

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE : TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT : GENIE CIVIL

N° :



DOMAINE : GENIE CIVIL

FILIERE : GENIE CIVIL

OPTION : MATERIAUX

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par : Aymen Aimeur

Baghdadi Abdelbaki

Intitulé

**Caractérisation d'un béton auto plaçant à base de poudre
de verre**

Soutenu devant le jury composé de:

Dr.BAKIR Nassima

Université M'SILA

Président

Pr.BELAGRAA Larbi

Université M'SILA

Rapporteur

Dr.LADJAL Djalloul

Université M'SILA

Examineur

Année universitaire : 2021 /2022

Remerciement

قال تعالى : { وَمَنْ يَشْكُرْ فَإِنَّمَا يَشْكُرُ لِنَفْسِهِ } سورة لقمان، الآية 12

وقال رسوله الكريم ﷺ: "من لم يشكر الناس ، لم يشكر الله عزوجل "

نحمد الله تعالى حمدا كثيرا طيبا مباركا ملئ السموات والأرض على ما أكرمنا به
من إتمام هذه الدراسة التي نرجو أن تنال رضاه .

ثم نتوجه بجزيل الشكر وعظيم الإمتنان إلى الأستاذ المشرف «العربي بلقرع
«حفظه الله وأطال في عمره ، لتفضله الكريم بالإشراف على هذه الدراسة وعلى
كل مجهوداته ونصائحه وتوجيهاته طيلة فترة إنجاز هذه المذكرة.

والشكر أيضا للأستاذة المناقشين الذين تفضلوا بقبول مناقشة هذه المذكرة، وإلى
جامعة محمد بوضياف بالمسيلة من أساتذة ومسؤولين، كما لا ننسى عمال مخبر
الهندسة المدنية خاصة مسؤولة المخبر «وهيبة» جزاها الله كل خير .

إلى كل هؤلاء شكرا جزيلًا...

DEDICACE

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات، وبفضله تنزل الخيرات والبركات ويتوفيقه
تتحقق المقاصد والغايات، الحمد لله الذي وفقنا في إنجاز هذا العمل المتواضع.
إلى من أفضلها على نفسي ولم لا فلقد ضحت من أجلي، ولم تدخر جهداً في
سبيل إسعادي على الدوام (أمي الحبيبة).

نسير في دروب الحياة، ويبقى من يسيطر على أذهاننا في كل مسلك نسلكه .
صاحب الوجه الطيب والأفعال الحسنة، فلم يبخل علي طيلة حياته (والدي
العزیز).

إلى نعيم الحياة وأمانها إلى الذي احتضنني طيلة هذه السنوات إلى أخي الوحيد
«أشرف» أدام الله بقاءك لنا.

إلى روافد الوفاء المؤمنات الغاليات إلى من قاسموني حلو الحياة ومرها تحت
السقف الواحد أخواتي سندي في حياتي، «إسراء، دنيا» .

إلى رفيقي في المذكرة «بغدادى عبد الباقي» تشاركنا عناء والمشاق التي
واجهتنا في إنجاز هذا العمل وها نحن اليوم نقطف ثمار النجاح شكراً لكونك
صديقي.

إلى أصدقائي وجميع من وقفوا بجواري وساعدوني بكل ما يملكون وفي أضعده
كثيرة. أقدم لكم هذا البحث وأتمنى أن يحوز على رضاكم.

عمير أيمن .

DEDICACE

الحمد لله الذي فتح لي ابواب النجاح. ورسم لي طريقي وعوضني عما فاتني
شكرا لي العثرات التي واجهتها في طريقي لانها علمتني أنه من لم يتألم لا يتعلم
وإن السقوط بداية النجاح.

إليكِ ابي وإليكِ أمي يا من سهرتم على تحفيزي على الدراسة ، أيما علمتموني
معنى الصبر ومعنى الجد . ومعنى أنك لا تستلم مهما واجهتك الصعوبات

الى إخوتي وأحبتني في الله من دعوا لي بالخير ومدوا لي يد المساعدة إلى من
كانوا سندا لي... وإلى صديقي في المذكرة «عيمر أيمن» الذي تعب واجتهد في
إعدادها معي إلى أستاذنا المشرف الذي وجهنا في إعدادها «لعربي بلقرع» وإلى
كل قسم الهندسة المدنية، شكرا جزيلًا.

بغدادى عبدالباقى.

Table des matières

Introduction générale

Introduction	1
Objectifs de l'étude.....	2
Structure de ce mémoire.....	3
Chapitre I : Revue générale sur le béton autoplaçants	
PARTIE 01: Revue générale sur le béton autoplaçants	
I.1. Introduction.....	4
I.2. DEFINITION DU BETON AUTOPLAÇANT.....	5
I.3. Les principaux constituants d'un béton auto plaçant.....	6
I.3.1. Le ciment	6
I.3.2. Les granulats.....	6
I.3.3. Eau.....	7
I.3.4. Additions minérales.....	7
I.3.4.1. Différents types d'additions minérales.....	8
I.3.4.1.1. Fillers (poudre de verre).....	8
I.3.5. Adjuvants (MEDAFLOW 30).....	8
I.4. Formulation d'un béton auto plaçant.....	9
I.4.1. Approches de formulation.....	10
I.5. Caractérisation des bétons Autoplaçants.....	11
I.5.1. Caractérisation des bétons Autoplaçants à l'état frais.....	11
I.5.1.1. Essai d'étalement.....	11
I.5.1.2. Essai de boîte en L.....	11
I.5.1.3. Essai de stabilité au tamis.....	12
I.5.2. Caractérisation des bétons Autoplaçants à l'état durci.....	12
I.5.2.1. Résistance mécanique.....	12
I.5.2.2. Le module élastique.....	13
I.5.2.3. Retrait.....	13
I.6. Propriétés physico-chimique et durabilité d'un BAP.....	13
I.6.1. Absorption capillaire.....	13
I.6.2. Carbonatation.....	14
I.7. Domaine d'application de BAP.....	14
I.8. Avantages et inconvénients d'un béton auto plaçant.....	15
I.8.1. Avantages [21].....	15

I.8.2.Inconvénients.....	16
I.8.3.Conclusion.....	16

PARTIE 02: Ajouts et Adjuvants

A/ poudre de verre

I.9.Introduction.....	16
I.10.DEFINITION DE VERRE.....	17
I.11.COMPOSITION DE VERRE [24].....	17
I.12.VERRE DANS LE BETON.....	19
I.13.Réaction alcali-silice du verre.....	19
I.13.1.Réaction pouzzolanique du verre.....	20
I.14.CARACTERISTIQUE DU VERRE DANS LE BETON.....	21
I.14.1.Comportement à l'état frais du béton.....	22
I.14.2Effet de la poudre de verre sur l'état durci.....	22
I.15.AVANTAGES D'UTILISATION DE LA POUDRE DE VERRE DANS LE BETON.....	22
I.15.1.Bénéfices et performance de l'intégration de la poudre de verre comme ajout cimentaire.....	23
I.16.EXEMPLES D'UTILISATION DE DE VERRE.....	23
I.16.1.Poudre de verre.....	23

B/ MEDAFLOW30

I.17.Description.....	24
I.18.Domains D'application.....	24
I.19.Propriétés.....	24
I.20.Caractéristique.....	25
I.20.1.Mode D'emploi.....	25
I.20.2.Dosage.....	25
I.20.3.Conditionnement Et Stockage.....	26
I.20.4.Précautions D'emploi.....	26
I.21. Conclusion.....	26
Bibliographie	

Chapitre II : Généralités sur les essais destructifs et non-destructifs

II.1.INTRODUCTION.....	27
II.2.Les méthodes d'essai destructif sur le béton.....	27
II.2.1.Essai de compression.....	27
II.2.2.Essais de traction par flexion.....	28
II.3.Les méthodes d'essais non-destructifs sur le béton.....	29
II.3.1.Essai au scléromètre.....	29
II.3.1.1.Principe de scléromètre [NF EN 12504-2].....	29
II.3.1.2.Les étapes pour tester le scléromètre.....	30

II.3.1.3.Les avantages de l'essai sclérométrique [2].....	30
II.3.1.4.Les inconvénients de l'essai sclérométrique [2].....	31
II.3.1.5.Mesures sur éprouvettes.....	31
II.3.1.6.Exploitation des résultats.....	31
II.3.2.Essai d'auscultation dynamique.....	32
II.3.2.1.Principe d'auscultation dynamique [NF EN 12504-4].....	32
II.3.2.2.Détermination de la vitesse de propagation des ondes.....	32
II.3.2.3.Manières de mesure.....	33
II.3.2.3.1.Mesures En Transparence (Directe).....	33
II.3.2.3.2.Mesures en surface (indirecte).....	33
II.3.2.3.3.Mesures semi directe.....	33
II.3.2.3.4.Les avantages d'essai d'auscultation dynamique [2].....	33
II.3.2.3.5.Les inconvénients d'essai d'auscultation dynamique.....	34
II.4.Méthodes combinées.....	34
II.4.1.Principe.....	34
II.4.2.Les avantages des méthodes combinées.....	35
II.4.3.Les inconvénients des méthodes combinées.....	35
II.5.Conclusion.....	35
Bibliographie	

Chapitre III : Caractérisation des matériaux utilisés

III.1.INTRODUCTION.....	36
III.2.Matériaux utilisés.....	36
III.3.Caractéristiques des matériaux utilisés.....	36
III.3.1.Caractéristiques du sable utilisé.....	36
III.3.1.1.Caractéristique chimique du sable.....	37
III.3.1.2.Essai d'analyse granulométrique [NF EN 933-1].....	37
a) Module de finesse [NF EN 12620].....	39
III.3.1.3.Caractéristiques physiques du sable utilisé.....	39
a) Masse volumique absolue [NF EN 1097-7].....	39
b) Masse volumique apparente [NF EN 1097-6].....	40
c) Porosité.....	41
d) Compacité.....	41
e) L'indice des vides.....	41
f) Equivalent de sable [NF EN 933-8].....	42
• Equivalent de sable visuel : (E.S.V).....	42
• Equivalent de sable piston : (E.S.P).....	42
g) Teneur en eau [NF P 18-555].....	45
III.3.2.Caractéristique du gravier utilisé.....	45

III.3.2.1. Origine du gravier utilisé.....	45
III.3.2.2. Caractéristiques physiques du gravier utilisé.....	45
a) Masse volumique apparente [NF P 18-554].....	45
b) Masse volumique absolue.....	46
c) Compacité, porosité et l'indice de vide [NF EN 1097-4].....	47
d) Teneur en eau du gravier [NF EN 1097-6].....	47
III.3.2.3. Analyse granulométrique.....	48
III.3.3. Caractéristiques du ciment utilisé.....	49
III.3.3.1. Caractéristiques physiques.....	49
III.3.3.2. Caractéristiques chimiques du ciment utilisé (CEM I 42,5 N-SR 3).....	50
III.3.3.3. Les caractéristiques minéralogiques du (CEM I 42,5 N-SR 3).....	50
III.3.4. Les Adjuvants.....	50
III.3.4.1. Description.....	51
III.3.4.2. Domaines d'application.....	51
III.3.4.3. Propriétés.....	51
III.3.4.4. Dosage et mode d'emploi.....	51
III.3.5. L'eau de gâchage.....	52
III.3.5.1. Caractéristiques chimiques de l'eau utilisée.....	52
III.3.6. Poudre de verre.....	52
III.3.6.1. Composition chimique de la poudre de verre.....	53
III.3.6.2. Caractéristique physique de la poudre de verre.....	53
III.3.7. Conclusion.....	54

Chapitre IV : Techniques expérimentales

IV.1. Introduction.....	55
IV.2. Formulation du béton auto plaçant.....	55
IV.2.1. Méthode Française.....	55
IV.2.2. Calcul des constituants d'un BAP par la méthode AFGC.....	56
IV.3. Procédure de fabrication des éprouvettes.....	57
IV.4. Essais de caractérisations du béton auto plaçant à l'état frais.....	58
IV.4.1. Essai d'étalement au cône d'Abram [NF EN 12 350-8].....	58
IV.4.2. Essai de stabilité au tamis [NF EN 12 350-11].....	58
IV.4.3. Essai de la boîte en « L » [NF EN 12 350-10].....	59
IV.5. Essais de caractérisations du béton auto plaçant à l'état durci.....	59
IV.5.1. Essai compression [NF EN 206-1].....	59
IV.5.2. Essais traction par flexion [NF EN P 18-408].....	59
IV.5.3. Essais de dureté par rebondissement (scléromètre) [NF EN 12398].....	60
IV.5.4. Les Ultrasons [NF EN 12504-4].....	60

IV.6.Confection des éprouvettes.....	61
IV.6.1.Type et tailles des moules.....	61
IV.6.2.Conservation des éprouvettes.....	61
IV.7.Conclusion.....	62

Chapitre V : Résultats et Discussion

V.1.Introduction.....	63
V.2.Les formulations des bétons étudiés.....	63
V.3.Présentation des résultats.....	63
V.3.1.Résultats des essais à l'état frais.....	63
V.3.2.Caractérisation des bétons a l'état durci.....	67
V.3.2.1.Résistance à la traction par flexion (Rt).....	67
V.3.2.2.Résistance à la compression (RC).....	68
V.4.Essais non destructifs (END).....	70
V.5.Essai pour la durabilité.....	74
V.5.1.L'absorption (A).....	74
V.6. Conclusion générale.....	75

Bibliographie

Liste des tableaux

Chapitre I : Revue générale sur les bétons autoplaçants

Tableau I.1. Composition chimique du verre.....18

Tableau I.2. Résistances mécaniques de MEDAFLOW 30.....25

Chapitre II : Généralités sur les essais destructifs et non destructifs

Tableau.II.1: Qualité du béton et vitesse de propagation des impulsions selon Leslie.....33

Chapitre III : Caractérisation des matériaux utilisés

Tableau III.1 : Les Caractéristiques chimiques du sable.....37

Tableau III.2. Analyse granulométrique du sable (sable de Boussaâda).....38

Tableau III.3.Masse volumique absolue du sable de Boussaâda.....40

Tableau III.4. La masse volumique apparente du sable de Boussaâda.....41

Tableau III.5: la porosité ; la compacité et l'indice des vides pour le sable de Boussaâda.42

Tableau III.6: La classification de la nature sable en fonction d'équivalent de sable (E.S).....44

Tableau III.7: Les résultats d'équivalent du sable de Boussaâda.....44

Tableau III.8 : Teneur en eau de sable utilisé.....45

Tableau III.9: Masse volumique apparente du gravier.....46

Tableau III.10: Masse volumique absolue du gravier.....47

Tableau III.11: Porosité, compacité et l'indice des vides.....47

Tableau III.12 : Teneur en eau des graviers47

Tableau III.13 :Analyse granulométrique du gravier 3/8.....48

Tableau III.14: Analyse granulométrique du gravier 8/16.....48

Tableau III.15 : Caractéristiques physiques du (CEM I 42,5 N-SR 3).....50

Tableau III.16 : Les compositions chimiques du (CEM I 42,5 N-SR 3).....50

Tableau III.17 : Les compositions minéralogiques du (CEM I 42,5 N-SR 3).....50

Tableau III.18 : Caractéristique de l'adjuvant« MEDAFLOW 30 ».....51

Tableau III.19 : Propriétés de « MEDAFLOW 30 » à l'état frais et durci.....51

Tableau III.20: Résistance à la compression obtenue par le « MEDAFLOW 30 ».....51

Tableau III.21 : Caractéristiques chimiques de l'eau.....52

Tableau III.22 : Composition chimique de la poudre de verre.....53

Chapitre IV : Techniques expérimentales

Tableau IV.1 : Composition d'un mètre cube de béton formulé par la méthode AFGC.....57

Chapitre V : Résultats et Discussion

Tableau V.1 : Caractéristiques rhéologiques des BAP étudiés.....64

Tableau V.2:La résistance à la traction par flexion des BAP étudiés (Rt).....67

Tableau V.3: La résistance à la compression (Rc) des BAP étudiés à 7, 14 et 28 jours.....68

Tableau V.4: La résistance à la compression (Rc) des BAP étudiés à 28 jours 15x15x15.....69

Tableau V.5 : Résultats des essais non destructifs Ultrason (V) et scléromètre (Is) des BAP étudiés.	71
Tableau V.6 : Résultat de L'absorption capillaire (A) pour les BAP étudiés.....	74

Liste des figures

Chapitre I : Revue générale sur les bétons autoplaçants

Figure 1.1 : Mise en place d'un béton auto-plaçant (BAP).....	5
Figure I.2 . Diffractogramme de la poudre de verre.....	8
Figure 1.3 : Les actions des super plastifiants [12].....	9
Figure.I.4 : approche générale de formulation des BAP.....	11
Figure 1.5 : Le pont Akashi Kaikyo.....	15
Figure.I.6 . Béton pour la construction de trottoirs municipaux.....	23
Figure.I.7 . Utilisation de la poudre dans le pavé uni.....	23

Chapitre II : Généralités sur les essais destructifs et non destructifs

Figure.II.1 : Dispositif pour mesurer la résistance à la compression	28
Figure.II.2 : Dispositif pour mesurer la résistance à la traction par flexion.....	28
Figure.II.3 : L'appareil de scléromètre [2].....	29
Figure.II.4 : Principe du Scléromètre.....	30
Figure.II.5 : La résistance probable du béton en fonction de la mesure du recul (linéaire ou angulaire).....	31
Figure II.6 : a) Mesure sur surface béton, b) sur éprouvette cubique (10*10*10) cm ³ [3].....	32
Figure II.7 : Appareil d'auscultation sonique.....	32
Figure II.8 : Courbe d'estimation de la résistance in situ par utilisation conjointe de la mesure de propagation d'ondes ultrasoniques et les résultats sclérométrique selon [Bellander, 1977] [3].....	34

Chapitre III : Caractérisation des matériaux utilisés

Figure III.1 : Appareil de l'analyse granulométrique.....	37
Figure III.2 : La courbe granulométrique du sable de Boussaâda.....	38
Figure III.3 : Principe de l'équivalent de sable.....	43
Figure III.4 : Essai équivalent de sable exécuté au laboratoire.....	43
Figure III.5 : Courbe analyse granulométrique d'un gravier de deux fraction (3/8, 8/16).....	49
Figure III.6 : poudre de verre.....	53

Chapitre IV : Techniques expérimentales

Figure IV.1 : Essai d'étalement par cone d'abrams sur les BAP.....	58
Figure IV.2 : Principe de l'essai stabilité de tamis sur BAP.....	58

Figure IV.3 : Boite en L pour le béton auto plaçant.....	59
Figure IV.4 : Essai compression :a) machine et éprouvette, b) éprouvette destructée.....	59
Figure IV.5 : Principe de l'essai traction par flexion.....	60
Figure IV.6 :Principe de l'essai scléromètre.....	60
Figure IV.7 : Appareil ultrason.....	61
Figure IV.8 : Type des éprouvettes utilisés :a) prismatique, b) cubique.....	61

Chapitre V : Résultats et Discussion

Figure.V.1 : l'étalement en fonction du type de béton.....	64
Figure.V.2 : Le taux de remplissage en fonction du type de béton.....	65
Figure.V.3 : L'indice de ségrégation dynamique en fonction du type de BAP (L-box test).....	66
Figure.V.4 : Évolution de la Résistance à la traction par flexionnel fonction du type du béton à 28 jours.....	67
Figure.V.5 : Évolutions de la résistance à la compression en fonction de l'âge des BAP.....	69
Figure.V.6 : Évolutions de la résistance à la compression (Rc) des BAP étudiés à 28 jours.....	70
Figure.V.7 : Evaluation de l'indice sclérométrique en fonction de l'âge pour les BAP étudiés.....	72
Figure.V.8 : Evaluation de vitesse de propagation des ondes en fonction de type de BAP.....	73
Figure.V.9 : Evaluation de taux d'absorption (A) des différents BAP étudiés.....	75

Notations

H	Hauteur	M₁	Poids de récipient
II	L'indice de ségrégation	C	La compacité en (%)
Rc	Résistance à la compression en (MPa).	e	L'indice des vides
F	Charge maximale en (KN)	P	Porosité en (%)
S	Surface de l'éprouvette en (cm ²)	W	Teneur en eau en (%)
Rt	Résistance à la traction en (MPa)	L_A	Coefficient de Los Angles (%)
Is	L'indice sclérométrique	PV	Poudre de verre
D_{max}	Dimension des granulats	FC	Fillers calcaire
E_i	Module d'élasticité statique en (MPa)	SSB	Surface spécifique de Blaine
v	Coefficient de poisson	SP	superplastifiants
ρ_{app}	La masse volumique apparente (Kg/m ³)	Ft	Charge à la flexion en (KN)
V	Vitesse de propagation des ondes en (m/s)	ε	La déformation linéaire
BAP	Béton autoplaçants	σ	La contrainte en (MPa)
BO	Béton ordinaire	M_f	Module de finesse
Rc	Résistance à la compression en (MPa).	E_{SV}	Equivalent de sable visuel en (%)
F	Charge maximale en (KN)	E_{SP}	Equivalent de sable piston en (%)
S	Surface de l'éprouvette en (cm ²)	BAP_R	Béton autoplaçant recyclé
ft	Résistance à la traction en (MPa)	I	L'indice hydraulique
Is	L'indice sclérométrique	ρ_{abs}	Masse volumique absolue
E_d	Module d'élasticité dynamique en (MPa)	h₁	Hauteur (sable + flocculat)
v	Coefficient de poisson	h₂	Hauteur du sable en (cm)
ρ	La masse volumique du béton en (Kg/m ³)	Rc	Refus cumules des tamis
v	Vitesse de propagation des ondes en (m/s)	NF	Norme française
E/C	Rapport eau sur ciment	EN	Norme européenne
PV	Poudre de verre	BHP	Béton haut performance
GBR	Granulats de béton recyclée	MEB	Micro-électronique à balayage
Rc	Refus cumulé	CSH	Silicate de calcium hydraté
M_s	Poids du sable sec en (g)	Ca(OH)₂	La portlandite
M_h	Poids du sable humide en (g)	END	Essai non-destructifs
V_r	Volume de récipient (cm ³)	ED	Essai destructifs
M₂	Poids de l'ensemble (granulat + récipient)	t	Le temps en (μs)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

ملخص:

الخرسانة ذاتية الصب (SCC) شديدة السيولة ويتم وضعها بدون اهتزاز. يمكن الحصول على هذه الخاصية باستخدام (الملدنات الفائقة) وزيادة حجم العجينة (خليط الأسمنت) لضمان التوزيع الجيد للحصى الخشن.

ومع ذلك ، لضمان حجم كافٍ لخليط الأسمنت ، هناك احتمالان ، الأول هو زيادة كمية الأسمنت ، مما ينتج عنه كمية عالية اقتصادياً وخطر التشققات بسبب الطرد الحراري مهم ، على المستوى الفني. الطريقة هي استخدام المضافات المعدنية المختلفة ، ممثلة في معظم الوقت في المنتجات الثانوية. تكمن مشكلة هذا العمل في إبراز مزايا النفايات المنزلية مثل القوارير الزجاجية في الخرسانة ذاتية الصب. اقتراح مسحوق الزجاج المتحصل عليه بسحق قوارير أقل من (80 ميكرومتر) على خواص الخرسانة المضغوطة ذاتياً. تم اختيار نسب مختلفة لتركيب المخاليط (5 ، 10 ، 15 و 20٪).

أظهرت النتائج تأثيراً إيجابياً لمسحوق الزجاج على الخواص الريولوجية والميكانيكية للخرسانة المصنوعة بنسب تصل إلى 20٪ من كتلة الأسمنت.

Résumé:

Le béton auto plaçant (BAP) est très fluide et se mis en place sans vibration. Cette propriété peut être obtenue en utilisant de (super plastifiant) et augmenter le volume de la pâte (mélange de ciment) pour assurer une bonne répartition des graviers grossier.

Cependant, pour assurer un volume suffisant du mélange de ciment, il existe deux possibilités, la première est d'augmenter la quantité de ciment, ce qui se traduit par une quantité élevée sur le plan économique et le risque de fissures dues à une expulsion thermique importante, sur le niveau technique La deuxième méthode est l'utilisation de divers additifs minéraux, représentés la plupart du temps en sous-produits. La problématique de ce travail est de mettre en évidence les avantages des déchets ménagers tels que les bouteilles en verre en béton auto plaçant. Suggestion de poudre de verre obtenue par broyage de bouteilles moins de (80 μm), sur les propriétés du béton auto plaçant. Différents pourcentage ont été choisis pour la formulation des mélanges (5, 10, 15 et 20 %).

Les résultats ont montré un effet positif de la poudre de verre sur les propriétés rhéologiques et mécaniques du béton réalisé avec des proportions à hauteur de 20 % de la masse de ciment.

Abstract:

Self-Compacting concrete (SCC) is highly fluid and takes it is cast without vibration. This property can be obtained by using plasticizers and increase the volume of the paste (cement mixture) to ensure a good distribution of coarse aggregate.

However, to ensure a sufficient volume of the cement mixture, there are two possibilities, the first is to increase the amount of cement, which results in a high amount on the economic level and the risk of cracks due to a large thermal expansion, on the technical level. The second method is the use of various mineral additives, represented most of the time in by-products. The problem of this work is to highlight the advantages of household waste such as glass bottles in self-compacted concrete. Suggested glass powder produced by crushing bottles less than (80 μm), on the properties of self-molding concrete. Different percentages were taken (5%, 10%, 15% et 20 %) to formulate mixtures.

The results showed a positive effect for glass powder with regard to the rheological and mechanical properties of concretes made with proportions ranging up to 20% of the mass of cement.

Introduction générale

Introduction générale

I.1. Introduction:

Le béton est aujourd'hui le matériau de construction par excellence. environ 4 milliards Chaque année, le monde utilise des mètres cubes de béton pour construire divers projets, y compris les bâtiments, les immeubles d'habitation, les ponts, les routes, Tunnels, aéroports, barrages, ports, centrales thermiques et nucléaires et plates-formes offshore, etc....

Vers l'utilisation des bétons auto plaçant, ces bétons ont été initialement mis au point par des chercheurs de l'université de Tokyo vers les années 1980.

Les bétons auto plaçant ou BAP sont des bétons très fluides, homogènes et stables, ils sont mis en œuvre sans vibration, ce qui est un grand avantage pour la réalisation de bâtiments, les bétons auto plaçant (BAP) peuvent remplir des coffrages complexes, où la densité est importante pour le ferrailage , pour cela, le BAP doit avoir des propriétés bien définies à l'état frais, à savoir la coulabilité (diffusion au cône d'Abrams), la capacité de remplissage (L-box) et la résistance à la ségrégation (tamis stabilisateur), Pour assurer la stabilité rhéologique, l'utilisation des additifs (super plastifiants) et des additions minérales (fines) est nécessaire, cependant, des études pour comprendre le comportement rhéologique des BAP sont toujours d'actualité.

Cette étude vise l'investigation de l'effet de l'addition minérale poudre de verre avec différents dosages (0%, 5%, 10% et 20 %) sur les propriétés physico-mécaniques d'un BAP à base de matériaux locaux.

Les essais destructifs et les essais non destructifs (NDT) [ultra son (v) et scléromètre (Is)] comme moyens d'évaluation des performances mécaniques du dit béton auto plaçant ont été employés. Ainsi, l'absorption comme indicateur de la durabilité de BAP à base de poudre de verre à un dosage élevé a fait l'objet de la présente investigation.

I.2. Objectifs de l'étude :

L'objectif principal de cette étude consiste à étudier l'influence de l'addition (fillers de poudre de verre) sur le comportement d'un béton auto plaçant à l'état frais et durci.

L'adjuvant super plastifiant à un dosage fixé à 1.2 % est combiné avec différents dosages de l'addition (poudre de verre) à hauteur de 20 % sur les propriétés physico-mécaniques d'un béton auto plaçant.

Le sujet a pour buts:

- ❖ Voir l'effet de la poudre de verre sur la réponse mécanique d'un béton auto plaçant.
- ❖ Voir l'effet combiné sur les caractéristiques physiques à l'état frais et durci dans le cas d'un béton auto plaçant.
- ❖ Valorisation des déchets tels que le filler de poudre de verre comme ajouts dans la matrice cimentaire.
- ❖ Etudier la différence des résultats obtenus par les essais indirects ultrason (V) et l'indice sclérométrique (Is) [NDT] en comparaison avec les valeurs de la résistance à l'écrasement (Rc) par la méthode destructive directe.

I.3. Aperçu sur le mémoire:

Ce mémoire est composé de cinq chapitres qui sont les suivant:

- ❖ Introduction générale : Problématiques et Objectifs.
- ❖ **Chapitre I** : Revue générale sur le béton auto plaçant : consiste à donner une idée générale sur l'apparition, la définition et le domaine d'application du béton auto plaçant.
- ❖ **Chapitre II** : Un aperçu sur les essais destructifs et non destructifs (END).
- ❖ **Chapitre III** : Caractérisations des matériaux utilisés : donne une idée sur les essais utilisés pour la caractérisation physiques, chimique et mécaniques des matériaux, ainsi que sur les matériels utilisés pour ces essais.
- ❖ **Chapitre IV** : Techniques expérimentales : Formulation et caractérisation du béton auto plaçant.

❖ **Chapitre V** : Résultats et discussion, présente les résultats expérimentaux obtenus et interprétations faites.

Conclusion générale : On présente les principales conclusions tirées à partir des résultats obtenus lors de cette étude ainsi que les futurs travaux en perspectives.

CHAPITRE I:
Revue générale sur le béton autoplaçant

LE PREMIER CHAPITRE

Revue générale sur le béton autoplaçant

Partie 01 : Revue générale sur le béton autoplaçant

I.1. INTRODUCTION:

Dans les années quatre-vingt, des études relatives aux bétons à hautes performances ont montré le rôle néfaste de l'excès d'eau dans les bétons. La réduction de cette quantité d'eau, par l'emploi de défloculant et par correction de l'empilement granulaire via les ultrafines a conduit aux gains de résistance et à l'amélioration de la durabilité. De plus, l'ouvrabilité de ces bétons a été également développée quasiment maîtrisée.

Aujourd'hui, la plus part des recherches sont orientées vers un autre type de béton constituant une véritable révolution dans le domaine des bâtiments et travaux publics : c'est le béton autoplaçant (**BAP**).

Le béton auto-plaçant (**BAP**) est un nouveau béton qui intéresse beaucoup l'industrie du bâtiment et des travaux publics. Ceci est dû aux nombreux avantages qu'il présente : un écoulement sous son propre poids et sans aucune vibration même dans les milieux à forte densité de ferrailage. Ainsi, le **BAP** est utilisé dans de nombreux pays pour diverses applications et configurations structurelles. Dans les paragraphes suivants on décrira les principales caractéristiques de ce type de béton à l'état frais, à l'état durci et vis à vis de la durabilité.

Aujourd'hui le **BAP** est utilisé dans le monde entier, même en Amérique et en Afrique dans plusieurs constructions (les bâtiments civils et industriels, les ponts, les barrages, et les travaux et les renforcements).



Figure 1.1 : Mise en place d'un béton auto-plaçant (BAP).

I.2. DEFINITION DU BETON AUTOPLAÇANT :

Un béton auto-plaçant (BAP) est un béton très fluide, homogène et stable, mis en œuvre sans vibration (la compaction des BAP s'effectuent par le seul effet gravitaire) et conférant à la structure une qualité au moins équivalente à celle correspondant aux bétons classiques mis en œuvre par vibration [1].

Le béton auto plaçant (dénommé aussi auto compactant) est défini comme suit dans l'Annexe nationale NA de la norme SN EN 206-1 :

Le béton frais est appelé auto-plaçant lorsqu'il se compacte suffisamment grâce à son poids propre tout en ne présentant pas de ségrégation. Le BAP et le béton vibré se différencient par les propriétés du béton frais et le mode de mise en œuvre. [2]

Le béton auto compactant est un béton qui se compacte de lui-même par effet gravitaire, sans aucun apport d'énergie de compactage (par ex. vibration, damage). Les propriétés caractéristiques de ce béton sont les suivantes :

- Fluidité et viscosité élevées, sans aucune tendance à la ségrégation (comme du miel),
- désaération du béton pendant son écoulement,
- excellente aptitude au remplissage des moindres recoins du coffrage par un béton homogène, même en présence de réservations, d'incorporés et de ferrailage dense,
- Le dispendieux et fastidieux travail de vibration est ainsi supprimé. [3]

I.3. Les principaux constituants d'un béton autoplaçant :

Les constituants d'un BAP sont le ciment, les fines (les ajouts minéraux), les granulats (sable, gravier), eau et les adjuvants chimiques (superplastifiants).

I.3.1. Le ciment :

Ciment selon la norme **NF EN 197-1**, dit ciment **CEM**, avec Agrégat et correctement mélangé avec de l'eau, doit être capable de produire du mortier ou Béton qui conserve sa maniabilité suffisamment longtemps. [4]

Composé principalement de clinker de silicate (K), un matériau à prise hydraulique, obtenu Cuisson à feu vif, au dessus de 1450°C, avec le bon mélange Le ratio moyen de calcaire et d'argile est de 80% et 20% [5]. Silicates et aluminates La force hydraulique formée lors de la combustion (clinker) est [6] :

- Le silicate tricalcique, $3\text{CaO}.\text{SiO}_2$, que l'on écrit C3S.
- Le silicate bicalcique, $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$, que l'on écrit C2S.
- L'aluminate tricalcique, $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$, que l'on écrit C3A.
- L'aluminoferrite tetracalcique, $4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3 .\text{Fe}_2\text{O}_3$, que l'on écrit C4AF.

En principe, tous les types de ciment standardisés conviennent à la production de **BAP**. Cependant, en utilisant du ciment Portland (c'est-à-dire **CPA-CEM I 42.5**, qui contient au moins 95 % de clinker), nous donnant une liberté totale de changer et de contrôler l'introduction Additifs minéraux. [1]

I.3.2. Les granulats :

L'agrégat est défini comme 0 mm à 40mm (sable, gravier et cailloux), qui peuvent être d'origine naturelle ou artificielle. Les agrégats sont classés selon la taille et la courbure des particules qui les composent Taille des particules exprimée en pourcentage de distribution par poids de matériau dans des tamis de taille normalisée. Pour faciliter l'écoulement du mélange, préparez Un bon béton autoplaçant utilise généralement des granulats laminés provenant de rivières et contribue Les plus fines (ex. fillers calcaires) sont plus grosses. [7]

Les granulats laminés ou concassés peuvent en principe être utilisés. Agrégat Les rouleaux en vrac ont un volume de vide intergranulaire plus petit, ce qui nécessite un plus grand Remplissez avec une petite quantité de coulis. La flottabilité des granulats concassés est Cependant, les coulis

sont meilleurs car ils ont une plus grande surface spécifique. Afin d'empêcher tout risque de blocage du BAP par les barres d'armature lors du coulage, on limite en général le diamètre maximal des granulats à 16 mm.[1]

I.3.3. Eau :

L'eau utilisée ne doit pas présenter un excès d'impuretés qui peuvent détériorer les propriétés des bétons (résistance, propriétés esthétiques, corrosion des armatures, etc.), une partie de l'eau ajoutée au béton est mobilisée par les granulats (absorption, adsorption), alors qu'une deuxième partie est consommée par l'hydratation, et une troisième partie reste libre dans la matrice du béton, cette dernière est principalement responsable de la fluidité du béton, en agissant sur la concentration en solides de la suspension entre les granulats [8].

A part son rôle majeur dans le phénomène de l'hydratation, l'eau est l'un des facteurs les plus importants au niveau de l'ouvrabilité du béton, l'augmentation du dosage en eau augmente la fluidité du béton et entraîne la diminution de la concentration en solides ; au niveau rhéologique, le seuil de cisaillement et la viscosité diminuent [9].

I.3.4. Additions minérales :

Une addition minérale est définie par la norme européenne **EN 206-1** comme étant, un Matériau minéral finement divisé utilisé dans le béton afin d'améliorer certaines propriétés ou pour lui conférer des propriétés particulières. D'après la norme précédente on a considéré deux types d'additions [10]:

- ❖ **Le type I** : additions quasiment inertes contiennent (fillers, pigments....etc).
- ❖ **Le type II** : additions à caractère pouzzolanique ou hydraulique latent contiennent (cendre volante, fumée de silice...etc).
- ❖ **Avantages économiques et environnementaux [8] :**
 - réduire la production du ciment qui nécessite une chaleur importante.
 - réduire la quantité de combustible utilisée pour l'industrie du ciment, ainsi que l'émission du CO₂ dans la nature et réduire le coût du béton.
- ❖ **Avantages techniques [8] :**
 - améliorer les propriétés mécaniques et la durabilité des bétons, en raison de leurs petites dimensions.
 - limiter le ressuage du béton et à augmenter la cohésion de l'ensemble.

- Les additions minérales réduisent la chaleur dégagée du béton lors de l'hydratation, ce qui diminue la fissuration d'origine thermique.

I.3.4.1. Différents types d'additions minérales :

I.3.4.1.1. Fillers (poudre de verre) :

La PV est obtenu par récupération de bouteilles de verre de même nature et de même couleur, dispersées dans les décharges sauvages dans la nature (montagne, bord de mer etc.....). Elles sont nettoyées puis finement broyées. L'analyse aux rayons X (FigI.2) montre un matériau essentiellement vitreux. Outre la fraction vitreuse, le verre présente de faibles quantités de fer. Le tableau 1 regroupe les compositions chimiques qui ont été réalisées par spectrométrie de fluorescence X et les caractéristiques physiques des trois additions. [11]

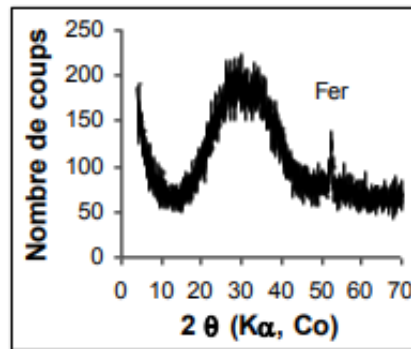


Figure I.2. Diffractogramme de la poudre de verre

I.3.5. Adjuvants (MEDAFLOW 30) :

Les superplastifiants sont des produits organiques qui, ajoutés à de faibles proportions (de 0,2 à 2% environ) au béton frais permettent d'en modifier les propriétés rhéologiques durant une période plus ou moins longue. Le béton est un matériau composite poreux constitué de ciment, de granulats et d'eau et ses propriétés mécaniques finales dépendent très étroitement de la quantité d'eau introduite lors du gachage. L'utilisation de super plastifiants nous permet d'obtenir un béton très liquide pouvant être mis en place sans vibration ni ressuage ou ségrégation. [12]

Les superplastifiants permettent de répondre à deux types d'applications, selon que l'utilisateur travaille dans le domaine de la préfabrication ou du béton prêt à l'emploi. Dans le premier cas, il aura besoin d'un béton qui acquiert des propriétés mécaniques importantes de

façon très rapide afin de procéder au démoulage dans les délais les plus brefs et en même temps d'un béton assez fluide pour avoir une mise en place convenable dans les moules. Dans le deuxième type d'utilisation, le béton devra pouvoir être transporté sur des parcours plus ou moins longs et présenter de bonnes propriétés de mise en oeuvre sur le site de construction sans que les performances mécaniques ne soient affectées. [12]

Il apparaît donc que les bétons modernes doivent satisfaire à la fois aux exigences de résistance et de maniabilité. Il s'agit de deux caractéristiques apparemment inconciliables puisque sans l'ajout de super plastifiant, l'augmentation des résistances ne s'obtient qu'avec une réduction d'eau. Or, une réduction d'eau diminue la fluidité. Un gain de maniabilité ne peut être obtenu qu'en augmentant la quantité d'eau de gâchage et donc au détriment des résistances finales du matériau. [12]

L'utilisation de superplastifiants dont l'action est schématisée sur (Figure I.3) permet de concilier la diminution de la teneur en eau et la fluidité du béton tout en conservant de bonnes performances mécaniques du matériau.

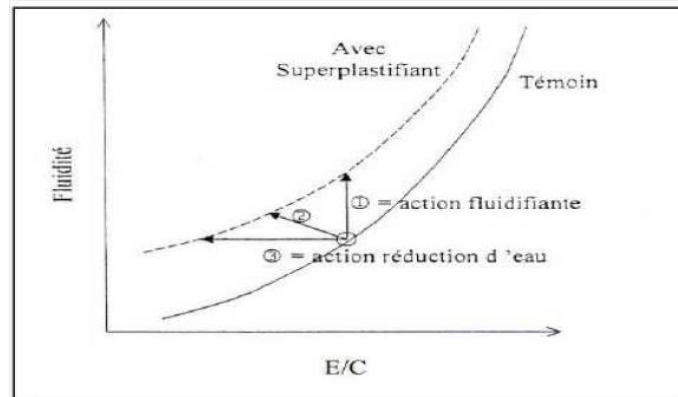


Figure 1.3 : Les actions des superplastifiants [12]

- 1 – Augmentation de la fluidité (teneur en eau égale)
- 2 – Diminution de la teneur en eau et augmentation de la fluidité
- I – Diminution de la teneur en eau (à fluidité égale).

I.4. Formulation d'un béton autoplaçant :

Les méthodes de formulation sont différentes dans leurs approches, elles conduisent à une modification des proportions des constituants par rapport à un béton traditionnel vibré. Tout d'abord, le volume de gravier doit être réduit tout en utilisant des granulats aux dimensions limitées ($D = 20\text{mm}$). Cette limitation du volume et de la taille des plus gros grains est faite pour assurer

une bonne lubrification du système avec un enrobage correct et suffisant des granulats par le mortier et ainsi éviter l'apparition des phénomènes de blocage. Il faut également noter ici l'importance de la forme des granulats, ainsi que de la granulométrie qui influent sur la compacité du squelette, pour assurer un bon écoulement du béton. Ensuite, pour lubrifier la structure et maintenir une homogénéité permettant à la fois un écoulement sur de grandes distances et éviter la ségrégation, le volume de pâte doit être optimisé en conséquence. Pour cela, l'utilisation des additions minérales est devenue incontournable. En effet, ces poudres apportent au béton un volume de fines important tout en limitant les effets négatifs d'une quantité trop importante de ciment. En effet un ajout d'eau trop important entrainerait une altération significative des propriétés à l'état durci du béton (résistance mécanique faible, porosité trop importante). Il est alors indispensable d'employer des superplastifiants qui permettent une meilleure dispersion des particules fines du ciment et des additions minérales [13].

I.4.1. Approches de formulation :

Les études répertoriées dans la littérature se basent principalement sur Une approche biphasique des matériaux (Fig I.4). Ils se concentrent sur l'optimisation Petites pièces, coulis ou mortier, ou squelette granulaire. D'autres recherches permettront Une optimisation de phase de raffinement supplémentaire en cherchant à combiner deux phases d'optimisation est Généralement basé sur des critères de trafic, permettant Optimiser le dosage des ingrédients individuels (eau et adjuvants). Optimisation Squelette granulaire pour un alignement optimal résultant en compacité maximale. Ces deux étapes sont ensuite combinées pour produire du béton Auto-compactant. Cette association peut reposer sur plusieurs critères [13]:

- ❖ Considérer la capacité de passage entre les renforts structuraux d'un volume fixe Le polymère est alors associé au plus petit volume de pâte pour permettre flux.
- ❖ Un volume de pâte minimal nécessaire pour remplir les vides entre les gravillons couplé avec une épaisseur minimale de pâte entourant ces mêmes gravillons pour permettre l'écoulement du béton.

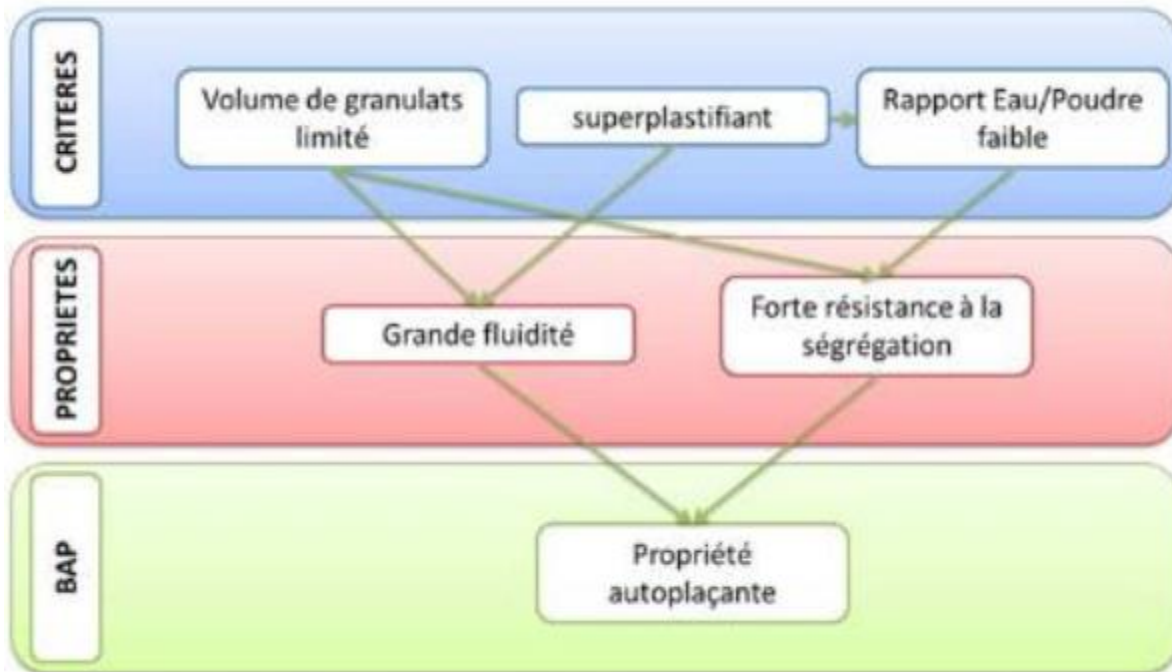


Fig.I.4 : approche générale de formulation des BAP.

I.5. Caractérisation des bétons Autoplaçants :

I.5.1. Caractérisation des bétons Autoplaçants à l'état frais :

I.5.1.1. Essai d'étalement :

Pour déterminer l'étalement (SLUMP FLOW), utiliser le même cône que Généralement utilisé pour les tests d'affaissement. Le cône est placé sur une plaque de dispersion à Nettoyer et mouiller la surface avec une taille adéquate (800 mm), puis remplir avec BAP. Cette le cône est alors soulevé et le BAP ressort pour former une crêpe qui s'élargit énergie sans avoir besoin de plaques de levage telles que Test de propagation classique. La valeur d'étalement correspond au diamètre moyen de la plaquette L'épaisseur du béton ainsi obtenu doit être comprise entre 600 et 750 mm. Cela donne un indice Viscosité des mélanges de béton [1].

I.5.1.2. Essai de boîte en L:

Tester l'écoulement du béton dans des environnements confinés et vérifier la mise en place du béton Ne soyez pas gêné par des phénomènes de blocage inacceptables. partie verticale La boîte est entièrement remplie de béton (le volume requis est d'environ 13 litres). arrière Après le nivellement, le béton repose pendant une minute. Ensuite, nous soulevons la trappe et laissons Le béton s'écoule dans la partie horizontale de la boîte à travers l'armature. distance libre La distance

entre les barres est de 39 mm. Nous mesurons la hauteur H et exprimons le résultat en termes Taux de remplissage H2/H1 [1].

I.5.1.3. Essai de stabilité au tamis:

Cet essai est conçu pour déterminer le risque de ségrégation du béton autoplaçant. il peut Pour la phase de recherche de formulation de béton autonivelant en laboratoire, ou pour Contrôler la stabilité du béton livré sur le chantier. Le test complète les tests autorisés Évaluer la mobilité dans des environnements restreints ou non restreints en caractérisant la stabilité. L'épreuve comprend Utilisez des seaux de 10 L avec couvercles, des tamis de 5 mm de diamètre sur 315 mm Fond et une bascule d'une capacité minimale de 20 kg. En fin de malaxage, il reste 10 litres de béton Verser dans un seau. Après quinze minutes, versez l'échantillon de 4,8 kg du seau Tamisez, au bout de deux minutes, mesurez la quantité de pâte (lait) qui a traversé le tamis. cette Le pourcentage de poids de laitance par rapport au poids de l'échantillon donne l'indice Isolement π La mesure de cette métrique conduit à la classification de la formule BAP comme suit [5] :

- $0 \leq \pi \leq 15$ % stabilité satisfaisante.
- $15 \% < \pi \leq 30$ % stabilité critique, l'essai à refaire in situ.
- $\pi > 30$ % stabilité très mauvaise, béton inutilisable.

I.5.2. Caractérisation des bétons Autoplaçants à l'état durci :

Dans cette partie, nous résumons rapidement les différences qui existent entre les propriétés des bétons autoplaçants à l'état durci et celles des bétons ordinaires. Elles sont étudiées sous deux aspects, les propriétés mécaniques d'une part et physico-chimiques (durabilité) d'autre part.

Les principaux résultats présentés proviennent de la recherche effectuée au sein du LMDC [14],[15]. Des résultats expérimentaux ont été obtenus sur plusieurs séries d'échantillons, constitués des mêmes matériaux, même squelette granulaire (sauf les BHP), et de classes de résistance relatives à des bétons de bâtiment (20 MPa), des bétons d'ouvrage (40 MPa) et des bétons à hautes performances BHP (60 MPa).

I.5.2.1. Résistance mécanique :

Considéré comme un mélange diphasique à l'état frais (phases solide et liquide), le béton autoplaçant possède une structure plus homogène que le béton ordinaire vibré, grâce notamment à

une résistance à la ségrégation élevée, conférant au béton autoplaçant une amélioration de résistance mécanique.

Les bétons autoplaçants présentent souvent une résistance mécanique plus élevée qu'un béton ordinaire à un rapport E/C équivalent [15], [16].

L'utilisation des fillers dans la formulation des BAP génère une accélération de sa résistance mécanique aux jeunes âges [17],[18]. Lorsqu'elles sont bien dispersées dans le béton, les particules fines des fillers favorisent l'hydratation du ciment, et conduisent à une matrice cimentaire de structure plus dense. Ces effets ont une influence sensible sur la résistance mécanique jusqu'à 28 jours puis deviennent moins significatifs par la suite.

I.5.2.2. Le module élastique :

Étant donné que le BAP contient une petite quantité d'agrégats, il est nécessaire de fournir des modules moins élastique que le béton avec la même résistance mais la rhéologie traditionnel. montre que le module d'élasticité de BAP est plus faible, Comparable à BHP, qui confirme cette idée, a également constaté que le module d'élasticité Le BAP est systématiquement inférieur au BO dérivé. Mais la différence n'est pas très grande Important car il est compris entre 2% et 8% [1].

I.5.2.3. Retrait:

En termes de séchage, le béton autoplaçant et le béton ordinaire vibré ont Généralement des montants égaux de retraits totaux. Cependant, les deux types de béton montrent Différence dans la plage de haute intensité (pour BHP) où l'élimination de BAP est Prédominant. En mode endogène, exposition béton autoplaçant et béton ordinaire La sortie est similaire à 28 jours. Après un an, BAP s'est contracté légèrement plus que BO. il est La légère différence de retrait entre les deux bétons peut être due à Le volume de coulis dans le béton autoplaçant est plus important [15].

I.6. Propriétés physico-chimique et durabilité d'un BAP :

I.6.1. Absorption capillaire :

Défini par le transfert de liquide dans les matériaux poreux en raison de la tension superficielle dans les capillaires. Ce phénomène n'est pas seulement lié à la porosité du matériau, mais également à la porosité du matériau. Et son humidité. En général, le taux d'absorption d'eau à l'intérieur du béton sec dépend de deux la quantité, la porosité effective et le taux d'absorption du matériau. (Zhu et al) ont souligné que L'absorption capillaire du BO est supérieure à celle des

bétons autoplaçants et ces bétons Des performances importantes peuvent être atteintes s'ils contiennent des scories ou des fillers calcaires [19].

I.6.2. Carbonatation :

La vitesse de diffusion de la carbonatation est affectée par plusieurs facteurs, dont certains sont Internes (composants du béton) et d'autres sont externes (liés à l'environnement). une canette Indiquez ensuite le rapport E/C, le pourcentage de CO₂, la température et l'humidité. Première Testé selon [Sakata, 98]. Performances en béton brut et béton autoplaçant Il n'y avait pas de différence significative entre leurs cinétiques de carbonatation [19].

I.7. Domaine d'application de BAP :

Le BAP peut être utilisé pour l'ingénierie horizontale et verticale, pour tous les types de chantiers de construction, de bâtiments ou de travaux publics, et pour la production de grandes quantités de produits préfabriqués en béton [20]. La plupart des travaux peuvent être réalisés en SCC (murs, colonnes, pieux, poutres, planchers, dalles, passerelles, fondations, éléments de façade, mobilier urbain, etc.).

Le BAP est particulièrement adapté à la construction d'ouvrages très fins dans la mise en œuvre du béton conventionnel, c'est-à-dire présentant :

- Haute densité de barres d'armature.
- Formes et géométries complexes : voiles, courbes.
- Voiles fines et hautes : piles de ponts.
- Voiles complexes avec beaucoup de réservations ou de grandes ouvertures.
- Exigences architecturales et qualités particulières de la surface.

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

Le pont Akashi Kaikyo (Figure5), le plus long pont suspendu au mode (3919m) ou 390 000 de béton auto plaçant ont été versés dans les coffrages des fondations et des piliers très congestionnés sans vibration. [20]



Figure 1.5 : Le pont Akashi Kaikyo.

I.8. Avantages et inconvénients d'un béton autoplaçant :

I.8.1. Avantages [21] :

a) Avantages techniques :

- Rendements améliorés et exécution plus rapide.
- Réduction des nuisances sonores durant l'exécution.
- Qualité accrue des surfaces de béton.
- Réduction/suppression des travaux de ragréage.
- Facilité de bétonnage d'éléments avec une armature dense ou importante.

b) Avantages économiques :

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

c) Avantages écologiques :

- Valorisation des déchets de construction (récupération de ces déchets au niveau des chantiers, industries, carrières, stations de concassage).

- Diminution de la quantité de CO₂ émise par l'industrie cimentaire (due à la réduction de la quantité de ciment nécessaire au BAP) .

I.8.2. Inconvénients :

La composition du BAP fait appel à des matières premières finement dosées. Il est donc Il est préférable de confier ces bétons à une entreprise professionnelle. Fluidité Le BAP est si précis qu'il nécessite des entreprises manufacturières et entrepreneur en bâtiment. En effet, selon le type, la disposition ou la taille du modèle, Préférence pour un type de liquidité ou l'autre. Par conséquent, c'est La préparation du chantier est nécessaire en raison du grand nombre de discussions nécessaires. De plus, stricte Un délai est requis ou le débit du béton peut varier. Cela demande beaucoup Plus important que le béton vibrant. Ajoutons que les matières premières qu'il contient Ils sont spécifiques et pas toujours en stock chez le fabricant [22].

I.8.3. Conclusion :

Cette section détaille le béton autoplaçant en tant que nouveau Matérielux. Il dévoile d'abord leurs définitions et leur évolution, ce chapitre aborde Un résumé de la description des ingrédients utilisés pour fabriquer le BAP et Propriétés à l'état frais et durci, au final, ça me donne l'avantage BAP.

Partie 02 : l'ajouts et ladjivantes

A / poudre de verre

I.9. Introduction:

Le verre est l'un des premiers matériaux fabriqués par l'homme 9000 ans. En raison de sa disponibilité, de ses propriétés mécaniques uniques et de Propriétés chimiques et optiques, il a de nombreuses applications bénéfiques. En théorie, c'est un matériau 100% recyclable et peut être recyclé plusieurs fois Il n'y a pas de perte de qualité.

Cependant, le verre issu de la collecte sélective doit Auparavant séparés par couleur pour convertir en calcin Nouveau pour la fabrication d'emballages en verre. La plupart du temps, le verre La récolte est un produit mixte dont la réutilisation peut devenir difficile. Dans ce cas c'est Pour d'autres applications (abrasifs routiers, laine de verre, filtration municipalités, etc.) ou stockés

dans des décharges. La recherche montre que l'utilisation du verre Dans le béton semble être une voie prometteuse pour le recyclage à grande échelle :

- En subissant un léger concassage, le verre peut être utilisé comme granulats dans le béton.
- Un broyage prononcé laisse envisager une utilisation en tant que liant.

I.10. DEFINITION DE VERRE :

Solide obtenu par refroidissement d'un liquide et qui, lors de ce refroidissement, ont acquis les propriétés d'un solide sans pour autant présenter un ordre cristallin. Ne possède pas d'ordre atomique à longue distance. Propriétés principales : dur, fragile, transparent, inflammable, inaltérable, recyclable.[23]

I.11. COMPOSITION DE VERRE [24] :

Le verre est le résultat de la fusion d'un mélange de plusieurs composants chimiques. On classe les éléments constitutifs du verre en fonction de leur rôle dans son élaboration :

a. Vitrifiant

Constituent la base du verre. Le vitrifiant le plus utilisé en grande quantité dans la nature, est le sable. Le verre de silice pure existe, mais sa réalisation est très complexe, car sa fusion a lieu aux environs de 2000°C. Elle nécessite l'emploi de réfractaires spécial, de beaucoup de combustible, et de techniques de mise en forme particulière. Autant de contraintes qui en font un produit très onéreux et réservé à un usage bien spécial, notamment en laboratoire.

b. Fondants

Leurs principal rôle est d'abaisser la température de fusion du sable en se combinant à lui. Les principaux sont l'oxyde de sodium (Na_2O), l'oxyde de Potassium (K_2O) qui permet d'abaisser le point de fusion et contribuent à augmenter la plasticité à chaud. En trop grande proportion, ils entraînent une moindre résistance chimique du verre.

c. Stabilisants

Sans eux, le verre pourrait se dissoudre dans l'eau, et serait altéré par les agents atmosphériques. On utilise le plus souvent la chaux (CaO), introduite sous forme de craie dans le mélange vitrifiable. Cette chaux joue le rôle d'un stabilisant et évite la cristallisation au refroidissement.

En théorie, ces trois constituants mélangés en proportions adéquates, suffisent à l'obtention d'un verre. Mais dans la pratique, on lui adjoint d'autres éléments en fonction des caractéristiques que l'on veut obtenir.

• Affinant

L'élimination des bulles gazeuses générées par les réactions chimiques lors de la fusion s'effectue plus rapidement et de manière plus complète grâce à ces substances, elles se décomposent à haute température en dégageant un grand volume de gaz. Les grosses bulles entraînent les petites, brassent le verre en l'homogénéisant. Les plus utilisés, sont les nitrates (de potasse, de soude, de soufre) et l'arsenic.

• Colorants

Leur dénomination définit bien leur rôle qui est la coloration du verre. Par exemple, on sait que la principale impureté contenue dans le sable est l'oxyde de fer, suivant les proportions relatives d'oxyde ferreux et ferrique, le verre sera coloré soit en vert, en jaune, ou en bleu. Par contre pour éliminer cette coloration, il faut ajouter un décolorant en l'occurrence de l'oxyde de manganèse. L'oxyde de cuivre et le cobalt couvrent la gamme des bleus. Le cristal est obtenu par le remplacement de l'oxyde de sodium par de l'oxyde de plomb (24 à 32%).

En résumé, la composition chimique dépend de la nature du verre, de sa couleur et de sa dureté, mais dans la majorité des cas, les éléments essentiels qui rentrent dans la composition du verre sont donnés dans le tableau (I.1) :

Tableau I.1. Composition chimique du verre. [25]

Sable (SiO ₂)	68 à 74 %
Soude (Na ₂ O)	12 à 16 %
Chaux (CaO)	7 à 14 %
Potasse (K ₂ O)	1 %
Alumine (Al ₂ O ₃)	0,3 à 3 %
Oxyde d'antimoine (Sb ₂ O ₃)	0,3 à 3 %

I.12. VERRE DANS LE BETON :

Du fait de sa nature amorphe et qu'il contienne des quantités relativement appréciable de silice, le verre est en général considéré comme étant pouzzolanique s'il est broyé finement. Ainsi il pourrait être utilisé en remplacement partiel du ciment Portland dans les bétons.

Plusieurs travaux ont été conduits dans les années soixante sur l'utilisation du verre comme granulats dans les bétons. Cependant ces travaux ont montré que tous les bétons ont gonflé et fissuré.

En effet, pour des raisons économiques et environnementales, l'utilisation du verre recyclé dans les ciments et bétons a suscité l'intérêt d'innombrables décideurs et ceux-ci ont encouragé de nouvelles études. [26]

Le pourcentage de verre dépoli utilisé dans la matrice par substitution Le ciment peut varier en fonction de la disponibilité du verre et des propriétés souhaitées du béton. La résistance à la compression de certaines structures peut être utilisée comme référence Utiliser des pourcentages sans oublier la durabilité devenue une autre obligation La qualité du béton aujourd'hui. Comme utiliser d'autres ajouter Le ciment traditionnel occupe une place importante dans l'industrie du béton, Des travaux parallèles ont vu le jour sur les ajouts cimentaires alternatifs, ou par Combiné avec des additifs de ciment tels que la fumée de silice, les cendres volantes Un système ternaire ou ciment Portland seul dans un système binaire. [25]

Son utilisation dans les matrices cimentaires peut entraîner deux effets secondaires. L'opposé : la réaction alcali silice néfaste pour les bétons par les gonflements qu'elle génère, et la réaction pouzzolanique qui est bénéfique.

I.13. Réaction alcali-silice du verre :

Le remplacement partiel du granulat naturel ou du ciment par le verre dans les bétons, améliore ses propriétés mécaniques notamment les résistances en compression. Toutefois, certains travaux conseillent l'utilisation de ce matériau, en prenant certaines précautions. Effectivement, les bétons à base de verre sont confrontés à un problème lié à leur durabilité. La silice du verre en combinaison avec les alcalins du ciment donne naissance à des produits gonflants qui entraînent l'endommagement des bétons.

La bibliographie a montré que le processus de la réaction alcali-silice en général et des granulats de verre est un phénomène complexe influence par plusieurs facteurs :

a. Taille des grains de verre

La taille des particules de l'agrégat de verre a un effet sur l'expansion du RAS. Il apparaît que le gonflement augmente avec le diamètre des agrégats réactifs. Cependant, pour certains auteurs, il y aura une taille agrégée qui produit la plus grande expansion, et cette taille est appelée "pessimum".

b. Teneur en verre

les travaux de ces auteurs ont mesuré la dilatation du béton en fonction de la teneur en verre. Cependant, cette tendance varie selon les auteurs, et nous pouvons les diviser en trois groupes. Le premier affirme que la dilatation du béton augmente avec la teneur en verre, le second soutient le contraire et le dernier soutient que la dilatation du béton ne change pas avec la teneur en verre. Ces oppositions s'expliquent par les conditions de travail.

c. Porosité et la réaction alcali-silice du verre

En plus d'utiliser des pouzzolanes telles que la fumée de silice la cendre volante ou le metakaolin, pour réduire l'expansion provoquée par des granulats réactifs, les chercheurs ont constaté que l'utilisation de granulats poreux réduit ces expansions.

d. Eléments mineurs et la réaction alcali-silice

La couleur du verre est obtenue en additionnant au cru certains oxydes. Ainsi, le Fe_2O_3 donne la couleur brune, le Cr_2O_3 la couleur verte, le CuO la couleur bleue, le MnO_2 la couleur rose, et l' AgO la couleur jaune. Ces différences de couleur affecteraient les expansions des bétons confectionnés avec du verre. [27]

I.13.1. Réaction pouzzolanique du verre :

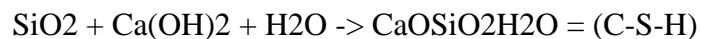
L'activité pouzzolanique du verre a été évaluée par diverses méthodes : les tests mécaniques sur éprouvettes de mortier et béton à base de ciment ou sur des mortiers à base de

chaux, ou encore tests chimiques de consommation de chaux. L'indice d'activité est défini comme étant le rapport de la résistance du mélange avec verre à la résistance du mélange témoin. Il a été difficile, voire impossible, de rassembler des travaux tous faits dans des mêmes conditions. Toutefois les conclusions suivantes se dégagent nettement :

1. La taille des grains de verre joue un rôle prépondérant sur l'activité pouzzolanique du verre : plus les grains de verre sont fins, meilleure et son activité pouzzolanique (finesse de 800 m²/kg pour avoir un bon indice d'activité pouzzolanique a 90 jours);
2. La résistance des mortiers et bétons diminue à mesure que leur teneur en verre augmente ;
3. Le verre de couleur brune est le verre qui possède la plus faible activité pouzzolanique derrière le verre vert puis le verre blanc ;
4. Pour des résistances optimales, il est plus intéressant de substituer le sable que le ciment par le verre ;
5. Une température élevée joue un rôle important dans l'activation du verre ;
6. Le verre, compare à d'autres pouzzolanes notamment la cendre volante, développe rapidement son activité pouzzolanique ;
7. L'utilisation simultanée d'un verre et d'une pouzzolane en remplacement partiel du ciment pourrait conduire à des synergies intéressantes. [27]

On peut écrire une réaction pouzzolanique comme suit :

Pouzzolane + chaux + eau → silicate de calcium hydraté (C-S-H)



I.14. CARACTERISTIQUE DU VERRE DANS LE BETON :

Le comportement des ajouts cimentaires dans le béton est différent par rapport à celui du ciment Portland tout seul. L'incorporation de l'ajout minéral par remplacement de ciment a des effets sur la cinétique d'hydratation, de durcissement et de durabilité. Une description des différentes phases du processus d'hydratation du ciment Portland est nécessaire pour introduire la réaction pouzzolanique de la poudre de verre dans le béton.

I.14.1. Comportement à l'état frais du béton :**a. Maniabilité du béton**

Le pourcentage utilisé et la finesse du matériau ont une très grande influence sur le comportement du béton frais. Il convient de choisir le pourcentage adéquat d'un cas à l'autre.

Les travaux montrent une diminution de 18 % de l'affaissement dans un béton binaire contenant 30 % de la poudre de verre dont la finesse est élevée (diamètre inférieure à 38 μm).

Autres études confirment l'effet négatif de la finesse et de pourcentage de remplacement de ciment par une poudre de verre très fine sur la maniabilité du béton. Contrairement aux études précédentes, indiquent que l'ajout de la poudre de verre dans des bétons de faible rapport E/L améliore l'ouvrabilité.

b. Effet du verre broyé sur le temps de prise

La prise de béton est gouvernée par la réaction d'hydratation et la longueur de la période dormante. Selon l'activité pouzzolanique de l'ajout cimentaire, le temps de prise peut être prolongé. Des études montrent que le temps de la prise initiale d'un mortier de 30 % de poudre de verre en substitution de ciment augmente la durée de la prise initiale.

I.14.2. Effet de la poudre de verre sur l'état durci :

La résistance à la compression du béton dépend de la qualité de l'hydrate de calcium développé (C-S-H). L'ajout de matériaux cimentaires en remplacement partiel du ciment réagira avec les silicates, entraînant la formation de nouveaux C-S-H, qui rempliront plus de vides, réduiront la porosité et augmenteront la résistance à la compression.

Le remplacement de 30 % de ciment par de la poudre d'un diamètre maximal de 38 μm (finesse de 800 m^2/kg) a produit une activité pouzzolanique en 7 jours.

L'augmentation de la résistance à la compression à différents pourcentages est fonction de la finesse de la poudre de verre. [25]

I.15. AVANTAGES D'UTILISATION DE LA POUDRE DE VERRE DANS LE BETON :

Béton plus performant, moins perméable et plus durable ;

- Substitution de matière polluante par du verre recyclé ;
- Coûts de transformation et de transport réduits ;
- Empreinte écologique réduite ;
- Nouvelle filière pour le recyclage du verre. [28]

I.15.1. Bénéfices et performance de l'intégration de la poudre de verre comme ajout cimentaire :

- ❖ Meilleure imperméabilité ;
- ❖ Durabilité accrue à long terme ;
- ❖ Matière de couleur blanche à l'état naturel ;
- ❖ Amélioration du bilan de carbone en favorisant la valorisation de matériaux recyclables ;
- ❖ Proximité de la source d'approvisionnement ;
- ❖ Accroissement de la résistance en compression à moyen terme ;

I.16. EXEMPLES D'UTILISATION DE DE VERRE :**I.16.1. Poudre de verre :**

Fig.I.6. Béton pour la construction de trottoirs municipaux.



Fig.I.7. Utilisation de la poudre dans le pavé uni.

B/ MEDAFLOW30**I.17. Description :**

Le MEDAFLOW 30 est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération. Il est conçu à base de Polycarboxylates d'Ether qui améliore considérablement les propriétés des bétons. Le MEDAFLOW 30 permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité. En plus de sa fonction principale de super plastifiant, il permet sans modifier la consistance, de réduire fortement la teneur en eau du béton. Le MEDAFLOW 30 ne présente pas d'effet de retard de prise.

I.18. Domaines D'application :

- Les bétons de préfabrication.
- Les bétons prêts à l'emploi.
- Les bétons lourds et légers.
- Les bétons d'ouvrages d'art.
- Les bétons de dallages industriels.
- Les bétons de bâtiment. •Les bétons précontraints.
- Les bétons pompés. •Les bétons pour fondations profondes.
- Les bétons pour ouvrages fortement ferrailés.
- Les bétons soumis à des milieux agressifs.
- Les BHP, BTHP, BUHP et BFUP
- Les bétons autonivelants - bétons autoplaçants.
- Les bétons architectoniques.

I.19. Propriétés :

Grâce à ses propriétés le MEDAFLOW 30 permet : Sur béton frais :

- Obtention d'un rapport E/C très faible
- Amélioration considérable de la fluidité
- Une très bonne maniabilité
- Éviter la ségrégation
- Faciliter la mise en œuvre du béton

Sur béton durci :

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

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

Tableau I.2. Résistances mécaniques de MEDAFLOW 30

I.20. Caractéristique :

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

I.20.1. Mode D'emploi :

Le MEDAFLOW 30 ne doit pas être ajouté directement dans l'eau de gâchage, mais après un temps préalable de malaxage et après que 50 à 70% de l'eau de gâchage ait été ajoutée. Le MEDAFLOW 30 peut être aussi ajouté directement dans le camion malaxeur (toupie), et après introduction de la dose convenable, le malaxeur devra tourner à grande vitesse pendant 2 à 3 minutes après l'introduction du super plastifiant ; Il est conseillé d'ajouter le MEDAFLOW 30 à un béton qui ne soit pas trop ferme

I.20.2. Dosage :

Plage de dosage recommandée : 0,5 à 2,0 % du poids de ciment soit 0,46 à 1,85 litre pour 100 Kg de ciment. Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés

I.20.3. Conditionnement Et Stockage :

Le MEDAFLOW 30 est conditionné en bidons de 10Kg, fûts de 210 Kg et 240 Kg, cubique 1100kg. Délai de conservation : Une année dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur ($5^{\circ}\text{C} < t < 35^{\circ}\text{C}$). Lors d'une exposition du produit au soleil, sa couleur est sujette à changer de ton.

I.20.4. Précautions D'emploi :

Manipulation non dangereuse. Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur : www.granitex-dz.com NB : La couleur des produits à base de Polycarboxylates d'Ether (PCE) lors d'une exposition aux UV, est sujette à changer de ton , mais qui n' a aucune incidence sur les propriétés et les effets de l'adjuvant. PV d'essais conforme aux normes, établi par le CNERIB en 22 AVR 2012.

I.21. Conclusion:

Cette synthèse bibliographique a été menée afin de se familiariser avec les bétons autoplaçants, L'objectif étant de les définir, ainsi que leurs multiples propriétés, les caractériser, et résumer les principales méthodes de leur formulation.

Le béton auto plaçant est un béton qui se compacte de lui-même par effet gravitaire, sans aucun apport d'énergie de compactage (par ex. vibration, damage). Les propriétés caractéristiques de ce béton à l'état frais sont :

- Fluidité et viscosité élevées, sans aucune tendance à la ségrégation
- Capacité de passage dans les milieux confinés
- Excellente aptitude au remplissage des moindres recoins du coffrage par un béton homogène,

Même en présence de ferrailage dense. Le fastidieux travail de vibration est ainsi supprimé. Un béton est qualifié d'auto plaçant lorsque ces trois critères sont vérifiés. Ainsi, un grand nombre de tests empiriques sont développés pour caractériser le béton vis-à-vis des propriétés d'ouvrabilité.

Bibliographie :

- [1] YAGOUB M., « *Evaluation de la qualité du béton de fibres in situ cas de béton autoplaçant avec des fibres mixtes* », Mémoire de Magister, Université Mohamed khider , Biskra, 2009.
- [2] THAUVIN & Michel M., Guide d'utilisation du béton en site maritime Benoit « *centre d'étude techniques maritimes et fluvial* », 1 avril 2008 .
- [3] BENKECHKACHE G., « *Etude de comportement diffère des bétons autoplaçant Influence des paramètres de composition et de chargement* », thèse de magister, Université Mentouri Constantine, 2007.
- [4] NF EN 197-1, « *ciment, composition et critères* », l'association française de normalisation, Février 2001.
- [5] Khélifa.R, « *influence des ciments à base d'ajouts minéraux sur les propriétés mécaniques des mortiers et des bétons* », thèse de magister, université Mentouri de Constantine, 11 Juillet 2001.
- [6] CIM béton, « *le ciment et ses applications* », 10^{ème} édition, a principe Paris, Juillet 2001.
- [7] NF P 15-010, Octobre 1997.
- [8] Merniz Mohamed, « *étude de l'influence de la nature et les dimensions des fibres sur les propriétés rhéologiques et mécaniques des bétons autoplaçants (BAP)* », mémoire master.
- [9] Dreux.G & Festa.J, « *nouveau guide du béton et de ses constituants* », 8^{ème} édition, Eyrolles, 1998.
- [10] Boudchicha Abdelaziz, « *utilisation des additions minérales et des adjuvants fluidifiants pour l'amélioration des propriétés rhéologiques et mécanique des bétons*», thèse doctorat, université Mentouri à Constantine, Décembre 2007.
- [11] Tahar Ali-Boucetta & Mourad Behim & Walid Laifa , « *Valorisation du laitier granulé et de la poudre de verre dans les bétons autoplaçants (BAP)* » Université Badji Mokhtar – BAP.
- [12] Hanaa Fares. Thèse de doctorat en Génie Civil «*Propriétés mécaniques et physicochimiques de bétons autoplaçants exposés à une température élevée*», Ecole Doctorale Sciences et Ingénierie Université de Cergy-Pontoise, le 07 Décembre 2009.
-

- [13] Paco Sabatier, « *contribution à l'étude de l'influence des propriétés des fillers calcaires sur le comportement autoplaçants du béton* », thèse doctorat, université Toulouse, Décembre 2010.
- [14] Proust.E, « *Retraits et fluages des bétons autoplaçants : vers une meilleure compréhension des comportements différés* », Thèse de doctorat de l'INSA de Toulouse, 2002.
- [15] Assié.S, « *Durabilité des bétons autoplaçants* », Thèse de doctorat de l'INSA de Toulouse, 2004.
- [16] Gibbs.J , Zhu.W, « *Strength of hardend Self-Compacting concrete* », Proceedings of the first international RILEM symposium on self-compacting concrete ,Stockholm, Suède, pp. 199-209, 1999.
- [17] Pera.J, Husson.S, Guilhot.B, « *Influence of finely ground limestone on cement hydration*», Cement and Concrete Composites, 21, 2, pp. 99-105, 1999.
- [18] De Larrard.F, « *Structures granulaires et formulations des bétons* », Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, avril 2000.
- [19] Laifa Walid, « *contribution à l'étude des effets du laitier cristallisé et des fibres de diss sur les propriétés des bétons autoplaçants* », thèse doctorat, université Badji Mokhtar à Annaba, 2015.
- [20] Mme Ben akili sarah, «*caractérisation expérimental des bétons autoplaçants obtenus par ajout des déchets de construction* », thèse de magister 2009
- [21] ZAIDI Hadj, SAADOUNE Lotfi " *Caractérisation mécanique d'un béton auto plaçant à partir d'un essai d'indentation*", thèse de master 2020.
- [22] Benaddad .S, Benatsou. N, " *Etude à la compression d'un Béton autoplaçant avec additions minérales (Argile cuite et broyée et Fillers calcaires)*", Mémoire de Master. Université d'Abderrahmane Mira-Bejaia, 2012.
- [23] Verre, *Ecole polytechnique FEDERALE DE LAUSSANE, Dr E. Boehm-Courjault*, 37 Page; Désigner sur : <http://lmc.epfl.ch/files/content/users/184559/files/Verres.pdf> .
- [24] Chekireb, Sihem. " *Valorisation de la poudre de verre dans le béton autoplaçant.* " (2015).
- [25] Propriétés à l'état frais, à l'état durci et durabilit à des bétons incorporant du verre finement broyé, *Université de SHERBROOKE, Fayçal Aladdine 2009, 124 Page ; Designer sur :* <http://savoirs.usherbrooke.ca/bitstream/handle/11143/1558/MR70773.pdf?sequence=1>
- [26] Concrete with waste aggregates: *e_ect of aggregates type and role of composition, Mamery Serifou 2014, 191 Page; Designer sur:* https://tel.archivesouvertes.fr/file/index/docid/962148/filename/SERIFOU_MAMERY_2013.pdf
-

[27] Mécanismes d'action des fines et des granulats de verre sur la réaction alcali-silice et la réaction pouzzolanique, *DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE*, Rachida IDIR 2009, 304 Page ; Designer sur : <http://eprint.insatoulouse.fr/303/1/IDIR.pdf>

[28] Nano technologie, *L'histoire d'une réussite, Nano québec*, 1 Page ; Designer sur : https://www.nanoquebec.ca/media/hrf1004-3_wbeton.pdf

Chapitre II :
**Généralités sur les essais destructifs et
non destructifs**

Chapitre II : Généralités sur les essais destructifs et non destructifs

II.1. INTRODUCTION:

Les problèmes de qualité rencontrés dans les structures en béton surviennent à différents endroits l'étape de réalisation des travaux, si pour cette raison le long terme Demande accrue de méthodes d'évaluation plus précises et en même temps plus flexibles qualité du béton. Pour cela, nous utilisons des essais destructifs et non destructifs (END) du béton.

On définit les essais destructif, ceux basé sur la détérioration des matériaux contrôlé pour détermine les performances souhaité et les propriétés aussi.

On définit les essais non-destructif, s'il s'agit de mesures n'endommageant pas les constructions sans modification ni sa performance ni son apparence. Une importante caractéristique de ce type des essais est qu'ils peuvent être refaits au même endroit ou presque, ce qui permet de suivre les changements des propriétés du béton dans le temps.

II.2. Les méthodes d'essai destructif sur le béton :

II.2.1. Essai de compression :

La caractérisation du comportement en compression est effectuée conformément à la norme [NF EN 12390-3], sur des éprouvettes cubiques de dimensions ((**15 x 15 x 15 cm³**) et (**10 x 10 x 10 cm³**) respectivement (**Figure II.1**), mûries à l'eau. Les résultats de la résistance à la compression **R_c** obtenus à **7, 14, 28** jours représentent la moyenne de trois échantillons. La machine utilisée pour l'écrasement uni axial des cubes est une presse hydraulique dont la capacité maximale est de **1500kN** en compression. L'expression des résultats sera donnée par la relation **R_c=F/S** (en MPa) où **F** est la charge maximale et **S** la surface de compression de l'éprouvette [1].



Figure II.1 : Dispositif pour mesurer la résistance à la compression .

II.2.2. Essais de traction par flexion :

Effectuer sur des éprouvettes prismatiques de dimensions (7 x 7 x 28 cm³) (Figure II.2) mûries à l'eau, conformément à la norme [NF EN 12390-5]. La résistance à la traction R_t obtenue à 28 jours. L'appareil utilisé est une presse hydraulique de flexion dont la capacité maximale est de 150kN en cisaillement. L'expression des résultats pour exprimer la contrainte sera donnée par la relation $R_t=1.8F/(axa)$ en MPa [1].



Figure II.2 : Dispositif pour mesurer la résistance à la traction par flexion.

II.3. Les méthodes d'essais non-destructifs sur le béton :

II.3.1. Essai au scléromètre :

C'est la méthode de dureté superficielle consiste essentiellement à une auscultation du béton par une manière standard (**Figure II.3**), en utilisant une masse donnée activée par une certaine énergie puis mesurer ensuite le rebondissement [2].



Fig II.3 : L'appareil de scléromètre [2].

II.3.1.1. Principe de scléromètre [NF EN 12504-2] :

Le principe de base de l'essai au scléromètre est que le rebond d'une masse élastique dépend de la dureté de la surface sur laquelle frappe la masse Comme la (**Figure II.4**).

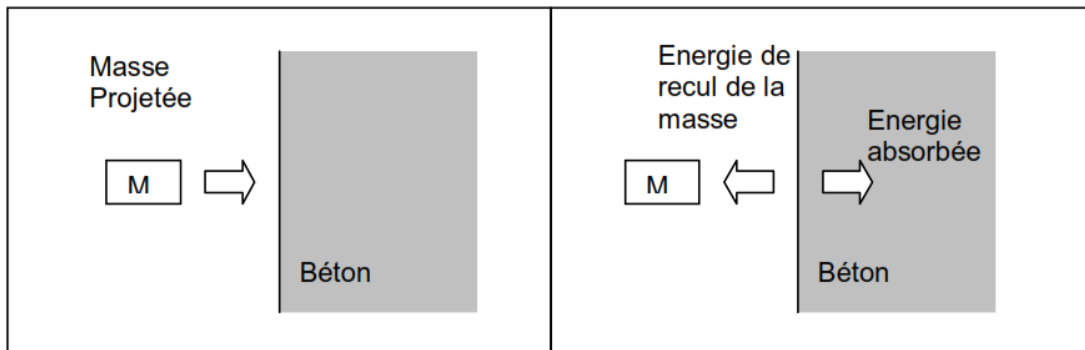


Figure II.4 : Principe du Scléromètre.

Lors de l'essai au duromètre, la masse d'environ 1,8 kg montée sur le ressort a par de Position fixe, obtenue en appuyant la tête du marteau contre la surface en béton posée prendre un examen. Lorsqu'elle est relâchée, la masse rebondit sur la tête et parcourt la distance, Exprimé en pourcentage de l'allongement initial du ressort est appelé l'exposant tourner. En utilisant cette méthode [2] sur les éléments suivants :

- Lors du choix de la zone de test, évitez la surface du moulage et faites le test sur la surface Complètement plat et lisse (pas de rugosité).

- Lors du choix des points de test, évitez les zones proches du bord de la cellule, La distance entre les points de test doit être d'au moins 2 cm.
- L'indice de rebond doit être déterminé à plusieurs points de clôture (à Typiquement de 6 à 12) pour des sections spécifiques.

II.3.1.2. Les étapes pour tester le scléromètre :

Après avoir déterminé l'indice de rebondissement en plusieurs points on calcul les indice moyens.

- Procéder à une correction d'étalonnage.
- Faire une correction à la position de scléromètre.

Correction de l'humidité du béton pour la valeur du l'indice sclérométrique (**Figure II.5**) [2]:

- ❖ Béton humide **1.10**.
- ❖ Béton normal **1.00**.
- ❖ Béton sec **0.95**.

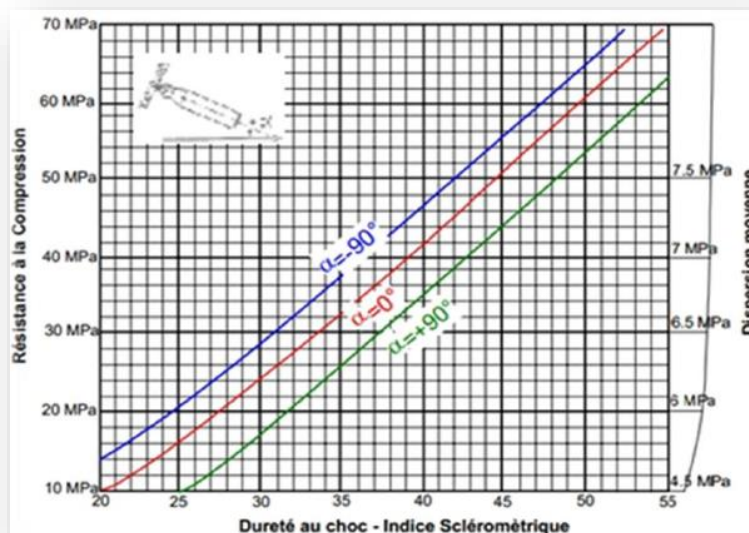


Fig II.5 : La résistance probable du béton en fonction de la mesure du recul (linéaire ou angulaire).

II.3.1.3. Les avantages de l'essai sclérométrique [2] :

- C'est une méthode bon marché, facile et rapide.
- Le test au duromètre est comparatif et permet d'évaluer l'uniformité du béton dans la structure ou lors de la fabrication d'éléments similaires de l'élément préfabriqué. Et vérifiez si le développement de la résistance du béton est affecté par le gel à un jeune âge.

- Une application spécifique de ce test consiste à évaluer la résistance à l'usure des matériaux. Pour les sols en béton, cela dépend en grande partie de la dureté de la surface.

II.3.1.4. Les inconvénients de l'essai sclérométrique [2] :

- Précision entre ± 15 et ± 20% pour les échantillons testés uniquement Moulé et polymérisé.
- Les résultats sont affectés par le lissé de surface, la taille et forme de l'échantillon.
- La résistance obtenue est uniquement la résistance de la peau béton, elle ne renseigne pas sur la peau béton Béton à l'intérieur de la structure.

II.3.1.5. Mesures sur éprouvettes :

Les éprouvettes doivent être de forme cylindrique ou cubique (Figure II.6), elles doivent être Tenir entre les plateaux de la presse hydraulique à une pression de 0,5 MPa. il est 27 mesures ont été enregistrées, réparties sur trois jeux de barres en 27 points différents, et transmises 30 mm, donc toute mesure ne doit pas être située à moins de 40 mm de la surface plane Audition. Dans toutes les conditions de stockage, les mesures au duromètre ne peuvent Seulement après un délai d'au moins 48 heures [3].



Figure II.6 : a) Mesure sur surface béton, b) sur éprouvette cubique (10*10*10) cm³ [3].

II.3.1.6. Exploitation des résultats :

Des études ont montré que la formule en question peut prendre la forme :

$$R_c = a (I_s)^2 + b (I_s) + c$$

Avec :

a, b et **c** : des coefficients dépendant de la nature des granulats,

Des granulats siliceux de qualité courante ($D_{max} = 16$ mm) et pour un béton de résistance inférieure à 30 MPa, on peut considérer d'après **F.Gabrysak** [3] :

$$R_c = \frac{1}{37} \cdot (I_s)^2 - 0.3 (I_s)$$

II.3.2. Essai d'auscultation dynamique :

Connu depuis longtemps cet essai permet de déterminer la vitesse de propagation des impulsions ultrasoniques traversant le béton (**Figure II.7**) [2].



Fig II.7 : Appareil d'auscultation sonore.

II.3.2.1. Principe d'auscultation dynamique [NF EN 12504-4] :

La méthode consiste à mesurer le temps qu'il faut à une onde pour parcourir une distance connue. Les principales caractéristiques de tous les appareils comprennent un générateur d'impulsions et récepteur d'impulsions. La fréquence du générateur d'ondes est comprise entre 10 et 150 Hz. Cependant, certains facteurs influencent l'action entreprise [2] :

- ❖ Les ondes sonores se propagent plus rapidement dans un vide rempli d'eau qu'à travers le vide est rempli d'air.
- ❖ La surface sur laquelle le test doit être effectué doit épouser parfaitement la forme de l'appareil appliquée, il est recommandé d'utiliser un matériau intermédiaire entre Béton et transducteur.
- ❖ L'augmentation de la vitesse d'impulsion se produit à des températures inférieures à ce point Gel dû au gel de l'eau ; entre 5 et 30°C, la vitesse de l'impulsion n'est pas Dépend de la température.

II.3.2.2. Détermination de la vitesse de propagation des ondes :

Liée essentiellement à la masse volumique et le coefficient dynamique du béton. On définir par l'équation suivante :

$$v^2 = \frac{E_d \cdot (1 - \nu)}{\rho(1 + \nu) \cdot \nu}$$

La relation entre la vitesse de propagation des ondes ultrasonique et la résistance à la compression est affectée par un nombre de variables tel que l'âge du béton, les conditions d'humidité, le rapport entre les granulats et le ciment, le type des granulats et la localisation des aciers et les fissures [2].

Tableau.II.1: Qualité du béton et vitesse de propagation des impulsions selon Leslie.

Qualité	Excellente	Bonne	Douteuse	Mauvaise	Très mauvaise
Vitesse de propagation m/s	Supérieure à 4000	3200-4000	2500-3200	1700-2500	Inférieure à 1700

II.3.2.3. Manières de mesure :

II.3.2.3.1. Mesures En Transparence (Directe) :

Sont utilisées dans le cas des éprouvettes, poteaux ou de certaines poutres .Les transducteurs sont appliqués sur les deux faces de l'élément à tester [2].

II.3.2.3.2. Mesures en surface (indirecte) :

Utilisées sur les dalles et éléments en longueur, l'émetteur est maintenu en un point fixe, le récepteur est déplacé successivement à des distances marquées à l'avance. Après avoir relevé le temps correspondant à un point considéré, on passe au point suivant [2].

II.3.2.3.3. Mesures semi directe :

Utilisées particulièrement sur les éléments de structure ou on ne peut pas utiliser les deux autres manières [2].

II.3.2.3.4. Les avantages d'essai d'auscultation dynamique [2] :

- ❖ C'est une méthode idéale pour déterminer l'uniformité du béton.
- ❖ La mesure des ondes sonores a le grand avantage de fournir des informations pertinentes dans une unité en béton.
- ❖ Les tests de propagation ultrasonique peuvent être utilisés pour suivre les changements Dommages microstructuraux dans les composants, comme après des cycles répétés de gel-dégel.

II.3.2.3.5. Les inconvénients d'essai d'auscultation dynamique :

- Cependant, ces tests ne sont pas aussi efficaces pour évaluer la résistance car De nombreuses variables qui affectent la relation entre la traînée et la vitesse Propagation des impulsions.
- La précision des résultats est fonction de la précision et de l'uniformité de l'étalonnage Composition du béton dans les structures [2].

II.4. Méthodes combinées :

La méthode combinée permet une appréciation de la résistance de béton in situ en relation avec l'indice sclérométrique et la vitesse de son. Indépendamment du type d'essai utilisé, les données proportionnées et fiables de corrélation avec des données standard de la résistance à la compression en **28j**. Cette solution est particulièrement avantageuse lorsque des variations des propriétés du béton conduisent à des résultats contradictoires. Par exemple, lorsqu'une augmentation du taux d'humidité augmente la vitesse de son, mais diminue l'indice de rebondissement enregistré [2].

II.4.1. Principe :

Déterminer la résistance en compression du béton à partir des abaques donnant (**Fig II.8**) la variation de la résistance du béton en fonction de la vitesse des ultrasons et de l'indice de rebondissement [**R (V, N)**]. Cette résistance est corrigée par des valeurs des coefficients d'influences des différents constituants et de leur nature [2].

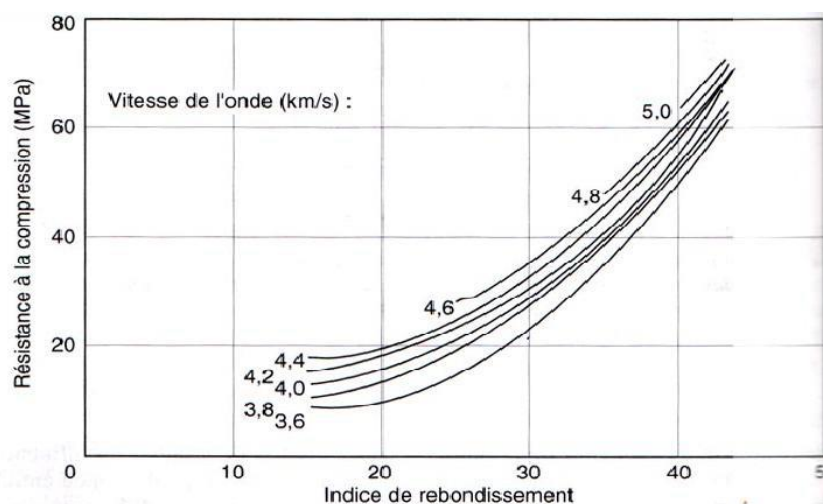


Fig II.8: Courbe d'estimation de la résistance in situ par utilisation conjointe de la mesure de propagation d'ondes ultrasoniques et les résultats sclérométrique selon [Bellander, 1977] [3].

La méthode a été développée pour essayer d'augmenter la fiabilité des essais non destructifs en détectant la résistance du béton. La relation générale entre la résistance et l'indice sclérométrique est de la forme [3] :

$$R_c = \left(\frac{I_s}{3.64 + 0.0235 \cdot I_s + 0.56 \cdot v} \right)^2$$

II.4.2. Les avantages des méthodes combinées :

- L'utilisation combinée d'essais non destructifs garantit au résultat final obtenu une précision supérieure. Elle permet d'annuler des effets parasites.
- Cette technique est utilisée afin d'essayer d'augmenter la fiabilité des essais non destructifs en détectant la résistance du béton [2].

II.4.3. Les inconvénients des méthodes combinées :

- La technique ne peut pas être employée pour la détermination de la résistance de béton fabriqué par différents matériaux dont on ne connaît pas les proportions.
- Cette technique pour l'estimation de la résistance du béton in situ n'est pas encore considérée, dans la pratique [2].

II.5. Conclusion :

Ce chapitre contient une synthèse bibliographique sur les essais destructif et non destructif qui sont appliqués sur le béton à l'état durci. La sécurité des constructions a été depuis toujours l'un des premiers soucis. Le mauvais comportement de nos constructions lors d'une tragédie est souvent expliqué par la mauvaise qualité des bétons utilisés. Pour cette raison, le suivi et le contrôle de la qualité du béton dans les différentes phases de la mise en œuvre demeurent strictement nécessaires.

Bibliographie :

- [1] Mezghiche Bouzidi, « *norme, matériaux, melanges et essais utilisées* », cours de 3^{ème} année licence, université Mohamed Khaider, Biskra, 2013
- [2] Mezghiche Bouzidi, « *essais non-destructifs du béton*», cours de 3^{ème} année licence, université Mohamed Khaider, Biskra, 2013.
- [3] Benamrane Toufik Amine, « *caractérisation aux moyens des essais non destructifs (NDT) et essai direct (ED)d'un béton recyclé adjuvanté à base des matériaux locaux* », mémoire master, Juin 2015.

Chapitre III :
Caractérisation des matériaux utilisés

CHAPITRE III :

CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISES

III.1. Introduction :

Ce chapitre est consacré à la présentation des matériaux utilisés, Les différentes techniques expérimentales utilisées pour les caractérisations granulométrique, chimique des matériaux.

III.2. Matériaux utilisés:

Nous avons utilisé pour la confection du béton des matériaux locaux dont les caractéristiques sont déterminées expérimentalement au laboratoire de génie civil de l'université de M'Sila:

- Le sable de dune de la région de BOUSAADA (OUED MAITAR).
- Deux fractions de gravier concassé (3/8,8/16) d'origine calcaire de la région de BBA.
- Le ciment utilisé est **CEM I 42,5 N-SR 3**: Ciment portland résistant aux sulfates encore noté (CRS).
- L'ajout : le filler (poudre de verre PV de fraction < à **0,08mm**)
- Les adjuvants : « **MEDAFFLOW 30** », un super plastifiant provenant la société de Granitex Oued-Smar à Alger.
- L'eau de gâchage et conservation : eau potable de robinet du laboratoire de génie civil.

III.3. Caractéristiques des matériaux utilisés:

III.3.1. Caractéristiques du sable utilisé:

III.3.1.1. Caractéristique chimique du sable :

La composition chimique de (Oued Maiter) est établie en mars 2009, à la cimenterie Lafarge (M'sila). Elle est donnée au (**Tableau III.1**).

Tableau III.1 : Les Caractéristiques chimiques du sable.

Eléments	Symboles	Teneur en (%)
Silice	SiO ₂	86.95
Chaux	CaO	6.33
Oxyde de ferrique	Fe ₂ O ₃	0.90
Alumine	Al ₂ O ₃	1.92
Oxyde de magnésium	MgO	0.53
Pente de fer	P.A.F	2.81
Sulfate	SO ₃	0.44

III.3.1.2. Essai d'analyse granulométrique [NF EN 933-1] :

On peut définir l'analyse granulométrique par tamisage c'est un ensemble des opérations aboutissant à la séparation selon leur grosseur des éléments constituant échantillon, en employant des tamis à maille carrée afin d'obtenir une représentation de la répartition de la masse des particules à l'état sec en fonction de leur dimension.



Figure III.1: Appareil de l'analyse granulométrique

Selon la norme indiquée, les résultats obtenus sont représentés dans le (**Tableau III.2**) suivant :
que **M = 2kg**

Tableau III.2. Analyse granulométrique du sable (sable de Boussaâda)

Tamis (mm)	Poids des Tamis vide (g)	Poids des tamis+sable (g)	Refus du sable	Refus cumulés	Refus cumulés %	Tamisât cumulés %
5	855	855	0	0	0	100
2.5	753	838	85	85	4.25	95.75
1.25	653	726	73	158	7.9	92.1
0.63	621	706	85	243	12.15	87.85
0.315	561	1135	574	817	40.85	59.15
0.125	518	1588	1070	1887	94.35	5.65
0.08	506	610	104	1991	99.55	0.45
fond	564	572	8	1999	99.95	0.05

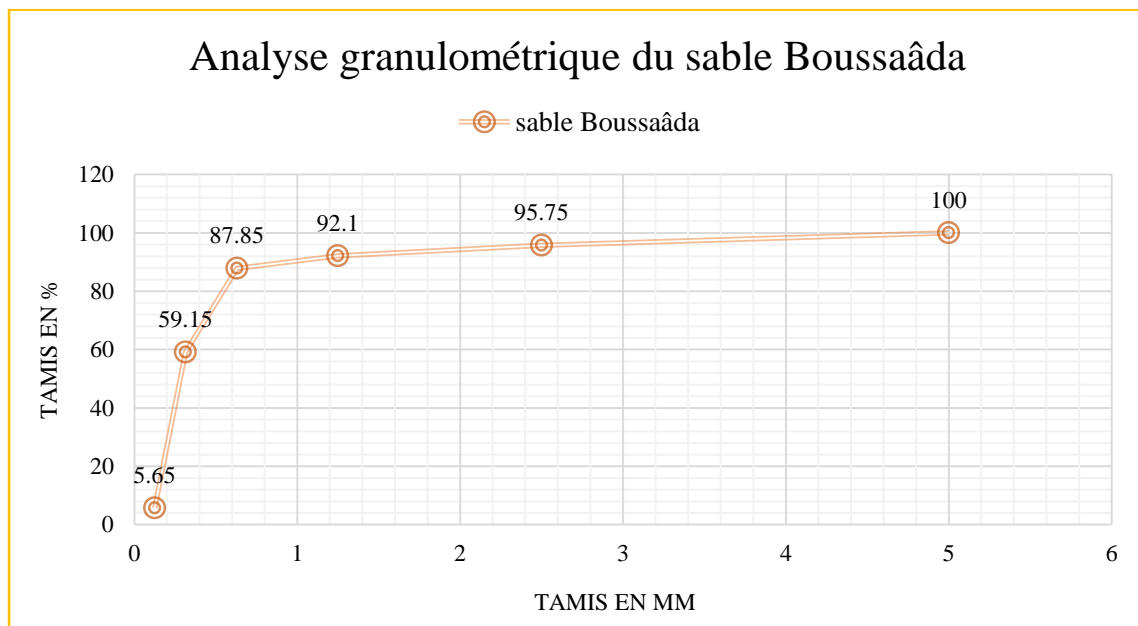


Figure III.2 : La courbe granulométrique du sable de Boussaâda.

a) Module de finesse [NF EN 12620] :

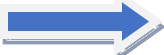
Le caractère plus au moins d'un sable peut être quantifié par le calcul du module de finesse Mf celui-ci correspond à la somme des pourcentages des refus cumulés, ramenés à l'unité pour les tamis d'ouverture (0.16 /0.315/ 0.63/1.25 /2.5 /5 mm) sur 100 ce paramètre est en particulier utilise dans les calculs de compositions des bétons.

$$Mf = \Sigma Rc / 100$$

Rc : Refus cumulé.

Les normes soviétiques spécifient le Mf des sables comme suit :

- Sable gros $Mf > 2.5$
- Sable fin $1.5 < Mf < 2$
- Sable moyen $2 < Mf < 2.5$
- Sable très fin $1 < Mf < 1.5$

Pour le sable de Boussaâda : $Mf = 1.6$; $1.5 < Mf < 2$  C'est un sable fin.

III.3.1.3. Caractéristiques physiques du sable utilisé :

a) Masse volumique absolue [NF EN 1097-7]:

Mode opératoire :

On determine la masse volumique absolue du sable a l'aide du recipient de capacite **1000** ml. On prend **03** échantillons de masse **300g**.

On place l'échantillon dans le recipient de capacite **1000** ml et on y verse **300** ml d'eau préparé préalablement dans **2^{ème}** récipient gradué, puis on malaxe soigneusement le contenu pour chasser l'air qui y existe. Apres cette opération, on détermine le volume final occupé par le mélange sable – eau. Soit (V) ce volume.

Sachant que le volume (V_e) d'eau versé est 300 ml, il serait facile de déterminer le volume occupé par le sable seul.

Volume de sable : $V_1 = V - 300$ (ml).

Calculée par la formule : $\rho_s = M / V_1$, $M = 300g$. Les résultats obtenus en (**Tableau III.3**) :

Tableau III.3. Masse volumique absolue du sable de Boussaâda.

N0 d'essai	Masse utilisée M (g)	Volume utilisée V _e (ml)	V2 (ml)	ρ (g/ml)	ρ _{moy} (g/ml)
1	300	300	420	2.5	2.55
2	300	300	418	2.542	
3	300	300	415	2.608	

b) Masse volumique apparente [NF EN 1097-6] :

Mode opératoire :

- On détermine la masse volumique apparente du sable à l'aide d'un entonnoir standardisé de capacité **2 à 2,5** litres.
- On remplit l'entonnoir avec du sable sec.
- On pèse le récipient vide M_1 .
- On place le récipient sous l'entonnoir à une distance de **10 à 15** cm et on le remplit avec du sable.
- Une fois le récipient est rempli, on nivelle la surface du sable et on pèse le tout. Soit M_2 ce poids.
- Volume de récipient $V_r = 900 \text{ cm}^3$.

La masse volumique apparente du sable est donnée par la formule suivante :

$$\rho_{app} = \frac{(M_2 - M_1)}{V_r}$$

Tableau III.4. La masse volumique apparente du sable de Boussaâda.

Essais	Vr	M1(g)	M2(g)	γ app (g/cm3)	γ moy (g/cm3)
1	900	116	1459	1.493	1.493
2		116	1460	1.493	
3		116	1471	1.503	

c) **Porosité :**

C'est le volume des vides entre les grains du sable où le rapport du volume des vides au volume total du sable. On calcul la porosité selon la formule suivante :

$$P = \left[1 - \left(\frac{\gamma_{app}}{\rho} \right) \right] .100$$

$$P (\%) = 100 - (\text{Masse volumique apparente} / \text{masse volumique absolue}) \times 100$$

Pour le sable du dune :

- **P = 41.45 %**

d) **Compacité :**

La compacité d'un matériau est une proportion de son volume réellement occupé par la matière solide qui le constitue, c'est-à-dire le rapport du volume absolue des grains au volume apparent du matériau.

La compacité donnée par la formule :

$$C = \rho_{app} / \rho_{abs} = 1 - P$$

Pour le sable du dune :

- **C = 58.55%**

e) **L'indice des vides:**

L'indice des vides est le rapport entre le volume du vide et le volume de solide.

$$e = V_v/V_s = P / (100 - P).$$

Avec **P** en pourcent (%).

- Pour le sable du dune :

$$e = 0.70 \%$$

Les resultats de la porosite, la compacite et l'indice de vide sont regroupes dans le Tableau suivant :

Tableau III.5: la porosité ; la compacité et l'indice des vides pour le sable de Boussaâda.

La Porosité P %	La compacité C %	Indice des vides e %
41.45	58.55	0.70

f) **Equivalent de sable [NF EN 933-8] :**

- **Equivalent de sable visuel : (E.S.V) :**

Après 20 minutes de dépôt de sable, lire la hauteur h1 du niveau supérieur du flocculant jusqu'au le fond de l'éprouvette à l'aide d'une réglette.

Mesurer également avec le réglet la hauteur h2 comprise entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire et le fond de l'éprouvette.

On: h2 h1

$$E.S.V = (h2 / h1) * 100 (\%)$$

h2 : la hauteur du sable.

- **Equivalent de sable piston : (E.S.P)**

Introduire le piston dans l'éprouvette et laisser descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment, cet instant bloquer le manchon du piston, et sortir celui-ci de l'éprouvette.

Introduire la règle dans l'encoche du piston jusqu'à ce que de zéro vienne buter contre la face intérieure de la tête du piston, soit h2' la hauteur lue et correspondant à la hauteur de la partie sédimentée.

$$E.S.P = (h2'/h1) * 100(\%)$$

On : h1 : la hauteur du sable + flocculat.

$h2'$: la hauteur du sable ($h2' < h1$).

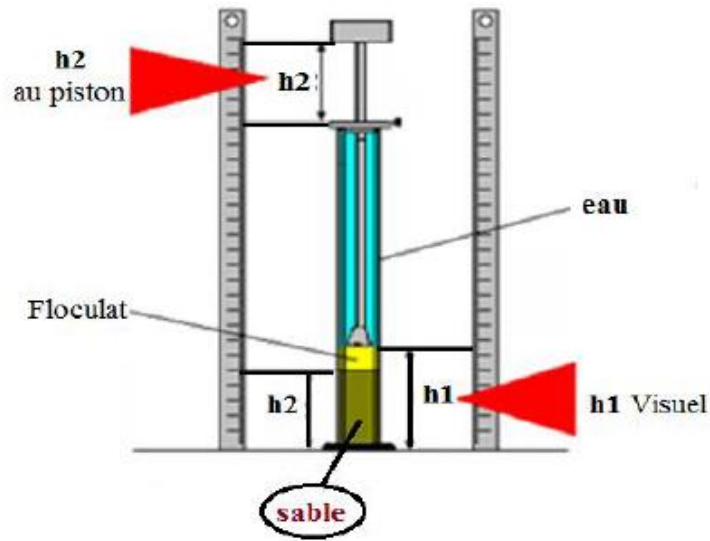


Figure III.3 : Principe de l'équivalent de sable.

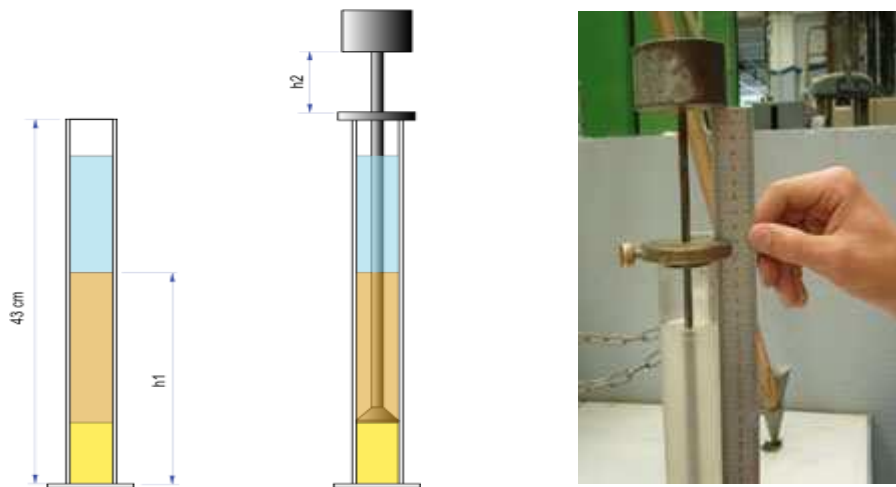


Figure III.4 : Essai équivalent de sable exécuté au laboratoire.

Tableau III.6: La classification de la nature sable en fonction d'équivalent de sable (E.S).

E.S.V	E.S.P	Nature et qualité du sable
E.S < 65	E.S < 60	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité
65 < E.S < 75	65 < E.S < 70	Sable légèrement argileux de propriété admissible pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait
75 < E.S < 85	70 < E.S < 80	Sables propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de haute qualité
E.S > 85	E.S > 80	Sable très propre : l'absence totale de fine argileuse risque d'entraîne d'un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par augmentation du dosage en eau

Tableau III.7: Les résultats d'équivalent du sable de Boussaâda.

Essai	h₁	h₂ (cm)	E.S.V%	E.S.V_{moy}	h'₂(cm)	E.S.P %	E.S.P_{moy}
1	12.7	11.1	87.01	84.80	9	73.67	75.71
2	11.9	9.6	80.57		8.5	75.79	
3	11.5	10	86.85		8.8	77.68	

Donc :

E. S. V moy = 84. 80%

Et

E. S. P moy = 75. 71%

C'est un sable propre à faible pourcentage de farine argileux.

g) **Teneur en eau [NF P 18-555] :**

Les résultats obtenus en (Tableau III.8). que : $W = [(M_h - M_s) / M_s] * 100 (\%)$

Tableau III.8 : Teneur en eau de sable utilisé.

Essais	M _h (g)	M _s (g)	W(%)	W moy(%)
1	300	298.2	0.60	0.53
2	300	298	0.67	
3	300	299	0.33	

III.3.2. Caractéristique du gravier utilisé :

Dans cette partie, nous étudions les propriétés du gravier utilisé dans notre étude

III.3.2.1. Origine du gravier utilisé :

Le gravier primaire utilisé pour fabriquer le béton est extrait en concassant des roches à partir d'une carrière située à **25 km** de MSILA vers **B.B.A**

Les fractions du gravier sont :

- Fraction **3/8**.
- Fraction **8/16**.

III.3.2.2. Caractéristiques physiques du gravier utilisé:

a) **Masse volumique apparente [NF P 18-554] :**

Mode opératoire :

- Séchez le matériau jusqu'à un poids constant.
- Pesez le récipient vide (M1).
- Placez le récipient sur la table et remplissez-le de gravier à l'aide d'une pelle Une saillie qui affleure la surface du récipient. distance d'un conteneur à l'autre La pelle doit mesurer environ 10 cm.

- Pesez à nouveau le récipient rempli de gravier. Soit M2 ce poids. La masse volumique apparente est déterminée par la formule suivante :

$$\gamma = \frac{(M2 - M1)}{V}$$

Où :

- V: Volume du récipient.
- M1: Le poids du récipient à l'état vide.
- M2: Le poids du récipient plein de gravier.

Tableau III.9: Masse volumique apparente du gravier.

Graviers	Essai	M1 (Kg)	M2 (Kg)	γ app (kg/l)	γ app moyen (kg/l)
3/8 V=7L	1	2.924	10.068	1.020	1,011
	2		9.978	1.007	
	3		9.980	1.008	
8/16 V=10L	1	3.496	14.596	1.110	1,104
	2		14.564	1.106	
	3		14.470	1.097	

b) Masse volumique absolue :

Mode opératoire :

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique absolue du sable.

Tableau III.10: Masse volumique absolue du gravier.

Graviers	Essai	M1 (g)	V1 (ml)	V2 (ml)	ρ_{abs} (g/ml)	ρ abs moyen (g/ml)
3/8	1	400	400	560	2.5	2.583
	2	400	400	550	2.67	
	3	400	400	555	2.58	
8/16	1	400	400	560	2.5	2.560
	2	400	400	550	2.67	
	3	400	400	560	2.5	

c) Compacité, porosité et l'indice de vide [NF EN 1097-4] :

On calcule les paramètres (Tableau III.5) et les même formules que le sable.

Tableau III.11: Porosité, compacité et l'indice des vides

Fraction du gravier	Porosité P(%)	Compacité C(%)	L'indice des vides (e)
3/8	60.86	39.14	1.55
8/16	56.88	43.12	1.31

d) Teneur en eau du gravier [NF EN 1097-6] :

Tableau III.12 : Teneur en eau des graviers recyclées.

Gravier	Mh(g)	Mg(g)	W(%)	W moy(%)
3/8	1000	980	2.04	5.47
	1000	945	5.82	
	1000	921	8.57	
8/16	1000	985	1.52	4.43
	1000	952	5.04	
	1000	937	6.72	

III.3.2.3. Analyse granulométrique :

Le même essai d'analyse granulométrique de sable :

- Fraction 3/8 $M_{G3/8} = 1.6 \text{ kg}$

Tamis (mm)	Poids des Tamis vide (g)	Poids des tamis+sable (g)	Refus du sable	Refus cumulés	Refus cumulés %	Tamisât cumulés %
8	654.2	667.2	13	13	0.8125	99.187
6.3	638.8	897.3	258.5	271.5	16.968	83.032
5	624	1273.1	649.1	920.6	57.537	42.463
4	603.6	1054.4	450.8	1371.4	85.7125	14.287
3.15	610.9	784	173.1	1544.5	96.531	3.469
2.5	603.1	639.2	36.1	1580.6	98.787	1.213
fond	453.9	475.4	21.5	1600	100	0

Tableau III.13 : Analyse granulométrique du gravier 3/8.

- Fraction 8/16 $M_{G8/16} = 3.2 \text{ kg}$

Tamis (mm)	Poids des Tamis vide (g)	Poids des tamis+sable (g)	Refus du sable	Refus cumulés	Refus cumulés %	Tamisât cumulés %
20	0	0	0	0	0	100
16	930	1050	120	120	3.75	96.25
12.5	891	1841	950	1070	33.4375	66.5625
10	957	2293	1336	2406	75.1875	24.8125
8	825	1494	669	3075	96.09375	3.90625
6.3	567	692	125	3200	100	0

Tableau III.14: Analyse granulométrique du gravier 8/16.

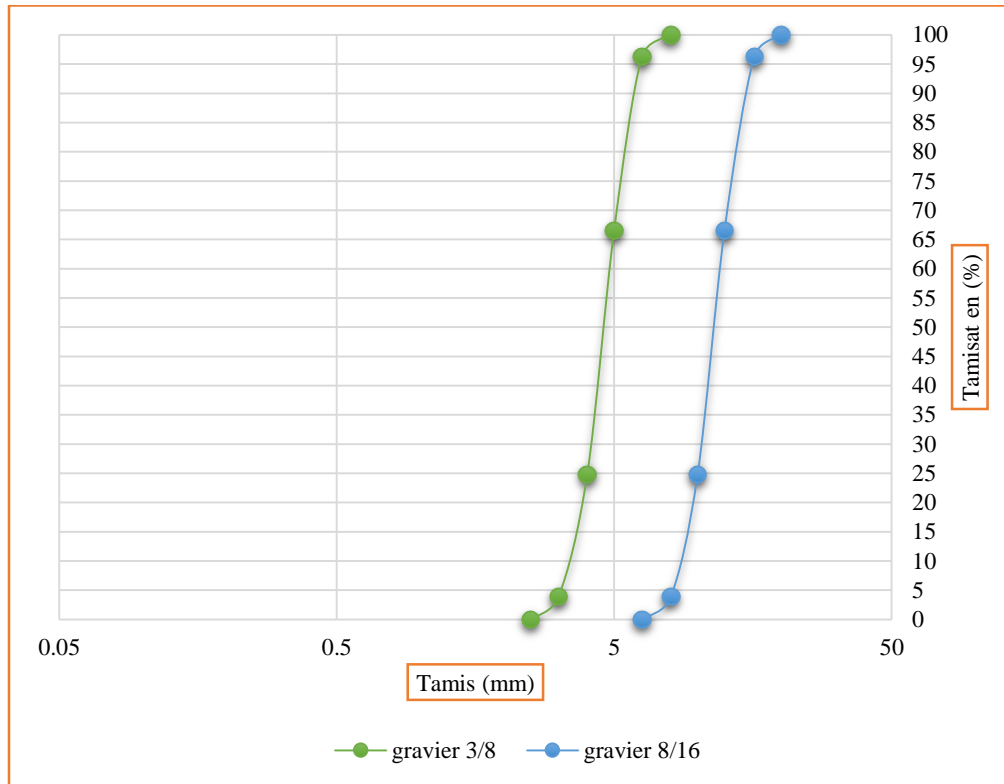


Figure III.5 : Courbe analyse granulométrique d'un gravier de deux fraction (3/8, 8/16).

III.3.3. Caractéristiques du ciment utilisé :

On utilise dans cette recherche, CEM I (ciment résistance aux sulfats) de classe 42.5 provient de la cimenterie Ain El-Kebira de Sétif. Mokaouem (CEM I 42,5 N-SR 3) pour béton de haute performance et qualité destiné à la construction des ouvrages dans un milieu agressif, exemple : « béton structurel, travaux maritimes, ouvrages massifs ».

III.3.3.1. Caractéristique physique :

Tableau III.15 : Caractéristiques physiques du (CEM I 42,5 N-SR 3).

Propriétés physiques	Valeur
Consistance normale%	25 à 28
Finesse suivant la method de Blaine(cm ² /g)(NA231)	3200 à 3800
Retrait à 28 jours µm/m	< 1000
Expansion (mm)	≤2,0
Chaleur d'hydratation	<270j/g

III.3.3.2. Caractéristiques chimiques du ciment utilisé (CEM III/A 42.5N-ES-) :

Tableau III.16 : Les compositions chimiques du (CEM I 42,5 N-SR 3).

Analyses chimiques	Valeur
Perte au feu (%)(NA55042)	0,5 à 3 %
Teneur en sulfates (SO ₃)(%)	1,8 à 3
Teneur en oxyde de magnesium MgO(%)	1,2 à 3
Teneur en Chlorures(NS5042)(%)	0,01 à 0,05

III.3.3.3. Les caractéristiques minéralogiques du (CEM I 42,5 N-SR 3) :

Tableau III.17 : Les compositions minéralogiques du (CEM I 42,5 N-SR 3).

Eléments	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	Laitier
Teneur %	50	12	5	22	>60

III.3.4. Les Adjuvants :

Dans notre sujet de recherche, nous avons utilisé un type des adjuvants super plastifiants qui appelé « **MEDAFLOW 30** » fabriqués par la société Granites à Oued Smar-BP 85-16270 Alger (Tableau 3.17) .

III.3.4.1. Description :

« MEDAFLOW 30 » est le superplastifiant de troisième génération. Il est conçu à base de polycarboxylates à base d'éther pour améliorer significativement propriétés concrètes. Et du béton et du mortier de très haute qualité peuvent être obtenus.

Tableau III.18 : Caractéristique de l'adjuvant « MEDAFLOW 30 ».

Aspect	Couleur	PH à 20°C	Densité	chlorure	Extrait sec
Liquide	Brun clair	6 - 6.5	1.07 ±0.01	< 0.1 g/l	30%

III.3.4.2. Domaines d'application :

Bétons à hautes performances, bétons autoplaçant et bétons pompés et précontraints.

III.3.4.3. Propriétés :

Tableau III.19 : Propriétés de « MEDAFLOW 30 » à l'état frais et durci.

« MEDAFLOW 30 » à l'état frais	« MEDAFLOW 30 » à l'état durci
Obtention un rapport E/C très faible	Augmenter la résistance mécanique à jeune âge et à long terme.
Amélioré la fluidité et la maniabilité	diminuer la porosité
Eviter la ségrégation et facilité la mise en oeuvre	Diminuer le retrait et le risque de fissuration

Tableau III.20: Résistance à la compression obtenue par le « MEDAFLOW 30 ».

Désignation	Rc en (MPa)		
	3J	7J	38J
MEDAFLOW 30 (1.4 %)	39.2	54.7	62.2

III.3.4.4. Dosage et mode d'emploi :

On utilisé entre **0.5%** à **2%** du poids de ciment soit **0.46** à **1.85L** pour **100Kg** de ciment. Ce type d'adjuvant introduit dans l'eau de gâchage, il est recommandé d'ajouter dans le béton après que **50** à **70%** de l'eau de gâchage ait déjà été introduite.

III.3.5. L'eau de gâchage :

L'eau de gâchage utilisé est une eau potable du laboratoire de génie civil.

III.3.5.1. Caractéristiques chimiques de l'eau utilisée :

Etablie en au laboratoire de chimie (M'sila). Elle est donnée par (**Tableau III.21**) :

Tableau III.21 : Caractéristiques chimiques de l'eau.

La mesure	Teneur en (mg/l)
Le temps de prise d'échantillon	10/05/2005 (9 :25)
Degré de température	24.7
PH	7.78
Conductibilité	1799
Chlore Cl-	234.3
Sulfate So-4	351.6
Magnésium Mg²⁺	110.8
Sodium Na⁺	/
Calcium Ca²⁺	267.2
Sédiment sec	1412
Rééligibilité d'oxydation en eau	1024

III.3.6. Poudre de verre :

Obtenue par broyage des bouteilles et vitres brisés, c'est un verre incolore (blanc).



Figure III.6 : poudre de verre.

III.3.6.1. Composition chimique de la poudre de verre:

Tableau III.22 : Composition chimique de la poudre de verre.

<i>Composant poudre de verre</i>	<i>%</i>
SiO ₂	70.26
CaO	8.92
Al ₂ O ₃	0.85
Na ₂ O	5
MgO	1.71
K ₂ O	0.58
Fe ₂ O ₃	2.03

III.3.6.2. Caractéristique physique de la poudre de verre:

Surface spécifique : 3500 cm²/g

Masse volumique absolue: 2.44 g/cm³

Masse volumique apparente : 1.08 g/cm³

III.3.7. Conclusion :

Le chapitre III vise à décrire les matériaux utilisés localement, nous présentons les propriétés chimiques, physiques et mécaniques utilisées pour fabriquer le béton (ciment, charge de fritte de verre, réducteur d'eau, sable et gravier), qui ont été testées au laboratoire de génie civil de l'Université de M'sila.

Sur la base des résultats obtenus, après avoir caractérisé les différents composants (sable, gravier, ciment, fillers), nous avons conclu que ces matériaux peuvent être utilisés dans le béton en général, et le BAP en particulier.

Chapitre IV :
Techniques Expérimentales

Chapitre IV : Techniques Expérimentales

IV.1. Introduction :

La partie expérimentale est un prolongement de la partie théorique pour équilibrer le programme Travailler et définir différentes techniques expérimentales. Dans cette section, nous montrons Principalement des formulations pour le calcul de la dose de BAP, et Mise en œuvre et essais de base à l'état frais ou durci pour caractériser ce type de béton Qui nous choisissons. Ces tests sont effectués dans des laboratoires de niveau universitaire M'sila.

IV.2. Formulation du béton autoplaçant:

Plusieurs méthodes de formulation de BAP ont été développées dans le monde (méthodes japonaise, suédoise, loi LCPC, etc.) répondent aux exigences La maniabilité de ce type de béton [1].

IV.2.1. Méthode Française :

Méthode française (LCPC) : proposée par [2] :

Au LCPC, un modèle mathématique basé sur les interactions entre particules Les différents composants du mélange pour prédire la compacité du mélange granulaire Les composants suivants sont précis à moins de 1 % :

- ❖ Les distributions granulaires.
 - ❖ Les proportions du mélange.
 - ❖ La compacité propre.
 - ❖ La densité apparente.
- ✚ La proportion de liant est prédéterminée (par exemple 70% ciment, 30% ajouté) Déterminer la quantité de super plastifiant à saturation. D'après l'expérience du LCPC, cette Des quantités pour donner une viscosité élevée au béton, la moitié de cette quantité sera plus en relation.
- ✚ La viscosité est arbitrairement fixée à 5.104 Réduction de la teneur en eau Le résultat et le rapport liant/charge restent les mêmes, le rapport L'étape agrégat/liant est optimisée.

Par conséquent, selon Dans le modèle, la teneur en eau est ajustée pour obtenir la résistance cible, tandis que la quantité de super plastifiant est ajustée pour obtenir les seuils d'étalement

et de cisaillement souhaités, Ainsi, les propriétés souhaitées du béton auto plaçant sont atteintes [2].

IV.2.2. Calcul des constituants d'un BAP par la méthode AFGC :

$$G + S + C + E + F + SP = 1000 \text{ liters}$$

$$\text{Avec : } E/C = 0.5 \Rightarrow E = 400 * 0.5 = 200 \text{ kg/m}^3$$

La masse volumique de l'eau est 1000 kg/m^3 ce qui implique que

$$E = 200 \text{ l/m}^3$$

$$\text{Si on prend un dosage en F de } 10\% \text{ C on a } F = 10\% * C = 400 \text{ kg/m}^3 * 10\% = 40 \text{ kg/m}^3$$

Le filler utilisé est le poudre de verre, et sa densité absolue égale à 2.6 Ce qui nous donne en terme de volume : $40/2.6 = 15.38 \text{ l/m}^3$ le dosage du super plastifiant est : $2\% * (C+F) = 2\% * (400 + 40) \text{ kg/m}^3 = 8.2 \text{ kg/m}^3$

La densité absolue de super plastifiant SP30 est égale à 1.2

$$\text{Ce qui nous donne en terme de volume : } 8.2/1.2 = 6.83 \text{ l/m}^3$$

La densité absolue du ciment est égale à 3.1

$$\text{Le volume du ciment est : } 400/3.1 = 129.03 \text{ l/m}^3$$

On peut calculer les proportions des graviers et du sable :

Le volume de la pâte pour 1 m^3 de béton est:

$$C + E + F + SP = 129.03 + 200 + 15.38 + 6.83 = 351.24 \text{ litres}$$

Le volume de granulats pour 1 m^3 de béton est:

$$G + S = 1000 - 351.24 = 648.76 \text{ liters}$$

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

$$\text{On a donc: } G = S = 324.38 \text{ l/m}^3$$

Pour les deux fractions du gravier on a choisi d'utiliser 50% de G8/16 et 50% G3/8

$$\text{Gavier (3/8) : } 50\% = 162.19 \text{ l/m}^3$$

Gavier (8/16) : 50% = 162.19 l/m³ et pour le sable : S = 324.38 l/m³ En terme de poids on a :

$$\text{Gavier (3/8) } = 162.19 * 2.67 = 433.04 \text{ kg/m}^3 \text{ Gavier (8/16) } = 162.19 * 2.68 = 434.66 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Sable } = 324.38 * 2.627 = 852.146 \text{ kg/m}^3$$

Tableau IV.1 : Composition d'un mètre cube de béton formulé par la méthode AFGC.

Constituants	Quantité	Unité
Sable	852.146	kg /m ³
Gravier 3/8	433.04	kg /m ³
Gravier 8/16	434.66	kg /m ³
Ciment	400	kg /m ³
Eau	200	kg /m ³
Super plastifiant	8.2	kg /m ³
Fin	40	kg /m ³

IV.3. Procédure de fabrication des éprouvettes :

Des échantillons sont fabriqués, testés dans le laboratoire des matériaux de construction réalisée dans le même laboratoire à l'Université de M'sila. Préparation du béton auto plaçant La préparation du béton ordinaire demande plus d'attention et de précision. Après avoir possédé Pour déterminer le ratio de chaque ingrédient, suivez la procédure ci-dessous :

- Vérifiez d'abord la quantité et l'état des moules prismatiques et cubiques nécessaires Pour les essais, ce dernier doit être lubrifié avec de l'huile pour faciliter dépouillé.
- Rassemblez tout le matériel nécessaire pour effectuer le test. Vérifier que le matériau n'est pas mouillé, s'il n'a pas été séché au préalable four.
- Pour préparer la quantité d'eau requise pour le mélange, ajouter le supe plastifiant à 1/4 d'eau mélangée.
- Peser et introduire des matériaux secs (gravier, sable, ciment, poudre de verre) dans mixer.

La fabrication des gâchées est effectuée dans un malaxeur à axe vertical de capacité **30L** un mode opératoire strict et identique est suivi :

- ❖ Brassage à sec du mélange sable + Gravier + ciment + poudre de marbre pendant 30 s.
- ❖ Ajout de l'eau + supe plastifiant **210** s.
- ❖ Effectuer immédiatement les essais après arrêt du malaxage, les essais sont réalisés au moins deux fois pour valider les valeurs obtenues.
- ❖ Remplir les éprouvettes en deux/trois couches sans vibration pour le béton auto plaçant.

IV.4. Essais de caractérisations du béton autoplaçant à l'état frais :

Le test proposé par l'AFGC est actuellement utilisé comme référence sans standardisation. Les résultats de ces tests peuvent fournir une vision qualitative pour BAP. Trois tests principaux sont utilisés pour caractériser et contrôler la rhéologie du BAP :

IV.4.1. Essai d'étalement au cône d'Abrams [NF EN 12 350-8] :

L'essai d'étalement ou slump flow permet de caractériser la coulabilité du béton [3], les équipements et modes opératoires sont précisés dans la norme [NF EN 12 350-8] (Figure IV.1)

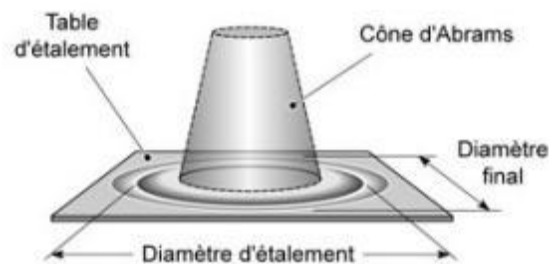


Figure IV.1 : Essai d'étalement par cône d'abrams sur les BAP.

IV.4.2. Essai de stabilité au tamis [NF EN 12 350-11] :

Cet essai vise à qualifier les bétons autoplaçant vis-à-vis du risque de ségrégation en laboratoire.(Figure IV.2) [4] et critères d'acceptabilité sont indiqués au chapitre (I).

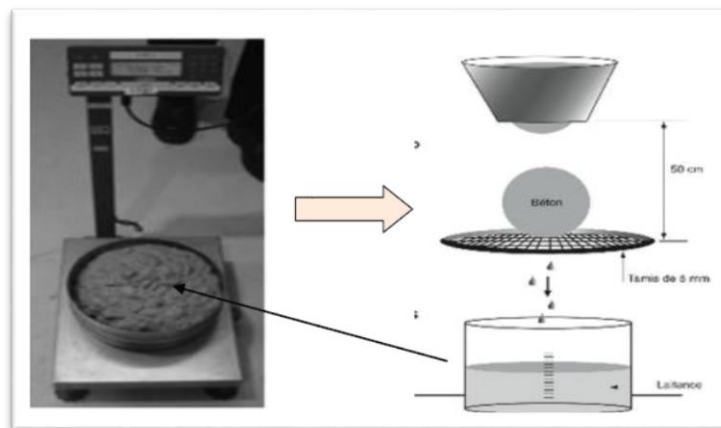


Figure IV.2 : Principe de l'essai stabilité de tamis sur BAP.

Peser le fond avec la laitance :

- On a : $P_{\text{laitances}} = P_{\text{fond}} + \text{laitance} - P_{\text{fond}}$
- Calculer le pourcentage en poids de laitance par rapport au poids de l'échantillon.
- $\delta = (P_{\text{laitance}} / P_{\text{échantillon}}) * 100$

Par ailleurs, la détection d'eau de ressuage lors de l'essai n'est pas acceptable. Cela induit des risques de tassement, de délavage du parement et d'altération de la perméabilité [4].

IV.4.3. Essai de la boîte en « L » [NF EN 12 350-10] :

La boîte en L permet de tester la mobilité de béton en milieu confiné (figure IV.3) et de vérifier que la mise en place du béton ne sera pas contrariée par des phénomènes de blocage inacceptables [3].

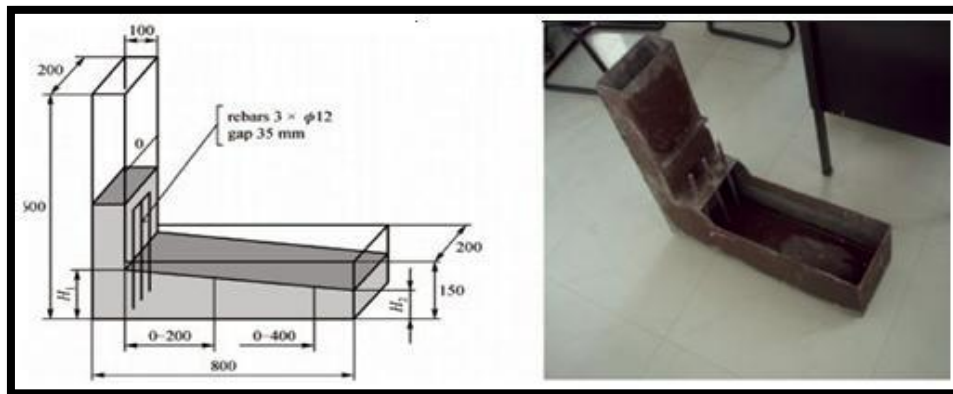


Figure IV.3 : Boîte en L pour le béton autoplaçant.

IV.5. Essais de caractérisations du béton auto plaçant à l'état durci :

IV.5.1. Essai compression [NF EN 206-1] :

La résistance est déterminée à 28 jours (Figure V.4), par la formule :

$$R_c = F/S$$

On a :

S : section de l'éprouvette : **100 cm²**. **F** : force au moment de la rupture.



Figure IV.4 : Essai compression : a) machine et éprouvette, b) éprouvette détruite.

IV.5.2. Essais traction par flexion [NF EN P 18-408] :

C'est un essai qui consiste à écraser un prismatique (7x7x28 cm³) de béton (Figure IV.5). On calcule de la résistance en traction du béton **R_t** un terme correctif de **0,6 (R_t = 0,6 R_{tf})** [3].

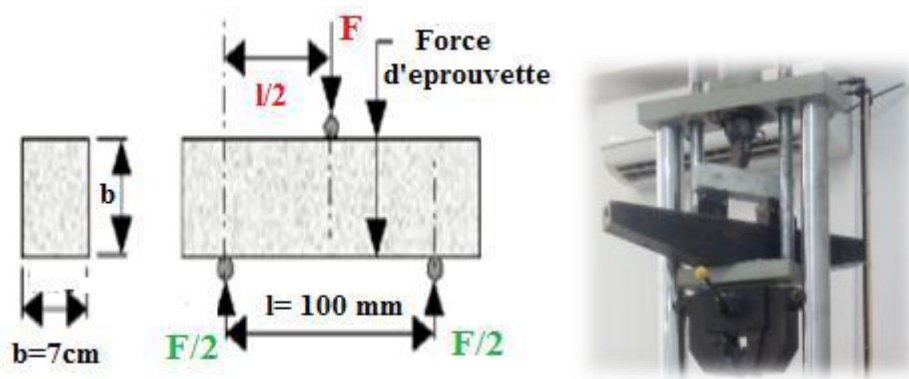


Figure IV.5 : Principe de l'essai traction par flexion.

IV.5.3. Essais de dureté par rebondissement (scléromètre) [NF EN 12398] :

On a détails ce type de l'essai d'une façon a profond dans le chapitre (II) (Figure IV.6)



Figure IV.6 :Principe de l'essai scléromètre.

IV.5.4. Les Ultrasons [NF EN 12504-4] :

Le principe de la méthode des ultrasons consiste à mesurer le temps de propagation des impulsions ultrasoniques traversant le béton (Figure IV.7) .



Figure IV.7 : Appareil ultrason.

IV.6. Confection des éprouvettes :

IV.6.1. Type et tailles des moules :

Les moules, utilisés pour la confection des éprouvettes sont des moules en acier et plastique de forme (Figure IV.8) :

- Prismatique (7x7x28 cm³)
- Cubique (10x10x10 cm³).
- Cubique (15x15x15 cm³).

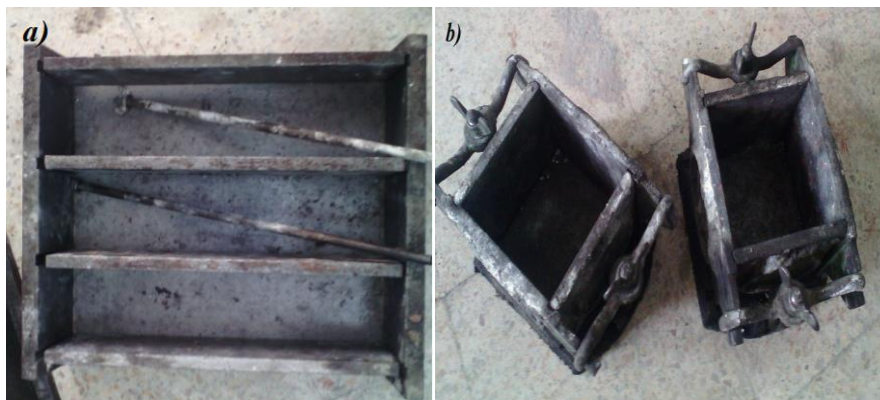


Figure IV.8 : Type des éprouvettes utilisés :a) prismatique, b) cubique.

IV.6.2. Conservation des éprouvettes :

Le démoulage de toutes les éprouvettes a été effectué **24h** après le coulage puis conservées sous l'eau à une température de **20± 2°c**.

IV.7. Conclusion:

Les connaissances acquises depuis l'avènement du BAP et une meilleure maîtrise de tous les étapes (formulation, fabrication, mise en œuvre et contrôle) sont suffisantes pour permettre Ces bétons sont utilisés dans de nombreuses applications.

Dans ce chapitre, nous détaillons tous les essais à l'état durci ou frais. Apportez-en-un La description du schéma de conception de ce type de béton et la formule de calcul et Critères de base pour chaque test.

Bibliographie :

[1] Chatra Yassine, « *effet des fillers de calcaire sur le comportement d'un béton autoplaçant (BAP) à base des matériaux locaux* », mémoire master, université Mohamed Boudiaf à M'sila, juin 2016.

[2] AFGC, « *bétons autoplaçants - recommandations provisoires* », documents scientifiques et technique, page 63, 2000.

[3] Okamura A et Ouchi M, « *self-compacting concrete* », journal of advanced concrete technology, vol 1, P5-P15, 2003.

[4] Sedran T, « *rhéologie et rhéomètre des bétons application au béton autonivellant* », thèse doctorat, école nationale des ponts et chaussées, 1999.

Chapitre V :

Résultats et Discussions

Chapitre V : Résultats et Discussions

V.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons une synthèse des résultats d'essais rhéologiques, physiques et mécaniques réalisés sur un béton auto plaçant additionné par un type d'ajouts (poudre de verre) selon des différents pourcentages (5%, 10%, 15%, 20%); ceci, pour voir l'influence de la nature et le pourcentage des additions sur les propriétés du BAP à l'état frais et à l'état durci.

V.2. Les formulations des bétons étudiés :

- ❖ BAP_{5%} → Béton auto plaçant normal avec l'ajout de 5% poudre de verre.
- ❖ BAP_{10%} → Béton auto plaçant normal avec l'ajout de 10% poudre de verre.
- ❖ BAP_{15%} → Béton auto plaçant normal avec l'ajout de 15% poudre de verre.
- ❖ BAP_{20%} → Béton auto plaçant normal avec l'ajout de 20% poudre de verre.

V.3. Présentation des résultats :

Dans cette partie, nous allons discuter les résultats obtenus d'après les essais exécutés afin de caractériser les **BAP** confectionnés, en deux états essentiels : « frais et durci » à partir des mélanges obtenus suivant les tests recommandés et déclarés par l'AFGC [1].

V.3.1. Résultats des essais à l'état frais :

Premièrement on présente les résultats à l'état frais, qui on à obtenir juste après le gâchage pour caractériser ce type de béton. Qui permet d'étude les propriétés du BAP à l'état frais par :

- ✚ **Essai de cône d'Abrams** (essai d'étalement pour les milieux non confiné) [NF EN 12 350 -8].
- ✚ **Essai boîte en L** (contrôle l'écoulement dans les milieux confiné) [NF EN 12 350 - 10].
- ✚ **Essai de stabilité au tamis** (pour étudier la ségrégation) [NF EN 12 350 -11].

Le tableau V.1 présente les résultats des essais rhéologiques des **BAP** avec l'ajout, poudre de verre, ainsi que leurs masses volumiques.

Tableau V.1 : Caractéristiques rhéologiques des BAP étudiés.

Type du béton	Étalement (cm)	Stabilité au tamis (%)	Boite en L(h2/h1) (%)
BAP _{5%}	74.5	10.12	94
BAP _{10%}	68	4.97	92
BAP _{15%}	70	9.76	90
BAP _{20%}	76	5.98	93

Commentaire :

On note d’après les résultats obtenus dans le tableau précédant, que les étalements des bétons autoplaçants testés sont supérieurs à **60 cm**, le taux de remplissage de la boite en L est de l’ordre minimum **90 %**, la plus part des **BAP** réalisés donne une valeur de laitance qui est inférieure à **15 %** selon le critère d’acceptabilité donc, on peut déduire que la stabilité au tamis est considéré comme satisfaisante.

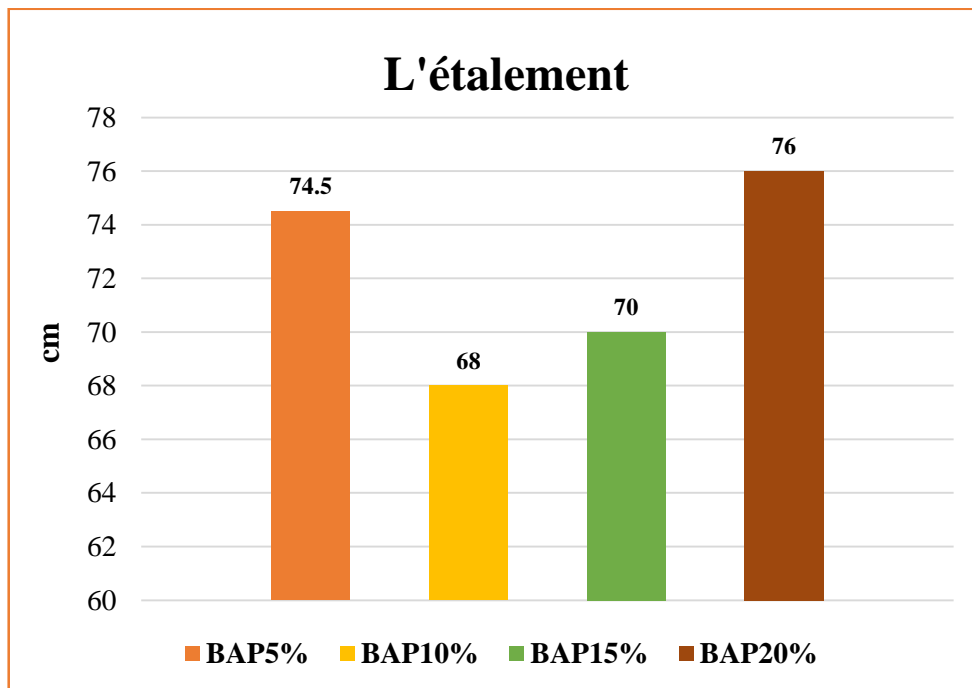


Figure V.1 : l'étalement en fonction du type de béton.

L’objectif de cet essai est de valoriser la capacité du béton à s’écouler dans une zone confinée, sans qu’il sera contrarié par des phénomènes de blocage inacceptable.

Les résultats obtenus de cet essai (pour les différents mélange des bétons formulés) sont représentés sur la Tableau V.1 et Figure V.1 .

D'après le tableau V.1 et la figure V.1, on constate que le béton BAP20% qui est composé d'un poudre de verre avec un pourcentage de 20 % , atteint une valeur maximale de l'étalement qui est de 76 cm, et le béton BAP10% , qui est composé d'un poudre de verre avec un pourcentage de 10 % atteint une valeur minimale de l'étalement qui est de 68 cm.

Quant aux deux mélanges, BAP5% et BAP15%, qui contiennent respectivement 5% et 15% de poudre de verre, on note une valeur d'étalement plus proche.

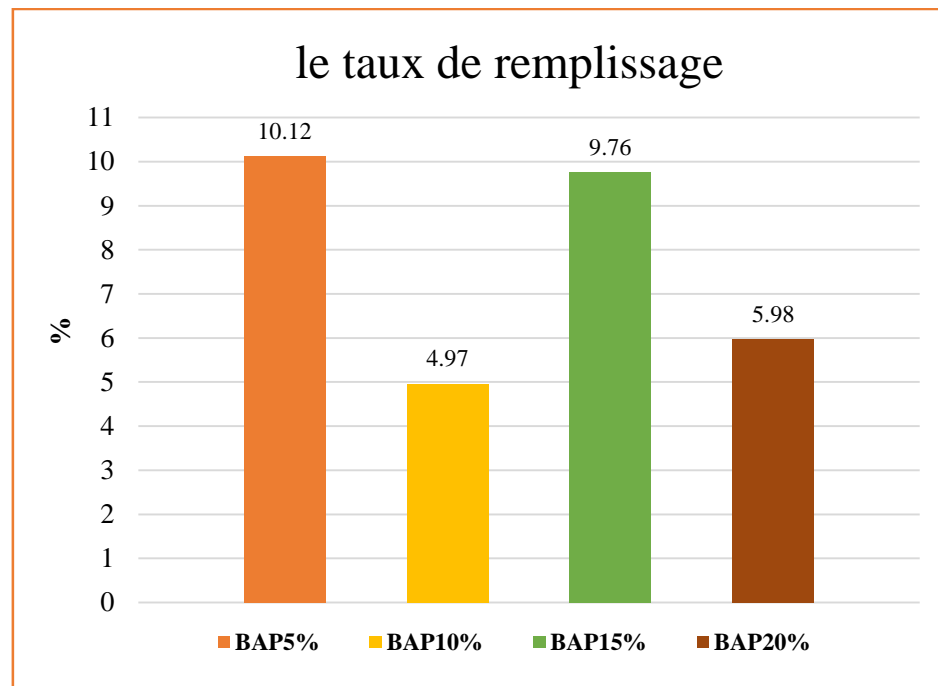


Figure V.2 : Le taux de remplissage en fonction du type de béton.

D'après les résultats obtenus dans le tableau V.1 et la figure V.2, On peut dire que les valeurs de l'écoulement des bétons BAP5% et BAP15% sont des valeurs similaires après la modification dans le pourcentage du poudre de verre rentrant dans la composition des BAP. On enregistre une valeur maximale de 10.12 % pour BAP5% et BAP15% avec une valeur de 9.76 %, consécutives; ces deux valeur étaient réponsdes aux normes de AFGC pour le cas de formulation des BAP.

$H_2/H_1 > 0.8$ et cela veut dire un bon écoulement. Ce qui concerne le BAP20%, il a une valeur moyenne qui est de 5.98 %, suivi par le BAP10% qui marque une valeur faible d'écoulement (4.97 %) par apport aux autres mélanges, donc ; les BAP20% et BAP10% donnent un écoulement faible dans un milieu confiné.

Les valeurs acceptables obtenues de l'écoulement des deux bétons BAP5% et BAP15% peut être justifié par plusieurs facteurs et parmi ces facteurs le diamètre des granulats $D_{max} < 16 \text{ mm}$; les grains fines qui aide à obtenir un bon écoulement sont frottement et sans blocage lors du coulage du béton frais à son état rhéologique frais.

Quand aux bétons BAP10% et BAP20% avec un écoulement faible à cause du manque de bonne fluidité qui est due au frottement des granulats et blocage inter granulaire et ce qui en résulte un faible écoulement.

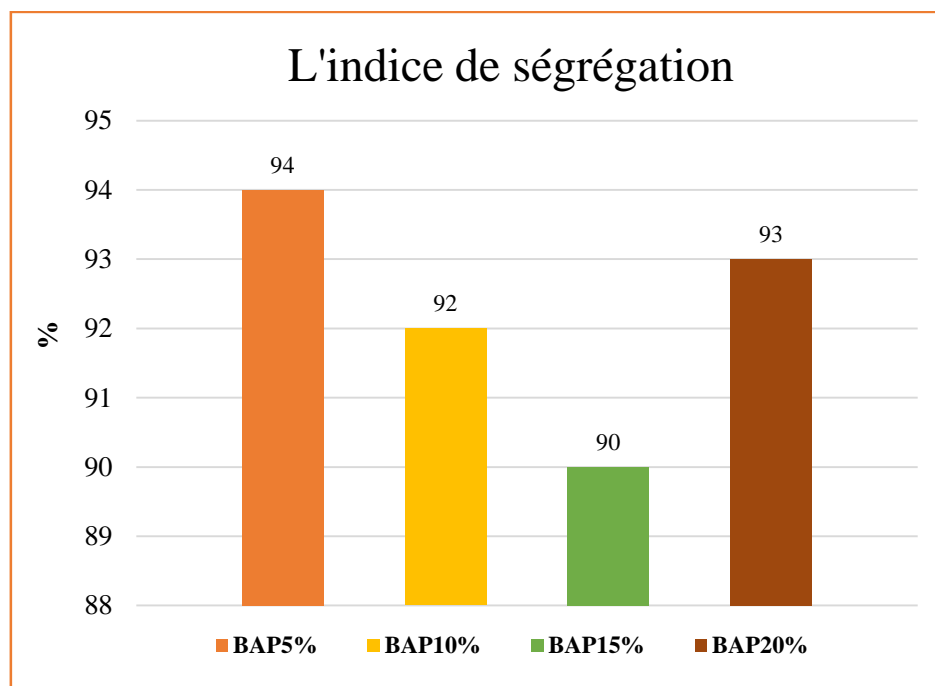


Figure V.3 : L'indice de ségrégation dynamique en fonction du type de BAP (L-box test).

Les résultats obtenus par l'essai de la boîte en L sont présentés sur la figure VI.3, ce type d'essai permet de vérifier la capacité d'un béton à s'écouler dans un milieu confiné. La plupart des bétons étudiés enregistrent des indices de ségrégation supérieure à (80%) estimé acceptable par ce test selon les normes en vigueur pour les bétons autoplaçants.

Les résultats trouvés dévoilent que le L-Box se manifeste de la même façon que dans un milieu confiné. Dès que le ciment se met en contact avec l'eau, les réactions d'hydratations seront plus poussées et plus accélérées et la germination est facilitée par la présence de la poudre de verre.

V.3.2. Caractérisation des bétons a l'état durci :

V.3.2.1. Résistance à la traction par flexion (Rt) :

Le tableau V.2 et la figure V.4 ci-dessous présentent les caractéristiques mécaniques les mélanges des BAP avec additions (ajout par la poudre de verre) selon des pourcentages variables de (5%,10%, 15% et 20%) respectivement, par poids du ciment.

Tableau V.2:La résistance à la traction par flexion des BAP étudiés (Rt).

Type de béton	Résistance à la traction par flexion		Age (jours)	Scléromètre		Ultrason			
	Rt (KN)	Moy		Indice (IS)	Moy	t (µs)	Moy	V (m/s)	Moy
BAP10%	4.7	5.73	28	25.25	24.6	5.9	6.93	8980	9250
	6.1			24.77		7.7		9071	
	6.4			23.77		7.2		9700	
BAP20%	6.2	6.9	28	26.88	27.94	8.4	8.15	8350	8615
	7.6			29		7.9		8880	
BAP5%	6.5	6.35	28	34.5	38.2	7.8	6.95	8974	10193.5
	6.2			41.9		6.1		11413	
BAP15%	4.8	4.87	28	35.44	34.74	7.2	7.23	9700	9664.67
	4.3			34.90		7.1		9813	
	5.5			33.90		7.4		9481	

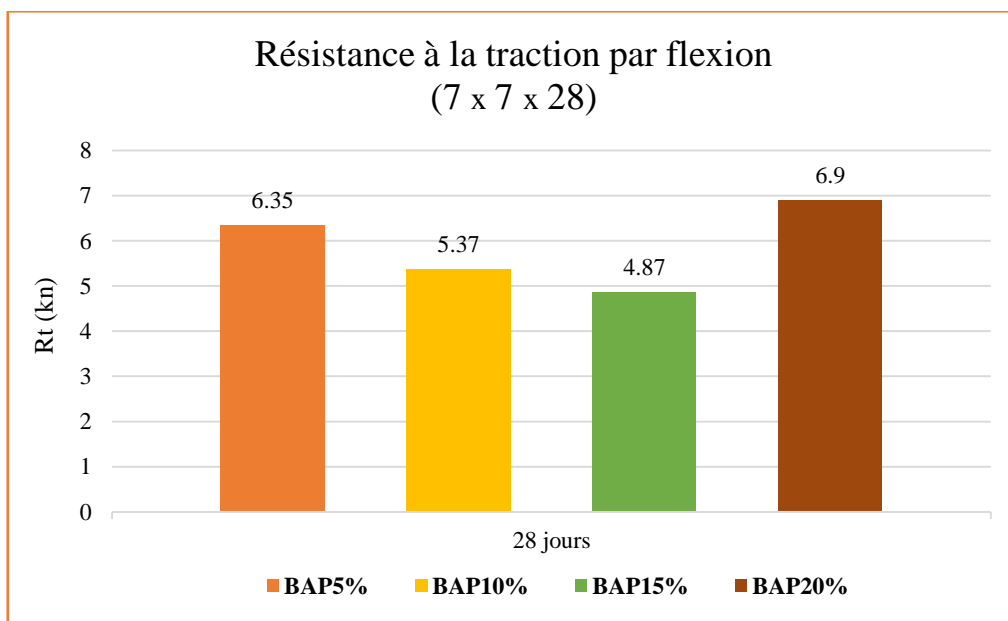


Figure V.4: Évolution de la Résistance à la traction par flexionnel fonction du type du béton à 28 jours.

D'après les résultats inscrits dans le tableau V.2 et la figure V.4 ci-dessus, on trouve une augmentation de résistance à la traction par flexion de l'ordre de 8.67% dans la formulation contenant 20% de la poudre de verre BAP20% et une réduction d'environ 30.4% et 10.82% pour celle qui contient 15% et 10 % poudre de verre BAP15% et BAP10% par rapport un béton BAP5% (5% poudre de verre) .

Ainsi, l'introduction de poudre de verre dans une certaine proportion joue un rôle important dans l'amélioration des propriétés mécaniques du BAP .

V.3.2.2. Résistance à la compression (Rc) :

Tableau V.3: La résistance à la compression (Rc) des BAP étudiés à 7, 14 et 28 jours.

Type de béton	Résistance à la compression Rc en (MPa)		
	7 jours	14 jours	28 jours
BAP5%	50.69	58.13	66
BAP10%	42.32	54.14	59.62
BAP15%	41.97	47.18	52.24
BAP20%	39.98	46.64	59.89

On remarque dans le tableau V.3 que BAP5% de (5%poudre de verre pour chaque ajouts montre une résistance de 66 MPa, et enregistre une amélioration au environ de 9.26% par rapport à BAP20% dont la résistance a atteint 59.89 MPa

Le BAP15% enregistrent une réduction de 14.64% par rapport à BAP20% .

Le BAP10% montre des résultats similaires avec le BAP20% (20 % poudre de verre)

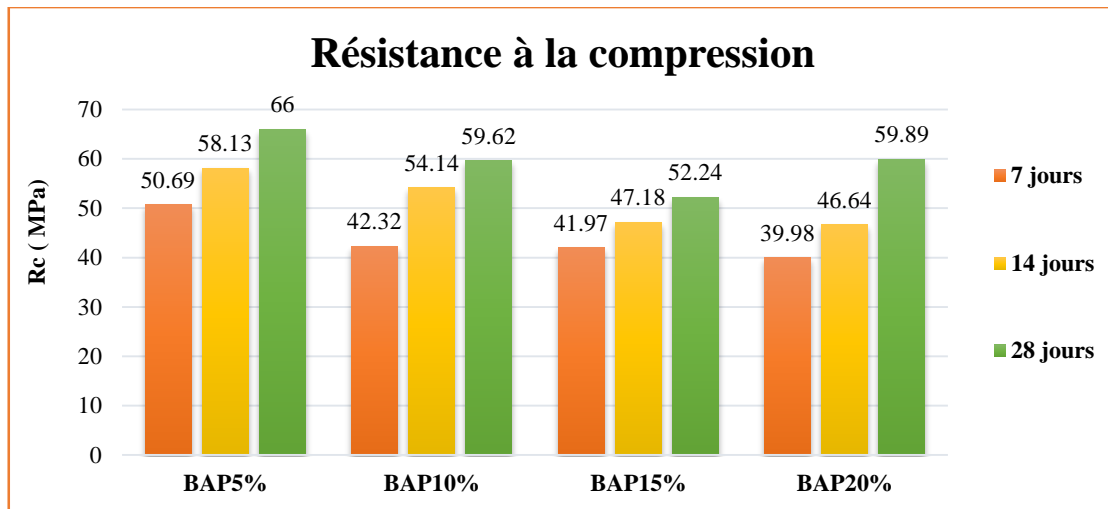


Figure V.5 : Évolutions de la résistance à la compression en fonction de l'âge des BAP.

D'après la figure V.5 le BAP15% avec un poudre de verre 15% indique une faible résistance par rapport aux autres types de béton d'environ 26 %. Cette réduction dépend de la nature, de la finesse et du dosage de filler poudre de verre. Le dosage au-delà de 5% pour le poudre de verre semble avoir un effet drastique sur les propriétés rhéologiques du BAP et par conséquent sur les caractéristiques et le durcissement donc sur le développement de la résistance.

Même l'utilisation du superplastifiant dans les formulations des BAP qui peut avoir une influence bénéfique sur la résistance mécanique en cas de sous ou surdosage de ce dernier [30]. Donc, l'introduction poudre de verre jouer un rôle important dans l'amélioration des propriétés mécaniques des BAP. Cette amélioration des résistances dépend de la nature, de la finesse et du dosage de poudre de verre. Même l'utilisation du superplastifiant (SP30) dans les formulations des BAP qui peut avoir une influence bénéfique sur la résistance mécanique.

Tableau V.4: La résistance à la compression (Rc) des BAP étudiés à 28 jours
15x15x15

Type de béton	Résistance à la compression		Age (jours)	Scléromètre		Ultrason			
	RC (Mpa)	Moy		Indice (IS)	Moy	t (µs)	Moy	V (m/s)	Moy
BAP10%	52.60	52.60	28	40.8	40.8	23.2	23.2	6461	6461
	52.60			40.8		23.2		6461	
BAP20%	56.73	54.46	28	38.77	38.39	26	25.55	5758	5863
	52.19			38		25.1		5968	
BAP5%	63.84	62.65	28	42.63	42.86	25.1	24.25	5968	6191.5
	61.46			43.09		23.4		6415	
BAP15%	50.48	53.61	28	42.33	42.36	24.4	26.3	6152	5734
	56.75			42.4		28.2		5316	

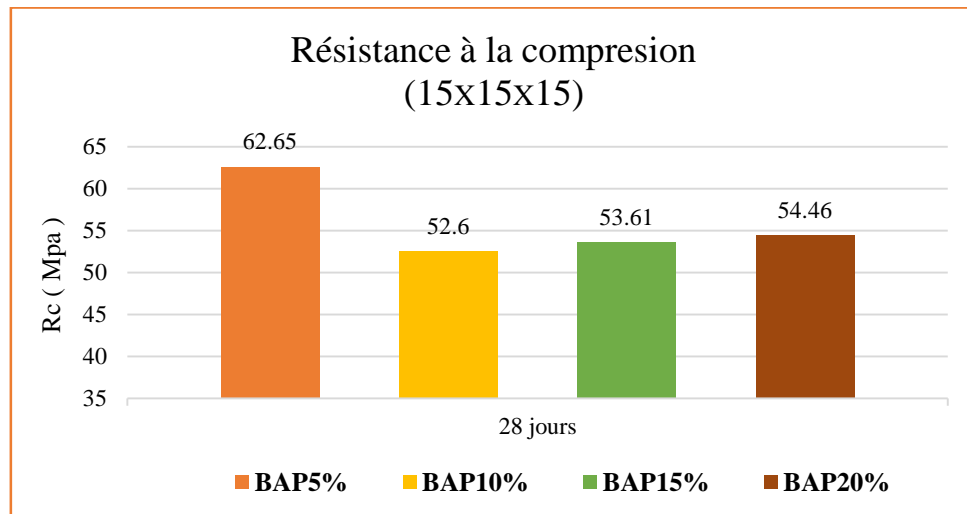


Figure V.6 : Évolutions de la résistance à la compression (R_c) des BAP étudiés à 28 jours

D'après les résultats inscrits dans le tableau V.4 et la figure V.6 ci-dessus, On remarque que BAP5% de (5% poudre de verre pour chaque ajouts montre une résistance de 62.65 MPa, et enregistre une amélioration au environ de 19.11% par rapport à BAP10% dont la résistance a atteint 52.60 MPa et enregistre une amélioration au environ de 13.07% par rapport à BAP20% dont la résistance a atteint 54.46 MPa

Le BAP15% enregistrent une réduction de 16.86% par rapport à BAP5%.

Le BAP10% montre des résultats similaires avec le BAP20% (20% poudre de verre)

V.4. Essais non destructifs (END) :

Le tableau ci-après présente les résultats des essais non destructifs (END) ultrason et scléromètre des différents BAP étudiés.

Tableau V.5 :Résultats des essais non destructifs Ultrason (V) et scléromètre (Is) des BAP étudiés.

Type de béton	Résistance à la compression		Age (jours)	Scléromètre		Ultrason			
	RC (Mpa)	RC (Mpa)		Indice (IS)	Moy	t (µs)	Moy	V (m/s)	Moy
BAP5%	40.88	50.69	7	27.66	25.76	10.4	10.2	9950	6977
	49.52			24.5		9.7		1029	
	61.69			25.14		10.5		9954	
	59.84	58.13	14	28.8	28.66	9	9.13	11152	10960
	51.91			28.1		8.9		11257	
	62.66			29.1		9.5		10471	
	67.50	66	28	45.66	45.77	14.4	14.1	6952	7127.66
	66.03			46		13		7712	
	64.45			45.66		14.9		6719	
BAP10%	30.46	42.32	7	22.18	23.28	23.2	27.03	4300	3730
	49.6			21.41		28.5		3500	
	46.9			26.26		29.4		3390	
	51.74	54.14	14	29	32	12.9	11.83	8186	8888
	51.74			34.8		12.9		8186	
	58.95			31.9		9.7		10292	
	61.28	59.62	28	45.33	44.66	13.7	13.7	7290	7290
	56.68			45.33		13.7		7290	
	60.91			43.33		13.7		7290	
BAP15%	45.16	41.97	7	26.22	24.85	11.6	11.13	8915	9097
	44.73			22.94		10.9		9188	
	36.03			25.4		10.9		9188	
	42.70	47.18	14	39.66	39.77	10.5	10.76	9554	9310
	46.02			40		10.9		9188	
	52.83			39.66		10.9		9188	
	54.60	52.24	28	41	42.33	13.8	13.6	7246	7352.67
	49.03			43.1		13.8		7246	
	53.09			42.9		13.2		7566	
BAP20%	40.85	39.98	7	23	23.33	13	13.9	7663	7244
	35.80			24.5		14		7117	
	43.29			22.5		14.7		6952	
	48.65	46.64	14	23.63	25.67	13.2	13	7566	7717.66
	49.76			24		12.5		8021	
	41.53			29.4		13.2		7566	
	57.24	59.89	28	37.75	40	7.9	8.36	13129	12189
	58.55			42		8.6		11834	
	63.21			40.25		8.6		11605	

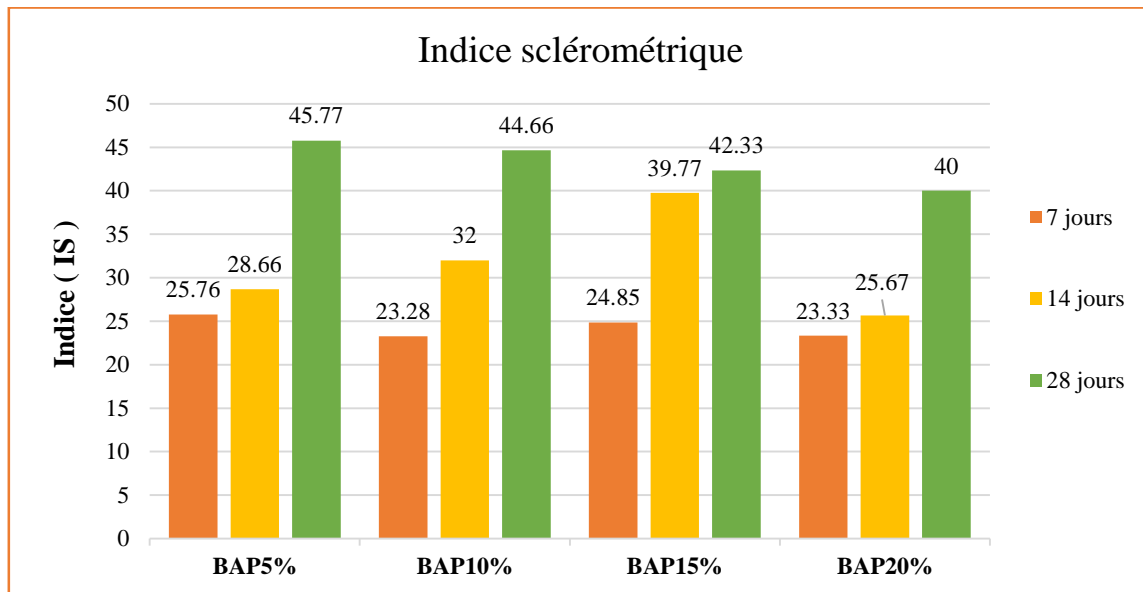


Figure V.7: Evaluation de l'indice sclérométrique en fonction de l'âge pour les BAP étudiés.

À titre de comparaison, la figure V.7 représente l'historique des valeurs de l'indice sclérométrique des différents bétons autoplaçants en fonction de l'âge. Ce graphe montre que le béton à 5% de poudre de verre donne la plus grande valeur par une amélioration de 12.60% par rapport de BAP20% à 28 jours d'âge.

le béton à 10% de poudre de verre enregistre une amélioration de 5.21% par rapport de BAP15% à 28 jours d'âge.

D'après les résultats obtenus, on peut dire que le même développement de résistance est constatés pour les essais (END) d'une manière similaire à celle de l'essai direct d'écrasement de la résistance caractéristique à la compression à 28 jours.

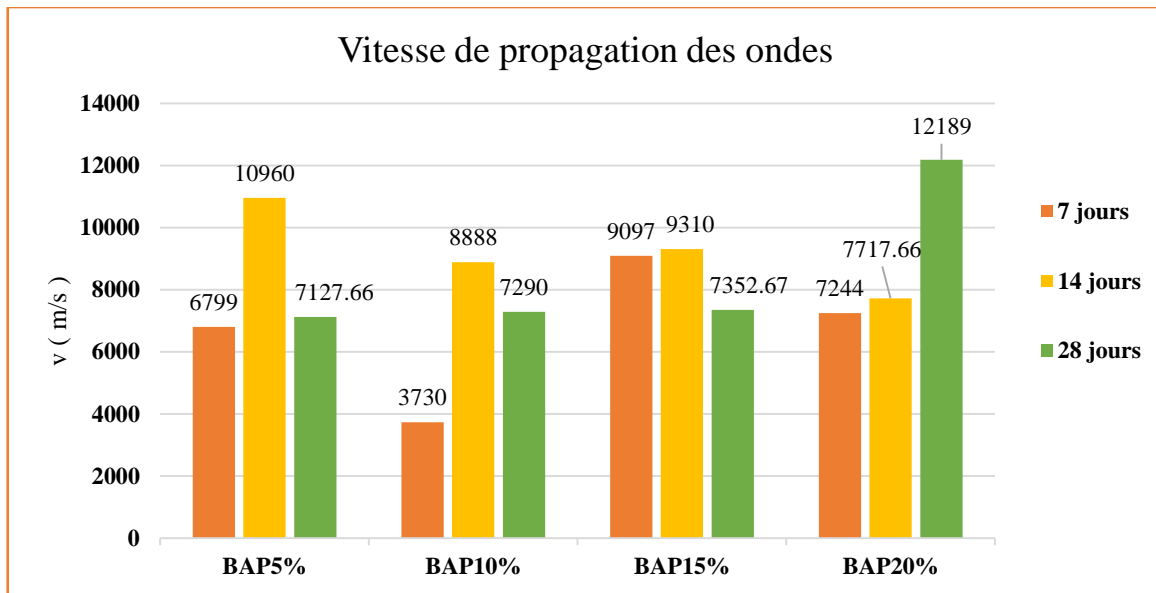


Figure V.8: Evaluation de vitesse de propagation des ondes en fonction de type de BAP.

Selon la figure V.8, on remarque une vitesse de propagation du son qui est au-delà de 4 Km/s, ce qui implique une qualité de béton acceptable. Cependant, on peut dire que les conditions de déroulement de l'essai peuvent affecter les résultats obtenus de la vitesse ultrason et parfois même être contradictoire aux valeurs obtenues de résistances à la compression (écrasement) ou en fonction de l'indice sclérométrique ; ces résultats tout de même restent indicatifs. Toujours en fonction du dosage de addition Poudre de Verre il y a une amélioration selon l'âge de bétons 7, 14 et 28 jours.

Remarque [02]:

- L'utilisation de la vitesse ultrasonore ou du rebond comme seule mesure d'END ne permet pas d'évaluer précisément la résistance des bétons.
- La combinaison des essais ultrason et rebond permet de réduire l'incertitude sur l'évaluation de la résistance mécanique.

V.5. Essai pour la durabilité :

V.5.1. L'absorption (A):

Dans cette partie on a étudié le taux d'absorption capillaire en pourcentage de l'addition pour les différents types de **BAP**, les résultats de l'essai sont indiqués dans le tableau V.6 suivant:

Tableau V.6: Résultat de L'absorption capillaire (A) pour les BAP étudiés.

Taux d'absorption en (%) à 28 (jours)	Type de béton	MS (kg)	Mh (kg)	Ω (%)	Ω _{moy} (%)
	BAP5%	1.653	1.698	2.72	2.79
		1.749	1.800	2.91	
		1.660	1.705	2.71	
		1.699	1.747	2.82	
	BAP10%	1.641	1.679	2.31	2.50
		1.706	1.744	2.23	
		1.748	1.793	2.57	
		1.578	1.624	2.92	
	BAP15%	1.731	1.784	3.06	2.82
1.712		1.758	2.68		
1.614		1.658	2.73		
1.684		1.731	2.79		
BAP20%	1.886	1.927	2.17	2.13	
	1.501	1.531	2.00		
	1.724	1.761	2.15		
	1.645	1.681	2.19		

La figure V.9, représente l'histogramme des différentes valeurs du taux d'absorption des différents bétons autoplaçants étudiés.

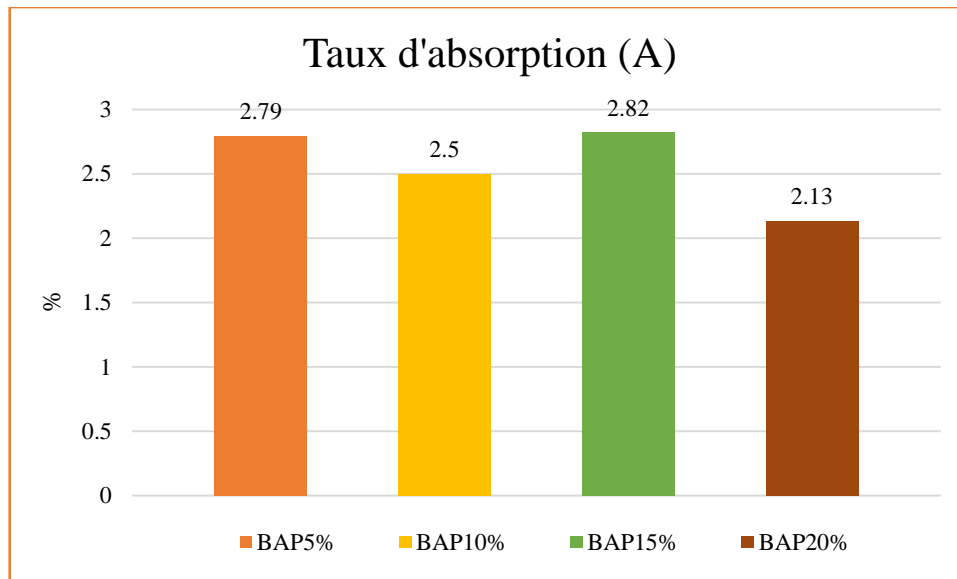


Figure V.9: Evaluation de taux d'absorption (A) des différents BAP étudiés.

Le BAP15% indique un taux d'absorption maximal de 2.82 % (15%PV), suivi du BAP5% à une valeur de 2.79% (5%PV) et BAP10% une valeur de 2.5% (10%PV), avec une augmentation de 24.46%, 23.65% et 14.8%, respectivement par rapport au béton de BAP20% (20%PV) indique un taux d'absorption minimal de 2.13%.

Cela peut s'expliquer par la faible porosité ou la présence de quelques vides Rempli d'eau après immersion en termes de types d'ajout et de dosage.

V.6. Conclusion :

Le présent chapitre est consacré à la présentation des résultats obtenus de cette étude, leurs analyses et les interprétations. A l'état frais, Pour voir l'influence du type, du pourcentage de l'addition (poudre de verre PV) et d'après les résultats on observe avec l'augmentation du dosage de l'ajout surtout poudre de verre BAP voient une amélioration sur les propriétés rhéologiques. A l'état durci, aussi l'augmentation de dosage des ajouts et leur nature est remarquable surtout pour la combinaison optimale de 5 % d'ajout, qui améliore les performances mécanique tel que : (résistance). Ainsi, la durabilité ou un taux d'absorption minimale état enregistré. Le rôle fillers de remplissage des fillers de poudre de verre sur le comportement des BAP étudiés.

Bibliographie:

- [1] AFGC, «*bétons autoplaçants - recommandations provisoires*», documents scientifiques et technique, page 63, 2000.
- [2] Oubraham. Ch, Benmounah. A, « *Etude comparative des paramètres rhéologiques et Physico-mécaniques des coulis de ciment avec ajout de pouzzolanes naturelles et fumée de silice en présence de superplastifiant* », thèse doctorat, Rencontres Universitaires de Génie Civil, France, May 2015.

Conclusion générale

Conclusion générale

Les bétons autobloquants (BAP) constituent une nouvelle avancée pour la construction en béton et ils offrent en cela des avantages aussi bien d'ordre économiques, techniques qu'environnementaux.

L'absence de vibration qui caractérise leur mise en place permet en effet de réduire le coût, de construire des éléments à géométrie complexe ou fortement ferrailés et également de constituer une véritable alternative aux bétons traditionnels. Cependant, leur formulation et le contrôle de leurs propriétés lors de la mise en œuvre nécessitent une attention particulière.

L'influence du taux de substitution et la nature des ajouts sur les propriétés mécaniques et rhéologiques ont été étudiées en premier lieu en composant de BAP avec différents dosages d'ajouts (poudre de verre); en fait, quatre pourcentages ont été utilisés (5%, 10 %, 15%, 20%).

A l'issue de cette étude nous tirons les conclusions suivantes :

- Les résultats expérimentaux de cette étude, ont démontré qu'un BAP à base de la poudre de verre a permis d'obtenir les meilleurs comportements ou la résistance à la compression tel qu'il atteint 66 MPa à l'âge de 28 jours.
- Ils présentent les meilleures caractéristiques rhéologiques, mécaniques et une bonne résistance au milieu agressif
- L'utilisation d'un super plastifiant local Medaflow 30 a permis d'avoir d'excellentes propriétés

1- rhéologiques des BAP ainsi que l'amélioration des résistances mécaniques avec un rapport $E/(C+F) = 0.5$ plus faible

2- L'emploi des ajouts dans les BAP permet également d'améliorer les propriétés mécaniques dans le cas de verre (la résistance à la compression).

3- La méthode de formulation LCPC par sa simplicité dans l'application (exige moins de compétence et de matériels) a prouvé son efficacité pour la formulation des BAP avec des ajouts. Avec l'obtention des meilleures caractéristiques rhéologiques et

Mécaniques. Elle peut donc être utilisée comme une méthode principale dans la formulation des BAP à base des matériaux locaux.

4- On peut incorporer des ajouts dans le béton auto plaçant sans dégradation de ses propriétés rhéologiques mais à des teneurs différentes.

5- La poudre de verre reçoit les propriétés des BAP à l'état frais et durci et donnez des meilleurs résultats, l'étalement (76 cm), la boîte en L (94%), (la résistance à la compression supérieure à 60 MPa).

6- Les résultats tirés de nos essais expérimentaux (essai de traction) ont démontré qu'à un dosage réduit de 5%, les poudres de verre ont donné de meilleurs résultats.

Notre étude pratique nous a permis de mettre au point la formulation, la caractérisation de béton auto plaçant (à l'état frais et durci), l'action des super plastifiants et ainsi que l'influence des types et pourcentage des ajouts sur les propriétés rhéologiques et mécaniques du BAP .

Perspectives et futurs travaux :

Pour compléter cette recherche, nous suggérons les recommandations suivantes qui vont permettre d'ouvrir les portes sur d'autres recherches plus approfondies concernant Certains aspects techniques des bétons auto plaçant :

Il serait intéressant de conduire les mêmes études sur d'autres types de matériaux (ajouts, ciment et adjuvants).

ملخص:

الخرسانة ذاتية الصب (SCC) شديدة السيولة ويتم وضعها بدون اهتزاز. يمكن الحصول على هذه الخاصية باستخدام (الملدنات الفائقة) وزيادة حجم العجينة (خليط الأسمنت) لضمان التوزيع الجيد للحصى الخشن.

ومع ذلك ، لضمان حجم كافٍ لخليط الأسمنت ، هناك احتمالان ، الأول هو زيادة كمية الأسمنت ، مما ينتج عنه كمية عالية اقتصادياً وخطر التشققات بسبب الطرد الحراري مهم ، على المستوى الفني. الطريقة هي استخدام المضافات المعدنية المختلفة ، ممثلة في معظم الوقت في المنتجات الثانوية. تكمن مشكلة هذا العمل في إبراز مزايا النفايات المنزلية مثل القوارير الزجاجية في الخرسانة ذاتية الصب. اقتراح مسحوق الزجاج المتحصل عليه بسحق قوارير أقل من (80 ميكرومتر) على خواص الخرسانة المضغوطة ذاتياً. تم اختيار نسب مختلفة لتركيب المخاليط (5 ، 10 ، 15 و 20٪).

أظهرت النتائج تأثيراً إيجابياً لمسحوق الزجاج على الخواص الريولوجية والميكانيكية للخرسانة المصنوعة بنسب تصل إلى 20٪ من كتلة الأسمنت.

Résumé:

Le béton auto plaçant (BAP) est très fluide et se mis en place sans vibration. Cette propriété peut être obtenue en utilisant de (super plastifiant) et augmenter le volume de la pâte (mélange de ciment) pour assurer une bonne répartition des graviers grossier.

Cependant, pour assurer un volume suffisant du mélange de ciment, il existe deux possibilités, la première est d'augmenter la quantité de ciment, ce qui se traduit par une quantité élevée sur le plan économique et le risque de fissures dues à une expulsion thermique importante, sur le niveau technique La deuxième méthode est l'utilisation de divers additifs minéraux, représentés la plupart du temps en sous-produits. La problématique de ce travail est de mettre en évidence les avantages des déchets ménagers tels que les bouteilles en verre en béton auto plaçant. Suggestion de poudre de verre obtenue par broyage de bouteilles moins de (80 μm), sur les propriétés du béton auto plaçant. Différents pourcentage ont été choisis pour la formulation des mélanges (5, 10, 15 et 20 %).

Les résultats ont montré un effet positif de la poudre de verre sur les propriétés rhéologiques et mécaniques du béton réalisé avec des proportions à hauteur de 20 % de la masse de ciment.

Abstract:

Self-Compacting concrete (SCC) is highly fluid and takes it is cast without vibration. This property can be obtained by using plasticizers and increase the volume of the paste (cement mixture) to ensure a good distribution of coarse aggregate.

However, to ensure a sufficient volume of the cement mixture, there are two possibilities, the first is to increase the amount of cement, which results in a high amount on the economic level and the risk of cracks due to a large thermal expansion, on the technical level. The second method is the use of various mineral additives, represented most of the time in by-products. The problem of this work is to highlight the advantages of household waste such as glass bottles in self-compacted concrete. Suggested glass powder produced by crushing bottles less than (80 μm), on the properties of self-molding concrete. Different percentages were taken (5%, 10%, 15% et 20 %) to formulate mixtures.

The results showed a positive effect for glass powder with regard to the rheological and mechanical properties of concretes made with proportions ranging up to 20% of the mass of cement.