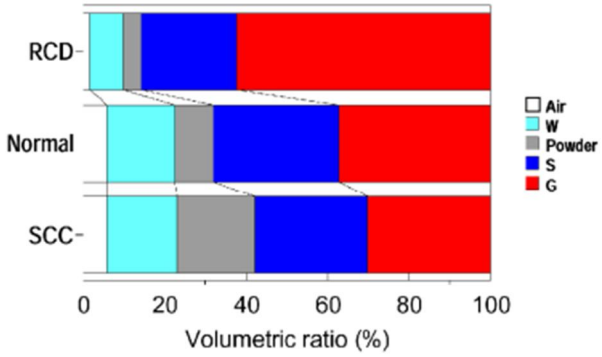


Figure I.6 Comparaison des proportions du mélange des composition BAP, béton ordinaire et béton compacté au rouleau **[21]**

I.6.2 Méthode Suédoise (CBI)

L'institut suédois de recherche sur le ciment et le béton **(CBI)** (Petersson et Billberg, 1999) **[22]** a proposé une méthode de conception du béton autoplaçant. Cette approche considère le béton comme une suspension d'une phase de granulats solides dans une phase de pâte visqueuse constituée par la poudre, l'eau et les adjuvants, en tenant compte de la teneur en vides des granulats, de l'effet des granulats sur la capacité de passage (risque de blocage) et des caractéristiques physiques du mortier fin. L'effet d'une fraction unique de granulats sur la capacité de passage est mesuré expérimentalement avec le test de la boîte en L (Bartos et al., 2002) **[23]** et le ratio de blocage doit être < 0,80.

I.6.3 Autres approches pour la conception du BAP

D'autres approches ont été rapportées dans la littérature. La méthode LCPC du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées en France est basée sur les modèles de

suspension solide pour prédire la densité de tassement de tous les constituants granulaires secs (Sedran et de Larrard, 1999) **[24]**.

La méthode de l'Université Collège London a été développée sur la base d'essais de mortier (Domone, 2006) **[25]**. D'autre part, la méthode de l'Icelandic Building Research Institute (Wallevik et Nielsson, 1998) **[26]** est basée sur les propriétés rhéologiques du BAP (limite d'élasticité et viscosité plastique).

La méthode des plans d'expérience (DoE) a été utilisée pour optimiser les mélanges SCC en étudiant l'influence des ingrédients du mélange sur les paramètres rhéologiques, la capacité de remplissage, la capacité de passage, la ségrégation et les performances mécaniques (Khayat et Ghezal, 1999 **[27]** ; Sonebi et al., 2007a**[28]**, b**[29]** ; Sonebi, 2004a**[30]**,b**[31]**).

I.6.4 Procédures d'ajustement de la composition du mélange du BAP

Si nécessaire, des ajustements doivent être apportés à la composition du mélange pour satisfaire aux spécifications mécaniques et d'ouvrabilité. Une fois que toutes les exigences sont satisfaites, le mélange doit être testé en grandeur réelle dans la centrale à béton et, si nécessaire, sur le chantier pour valider les propriétés à l'état frais et durci, compte tenu des conditions de mélange et de travail disponibles. Si les performances requises ne sont pas atteintes, il faut envisager de revoir la conception du mélange. Les actions suivantes peuvent être appropriées, en fonction de la source du problème (The European Guidelines, 2005) **[32]** :

- Ajustez le rapport eau/poudre et testez l'écoulement et les autres propriétés de la pâte ;
- Utiliser et tester différents types d'ajouts minéraux ;
- Ajuster les proportions d'agrégats fins et le dosage du superplastifiant ;
- Envisager l'utilisation d'un agent modificateur de viscosité pour réduire la sensibilité du mélange ;
- Ajuster la proportion ou la granulométrie des agrégats grossiers et le rapport entre les agrégats fins et les agrégats grossiers.

Quelle que soit l'approche de la conception du mélange, des essais en laboratoire doivent être utilisés pour vérifier les propriétés de la composition initiale du mélange par rapport aux caractéristiques et classes spécifiées. La performance de la formulation proposée peut être validée par des lots d'essai **[33]**.

I.7 Caractérisation du BAP à l'état frais

Le BAP est connu par son état frais et d'après (Comité 237 de l'ACI) **[34]**. L'ouvrabilité des BAPs frais peut être divisée en trois propriétés clés :

- Capacité de remplissage : il s'agit de la capacité du BAP à s'écouler et à remplir complètement tous les espaces à l'intérieur du coffrage sous son propre poids.
- Capacité de passage : il s'agit de la capacité de la BAP à s'écouler à travers des ouvertures étroites telles que les espaces entre les barres d'armature en acier et entre les barres et le coffrage sans entrave et sous son propre poids.
- Résistance à la ségrégation : le SCC doit répondre aux niveaux requis de propriétés, de capacités de remplissage et de passage, tout en conservant une composition uniforme tout au long du processus de transport et de mise en place.

En ce qui concerne la capacité de remplissage, la capacité de passage et la stabilité, certaines des nombreuses variables qui influencent les propriétés fraîches souhaitées de la BAP sont indiquées dans le tableau ci-dessous **[34] :**

Tableau I.1 Variables influençant la capacité de remplissage (Khayat et Daczko, 2002) **[35]**.

	Variables d'application	**Influence**
Capacité de Remplissage	- Niveau de renforcement - Complexité de la forme de l'élément. - Épaisseur de la paroi - Longueur de l'élément	- Un niveau de renforcement élevé empêche l'écoulement. - Les formes complexes sont plus difficiles à remplir. - Les sections étroites empêchent l'écoulement - Les longues distances sont plus difficiles à remplir.
	Variables de mélange	**Influence**
	- Niveau de fluidité (Slump flow) - Niveau de viscosité	- Une fluidité élevée améliore la capacité de remplissage - Une viscosité trop élevée peut limiter la capacité de remplissage.

Tableau I.2 Variables influençant la capacité de passage

(Khayat et Daczko, 2002) **[35]**

	Variables de mélange	**Influence**
Capacité de Passage	- Niveau de renforcement	- Une armature trop serrée peut provoquer un pontage des agrégats et un blocage du béton.
	- Étroitesse des coffrages	- Les sections étroites des coffrages peuvent provoquer des pontages d'agrégats et des blocages du béton.
	Variables de mélange	**Influence**
	- Niveau de fluidité (étalement -slump flow)	- Une faible fluidité ne peut pas permettre une déformabilité suffisante, tandis qu'une fluidité trop élevée peut entraîner une instabilité et une séparation du mélange.
	- Niveau de viscosité	- Doit être évalué en fonction du niveau de fluidité
	- Taille des agrégats grossiers	- Des granulats plus grossiers peuvent augmenter la tendance au blocage.
	- Contenu en agrégats grossiers	- Un contenu plus élevé en agrégats grossiers peut augmenter la tendance au blocage.

Tableau I.3 Variables influençant la stabilité (Khayat et Daczko, 2002) **[35]**

	Variables de mélange	**Influence**
Résistance à la Ségrégation	- Technique de mise en place	- Une énergie de placement élevée peut entraîner la séparation des matériaux
	- Niveau de renforcement	- L'écoulement à travers l'armature peut provoquer la séparation des matériaux (en conjonction avec la perte de capacité de passage).
	- Hauteur d'élément	- L'augmentation de la hauteur de la section accroît le risque de tassement/séparation des agrégats et de saignement.
	Variables de mélange	**Influence**
	- Niveau de fluidité (étalement -slump flow)	- Plus la fluidité augmente, plus la stabilité diminue. (Un BAP très fluide doit être proportionnée pour être stable)

- Les différents essais pour chaque propriété sont Résumé au (Tableau I.4) **[87]**

Tableau I.4 Différents essai de propriétés du béton autoplaçant **[88]**

Propriétés à l'état frais	**Essais**
Capacité de remplissage	- Etalement (Slump flow) - T_{50} - Orimet - V-funnel (entonnoir en V)
Capacité de passage	- J-Ring - L-Box - U-Box
Résistance au ségrégation	- Stabilité au Tamis - Colonne de tassement
Viscosité	- V-funnel - Orimet

I.8 Caractérisation du BAP à l'état durci

Le BAP diffère du béton vibré normal par ses propriétés à l'état frais. A l'état durci, ses propriétés sont très similaires et dépendent distinctement des détails de la formulation. Plusieurs essais peuvent être faites sur béton autoplaçant comme la résistance à la compression qui est l'aptitude de résister à une pression verticale, et la résistance à la traction qui est la capacité d'un matériau du résister à des charges du différent intervalle de temps.

.

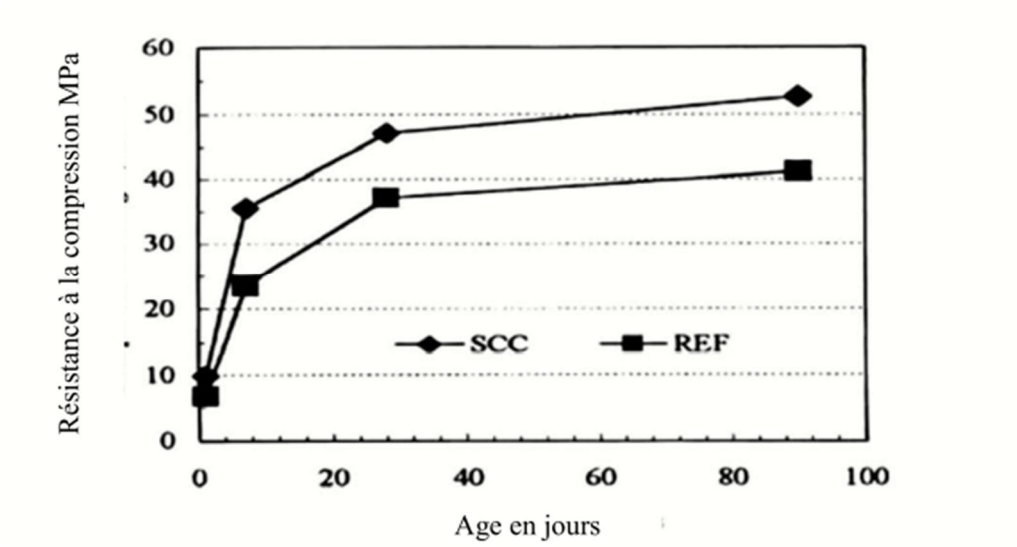


Figure I.7 Evolution de la résistance mécanique d'un BAP et d'un BV(REF) correspondant (Gibbs & Zhu 1999). **[36]**

Un BAP avec un rapport E/L similaire d'un Béton ordinaire, aura en général une résistance légèrement plus élevée celle du BO (Figure I.7)., cela est dû à l'absence de vibration qui donne une meilleure interface entre les agrégats et la pâte durcie, ainsi que la traction des bétons autoplaçant est clairement supérieure à celle des bétons vibrés (Klug &Holschemacher 2003) **[37]** .

Le retrait d'un béton ou mortier est la diminution de volume de celui-ci consécutive à l'évaporation de l'eau incorporée dans la masse, pour les déformations à jeune âge (retrait plastique), plusieurs travaux ont comparé ce type de retrait du BAP à celui du béton vibré (Pentti 1999**[38]** ; Turcry 2003**[39]**). Observent des retraits plastiques deux à trois plus grands pour les BAP que pour les bétons vibrés (Figure I.8).

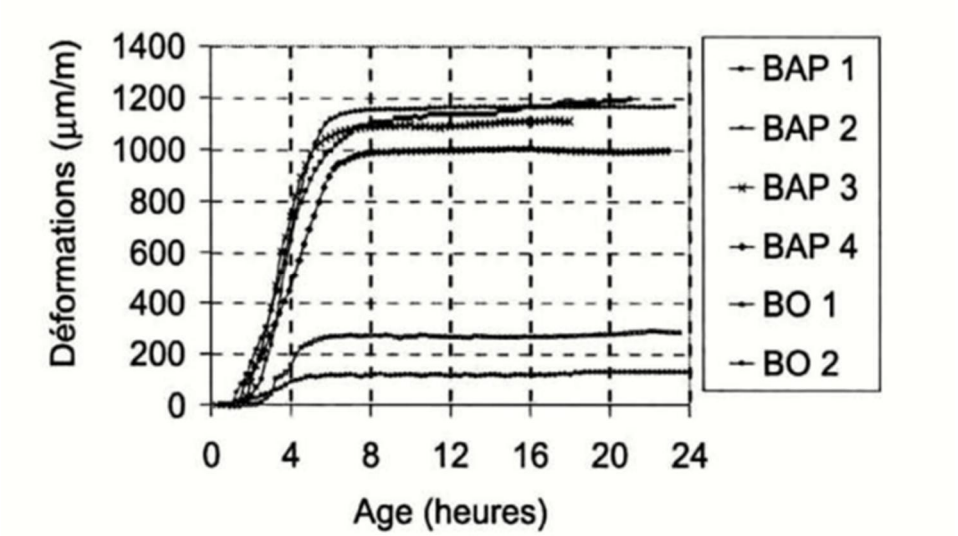


Figure I.8 Retrait plastique des formules de BAP et de béton ordinaire (Turcry 2003) **[39]**

(Turcy 2003) a remarqué sur les résultats des recherches, que l'amplitude max du retrait plastique des BAP est de cinq fois supérieure à celle des bétons vibrés (Figure I.8). Cela est peut-être expliquer par deux paramètres de formulation qui changent d'un type de béton à l'autre : un rapport Eau/Fines (E/F) plus faible pour les BAP et le dosage en superplastifiant plus fort qui retarde leur prise.

On peut dire, pour réduire l'effet du retrait plastique, il est mieux de choisir une addition dont la demande en eau est faible afin de limiter le dosage en superplastifiant.

I.9 La durabilité du BAP

La durabilité du béton en ouvrages est caractérisée par sa capacité à conserver les fonctions d'usage, pour lesquelles il a été conçu, une mauvaise durabilité est due à une dégradation par conséquent de facteurs externes ou une manifestation à l'intérieur du béton. Les différents facteurs peuvent être physiques, chimique ou mécaniques. La durabilité est relative à la nature de liant et aussi liée aux pores (Figure I.9), et leur type selon **[40]**.

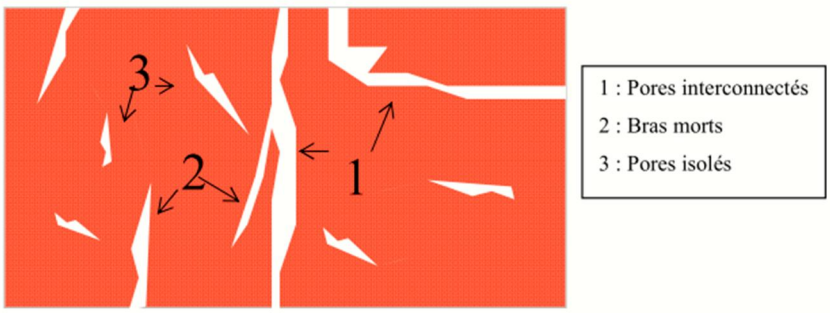


Figure I.9 Représentation schématique d'un solide poreux et différent Type des pores. (Ollivier & Vichot 2008) **[40]**

Selon [**40]** plusieurs essais peuvent être faites pour définir la durabilité le BAP du on peut citer : les essais de porosité accessible à l'eau, absorption capillaire, les essais de perméabilités à l'eau et du gaz, la diffusion des ions chlorures, la carbonatation).



Figure I.10 Essai d'absorption capillaire sur BAP-ESP et BAP-ESA de notre thèse

I.10 BAP à base de fillers

La pratique courante pour obtenir un comportement d'auto-consolidation dans les BAPs est la limitation de le contenu en gros granulats, la réduction de la taille maximale des granulats et l'utilisation de SP (Khayat, 1999) **[41].** L'une des conséquences de la réduction de la teneur en gros granulats est l'augmentation de la teneur en mortier dans le mélange. En raison de l'augmentation du volume de la pâte, le contenu en poudre dans le BAP est considérablement plus élevé que dans le béton traditionnel. Une teneur élevée en ciment dans le béton peut entraîner des problèmes dans certains types de structures, notamment une augmentation du potentiel de retrait, du coût de la construction et de la chaleur d'hydratation (Yadegaran et al., 2007 **[42]).** D'une part, il est nécessaire d'augmenter la teneur en mortier pour obtenir une SCC de meilleure qualité et, d'autre part, l'augmentation du mortier à base de ciment entraîne certains problèmes techniques. C'est pourquoi la poudre a été introduite pour résoudre une partie des problèmes **[43].**

Les matériaux cimentaires supplémentaires (MSC) couramment utilisées comprennent les cendres volantes de charbon, la poudre de calcaire, les argiles calcinées, le verre broyé et le laitier de haut fourneau (Hossain and Lachemi, 2008**[44]** ; Boukendakdji et al., 2009 **[45]** ; Topcu and Uygunoglu,2010**[46]** ; Liu, 2011**[47]** ; Sivakumar et al., 2011**[48]**). Le métakaolin a également été introduit dans le mélange du BAP à hauteur de 30 % du poids du ciment (Kannan et Ganesan, 2012) **[49]**.

Les poudres affectent de manière significative l'exigence de SP, la déformabilité, la capacité de remplissage et la résistance du béton (Turkel et Kandemir, 2010) **[50]**. Par exemple, certains additifs minéraux, y compris les cendres volantes, peuvent augmenter l'ouvrabilité, la durabilité et les propriétés à long terme du béton (Malhotra et Mehta, 2002) **[51]**. Par conséquent, l'application de ces additifs minéraux dans le BAP permet de réduire son coût et d'augmenter ses performances à long terme (Ghezal et Khayat, 2002**[52]**) **[41]**.

I.11 Procédure de fabrication du BAP

Le béton autoplaçant est un béton fluide et homogène, pour être utiliser au chantier ou aux différentes applications de constructions, il y'a des procédures à suivre :

I.11.1 Mélange et dosage

La production fiable et rentable de BAP ne nécessite pas de modifications significatives du stockage, de la manipulation et du dosage des matières premières par rapport à la production de Béton ordinaire, à condition que les bonnes pratiques générales existantes soient respectées. Les BAPs peuvent nécessiter un plus grand contrôle de la teneur en eau pendant le stockage des agrégats et le dosage du béton, en particulier dans le cas des mélanges Béton auto plaçant à « haute performance ». Si un capteur automatique de teneur en eau est utilisé, il est conseillé de vérifier sa précision et d'étalonner le système plus souvent que pour le béton vibré. Le contrôle de la teneur en eau d'un mélange BAP s'étend aux camions-malaxeurs ou aux agitateurs utilisés pour mélanger et distribuer le Béton auto consolidant frais de la même manière qu'a celle du BO. Il est essentiel d'inclure dans la teneur en eau d'un lot toute l'eau qui peut rester dans le tambour d'un camion-malaxeur après avoir été lavée. **[53]**

La bétonnière elle-même est un élément clé du processus de production du béton. L'importance du processus de malaxage a eu tendance à être sous-estimée pour le mélange du béton vibré et les difficultés techniques pratiques ont limité la recherche sur les performances des malaxeurs à béton. Il est désormais admis que des mélanges SCC de proportions et de types de matériaux constitutifs identiques peuvent avoir des propriétés différentes, tant à l'état frais qu'à l'état durci, simplement parce qu'ils ont été produits dans des malaxeurs différents, ou dans le même malaxeur mais en utilisant des séquences de chargement et des durées de malaxage différentes. Outre les facteurs décrits ci-dessus, la taille du lot par rapport au volume utile maximal du malaxeur a un effet sur les propriétés du mélange produit, tant à l'état frais qu'à l'état durci. **[53]**

Il est essentiel que les performances d'un mélange de laboratoire satisfaisant soient vérifiées dans l'usine de production à grande échelle qui sera utilisée. L'efficacité du mélange est susceptible de varier et le processus de mélange jugé approprié en laboratoire peut devoir être ajusté pour une production optimale à grande échelle dans une usine donnée. Les essais de malaxage et la production de maquettes continueront à jouer un rôle important dans la conception des mélanges et la production de béton cellulaire pour des projets plus importants. Les essais de malaxage et la production d'éléments « maquettes » continueront à jouer un rôle important dans la conception des mélanges et la production du BAP pour des applications plus importantes pendant un certain temps, malgré les progrès réalisés dans le développement des mélanges. **[53]**

I.11.2 Transport

Le transport de béton frais sur de plus longues distances, généralement en dehors du chantier, se fait principalement par camion-malaxeur ou par des versions plus simples faisant office d'agitateur. Les conditions de transport qui influencent les propriétés des mélanges vibrés traditionnels frais de faible consistance s'appliquent également aux SCC frais. Le transport réussi de SCC frais, en particulier sur de grandes distances, exige le maintien d'un niveau adéquat d'auto-compactibilité tout au long de la période allant de la fin du mélange à la fin de la mise en place. Pour de nombreuses applications, le BAP frais typique est susceptible de conserver ses propriétés fraîches pendant 45 minutes. **[53]**

Le transport de SCC frais pendant des périodes plus longues dans des environnements plus chauds nécessite des mesures techniques spéciales en plus d'un mélange modifié. Ces mesures peuvent inclure le re-malaxage du lot, avec l'ajout d'un nouvel adjuvant juste avant la mise en place, le refroidissement du mélange frais par l'ajout de glace pilée pendant le malaxage initial, etc.

I.11.3 Mise en œuvre

L'une des principales caractéristiques du Béton autoplaçant frais est sa capacité de remplissage, c'est-à-dire sa capacité nettement améliorée à s'écouler sous son propre poids. En fonction d'un certain nombre de facteurs tels que le taux de livraison, la géométrie des éléments et des armatures, la hauteur de levage ainsi que la capacité de remplissage du béton lui-même, le BAP frais est capable de s'écouler sur plus de 10 m sans ségrégation. **[53]**

Le pompage du béton est une méthode courante pour le transport et la mise en place sur le site. Normalement, le processus de pompage est plus facile avec le BAP (Figure

I.11). La mise en place du béton par pompage dans le coffrage par le bas est simple lorsque l'on utilise les bétons autoplaçants. Cette méthode est impossible avec le béton frais ordinaire car il est beaucoup moins maniable. **[53]**



Figure I.11 Pompage du béton autoplaçant **[54]**

I.11.4 Coffrage

Le Béton vibré est temporairement liquéfié par les vibrations, et les joints du coffrage sont conçus pour être parfaitement étanches afin d'empêcher la fuite du coulis. Au début du développement du BAP, on s'est inquiété de la grande fluidité du béton frais qui, pensait-on, pouvait conduire à une fuite potentiellement plus importante de la pâte du coffrage, d'où la nécessité d'améliorer l'étanchéité entre les parties du coffrage modulaire typique. Un mélange SCC frais typique possède une cohésion interne suffisante pour empêcher la fuite de la pâte ou du mortier fin à travers les joints de coffrage standard. La réduction des fuites dans le cas du bétons autoplaçant entraîne une réduction des défauts inesthétiques sur les surfaces du béton durci et un béton durci avec des coins et des arêtes mieux définis et plus nets. La grande capacité de remplissage et la tendance à un comportement « liquide » du béton autoplaçant frais ont automatiquement régler le problème du structure complexe trop ferraillés. **[53]**

I.11.5 Cure de BAP

L'augmentation de la teneur en particules fines et la densité de particules plus faible qui résulte une microstructure plus cohésive dans le BAP que dans le BO. Cela limite la

migration et la perte d'eau au cours des premiers stades de la prise et du durcissement du béton autoplaçant. Certaines données limitées suggèrent que, pour cette raison, la performance d'un mélange de béton autoplaçant durci typique est peut-être moins sensible à la qualité de la cure que celle du béton vibré, et que la résistance à la compression in situ du BAP peut être moins dépendante de la cure. Ce dernier fraîchement mis en place peut être "auto polymérisable". Bien que cela puisse indiquer qu'il y a un moindre besoin de protection pendant la cure, les preuves n'étaient liées qu'aux mélanges BAP examinés et il est donc conseillé d'appliquer les bonnes pratiques de cure établies pour le béton conventionnelle au béton auto plaçant. **[53]**

I.12 Conclusion

Le béton autoplaçant est un béton fluide et homogène, sa formulation est spéciale (ciment, sable, gravier, eau, superplastifiant) et ses propriétés (capacité de remplissage ; capacité de passage, et résistance de la ségrégation dépend de plusieurs critère (diamètre, superplastifiant, type de liant et poudre et caractéristique…etc.) et plusieurs essai peuvent être faites en états frais (essai d'étalement ,V-funnel ;L-box …etc.) et à l'état durci (résistance à la compression et compression ,la traction et le retrait) et essai du définir la durabilité pour BAP (carbonatation, porosité accessible ,absorption capillaire , perméabilité de gaz et eau, et ions chlorure..etc.)

Pour avoir un bon béton autoplaçant il est préférable d'ajouter des filler (pouzzolanique et non pouzzolaniques) (laitier, fines calcaire …etc.) et dans notre cas on a utilisé la poudre et la cendre de la Coquille d'œuf car elle a des propriétés similaires aux fines de calcaire, et le prochain chapitre on va parler profondément de la coquille d'œuf.

CHAPITRE II

LA COQUILLE D'ŒUF

II.1 Introduction

L'exploitation des matériaux locaux considérés comme des déchets, dans la fabrication des matériaux de construction, a toujours été une préoccupation d'autant plus qu'elle contribue à une économie dans le domaine de construction.

Ce chapitre a pour but de présenter la coquille d'œuf, le déchet utilisé comme substitution du ciment partielle dans notre béton, de bien définir sa composition chimique et son influence sur les diffèrent type de béton et mortier.

II.2 La coquille d'œuf

La coquille d'œuf (Figure II.1) est l'enveloppe externe minéralisé qui recouvre les amniotiques comme celle de la poule, et cette dernière est le déchet organique d'aménagement le plus abondant dans le monde, et avec l'augmentation continue du production (tableau II.1) **[55]** des œufs dans le monde avec de croissance annuelle estimer à 3 % selon l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO-2007), l'Algérie est l'un des pays le plus producteur d'œuf en Afrique avec de 310000 tonnes par année **[55]** (tableau II.2),

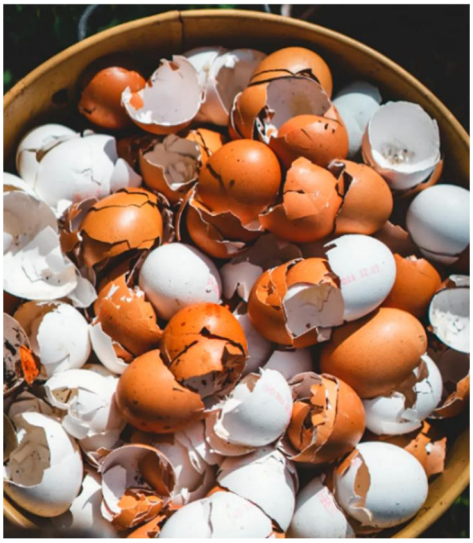


Figure II.1 la coquille d'œuf **[57]**

Tableau II.1 Les cinq premiers pays producteurs d'œuf au monde en 2020 **[55]**

Pays	Nombre d'œufs produits en tonnes (milliards)
Chine	466
Etat unis	109
Inde	95
Mexique	57
Brésil	54

Tableau II.2 cinq premiers pays producteurs d'œufs en Afrique en 2012 (The Poultry Site,2014) **[56]**

Pays	**Nombre d'œufs produits en (tonnes)**
Nigeria	640000
Afrique du sud	535000
Égypte	310000
Algérie	308600
Maroc	272000

Selon des études, la production de déchets de coquilles d'œufs s'élève à 150 000, 190 000 et 11 000 tonnes par an aux États-Unis, en Inde et au Royaume-Uni, respectivement. Aux États-Unis, les entreprises se débarrassent des déchets de coquilles d'œuf dans des décharges, ce qui leur coûte environ 100 000 dollars par an **[58].** Dans certains pays, on ne veut pas jeter les coquilles d'œuf dans les décharges (Figure II.2) parce que la membrane qui est attachée aux coquilles attire la vermine et provoque la propagation de maladies. Les coquille d’œuf Sont considérés comme dangereux selon les réglementations de la Commission européenne. L'utilisation de déchets d'œuf, contribuera à créer un environnement durable en minimisant les déchets solides. La consommation de d’œufs a laissé des grandes quantités de déchets qui ne sont pas encore valorisé dans notre pays, c’est ce que cette étude tiendra à changer.



Figure II.2 les déchets de coquilles d'œufs qui ont été envoyés dans les décharges d'Edmonton, au Canada en 2017 **[59]**

II.3 la composition de la coquille d'œuf

La coquille d'œuf est connue pour être une surface lisse, ce qui est souhaitable par rapport aux coquilles d'œuf rugueuses qui se fracturent plus facilement.

Elle est composée à 94% de calcite (CaCO3), à 1% de carbonate de magnésium, à 1% de phosphate de calcium et enfin à 4% de matière organique. D'autre part, la couleur d'une coquille d'œuf n'indique pas la quantité de carbonate de calcium, bien que 96-97% de carbonate de calcium dans les coquilles brunes avec 4% de matière organique et 94% de carbonate de calcium dans les coquilles blanches avec 6% de matière organique. La coquille d'œuf est constituée de calcite durcie et d'une membrane abondante en protéines. Elle représente environ 12 % du poids total de l'œuf. Un œuf est constitué de 98 % de matière sèche, dont 93 % de cendres, 5 % de protéines brutes et enfin 2 % d'eau. **[60]**

De nombreux facteurs influencent la qualité de la coquille d'œuf, notamment l'adéquation des nutriments, les problèmes de santé du troupeau, les conditions environnementales et l'élevage. En outre, le taux de contrôle du poids de l'œuf contribue également à une bonne qualité de la coquille et cela ne dépend pas du fait qu'une coquille épaisse soit forte. Parfois, une coquille plus fine est plus résistante qu'une coquille plus épaisse. Ce fait est dû à la forme et à l'organisation des composants organiques et inorganiques de la coquille. (Gary et al. 2004) **[61]**.

Tableau II.3 exemples de la composition de la coquille d'œuf et la différence entre la coquille d'œuf blanche et marron(beige) **[62]**

	White eggshell powder	Brown eggshell powder
Moisture (%)	0.46	0.20
Protein (%)	3.92	5.04
Ash (%)	94.61	94.28
Fat (%)	0.35	0.08
Calcium (%)	34.12	33.13
Magnesium (%)	0.29	0.36
Phosphorous (%)	0.04	0.07
Potassium (%)	0.03	0.04
Sodium (%)	0.05	0.04
Copper (ppm)	<1ppm	<1ppm
Iron (ppm)	22ppm	<1ppm
Manganese (ppm)	<1ppm	<1ppm
Zinc (ppm)	<1 ppm	<1ppm

II.4 Coquille d’œuf comme substitution de ciment

Le ciment est le deuxième matériau le plus consommé quotidiennement dans la vie humaine, après l'eau. Il est indispensable à la croissance socio-économique et au développement des pays. La fabrication du ciment consomme énormément d'énergie. Elle est également une cause majeure de problèmes environnementaux et représente environ 5 % des émissions mondiales de dioxyde de carbone, L'utilisation de sous-produits et de déchets industriels pour remplacer partiellement le ciment permettra de réduire les émissions de dioxyde de carbone dues à la production de clinker, de réduire la consommation d'énergie en produisant moins de clinker et de faciliter la gestion des déchets. Les cendres volantes font partie des sous-produits de la combustion du charbon. L'utilisation de matériaux cimentaires supplémentaires (MCS) tels que les cendres volantes sera également bénéfique pour les aspects écologiques et technologiques. **[63]**.

Les coquilles d'œuf sont l'une des sources de carbonate de calcium ($CaCO_3$), qui peut remplacer le calcaire. Il a été conclu que les coquilles d'œuf contiennent 96-97% de $CaCO_3$, dont 3-4% de matière organique **[64]**. Les coquilles d'œuf contiennent une forme pure et plus stable de $CaCO_3$ appelée calcite, alors que le calcaire peut contenir des impuretés telles que du sable, de l'argile et d'autres minéraux, Le calcaire sous forme de poudre peut être utilisé dans de nombreuses applications, notamment comme filler dans le ciment, le béton, les briques **[63]**, alors on peut utiliser la coquille d’œuf dans le cas de génie civil, pour les mêmes application de calcaire et dans le bâtiment comme matériau de construction ou comme ajout ou comme substitution partiel du ciment .



Figure II.3 a) coquille d’œuf, b) coquille d’œuf non calciné (ESP) ; c) coquille d’œuf calcinés (ESP) [**65]**

La coquille d'œuf peut être utilisé en tant que poudre (non calciné) ou cendre (calciné), chacune a sa propre préparation nécessaire afin d'être prête utilisé comme substitution de ciment ,Cependant, il est rapporté qu'à 900°C, la coquille d'œuf (ESA) entière est complètement décomposée en CaO avec une forte perte de poids due à la décomposition de la calcite et d'autres matières organiques incrustées dans la coquille d'œuf **[55] ,** La structure de la coquille d'œuf étant composée de carbonate de calcium ($CaCO_3$), elle peut être décomposée en CaO et CO_2 par chauffage Selon l'eqution suivante

- $CaCO_{3(s)} \longrightarrow CaO_{(s)} + CO_{2(g)}$ **[66]**
- $CaO_{(s)} + H2O_{(L)} \longrightarrow Ca(OH)_2$ (s) (en milieu humide) **[55]**

La poudre de coquille d'œuf doit étre tamisé par tamis de (75-90µm) avant utilisation. **[55]**

Selon des études les coquilles d'œuf se sont avérées être de bonne qualité pour réagir avec d'autres matériaux par le test d'activité. L'ajout de poudre de coquille d'œuf au ciment Portland accélère la réaction d'hydratation en réagissant avec le silicate tricalcique (C_3S) (Figure II.4) et influence également le produit d'hydratation de la pâte de ciment en fournissant des sites de nucléation **[59]**.

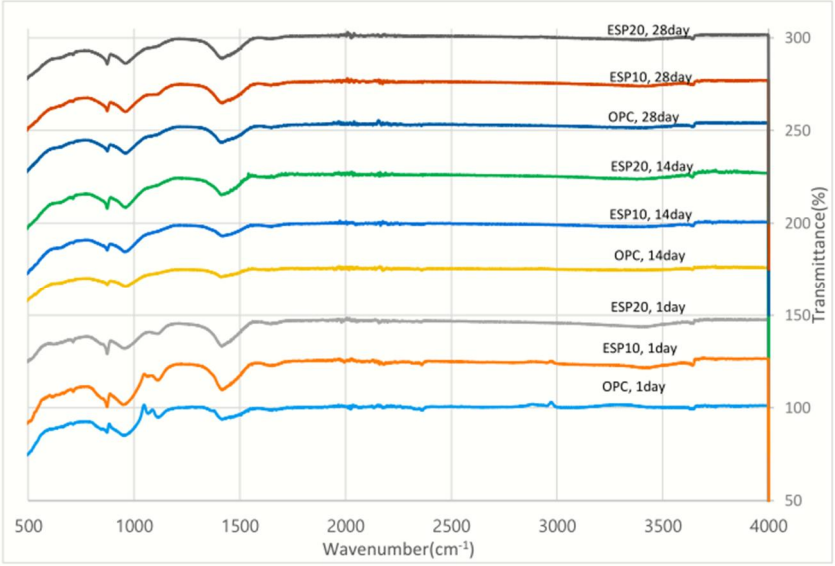


Figure II.4 Résultats FT-IR des pâtes de ciment [**59]**

Il faut noter Les résultats des études faites par (M.O.A. Mtallib and A. Rabiu 2009) **[67]** ont montré que l'ajout d'ESA au ciment Portland ordinaire (OPC) diminue le temps de prise du ciment Ordinaire portland (CEM I). Les conclusions tirées sont les suivantes : l'ESA est un accélérateur ; plus la teneur en ESA est élevée, plus le temps de prise est rapide ; toutes les teneurs en coquille d'œuf calciné utilisées dans cette étude satisfont aux exigences de temps

de prise de la norme BS 12 :1991, tant pour le temps de prise initial que pour le temps de prise final. Il est donc recommandé d'utiliser l'ESA comme accélérateur dans le béton. **[67]**

II.5 Influence de poudre et cendre de coquille d'œuf sur propriétés du béton

Comme la coquille d'œuf peut remplacer le calcaire et elle est considéré matériaux cimentaire supplémentaire, donc elle peut être utilisé comme substitution partiel de volume de ciment, plusieurs études ont été faites pour déterminer l'effet et l'influence sur les propriétés différents des mortiers et du béton ordinaire.

II.5.1 Etat frais

Selon (Olatokunbo M. Ofuyatan et .al 2020) **[68]** qui ont utilisé la poudre de coquille d'œuf avec le laitier de haut fourneau comme substitution partial du ciment en béton autoplaçant ont trouvé Ils ont déduit que le remplacement partiel du ciment a amélioré la fluidité et l'ouvrabilité avec celle de 10% de ESP avoir la valeur optimale mais après le 10% elle diminue. (Figure II.5) (Figure II.6)

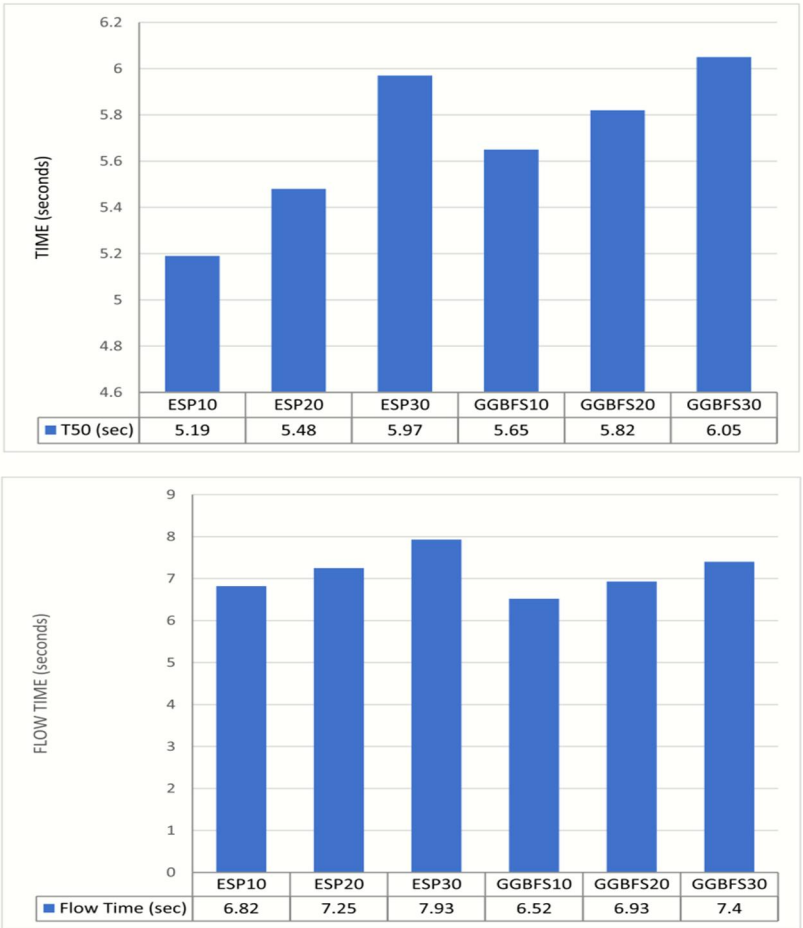


Figure II.5 Influence de ESP et laitier de haut fourneau sur l'ouvrabilité de BAP (t_{50} et V-funnel) (Olatokunbo M. Ofuyatan et .al 2020) **[68]**

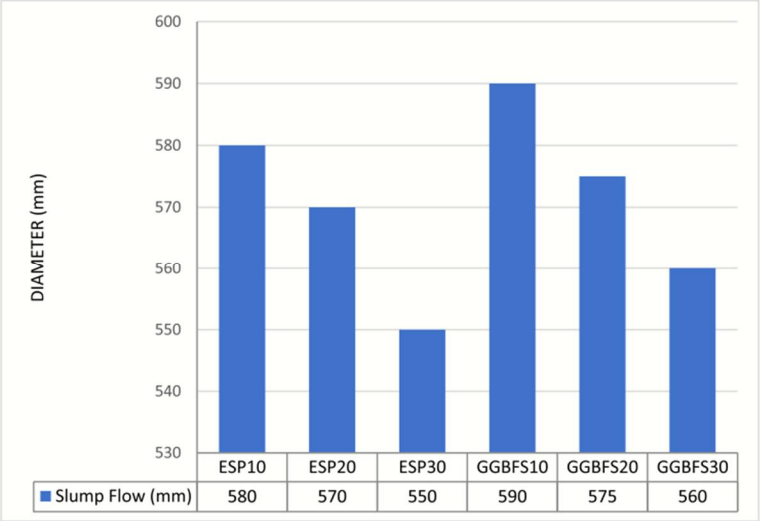


Figure II.6 Influence de ESP et laitier de haut fourneau sur l'ouvrabilité de BAP (étalement) (Olatokunbo M. Ofuyatan et .al 2020) **[68]**

Ses résultats ont été confirmé par (Jhatial A.A. et al) [**69]** dans leur étude sur l'influence de la substitution partielle du ciment par la poudre de coquilles d'œuf sur l'ouvrabilité des bétons ont remarqué qu'elle diminue avec l'augmentation du taux de substitution (Figure II.7).

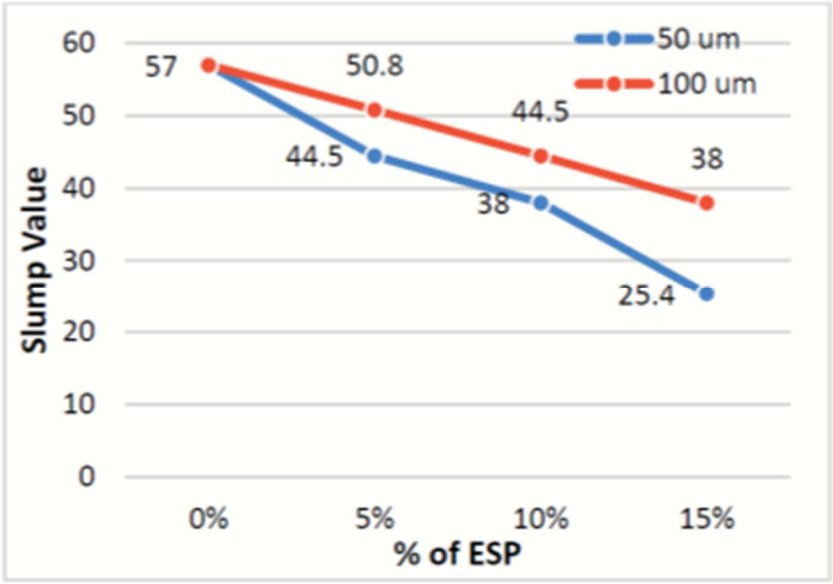


Figure II.7 Influence de ESP sur l'étalement de BAP selon Jhatial A.A. et al **[69]**

De même, Tan Y.Y. et al. **[70]** ont observé que lorsque le taux de substitution du ciment par la poudre de coquille d'œufs augmente, l'ouvrabilité du béton diminue jusqu'à 15 % ; au-delà de 15 %, l'ouvrabilité augmente (Figure II.8).

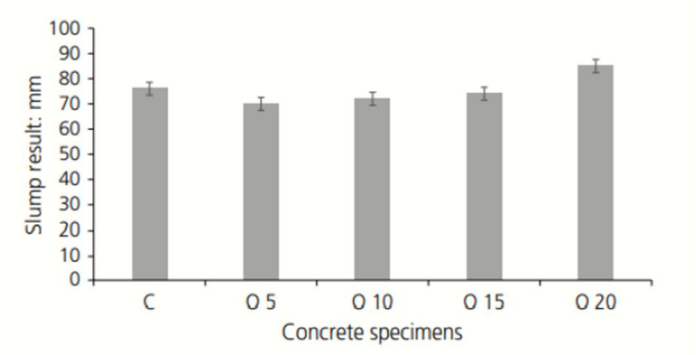


Figure II.8 Influence de ESP sur l'étalement de BAP selon (Tan Y.Y. et al)**[70]**

II.5.2 Etat durci

L'effet de la poudre de coquille d'œuf sur la résistance à la compression a été étudié par (Amarnath Y. et al) **[71]** d'un béton ordinaire et il constate la résistance diminue avec l'augmentation de pourcentage avec l'exception de 5%, qui à enregistrer la valeur optimale (Figure II.9)

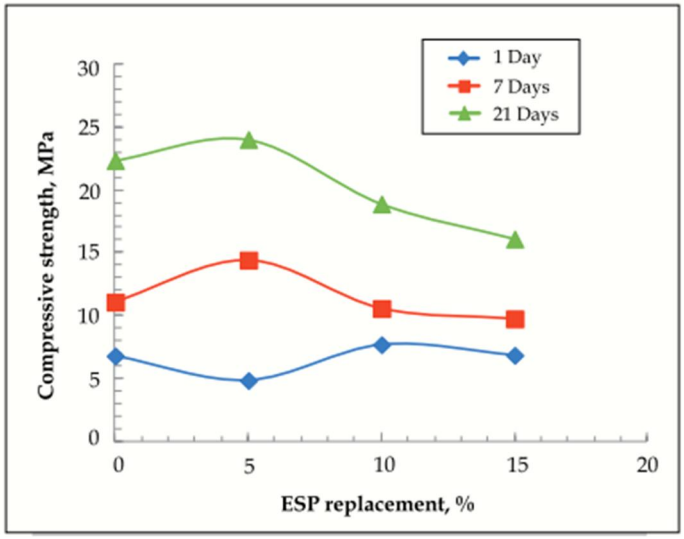


Figure II.9 Influence de ESP sur la résistance à la compression d'un BO selon (Amarnath Y. et al) [**71]**

Les résultats de (Amarnath Y. et al) [**71]** sont d'accord avec celle étudie par (Ashfaque Ahmed Jhatial et al 2009) [**72]** sur un béton conventionnel qui avait le (5% ,10%) comme valeur optimal.

Une autre étude a été faite par (Hussein Alaa Jaber et al 2019) [**65]** sur la coquille d'œuf calciné et non calciné et son influence sur un mortier autoplaçant a prouvé que la résistance à la compression augmente avec l'augmentation des taux des fines ainsi que la résistance de MAP en teneur de coquille d'œuf calciné (ESA) à une meilleure résistance que celle du MAP avec (ESP) non calciné (Figure II.10)

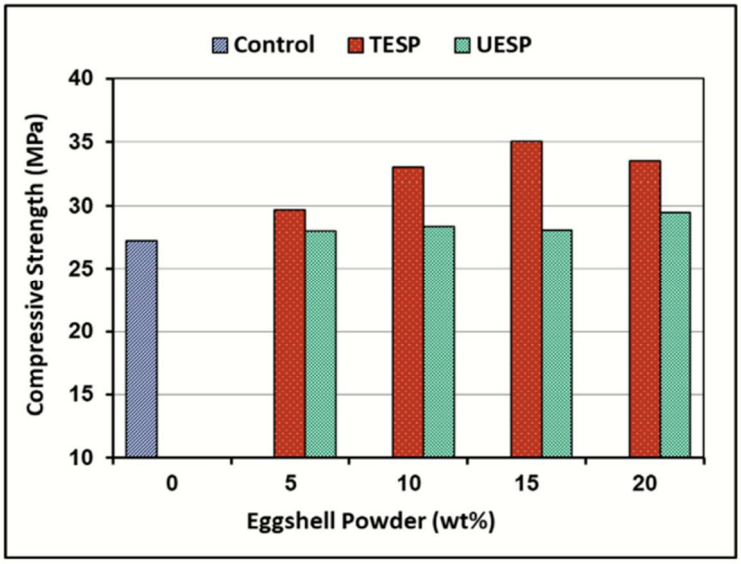


Figure II.10 Influence de ESP et ESA sur la résistance à la compression d'un MAP selon (Hussein Alaa Jaber et al 2019) [**65]**

II.6 Conclusion

Ce chapitre montre que la poudre de coquille d'œuf est un déchet abondant et négligé en attente d'utilisation, elle est l'un des nouveaux matériaux cimentaires supplémentaires et une source de carbonate de calcium sous forme de calcite pure grâce à sa composition qui est similaire à celle de calcaire se qui résulte en pouvoir être utilisé comme (MCS), comme ajout comme substitution partielle du ciment, ou comme un accélérateur du ciment selon des études.

D'autres études ont montré que La poudre de coquille d'œuf améliore l'ouvrabilité de béton autoplaçant ; elle améliore aussi la résistance à la compression, tandis que l'augmentation de taux de ESP diminue la compression après que la valeur optimale est atteinte.

CHAPITRE III

MATÉRIAUX ET ESSAIS

III.1 Introduction

Dans ce chapitre on se concentre à introduire les différents matériaux utilisés dans notre composition du BAP et leurs caractéristiques, aussi de déterminer sa formulation à base de la coquille d'œuf calciné et non calciné comme substitution de ciment, ainsi que présenter le plan de travail et bien définir les méthodes utilisées pour réaliser les essais expérimentaux nécessaires pour notre thèse.

Et pour bien clarifier les différents bétons autoplaçants réaliser, on utilise la nomenclature suivants (Tableau III.1)

Tableau III.1 Nomenclature de différents BAP faits

Notation	Désignation et nomenclature
BAPT	Le BAP de référence ou BAP témoin (ainsi dénommé 0% de ESP et ESA)
BAP-ESP	Le BAP avec substitution de ciment avec de coquille d'œuf non calciné (5% ;10% ;15% ;20% ;25%)
BAP-ESA	Le BAP avec substitution de ciment avec de coquille d'œuf calciné (5% ;10% ;15% ;20% ;25%)

III.2 Caractéristiques des Matériaux

III.2.1 Le ciment

Le type de ciment usé est « CPJ-CEM II/B-L 42,5 R »"Matine" (Figure III.1) est un ciment gris pour béton de haute performance produit Par LAFRAGE et qui nous provient de leur cimenterie à M'sila, qui nous garantit au 28 jours une résistance minimale de 42.5 MPA ; et qui est certifié et conforme à la norme algérienne (NA442-2013) **[73]** et aussi la norme Européenne (EN-197-1) **[8]** ;les caractéristiques chimiques et minéralogiques (Tableau III.2) et (Tableau III.3) et pour les propriétés physique et mécaniques ont été réalisés au laboratoire (Tableau III.4).

Tableau III.2 composition minéralogique du ciment

Composition minéralogique du clinker (Bogue)	Valeur
C3S (%)	60 ± 3
C3A (%)	7.5 ± 1

Tableau III.3 Composition chimique du ciment

Analyse chimique	Valeur
Perte feu (%) (NA5042)	10 ± 2
Teneur en sulfate (%)	2.5 ± 0.5
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1.7 ± 0.5
Teneur en chlorures (NA5042) (%)	0.02-0.05

Tableau III.4 propriétés physiques et mécanique du ciment

Essais sur ciment	Valeur
Masse volumique apparente (ρ_{app}) (kg/m³)	991.91
Masse volumique absolue (ρ_{abs}) (kg/m³)	3.1
Finesse SSB (cm²/g)	4300
Consistance normale (%)	27.3
Temps du début de prise (heure/minute)	2h45
Temps de la fin de prise (heure/minute)	3h45
Résistance à la compression au 7-28 jour MPA	33.98-45.30



Figure III.1 ciment grise de matine

III.2.2 La coquille d'œuf

Pour notre étude on a collecté la coquille d'œuf de poule de couleur beige (Figure III.2) des différentes pâtisseries local de la ville de Médéa , pour commencer on doit les bien lavées et rincer plusieurs fois avec de l'eau de robinet jusqu'à on aura aucune trace de blanc , de jaune d'œuf et toute impuretés , ensuite on la laisse sécher pendant 24h dans une étuve sous une température 105±5 °C , en fin on prêt pour la préparation de la poudre de coquille d'œuf (ESP) et la cendre de coquille d'œuf (ESA) .



Figure III.2 déchets de Coquille d'œuf de poule **[74]**.

III.2.2.1 La poudre de coquille d'œuf (non calciné)

Après le nettoyage de la coquille d'œuf et avoir une quantité suffisante et bien séchés, on peut accéder à l'étape de broyage, pour cette étape on a utilisé la machine de los Angeles (Figure III.3) pour broyer la coquille d'œuf à 56 tours par minute pendant 60 minutes, la dernière étape sera le tamisage avec le tamis 80µm pour obtenir la poudre nécessaire prête a utilisé pour formulation du BAP (Figure III.4).



Figure III.3 Machine de Los Angeles (broyeur à boulet)



Figure III.4 Coquille d'œuf (ESP- non calciné)

Tableau III.5 propriétés physiques de la poudre de la coquille d'œuf non calciné

Propriétés physique	Valeur
Masse Volumique Absolue (ρ_{abs}) (kg/m³)	**2.6**
La finesse (cm²/g)	**3162**

III.2.2.1.1 La finesse

L'étude de la finesse de mouture est essentielle pour les liants car elle a une grande influence sur la résistance mécanique, la maniabilité…etc. (NF EN 196-6) **[75],** donc la finesse de la poudre de la coquille d'œuf peut être caractérisée par sa surface spécifique (massique) : c'est la surface totale des grains contenus dans une unité de masse exprimée en (cm^2/g) ou (m^2/kg) de poudre en appareil automatique de perméabilité à l'air Blaine-finesse (surface spécifique) (Figure III.5).

Ainsi que la détermination de la surface spécifique est essentiellement utilisée pour contrôler l'uniformité du processus de broyage dans la coquille d'œuf.

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 jusqu'à obtenir une surface spécifique de 3162 cm^2/g **[76]**.



Figure III.5 Appareil automatique de perméabilité à l'air Blaine-finesse (surface spécifique)

III.2.2.2 La cendre de la coquille d'œuf (calciné)

Pour obtenir la cendre de la coquille d'œuf ; on prend une quantité de 500g de la poudre (ESP) qu'on a préparé auparavant, et on la soumit au processus de calcination dans un four (Figure III.6) pendant une période de 2h à une température de 800ºC **[77]** (généralement la calcination pour les études en Génie civil se fait entre 1h-3h **[78]**

Il faut faire remarquer que la coquille d'œuf se décompose en oxyde de calcium essentiellement à une température égale ou supérieure à 800ºC **[77]**.

Après calcination on distingue que la couleur a changé du blanc de ESP en gris sombre (Figure III.7), Ainsi on remarque une perte de poids (422.7g), alors on constate que le poids perdu 77.3g pour chaque 500g de ESP est un poids humide, à la fin on tamis la cendre avec le tamis 80µm et elle est prête pour notre étude.



Figure III.6 La calcination de la coquille d'œuf dans le four

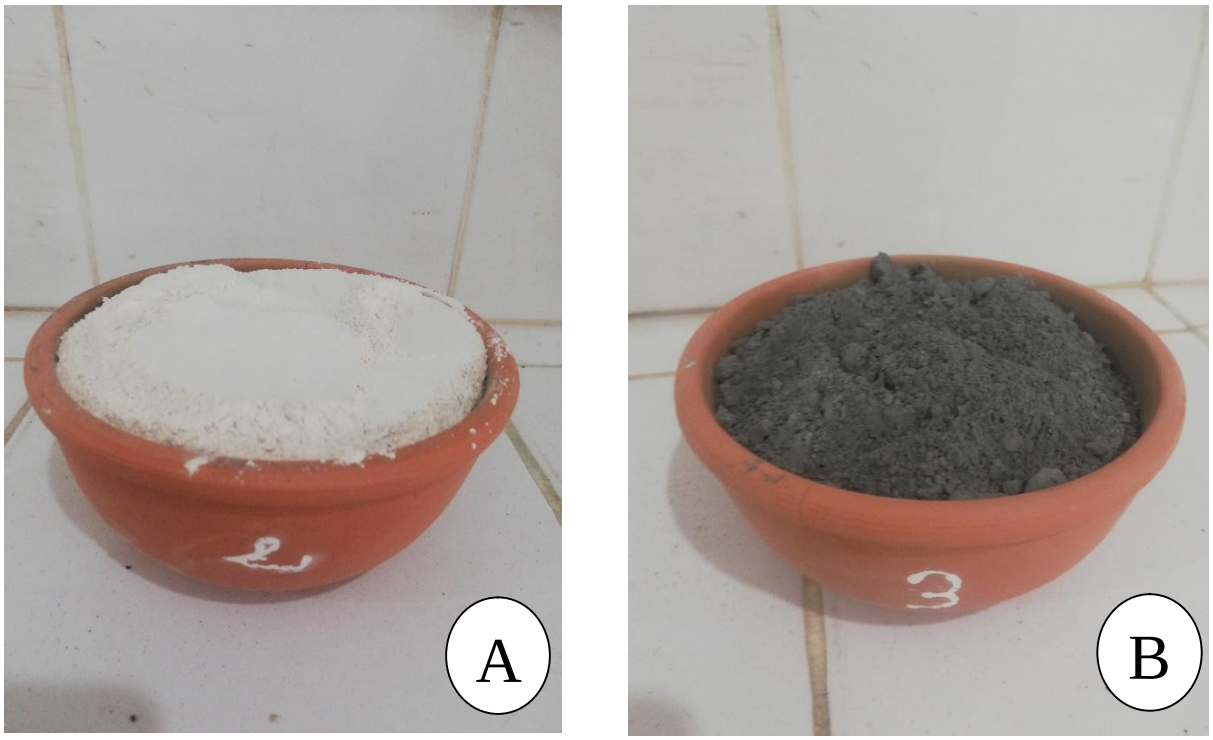


Figure III.7 (A) Poudre de coquille d'œuf (ESP), **(B)** Cendre de coquille d'œuf (ESA)

On distingue aussi que la masse volumique absolue a diminué un peu (**ρ_{abs}=2.58 kg/m³**) et la couleur tourne en gris argenté après quelque minute (Figure III.8).

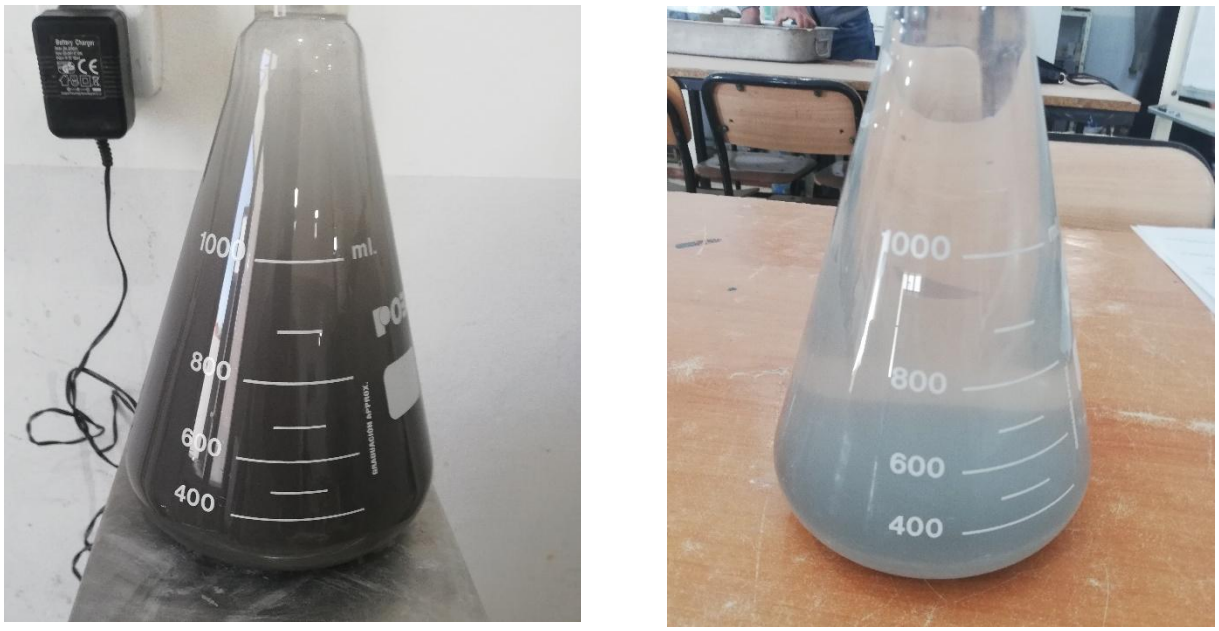


Figure III.8 changements de couleur lors de l'essai de la masse volumique absolue

III.2.3 Les granulats

III.2.3.1 Le sable

Le sable utilisé dans cette étude est un sable moyen d'une couleur rouge (FigureIII.9) qui provient de la région de Oued M'Zi, Laghouat, c'est un sable roulé arrondie d'une surface lisse, les caractéristiques principales sont présentes en (Tableau III.6), et l'analyse granulométrique du sable (Figure III.10).

Tableau III.6 Caractéristique du sable utilisé

Propriétés physiques du sable Laghouat		**Norme d'essai**
Classe granulaire (mm)	0/5	NF EN 933-1**[73]**
Masse volumique apparente (ρ_{app}) (kg/m³)	1388.6	NF EN 459-2**[79]**
Masse volumique absolue (ρ_{abs}) (kg/m³)	2629	NF EN 1097-6 **[80]**
Coefficient d'absorption (%)	0.99	NF EN 1097-6**[80]**
Module de finesse	2.25	NF EN 933-1**[73]**
Equivalent de sable (ESV) (%)	73.4	NF EN 933-8**[81]**
Equivalent de sable au piston (ESP) (%)	76.7	NF EN 933-8**[81]**



Figure III.9 Le sable de Laghouat, Oued M'Zi

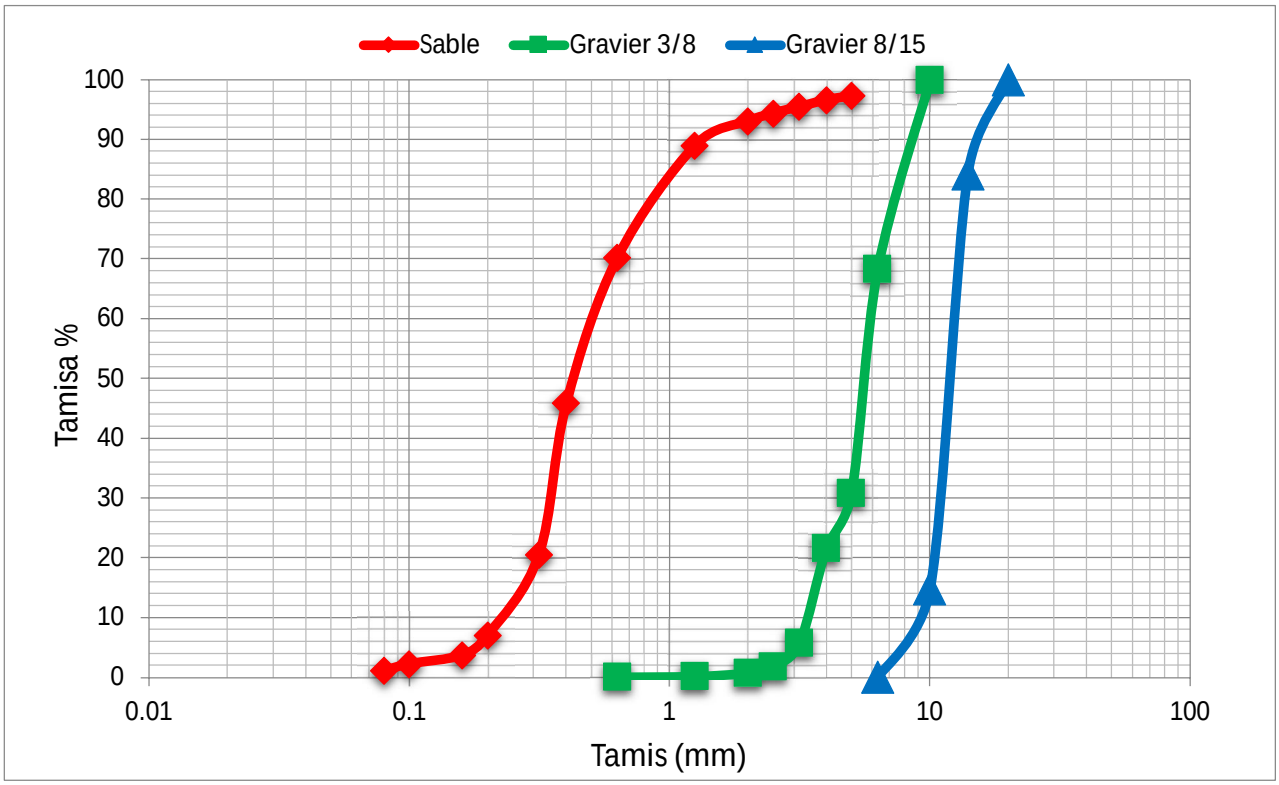


Figure III.10 L'analyse granulométrique des granulats utilisés

III.2.3.1 Le gravier

Le gravier utilisé est un gravier concassé de deux classes granulaire différentes provenant de la même station de concassage du Djelfa (Figure III.11), les caractéristiques principales des graviers sont présents en (Tableau III.7), et l'analyse granulométrique des deux graviers présente en (Figure III.10).

Tableau III.7 Caractéristique du gravier utilisé

Propriétés physiques	**Gravier**		**Norme d'essai**
Classe granulaire (mm)	**3/8**	**8/15**	NF EN 933-1**[73]**
Masse volumique apparente (ρ_{app}) (kg/m³)	1271.2	1307.8	NF EN 459-2**[79]**
Masse volumique absolue (ρ_{abs}) (kg/m³)	2660	2650	NF EN 1097-6**[80]**
Coefficient d'absorption (%)	0.49	2.91	NF EN 1097-6**[80]**
Résistance au choc au los Angeles (LA) (%)	23.54	22.23	NF EN 1097-2**[81]**

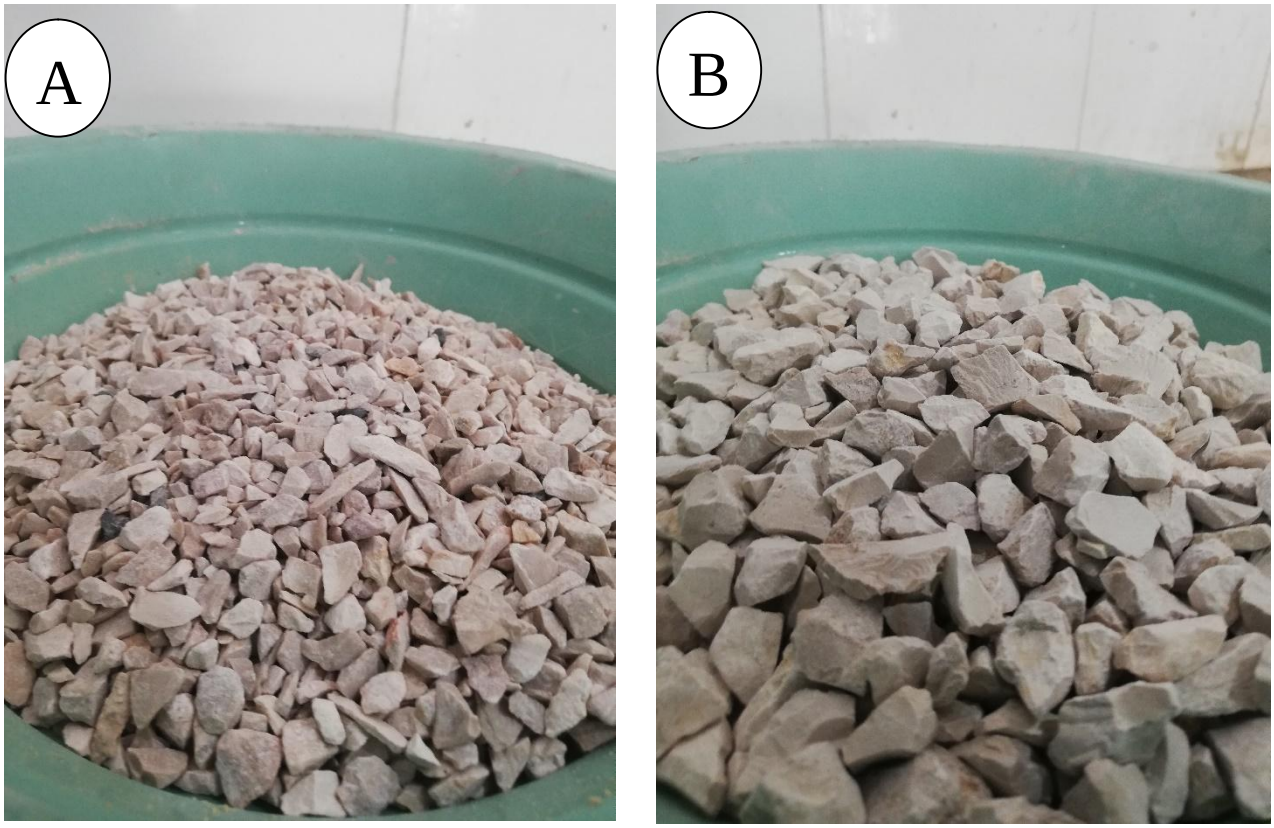


Figure III.11 Gravier de Djelfa

(A) Gravier 3/8, **(B)** Gravier 8/15

III.2.4 L'eau de gâchage

L'eau utilisé pour la formulation du BAP et pour l'ensemble d'essais de cette étude est l'eau potable du robinet de notre laboratoire exempte d'impuretés et conforme à la norme NF EN 1008 **[82],** sa température 18 et 20 C°.

III.2.5 Le Superplastifiant

Pour la confection du BAP on a utilisé un superplastifiant/haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré, à base de copolymère acrylique produit par Sika® ViscoCrete® commercialisé sous le nom TEMPO-10 (Figure III.12), ses caractéristiques sont présentés en (Tableau III.8), sa plage d'utilisation selon la fiche technique (Annexe B) est de 0.4% jusqu'à 1.5%, il peut être ajouté soit, en même temps que l'eau de gâchage, soit en différé dans le béton préalablement mouillé avec une fraction de l'eau de gâchage.

Tableau III.8 Caractéristique du superplastifiant utilisé (TEMPO-10)

Aspect	Liquide
Couleur	Brun clair
Valeur PH	4.0 ± 1.0
Densité	1.060 ± 0.010
Teneur en ions chlorure	≤ 0.1 %
Equivalent Oxyde de Sodium	≤ 1 %



Figure III.12 Superplastifiant utilisé (TEMPO-10)

III.3 Formulation adoptée du BAP

La formulation des bétons est une étape fondamentale pour achever un béton d'une bonne ouvrabilité, durable et résistant ; généralement la formulation dépend des caractéristiques souhaitées à l'états frais et durci d'un béton voulu.

Le but de la formulation du béton est de déterminer la quantité nécessaire de chaque matériau dans le mélange pour obtenir un béton aux propriétés souhaitées. Un paramètre important à considérer dans la formulation est le rapport eau/liant.

Pour la formulation du BAP est un peu délicate car le béton autoplaçant a des propriétés nécessaires en états frais qu'elle devrait être atteintes (la fluidité et la résistance à la ségrégation), et elle exige une étude bien précise sur le choix de ses constituants selon (BOUHAMOU et al. 2004) **[75]** et l'optimisation des paramètres influençant les rapport Eau/Ciment (E/C) et le rapport fines/ciment (F/C) le dosage du superplastifiant, le sable/mortier (S/M), volume de la pâte et le diamètre du gravier maximal.

Notre formulation du BAP adopté a été basée sur celle proposé de (OKAMURA et OUCHI) avec le (changement de S/M=0.4 au S/M=0.5 pour raison de conservation du ciment) et on a pris aussi on considération celle faite par (BOUKRIA et SALHI) **[76]**.

III.3.1 Optimisation de la formulation du BAP

Notre optimisation de la formulation du BAP était basé sur le but d'étudier l'influence du ESP et ESA sur l'états frais et durci du Béton autoplaçant, aussi pour assurer la fluidité et la mobilité et stabilité du BAP.

Selon les constituants disponibles pour nous et leurs caractéristiques bien définies, on a fixé le rapport S/M=0.5 et le rapport gravier 3/8 / Gravier 8/15 (g/G=0.6) et le rapport Gravier/Sable (G/S=0.665), ainsi que le dosage du superplastifiant 1.4%, avec la quantité d'air (1%). La méthode d'OKAMURA est maintenu, alors la modification était seulement sur le rapport Eau/Ciment (E/C).

Après les essais préliminaires avec le cône d'Abrams (l'étalement) et V-funnel , on a pu obtenir un béton très fluide maniable sans ségrégation, ni ressuage (Figure III.13) avec le rapport E/C=0.403

Par conséquent on a procédé à la partie de substitution partielle du ciment (0% ,5%,10%,15%,20%,25%) par la poudre de coquille d'œuf (ESP)**,** et en refait le même pour avec ESA (calciné) comme substitution de Ciment pour les mêmes pourcentages, pour but d'étudier et analyser l'effet direct de la substitution du ciment par (ESA) et (ESP) sur le BAP ; la composition du BAP avec les fines est présentes au (Tableau III.9) pour ESP et (Tableau III.10) pour ESA.



Figure III.13 Béton de référence achevé avec E/C=0.403

		BAPT (0%)	5%	10%	15%	20%	25%
Ciment (kg)		512.12	488.68	465.04	441.18	417.11	392.82
ESP (kg)		0	21.57	43.34	65.30	87.46	109.82
Sable (kg)		967.79	967.79	967.79	967.79	967.79	967.79
Gravier 3/8 (kg)		406.44	406.44	406.44	406.44	406.44	406.44
Gravier8/15(kg)		237.93	237.93	237.93	237.93	237.93	237.93
Sp (kg)		7.170	7.144	7.119	7.091	7.064	7.037
EAU	**Eau-1**	153.77	153.27	152.76	152.25	151.74	151.22
	Eau-2	65.90	65.69	65.47	65.25	65.03	64.81

Tableau III.9 Les composantes du BAP-ESP formulés pour 1m³

Tableau III.10 les composantes du BAP-ESA formulés pour 1m³

		BAPT (0%)	5%	10%	15%	20%	25%
Ciment (kg)		512.12	488.79	465.25	441.48	417.49	393.25
ESA (kg)		0	21.41	43.02	64.84	86.864	109.09
Sable (kg)		967.79	967.79	967.79	967.79	967.79	967.79
Gravier 3/8 (kg)		406.44	406.44	406.44	406.44	406.44	406.44
Gravier8/15(kg)		237.93	237.93	237.93	237.93	237.93	237.93
Sp (kg)		7.170	7.143	7.116	7.088	7.060	7.032
EAU	**Eau-1**	153.77	153.24	152.71	152.17	151.63	151.089
	Eau-2	65.90	65.68	65.45	65.217	64.985	64.753

III.3.2 Séquence de malaxage

La séquence de Malaxage (Figure III.14) joue un rôle très important pour une hydratation juste, ce qui contribue à obtenir un béton durable et performant,

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 **[83]** , cependant, cette dernière est principalement liée au temps d'ajout du réducteur d'eau pendant le processus de mélange, c'est-à-dire au début ou durant du processus de mélange ;

Généralement, pour un faible rapport eau/liant et un fort dosage en super plastifiant, le mélange nécessite un temps de malaxage plus prolongé. 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.

Il faut noter que Le super plastifiant est plus efficace lorsqu'il est ajouté après une quantité d'eau a été déjà ajouté (Eau-1), par conséquent l'adjuvant est rajouté à une quantité d'eau (Eau-2), la quantité d'eau totale a été divisé on deux :

-**Eau-1**=2/3 du quantité d'eau totale -**Eau-2**=1/3 du quantité d'eau totale +**Sp**

Tous les mélanges du BAP ont été confectionnés dans un malaxeur (Figure III.15) de 40L de capacité et en température 20-25 C°.

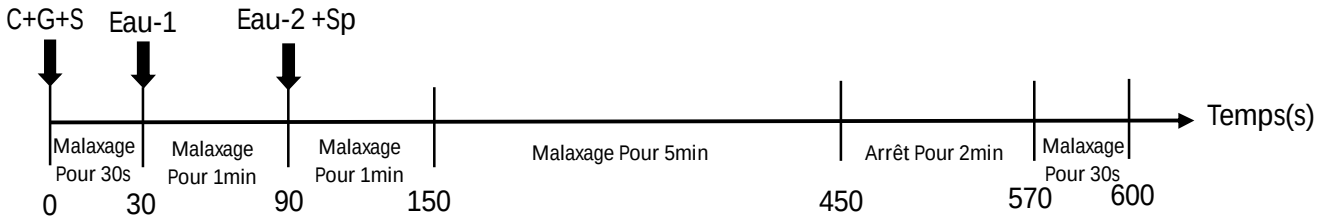


Figure III.14 Séquence de malaxage du béton autoplaçant **[83]**



Figure III.15 Malaxeur de béton

III.3.3 Confection des éprouvettes et conditionnement

Les moules utilisés pour la confection des éprouvettes en bétons sont de forme cubique (100x100x100) mm³ pour l'essai de résistance à la compression et cylindrique de 100mm de diamètre et 200mm de hauteur ; elle est destinée (après coupure par la scie de béton) (Figure III.16) pour la porosité accessible à l'eau (éprouvette cylindrique de 100 de diamètre et 50mm de hauteur) et l'absorption capillaire avec 100 mm de diamètre et 150mm de hauteur.

Après le coulage les éprouvettes ont été laisser sécher avec les conditions normales du laboratoire pendant 20h, après la période est achever, les éprouvettes ont été démouler puis immergés dans un réservoir d'eau contenant de la chaux pour la cure de béton jusqu' l'âge d'essais conformément aux normes EN 12390-1(STANDARD 2009 ; Institution 2012) **[84]** et EN 12390-2(LST 2009 ; Institution 2011) **[85]**



Figure III.16 La coupure par la scie de béton



Figure III.17 Les éprouvettes effectués et cure des bétons

III.4 Essais effectués

De nombreux essais sont mise on point au laboratoire pour tester la fluidité du BAP ainsi que résistance à la ségrégation, et sa dureté et résistance au choc.

III.4.1 À l'état frais

Le béton autoplaçant se caractérise par son état frais, ses propretés sont déterminées à l'aide des essais spécifique mais simple à faire et se divise en 3 classes **[86]** (capacité de remplissage, capacité de passage et résistance à la ségrégation (Tableau III.11)

Tableau III.11 Les différents essais à l'état frais

Capacité de remplissage		**Capacité de passage**	**Résistance au ségrégation**
Etalement et T_{50}	V-Funnel	L-Box	Stabilité au tamis

III.4.1.1 Étalement (Slump flow) et T_{50}

L'essai d'étalement est l'essai le plus souvent utilisé pour sa simplicité et capacité d'évaluer la fluidité du béton même au chantier, cet essai nécessite un cône d'Abrams ; Ce dernier est un cône sans fond, dont le diamètre de la base inférieure est de 200 mm et le diamètre de base supérieure de 100 mm ; Il a une hauteur de 300 mm (Figure III.18) et une plaque métallique des dimension minimum (90mm x 90mm) (Figure III.19) **[87]**)

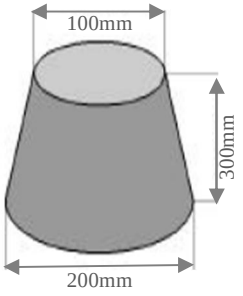


Figure III.18 Cône d'Abrams **[87]**

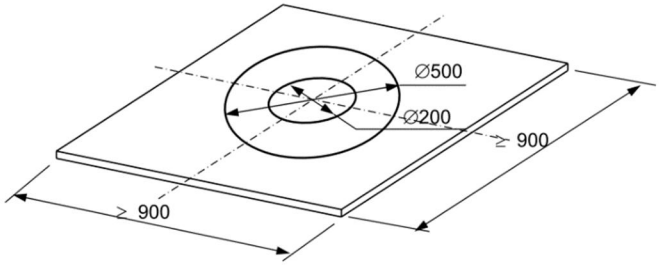
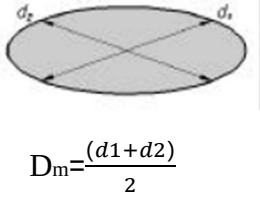


Figure III.19 Plaque métallique **[87]**

L'essai consiste de mesurer le diamètre moyen (Figure III.20) de la galette après le soulèvement du cône ainsi la mesure du temps de passage au diamètre 50cm appelé T_{50} (Figure III.21), le diamètre de la galette détermine la classe de fluidité du BAP, plus l'étalement est grand plus le béton est plus fluide et sa capacité de remplissage est grande.





$$D_m=\frac{(d1+d2)}{2}$$

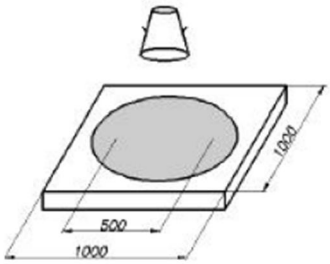


Figure III.20 Mesure et calcul du diamètre moyen **[87]**

Figure III.21 Mesure de T_{50} **[87]**

Pour que le béton est Considéré BAP il faut qu'il varie entre 550mm et 850mm selon Européenne guidelines (2005) **[88]**, il y'a trois classe du Béton auto plaçant chaque classe a une plage de diamètre spécifie (Tableau III.12)

Tableau III.12 Classes d'étalements [**88]**

Classe	Etalement (slump flow) (mm)
SF1	550-650
SF2	660-750
SF3	760-850

De cet essai aussi on peut déterminer visuellement les premiers signes de ressuage et de ségrégation, cette dernière est difficile à contrôler surtout pour les valeurs d'étalement qui dépassent les 850mm.

Le temps de passage de la galette de béton à un diamètre de 50cm donne une idée sur la vitesse de déformation du béton. Cette mesure ; le T_{50} est une valeur qualitative. En général, des valeurs élevées de T_{50} traduisent un béton de vitesse de déformation faible (viscosité élevée). Toutefois, le T_{50} est une valeur difficile à mesurer, surtout pour le cas des bétons très fluides ; lancer et arrêter le chronomètre au moment où le cône est levé et ou le béton passe au diamètre de 50 cm est une estimation subjective, et d'après les recommandations d'européenne guidelines (2005) **[88]** le T_{50} et le Temps d'écoulement (T_{vf}) ont une relation pour déterminer la classe de viscosité T_{vf} (Tableau III.13).

III.4.1.2 Entonnoir en V (V-Funnel)

Cet essai a été mis en place par (Okamura & Ozawa 1996) **[17]**, il nous permet d'évaluer la capacité de passage. La valeur de l'entonnoir V est influencée par la limite d'élasticité et la viscosité du BAP (Sonebi and Bartos, 1999 ; Bartos et al., 2002 ; ACI 237, 2007) Le test du d'entonnoir en V est décrit par EN 12350-9 (2010) **[89]** et ne convient pas lorsque la taille maximale de l'agrégat dépasse 20mm.

Le temps de V-funnel est la période pendant laquelle un volume défini de BAP passe à travers une ouverture de passage étroite qui concerne la viscosité du béton autoplaçant fraîchement mélangé à partir de l'observation de la vitesse d'écoulement de l'échantillon à travers l'entonnoir spécialement conçu, sous l'effet du poids propre.

Un temps d'écoulement plus court indique une viscosité plus faible et un temps d'écoulement plus long indique une viscosité plus élevée (ACI 237). Si l'écoulement est discontinu, cela peut indiquer un blocage et/ou une ségrégation. Il est important de noter que le temps d'écoulement n'est valable que si l'écoulement est continu.

Les dimensions de l'entonnoir V sont indiquées dans (Figure III.22) Cet essai couvre également l'évaluation de la résistance à la ségrégation du béton autoplaçant fraîchement mélangé par l'observation de la variation de la vitesse d'écoulement due à la différence de la durée de séjour de l'échantillon dans l'entonnoir. L'équipement de l'entonnoir en V consiste en un entonnoir en forme de V avec une ouverture à sa base. L'entonnoir est rempli de béton,

puis la porte est ouverte et le temps nécessaire pour que le béton s'écoule à travers le chronomètre est enregistré **[86]**.

Selon les directives européennes pour la BAP, deux classes de viscosité avec T 50 et V ont été établies. Le temps d'écoulement dans l'entonnoir V a été établi (Tableau III.13). **[88]**

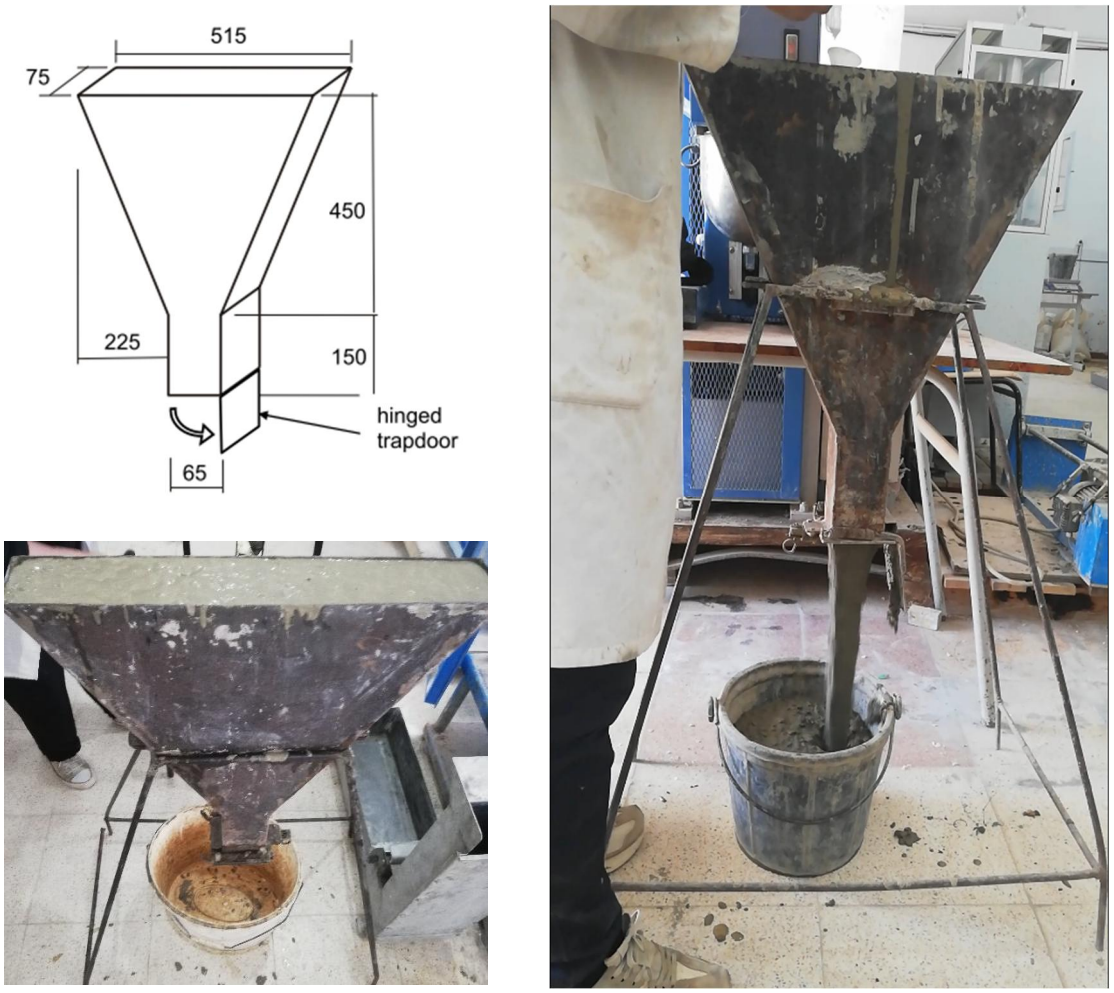


Figure III.22 Dimensions d'Entonnoir en V (V-funnel) **[87]** et l'essai au laboratoire

Tableau III.13 Classes de Viscosité de T_{50} et $T_{V\text{-}Funnel}$ **[88]**

Classe de viscosité	T_{50} (s)	Temps V-funnel (s)
VS1	≤ 2	≤ 8
VS2	> 2	9-25

- La VS1/VF1 a une bonne capacité de remplissage, même avec des armatures encombrées. Il est capable de s'auto-niveler et présente généralement le meilleur état de surface. Cependant, il est plus susceptible de souffrir de saignement et de ségrégation.

- VS2/VF2 n'a pas de limite de classe supérieure, mais avec l'augmentation du temps d'écoulement, il est plus susceptible de présenter des effets thixotropes, ce qui peut être utile pour limiter la pression du coffrage ou améliorer la résistance à la ségrégation. Des effets négatifs peuvent être observés au niveau de la finition de la surface (soufflures) et de la sensibilité aux arrêts ou aux retards entre les levées successives. **[86]**.

III.4.1.3 Boite en L (L-Box)

La boîte en L a pour but d'étudier la capacité de passage du béton autoplaçant, ce test consiste d'un appareil en forme de L, ses Dimensions sont indiquées dans (Figures III.23). La partie verticale de la boîte est remplie de béton et laissée au repos pendant 1 minute. La porte séparant les compartiments verticaux et horizontaux est ensuite soulevée, et le béton s'écoule à travers des barres d'armature étroitement espacées dans le fond.

Le temps nécessaire pour que le bord frontal du béton atteigne l'extrémité de la longue section horizontale est noté. Les hauteurs de béton restant dans la section verticale et au bord de sortie sont déterminées. La valeur de blocage est calculée pour évaluer la caractéristique autonivelante du béton. En général, ce rapport varie de 0,5 à 1,0 pour les bétons de ciment utilisés dans les applications préfabriquées et précontraintes (NCHRP Project 18-12, 2008) **[86]**. Selon la conformité d'Européenne guidelines (2005) **[88]** un rapport de 0,75 et plus est indiqué une bonne capacité de passage.

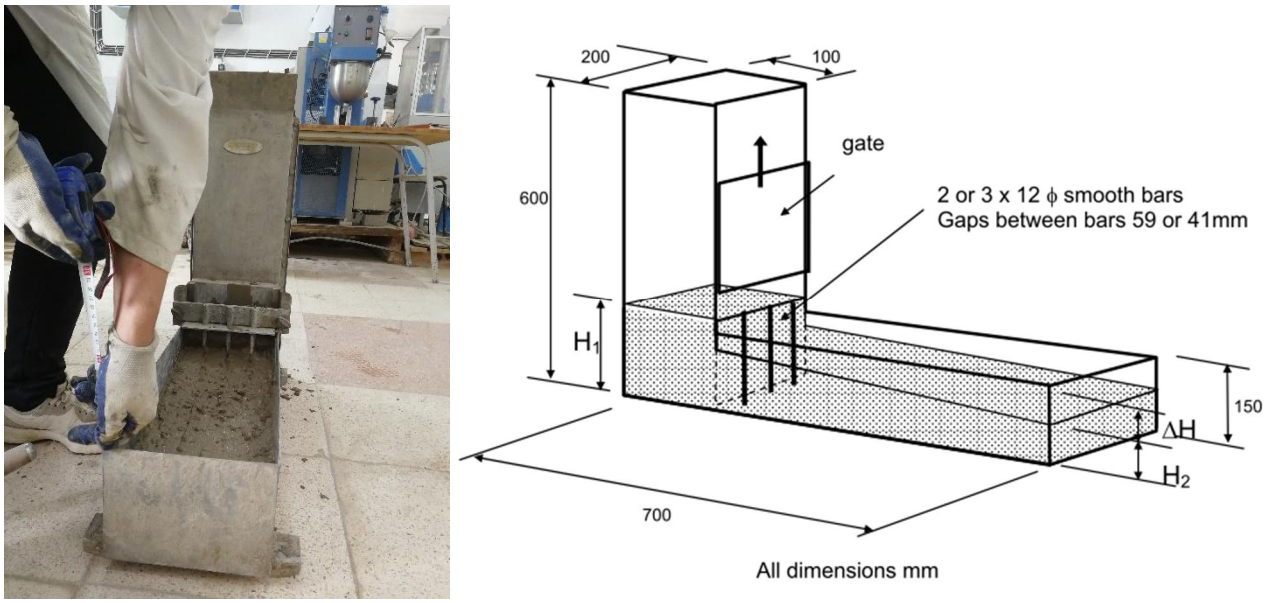


Figure III.23 Dimensions de Boite en L et la mesure des hauteurs **[87]**

La boîte en L est décrite par la norme EN 12350-10 (2010) **[90]**. Avec la boîte en L, il est possible de mesurer différentes propriétés telles que le blocage et la ségrégation.

La partie verticale de la boîte est remplie de 12,7 L de béton qui est laissé au repos pendant 1 min pour permettre la ségrégation interne de se produire. Ensuite, la porte est ouverte et le béton s'écoule de la partie verticale vers la partie horizontale à travers les barres d'armature. **[86]**

L'écart entre les barres d'armature était de 41±1mm et 59±1mm pour des granulats grossiers de 10 mm et 20 mm, respectivement. Trois barres d'acier lisses et deux barres (12 mm) ont été utilisées dans L-Box pour les bétons à gros granulats de 10 et 20 mm Les valeurs de hauteur H 1 et H 2 du béton ont été mesurées et utilisées pour déterminer le rapport de capacité de passage H2 /H1 à 0,05 de près. **[86]**

The Européen guidelines pour SCC **[88]** ont classé deux classes en fonction de la capacité de passage (Tableau III.14)

Tableau III.14 Classes de capacité de passage de L-Box **[88]**

Classe	Capacité de passage
PA1	≥0.80 avec 2 barres d'armature
PA2	≥0.80 avec 3 barres d'armature

Des exemples de spécifications de capacité de passage sont donnés ci-dessous :

- PA 1 structures avec un écart de 80 mm à 100 mm (logements, structures verticales)

- PA 2 structures avec un écart de 60 mm à 80 mm, (structures de génie civil)

Le taux de blocage de la boîte L peut être défini comme le rapport entre H2 et H1 (H2/H1), ou taux de blocage. Ce rapport de blocage peut être utilisé pour évaluer la capacité de passage des BAPs. Comme dans le cas d'autres méthodes d'essai de capacité de passage, le taux de blocage minimum dépend de la géométrie de l'élément coulé et du type d'application et peut varier entre (0.75-1.00) **[86,88]**.

III.4.1.4 Stabilité au tamis

La stabilité du béton décrit sa capacité à maintenir une distribution homogène de ses différents constituants pendant l'écoulement et la prise. Deux types de caractéristiques de stabilité sont importants pour le béton cellulaire : la stabilité statique et la stabilité dynamique. **[86]**.

Le test de ségrégation par tamisage est utilisé pour évaluer la résistance du béton autoplaçant (Bartos et al. 2002**[23]** ; Cussigh et al. 2003**[91]**).

Cet essai n'est pas applicable aux bétons contenant des fibres ou des granulats légers.

Le test de ségrégation des tamis est illustré à la (Figure III.24) normalisé par la norme EN 12350-11 (2010) **[92].**

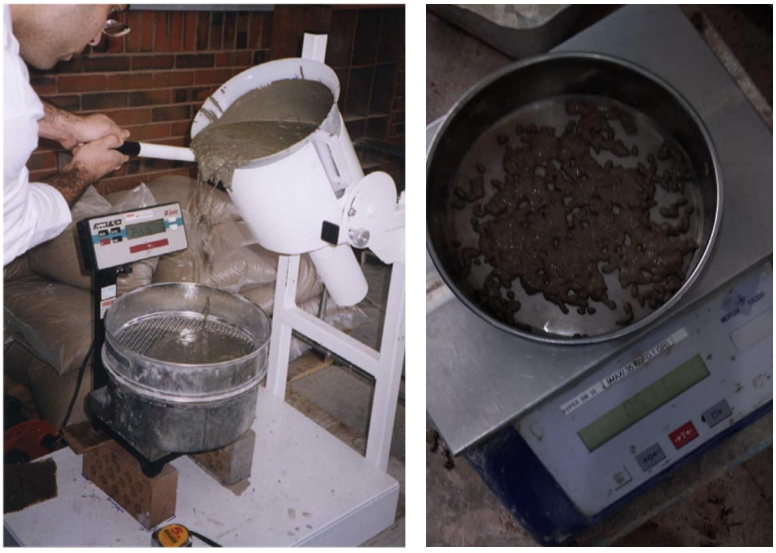


Figure III.24 Stabilité au tamis **[86]** et la mesure du poids de laitance

L'essai vise à déterminer la probabilité de ségrégation d'un mélange SCC en permettant à un échantillon de béton de 10 litres de subir une ségrégation statique pendant 15 minutes (dans un seau). Ensuite, la couche supérieure de l'échantillon couche supérieure de l'échantillon (4,8 kg±0,2) est versée sur un tamis de 5 mm et un peu de mortier passe à travers le tamis. Après 2 minutes, le poids du matériau qui a traversé le tamis est enregistré. Le taux de ségrégation est alors calculé comme la proportion de l'échantillon et du matériau passant à travers le tamis **[86]**.

Une plus grande quantité de mortier passant à travers le tamis indique une plus grande propension à la ségrégation. La part de ségrégation SR est calculée comme suit :

$$\prod(\%) = \frac{\textbf{Poids de laitance}}{\textbf{Poids de l'échantillion}} \textbf{x100}$$

The Européen guidelines pour BAP **[88]** ont établi deux classes en fonction de la résistance à la ségrégation (ségrégation du tamis), comme suit :

Tableau III.15 Classes de résistance de ségrégation **[88]**

Classe	Résistance de ségrégation
SR1	≤20
SR2	≤15

-SR1 est généralement applicable aux dalles minces et aux applications verticales avec une distance d'écoulement inférieure à 5 mètres et un espace de confinement supérieur à 80 mm.

- SR2 est préférable dans les applications verticales si la distance d'écoulement est supérieure à 5 mètres et si l'espace de confinement est supérieur à 80 mm, afin de tenir compte de la ségrégation pendant l'écoulement. SR2 peut également être utilisé pour les applications verticales hautes avec un espace de confinement inférieur à 80 mm si la distance d'écoulement est inférieure à 5 mètres, mais si l'écoulement est supérieur à 5 mètres, une valeur SR cible inférieure à 100/0 est recommandée **[86]**.

III.4.2 À l'état durci

Le BAP est connu par sa haute résistance a la compression et sa dureté, on va effectuer trois essais dont deux de durabilité (essai porosité accessible à l'eau et absorption capillaire) au 28jours ; en plus on évalue la résistance mécanique au (7 jours ;14 jours ;28 jours).

III.4.2.1 Résistance à la compression

Les essais de la résistances mécaniques ont étés effectués selon [EN 196-1] **[93]** sur des éprouvettes cubiques (100x100x100) mm³, à l'âge de 7,14 et 28 jours, on a utilisé une presse équipée d'un affichage digital (Figure III.25) qui nous permet d'introduire les données de surface avec une lecture de la contrainte et la charge. On a posé l'éprouvette entre les deux plateaux de la presse ensuite on augmente la charge graduellement jusqu'à la rupture.



Figure III.25 La presse hydraulique équipée d'un affichage digital



Figure III.26 Exemple de rupture pour BAP-ESP 10% lors du 14jours

III.4.2.2 Absorption Capillaire

L'essai d'absorption capillaire consiste à mesurer le taux d'absorption de l'eau par succion capillaire (Figure III.27) des éprouvettes de bétons non saturées, mises en contact avec l'eau.

Cet essai a été effectué selon EN 13057 :2002[F] **[94]** sur des éprouvette cylindriques coupé par la scie de béton de diamètre 100mm et de hauteur 150mm, les éprouvette ont été sécher en étuve ventilé à 105±5 pendant 24h, ensuite la surface latérale a été imperméabilisé par une couche peinture époxy ;après 48h et durcissement de peinture et avoir une masse constante ,l'essai qui exige de suive l'évolution du poids des éprouvettes immergés en 5mm de quantité d'eau pendant la durée totale d'essai, l'éprouvette de béton est posée sur sa base sciée et sur des cals de 1mm (Figure III.28).



Figure III.27 L'essai d'absorption capillaire

On peut commencer après de mesurer la masse M_0 des éprouvettes en moment T=0 et la mesure de poids pour chaque intervalle de temps proposé par La norme (0 min ,12 min, 30 min ,1h,2h,4h,24h), il faut noter qu'on relève le poids après avoir essuyé l'éprouvette sur un chiffon humide (Figure III.29)

L'absorption capillaire est exprimée en kg (poids d'éprouvette pour chaque incrément de temps sur m² (la surface soumise en contact d'eau)

Le coefficient de sorption (S) est extrait à l'aide d'un graphe de kg/mm² par rapport à la racine carrée du temps. S a été calculée à partir de la pente de la relation linéaire entre Q/A et $\sqrt{t}$.

$$\frac{Q}{A} = \mathbf{S} \times \sqrt{\mathbf{t}}$$

Q : Quantité d'eau absorbé en Kg.

A : La surface de la face immergée en mm².

S : Coefficient de sorption.

t : Temps exprimé en heure.

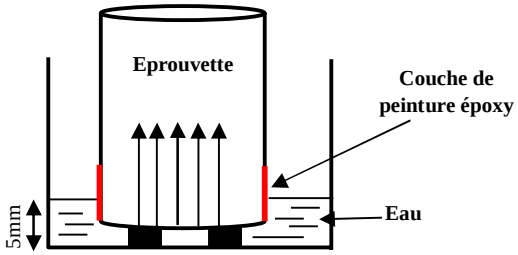


Figure III.28 Absorption d'eau par succion capillaire



Figure III.29 Mesure de poids lors de l'absorption capillaire

III.4.2.3 Porosité accessible à l'eau

Le test de porosité accessible à l'eau a été effectué conformément à la norme AFC-AFREM (Ollivier 1997 **[95]**). Les disques de 100 mm de diamètre et 50 mm d'épaisseur sont fabriqués en sciant des éprouvettes cylindriques normalisées de 100 mm de diamètre et 200 mm de hauteur. Le rapport du volume total des pores ouverts dans un solide poreux à son volume apparent est appelé porosité ε. L'équation suivante est utilisée pour exprimer son volume apparent en pourcentage :

$$\varepsilon\ (\%) = \frac{Mair - Msec}{Mair - Meau}$$

L'essai consiste à déterminer les trois masses suivantes (M_{sec}, M_{air} et M_{eau}) par pesées. Les échantillons ont été séchés dans une étuve ventilée à 105°C ±5, avant de subir l'essai jusqu'à atteindre une masse constante (M_{sec}). Ensuite, ils ont été placés dans un dessiccateur à vide pendant quatre heures, saturés avec de l'eau du robinet pendant une heure et finalement maintenus trempés pendant 18 heures (plus ou moins deux heures). La masse du spécimen (M_{eau}) est la masse du spécimen immergé dans l'eau et suspendu avec un fil, tandis que la masse du spécimen (M_{air}) est la masse du spécimen immédiatement retiré de l'eau et toujours mouillé.



Figure III.30 Essai de porosité accessible à l'eau

III.5 Récapitulatif du programme des essais

III.5.1 Récapitulatif du programme à l'état frais

Le diagramme suivant (Figure III.31) résume les essais réalisés sur les BAPs à l'états frais

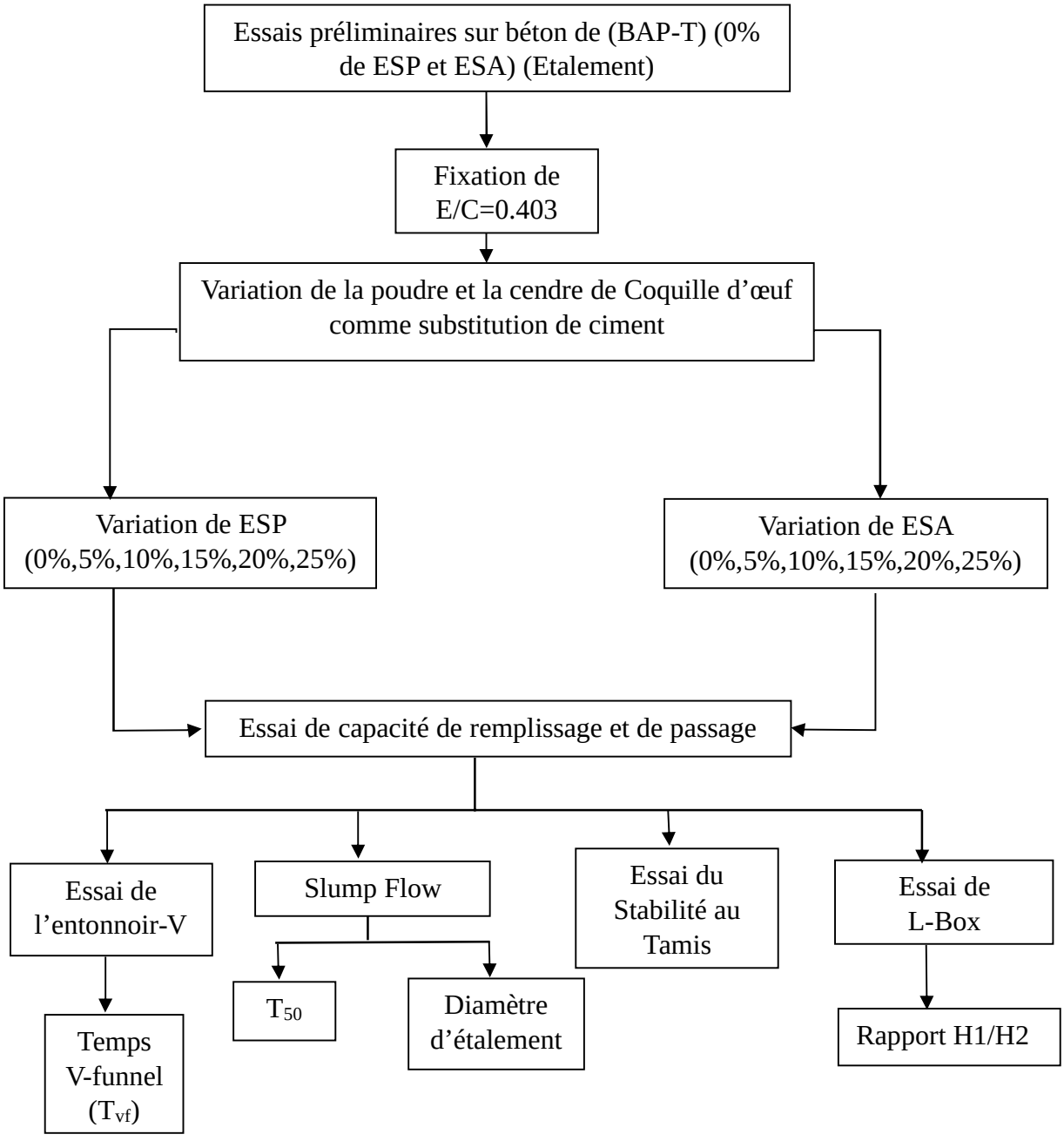


Figure III.31 Diagramme des essais du BAP à l'état frais

III.5.1 Récapitulatif du programme à l'état durci

Le diagramme suivant (Figure III.32) résume les essais réalisés sur les BAPs à l'états durci

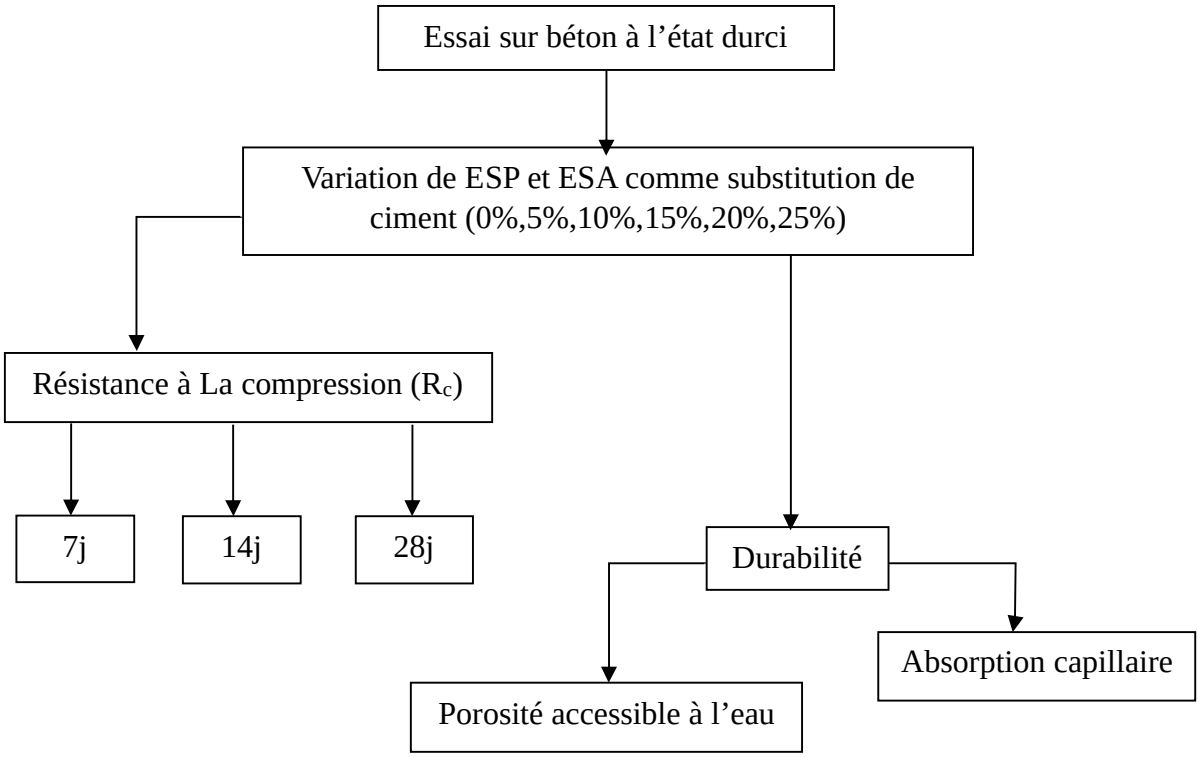


Figure III.32 Diagramme des essais du BAP à l'état Durci

III.6 Conclusion

A la fin de ce chapitre on peut dire pour la formulation du BAP on choisit la méthode d'Okamura optimisé ,on a effectué 4 essais à l'état frais (étalement et T_{50},essai de V-funnel, essai de L-box et ségrégation du tamis) et pour l'état durci on s'est limité seulement pour 3 essai (résistance à la compression et 2 essai de durabilité ; Absorption capillaire et porosité accessible à l'eau) pour manque de temps et matériau on a pas pu réaliser d'autre et on présentera dans le chapitre les résultats avec commentaire de tous ces essais .

CHAPITRE IV

RÉSULTATS & INTERPRÉTATION

IV.1 Introduction

Ce chapitre est concerné par la discussion, analyse et l'interprétation des résultats de la partie expérimentale ,on commence par la description des normes suivit pour l'interprétation des résultats du BAP conçu, ensuite on va analyser et commenter sur l'effet des résultats trouvée de la substitution du ciment par la poudre et la cendre de la coquille d'œuf en état frais(capacité de passage ; capacité de remplissage ;résistance de ségrégation) et état durci (résistance à la compression),et effet sur la durabilité (Porosité accessible à l'eau) .on termine par l'explication des résultats sur le comportement et durabilité de BAP.

IV.2 Description des recommandations suivit

Le béton autoplaçant a été fabriquer suivant les recommendations européenne, The European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification, Production and Use (may 2005) **[88],** Ces lignes directrices et spécifications ont été préparées par un groupe de projet composé de cinq Fédérations européennes qui se consacrent à la promotion des matériaux avancés et des systèmes de fourniture et d'utilisation du béton. Le groupe de projet européen sur le béton autoplaçant a été fondé en janvier 2004 :

- BIBM The European Precast Concrete Organisation.
- CEMBUREAU The European Cement Association.
- ERMCO The European Ready-mix Concrete Organisation.
- EFCA The European Federation of Concrete Admixture Associations.
- EFNARC The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems.

Tableau IV.1 Essai préféré pour les caractéristiques du BAP **[88]**

Caractéristique	**Méthode(s) d'essai préférée(s)**
Fluidité Essai	Essai d'étalement (Slump Flow)
Viscosité (évaluée par la vitesse d'écoulement)	T_{50} d'essai d'étalement Essai de V-funnel
Capacité de passage	Essai de L-Box
Ségrégation	Stabilité au Tamis

Ces directives sont résumées dans les tableaux suivants :

Tableau IV.2 Les différents classe du BAP extrait de chaque essai [**88]**

Essai de Slump Flow	**Classe**	**Diamètre d'étalement (mm)**	
	SF1	550-650	
	SF2	660-750	
	SF3	760-850	
Viscosité	**Classe**	**T_{50} (s) d'étalement**	**Temps de V-funnel (s)**
	VS1/ VF1	≤ 2	≤ 8
	VS2/ VF2	> 2	9 à 25
L-box	**Classe**	**Capacité de passage**	
	PA1	≥ 0,80 avec 2 barres d'armature	
	PA2	≥ 0,80 avec 3 barres d'armature	
Ségrégation (Stabilité au tamis)	**Classe**	**Résistance de ségrégation**	
	SR1	≤ 20	
	SR2	≤ 15	

Tableau IV.3 La conformité aux propriétés de BAP est confirmée si les critères spécifiés satisfont aux limites indiquées **[88]**

Propriétés	**Critère d'acceptance**
Classe d'étalement SF1	≥ 520mm, ≤ 700mm
Classe d'étalement SF2	≥ 640mm, ≤ 800mm
Classe d'étalement SF3	≥ 740mm, ≤ 900mm
Valeur ciblée de l'étalement ± 800mm	
Classe V-funnel VF1	≤ 10s
Classe V-funnel VF2	≥ 7s, ≤ 27s
Valeur ciblée de Temps V-funnel ± 3s	
Classe de L-box PA1	≥ 0,75
Classe de L-box PA2	≥ 0,75
Valeur ciblée de L-box spécifiée +0.80	
Résistance au ségrégation (stabilité au tamis) SR1	≤ 23%
Résistance au ségrégation (stabilité au tamis) SR2	≤ 18%
Valeur ciblée de Résistance au ségrégation 5% ≤ ∏ ≤ 15%	

IV.3 Résultats de l'état frais

IV.3.1 Effet sur l'étalement de cône d'Abrams et T50

IV.3.1.1 Effet sur l'étalement de cône d'Abrams

Les résultats d'étalement sont résumés au (Tableau IV.4) illustré en **(**Figure IV.1)

Tableau IV.4 Résultat de l'essai d'étalement (Slump Flow)

Pourcentage des fines de coquille d'œuf (%)		**0%**	**5%**	**10%**	**15%**	**20%**	**25%**
Diamètre D'étalement (mm)	**BAP-ESA**	805.5	828	821	831	818	838
	BAP-ESP	805.5	761.5	702	660	625	585

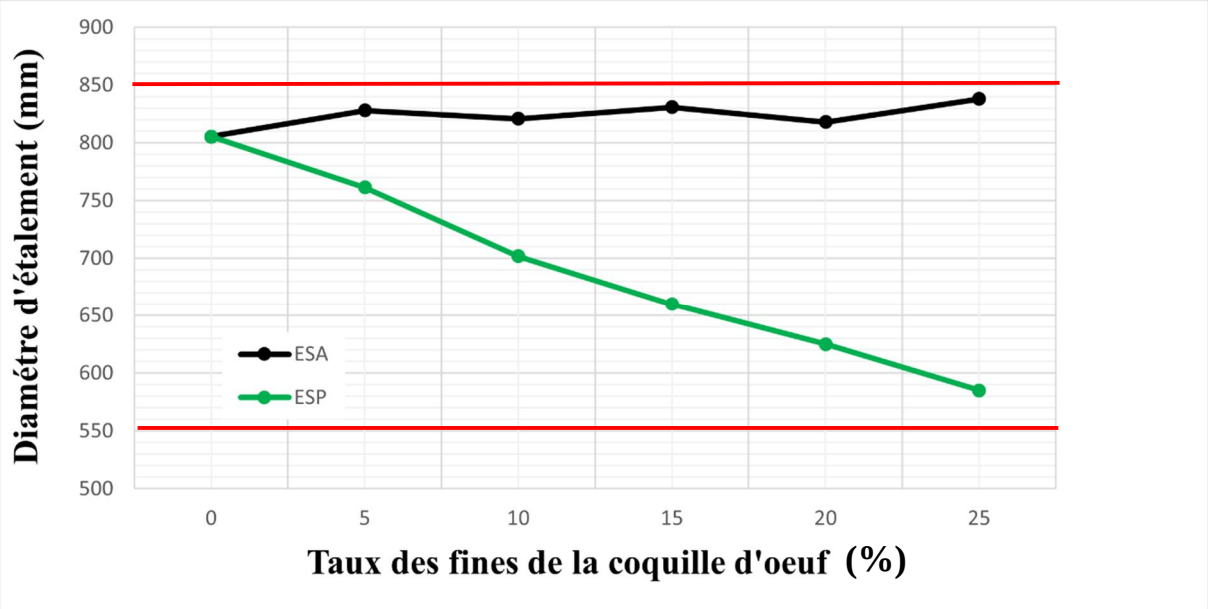


Figure IV.1 étalement on fonction des taux des fines de la coquille d'œuf

D'après cette figure on remarque globalement que pour tous les mélanges de BAP en substitution du ciment par la poudre de la coquille d'œuf non calciné (ESP) et calciné (ESA), présentent un étalement convenable aux normes compris entre 585-835.8 mm, ce qui indique une bonne fluidité, les échenillions contenants jusqu'à 15% de ESP présentent une fluidité idéal d'après EFNARC (650-800mm) , tandis que la substitution partielle de ciment par 20% et 25% de coquille d'œuf sont acceptable selon les recommandations des normes **[87,88]** .

On distingue que les taux de substitution par 5% de ESP appartient à la classe SF3, qui est destiné pour les structures très fortement ferraillées ; quand la substitution de (10% et

15%) appartient à la classe SF2 ,par conséquent cette classe du BAP peut être utilisé pour la majorité des application , et les échenillions contenants entre (20% et 25%) sont convenable pour la réalisation des dalles et les planchers.

De plus on peut remarquer également que la valeur optimale d'étalement est enregistrée au Béton Témoin tandis que la valeur la plus faible était avec 25% de substitution. Par conséquent on peut dire que l'augmentation du taux de substitution de ESP induit une chute d'étalement des échantillons, on remarque pareillement que la valeur d'étalement avec 25% de ESP est au niveau de la limite toléré par la norme , d'après ces résultats on distingue que le mélange du BAP-ESP présente une bonne homogénéité et capacité de **(**Figure IV.2-(A)et (B)) l'examen visuel de cette figure montre qu'il y'a aucun ressuage et ségrégation.

D'autre part le BAP fabriqué avec la substitution partielle du ciment par la coquille d'œuf calciné a donné un étalement plus important que celui fabriqué par la coquille d'œuf non calciné et il est compris entre (805.5-851) mm qui sont dans la plage recommandé par (Tableau IV.3**) [88],** aucun effet remarquable a été enregistré sur l'étalement en ajoutant la coquille d'œuf calciné, on distingue aussi que le BAP-ESA est très fluide avec la présence d'un ressuage à la surface, et il appartient à la classe SF3 **(**Figure IV.2)

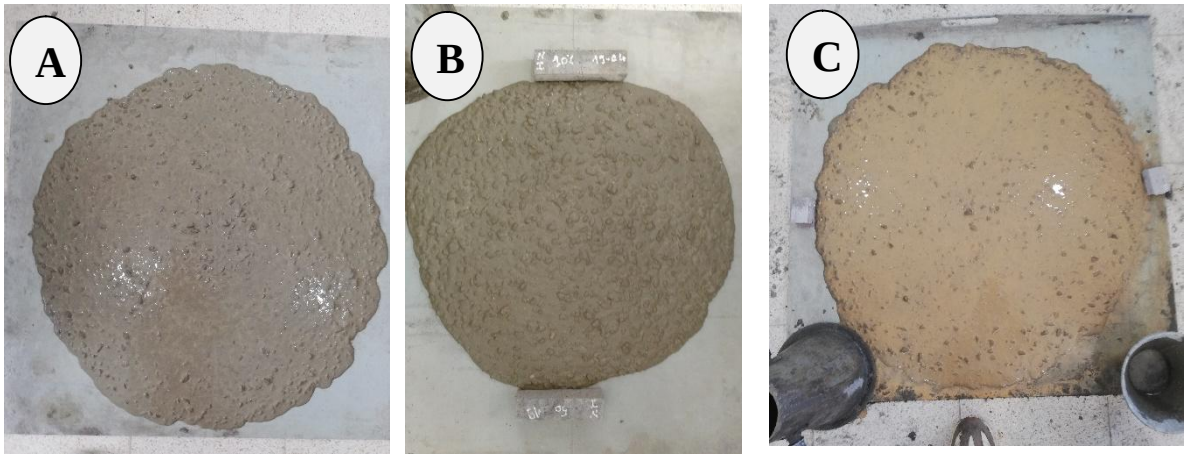


Figure IV.2 étalements de (A) BAP-T 0% ;(B) 25% de BAP-ESP ;(C) 10% de BAP-ESA

Il faut noter que pour BAP-ESA (de 5% à 25%) avait le même aspect visuel que celui de **(**Figure IV.2-(C))., et le taux optimal était avec celui de 20% de substitution.

Ces résultats sont similaires à celle trouvé par **[96]** (Olatokunbo M. Ofuyatan,et al) ,une diminution de l'étalement en augmentant le pourcentage de la coquille d'œuf (ESP), la valeur minimale est enregistré avec 30% de substitution qui de 550mm

IV.3.1.2 Effet sur le T_{50} d'étalement

Les résultats d'étalement sont résumés au (Tableau IV.5) illustré en **(**Figure IV.3)

Tableau IV.5 Résultat du T_{50} de l'essai d'étalement

Pourcentage des fines de coquille d'œuf (%)		0%	5%	10%	15%	20%	25%
T_{50} (s)	BAP-ESA	1.78	1.75	1.74	1.72	1.77	1.79
	BAP-ESP	1.78	1.40	1.44	1.78	1.85	2.5

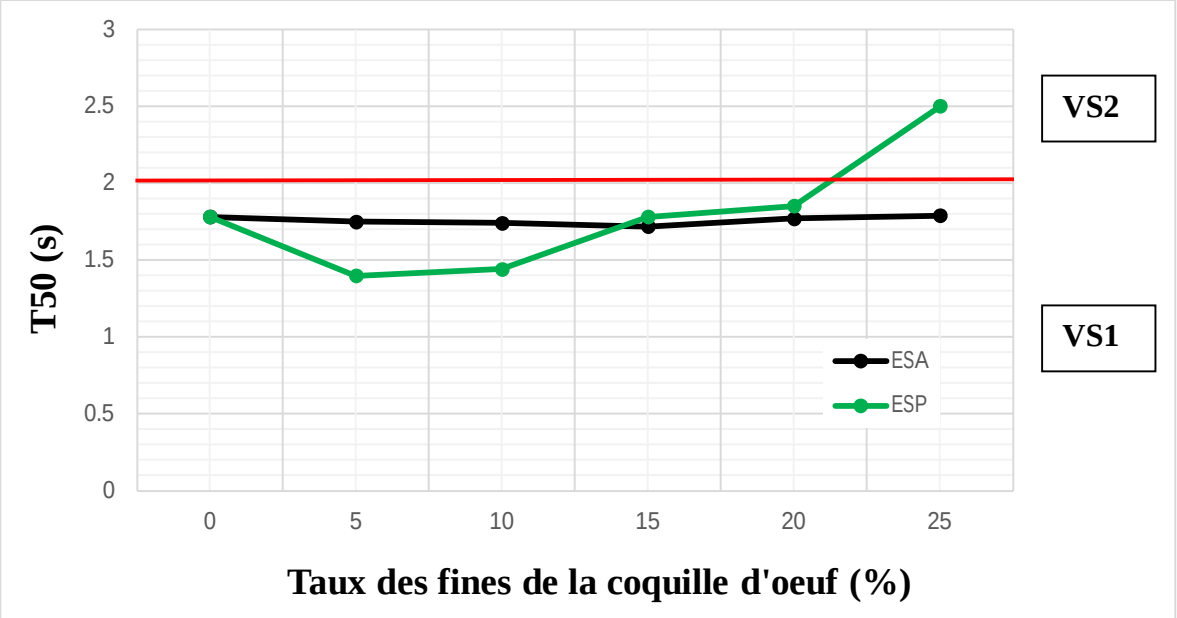


Figure IV.3 Le T_{50} d'étalement on fonction des taux des fines de la coquille d'œuf

En analysant la **(**Figure IV.3), on remarque que pour Tous les mélange du BAP fabriqué présentent une bonne fluidité avec une bonne capacité de remplissage selon recommandations des normes [**88]**,

D'après cette figure on distingue une stabilité du temps T_{50} pour tous les mélanges de BAP-ESA qui sont conformes aux recommandations de Européen guidelines **,** cette catégorie viscosité de bétons appartiennent à la classe VS1 de viscosité **[88].**Cependant concernant les mélanges du BAP fabriqué avec substitution partielle du ciment par la poudre de coquille d'œuf non calciné ,une faible diminution est obtenu jusqu'a le 10% de ESP , après on remarque une augmentation graduelle du Temps T_{50} jusqu'au la valeur maximale de 2,5 s avec 25% de substitution . Ces résultats sont en concordance à celle trouvé par **[96]** (Olatokunbo M. Ofuyatan,et al) ,ils ont trouvé une augmentation de Temps d'écoulement avec

l'augmentation de pourcentage substitution de coquille d'œuf (ESP), la valeur maximale est enregistré avec 30% de substitution qui d'environ 6 s .

IV.3.2 Effet sur le temps d'écoulement à travers V funnel

Les résultats de temps d'écoulement en entonnoir en V sont résumés au (Tableau IV.6) illustré en **(**Figure IV.4)

Tableau IV.6 Résultat du temps d'écoulement $T_{V\text{-}funnel}$

Pourcentage des fines de coquille d'œuf (%)		**0%**	**5%**	**10%**	**15%**	**20%**	**25%**
Temps d'écoulement $T_{v\text{-}funnel}$	**BAP-ESA**	2.74	3.76	3.78	4.20	3.89	3.71
	BAP-ESP	2.74	3.33	3.60	3.76	4.19	6.23

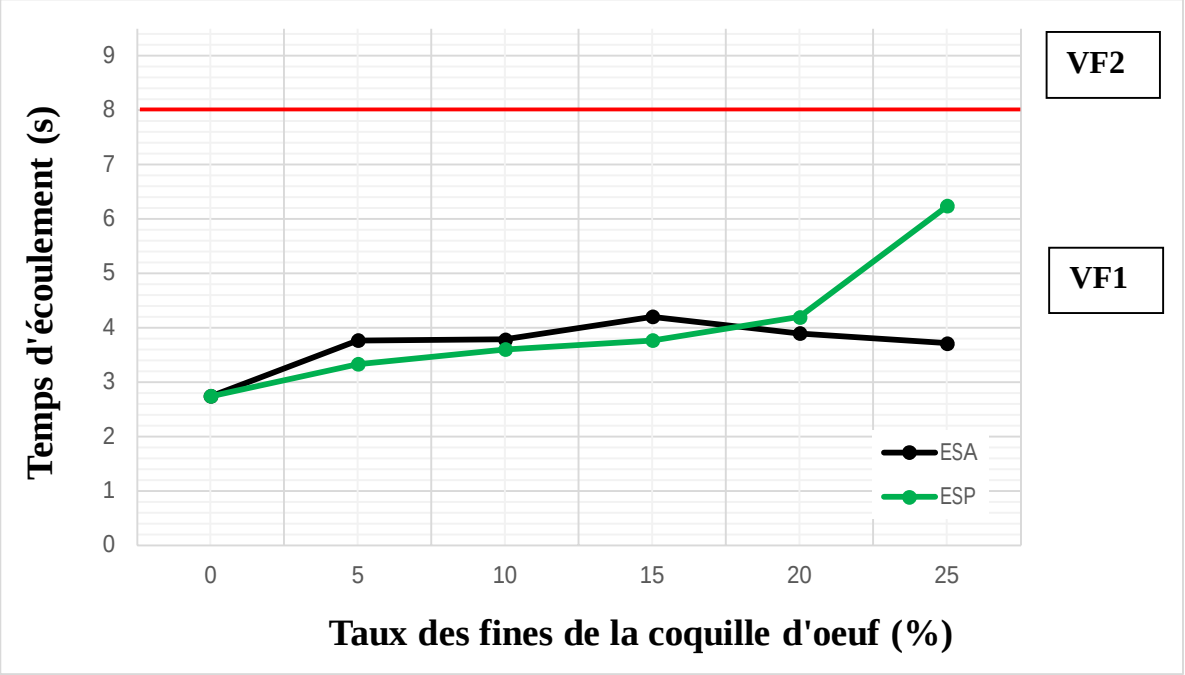


Figure IV.4 Le Temps d'écoulement $T_{V\text{-}funnel}$ on fonction des taux des fines de la coquille d'œuf

On remarque d'après cette figure une relation proportionnelle de Temps de V-funnel avec l'augmentation de taux de substitution de BAP-ESP, c'est-à-dire une faible augmentation de $T_{V\text{-}funnel}$ avec l'augmentation du taux de substitution.

On distingue également d'après la même figure que les résultats de Temps d'écoulement (V-funnel) sont conforme à la plage recommandée par la norme [**88]**, une bonne fluidité est observée accompagnée d'une bonne capacité de remplissage pour tous les mélange de BAP fabriqué, ils appartiennent à la même classe de viscosité VF1, la valeur maximale a été enregistré avec le mélange contenant 25% de la poudre de coquille d'œuf (ESP) en

substitution du ciment , tandis que la plus faible valeur a été enregistré avec celle du BAP-Témoin. Cependant les valeurs obtenues avec la substitution partielle de ciment par la poudre calcinés de coquille d'œuf (ESA) présente une stabilité en comparaison avec celle des valeurs obtenues par BAP-ESP. Cela est confirmé par d'autres résultat de recherche trouvé par **[96]** (Olatokunbo M. Ofuyatan,et al) ,ils ont remarqué une très faible augmentation de Temps d'écoulement avec l'augmentation de pourcentage de substitution de coquille d'œuf (ESP), qui varié d'environ entre (7 et 8) s.

IV.3.3 Effet sur la ségrégation dynamique à travers L-Box

Les résultats du rapport H2/H1 sont résumés au (Tableau IV.7) et illustré **(**Figure IV.5)

Tableau IV.7 Résultat du Rapport H2/H1 d'essai de L-Box

Pourcentage des fines de coquille d'œuf (%)		**0%**	**5%**	**10%**	**15%**	**20%**	**25%**
Rapport H2/H1	**BAP-ESA**	0.95	0.97	0.95	0.96	0.95	0.95
	BAP-ESP	0.95	0.93	0.89	0.84	0.82	0.79

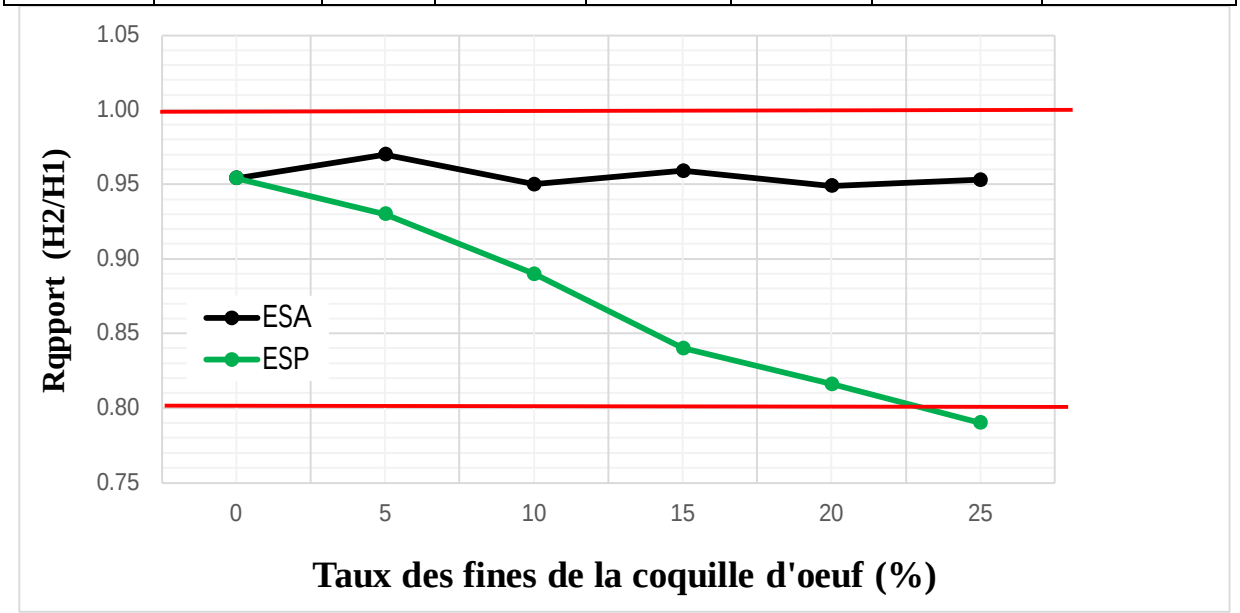


Figure IV.5 Le Rapport (H2/H1) on fonction des taux des fines de la coquille d'œuf

L'essai de L-box permet de donner une idée sur la capacité de passage des BAPs à travers les milieux confinés, d'après la **(**Figure IV.5) illustré on peut remarquer de façon générale que pour tous les deux séries de mélanges fabriqué le rapport (H2/H1) est situé à l'intérieur de la plage recommandé par la norme qui est de (0.8 % et 1 %) **[88].**Une relation inversement proportionnelle est observé avec le rapport (H2/H1) et le taux de substitution de

la poudre de coquille d'œuf (ESP) .Le BAP contenant de teneur en ESA de 25% présente la plus faible valeur du rapport H2/H1=79%.

Les résultats de la deuxième série de mélange montrent que l'incorporation des fines calciné (ESA) au béton autoplaçant n'affecte pas de façon importante la capacité de passage des bétons, une stabilité de pourcentage de rapport H2/H1 est obtenue.

IV.3.4 Effet sur la ségrégation statique (stabilité au tamis)

Les résultats de la résistance à la ségrégation se fait par calcul de laitance et sont présents au (Tableau IV.8) et illustré **(**Figure IV.6)

Tableau IV.8 Résultat du calcul de laitance (essai de stabilité au tamis)

Pourcentage des fines de coquille d'œuf (%)		**0%**	**5%**	**10%**	**15%**	**20%**	**25%**
Laitance (%)	**BAP-ESA**	13.98	14.52	20.08	26.96	35.98	36.56
	BAP-ESP	13.98	11.30	7.41	6.398	3.68	1.31

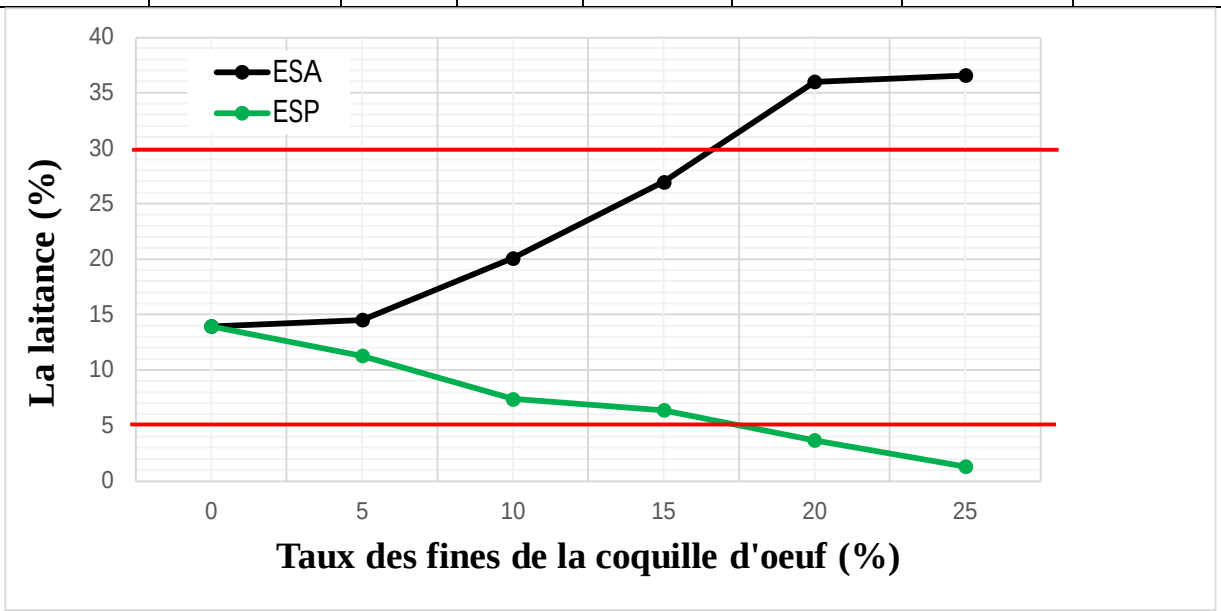


Figure IV.6 La laitance (%) on fonction des taux des fines de la coquille d'œuf

L'essai de la stabilité au tamis sert à évaluer la capacité de résistance du béton autoplaçant à la ségrégation, et de rester homogène. D'après la Figure IV.6 on constate que les deux courbes présentent un comportement complétement opposé, on peut noter que la substitution du ciment par ESA induit une augmentation de la laitance avec l'accroissement des taux des fines de de coquille d'œuf calciné, c'est-à-dire le mélange devient instable. Tandis que les échantillons fabriqués avec la poudre de la coquille d'œuf non calciné

présentent une diminution importante avec l'augmentation de taux des fines de ESP, ces résultats indiquent une stabilité satisfaisante à la ségrégation selon les recommandations de la norme **[97]**.

Tableau IV.9 critères de la stabilité au tamis **[97]**

Conditions	Critère de stabilité	Remarques
0% ≤ ∏ ≤ 5%	BAP est trop sévère et entraînera une mauvaise finition de la surface.	
0% ≤ ∏ ≤ 15%	Stabilité satisfaisante	Béton stable et homogène
15%≤ ∏ ≤ 30%	Stabilité critique	Vérifier les autres paramètres d'ouvrabilité
30% ≤ ∏	Stabilité très mauvaise	Béton inutilisable

D'après la figure et le (Tableau IV.9) le taux de ESA (0% ;5%) ont une stabilité satisfaisante et le béton est stable et homogène, pour (10% ;15%) ont une stabilité critiqué nécessite une vérification des autres critères d'ouvrabilité (L-box, V-funnel et étalement), et concernant ESA (20% et 25%) sont des bétons inutilisables.

Tandis que la substitution par la poudre de coquille d'œuf non calciné jusqu'à un taux de 15% les mélanges présentent un comportement stable et homogène, Tandis qu'au-delà de 15% de substitution on remarque que le BAP devient trop sévère avec une mauvaise finition de surface.

IV.4 Résultats de l'état durci

IV.4.1 Effet sur la résistance mécanique

L'essai la résistance de compression à 7j 14j et 28 de mélange BAP avec substitution de ciment par la coquille d'œuf calciné (ESA) a été effectué sur la moyenne de deux éprouvettes cubiques de (100x100x100) mm^3 pour chaque taux des fines, les résultats sont illustrés sur le (Tableau IV.10) et la **(**Figure IV.7).

Tableau IV.10 Résultats de la résistance de compression pour BAP-ESA

	Taux des fines de ESA											
Jours	**0%**		**5%**		**10%**		**15%**		**20%**		**25%**	
07 j	R_{c1}	R_{c2}	R_{c1}	R_{c2}	R_{c1}	R_{c2}	R_{c1}	R_{c2}	R_{c1}	R_{c2}	R_{c1}	R_{c2}
	41.97	37.77	35.59	36.51	33.94	38.32	38.10	38.94	35.29	31.63	30.45	30.98
	Rc_{moy}(MPa)		**Rc_{moy}(MPa)**		**Rc_{moy}(MPa)**		**Rc_{moy}(MPa)**		**Rc_{moy}(MPa)**		**Rc_{moy}(MPa)**	
	39.874		36.05		36.13		38.52		33.46		30.715	
14 j	R_{c1}	R_{c2}	R_{c1}	R_{c2}	R_{c1}	R_{c2}	R_{c1}	R_{c2}	R_{c1}	R_{c2}	R_{c1}	R_{c2}
	42.37		46.38	45.89	42.95	39.52	42.39	42.34	39.05	38.16	34.67	33.68
	Rc_{moy}(MPa)		**Rc_{moy}(MPa)**		**Rc_{moy}(MPa)**		**Rc_{moy}(MPa)**		**Rc_{moy}(MPa)**		**Rc_{moy}(MPa)**	
	42.37		46.135		42.235		42.37		38.605		34.175	
28 j	R_{c1}	R_{c2}	R_{c1}	R_{c2}	R_{c1}	R_{c2}	R_{c1}	R_{c2}	R_{c1}	R_{c2}	R_{c1}	R_{c2}
	52.03	53.53	53.99	53.87	48.99	47.52	40.3	43.86	38.71	35.85	33.61	37.36
	Rc_{moy}(MPa)		**Rc_{moy}(MPa)**		**Rc_{moy}(MPa)**		**Rc_{moy}(MPa)**		**Rc_{moy}(MPa)**		**Rc_{moy}(MPa)**	
	52.78		53.93		48.255		42.08		37.28		35.485	

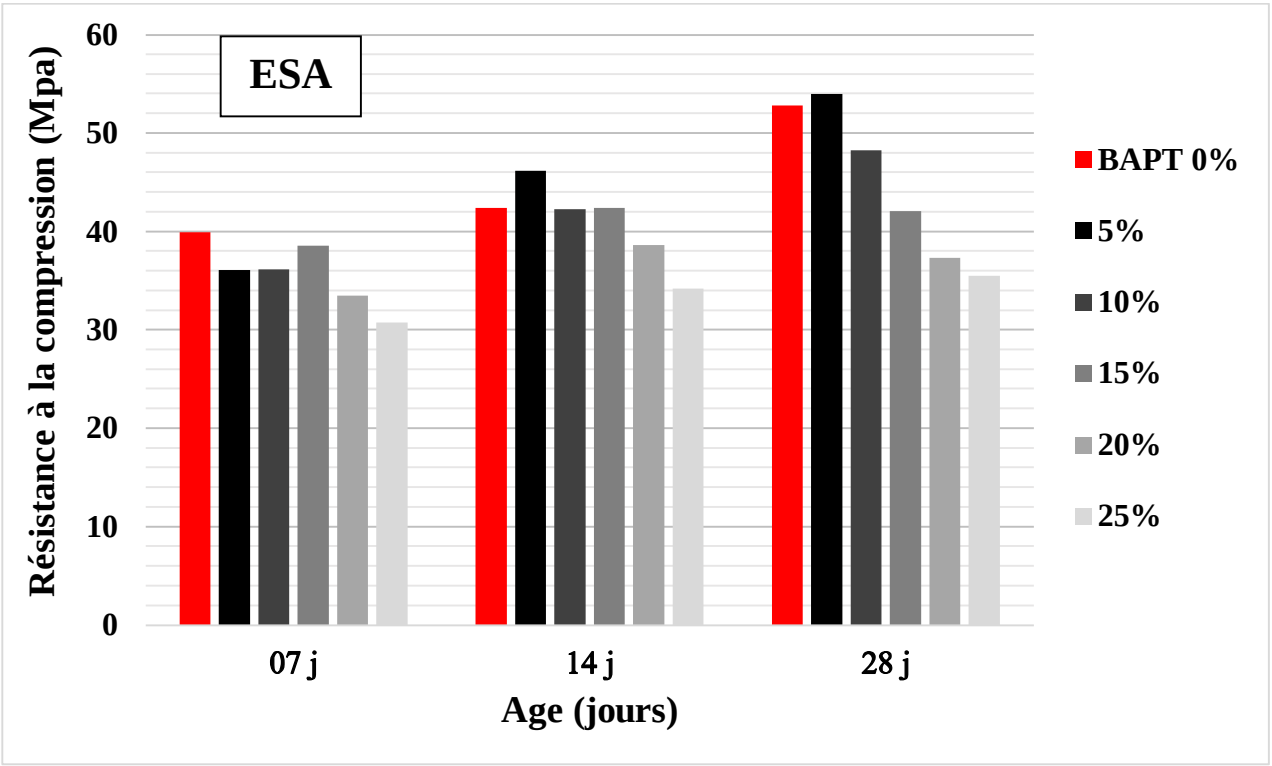


Figure IV.7 Diagramme en colonne de résistance de compression de BAP-ESA en fonction du temps (jours)

D'après histogramme de colonne on remarque qu'à 7jours il y'a une diminution de la résistance à la compression avec l'augmentation de taux de substitution de la poudre de coquille calciné (ESA), la valeur la plus faible est enregistré avec le taux de fines de 25% (ESA). Une amélioration de la résistance à la compression est observé à l'Age de 14 jours pour tous les mélanges en comparaison avec celle de 7 jours, la substitution partielle de ciment par 5% de ESA présente une résistance à la compression (46 MPa) supérieure par rapport à celle de BAP témoin ,au-delà de ce taux de substitution une diminution de la résistance à la compression, la valeur la plus faible est enregistré avec le taux de 25% de ESA, le même comportement est observé pour la résistance à la compression à long terme à 28 jours, seulement que les valeurs sont supérieures par rapport à celles de 14 jours, cela peut être dû à l'hydratation du ciment. On peut remarquer qu'une amélioration d'environ 3% de résistance avec 5% de substitution est enregistré par rapport à celle de référence, quoi que la résistance de tous les mélanges reste comparable aux normes.

- Les résultats de la résistance de compression à 7j 14j et 28 de mélange BAP avec substitution de ciment par la poudre de la coquille d'œuf (ESP) sont représenté au (Tableau IV.11) et illustré dans la **(**Figure IV.8)

Tableau IV.11 Résultats de la résistance de compression pour BAP-ESP

	Taux des fines de ESP											
Jours	**0%**		**5%**		**10%**		**15%**		**20%**		**25%**	
07 j	R_{c1}	R_{c2}	R_{c1}	R_{c2}	R_{c1}	R_{c2}	R_{c1}	R_{c2}	R_{c1}	R_{c2}	R_{c1}	R_{c2}
	41.97	37.77	30.57	33.01	34.28	34.02	22.22	24.96	29.41	28.64	25.4	24.39
	Rc_{moy}(MPa)		**Rc_{moy}(MPa)**		**Rc_{moy}(MPa)**		**Rc_{moy}(MPa)**		**Rc_{moy}(MPa)**		**Rc_{moy}(MPa)**	
	39.874		31.79		34.15		23.59		29.02		24.895	
14 j	R_{c1}	R_{c2}	R_{c1}	R_{c2}	R_{c1}	R_{c2}	R_{c1}	R_{c2}	R_{c1}	R_{c2}	R_{c1}	R_{c2}
	42.37		44.86	44.12	35.3	31.15	32.16	32.84	31.45	32.43	33.14	31.28
	Rc_{moy}(MPa)		**Rc_{moy}(MPa)**		**Rc_{moy}(MPa)**		**Rc_{moy}(MPa)**		**Rc_{moy}(MPa)**		**Rc_{moy}(MPa)**	
	42.37		44.49		33.225		32.50		31.94		32.21	
28 j	R_{c1}	R_{c2}	R_{c1}	R_{c2}	R_{c1}	R_{c2}	R_{c1}	R_{c2}	R_{c1}	R_{c2}	R_{c1}	R_{c2}
	52.03	53.53	42.95	47.64	35.62	36.65	34.57	34.79	35.87	40.04	36.25	36.48
	Rc_{moy}(MPa)		**Rc_{moy}(MPa)**		**Rc_{moy}(MPa)**		**Rc_{moy}(MPa)**		**Rc_{moy}(MPa)**		**Rc_{moy}(MPa)**	
	52.78		45.29		36.135		34.68		37.955		36.365	

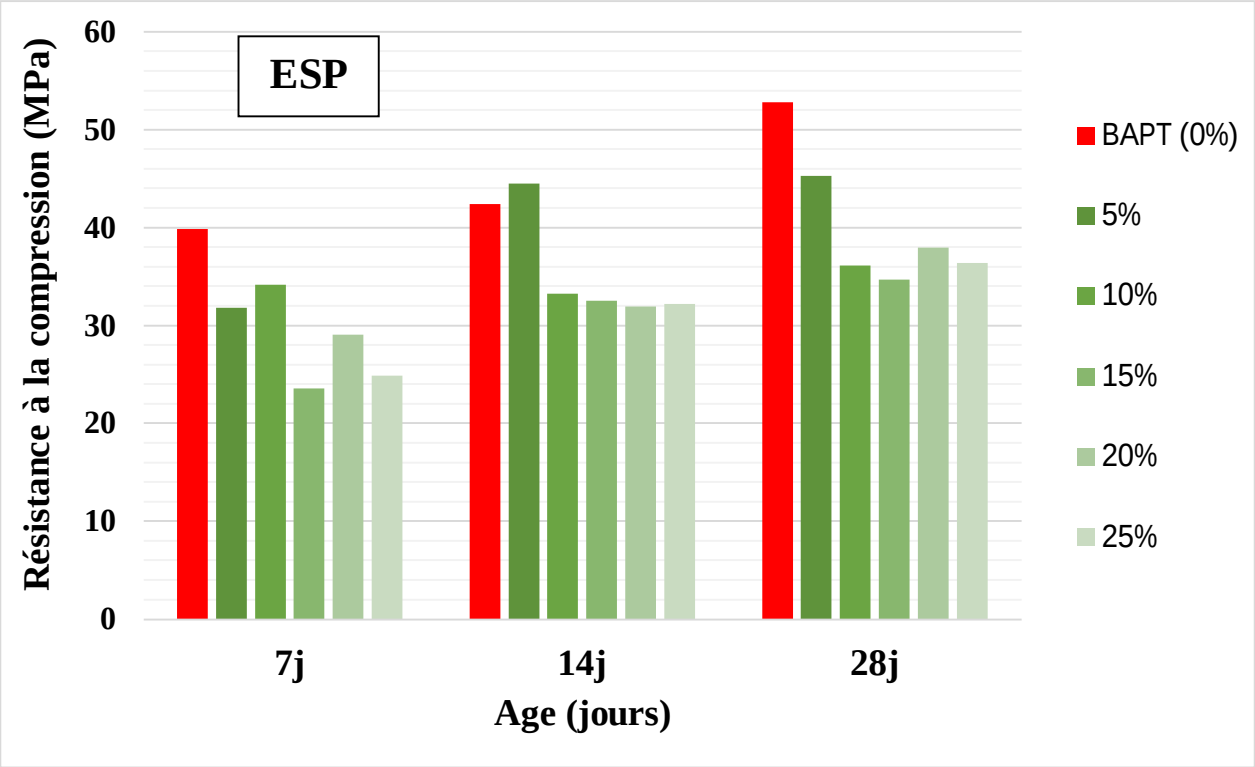


Figure IV.8 Diagramme en colonne de résistance de compression de BAP-ESP en fonction du temps (jours)

D'après la figure illustrée ci-dessus on distingue qu'à 7jours la résistance à la compression des mélanges contenants la coquille d'œuf non calciné est inferieur par rapport à la résistance du béton témoin, tandis que la substitution partielle du ciment avec 5% de ESP améliore la résistance à la compression à 14 jours, la même remarque a été observé avec la poudre de coquille d'œuf calciné au niveau du même taux de substitution, une faible amélioration de la résistance de compression est enregistré pour tous les mélanges à 28 jours par rapport aux mélanges à l'âge de 14 jours , ces résultats sont en concordance avec celles trouvé par (G. Vasudevan, S. Chan Wei 2020) **[98]** qui ont constaté le même comportement avec une plage de variation entre (36-48) MPa .

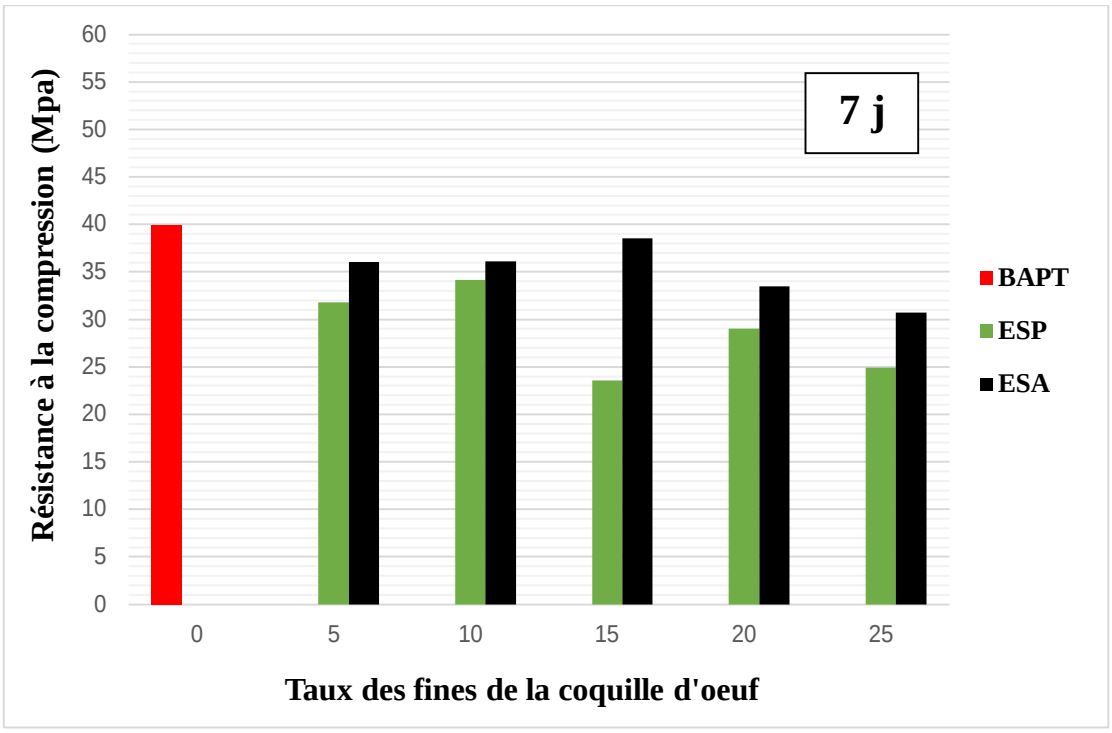


Figure IV.9 comparaisons entre BAP-T, BAP-ESP et BAP-ESA au jeune âge (7jour)

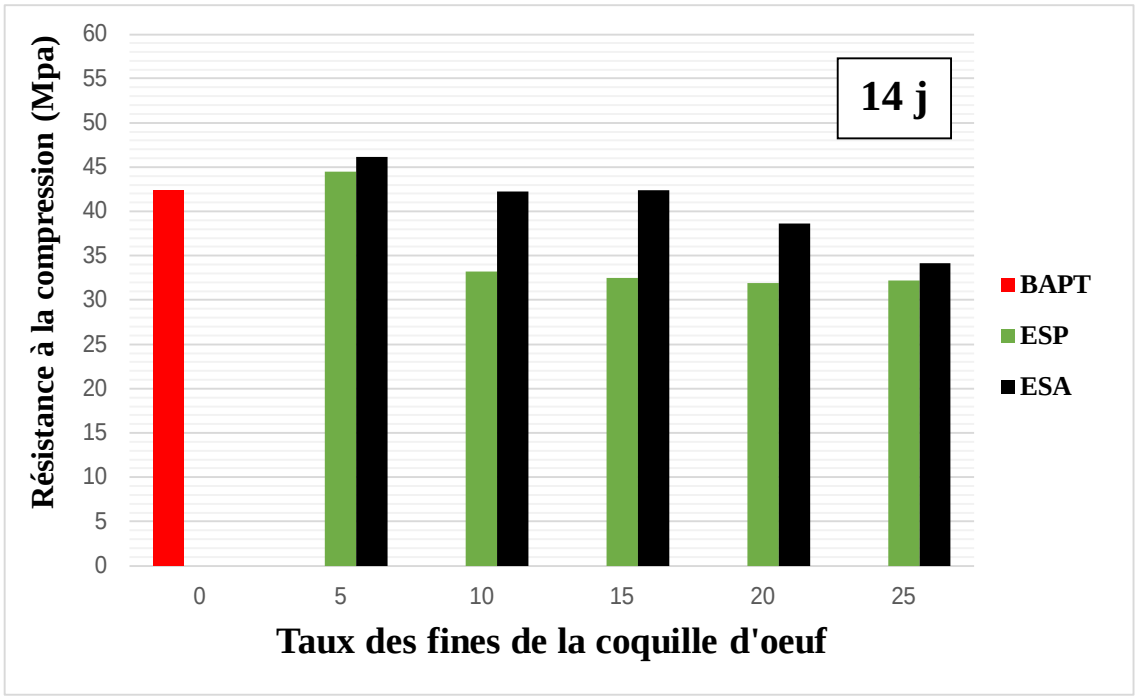


Figure IV.10 comparaisons entre BAP-T, BAP-ESP et BAP-ESA l'âge de (14jour)

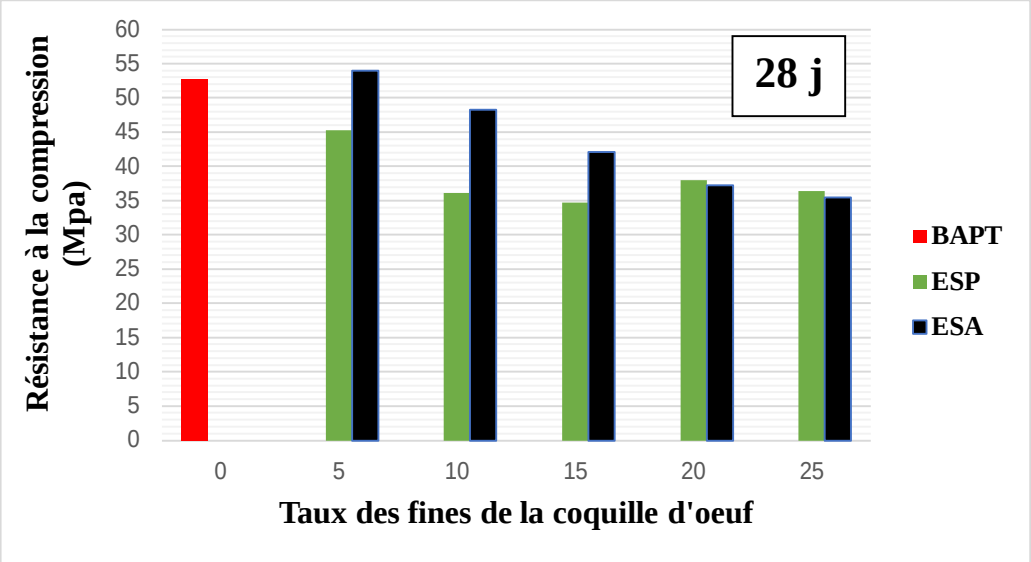


Figure IV.11 comparaisons entre BAP-T, BAP-ESP et BAP-ESA au 28éme jours

La comparaison des résistance à la compression des bétons contenants la poudre de coquille d'œuf calciné et non calciné à 7 jours ,14 jours et 28 jours sont représenté sur les Figures (IV.9, IV.10, IV.11) .En analysant toutes ces Figures , on remarque que pour tous les bétons que ce soit à jeune âge ou à long terme les bétons fabriqué avec la coquille d'œuf calciné présentent une résistance à la compression supérieure par rapport à celle des bétons fabriqué avec la poudre de coquille d'œuf non calciné avec le même taux de substitution, la substitution partielle de ciment jusqu'à 15% de ESA améliore la résistance à la compression, et au-delà de ce taux de substitution aucun effet significatif est observé à la résistance mécanique, la valeur optimale est enregistré avec 5% de substitution de ESA, de façon général ces résultats sont similaire à celle trouvé par (Hussein Alaa Jaber et al 2019) [**65]**,qui ils ont trouvé que la résistance à la compression des mortier contenant de la coquille calciné est supérieure à celle des mortiers contenants de la coquille d'œuf non calciné .

IV.4.2 Effet sur la porosité accessible à l'eau

Cet essai de durabilité a été réaliser au 28 jours sur des éprouvette de béton sciée de forme cylindrique, et les résultats sont résumés dans le (Tableau IV.12) et illustré en (Figure IV.12) pour BAP contenant de ESA et dans le (Tableau IV.13) et illustré en (Figure IV.12) pour le BAP contenant de la poudre de la coquille d'œuf (ESP).

Tableau IV.12 Résultats de l'essai de porosité accessible à l'eau pour le BAP-ESA

	Pourcentage des fines de la poudre de coquille d'œuf calciné (ESA) (%)					
Masse en (g)	**0%**	**5%**	**10%**	**15%**	**20%**	**25%**
M sec	890.9	853.5	869.8	831.2	814.3	869.7
M air	920.1	885.8	903.8	866.8	861	912.7
M eau	530.4	511	518.7	503.3	494.8	524.7
Ɛ (%)	7.49	8.62	8.83	9.79	12.75	11.08

Tableau IV.13 Résultats de l'essai de porosité accessible à l'eau pour le BAP-ESP

	Pourcentage des fines de la poudre de coquille d'œuf non calciné (ESP) (%)					
Masse en (g)	**0%**	**5%**	**10%**	**15%**	**20%**	**25%**
Msec	890.9	823.2	789.6	782.2	859.5	850.5
M air	920.1	856.2	817.9	815.2	891.2	881.4
M eau	530.4	494.7	469.5	479.2	534.9	494.3
Ɛ (%)	7.49	9.13	8.12	9.82	8.90	7.98

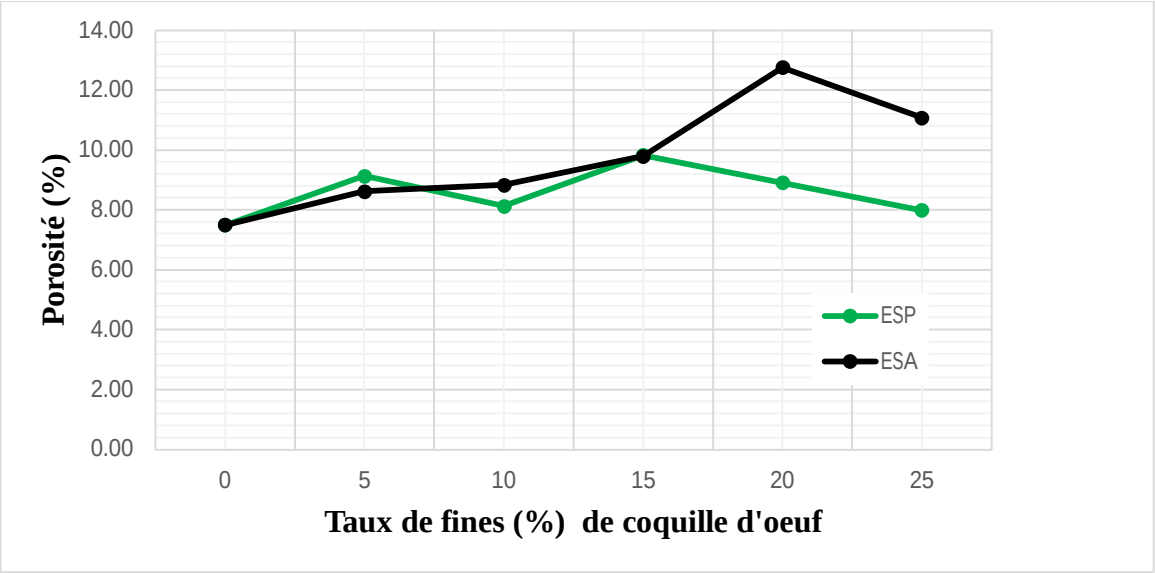


Figure IV.12 Résultat de d'essai de porosité (%) en fonction de taux de fines de coquille d'œuf

En analysant la courbe illustrée en (Figure IV.12), on constate que la porosité de BAP-ESA est généralement supérieure à celle de BAP-ESP, l'augmentation du taux de substitution

partielle de ciment par ESA induit une augmentation de la porosité accessible à l'eau qui varie d'environ entre 9% et 13%, tandis qu'aucun effet significatif est observé pour les mélanges contenants la poudre de coquille d'œuf non calciné (ESP) qui est entre 8% et 10%,ces résultat permet de conclure que le béton fabriqué avec ESA présente une porosité importante par rapport à celle de béton fabriqué avec coquille d'œuf non calciné

IV.4.3 Effet sur l'absorption capillaire

Cet essai de durabilité a été réaliser au 28 jours sur des éprouvette de béton sciée de forme cylindrique, et les résultats sont résumés dans le (Tableau IV.14) et illustré en (Figure IV.13) pour BAP contenant de ESA. Les résultats résumés dans (Tableau IV.15) et illustré en (Figure IV.14) sont pour le BAP contenant de la poudre de la coquille d'œuf (ESP).

Tableau IV.14 Résultats de l'essai de l'absorption capillaire pour le BAP-ESA

	Masse de différents taux en coquille d'œuf calciné en (kg)					
Temps	**0%**	**5%**	**10%**	**15%**	**20%**	**25%**
0 min	2.4938	2.4247	2.4251	2.4957	2.4386	2.4022
12 min	2.4962	2.4275	2.4271	2.4986	2.4419	2.4055
30 min	2.4972	2.4288	2.4286	2.4999	2.4435	2.407
1h	2.4978	2.4307	2.4306	2.5011	2.4449	2.4085
2h	2.4985	2.4323	2.4322	2.5025	2.4466	2.4101
4h	2.4994	2.4341	2.4340	2.5045	2.4490	2.4120
24h	2.5028	2.4416	2.4414	2.5127	2.4569	2.4182

Tableau IV.15 Résultats de l'essai de l'absorption capillaire pour le BAP-ESP

	Masse de différents taux en coquille d'œuf non calciné en (kg)					
Temps	0%	5%	10%	15%	20%	25%
0 min	2.4938	2.3047	2.1486	2.4274	2.4485	2.4833
12 min	2.4962	2.3064	2.1507	2.4286	2.4504	2.4849
30 min	2.4972	2.3075	2.1515	2.4294	2.4513	2.4857
1h	2.4978	2.3082	2.1521	2.4303	2.4522	2.4864
2h	2.4985	2.3092	2.153	2.4313	2453	2.4873
4h	2.4994	2.3101	2.1537	2.4322	2.4537	2.4879
24h	2.5028	2.3144	2.1569	2.4359	2.4562	2.4914

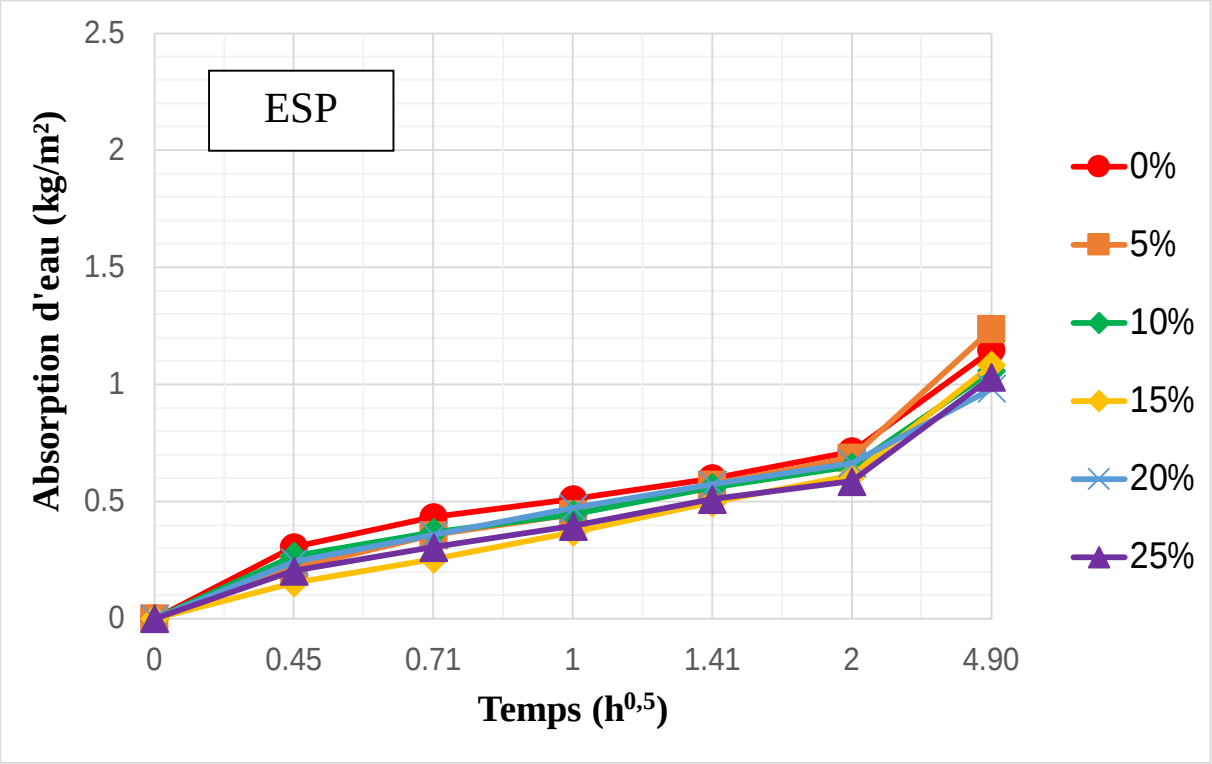


Figure IV.13 Résultat de d'essai d'absorption capillaire (kg/m²) de différents taux de fines **ESP** en fonction de temps ($h^{0.5}$)

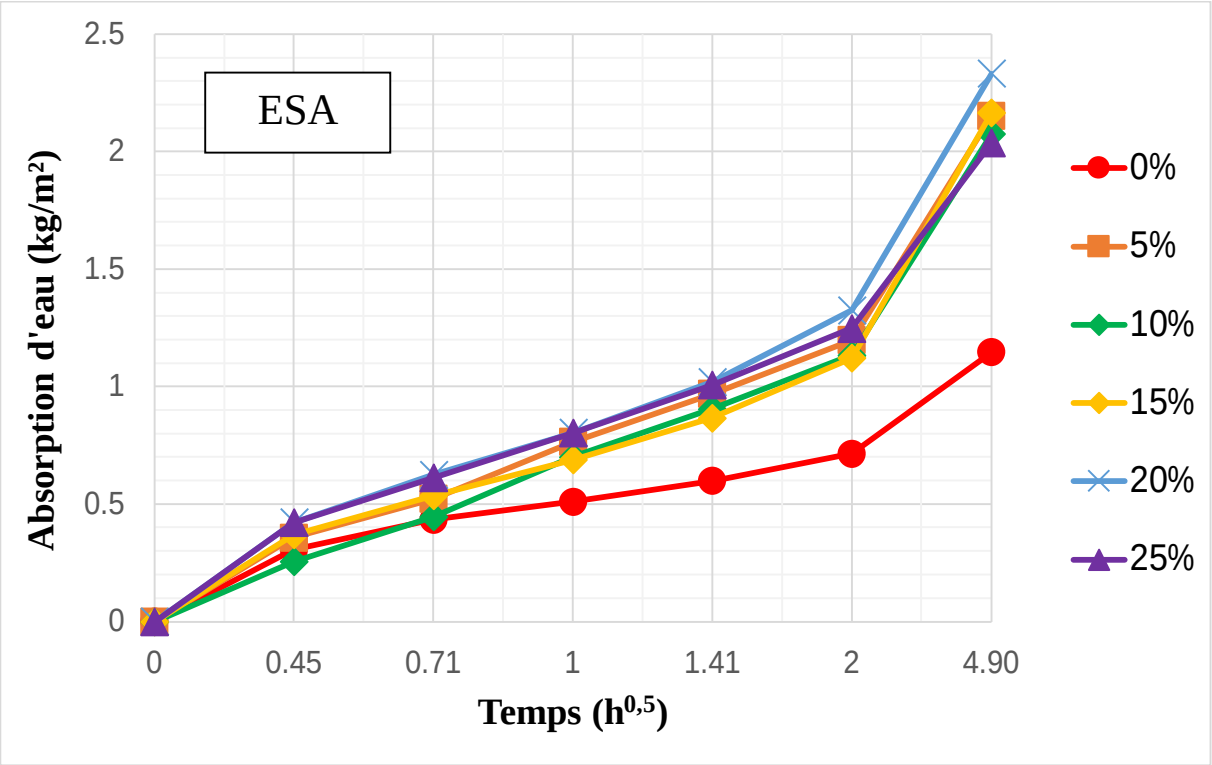


Figure IV.14 Résultat de d'essai d'absorption capillaire (kg/m²) de différents taux de fines **ESA** en fonction de temps ($h^{0.5}$)

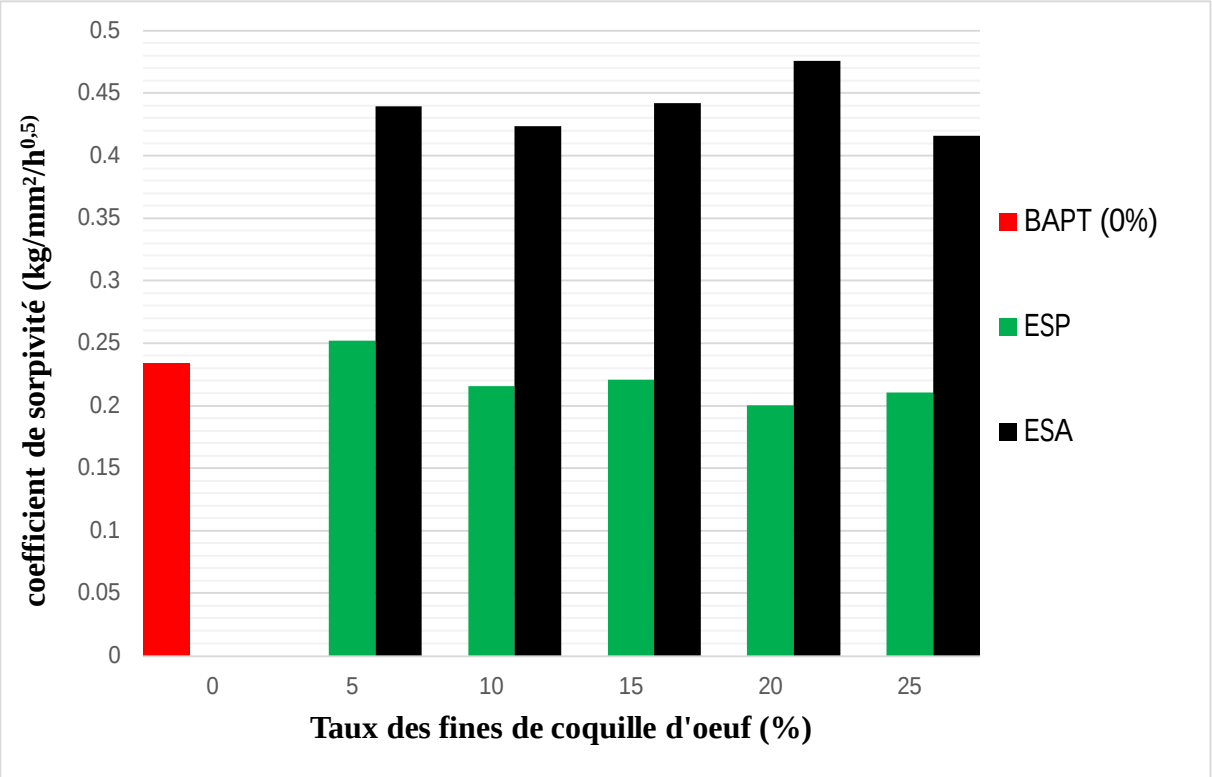


Figure IV.15 Coefficient de sorption (kg/mm²/ $h^{0.5}$) en fonction de différents taux de fines **ESA** et ESA en comparaison avec BAPT (0%)

Les résultats d'absorption d'eau des échantillons de béton autoplaçant pour les substitutions partielles de ciment par la poudre de coquille d'œuf non calciné et calciné sont présentés aux Figures (IV.13, IV.14). Ces résultats montrent clairement une légère augmentation d'absorption d'eau avec l'augmentation du pourcentage de la poudre de coquille d'œuf non calciné qui varie de ±0,01 (kg/m²), l'absorption d'eau des échenillions contenants de la coquille d'œuf calciné est supérieure par rapport au BAP de référence. Cependant, il convient de noter que le taux d'absorption des échantillons substitués du ciment par la coquille d'œuf calciné (ESA) est plus important à celle de substitution par ESP, et la substitution par la ESA de 20% présente la valeur maximale d'absorption d'eau. D'après la Figure IV.15 le coefficient de sorption des échenillions contenants la coquille d'œuf calciné est supérieure à celui du BAP-ESP. On peut conclure qu'un effet négligeable a été constaté sur l'absorption capillaire de l'eau pour tous les échantillons de béton contenants de coquille d'œuf non calciné, cependant ceux contenants ESA comme substitution du ciment ont donné un effet remarquable, cela veut dire que le volume de pores est plus important.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

CONCLUSION GÉNERALE

L'objectif principal de cette étude été de formuler un béton autoplaçant à base de la coquille d'œuf comme substitution volumique au ciment, ce déchet est l'un des nouveaux matériaux cimentaires supplémentaires qui est riche en carbonate de calcium ($CaCO_3$), deux séries de substitution partielle de ciment ont été utilisé, la première avec des coquilles d'œuf non calciné (ESP) et la deuxième avec dès la coquille d'œuf (calciné) (ESA).

La coquille d'œuf a été collecté, ensuite lavé de toutes impuretés, et broyer au laboratoire jusqu'au avoir une finesse proche de la finesse de ciment, afin d'obtenir une poudre (ESP), après a été calciné à 800 C° pendant 2h.

Cette étude été basé sur l'effet et influence de la poudre de coquilles d'œuf sur les propriétés mécanique du béton autoplaçant et la durabilité telles que (Porosité accessible à l'eau et absorption capillaire), ainsi qu'à l'état frais et en comparaisons avec le béton autoplaçant de référence, ceci nous a permis d'avoir un certain nombre de résultats similaires dans la littérature. L'analyse de ces des résultats nous a permis également de conclure ce qui suit :

- La poudre de la coquille d'œuf (ESP) diminue la fluidité et l'ouvrabilité du BAP en augmentant le taux des substitutions sans avoir constaté aucune ségrégation, Tandis que La poudre coquille d'œuf calciné (ESA) augmente la fluidité, avec la présence d'un faible ressuage à la surface, le taux de 25% représente un béton de propriété rhéologique acceptable à l'état frais pour la poudre de la coquille d'œuf (ESP).
- L'augmentation des teneurs en poudre de coquille d'œufs non calciné (ESP) provoque la diminution de la résistance à la compression des BAP ;
- La résistance à la compression à 14 jours des BAP avec la substitution de 15% de poudre de la coquille d'œuf calciné est comparable par rapport au béton de référence, cependant avec 5% de substitution de (ESA) présente une valeur supérieure est enregistrée à celle du béton témoin.
- L'augmentation de taux de poudre de coquilles d'œuf calciné au-delà de 20% induit une faible augmentation de pourcentage de porosité dans le béton.
- Les résultats d'essai d'absorption d'eau par capillarité sont similaires à ceux dès les résultats de l'essai de porosité, le béton fabriqué avec la coquille d'œuf calciné (ESA)

présentent une absorption plus impotente par rapport à celui fabriqué avec la poudre de la coquille d'œuf non calciné (ESP).

- Le taux de substitution du ciment optimale pour les deux séries (ESP & ESA) est de 5%

CONTRUBITION ET IMPACT

1- Contribution au domaine d'étude : En étudiant l'impact de ces coquilles d'œuf sur les propriétés mécaniques et la durabilité nous avons enrichi les connaissances scientifiques sur l'utilisation de matériaux alternatifs dans les bétons.

2- Potentiel d'économie de coûts et de réduction des déchets : notre projet contribue à la promotion de pratiques durables dans le domaine de la construction. Il permet de valoriser ces déchets et de réduire l'utilisation de matériaux vierges, tout en offrant une alternative écologiquement viable.

3- Impact sur l'industrie de la construction : Les bétons autoplaçants contenant des coquilles d'œufs pourraient être utilisés dans diverses applications, telles que la construction des bâtiments, les infrastructures de transport et les ouvrages d'arts. Ils pourraient contribuer à des constructions durables et résistantes, tout en réduisant l'empreinte environnementale.

4- Amélioration des performances des bétons autoplaçants : Les résultats de notre projet permettent de mieux comprendre l'influence des coquilles d'œufs sur les propriétés mécaniques des bétons autoplaçants.

5- Implications pour la recherche future : Notre projet ouvre également la voie à des nouvelles recherches dans le domaine des bétons autoplaçants. Il soulève des questions sur d'autres matériaux alternatifs et leurs effets sur les propriétés mécaniques et la durabilité des bétons. Des études ultérieures pourraient explorer d'autres sources de coquilles d'œufs, des traitements de surface spécifiques ou des combinaisons avec d'autres matériaux, pour optimiser davantage les performances des bétons.

En résumé, notre projet de recherche sur les propriétés mécaniques et la durabilité des bétons autoplaçants contenant des coquilles d'œufs contribue au domaine d'étude en fournissant des informations précieuses, en promouvant la durabilité dans la construction et en offrant des possibilités d'amélioration des performances des bétons autoplaçants. Ses retombées potentielles incluent des économies de coûts, une réduction des déchets et un impact sur l'industrie et la recherche future.

PERSPECTIVES ET RECOMMANDATIONS

Les travaux exécutés dans le cadre de cette étude ont été focalisés sur l'effet de la poudre de la coquille d'œufs sur les propriétés rhéologiques et mécaniques et la durabilité des BAP, D'autres aspects restent à élucider et par conséquent, nous recommandons, pour de futurs travaux, ce qui suit :

- Etudier l'effet de plusieurs degrés de calcination soit supérieure de 800°C sur le comportement des BAP.
- Confection et élaboration de BAP avec la combinaison entre d'autres types des ajouts (pouzzolane, laitier etc.) que ce soit ternaire où quaternaire.
- L'ajout de l'agent de viscosité avec le superplastifiant pour éviter la ségrégation
- Elargir l'étude rhéologique pour déterminer d'autres caractéristiques telles que, le seuil de cisaillement, taux de cisaillement, viscosité des mélanges.
- Réaliser d'autres essais sur la durabilité parmi lesquels la perméabilité aux gaz et à l'eau, la carbonatation et la pénétration des ions chlore.

[1] H.Okamura et M.ouchi Progress in Structural Engineering and Materials I998 Vol I(4): 378-383

[2]: Hamza Hasnaoui, Durabilité du béton autoplaçant à base de laitier el HADJAR pp19

[3]: Bétons, G.H. (2004). Le béton autocompactant. Recommandations éditées par holcim (Suisse) SA.

[4]: DOMONE PL., « self-compacting concrete: an analysis of 11 years of case studies», cement & concrete composites, vol 28, pages 197-208, 2006.

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

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

[7] : PHILIPPE TURCRY « retrait et fissuration des bétons autoplaçant influence de la formulation »Université de NANTES/ 03 Février 2004.

[8] :NF EN 197-1 Ciment — partie l. Composition, spécification et critères de conformité des ciments.

[9] : J. BARON et J-P.OLLIVIER, Les bétons : bases et données pour leur formulation, Eyrolles, 1999.

[10] : MLADENKA SARIC-CONiC, microstructure et physico-chimie des ciments et des bétons, Université de Sherbrooke, 2002.

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

[12] : Khayat, K. (1996). Colloques sur les bétons autonivelants. Centre de Recherche Interuniversitaire sur le Béton (CRIB) Université de Sherbrooke, Université avall Québec.

[13] : Bethmont, S. (2005). Mécanismes de ségrégation dans les bétons autoplaçants (BAP): Etude expérimentale des interactions granulaires. THESE DE DOCTEUR DE L'ECOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSEES, SPECIALITE: STRUCTURES ET MATERIAUX.

[14]: Shindoh, T. & Matsuoka, Y. (2003). Development of combination-type self-compacting concrete and evaluation test methods. Journal of Advanced Concrete Technology, 1, 26-36.

[15]: Tangtermsirikul, S., Sakamoto, J., Shindoh, T. & Matsuoka, Y. (1991). Evaluation of resistance to segregation of super workable concrete and the role of a new type of viscosity agent. Reports of the Technical Research Institution, 24, 369-376.

[16]: Self-Compacting Concrete:Materials, Properties, and Applications Edited by Rafat Siddique ISBN: 978-0-12-817370-1 (online) page 8

[17]: OKAMURA H. and OZAWA K, mix design for self compacting-concrete, concrete library of JSCE, NO: 25, June 1995.

[18]: OUCHI M, HIBINO.M, et OKAMURA.H effect of superplasticizer on self-compatibility of fresh concrete, transportation research board, 76th annual meeting, Washington, D.C., 12-16, January 1997.

[19]: OKAMURA HAJIME and KAZUMASA OZAWA, self-compactable high-performance concrete in Japan, (second CANMET/ACI international symposium on advances in concrete technology, Las Vegas, ACI) SP 159-2, pp 31-44, (June 1995).

[20]: OKAMURA HAJIME and MASAHIRO OUCHI, self-compacting-concrete, journal of advanced concrete technology, vol, 1, No. 1, 5-15, April 2003.

[21]: OKAMURA HAJIME and MASAHIRO OUCHI, self-compacting-concrete, journal of advanced concrete technology, vol, 1, No. 1, 1-5, April 2003.

[22]: Petersson, O., Billberg, P., 1999. Investigation on blocking of self-compacting concrete with different maximum aggregate size and use of viscosity instead filler. In: Proceedingsof the First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, Stockholm, September, pp. 333 – 344.

[23]: Bartos, P.J.M., Sonebi, M., Tamimi, A.K., 2002. Workability and rheology of fresh concrete:compendium of tests. In: Report of RILEM Technical Committee TC 145 WSM: Workability of Special Concrete Mixes. RILEM Publications S.A.R.L, Paris (127 p.).

[24] : Sedran, T., de Larrard, F., 1999. Optimization of self-compacting concrete thanks to packing model. In: Proceedings of the First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, Stockholm, September, pp. 321 – 332.

[25]: Domone, P.L., 2006. Mortar tests for material selection and mix design of SCC. Concr. Int.28 (4), 39 – 45.

[26]: Wallevik, O., Nielsson, I., 1998. Self-compacting concrete—a rheological approach.In: Proceedings of Int. workshop of SCC, Kochi, Japan, pp. 136 – 159.

[27]: Khayat, K., Ghezal, A., 1999. Factorial design models for proportioning self-consolidating concrete. Mater. Struct. 32, 679 – 686p.

[28]: Sonebi, M., Rooney, M., Bartos, P.J.M., 2007a. Test method to evaluate the dynamic segregation of fresh self-compacting concrete using the settlement column test. In: Proceedings of 5th Int. RILEM Symposium on SCC, Ghent, Belgium. vol. 1. pp. 43 – 48.

[29]: Sonebi, M., Grunewald, S., Walraven, J., 2007b. Filling ability and passing ability of self-consolidating concrete. ACI Mater. J. 104 (2), 162 – 170pp

[30]: Sonebi, M., 2004a. Medium strength self-compacting concrete containing fly ash: modelling using factorial experimental plans. Cem. Concr. Res. 34 (7), 1199 – 1208pp.

[31]: Sonebi, M., 2004b. Applications of statistical models in proportioning medium strength self-compacting concrete. ACI Mater. J. 101 (5), 339 – 346pp.

[32]: The European Guidelines, 2005. The European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification, Production and Use, May. (63 p.).

[33]: Self-Compacting Concrete:Materials, Properties, and Applications Edited by Rafat Siddique ISBN: 978-0-12-817370-1 (online) page 5

[34] : ACI 237, 2007. Self-Consolidating Concrete (ACI 237R-07). American Concrete Institute, Farmington Hills, MI (34 pp.).

[35]: Khayat, K.H., Daczko, J., 2002. The holistic approach to self-consolidating concrete.In: Proceedings of the First North American Conference on the Design and Use of SCC, Chicago, Illinois, USA, pp. 3 – 8.

[36]: Gibbs, J. & Zhu, W. (1999). Strength of hardened self-compacting concrete. In: Proceedings of First international RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete (PRO 7), Stockholm, Suede, pp. 199-209.

[37]: Klug, Y. & Holschemacher, K. (2003). Comparison of the hardened properties of self-compacting and normal vibrated concrete. In: 3rd RILEM symposium on self compacting concrete, Reykjavik. RILEM Bagneux, France, pp. 596-605.

[38]: Pentti, G.H.-E.P. (1999). Properties of SCC-especially early age and long term shrinkage and salt frost resistance. In: Proceedings of the 1 st International Rilem Symposium on Self-compacting Concrete, pp. 211-225.

[39] : Turcry, P. (2003). Retrait et fissuration des bétons autoplaçants: Influence de la formulation. Nantes.

[40] : Ollivier, J.-P. & Vichot, A. (2008). La durabilité des bétons: bases scientifiques pour la formulation de bétons durables dans leur environnement. Presses de l'ecole nationale des Ponts et chaussees.

[41]: Khayat, K.H., 1999. Workability, testing, and performance of self-consolidating concrete.Materials Journal 346 – 353.

[42] : Yadegaran, I., Mahoutian, M., Shekarchi, M., Libre, N.A., 2007. Effect of polypropylene fibers on shrinkage of self-compacting concrete. In: Proc. 5th International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, RILEM Publications SARL, pp. 707 – 713.

[43]: Self-Compacting Concrete:Materials, Properties, and Applications Edited by Rafat Siddique ISBN: 978-0-12-817370-1 (online) page 51-52

[44] : Hossain, K.M.A., Lachemi, M., 2008. Bond behavior of self-consolidating concrete with mineral and chemical admixtures. J. Mater. Civ. Eng. 608 – 616.

[45]: Boukendakdji, O., Kenai, S., Kadri, E.H., Rouis, F., 2009. Effect of slag on the rheology of fresh self-compacted concrete. Constr. Build. Mater. 2593 – 2598.

[46]: Topcu, _ l.B., Uygunog˘lu, T., 2010. Influence of mineral additive type on slump-flow and yield stress of self-consolidating mortar. Sci. Res. Essays 1492 – 1500.

[47]: Liu, M., 2011. Incorporating ground glass in self-compacting concrete. Constr. Build. Mater.919 – 925.

[48]: Sivakumar, A., Elumalai, G., Srinivasan, V., 2011. A conceptual approach of the mixture proportioning technique for producing self compacting concrete. J. Civ. Eng. Constr. Technol. Pp 65 – 71.

[49]: Kannan, V., Ganesan, K., 2012. Evaluation of mechanical and permeability related properties of self-compacting concrete containing metakaolin. Sci. Res. Essays 4081 – 4091.

[50]: Turkel, S., Kandemir, A., 2010. Fresh and hardened properties of SCC made with different aggregate and mineral admixtures. J. Mater. Civ. Eng. 1025 – 1032.

[51]: Malhotra, V.M., Mehta, P.K., 2002. High-Performance, High-Volume Fly Ash Concrete: Mate-rials, Mixture Proportioning, Properties, Construction Practice, and Case Histories. Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development, Ottawa.

[52]: Ghezal, A., Khayat, K.H., 2002. Optimizing self-consolidating concrete with limestone filler by using statistical factorial design methods. Aci Mater. J. 264 – 272.

[53]: G. De Schutter, P. J. M. Bartos, P. Domone and J. Gibbs, Self-Compacting Concrete 2008, ISBN 978-1904445-30-2 USA ISBN 978-1-4200-6833-7 pp 125-139

[54]: https://www.theengineeringcommunity.org/self-compacting-concrete-scc-advantages-disadvantages-and-applications/

[55]: T.B. Standard, Top 5 Egg-Producing Countries, 2020. (Accessed 9 September 2021). https://www.tbsnews.net/economy/agriculture/top-5-egg-producing-countries-2020-159202.

[56]: The poultry site, 2014. Global poultry trends 2013 Ŕ hen egg production in Africa [En ligne]. Disponible sur : <http://www.thepoultrysite.com/articles/3119/global-poultry-trends-2013-hen-egg-production-in-africa-and-oceania/>. [Consulté le 08 février 2020].

[57]: https://archzine.fr/lifestyle/donner-des-coquilles-doeufs-aux-poules/?image_id=527182

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

[59]: Natnael Shiferaw et al Effect of Eggshell Powder on the Hydration of Cement Paste by Materials 2019, 12, 2483

[60]: Blasius Ngayakamo, Azikiwe Peter Onwualu , Recent advances in green processing technologies for valorisation of eggshell waste for sustainable construction materials , journal of hilyon

[61]: (Gary et al. 2004) Eggshell composition

[62]: (Liu,Yongcheng et al) Egg shell powder compositions and methodes of producing eggshell powder compositions, World intellectual property organization(WIPO) 2013 pp 9

[63]: Natnael Shiferaw , Lulit Habte , Thriveni Thenepalli , and Ji Whan Ahn on the Effect of Eggshell Powder on the Hydration of Cement Paste Materials 2019,

[64]: Intharapat, P.; Kongnoo, A. The Potential of Chicken Eggshell Waste as a Bio-filler Filled Epoxidized Natural Rubber (ENR) Composite and its Properties. J. Polym. Environ. 2013, 21, 245–258.

[65]: Hussein Alaa Jaber, Rawnaq Salahuddin Mahdi, Ayad K. Hassan, Influence of eggshell powder on the Portland cement mortar properties, Materials Today: Proceedings 2019

[66]: U.N. Okonkwo, I.C. Odiong, E.E. Akpabio, The effects of eggshell ash on strength properties of cement-stabilized lateritic, Int. J. Sustainable Const. Eng. Technol.3 (1) (2012) 18–25.

[67]: M.O.A. Mtallib and A. Rabiu EFFECTS OF EGGSHELLS ASH (ESA) ON THE SETTING TIME OF CEMENT NIGERIAN JOURNAL OF TECHNOLOGY, VOL. 28 NO.2, SEPTEMBER 2009

[68]: Olatokunbo M. Ofuyatan, Adewale George Adeniyi, David Ijie, Joshua O. Ighalo, John Oluwafemi Development of high-performance self-compacting concrete using eggshell

powder and blast furnace slag as partial cement replacement Construction and Building Materials

[69]: Ashfaque Ahmed Jhatial, Samiullah Sohu, Muhammad Jaffar Memon, Nadeem-ul-Karim Bhatti, Darya Memon.: « Eggshell powder as partial cement replacement and its effect on the workability and compressive strength of concrete ». International Journal of Advanced and Applied Sciences. 6(9) P 71-75, 2019.

[70]: Yeong Yu Tan, Siew Choo Chin, Shu Ing Doh : « Eggshell as a partial cement replacement in concrete development ». Magazine of Concrete Research. 70(13) P 662-670,2017.

[71]: Amarnath Yerramala : « Properties of concrete with eggshell powder as cement replacement ». Indian Concrete Journal. P 94-102, 2014.

[72]: Ashfaque Ahmed Jhatial , Samiullah Sohu , Muhammad Jaffar Memon , Nadeem-ul-Karim Bhatti , Darya Memon Eggshell powder as partial cement replacement and its effect on the workability and compressive strength of concrete ,International Journal of Advanced and Applied Sciences

[73] : NF EN 933-1, 1997. « Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des Granulats. Partie 1: Détermination de la granularité. Analyse granulométrique par tamisage », AFNOR.

[74] : BYCKAHOUAD Divine Odilia, L'influence d'un ajout minéral sur les L'influence d'un ajout minéral sur les performances des matériaux cimentaires

[75] : 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).

[76] : BOUKRIA MARWA et SALHI BOUCHRA , étude expérimental de la poudre de coquille d'œuf sur les performance de la durabilités ,page

[77] : MIRANDA, Igor de Sousa. Et al. Utiliser les déchets comme outil d'enseignement de l'éducation environnementale et de la chimie. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. 04 année, Ed. 07, Vol. 10, p. 70 à 86. juillet 2019. ISSN : 2448-0959, lien d'accès: https://www.nucleodoconhecimento.com.br/quimica-fr/utiliser-les-dechets, DOI:10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/quimica-fr/utiliser-les-dechets

[78]: Risfidian Mohadi preparation calcium oxide from chicken eggshells Article in Sriwijaya Journal of Environment · August 2016

[79] : NF EN 459-2 : Masse volumique apparente des granulats et module de finesse AFNOR

[80] : NF EN 1097-6, 2001, « Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats. Partie 6: Détermination de la masse volumique réelle et du coefficient d'absorption d'eau », AFNOR.

[81] : NF EN 1097-3, 1998, « Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats. Partie 3: Méthode pour la détermination de la masse volumique en vrac et de la porosité inter granulaire », AFNOR.

[82] : VENUAT M., "Produits Silico–calcaire "Techniques de l'Ingénieur ; 1994.

[83]: 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).

[84] : EN, N. 12390-1,"Essais pour béton durci. Partie1. British Standard, E. (2009).

[85]: EN 12390-2: Testing hardened concrete. Making and curing specimens for strength tests.

[86]: Self-Compacting Concrete:Materials, Properties, and Applications Edited by Rafat Siddique ISBN: 978-0-12-817370-1 (online)pp-10-62

[87]: EFNARC Specification and Guidelines forSelf-Compacting Concrete (February 2002)

[88]: The European Guidelines for self-Compacting Concrete Specification, Production and Use (may 2005)

[89]: EN 12350-9 2010 EN 12350-9—Testing Fresh Concrete, Part 9: Self-Compacting Concrete—V-Funnel Test.

[90]: EN 12350-10 2010 EN 12350-10—Testing Fresh Concrete, Part 10: Self-Compacting Concrete—L-Box Test.

[91]: Cussigh, F., Sonebi, M., De Schutter, G., 2003. Segregation measurement on fresh self-compacting concrete. In: Proceedings of the 3rd International Symposium on Self-Compacting Concrete, Reykjavik, Iceland, August, pp. 311 – 322.

[92]: EN 12350-11 2010—Testing Fresh Concrete, Part 11: Self-Compacting Concrete—Sieve Segregation Test.

[93]: EN 196-1:2016 - Methods of testing cement - Part 1: Determination of strength

[94] : EN 13057 2002 -13057[F] produits et systémes pour la protection et la réparation des structures en béton -Méthodes d'essais-détermination de l'absorption capillaire

[95] : Ollivier, J. (1997). AFC-AFREM: Détermination de la masse volumique apparente et de la porosité accessible à l'eau. Méthodes recommandées pour la mesure des grandeurs associées à la durabilité. Compte rendu des Journées Techniques Durabilité des bétons, LMDC–INSA Toulouse, France, 121-124.

[96]: Olatokunbo M. Ofuyatan, Adewale George Adeniyi, David Ijie, Joshua O. Ighalo, John Oluwafemi Development of high-performance self-compacting concrete using eggshell powder and blast furnace slag as partial cement replacement Construction and Building Materials

[97]: Koehler, E.P., Fowler, D.W., 2003. Summary of concrete workability test methods.

[98]: G. Vasudevan, S. Chan Wei, Utilisation of eggshell powder (ESP) as partial replacement of cement incorporating superplasticizer, IOP Conf. Ser. Mater. Sci.Eng. 840 (1) (2020)

ALGÉRIE



50kg

متين Matine

LAFARGE
Construire des villes meilleures™



Ciment portland au Calcaire

NA442 CEM II/B-L 42,5 N

Matine Ciment gris pour bétons de haute-performance destiné à la construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments

Matine
NA442 CEM II/B-L 42,5 N

Matine est certifié, conforme à la norme Algérienne (NA442 – 2013) et Européenne (EN 197-1)

AVANTAGES PRODUIT

- Une résistance initiale élevée pour vos ouvrages nécessitants un décoffrage rapide
- Favorise la maniabilité du béton et le maintien de sa rhéologie
- Une Classe Vraie qui offre une haute performance au béton.
- Meilleure durabilité du béton.

A member of LafargeHolcim

APPLICATIONS RECOMMANDÉES

- Construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments
- Préfabrication légère
- Béton de haute performance



FORMULATION CONSEILLÉE

	Ciment	Sable (sec)	Gravillons (sec)		Eau (litres)
		0/5	8/15mm	15/25mm	
Dosage pour béton C25/30	X 1 (50kg)	+ X7	+ X5	+ X4	+ 25 L

Remaque: un bidon = 10 Litres

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

• Analyses chimiques

	Valeur
Perte au feu (%) (NA5042)	10.0±2
Teneur en sulfates (SO3) (%)	2.5±0.5
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1.7±0.5
Teneur en Chlorures(NA5042) (%)	0.02-0.05

• Temps de prise à 20° (NA 230)

	Valeur
Début de prise (min)	150±30
Fin de prise (min)	230±50

• Composition minéralogique du Clinker (Bogue)

	Valeur
C3S (%)	60±3
C3A (%)	7.5±1

• Résistance à la compression

	Valeur
2 jours (MPa)	≥ 10.0
28 jours (MPa)	≥ 42.5

• Propriétés physiques

	Valeur
Consistance Normale (%)	26.5±2.0
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm^2/g) (NA231)	3 700 - 5 200
Retrait à 28 jours (µm/m)	< 1 000
Expansion (mm)	≤ 3.0

Conditionnement: Sac et vrac

CONSIGNES DE SÉCURITÉ

1- PROTÉGEZ VOTRE PEAU : Portez les équipements adaptés dans vos chantiers: casques, lunettes, gants, genouillères, chaussures et vêtements de sécurité.

2- MANUTENTION : levez le sac en pliant les genoux et en gardant le dos droit.



A member of LafargeHolcim

LAFARGE ALGÉRIE
Centre commercial Bab Ezzouar, Tour n°02,
Etages 05 & 06, Bab Ezzouar Alger, Algérie
Tél: + 213 (0) 21 98 54 54
Fax: + 213 (0) 23 92 42 94
www.lafargealgerie.com
dz.satisfaction-clients@lafargeholcim.com
Tél: 021 55 55 98
Conditionnement : sac et vrac

BUILDING TRUST

NOTICE PRODUIT

Sika® ViscoCrete® TEMPO-10

Superplastifiant/Haut réducteur d'eau de nouvelle génération polyvalent

INFORMATIONS SUR LE PRODUIT

Sika® ViscoCrete® TEMPO-10 est un superplastifiant/haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré, à base de copolymère acrylique.

DOMAINES D'APPLICATION

Sika® ViscoCrete® TEMPO-10 convient pour la confection de béton en préfabrication, béton sur chantier et béton prêt à l'emploi. Sika® ViscoCrete® TEMPO-10 est utilisé pour béton en cas de temps de transport ou délai de mise en oeuvre prolongés.
Sika® ViscoCrete® TEMPO-10 permet la fabrication des:

- Bétons plastiques à très fluides
- Bétons à faibles rapports E/C avec ou sans fumée de silice
- Bétons avec réduction d'eau maximale (jusqu'à 30 %)
- Bétons avec air entraîné

CARACTÉRISTIQUES / AVANTAGES

Sika® ViscoCrete® TEMPO-10 combine plusieurs mécanismes d'action. Par adsorption à la surface et le cloisonnement des fines pendant le processus d'hydratation les propriétés suivantes sont atteintes:

- Réduction d'eau extrêmement importante (donc étanchéité et résistances élevées)
- Fluidité élevée (donc moins de travail pour la mise en oeuvre et le compactage)
- Evolution plus rapide des résistances à court terme
- Etanchéité fortement améliorée
- Meilleures caractéristiques de fluage et de retrait
- Carbonatation du béton ralentie

Sika® ViscoCrete® TEMPO-10 ne contient ni chlorures ni autres substances susceptibles de provoquer ou de favoriser la corrosion de l'acier, et peut donc être utilisé sans restrictions pour la construction d'ouvrages en béton armé et précontraint.

AGRÉMENTS / NORMES

Sika® ViscoCrete® TEMPO-10 répond aux exigences de la norme NF EN 934-2 tableaux 1, 3.1 & 3.2.
PV CNERIB: DTEM 251/2016.

DESCRIPTION DU PRODUIT

Conditionnement	▪ Fût de 200 kg. ▪ Cubi de 1100 kg.
Aspect / Couleur	Liquide brun clair.
Durée de Conservation	12 mois de la date de production si le produit est stocké correctement en emballage intact.
Conditions de Stockage	Dans un local fermé, à l'abri de l'ensoleillement direct et du gel, entre 5 et 30 °C. Sika® ViscoCrete® TEMPO-10 peut geler, mais une fois dégelé lentement et réhomogénéisé, il retrouve ses qualités d'origine. En cas de gel prolongé et intense, vérifier qu'il n'a pas été déstabilisé.
Densité	1.060 ± 0.010

Notice produit
Sika® ViscoCrete® TEMPO-10
Novembre 2021, Version 01.03
021301011000000108

Valeur pH	4.0 ± 1.0
Teneur Totale en Ions Chlorure	≤ 0.1 %
Équivalent Oxyde de Sodium	≤ 1 %

RENSEIGNEMENTS SUR L'APPLICATION

Dosage	Plage d'utilisation recommandée : 0,2 à 3% du poids de liant selon les performances recherchées. Dosage usuel : 0,4% à 1,5% du poids de liant.
Distribution	Sika® ViscoCrete® TEMPO-10 est ajouté, soit, en même temps que l'eau de gâchage, soit en différé dans le béton préalablement mouillé avec une fraction de l'eau de gâchage.

VALEURS DE BASE

Toutes les valeurs indiquées dans cette Notice Produit sont basées sur des essais effectués en laboratoire. Les valeurs effectives mesurées peuvent varier du fait de circonstances indépendantes de notre contrôle.

ÉCOLOGIE, SANTÉ ET SÉCURITÉ

Pour obtenir des informations et des conseils sur la manipulation, le stockage et l'élimination en toute sécurité des produits chimiques, les utilisateurs doivent consulter la fiche de données de sécurité (FDS) la plus récente contenant les données physiques, écologiques, toxicologiques et autres données relatives à la sécurité.

RESTRICTIONS LOCALES

Veuillez noter que du fait de réglementations locales spécifiques, les données déclarées pour ce produit peuvent varier d'un pays à l'autre. Veuillez consulter la Notice Produit locale pour les données exactes sur le produit.

INFORMATIONS LÉGALES

Les informations, et en particulier les recommandations concernant les modalités d'application et d'utilisation finale des produits Sika sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que Sika a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales, conformément aux recommandations de Sika. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou recommandations écrites, ou autre conseil donné, n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés, ni aucune garantie de conformité à un usage particulier, ni aucune responsabilité découlant de quelque relation juridique que ce soit. L'utilisateur du produit doit vérifier par un essai sur site l'adaptation du produit à l'application et à l'objectif envisagés. Sika se réserve le droit de modifier les propriétés de ses produits. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont soumises à nos conditions générales de vente et de livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la Notice Produit correspondant au produit concerné, accessible sur internet ou qui leur sera remise sur demande.

Sika El Djazair SPA
08 route de Larbaa
16111 Les Eucalyptus
ALGERIE
Tél.: 0 21 50 16 92 à 95
Fax: 0 21 50 22 08
dza.sika.com








1000
ml.
800
600
400
KERN


KERN


o ne pas
Toucher
"Essai Absorption"





Composition et Résultat des Tests

entrée des data cellules en rouge

valeurs calculées cellules en noir

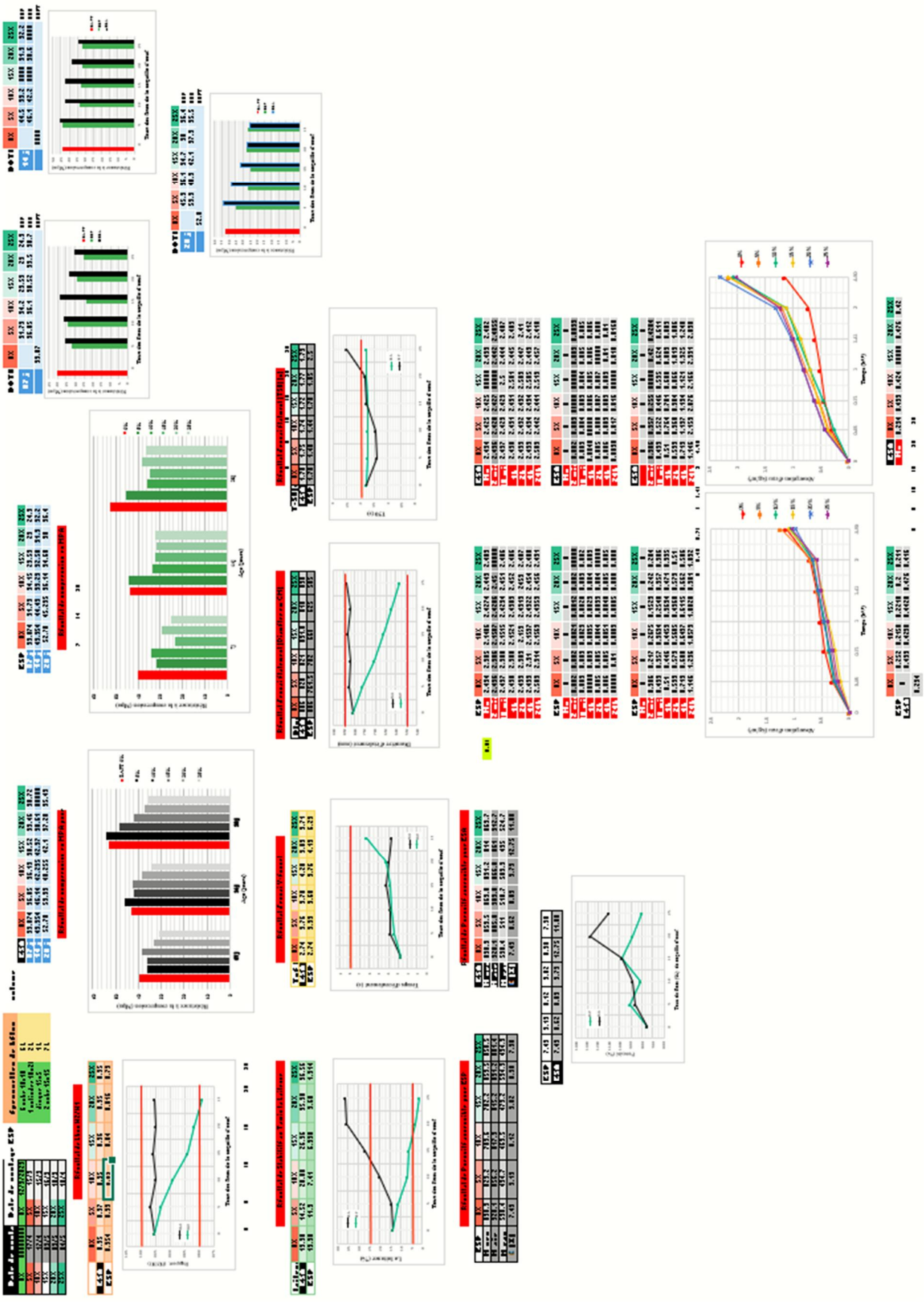
référence:

Date 12/03/2023

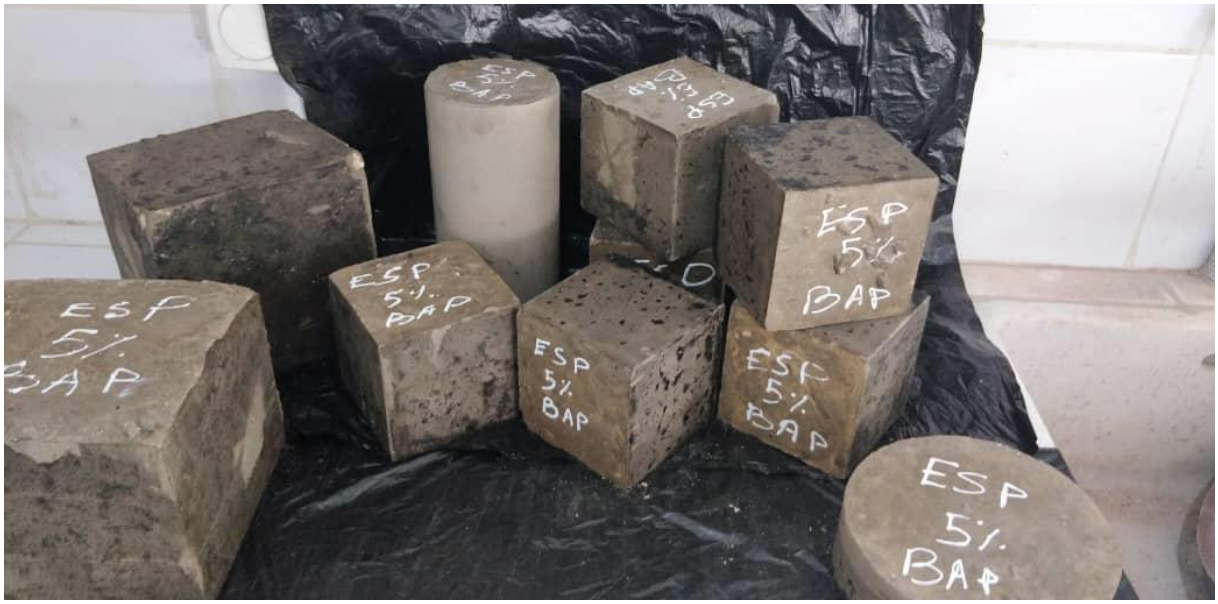
						mesures d'humidité			
Masse volumique absolue	Gravier	2.65	Absorptions (%)			Pds Hum	Pds sec	% Humid
	Sable	2.63	Gravier	2.91	8/15	200	200	0.00
	Ciment	3.1		0.49	3/8	200	200	0.00
	Fines	0	Sable	1	Sable	200	200	0.00

Gravier					
masse volumique apparente	1307	kg/m^3	% gravier	24.7	vol % de béton
percent	50		Gravier	653.5	kg/m3
8/15:3/8	0.60		8/15	245	*kg/m3*
			3/8	408	*kg/m3*
Air	1	vol % de béton			
Sable					
volume mortier	74.3	vol % de béton	% Sable	37.2	vol % de béton
Sable	50	vol % de mortier	Sable	978	kg/m3
				0.66849704	
pate					
volume	37.2	vol % de béton	% Eau	20.6	vol % de béton
E/P volume	1.25		Eau	206	kg/m3
Poudre	16.5	vol % de béton			
Ciment	100	vol % de poudre	Ciment	16.5	vol % de béton
Fines	0	vol % de poudre	Ciment	512	kg/m3
Densité relative poudre	3.1				
			% Fines	0.0	vol % de béton
E/P Poids	0.40		Fines	0	kg/m3
Superplastifiant: SIKA TEMPO 10					
dosage	1.4	% liquid de poudre	superplast	7.17	kg/m3
Mélange vol (litres)	16	litres			
Densité Béton	2357	kg/m3	Poids Mélang	37.71	kg

Poids Mélange		prop.mél	Pds mél	absorption	humidité	extra eau	Poids		G/S	0.66581292
		kg/m3	kg	%	%	kg	kg			
Gravier	8/15	245	3.92	2.91	0.00	-0.11	3.81			
Gravier	3/8	408	6.54	0.49	0.00	-0.03	6.50			
Sable	Laghouat	978	15.64	1	0.00	-0.16	15.48			
Ciment	CPJ - CEM II/B 42,5	512	8.19				8.19			
Fines	coquille d'œuf	0	0.00				0.00			
Eau		206	3.30							
Superplast	SIKA TEMPO 10	7.17	0.11		80	0.09	0.115		kg	
composition eau							3.515	eau 1	2.46	
								eau 2	1.05	
total		2357	37.7			-0.21	37.62			




ESP
5%
BAP


ESP
5%
BAP


ESP
5%
BAP

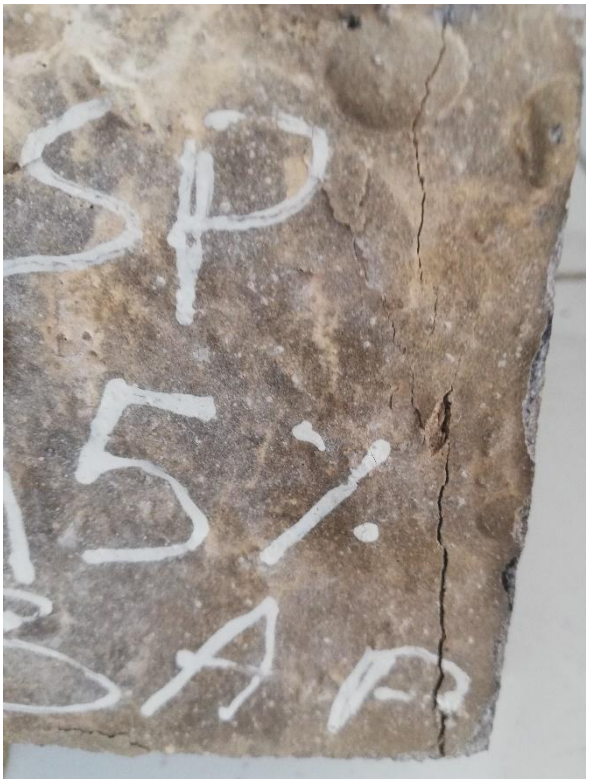

















E SP
15%
BAP
E SP
15%
BAP