

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

FACULTE ET TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

N° :



DOMAINE : GENIE CIVIL
FILIERE : GENIE CIVIL
OPTION : MATÉRIAUX

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par: GHARBI FAYZA

FALI MALIKA

Intitulé

**Evaluation de la qualité des bétons
auto -plaçant (BAP) exposés à haute température aux
moyens des essais non-destructifs (END)
et essais direct**

Soutenu devant le jury composé de:

Pr. NASRI A/Ghani	Université M'SILA	Président
Pr. RAHMOUNI- Z/Abidine	Université M'SILA	Rapporteur
Dr. DJEBRI Noura	Université M'SILA	Co-Rapporteur
Dr. BELAGRAA Larbi	Université M'SILA	Examineur
Dr. BELOUADAH Messaouda	Université M'SILA	Examineur

Année universitaire : 2018 /2019

REMERCIEMENTS

La première chose on remercie le dieu pour le succès qu'il nous a donné, la volonte et la patience tout au long de la période d'étude

En second lieu nous remercions aussi notre

Encadreur « Pr. RAHMOUNI- Zin'El Abidine », et Co-Encadreur « Mme. DJEBRI NORA » pour l'orientation, la confiance et la patience tout long de ce travail.

Nos remerciements vont aussi au doyen de la faculté de technologie « MR. BEN HAMIDA Mohammed » et le chef de département du génie civil « Mr. BAALI LAÏD » qui nous encourage et a tous les enseignants de département et « MR. BERRABEH Fouad » le chef de département du génie électrique, par ailleurs, nos remerciements à tous les membres du jury qui ont accepté de juger notre travail.

Nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous nos amis et collègues et tous les employés du laboratoire de génie civil à l'université de Mohamad Boudiaf surtout

« bakhti yamna » et « wahiba ».

FAYZA et MALIKA

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à

Ma chère mère,

Mon cher fils MOHAMED,

A mes frères et sœurs,

Neveux et nièces,

Toute ma famille

*A tous ceux qui m'aiment et qui m'ont soutenue
tout au long de mon cursus.*

Malika Fali



Dédicace

Je dédie premièrement mon travail à mes très chers parents :

« SAID » et « CHAFIA ».

Et ma grande famille : « GHARBI ».

*Je dédie à mes frères : « ABDELHAK et SALIM et
ABDRAHMANE et ABDELLAH » et à mes sœurs « NASSIMA
et FATIMA »*

À mes amis et à tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

*Je dédie à mes chères amies « MALIKA FALI et BEKRI
SOUAD »*

*Je remercie M. M-Saad, qui a fait de gros efforts pour mener à bien ce
travail.*

GHARBI FAYZA



Sommaire

Dédicace	
Remerciements	
Sommaire	
Liste des tableaux	
Liste des figures	

INTRODUCTION GENERALE

Introduction	1
Objectif du travail	1
Organisation du document	2

CHAPITRE I : Revue générale sur le béton autoplaçant exposé à haute température.

I.1 : Généralité sur le béton autoplaçant	3
I.1.1 : Introduction	3
I.1.2 : Définition	3
I.1.3: Les principaux constituants d'un béton autoplaçant	3
I.2.3.1 : Le ciment	4
I.2.3.2: les granulas	4
I.2.3.3: l'eau	5
I.2.3.4 : Additions minérales	5
a : Les avantages des additions minérales	5
b : Différents types d'Additions minérales	6
I.1.3.5 : Les adjuvants (superplastifiants)	6
I.1.4 : Méthode de formulation pratique des BAP	7
I.1.5 : Caractérisation d'un béton autoplaçant	8
I.1.5.1 : Caractérisation des BAP à l'état frais.	8
a : Essai de l'étalement (Essai au cône d'Abrams)	8
b : Essai de boîte en L	8
C : Essai de stabilité autamis	9

I.1.5.2 : Caractérisation des BAP à l'état durci	9
a : Résistance mécanique	9
b : Le module élastique	10
C : Retrait	10
I.1.6: Domaine d'application de BAP	11
I.1.7 : Avantages et inconvénients d'un béton autoplaçant.....	11
I.1.7.1 : Avantages	11
I.1.7.2: Inconvénients.....	11
I.2 : l'effet des fillers sur le béton autoplaçant	12
I.2.1 : Introduction	12
I.2.2 : Types d'additions minérales	12
I.2.3 : l'effet de filler calcaire	12
I.2.3 .1 : l'effet de filler calcaire à l'état frais	13
I.2.3.2 : l'effet de filler calcaire à l'état durci	14
I.2.4 : l'effet de poudre de marbre	14
I.2.4.1 : l'effet de poudre de marbre à l'état frais	14
I.2.4.2: l'effet de poudre de marbre à l'état durci	14
I.2.5 : l'effet de fumée de silice.....	15
I.2.5.1 : l'effet de fumée de silice à l'état frais	15
I.2.5.2 : l'effet de fumée de silice à l'état durci.....	15
I.3 : évolution des propriétés du béton soumis à haute température.....	16
I.3.1 : introduction	16
I.3.2 : Evolution des propriétés physique du béton à haute température	16
I.3.2.1 : Les modifications physico-chimiques dans le béton à haute température	16
I.3.2. 2 : Dégradation de l'interface pâte-granulats	17
I.3.2.3 : Evolution de la porosité	17
I.3.2.4 : Evolution de la masse volumique	18
I.3.2.5 : Perte de masse	19
I.3.2.6 : Evolution de la perméabilité	19
I.3.3 : Evolution des propriétés mécaniques avec la température	20
I.3.3 .1 : Résistance en compression.....	20
I.3.3 .2 : Résistance en traction	21
I.3.3 .3 : Module d'élasticité	22
I. 4 : Conclusion	23

CHAPITRE II : les essais destructifs et non destructifs.

II.1 : Introduction	24
II.2 : Les méthodes d'essai destructif sur le béton.....	24
II.2 .1 : Essai de compression	24
II.2 .2 : Essais de traction par flexion.....	25
II.3 : Les méthodes d'essais non-destructifs sur le béton	26
II.3.1 : Essai au scléromètre	26
II.3.1.1 : Principe de scléromètre [NF EN 12504-2].....	26
II.3.1.2 : Les étapes pour tester le scléromètre	27
II.3.1.3 : Mesures sur éprouvettes	28
II.3.1.4 : Exploitation des résultats.....	28
II.3.1.5 : Les avantages de l'essai sclérométrique	28
II.3.1.6 : Les inconvénients de l'essai sclérométrique.....	29
II.3.2:Essai d'auscultation dynamique	29
II.3.2.1:Principe d'auscultation dynamique [NF EN 12504-4].....	29
II.3.2.2:Manières de mesure.....	30
II.3.2.2.1:Mesure en transparence (directe).....	30
II.3.2.2.2:Mesures en surface (indirecte).....	31
II.3.2.2.3:Mesures semi directe	31
II.3.2.3:Interprétation Des Résultats De Mesure Aux Ultrasons	32
II.3.2.4 : Les avantages d'essai d'auscultation dynamique.....	33
II.3.2.5 : Les inconvénients d'essai d'auscultation dynamique	33
II.4: Conclusion	33

CHAPITRE III : les caractéristiques des matériaux

III.1:Introduction	34
III.2:Matériaux utilisés	34
III.3 : Caractéristiques du sable utilisé.....	34
III.3.1:Caractéristique chimique du sable	34
III.3.2:Essai d'analyse granulométrique [NF EN 933-1]	35
III.3.3:Module de finesse [NF EN 12620]	36
III.3.4:Caractéristiques physiques du sable utilisé	36

III.3.4.1: Masse spécifique (absolue) [NF EN 1097-7].....	36
III.3.4.2: Masse volumique apparente [NF EN1097-6].....	37
a : Masse volumique à l'état lâche:.....	37
b : Masse volumique à l'état compact:	37
III.3. 4. 3: Porosité et compacité et indice des vides [NF EN 1097-3]	37
III.3.4.4 : Equivalent de sable [NF EN 933-8].....	38
III.3.4.5 : Teneur en eau [NF P 18-555]	39
III.3.4.6 : Absorption d'eau [NF P 18-555].....	39
III.4 : Caractéristique du gravier utilisé.....	40
III.4.1 : Origine du gravier utilisé.....	40
III.4.2 : Analyse granulométrique [NF EN933-5]:.....	40
III.4.3 : Les caractéristiques physiques des graviers utilisés	42
III.4.3.1 : Masse volumique apparent [NF P 18-554].....	42
III.4.3.2 : Masse volumique absolue.....	42
III.4.3.3 : Compacité, porosité et l'indice de vide [NF EN 1097-4]:	42
III.4.3.4 : Teneur en eau du gravier [NF EN 1097-6].....	43
III.4.3.5 : Absorption d'eau [NF EN 1097-6].....	43
III.4.4: Les caractéristiques mécaniques des graviers utilisés.....	44
III.4.4.1: Essai Los Angeles [NF EN 1097- 2]	44
III.5: Caractéristiques du ciment utilisé.....	45
III.5.1 : Caractéristiques physiques du ciment utilisé (CEM III/A 42.5N-ES-)[EN 196-1].....	45
III.5.2 : Caractéristiques chimiques du ciment utilisé (CEM III/A 42.5N-ES-)	45
III.5.3 : Les caractéristiques minéralogiques du (CEM III/A 42.5N-ES-)	46
III.6: Les Adjuvants.....	46
III.6.1 : Description MEDAPLAST SP 40 de GRANITEX (super-plastifiant):	46
III.6.2 : Caractéristiques.....	46
III.6.3 : Dosage.....	47
III.7: L'eau de gâchage.....	47
III.7.1 : Caractéristiques chimiques de l'eau utilisée:.....	47
III.8: Les fillers utilisés.....	47
III.8.1 : fumée de silice(FS)	47
III.8.1 .1 : Caractéristiques chimiques et physiques de la fumée desilice	48
III.8.2 : filler de calcaire.....	48
III.8.2.1 : Caractéristiques physiques et chimiques du filler de calcaire.....	49
III.8.3 : Poudre de marbre.....	49

III.8.3.1 : Caractéristiques physiques et chimiques du marbre	50
III.9 : Conclusion.....	50

CHAPITRE IV : Techniques expérimentales.

IV.1. Introduction.....	51
IV.2 : Calcul des constituants d'un BAP.....	51
IV.3 : Préparation de mélange	52
IV.4:Conservation des éprouvettes:	53
IV.5 : Essais de caractérisations du béton autoplaçant à l'état frais.....	54
IV.5.1 : Essai d'étalement au cône d'Abrams [NF EN 12 350-8]	54
IV.5.2 : Essai de stabilité au tamis [NF EN 12 350-11].....	55
IV.5.3 : Essai de la boîte en « L » [NF EN 12 350-10]:.....	56
IV.5.4 La masse volumique du béton autoplaçant [NF EN 12 350-6]	57
IV.6 : Essais de caractérisations du béton auto plaçant à l'état durci	57
IV.6.1 : Essai de compression [NF EN206-1]	57
IV.6.2 : Essai de traction par flexion [NF P18-408]	58
IV.6.3 : Essais de dureté par rebondissement (scléromètre) [NF EN 12398].....	58
IV.6.4 : Ultrason [NA EN 12504-4]	59
IV.6.5 : Mesure de la perte de masse	59
IV.6.6 : Mesure de la porosité à l'eau (P_{eau}) [NF P 18 459]	60
IV.7 : Conclusion	60

CHAPITRE V : Résultats et discussions.

V.1. Introduction	61
V.2 : Les formulations des bétons étudiés	61
V.3:Résultats des essais a l'état frais:	61
V.3.1 : Essai d'étalement au cône d'Abrams [NF EN 12 350-8].....	62
V.3.2 : Essai de stabilité au tamis [NF EN 12 350-11]	63
V.3.3 : Essai de la boîte en « L » [NF EN 12 350-10]:.....	63
V.3.4 : La masse volumique :.....	64
V.4 : Résultats des essais a l'état durci	65
V.4.1 : La résistance mécanique en compression	65

V.4.2 : La résistance mécanique en traction par flexion.....	66
V.4.3 : La porosité	67
V.4.4 : La perte de masse	68
V.4 .5: Les essais non destructifs	69
V.4.5.1 : La vitesse de propagation des ondes	69
V.4.5.2: L'indice sclérométrique	70
V.5 : Etude de corrélation.....	71
V.5.1 : La corrélation (Rc) en fonction de (V).	71
V.5.1.1 : La corrélation (Rc) en fonction de (V)de (BAP t).	71
V.5.1.2La corrélation (Rc) en fonction de (V)de (BAP 1).	72
V.5.1.3 : La corrélation (Rc) en fonction de (V)de (BAP 2).	73
V.5.1.4 : La corrélation (Rc) en fonction de (V)de (BAP 3).	74
V.5 .2 :La corrélation (Rc) en fonction de (Is).	75
V .5.2.1 : La corrélation (Rc) en fonction de (Is)de (BAP t).	75
V.5.2.2La corrélation (Rc) en fonction de (Is)de (BAP 1).	76
V.5.2.3 : La corrélation (Rc) en fonction de (Is)de (BAP 2).	77
V.5.2.4 : La corrélation (Rc) en fonction de (Is)de (BAP 2).	78
Conclusion générale.....	79
Bibliographie	
Annexe	

Liste des tableaux

CHAPITRE I : Revue générale sur le béton autoplaçant exposé à haute température.

Tableau I. 1: les principales réactions physico-chimiques dans le béton à haute température16

CHAPITRE II : les essais destructifs et non destructifs.

Tableau. II.1: Qualité du béton et vitesse de propagation des impulsions selon Leslie.....32

CHAPITRE III : Caractérisation des matériaux utilisés.

Tableau III.1 : Les Caractéristiques chimiques du sable.....35

Tableau III.2 : Analyse granulométrique du sable35

Tableau III.3 : La masse absolue de sable en (g/cm^3).....37

Tableau III.4 : La masse volumique apparente à l'état lâche en (g/cm^3)37

Tableau III.5: La masse volumique à l'état compact du sable en(g/cm^3)37

Tableau III.6 : Porosité, compacité et indice des vides38

Tableau III.7: La classification de la nature sable en fonction d'équivalent de sable (E.S)38

Tableau III.8 : Résultats obtenus pour l'équivalent de sable39

Tableau III.9 : Teneur en eau de sable utilisé39

Tableau III.10 : absorption d'eau de sable utilisé39

Tableau III.11 : Analyse granulométrique du gravier fraction (3/8).....40

Tableau III.12 : Analyse granulométrique du gravier fraction (8/16).....41

Tableau III.13 : Masse volumique apparente du gravier.....42

Tableau III.14 : La masse volumique absolue du gravier42

Tableau III.15 : Porosité, compacité et l'indice des vides43

Tableau III.16 : Teneur en eau des graviers43

Tableau III.17 : absorption d'eau des graviers.....43

Tableau III.18 : Caractéristiques mécaniques du gravier.....44

Tableau III.19 : Classification des roches en fonction du coefficient L_A 44

Tableau III.20 : Caractéristiques physiques du (CEM III/A 42.5N-ES-).....45

Tableau III.21 : Les compositions chimiques du (CEM III/A 42.5N-ES-).....45

Tableau III.22 : Les compositions minéralogiques du (CEM III/A 42.5N-ES-)	46
Tableau III.23: Caractéristiques du MEDAPLAST SP 40	46
Tableau III.24 : Caractéristiques chimiques de l'eau	47
Tableau III.25 : Caractéristiques chimiques et physiques de la fumée de silice	48
Tableau III. 26 : composition chimique et les propriétés physiques du filler calcaire	49
Tableau III.27 : Caractéristiques physiques du marbre	50
Tableau III.28 : Caractéristiques chimiques du marbre	50

CHAPITRE IV : Techniques Expérimentales.

Tableau IV.1 : Composition d'un mètre cube de béton formulé par la méthode AFGC	52
---	----

CHAPITRE V: Résultats et Discussions.

Tableau V .1 : Résultats d'essais sur le béton frais	61
Tableau V.2 : Résultats de la porosité	67

Liste des figures

CHAPITRE I : Revue générale sur le béton autoplaçant exposé à haute température.

Figure I.1 : La différence de la composition entre Béton Ordinaire et Béton Autoplaçant	4
Figure.2: L'effet du superplastifiant sur les grains de ciment.....	7
Figure I.3 : Représentation schématique de l'essai d'étalement	8
Figure 1.4. Dimensions de la boîte en L (L-box).....	9
Figure I.5 : Résistance en compression d'un BAP par rapport des autres bétons.....	10
Figure I.6 : Retrait spécifique des différents mélanges de bétons.....	11
Figure I.7 Evolution de la porosité de différents bétons en fonction de la température	18
Figure I.8 Variations de la masse volumique de différents types de bétons en fonction de la température.....	18
Figure 1.9: Perte de masse durant l'échauffement et vitesse de perte de masse en fonction de la température	19
Figure I.10 : Évolution de la perméabilité des bétons BO et BHP en fonction de la température.....	20
Figure I.11 : Évolution de la résistance résiduelle relative à la compression des BO et BHP.....	21
Figure I. 12: Evolution de la résistance à la traction en fonction de la température	22
Figure I.13 : Rapport du module d'élasticité à chaud et à froid sur le module initial en fonction de la température.....	23

CHAPITRE II : les essais destructifs et non destructifs.

Figure II.1 : Dispositif pour mesurer la résistance à la compression	25
Figure II.2 : Dispositif pour mesurer la résistance à la traction par flexion.....	25
Figure II.3 : L'appareil de scléromètre.....	26
Figure II.4 : Principe du Scléromètre	26
Figure II.5 : La résistance probable du béton en fonction de la mesure du recul (linéaire ou angulaire).....	27
Figure II.6 : Mesure sur éprouvette cubique (10*10*10) cm ³	28
Figure II.7 : Appareil d'auscultation sonique.....	29
Figure II. 8 : Mesures en transparence (directe).....	31

Figure II.9 : Mesures en surface.....	31
Figure II. 10 : Mesures semi directe.....	32
Figure II. 11 : Courbe RILEM	33

CHAPITRE III : Caractérisation des matériaux utilisés

Figure III.1 : Courbe d'analyse granulométrique du sable de Boussada	36
Figure III.2 : Principe de l'équivalent de sable	38
Figure III.3 : Courbe analyse granulométrique d'un gravier recyclé de deux fraction (3/8, 8/16)	41
Figure III.4: Appareil de l'essai Los Angeles	44
Figure III.5 : Poudre de la fumée de silice	48
Figure III.6 : filler calcaire	48
Figure III.7 : Poudre de marbre.....	49

Chapitre IV : Techniques Expérimentales

Figure IV.1: Conservation des éprouvettes	53
Figure IV.2 : Le four utilisé pour la montée en température.....	53
Figure IV.3 : Essai d'étalement par cône d'Abrams sur les BAP.....	54
Figure IV.4 : Essai de stabilité au tamis.....	55
Figure IV.5 : Boite en L pour le béton autoplaçant.....	57
Figure IV.6 : Essai de compression.....	58
Figure IV.7 : Principe de l'essai traction par flexion	58
Figure IV.8 : Principe de l'essai scléromètre	59
Figure IV.9 : Appareil ultrason	59
Figure IV.10 : Essai de porosité à l'eau	60

CHAPITRE V: Résultats et Discussions.

Figure V .1 : l'étalement en fonction de type de béton.....	62
---	----

Figure V.2 : L'indice de ségrégation en fonction de type de béton.....	63
Figure V.3 : Le taux de remplissage en fonction de type de béton.....	63
Figure V .4 : La masse volumique en fonction de type de béton.....	64
Figure V .5 : la résistance à la compression des différents types de béton en fonction de la température.....	65
Figure V .6 : la résistance à la traction en fonction de température.....	66
Figure V .7 : La porosité des différents bétons en fonction de type de béton.....	67
Figure V .8 : La perte de la masse pour les éprouvettes cubiques	68
Figure V.9 : La perte de la masse pour les éprouvettes prismatiques.....	68
Figure V.10 : La vitesse de propagation des ondes en fonction de la Température pour des bétons étudiés.....	69
Figure V.11 : Evaluation de l'indice sclérométrique en fonction de la température pour des bétons étudiés.....	70
Figure V. 12 : La résistance à la compression en fonction de la vitesse d'ultrason de béton BAP témoin.....	71
Figure V.13 : La résistance à la compression en fonction de la vitesse d'ultrason des bétons BAP 1	72
Figure V.14 : La résistance à la compression en fonction de la vitesse d'ultrason des bétons BAP 2	73
Figure V.15 : La résistance à la compression en fonction de la vitesse d'ultrason des bétons BAP 3.....	74
Figure V.16 : Résistance à la compression (Rc) en fonction de l'indice sclérométrique (Is) de BAPT.....	75
Figure V. 17 : Résistance à la compression (Rc) en fonction de l'indice sclérométrique (Is) de Béton BAP1.....	76
Figure V.18 : Résistance à la compression (Rc) en fonction de l'indice sclérométrique (Is) de Béton BAP2.....	77
Figure V .19 : Résistance à la compression (Rc) en fonction de l'indice sclérométrique (Is) de Béton BAP3.....	78

Notations

BAP	Béton autoplaçants	M₁	Poids de récipient
BO	Béton ordinaire	C	La compacité en (%)
R_c	Résistance à la compression en (MPa).	e	L'indice des vides
F	Charge maximal en (KN)	P	Porosité en (%)
S	Surface de l'éprouvette en (cm ²)	W	Teneur en eau en (%)
R_t	Résistance à la traction en (MPa)	L_A	Coefficient de Los Angles (%)
I_s	L'indicesclérométrique	FS	Fumée de silice
D_{max}	Dimension des granulats	FC	Fillers calcaire
ρ_{abs}	Masse volumiqueabsolue	PM	Poudre de marbre
ρ_c	Masse volumique à l'état compact	SP	superplastifiants
ρ_{app}	La masse volumique apparente (Kg/m ³)	C	Ciment
V	Vitesse de propagation des ondes en(m/s)	S	Sables
BAP	Béton autoplaçants	G	gravier
II	L'indice de ségrégation	M_f	Module de finesse
R_c	Résistance à la compression en (MPa).	E_{SV}	Equivalent de sable visuel en (%)
F	Charge maximal en (KN)	E_{SP}	Equivalent de sable piston en (%)
S	Surface de l'éprouvette en (cm ²)	A	Absorptiond'eau
R_t	Résistance à la traction en (MPa)	P_{eau}	Porosité à l'eau
I_s	L'indicesclérométrique	ρ_{abs}	Masse volumiqueabsolue
E_d	Module d'élasticité dynamique en(MPa)	h₁	Hauteur (sable + flocculat)
ρ	La masse volumique du béton en (Kg/m ³)	h₂	Hauteur du sable en (cm)
V	Vitesse de propagation des ondes en (m/s)	R_c	Refuscumules des tamis
t	Le temps en (μs)	NF	Normefrançaise
E/C	Rapport massique Eau sur Ciment	EN	Normeeroupiéne
G/S	Rapport sable sur gravier	K	Clinker portland
R_C	Refuscumlé	CSH	Silicate de calcium hydrate
M_S	Poids du sable sec en (g)	Ca(OH)₂	La portlandite
M_h	Poids du sable humide en (g)	CaCO₃	Carbonate de Calcium ou Calcaire
V_r	Volume de recipient (cm ³)	NDT	Essai non-destructifs
M₂	Poids de l'ensemble(granulat + récipient)	ED	Essaidestructifs

Résumé

Les bétons auto-plaçant sont caractérisés par leur fluidité élevée de sorte qu'ils puissent être mis en application sans vibration, comme les bétons le béton auto-plaçant est influence fortement par les incendies.

Les objectifs visés par ce sujet est l'appréhension des différentes techniques d'évaluation de la résistance du béton par des méthodes directs et des méthodes non destructifs, d'obtenir des expressions pratiques évaluant la résistance des bétons auto-plaçant exposés à haute température avec l'ajout de trois fillers (filler de calcaire, poudre de marbre et fumée de silice)

Les essais non destructifs (ultrason et scléromètre) restent des moyens efficaces pour l'évaluation de la résistance du béton et juger sa qualité sur site ; afin de contourner les inconvénients des méthodes destructives, d'où la structure peut être contrôlée sans modifier, ni sa performance ni son apparence avec toute rapidité et simplicité.

Mots clés :

Béton auto-plaçant (BAP), Haute température, Fillers, Résistance mécanique, Méthodes destructifs, Méthodes non destructifs.

Abstract:

Self-compacting concretes are characterized by their high fluidity so that they can be applied without vibration, concrete is strongly influenced by fires.

The objectives of this subject are the apprehension of the different techniques for evaluating concrete strength by direct methods and non-destructive methods of obtaining practical expressions evaluating the resistance of self-compacting concretes exposed to high temperature with the addition of three fillers (limestone filler, marble powder and silica fume)

Non-destructive testing (ultrasound and sclerometer) remains an effective means for evaluating the strength of concrete and judging its quality on site; to circumvent the disadvantages of destructive methods, hence the structure can be controlled without modifying, neither its performance nor its appearance with any speed and simplicity.

Key words:

Self compacting concrete (SCC), limestone filler, marble powder, silica fume, mechanical resistance, destructive methods, non-destructive methods, high temperature

ملخص:

بتتميز الخرسانات ذاتية الرص بسيولتها العالية بحيث يمكن تطبيقها دون اهتزاز، وتتأثر الخرسانة بشدة بالحرائق تتمثل أهداف هذا الموضوع في فهم الأساليب المختلفة لتقييم قوة الخرسانة من خلال الطرق المدمرة والطرق غير المدمرة للحصول على تعبيرات عملية لتقييم مقاومة الخرسانة ذاتية الصب المعرضة لدرجة حرارة عالية مع إضافة ثلاث (حشوات) (حشو من الحجر الجيري ومسحوق الرخام غبار السيليكا).

لا تزال الاختبارات غير المدمرة (الموجات فوق الصوتية ومقياس الصلابة) وسيلة فعالة لتقييم قوة الخرسانة والحكم على جودتها في الموقع؛ للتحايل على عيوب الطرق المدمرة، وبالتالي يمكن التحكم في الهيكل دون تعديل، لا أدائه ولا مظهره بأي سرعة وبساطة

الكلمات المفتاحية :

الخرسانة ذاتية الرص، الحشو الحجر الجيري، دخان السيليكا، المقاومة الميكانيكية، الطرق المدمرة الطرق غير المدمرة، إرتفاع درجة الحرارة.



Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

Le béton est actuellement l'un des matériaux de construction les plus utilisés à travers le monde. La simplicité de sa fabrication et de sa mise en place, son faible prix de revient et les performances mécaniques et de durabilité qu'il assure ont légitimé son utilisation pour réaliser des ouvrages les plus divers, notamment des bâtiments, des immeubles d'habitation, des ponts, des routes, des barrages, des centrales thermiques et nucléaires, etc.[1].

Après la recherche du gain maximum de résistance et de durabilité, une étape supplémentaire a été franchie avec les bétons autoplacants (BAP). Plus qu'une nouvelle famille de béton, les BAP constituent d'avantage une nouvelle technologie de construction. Celle-ci visait en effet au départ (fin des années 1980, au Japon) à optimiser la productivité des constructions en béton. Les différents avantages technico-économiques qu'elle présente ont suscité un intérêt grandissant des industriels à travers le monde, aussi bien dans les secteurs de la préfabrication que dans ceux des centrales de béton prêt à l'emploi [2].

Les principaux avantages des BAP sont liés à leur mise en place qui ne nécessite l'apport d'aucune vibration, qu'elle soit interne ou externe. Ces avantages sont d'ordre technico-économique mais également social. Ainsi, l'absence de vibration des BAP engendre une diminution sensible des nuisances sonores ainsi que de la pénibilité du travail et une réduction des délais et des coûts globaux de production. Sa fluidité permet également de couler des milieux fortement ferraillés ou à géométrie complexe [1].

Cette mise en place, sous le seul effet de la gravité, nécessite une très grande fluidité du matériau mais il est aussi indispensable que le béton conserve une stabilité satisfaisante et une parfaite homogénéité. Ces deux propriétés contradictoires sont obtenues par l'ajout et le dosage adéquat de superplastifiants et de fines ou l'emploi d'un agent de viscosité [1].

Le développement actuel que connaissent les bétons dans le monde est lié à la meilleure connaissance que nous avons de ce matériau grâce aux développements de nombreuses recherches menées depuis plusieurs décennies, la préparation de ce type de béton nécessite l'utilisation d'adjuvants, d'ajouts (fillers, fumée de silice, etc.) qui conditionnent le comportement et la qualité de ces bétons, mais le comportement du béton n'est pas complètement maîtrisé lorsqu'il est soumis aux conditions extrêmes telles que l'exposition aux hautes températures. La construction de structures spéciales pouvant être soumis à des conditions extrêmes implique la nécessité d'évaluation de la sécurité des ouvrages notamment les tunnels vis-à-vis des incendies. À cet effet il faut déterminer le comportement d'un béton soumis à des températures élevées allant jusqu'à 600°C [2].

Objectif du travail de thèse :

Ce travail est une recherche expérimentale sur l'évaluation de la qualité des bétons autoplacants (BAP) soumis à de hautes températures avec l'ajout de trois fillers (filler de calcaire, poudre de marbre et fumée de silice) avec un pourcentage de 10% de chaque filler.

Chaque béton testé subit un traitement thermique, consistant en un chauffage jusqu'à une température de palier de 20°, 100°, 200°, 400° et 600°C. Cette température est maintenue constante pendant une heure afin d'assurer une homogénéisation de la température au sein de l'éprouvette testée, puis les éprouvettes sont ramenées à température ambiante par un refroidissement lent.

Nous comparons les performances de l'influence des ajouts minéraux sur le comportement à l'état frais, et l'état durci des différents BAP formulés, ensuite nous mesurons aussi le temps de propagation des ondes sonique qui traversent ces bétons et on détermine leurs résistances en compression et leurs résistance de traction par flexion et mesurer la perte de masse.

Les résultats obtenus permettent de tracer quelques courbes pour voir l'effet des hautes températures sur le comportement du béton.

Organisation du document :

Ce mémoire est reparti en cinq chapitres comme suit :

Introduction générale : Problématique et objectifs.

Le premier chapitre : Revue générale sur le béton autoplaçant exposé à haute température.

Le deuxième chapitre : Notions et généralités sur les essais destructifs et non destructifs.

Le troisième chapitre : présentation des caractéristiques des matériaux utilisés et les formulations des différents bétons d'étude.

Le quatrième chapitre : Techniques expérimentales.

Le cinquième chapitre : Résultats et discussions, résume les essais et les résultats des expériences réalisées durant notre étude.

Conclusion générale : On présente les principales conclusions tirées à partir des résultats obtenus lors de cette étude.

A decorative graphic of a scroll with a light orange-to-white gradient, rounded corners, and a vertical strip on the left side. The scroll is positioned in the center of the page.

CHAPITRE 01 :
Revue Générales Sur Le
Béton Auto-Plaçant

Revue générale sur le béton auto-plaçant exposé à haute température

I. 1 : Généralités sur le béton auto-plaçant :

I.1.1 : Introduction :

Cette partie présente un aperçu détaillé sur le béton auto-plaçant en tant que nouveau matériau. Elle expose sa définition et fait une synthèse sur la description des constituants entrant dans la fabrication des BAP et les caractéristiques à l'état frais et durci, finalement, elle met en relief les innovations et les avantages apportés par les BAP.

I.1.2 : Définition :

Depuis leur apparition au Japon à la fin des années 80, les bétons auto-plaçants ont été progressivement utilisés partout en Europe.

Leurs qualités les destinent à un bel avenir dans de nombreuses applications qu'il s'agisse de bétons prêt à l'emploi ou de produits préfabriqués en usine.

Le béton auto-plaçant (BAP) est un béton qui, à l'état frais, est caractérisé par une fluidité telle que, par le seul effet de son poids propre et sans énergie de compactage supplémentaire, il est capable de remplir complètement le coffrage, même à travers une nappe d'armatures dense ou en présence d'autres obstacles, tout en ayant une résistance à la ségrégation suffisante pour rester homogène lors du transport, du pompage et de la mise en œuvre.

Les BAP se distinguent des bétons ordinaires notamment par leurs propriétés à l'état frais. Ces propriétés se caractérisent principalement par :

- une mobilité en milieu non confiné (décrite par l'essai d'étalement) ;
- une mobilité en milieu confiné (décrite par la boîte en L) ;
- une stabilité (c'est-à-dire une résistance à la ségrégation et au ressuage).[4]

I.1.3 : Les principaux constituants d'un béton auto-plaçant:

Les constituants des BAP peuvent être assez différents de ceux des BO. Ils peuvent différer tant par leurs proportions que par leur choix. Étant donné le mode de mise en place des BAP, les constituants entrant dans la fabrication du BAP, selon leur utilisation, en trois catégories ; les matériaux de base (ciment, granulats et eau de gâchage), les additions minérales, ainsi que les adjuvants chimiques(Figure. I.1). [3]

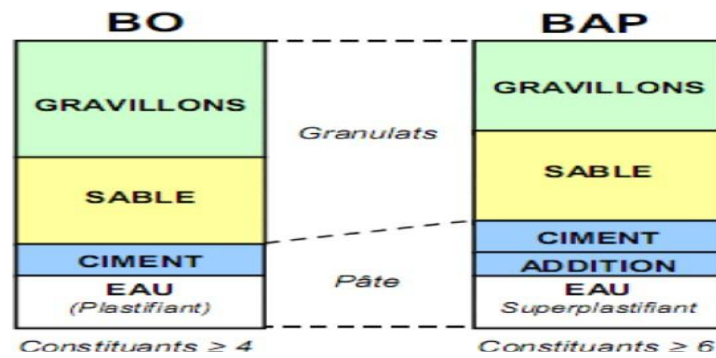


Figure. I.1 : La différence de la composition entre Béton Ordinaire et Béton Auto-plaçant [5].

I.1.3.1 : Le ciment:

Le ciment conforme à la norme **NF EN 197-1**, appelé ciment **CEM**, mélangé avec des granulats et gâché avec de l'eau de façon appropriée, doit être capable de produire un mortier ou un béton qui conserve son ouvrabilité pendant un temps suffisamment. [6]

Constitués principalement de clinker portland (K) qui est un matériau hydraulique, il est obtenu à partir de la cuisson à haute température, supérieure à 1450°C, d'un mélange approprié de calcaire et d'argile en proportion moyenne de 80% et 20%. [5]

Les silicates et aluminates hydrauliques formés lors de cette cuisson (clinkérisation) sont :

- Le silicate tricalcique, $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, que l'on écrit C_3S .
- Le silicate bicalcique, $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, que l'on écrit C_2S .
- L'aluminate tricalcique, $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, que l'on écrit C_3A .
- L'alumino-ferrite tetracalcique, $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, que l'on écrit C_4AF .

En principe, tous les types normalisés de ciment conviennent pour la fabrication de **BAP**. Cependant, l'utilisation du ciment portland (c'est-à-dire **CPA-CEM I 42,5** qui contient au moins 95 % de clinker), nous donne toute latitude pour varier et contrôler les quantités introduites des additions minérales.[3]

I.1.3.2 : Les granulas :

Les granulats sont définis comme l'ensemble de grains inertes compris entre 0mm et 40mm (sable, graviers et cailloux) dont l'origine peut être naturelle ou artificielle.

Nous distinguons les granulats roulés extraits de ballastières naturelles ou de rivière, et les granulats concassés, obtenus à partir des roches concassées exploitées en carrières.

Les granulats sont classés selon les dimensions des grains qui les constituent et la courbe granulométrique représente la distribution, en pourcentage, des poids des matériaux passants dans des tamis de dimensions normalisées. Pour faciliter l'écoulement du mélange, la confection d'un bon béton auto-plaçant utilise généralement des granulats roulés de rivière et

un apport de fines (par exemple des fillers calcaires) plus importants. [7]

Du fait que les frottements entre les granulats limitent l'étalement et l'aptitude au remplissage des bétons, la quantité de granulats est donc limitée, en général le rapport granulats/sable exprimé en masse est de 1 dans un BAP. Le risque de blocage dans un milieu fortement ferraillé augmente lorsque le D max augmente. Ainsi, le D max des granulats doit être compris entre 10 et 20 mm. La plupart des bétons auto-plaçants ont un $D_{max}=16$. [8]

I.1.3.3 : L'eau:

L'eau est l'une des composantes les plus importantes du béton. Elle joue un double rôle dans le béton: à l'état frais, elle permet d'une part une bonne maniabilité du béton, d'autre part, elle permet l'hydratation du ciment. Sa présence et surtout son mouvement au cours de la vie d'un ouvrage en béton est souvent responsable de l'apparition de phénomènes tels que : retrait, gonflement, fissuration du béton lors des cycles gel-dégel, etc. Elle joue aussi un rôle important lors de la montée de la température du béton.

L'eau contenue dans le béton est généralement classifiée selon la nature de sa liaison avec la pâte de ciment hydraté. [9]

Toute eau du réseau public d'eau potable convient pour la fabrication de béton Auto-plaçant. Les eaux recyclées de gâchage et de lavage ne conviennent que sous certaines conditions restrictives en raison d'éventuels effets indésirables sur les propriétés du béton. Etait donné que le dosage en eau influence de manière considérable la viscosité et la capacité d'auto-plaçant du béton, il est indispensable de s'écarter le moins possible de la valeur planifiée. Il est ainsi très important de mesurer et de prendre en compte l'humidité des granulats et tout spécialement du sable. Cas échéant, on tiendra également compte de la teneur en eau des adjuvants. [3]

I.1.3.4 : 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. [11]

- **Le type I** : additions quasiment inertes contient (fillers, pigments....etc).
- **Le type II** : additions à caractère pouzzolanique ou hydraulique latent contient

(Cendre volante, fumée de-silice...etc).

a : Les avantages des additions minérales :

- **Avantages économiques et environnementaux : [5]**
 - 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 CO_2 dans la nature et réduire le cout du béton.
- **Avantages techniques: [5]**
 - 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.

b : Différents types d'additions minérales :

- **Fillers de calcaire :**

Sont des matières minérales naturelles ou artificielles, dont les caractéristiques sont définies par la norme [NF EN P 18-508], qui après une préparation appropriée en fonction de leur granulométrie, améliorent les propriétés physiques (ouvrabilité et peuvent de rétention d'eau). Ils peuvent être inertes ou présenter des propriétés faiblement, hydrauliques latentes, ont étudié l'influence de différents types de filler calcaire. Dans le cas des pâtes de ciment, le type de filler utilisé ne semble pas avoir d'influence sur l'étalement et ce pour deux super plastifiants différents. En revanche, leur étude sur bétons montre que le type de filler a une forte influence sur la demande en super plastifiant (choisis dans leur étude) pour obtenir un étalement donné. Les fillers à base de craie nécessitent plus d'adjuvant que les fillers calcaires et ceux-ci sont particulièrement remarquables dans le cas où le taux de remplacement est important. [8]

- **Fumée de silice :**

Il s'agit d'un sous-produit de la fabrication du silicium métal et de ses alliages, la fumée de silice obéit à la norme [NF EN 13263-1]. Elle se caractérise par un diamètre des particules sphériques ultras fines (entre 0,01 μ m) et par une teneur en silice amorphe de plus de 90%. L'emploi de la fumée de silice doit se faire conjointement avec un fluidifiant du type superplastifiant afin de remédier à l'agglomération causée par sa finesse. Une bonne dispersion, permet aux particules de la fumée de silice de se placer entre les interstices des grains de ciment, diminuant ainsi la quantité d'eau nécessaire au mélange. L'utilisation de la fumée de silice conduit à des bétons extrêmement compacts à caractéristiques mécaniques élevées et une résistance nettement renforcée vis-à-vis des milieux agressifs. [10]

- **Laitier de hauts fourneaux :**

Les minerais de fer sont utilisés pour la fabrication de la fonte ; en plus de leurs phases ferreuses, ces minerais contiennent aussi des minéraux proches de ceux du cru du clinker. Lors du processus de fusion du minerai dans les hauts fourneaux à une température allant de 1135 à 1350°C, se produit la séparation gravitaire, le laitier à une température avoisinant celle de la fusion, est refroidi brusquement à l'eau (trempe) et le laitier prend l'appellation de laitier granulé défini par la norme [NF EN 15167-1] La vitrification du laitier granulé par la trempe confère au matériau son pouvoir hydraulique latent. Un broyage fin du laitier lui permet d'être utilisé comme addition dans les ciments et les bétons. [10]

I.1.3.5 : Les adjuvants (super-plastifiants):

L'action principale des super-plastifiants est de flocculer les grains de ciment

(Figure I.2), une action de répulsion électrostatique agit en neutralisant les charges électriques présentes à la surface des grains et/ou par répulsion stérique en écartant les grains les uns des autres, grâce à des chaînes moléculaires très longues, l'eau piégée par les floccs est de nouveau disponible pour la maniabilité du béton il est alors possible de mettre en œuvre des bétons très fluides, avec des rapports E/C faibles. Leur mode d'action est similaire à celui des plastifiants, mais il se produit avec une intensité bien plus importante. Par rapport au béton témoin fabriqué identiquement mais sans super-plastifiant, à maniabilité égale, il doit permettre une réduction d'eau minimale de 12%, en fait ce pourcentage est généralement réduit de 15 à 25 % suivants le dosage [12].

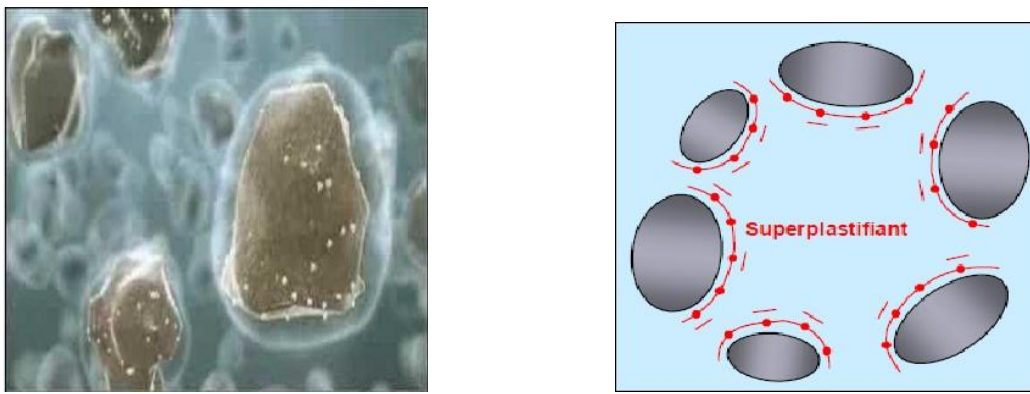


Figure I.2: L'effet du super-plastifiant sur les grains de ciment [12].

I.1.4 : Méthode de formulation pratique des BAP :

Les méthodes de formulation classiques ne sont pas adaptées aux BAP, car elles ne prennent en compte ni les adjuvants ni les additions, alors que ce sont des composants essentiels d'un BAP. C'est pour ça que plusieurs méthodes de composition se sont développées ces dernières années pour la formulation des BAP. Elles reposent toutes sur une ou plusieurs approches expérimentales plus ou moins lourdes. Parmi les approches de formulation les plus répandues, nous citons :

- L'approche basée sur l'optimisation de la compacité des mélanges granulaires;
- L'approche basée sur l'optimisation de mortier ou de la pâte;
- L'approche basée sur le rassemblement des deux approches précédentes.

Indépendamment de la méthode de formulation adoptée, les grandes lignes d'optimisation restent pratiquement communes. sur des études effectuées sur des BAP à travers le monde révèle que la composition des BAP est basée sur:

- Un volume de gravillons variant entre 28% et 38% du volume total du BAP;
- Un volume de pâte variant entre 30 et 42% du volume total du BAP;
- Un rapport $E/C \leq 0.48$ en masse du matériau;
- Un dosage en liant (ciment +additions) variant de 385 à 635 kg/m³;

- Le dosage en super-plastifiant proche de son dosage de saturation.
- Quant à l'AFGC, elle recommande l'utilisation des dosages suivants:
- Un rapport gravier/sable (G/S) proche de 1;
 - Un rapport eau/ciment (E/C) proche de 0.5;
 - Un dosage en ciment supérieur ou égal à 300 kg/m³;
 - $330 \text{ (l/m}^3\text{)} \leq \text{volume de pâte} \leq 400 \text{ (l/m}^3\text{)}$;
 - $120 \text{ (kg/m}^3\text{)} \leq \text{masse d'addition} \leq 200 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ [9].

I.1.5 : Caractérisation d'un béton auto-plaçant :

I.1.5.1 : Caractérisation des BAP à l'état frais :

a : Essai de l'étalement (Essai au cône d'Abrams):

Pour la détermination de l'étalement (SLUMP FLOW) on utilise le même cône que celui normalement utilisé pour l'essai d'affaissement. Ce cône est placé sur une plaque d'étalement, à surface propre et humidifiée et de dimension suffisante (800 mm), puis il est rempli de BAP. Le cône est ensuite soulevé et le BAP en sort en formant une galette qui s'élargit sous sa propre énergie, sans qu'il soit nécessaire de soulever et de laisser retomber la plaque, comme dans l'essai classique d'étalement. La valeur de l'étalement correspond au diamètre moyen de la galette de béton ainsi obtenue qui devrait être comprise entre 600 et 750 mm. Ce qui donne un indice sur la viscosité d'un mélange de béton (**Figure I.3**)[3].

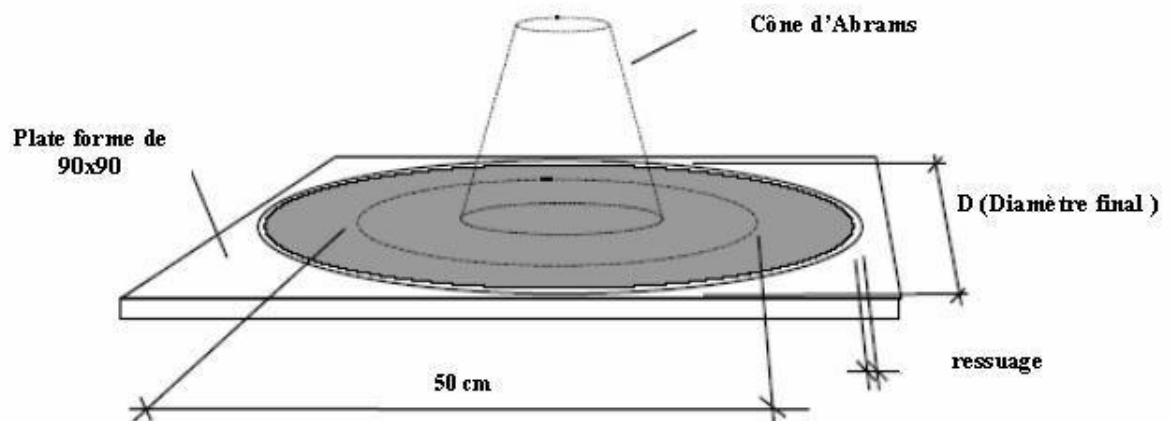


Figure I.3 : Représentation schématique de l'essai d'étalement.

b : Essai de boîte en L :

Pour tester la mobilité du béton en milieu confiné et de vérifier que la mise en place du béton ne sera pas contrariée par des phénomènes de blocages inacceptables. La partie verticale de la boîte est entièrement remplie de béton (le volume nécessaire est d'environ 13 litres). Après arasement, on laisse le béton reposer pendant une minute. Puis on lève la trappe et on laisse le béton s'écouler dans la partie horizontale de la boîte à travers le ferrailage. La

distance libre entre les barres est de 39 mm. On mesure les hauteurs H et on exprime le résultat en matière de taux de remplissage H_2/H_1 (**Figure I.4**) [3].

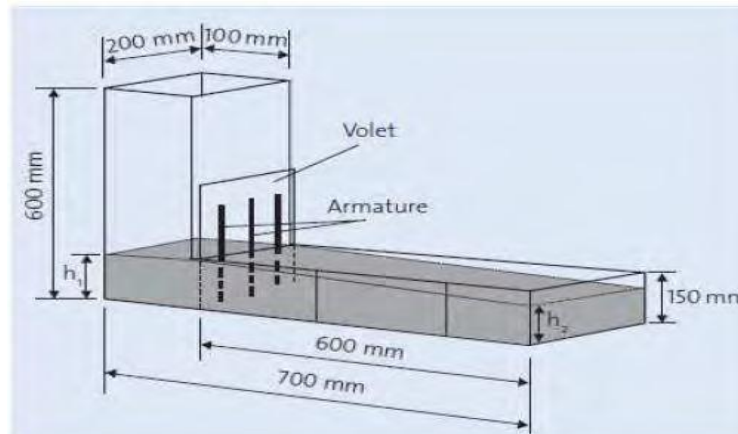


Figure 1.4. Dimensions de la boîte en L (L-box).

C : Essai de stabilité au tamis:

Cet essai vise à qualifier les bétons auto-plaçants vis-à-vis du risque de ségrégation. Il peut être utilisé en phase d'étude de formulation d'un béton auto nivelant en laboratoire, ou pour le contrôle de la stabilité du béton livré sur le chantier. Cet essai complète les essais permettant d'apprécier la mobilité en milieu confiné ou non, en caractérisant la stabilité. Cet essai consiste à l'utilisation d'un seau de 10L avec un couvercle, un tamis de 5 mm de diamètre de 315 mm plus fond et une bascule de portée minimale de 20 kg. A la fin du malaxage, dix litres de béton sont versés dans le seau. Après quinze minutes, un échantillon de 4,8 kg est versé du seau sur le tamis, deux minutes plus tard, on pèse la quantité de pâte (laitance) ayant traversé le tamis. Le pourcentage en poids de laitance par rapport au poids de l'échantillon donne l'indice de ségrégation π la mesure de cet indice conduit à classer les formules de BAP de la façon suivante [5]:

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

I.1.5.2 : Caractérisation des BAP à l'état durci :

a : Résistancemécanique:

Ce critère conduira au choix du ciment (nature, classe) et son dosage, ainsi qu'au dosage en eau et à l'éventuelle utilisation d'adjuvants. Ce critère a également une influence sur le rapport

G/S (gravier / sable). D'une façon expérimentale les BAP impliquent un rapport E/C bas, donc de nature à fournir de bonnes résistances mécaniques (**Figure I.5**) [5].

L'utilisation de fillers dans une formulation de béton génère une accélération de sa résistance mécanique aux jeunes âges, lorsqu'elles sont bien dé-floculées par les super-plastifiants, favorisent l'hydratation du ciment, principalement par un effet physique et augmentent de 50 à 80% de celle de référence à 7j et de 20 à 40% à 28j. Par contre que la résistance à la traction à 28j pour les BAP conservés dans l'eau est supérieure à celle du béton de référence conservé dans les mêmes conditions [5].

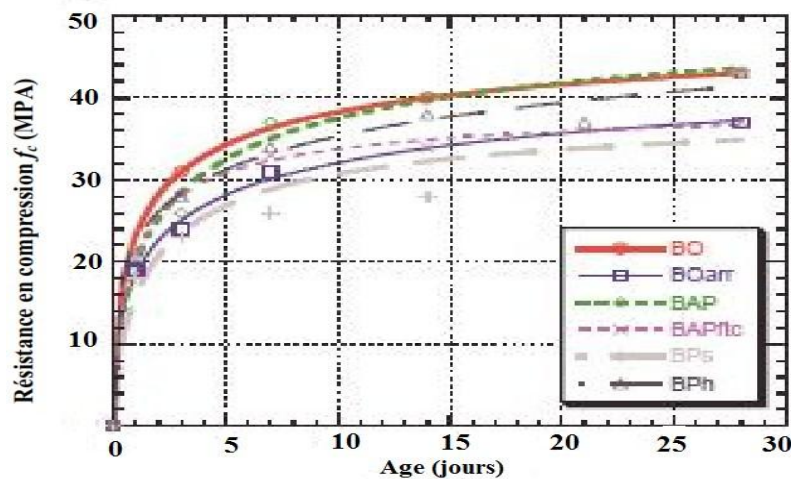


Figure I.5 : Résistance en compression d'un BAP par rapport aux autres bétons.

b : Le module élastique:

Comme les BAP renferment un faible volume de granulats, il faut prévoir des modules d'élasticité plus faibles que pour des bétons de mêmes résistances mais de rhéologie conventionnelle. Ont montré que les modules d'élasticité sont moins élevés pour les BAP, comparable ment au BHP, ce qui confirme cette idée à également trouver que le module élastique d'un BAP est systématiquement inférieur à celui du BO dérivé. Mais la différence n'est pas très importante, puisqu'elle se situe entre 2 et 8% [5].

C : Retrait:

En dessiccation, les bétons auto-plaçants et les BO vibrés possèdent en général un retrait total équivalent. Cependant, les deux types de bétons affichent une différence pour les gammes de résistance élevées (pour les BHP), où le retrait des BAP est supérieur. En mode endogène, les bétons auto-plaçants et les bétons ordinaires présentent un retrait similaire à 28 jours.

Au-delà d'un an, les BAP présentent un retrait légèrement supérieur à celui des BO. Il est vraisemblable que les légères différences entre les retraits des deux types de béton sont dues au volume de pâte qui est plus important dans les bétons auto-plaçants [10].

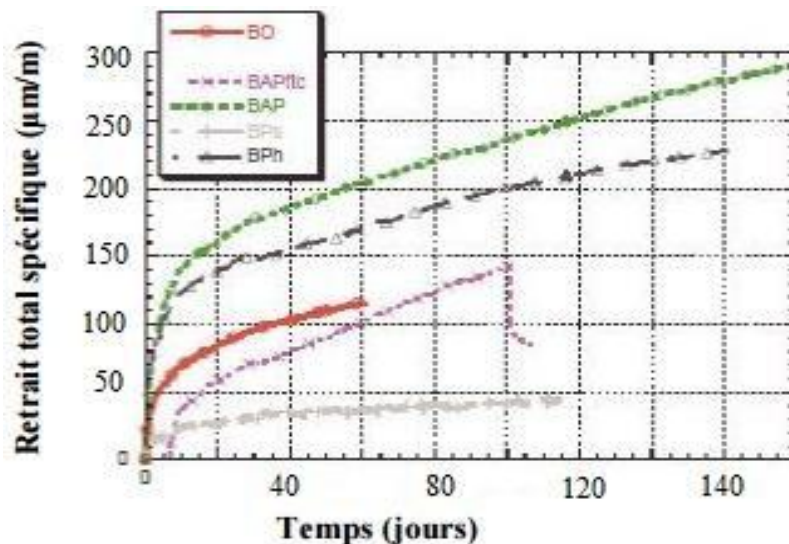


Figure I.6 : Retrait spécifique des différents mélanges de bétons [10].

I.1.6: Domaine d'application des BAP:

Le BAP constitue dans de nombreux domaines une alternative intéressante au béton ordinaire. Ces domaines comprennent le bâtiment, le génie civil, les dalles, les tunnels, la préfabrication et les travaux d'assainissement et de réhabilitation. [5]

Les BAP sont utilisables aussi bien pour la réalisation d'ouvrages horizontaux que verticaux, sur tous les types de chantier, de bâtiments ou de génie civil et pour la réalisation de nombreux produits préfabriqués en béton. [8]

La plupart des ouvrages peuvent être réalisés en BAP (voiles, poteaux, piles, poutres, planchers, dalles, dallages, fondations, éléments de façade, mobiliers urbains, etc.). [8]

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

- Densités de ferrailage importantes.
- Formes et géométries complexes : voiles, courbes.
- Voiles minces et de grande hauteur : piles de ponts.
- Voiles complexes avec de nombreuses réservations ou de grandes ouvertures.
- Exigences architecturales et qualité de parement particulière. [8]

I.1.7 : Avantages et inconvénients d'un béton auto-plaçant:

I.1.7.1 : Avantages [5]:

- 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.

I.1.7.2: Inconvénients: [13]

- La raison essentielle qui ne favorise pas l'utilisation des BAP est due au fait que

l'utilisation de super-plastifiant et de fines étant nécessaire, ceci se traduit par une augmentation du coût.

- L'emploi des BAP pour la réalisation de grandes structures peut s'avérer économique dans la mesure où le coût supplémentaire engendré par les additions et les adjuvants est vite compensé par les gains réalisés sur la main-d'œuvre et les délais d'exécution.

I.2 : L'effet des fillers sur le béton auto-plaçant :

I.2.1 : Introduction :

Nombreuses sont les études qui ont pour objectif de trouver une bonne formulation des bétons auto-plaçants (BAP) en utilisant divers ajouts minéraux.

Les ajouts que l'on utilise dans les mortiers et les bétons permettent de jouer sur les caractéristiques mécaniques, à savoir la résistance, les délais de mise en œuvre, la plasticité ...

Ces ajouts permettent de rendre le mortier/béton très performant. Cependant ils en augmentent le coût.

Il existe plusieurs types d'ajouts notamment les fumées de silice, fillers de calcaire et poudre de marbre [16].

I.2.2 : Types d'additions minérales :

Les ajouts minéraux se substituant au ciment peuvent être classés en fines actives telles que la fumée de silice et la pouzzolane naturelle sont en fines inertes telles que le calcaire. Par ailleurs, le cadre normatif français propose six matériaux minéraux répondant à la définition « additions pour béton hydraulique » à savoir : [14]

- Additions du type I selon la norme EN 206-1
 - Les additions calcaires (NF P 18-508),
 - Les additions siliceuses (NF P 18-509),
 - Les fillers (NF P 18-501),
- Additions de type II selon la norme EN 206-1 :
 - La fumée de silice (NF P 18-502),
 - Les cendres volantes de houille (NF P 18-505),
 - Le laitier vitrifié moulu de haut fourneau (NF P 18-506)
 - La pouzzolane naturelle (EN 197-1)

I.2.3 : L'effet de filler calcaire :

Si un filler calcaire est essentiellement utilisé comme une addition inerte permettant de remplacer une partie du ciment et éventuellement d'augmenter le volume de poudre dans le béton, son influence sur les propriétés du béton depuis l'état frais jusqu'à l'état durci est un aspect important à prendre en compte pour limiter l'apparition de désordres (homogénéité, aspect de surface, baisse des résistances). [15]

I.2.3 .1 :l'effet de filler calcaire à l'état frais :

Les fillers calcaires sont des matières minérales naturelles ou artificielles, qui après une préparation appropriée en fonction de leur granulométrie, améliorent les propriétés physiques (ouvrabilité et pouvoir de rétention d'eau). Ils peuvent être inertes ou présenter des propriétés faiblement hydrauliques, hydrauliques latentes ou pouzzolaniques.

Des chercheurs ont étudié l'influence de différents types de filler calcaire. Dans le cas des pâtes de ciment, le type de filler utilisé ne semble pas avoir d'influence sur l'étalement et ce pour deux super-plastifiants différents. En revanche, leur étude sur bétons montre que le type de filler a une forte influence sur la demande en super-plastifiant (choisis dans leur étude) pour obtenir un étalement donné. [17]

Les causes possibles de différences entre les comportements des fillers sont la présence d'impuretés, les différences entre les compacités et les possibles différences d'adsorption entre les matériaux. Malgré cela, quel que soit le type de filler utilisé, leurs résultats montrent que plus il y a de filler en remplacement du ciment, moins il faut de super-plastifiant pour atteindre un étalement donné. [17]

L'utilisation d'un filler permet de combler les vides entre les grains de dimensions plus importantes du ciment. Cela conduit à la réduction de la demande en eau de la pâte de ciment ainsi obtenue. [15]. Il fut admis que les fillers avaient principalement un effet physique de comblement de vide et d'amélioration de la porosité. De nos jours, des travaux, laissent entrevoir une autre efficacité provenant de réactions superficielles entre les grains de calcite et le ciment, d'où on peut tirer les constatations suivantes. [14]

- Le calcaire réagit avec les aluminates du ciment pour former des carboaluminates de calcium hydraté. [14]
- L'ion CO_3^- peut se substituer aux ions SO_4^- dans les sulfates hydratés. [14]
- Le calcaire finement broyé accélère l'hydratation du ciment et plus particulièrement celle de son composé principal; le silicate tricalcique. [14]
- Le ciment au calcaire possède une demande en eau moins importante que celle des autres ciments pouzzolaniques. [14]
- L'ajout du filler calcaire pour un dosage constant en ciment, diminue la viscosité d'une pâte de ciment et cela malgré l'augmentation de la concentration volumique en solides. Cet ajout, entraîne une augmentation du seuil de cisaillement si la concentration volumique en solides de la suspension augmente. Cependant, au-delà d'une certaine valeur critique en filler calcaire qui tient compte du rapport E/C, on assiste à une augmentation de la viscosité. [10]

L'ajout de filler dans la pâte de ciment conduit à une diminution de la valeur d'étalement de la pâte et en contrepartie le filler améliore l'écoulement de la pâte. [18]

Les impuretés et plus spécialement les argiles contenues dans le filler, généralement négligées, influent également sur les propriétés d'écoulement de la suspension cimentaire. Il est en effet montré qu'une teneur plus importante en argile dans le filler peut entraîner des pertes d'écoulement à l'échelle du mortier en raison d'une demande en eau accrue de ces fillers en fonction de la teneur en argile. [15]

I.2.3.2 : l'effet de filler calcaire à l'état durci :

Dans des recherches il est montré que l'utilisation de filler permet l'amélioration des résistances mécaniques des mélanges cimentaires (pâte, mortier, béton). Cet effet positif dépend fortement du dosage en filler et le maximum de résistance est généralement atteint avec un taux de substitution de 10%. Au-delà, l'effet du filler n'entraîne pas de modification des résistances ou alors entraîne une diminution. Une augmentation de la finesse du filler permet d'améliorer les résistances des mélanges cimentaires sur mortier. [15]

L'influence positive du filler sur les résistances mécaniques des bétons peut être expliquée par deux phénomènes. Tout d'abord, l'ajout de filler fin permet d'améliorer la densité de la matrice générale du béton et plus spécifiquement de la zone de transition pâte-granulats

D'un autre côté, bien que qualifié d'addition inerte, le filler calcaire influe sur l'hydratation du ciment en servant de site de nucléation mais également en modifiant les produits d'hydratation formés. [15]

Les fillers calcaires accélèrent le degré d'hydratation du ciment et de ce fait l'action positive du filler sur les résistances est essentiellement marquée en ce qui concerne les résistances au jeune âge (entre 1 et 7 jours) et a tendance à être négligeable au long terme. [15]

I.2.4 : l'effet de poudre de marbre :

Le marbre est une roche métamorphique dérivée du calcaire et constitué principalement de cristaux de calcite. La poudre de marbre est un déchet résultant de coupage, façonnage et lustration des pierres de marbre. [18]

I.2.4.1 : l'effet de poudre de marbre à l'état frais :

- L'utilisation de la poudre de marbre comme addition minérale conduit à l'amélioration de la déformabilité et la capacité de remplissage et de passage des BAPs ;
- L'augmentation du taux substitution du ciment par de la poudre de marbre contribue à la diminution de la stabilité du béton auto-plaçant ;
 - Le remplacement partiel du ciment par la poudre de marbre mène à l'augmentation du temps de maintien d'ouvrabilité ;
 - Des BAPs contenant la poudre de marbre présentent une rhéologie améliorée ;
 - Du point de vue d'ouvrabilité et de rhéologie, un taux de remplacement de 20% est très bénéfique;
 - La substitution de 20% du ciment par la poudre de marbre permet de réduire le coût de production du béton auto-plaçants. [18]

I.2.4.2: l'effet de poudre de marbre à l'état durci :

La résistance à la compression augmente à fur et à mesure que l'âge augmente et elle diminue avec l'augmentation du pourcentage de PM incorporé. Ceci est dû à la nature de la PM qui appartient à la famille des fillers quasi inertes. Ces fillers sont composées principalement de CaCO_3 . Cet élément accélère l'hydratation du C3S, ce qui améliore les

résistances aux jeunes âges. Néanmoins, l'effet associé de ces fillers est la réduction du potentiel pouzzolanique qui cause la diminution des résistances à long terme. Autrement dit que, si le filler PM accélère l'hydratation des BAP au jeune âge, son effet a tendance à se stabiliser à long terme ; de plus, l'augmentation du dosage en filler ne semble pas avoir une influence significative sur le développement des résistances. [18]

Des auteurs ont montré que la substitution du ciment par de la PM conduit à une diminution de la résistance à la compression, et ont trouvé des résistances, à 28 jours, qui varient entre 30 et 60 MPa. [18]

On constate que la résistance à la traction par flexion évolue similairement que la résistance à la compression. Donc la résistance à la traction par flexion diminue avec l'augmentation du taux de la poudre de marbre et elle a tendance à se stabilisée à long terme [18].

I.2.5 : l'effet de fumée de silice :

La fumée de silice est un sous produit industriel résultant du dépoussiérage des fumées issues des fours à arcs électriques dans lesquels sont élaborés du silicium et d'autres alliages.

I.2.5.1 : l'effet de fumée de silice à l'état frais :

La taille fine de particules de fumée de silice permet d'étendre la granulométrie de l'ensemble du squelette granulaire du ciment en comblant les vides et en augmentant la compacité. De plus, sa structure amorphe permet de déclencher une réaction pouzzolanique par la consommation de la chaux et la création de nouveaux hydrates. [14]

Les fumées de silices ne modifient pas la viscosité. Par rapport à la rhéologie d'un mélange de référence, montrent que l'utilisation de fumées de silice augmente la demande en eau et en super-plastifiant que ce soit pour des pâtes de ciment ou pour des bétons. [17]

Chaque kg de fumées de silice fixe environ 1 kg d'eau de gâchage sous forme de couche mince sur la surface. Les particules de fumées de silice mouillées adhèrent aux particules de ciment, lesquelles sont de ce fait réparties uniformément. Elles remplacent également une partie de l'eau interstitielle. Il en résulte une pâte de ciment durcie de structure plus régulière [20].

Un béton frais de cette composition témoigne d'une bonne cohésion et d'une bonne pompabilité et, même de consistance plastique, ne tend ni au ressuage ni à la ségrégation. Les fumées de silice ayant une grande affinité avec l'eau, l'eau s'évaporant à la surface ne vient pas de l'intérieur du béton. Le traitement de cure pour humidifier le béton doit commencer sitôt après la mise en place, afin d'empêcher la formation de fissures de retrait à un stade précoce [20].

I.2.5.2 : l'effet de fumée de silice à l'état durci :

Deux des propriétés des bétons contenant des fumées de silice sont particulièrement intéressantes: la faible perméabilité et la résistance élevée.

Après le 28e jour que les fumées de silice apportent la principale contribution à la résistance, indépendamment de l'utilisation des fumées de silice comme substitut du ciment ou comme ajout.[20]

Les fumées de silice augmentent non seulement la résistance à la compression, mais également la résistance à la traction par flexion et ce qui souvent n'est pas souhaité le module d'élasticité.[20]

Les bétons à haute résistance en particulier sont sensibles à la rupture de fragilité, et peuvent de ce fait se rompre soudainement, sans déformation notable au préalable.[20]

Bien que la porosité globale reste à peu près la même, la perméabilité des bétons contenant des fumées de silice est fortement réduite, car il y a moins de gros pores dans la pâte de ciment durcie. [20]

En cas d'incendie, si le béton est fortement échauffé, la plus forte pression de la vapeur peut provoquer des fissures, des pertes de résistance ainsi que des éclatements par explosion [20].

I.3 : Evolution des propriétés du béton soumis à haute température :

I.3.1 : Introduction :

Cette partie présente une analyse des recherches bibliographiques sur l'influence de la température sur les propriétés physiques et mécaniques du béton auto-plaçant. [26]

Le béton est un matériau qui s'endommage sous l'effet de la température, il subit de fortes modifications physico-chimiques qui influencent l'évolution de ses propriétés mécaniques et modifie sa microstructure. La déshydratation, les réactions de transformation, la pression dans les pores, la dilatation différentielle entre la pâte de ciment et les granulats (la matrice cimentaire et les granulats) engendrent des effets importants sur la résistance de béton à haute température. Les résultats issus de différentes investigations sur le comportement du béton exposé à des hautes températures, interprètent différemment les évolutions de ces paramètres. Ces différences ne sont pas dues seulement à la nature et au type du béton mais aussi aux conditions expérimentales comme : la durée et le taux de chauffage et de refroidissement, la géométrie des éprouvettes... [25]

I.3.2 : Evolution des propriétés physique du béton à haute température :

I.3.2.1 : Les modifications physico-chimiques dans le béton à haute température :

Les principales réactions physico-chimiques dans le béton au cours de son échauffement sont regroupées dans le (Tableau I.1). (27)

Tableau I. 1: les principales réactions physico-chimiques dans le béton à haute température(27).

Entre 30 et 105 °C	L'eau libre et une partie de l'eau adsorbée s'échappent du béton. Elle est complètement éliminée à 105°C.
Entre 130 et 170 °C:	Une double réaction endothermique peut avoir lieu correspondant à la décomposition du gypse $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Autour de 180 °C et jusqu'à environ 300 °C :	On a la première étape de la déshydratation. La chaleur brise le gel de ciment et arrache des molécules d'eau aux silicates hydratés. L'eau liée chimiquement commence à s'échapper du béton.

A environ 250 et 370 °C	On peut avoir de petits pics endothermiques indiquant des effets de décomposition et d'oxydation d'éléments métalliques (ferriques).
Entre 450 et 550°C :	Il y a décomposition de la portlandite en chaux libre : $\text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$
Autour de 570 °C:	Il y a transformation de structures du quartz α en quartz β , accompagnée d'un gonflement pour les granulats quartziques et basaltiques.
Entre 600 et 700 °C :	Il y a décomposition des phases de C-S-H et formation de β -C2S. C'est la seconde étape de la déshydratation des silicates de calcium hydratés qui produit une nouvelle forme de silicates bicalciques.
Entre 700 et 900 °C :	Il y a décomposition du carbonate de calcium. Le calcaire se décompose autour de 800°C en $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$, réaction fortement endothermique qui libère du gaz carbonique
A dessus de 1300-1400 °C :	Début de la fusion des agrégats et de la pâte de ciment.

I.3.2.2 : Dégradation de l'interface pâte-granulats :

A hautes températures, les granulats se décomposent et subissent des modifications physico-chimiques et minéralogiques significatives qui modifient les caractéristiques microstructurales du matériau. , les granulats en contact de la pâte de ciment peuvent être réactifs ou neutres. Les granulats siliceux par exemple sont considérés neutres. Ils ne réagissent pas avec la pâte de ciment et n'ont pas de liaison importante avec la matrice cimentaire. Les granulats calcaires au contraire présentent de fortes liaisons avec la pâte de ciment et sont considérés comme réactifs [24]. Les granulats de quartzite (siliceux) présentent des caractéristiques relativement stables vis-à-vis du feu. À partir de 573°C une transformation du quartz α en quartz β s'accompagne d'une forte dilatation de 1 % à 5 %. Cette variation de structure cristalline dans les granulats peut provoquer une instabilité thermique lors du chauffage. Les granulats calcaires présentent un comportement thermique stable jusqu'à une température de 600°C. Au-delà de cette température, la décarbonatation de la calcite a lieu : $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$. Lors du refroidissement, le CaO peut réagir avec l'humidité de l'air pour donner de la Portlandite Ca(OH)_2 . La formation de cette nouvelle Portlandite avec un volume supérieur à celui du granulat initial, crée des nouvelles fissurations dans le béton. [26]

I.3.2.3 : Evolution de la porosité :

Le béton est un matériau poreux biphasique, composé d'une phase solide et d'une phase poreuse. La porosité totale peut être mesurée par saturation d'eau et la porosité capillaire se mesure généralement par porosimétrie au mercure. [21]

Différentes études ont été réalisées sur la variation de la porosité de béton en fonction de la température. Les travaux sur les bétons ordinaires, les bétons à hautes performances, les bétons auto-plaçants ont montré une augmentation progressive de la porosité de ces bétons en cours de l'élévation de la température. Cette augmentation est due en partie à l'augmentation du volume total de la dimension des pores ainsi qu'à la microfissuration engendrée par la

dilatation différentielle entre la pâte et les granulats. La (Figure I.7) montre la variation de la porosité totale en fonction de la température.[26]

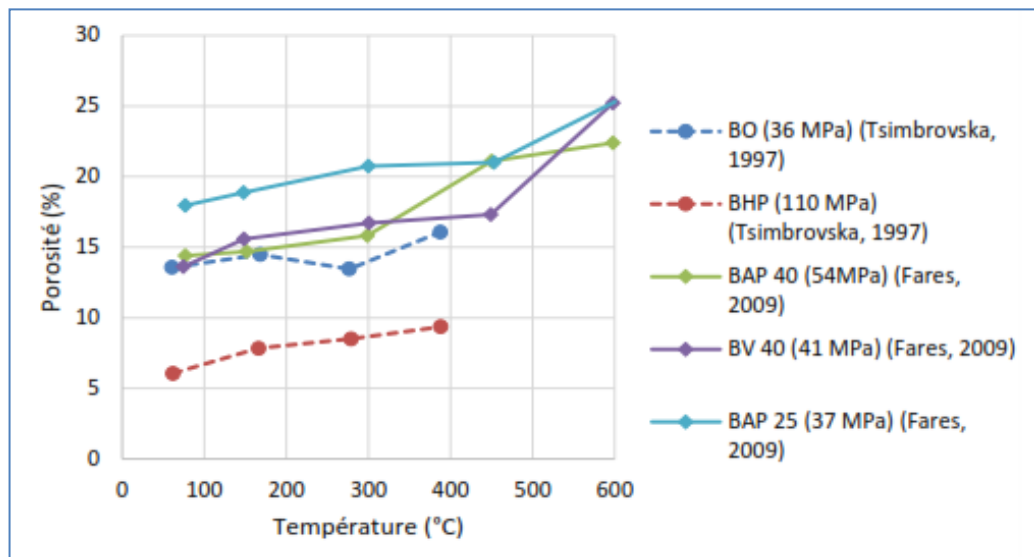


Figure I.7 Evolution de la porosité de différents bétons en fonction de la température [26]

I.3.2.4 : Evolution de la masse volumique :

A haute température, ce paramètre dépend fortement de la nature des granulats dans le béton. La (Figure I.8) montre les variations de la masse volumique de différents types de bétons en fonction de la température. On observe une diminution quasi-linéaire jusqu'à 800°C, or le béton à granulats calcaires présente une forte diminution de la densité au-delà de 800°C. Cette baisse de la masse volumique est liée à deux phénomènes à savoir l'hydratation complémentaire des anhydres et la carbonatation de la portlandite. [27]

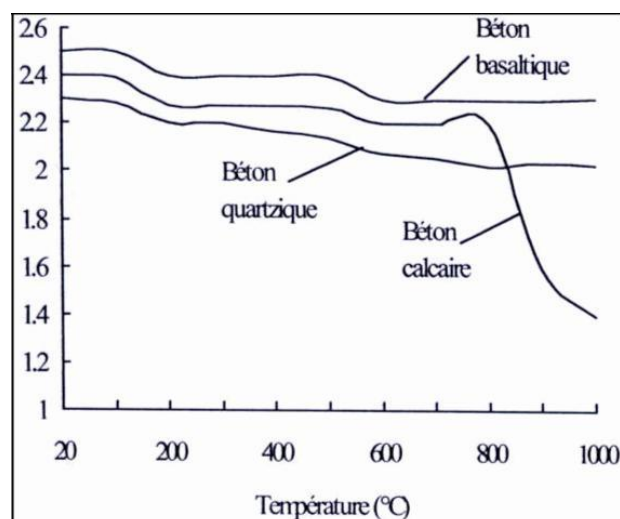


Figure I.8 Variations de la masse volumique de différents types de bétons en fonction de la température [27].

I.3.2.5 : Perte de masse :

Durant l'échauffement du béton, sa masse est soumise à une variation due à l'évaporation de l'eau et la déshydratation progressive du gel CSH. Sur la Figure 16 nous pouvons observer une courbe caractéristique de la perte de masse durant l'échauffement, ainsi que la courbe de la vitesse de la perte de masse. (Figure 1.9)[23]

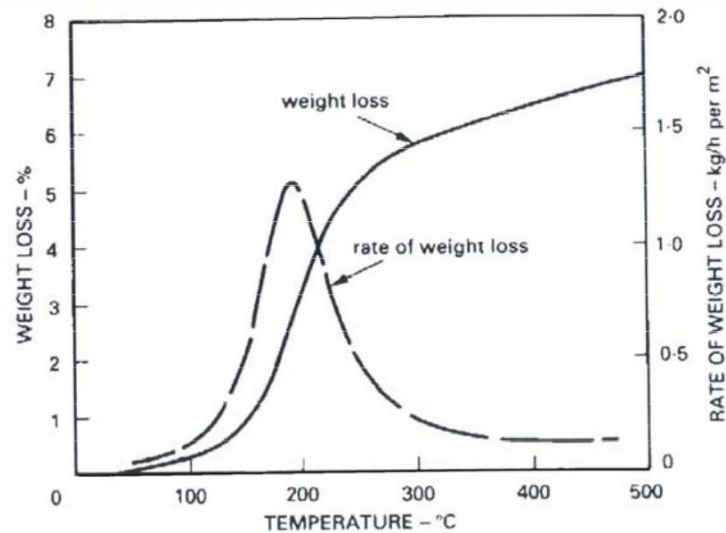


Figure 1.9: Perte de masse durant l'échauffement et vitesse de perte de masse en fonction de la température [23].

I.3.2.6 : Evolution de la perméabilité :

La perméabilité d'un milieu poreux caractérise la capacité que possède ce milieu à se laisser traverser par un fluide sous un gradient de pression. Bien que cette perméabilité dépende fortement de la porosité du milieu poreux et d'autres paramètres, tel que la connectivité, la tortuosité ainsi que la constructivité du réseau poreux liée à la taille des pores. La perméabilité du béton dépend également de ses constituants.

Elle est fonction du rapport E/C, qui est directement liée à la porosité capillaire, de la nature et de la quantité des granulats, qui peuvent modifier la tortuosité par la création de l'auréole de transition.

La perméabilité du béton subit un accroissement significatif quand la température dépasse 100°C (Figure I.10). [22]

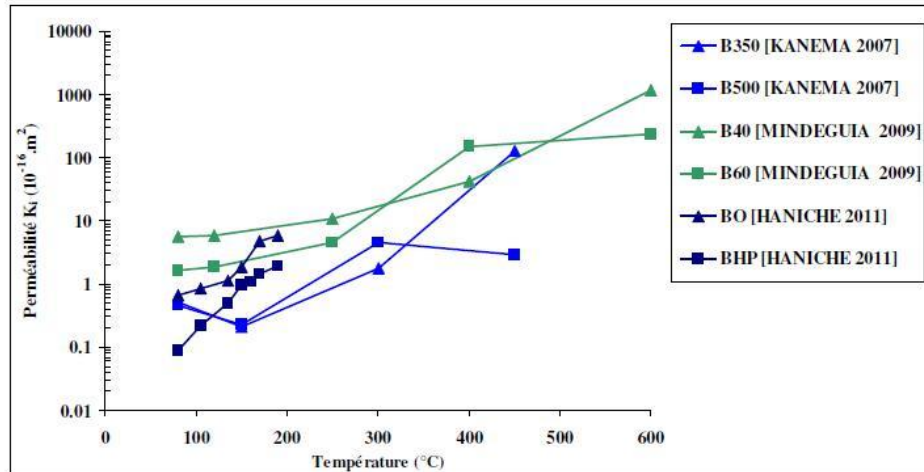


Figure I.10 : Évolution de la perméabilité des bétons BO et BHP en fonction de la Température [22].

I.3.3 : Evolution des propriétés mécaniques avec la température :

La sollicitation thermique sur le béton provoque une diminution graduelle des propriétés mécaniques, qu'elles soient mesurées à chaud ou à froid. Les pertes de résistance varient en fonction de la température, de la vitesse de montée en température et du type de béton.

Les principales caractéristiques mécaniques présentées sont la résistance à la compression, la résistance à la traction et le module d'élasticité [26].

I.3.3.1 : Résistance en compression:

La (figure I.11) montre l'évolution des résistances résiduelles en compression de bétons auto-plaçants, de bétons ordinaire et à hautes performances. D'une manière générale, les résultats de la littérature montrent que la résistance à la compression du béton (à chaud ou après refroidissement) baisse avec l'élévation de la température.

L'analyse de la courbe d'évolution permet de grouper le comportement de résistance en deux domaines.

–Le premier domaine, de la température ambiante à 300°C - 400°C, est caractérisé par une légère baisse, un maintien ou une augmentation de résistance. La baisse de résistance est observée autour de 100°C – 150°C suivants les auteurs. Cette légère baisse de résistance est liée au départ de l'eau qui, lors de la montée en température, se dilate et entraîne un écartement des feuilletts du gel. Cet écartement occasionne ainsi une baisse des forces de cohésion. Jusqu'à la température de 300°C - 400°C, un gain de résistance est remarqué et peut-être retardé avec les BHP compte tenu de leur faible perméabilité qui ralentit le départ de l'eau. Le départ de l'eau peut entraîner une augmentation des forces de liaison entre les hydrates avec un accroissement des énergies de surface.

–Le second domaine, au-delà de la température 400°C – 800°C, est caractérisé par une baisse continue de la résistance à la compression liée aux différentes transformations physico-chimiques. [24]

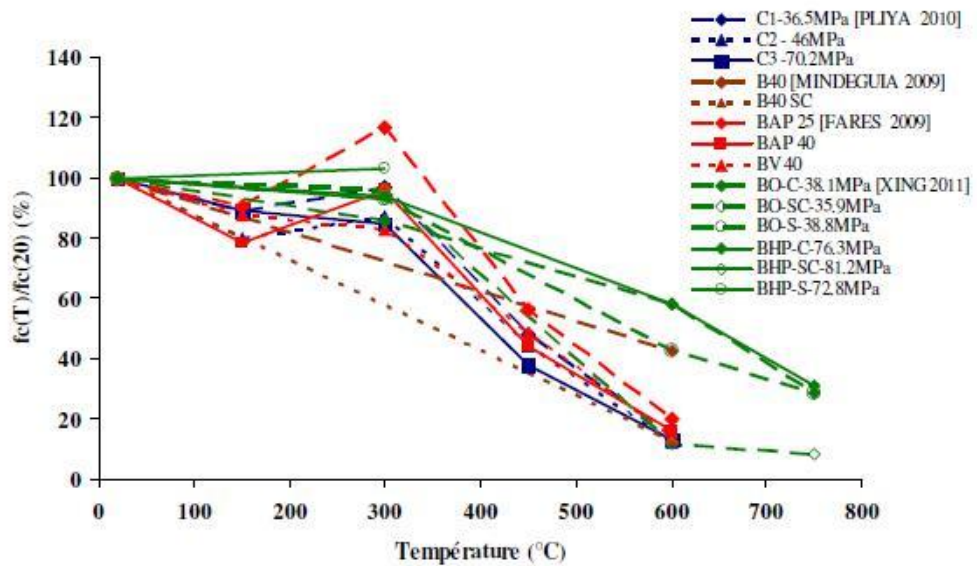


Figure I.11 : Évolution de la résistance résiduelle relative à la compression des BO et BHP [24]

I.3.3 .2 : Résistance en traction :

L'évolution de la résistance en traction en fonction de la température n'a pas été étudiée aussi souvent que celle de la résistance en compression. En effet la réalisation de l'essai de traction directe ou de flexion s'avère toujours difficile, compte tenu de la localisation de l'endommagement et du développement d'une macrofissure généralement instable, qui mène par la suite à la rupture brutale du matériau. Les travaux réalisés à haute température montrent une chute de cette résistance avec la température. La (Figure I.12) regroupe les résistances résiduelles déterminées en flexion et en traction directe. Les mesures sont effectuées sur des éprouvettes ayant préalablement été refroidies. On remarque sur cette figure que toutes les valeurs déterminées se situent au-dessus de celles de DTU.

Dès 150°C, la résistance en traction directe baisse de 15 à 20% alors qu'elle ne diminue que 8 à 9% pour la compression. Après exposition à 500°C, les bétons gardent 60 à 63 % de leur résistance en compression alors qu'ils n'ont plus que 42 à 53 % de leur résistance en traction. [27]

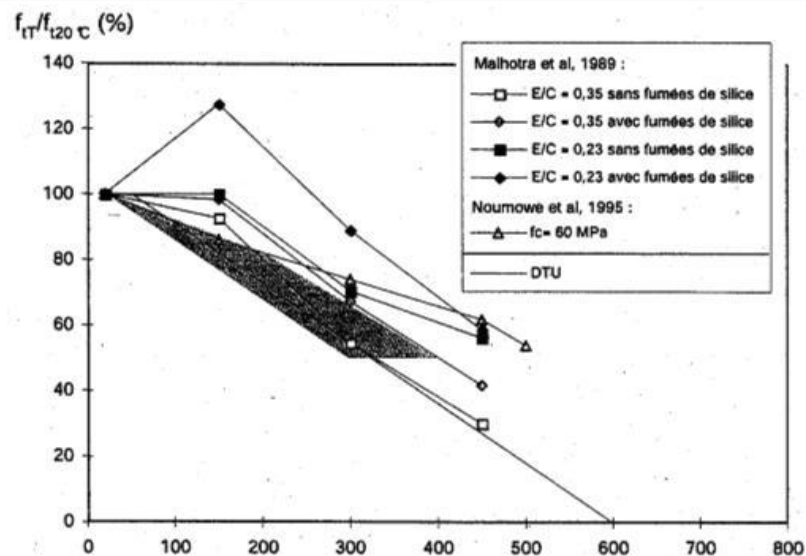


Figure I. 12: Evolution de la résistance à la traction en fonction de la température [27].

I.3.3 .3 : Module d'élasticité :

Le comportement des structures dépend souvent du module d'élasticité du béton qui exprime la rigidité du matériau. Il lie la contrainte normale à la déformation instantanée longitudinale lorsque le béton est soumis à des sollicitations uni axiales. Les différents résultats expérimentaux montrent que le module d'élasticité du béton est fortement affecté par la température. Les variations du module d'élasticité avec la température dépendent principalement de la microstructure de la pâte de ciment d'une part et des paramètres expérimentaux d'autre part (la vitesse de chauffage, la teneur en eau, la nature des granulats ...).[22]

La (Figure I.13) montre les évolutions des modules élastiques à chaud et après refroidissement. Dans la série I, les éprouvettes sont chauffées sans chargement à 1°C/min à la température désirée puis maintenue à cette température avant d'être chargées.

Dans la série II, les éprouvettes sont chauffées jusqu'à la température désirée, puis elles sont refroidies avec une vitesse de 0,5°C/min avant d'être chargées. Ces essais montrent que la rigidité du matériau baisse généralement en fonction de la température jusqu'à 120°C. Entre 200°C et 300 °C, les résultats de la (Figure I.13) montrent que le module est à peu près constant. [25]

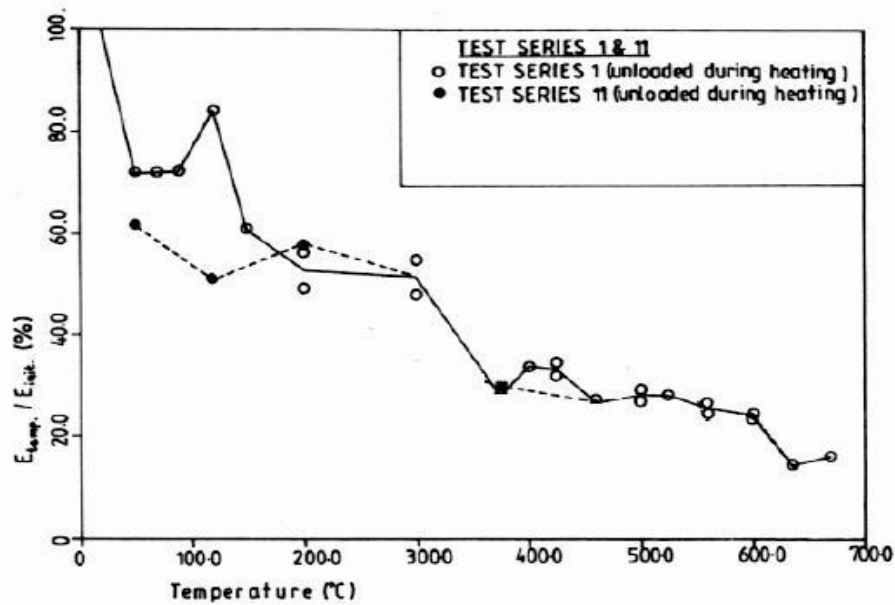


Figure I.13 : Rapport du module d'élasticité à chaud et à froid sur le module initial en fonction de la température. [25]

I.4 : Conclusion :

Ce chapitre fait une synthèse sur la description des constituants entrant dans la fabrication des bétons auto-plaçant et les caractéristiques à l'état frais et durci. Et la deuxième partie contient des notions générales sur les fillers et leur influence sur les bétons auto-plaçant. La troisième partie a mis en évidence la complexité du comportement des bétons soumis à haute température, et les évolutions des caractéristiques thermiques et mécaniques.

A decorative scroll graphic with a light orange gradient and a thin orange border. The scroll is partially unrolled, with the top corners curled up. The text is centered on the scroll.

CHAPITRE 02 :
Les essais destructifs et
non destructifs

Chapitre II : Les essais destructifs et non destructifs

II.1:Introduction :

Les problèmes de qualité rencontrés dans les structures en béton apparaissent à différentes phases de la réalisation des ouvrages, si pour cette raison que depuis longtemps il y a une demande accrue pour des méthodes plus précises et en même temps, plus souples d'évaluation de la qualité du béton. Pour cela on recourt aux essais destructifs et non destructifs (END) du béton qui a une grande importance scientifique et pratique [5].

Le béton doit être soumis à différents essais mécaniques de caractérisation :

1) Les essais Destructifs : [8]

Ceux basé sur la détérioration des matériaux contrôlé pour détermine les performances souhaité et les propriétés aussi.

Dans notre travail, nous avons utilisé les expériences suivantes :

- Les essais de compression ;
- Les essais de traction par flexion ;

2) Les essais Non Destructifs : [8]

Les contrôles non destructifs sont un ensemble de méthodes qui permettent l'évaluation de l'état d'intégrité d'un matériau, de structures, ou d'ensembles mécaniques, sans les dégrader. Et on a utilisé :

- Essai au scléromètre
- Essai ultrason

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 (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 après 30 jours représentent la moyenne de trois échantillons. La machine utilisée pour l'écrasement 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. [5]



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 après 30 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 [5].



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:

Cet essai est l'un des plus vieux essais non destructifs et il est encore très utilisé de nos jours, et est connu sous le nom l'essai au marteau Schmidt ou essai au scléromètre

(figure II.3) [3].



Figure II.3 : L'appareil de scléromètre [3].

L'essai au scléromètre consiste à projeter une masse sur la surface du béton avec une énergie initiale constante. Suite au choc, une partie de l'énergie est absorbée par le béton, l'autre partie provoque le rebondissement de la masse. L'énergie d'impact est produite par un système de ressorts dont l'amplitude du mouvement de recul est fonction de : L'énergie de recul ; Caractéristiques des systèmes de ressorts.

La mesure de la dureté au choc permet d'évaluer la résistance d'un béton de manière non destructive. Cette méthode est intéressante en raison de sa simplicité ; elle permet de faire rapidement des contrôles de régularité des bétons d'un ouvrage [3].

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).

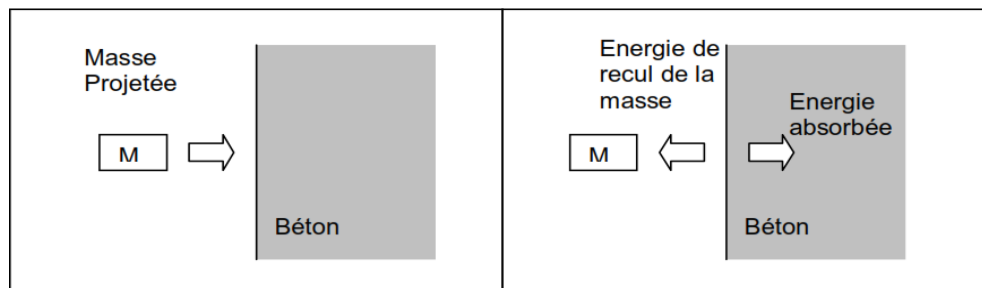


Figure II.4 : Principe du Scléromètre.

Dans l'essai au scléromètre une masse approximative de **1.8 kg** montés sur un ressort a une quantité potentielle fixe d'énergie qui lui est transmise par un ressort tendu a partir d'une position fixe, ce que l'on obtient en pressant la tête du marteau contre la surface du béton mis à l'essai. Lors de son relâchement, la masse rebondit depuis la tête et la distance qu'elle parcourt, exprimée en pourcentage de l'extension initiale du ressort est appelée l'indice de rebondissement [3].

En utilisant cette méthode sur les éléments suivants [5]:

- ❖ Dans le choix des zones d'essai, éviter la surface de coulée, faire l'essai sur les surfaces parfaitement planes et lisses (sans rugosités).
- ❖ Dans le choix des points d'essai, éviter les régions proches des arêtes de l'élément, la distance entre les points d'essai doit être d'au moins **2cm**.
- ❖ L'indice de rebondissement doit être déterminé en plusieurs points rapprochés (en général de **6 à 12**) pour une pièce bien déterminée.

II.3.1.2 : Les étapes pour tester le scléromètre:

- Après avoir déterminé l'indice de rebondissement en plusieurs points on calcule les indices moyens.
- Procéder à une correction d'étalonnage.
- Faire une correction à la position de scléromètre.

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

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

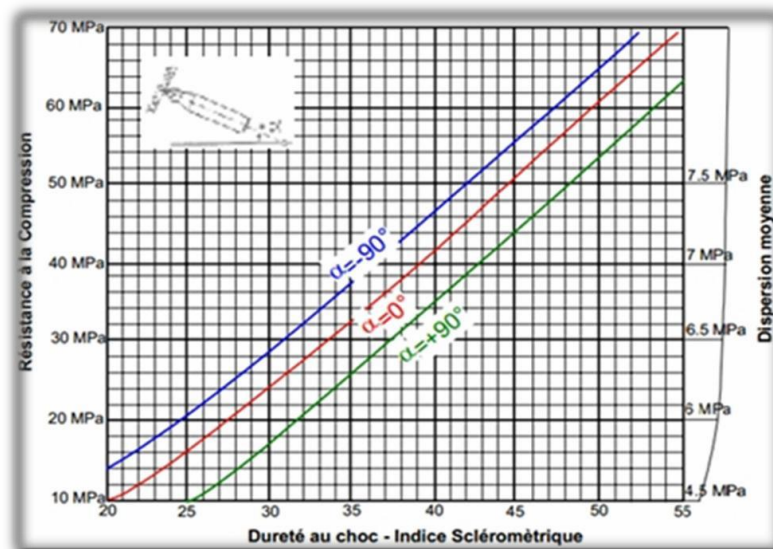


Figure II.5 : La résistance probable du béton en fonction de la mesure du recul (Linéaire ou angulaire).

II.3.1.3 : Mesures sur éprouvettes:

Les éprouvettes doivent être de forme cylindrique ou cubique (**Figure II.6**), ils doivent être maintenus entre les plateaux d'une presse hydraulique, sous une contrainte de **0,5 MPa**. Il est relevé **27** mesures réparties sur trois génératrices en **27** points distincts et distant entre eux de **30 mm**, d'où aucune mesure ne doit être située à moins de 40 mm des faces planes de l'éprouvette. Dans tous les cas de conservation, les mesures au scléromètre ne peuvent être effectuées qu'après un délai d'au moins 48 h [5].

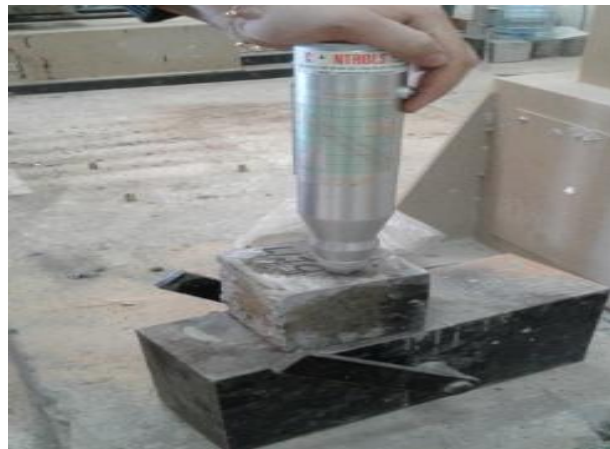


Figure II.6 : Mesure sur éprouvette cubique (10*10*10) cm³.

II.3.1.4 : 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,

II.3.1.5 : Les avantages de l'essai sclérométrique [3]:

- C'est une méthode peu coûteuse, simple et rapide.
- L'essai au scléromètre est comparatif, il est utile pour évaluer l'homogénéité du béton dans une structure ou lors de la fabrication d'éléments semblables des éléments préfabriqués

- L'essai peut aussi être utilisé pour vérifier si la valeur de l'indice de rebondissement a atteint la valeur désirée correspondant à la résistance du béton, ce qui peut aider à décider du moment où l'on peut mettre la structure en service.
- Une utilisation de cet essai est de pouvoir vérifier si le développement de la résistance d'un béton a été affecté par le gel au jeune âge.
- Une application particulière de l'essai au scléromètre consiste à évaluer la résistance à l'abrasion des planchers de béton, qui dépend largement de la dureté de surface.

II.3.1.6 : Les inconvénients de l'essai sclérométrique [5]:

- Une précision entre ± 15 et $\pm 20\%$ n'est possible qu'avec des éprouvettes qui ont été coulées et soumises à un traitement de cure.
- Les résultats sont influencés par des facteurs tels que l'égalité de la surface, la grosseur et la forme de l'éprouvette.
- La résistance obtenue n'est que celle de la peau de béton, elle ne renseigne pas sur le béton à l'intérieur de la masse de l'ouvrage

II.3.2:Essai d'auscultation dynamique:

Connu sous le nom d'essai aux ultrasons, cet essai permet de déterminer la vitesse de propagation d'ondes longitudinales (de compression) à travers un élément en béton. Le principe de la méthode consiste à mesurer le temps mis par une onde à parcourir une distance donnée (**Figure II.7**) [3].



Figure II.7 : Appareil d'auscultation sonique.

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

L'objectif de la technique est de mesurer le temps de propagation des ondes ultrasonores dans le béton. La vitesse ultrasonore est déduite par l'écartement considéré entre deux transducteurs piézoélectriques.

Ce système permet de réaliser des mesures sur éprouvettes en laboratoire, sur corps d'épreuve du site teste et sur ouvrages réels. Le générateur envoie une impulsion électrique qui est convertie en des ondes de pression (longitudinales) par l'émetteur. La fréquence de générateur d'ondes est comprise entre 10 et 150 HZ.

Les ondes ultrasonores traversent le couplant et se propagent dans le béton. Elles sont reçues par le récepteur et sont converties en une impulsion électrique qui revient au générateur.

Le temps de propagation des ondes ultrasonores dans le béton, noté T en μs , s'affiche sur l'écran de l'appareil. À partir du temps mesuré, la vitesse ultrasonore, notée V en m/s, est calculée pour chaque mesure par la relation :

$$V = L / T$$

Avec L est la distance considérée entre émetteur et récepteur (ex. épaisseur d'éprouvettes ou distance E-R dans le cas d'une configuration indirecte). [28]

Certains facteurs influent toutefois sur la prise de mesures :

- Les ondes sonores se déplacent plus vite à travers un vide rempli d'eau qu'à travers un vide rempli d'air.
- La surface sur laquelle l'essai est effectué doit épouser parfaitement la forme de l'appareil qui lui est appliqué, il est recommandé d'employer un matériau intermédiaire entre le béton et les transducteurs.
- Une augmentation de la vitesse des impulsions se produit à des températures sous le point de congélation à cause du gel de l'eau; entre 5 et 30°C, la vitesse des impulsions n'est pas subordonnée à la température.

II.3.2.2:Manières de mesure :

La détermination de la vitesse de propagation des ultrasons se fait de trois manières, suivant le type de l'élément à tester :[29]

a:Mesure en transparence (directe) :

Les mesures en transparence sont utilisées dans le cas des éprouvettes, des poteaux ou de certaines poutres. Les transducteurs sont appliqués sur les deux faces de l'élément à tester. (Figure II.8)[29].

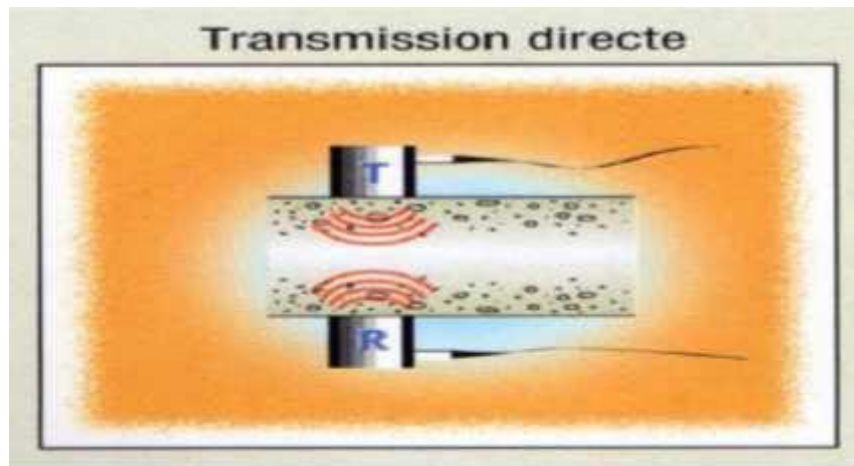


Figure II. 8 : Mesures en transparence (directe) [29].

b: Mesures en surface (indirecte) :

Elles sont utilisées sur tous les éléments de structure et sur les éprouvettes, mais plus particulièrement sur les dalles et éléments en longueur (figure II.9).

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 [29].

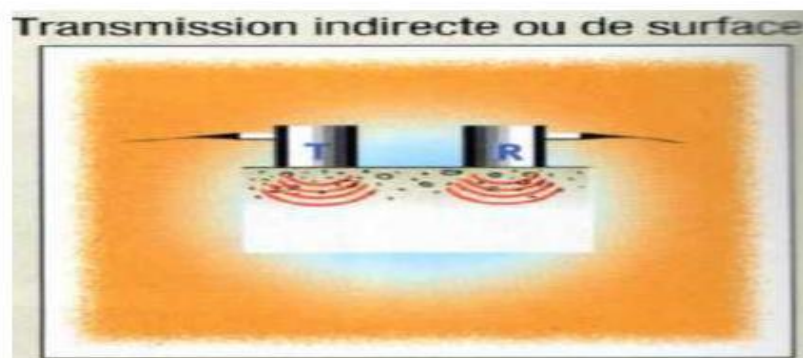


Figure II.9 : Mesures en surface [29].

C: Mesures semi directe :

Elles sont utilisées sur tous les éléments de structure et sur les éprouvettes, mais plus particulièrement sur les éléments de structure où on ne peut pas utiliser les autres manières (figure II.10) [29].

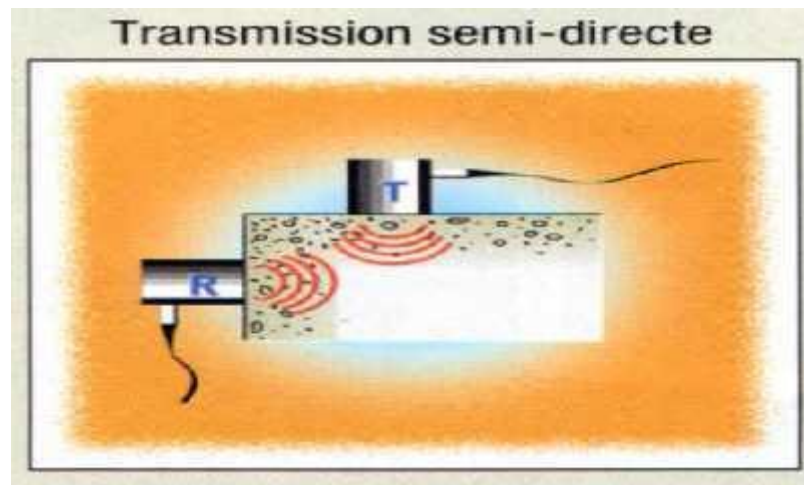


Figure II. 10 : Mesures semi directe [29].

II.3.2.3:Interprétation Des Résultats De Mesure Aux Ultrasons :

Dans un milieu homogène et isotrope, la vitesse des ondes longitudinales des ultrasons est reliée au module d'élasticité et à la masse volumique. Cette relation donne une base logique pour utiliser des mesures de vitesse des ondes pour estimer la résistance à la compression du béton. Mais il faut mentionner qu'il n'y a pas de relation physique unique entre les deux paramètres compte tenu de l'influence des différents constituants entrant dans la composition du béton. Par conséquent une corrélation plus fiable entre la vitesse de propagation des ultrasons et la résistance du béton à la compression ne peut être établie que dans des limites strictes données ci - après. C'est pour cette raison que par exemple dans les procès-verbaux du CNERIB, seuls les appréciations suivantes sont données (**tableau II. 1**) :[29]

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

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

Les résultats obtenus en appliquant la courbe de la RILEM (**figure II.11**) sont donnés dans le cas où le béton testé est considéré connue. Les résistances ne correspondent pas toujours à la résistance réelle du béton in situ.

Estimation de la résistance du béton selon RILEM. [29]

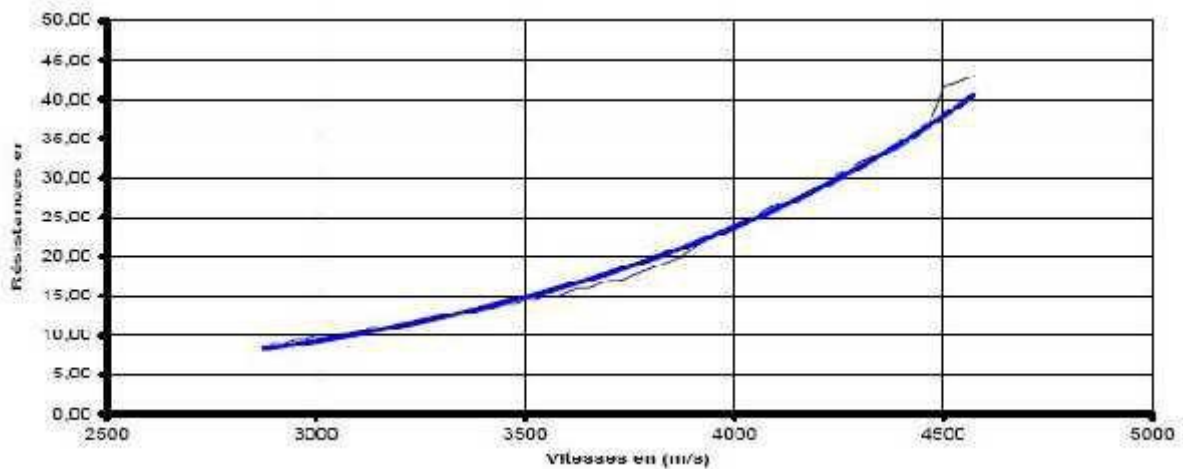


Figure II. 11-Courbe RILEM

II.3.2.4 : Les avantages d'essai d'auscultation dynamique [5]:

- C'est une méthode idéale pour déterminer l'homogénéité du béton.
- La mesure des ondes sonores présente l'énorme avantage de donner des informations sur l'intérieur d'un élément de béton.
- L'essai de propagation des ultrasons peut être utilisé pour suivre les changements microstructuraux dans un élément par exemple à la suite de cycles répétés degel/dégel.

II.3.2.5 : Les inconvénients d'essai d'auscultation dynamique [5] :

- Ces essais ne sont toutefois pas aussi efficaces pour évaluer la résistance à cause du grand nombre de variables influençant la relation entre la résistance et la vitesse de propagation des impulsions.
- La précision des résultats est fonction de la précision de l'étalonnage et de l'uniformité de la composition du béton de l'ouvrage.

II.4: Conclusion :

Ce chapitre contient une synthèse bibliographique sur les essais destructif et non destructif qui sont appliqués sur le béton à l'état durci. Sachant que les nombreux tests sont appliqués au béton dans les domaines des constructions. Mais nous n'avons pris que ce dont nous avons besoin dans notre étude

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.



CHAPITRE 03 :
Caractérisation
des matériaux utilisés

III : Caractérisation des matériaux utilisés

III.1:Introduction :

Dans ce chapitre nous avons décrits les différents constituants entrant dans la composition d'un béton auto-plaçant tel que : (granulats, ciment, addition minérales, adjuvants et eau). Ainsi que leurs caractéristiques essentielles de chaque composant avec une description détaillée des modes opératoire pour chaque essai. Ces essais sont réalisés au niveau du laboratoire de génie civil à l'université Mohamed Boudiaf à M'sila.

III.2:Matériaux utilisés :

Dans cette partie, nous avons décrit les différents constituants entrant dans la composition d'un béton auto-plaçant tel que : (granulats, ciment, addition minérales, adjuvants et eau):

- ❖ Le sable d'origine siliceuse provenant de Oued Maiter de Boussaâda, M'sila.
- ❖ Deux fractions de gravier (**3/8, 8/16**) de la carrière (COSIDER).
- ❖ Ciment CPJ42.5 et provenant de la cimenterie Lafarge de Hammam Dalaa «M'Sila»
- ❖ Les adjuvants : **MEDAPLAST SP 40** (super-plastifiant), Granitex, Alger.
- ❖ **L'ajout 1**: le filler (farine de calcaire FC de fraction < à **0,08mm** de la carrière (COSIDER).
- ❖ **L'ajout 2**: le filler (fumée de silice FS de fraction < à **0,08mm**), Granitex, Alger.
- ❖ **L'ajout 3**: le filler (poudre de marbre pm de fraction < à **0,08mm**), l'usine de carrelage de Boussaâda.
- ❖ L'eau de gâchage et de conservation : eau potable de robinet du laboratoire de génie civil.

III.3 : Caractéristiques du sable utilisé :

III.3.1:Caractéristique chimique du sable :

La composition chimique de sable 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.

Elements	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.3.2:Essai d'analyse granulométrique [NF EN 933-1] :

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.

Tamis(mm)	Refus partiel(g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
5	0	0	0	100
2,5	55	55	2.75	97.25
1,25	82	137	6.85	93.15
0,63	100	237	11.85	88.15
0,315	1136	1373	68.65	31.35
0.16	523	1896	94.8	5.2
0,08	93	1989	99.45	0.55
Fond	7	1996	99.8	0.2

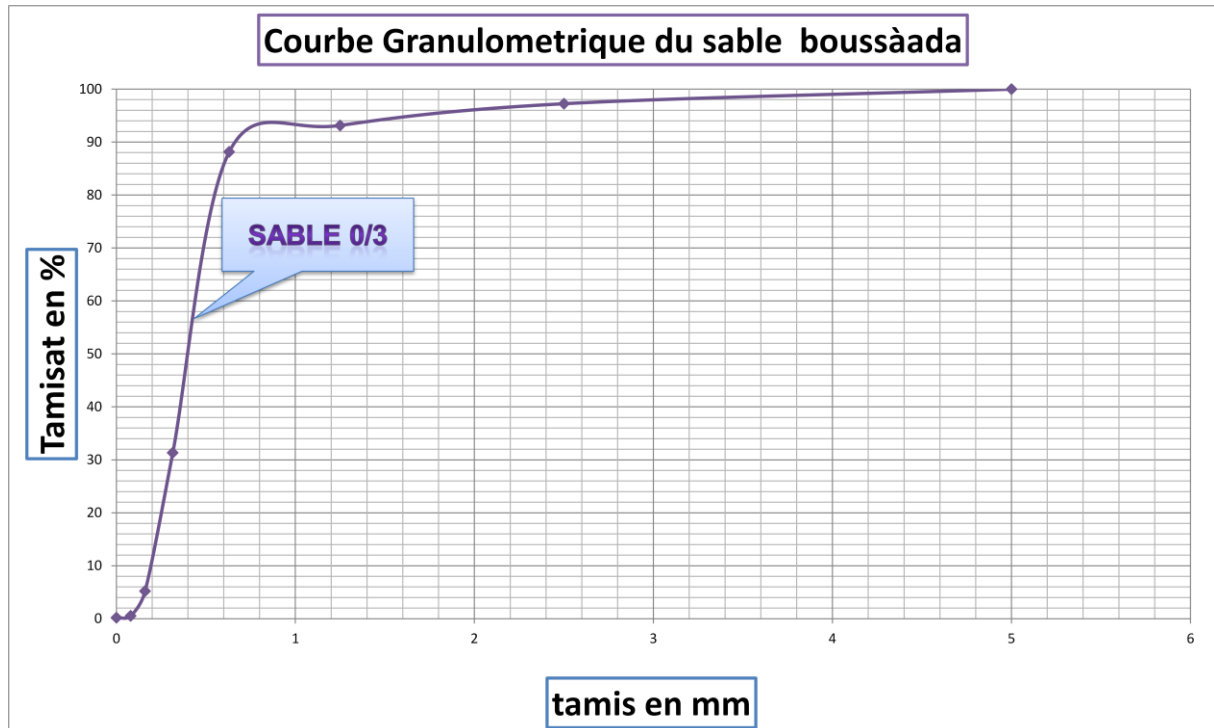


Figure III.1 : Courbe d'analyse granulométrique du sable de Boussaâda.

III.3.3: Module de finesse [NF EN 12620] :

Calculé par la relation suivante : $Mf = \sum R_c / 100$. Ou : R_c : refus cumulé.

Les normes soviétiques spécifient de M_f des sables comme suit :

- Sables gros $M_f > 2.5$, Sables fin $1.5 < M_f < 2$
- Sables moyen $2 < M_f < 2.5$, Sables très fin $1 < M_f < 1.5$

On se basant sur cette classification, on trouve le résultat suivant : $M_f = 1.85$. (Le sable utilisé est considéré comme un sable fin).

III.3.4: Caractéristiques physiques du sable utilisé :

III.3.4.1: Masse spécifique (absolue) [NF EN 1097-7]:

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

Tableau III.3 : La masse absolue de sable en (g/cm³).

Essai	M (g)	Ve (cm ³)	V (cm ³)	ρ_s Moy (g/cm ³)
1	300	300	415	2.62
2	300	300	415	
3	300	300	414	

III.3.4.2: Masse volumique apparente [NF EN 1097-6] :

a : Masse volumique à l'état lâche :

Qui est défini par : $\rho_{app} = (M_2 - M_1) / V_R$.

V_R : volume de récipient, M_1 : poids de récipient et les résultats en (Tableau III.4) :

Tableau III.4 : La masse volumique apparente à l'état lâche en (g/cm³).

Essais	M ₂ (g)	M ₁ (g)	V _R (cm ³)	ρ_{app} (g/cm ³)	ρ_{app} Moy (g/cm ³)
1	1427.4	104.3	900	1.47	1.48
2	1445.2			1.49	
3	1439.5			1.48	

b : Masse volumique à l'état compact :

Qui est défini par : $\rho_c = (M_2 - M_1) / V_r$, le (Tab. III.5) représente les résultats obtenus :

Tableau III.5: La masse volumique à l'état compact du sable en (g/cm³).

Essais	M ₁ (g)	M ₂ (g)	ρ_c (g/cm ³)	ρ_{cmoy} (g/cm ³)
1	104.3	1570.4	1.63	1.62
2		1561.7	1.61	
3		1566.8	1.62	

III.3. 4. 3: Porosité et compacité et indice des vides [NF EN 1097-3] :

Sont des propriétés essentielles, qui influent sur certaines caractéristiques telles que : la résistance mécanique et la capacité d'absorption d'eau (Tab III.6).

A/ la porosité par la formule : $P = (1 - \rho_{app} / \rho_{abs}) \cdot 100\%$

B/ la compacité par la formule : $C = \rho_{app} / \rho_{abs} = 1 - P$

C/ l'indice des vides par la formule : $e = P/C$

Tableau III.6 : Porosité, compacité et indice des vides.

Porosité P(%)		Compacité C(%)		L'indice des vides E	
Lâche	Compact	Lâche	compact	Lâche	Compact
43.08	37.5	56.92	62.5	0.75	0.60

III.3.4.4 : Equivalent de sable [NF EN 933-8] :

- Equivalent de sable visuel ($E_{S,V}$) : $E_{S,V} = (h_2 / h_1) * 100 (\%)$
- Equivalent de sable piston ($E_{S,P}$) : $E_{S,P} = (h_2' / h_1) * 100(\%)$

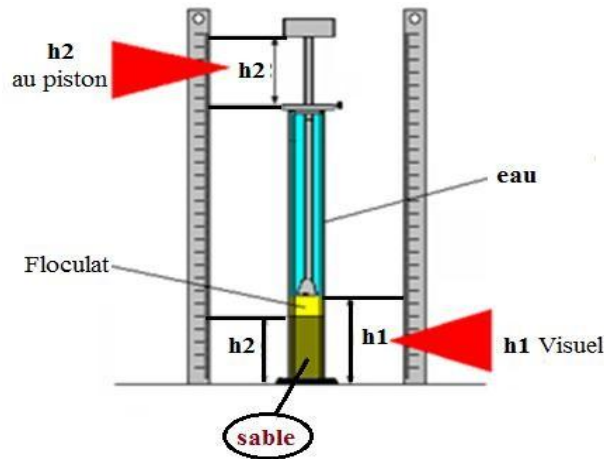


Figure III.2 : Principe de l'équivalent de sable.

Tableau III.7: La classification de la nature du sable en fonction de l'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 argileuses risque d'entraîne d'un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par augmentation du dosage en eau

Tableau III.8 : Résultats obtenus pour l'équivalent de sable.

Essais	h ₁ (cm)	h ₂ (cm)	E.S.V(%)	h ₂ '(cm)	E.S.P(%)
1	12.5	10.5	84	9.0	72
2	12	9.5	79.16	8.6	71.66
3	11.5	9.7	84.34	8.8	76.52

E.S.V(%) = (82.50)

E.S.P(%) = (73.39)

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

III.3.4.5 : Teneur en eau [NF P 18-555] :

Les résultats obtenus en (Tableau III.9). que : $W = [(M_h - M_s) / M_s] * 100$ (%)

Tableau III.9 : Teneur en eau de sable utilisé.

Essais	M _h (g)	M _s (g)	W (%)	W _{moy} (%)
1	400	298.8	0.33	0.33
2	400	298.9	0.33	
3	400	298.9	0.33	

III.3.4.6 : Absorption d'eau [NF P 18-555] :

Les résultats obtenus en (Tableau III.10). que : $A = [(M_2 - M_1) / M_1] * 100$ (%)

Tableau III.10 : Absorption d'eau de sable utilisé.

Essais	M ₁ (g)	M ₂ (g)	A(%)	A _{moy} (%)
1	400	488	22	23
2	400	490	22.5	
3	400	498	24.5	

III.4 : Caractéristique du gravier utilisé :

III.4.1 : Origine du gravier utilisé :

Le gravier de base utilisé dans la confection du béton est obtenu, par concassage de la roche d'une carrière située à 25Km de M'sila, en allant vers B.B.A (carrière COSIDER).

Les fractions des graviers utilisés sont :

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

III.4.2 : Analyse granulométrique [NF EN 933-5]:

Les résultats indiqués au (Tab III.11 et III.12) :

→ Fraction **3/8**. → $M_{G3/8}=1.5 \text{ kg}$.

Tableau III.11 : Analyse granulométrique du gravier fraction (3/8).

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés (g)		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
8	15.66	15.66	1.04	98.99
6,3	183.33	198.99	13.26	86.74
5	412.66	611.65	40.77	59.23
4	453.66	1065.31	71.02	28.98
3,15	272.66	1337.97	89.19	10.81
2,5	91	1428.97	95.26	4.74
Fond	70.66	1499.63	99.97	0.03

→ Fraction **8/16** → $M_{G8/16}=2 \text{ kg}$.

Tableau III.12 : Analyse granulométrique du gravier fraction (8/16).

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés (g)		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
16	49	49	2.45	97.55
12.5	424	473	23.65	76.35
10	1016	1489	74.45	25.55
8	419.66	1908.66	95.43	4.57
6.3	76	1984.66	99.23	0.77
5	8	1992.66	99.63	0.37
Fond	6	1998.66	99.93	0.07

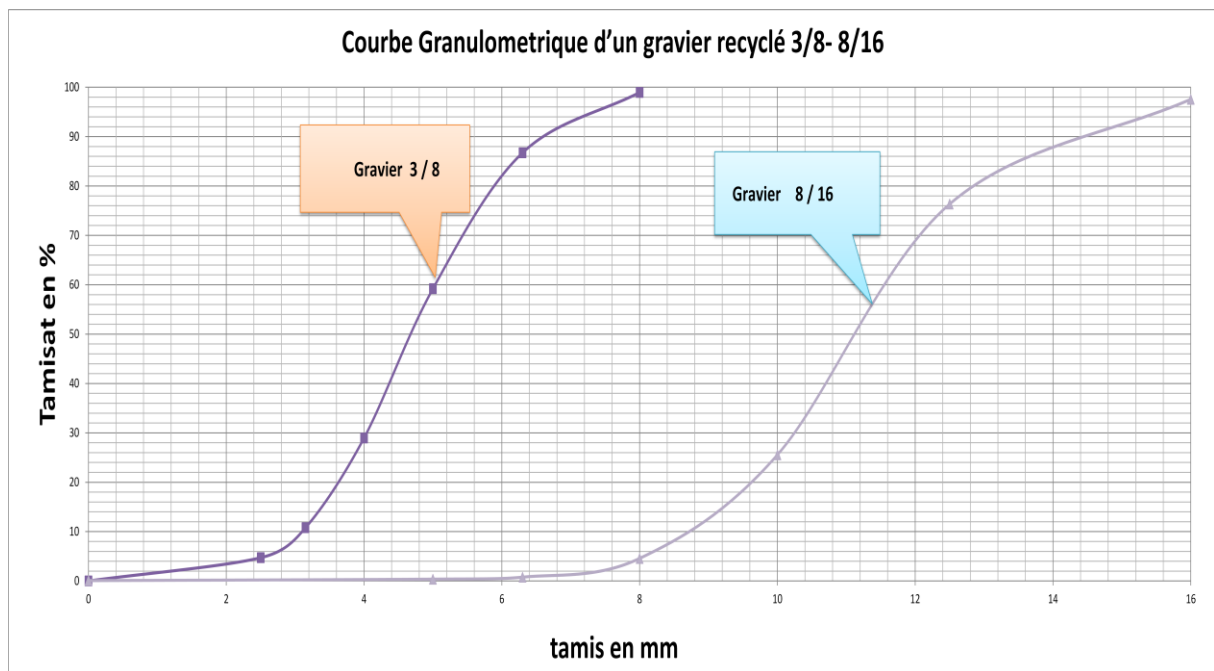


Figure III.3 : Courbe analyse granulométrique d'un gravier recyclé de deux fraction (3/8, 8/16).

III.4.3 : Les caractéristiques physiques des graviers utilisés :

III.4.3.1 : Masse volumique apparent [NF P 18-554] :

Est déterminée par la formule suivante : $\rho = (M_2 - M_1) / V$

Les résultats sont regroupés dans le (Tableau III.13).

Tableau III.13 : Masse volumique apparente du gravier .

Gravier	V(l)	M ₁ (Kg)	M ₂ (Kg)	ρ (kg/l)	ρ _{moy} (kg/L)
3/8	7	2.923	12.567	1.37	1.39
		2.923	12.811	1.41	
		2.923	12.691	1.39	
8/16	10	3.468	17.257	1.37	1.38
		3.468	17.302	1.38	
		3.468	17.370	1.39	

III.4.3.2 : Masse volumique absolue :

Est déterminée par la formule suivante : $\rho_s = M / V_1$, $M=400g$, $V_1 = V - V_e$,

Les résultats sont regroupés dans le (Tableau III.14).

Tableau III.14 : La masse volumique absolue du gravier .

Gravier	Essais	M(g)	V _e (cm)	V (cm)	ρ (g/cm ³)	ρ _{moy} (g/cm ³)
3/8	1	400	400	549	2.68	2.67
	2	400	400	549	2.68	
	3	400	400	550	2.65	
8/16	1	400	400	548	2.70	2.68
	2	400	400	550	2.66	
	3	400	400	549	2.68	

III.4.3.3 : Compacité, porosité et l'indice de vide [NF EN 1097-4] :

On calcule les paramètres (Tableau III.15) est les mêmes formules que le sable.

Tableau III.15 : Porosité, compacité et l'indice des vides.

Fraction du gravier	Porosité P (%)	Compacité C (%)	L'indice des vides (e)
3/8	47.94	52.06	0.92
8/16	48.65	51.35	0.94

III.4.3.4 : Teneur en eau du gravier [NF EN 1097-6] :

Les résultats obtenus en (Tableau III.16). que : $W = [(M_h - M_s) / M_s] * 100$ (%)

Tableau III.16 : Teneur en eau des graviers .

Gravier	M _h (g)	M _g (g)	W(%)	W _{moy} (%)
3/8	500	499.6	0.08	0.10
	500	499.1	0.18	
	500	499.7	0.06	
8/16	600	599.3	0.11	0.14
	600	599.1	0.15	
	600	599	0.16	

III.4.3.5 : Absorption d'eau [NF EN 1097-6] :

Les résultats obtenus en (Tableau III.17). que : $A = [(M_2 - M_1) / M_1] * 100$ (%)

Tableau III.17 : absorption d'eau des graviers.

Gravier	M ₁ (g)	M ₂ (g)	A(%)	A _{moy} (%)
3/8	500	506	1.2	1
	500	505	1	
	500	504	0.8	
8/16	500	503	0.6	0.8
	500	505	1	
	500	504	0.8	

III.4.4: Les caractéristiques mécaniques des graviers utilisés :

III.4.4.1: Essai Los Angeles [NF EN 1097- 2] : [29]

La résistance à la fragmentation par chocs s'exprime par la quantité sans dimension est appelée, par définition, coefficient Los Angeles du matériau (Figure III.4), que : $L_A = (m/M) * 100$.



Figure III.4: Appareil de l'essai Los Angeles.

Tableau III.18 : Caractéristiques mécaniques du gravier.

Gravier	Masse initiale M (kg)	Masse m (kg)	Coeff de los Angeles L_A (%)
3/8	5	1.016	20.32
8/16	5	1.026	20.52

Le (Tableau III.19) représente la classification des roches en fonction du coefficient de Los Angeles. [29]

Tableau III.19 : Classification des roches en fonction du coefficient L_A .

Coefficient L_A	Nature de los Angeles L_A
<20	Très dure
20 à 25	Dure
25 à 30	Assez dure
30 à 40	Mis dure
40 à 50	Tendre
<50	Très tender

Commentaire :

- Le gravier (3/8) : C'est un gravier **dur** ($L_A=20.32\%$) ($20 < L_A < 25$).
- Le gravier (8/16) : c'est un gravier **dur** ($L_A=20.52\%$) ($20 < L_A < 25$).

Le gravier se trouve dans l'intervalle des graviers admissible.

III.5:Caractéristiques du ciment utilisé :

Le ciment de base utilisé dans notre recherche, est un ciment portland composé de classe **42.5** provient de la cimenterie de Lafarge de M'sila.

III.5.1 : Caractéristiques physiques du ciment utilisé (CEM III/A 42.5N-ES-)[EN 196-1]:

Le ciment utilisé dans cette recherche est un ciment portland composé de classe **42.5** provient de la Cimenterie Lafarge de M'sila. [29]

Tableau III.20 : Caractéristiques physiques du (CEM III/A 42.5N-ES-).

Les Caractéristiques physiques		Unite	Valeur
Masse volumique absolue		g/cm ³	3.1
Consistance normale		%	26 -28
La finesse (Blaine)		Cm ² /g	4000 – 4200
le Chatelier	Afroid	mm	00
	A chaud		2
Temps de prise	Début	H : Min	2:30
	Fin		3:30
Résistance à la compression	2 jours	MPa	18
	7 jours		32
	28 jours		PLUS DE 42.5

III.5.2 : Caractéristiques chimiques du ciment utilisé (CEM III/A 42.5N-ES-) :

Tableau III.21 : Les compositions chimiques du (CEM III/A 42.5N-ES-).

Oxyde	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	So ₃	Na ₂ O
Teneur%	20.7	4.75	62.92	3.75	1.90	1.98	0.09

III.5.3 : Les caractéristiques minéralogiques du (CEM III/A 42.5N-ES-) :

Tableau III.22 : Les compositions minéralogiques du (CEM III/A 42.5N –ES-).

Eléments	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	Laitier
Teneur %	59	14	6	10	>60

III.6:Les Adjuvants :**III.6.1 : Description MEDAPLAST SP 40 de GRANITEX (super-plastifiant).**

Le MEDAPLAST SP 40 est un super-plastifiant haut réducteur d'eau, permettant d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité [29]

En plus de sa fonction principale de super plastifiant, il permet de diminuer considérablement la teneur en eau du béton [29]

Il peut être utilisé dans plusieurs domaines, Son utilisation permet :

A- sur le béton frais :

- Amélioration de la fluidité.
- Augmenter la maniabilité
- Réduire l'eau de gâchage
- Eviter la ségrégation
- Faciliter la mise en œuvre du béton.

B- sur le béton durci :

- Augmenter la résistance mécanique même à jeune âge
- Diminuer la porosité
- Augmenter la durabilité
- Diminuer le retrait

III.6.2 : Caractéristiques:

Les Caractéristiques du MEDAPLAST SP 40 sont regroupées dans le tableau suivant. [29]

Tableau III.23: Caractéristiques du MEDAPLAST SP 40

nature	couleur	ph	densité	Teneur en chlore	Extrait sec
liquide	marron	8.2	1.20±0,01	< 1g/L	40%

III.6.3 : Dosage :

La plage de dosage recommandée est : 0,6 à 2,5% du poids de ciment, soit 0,5L à 2, L pour 100 kg de ciment.

Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés. . [29]

III.7:L'eau de gâchage :

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

III.7.1 : Caractéristiques chimiques de l'eau utilisée :

Etablie au laboratoire de chimie de l'université de M'sila. Elle est donnée par le (Tableau III.24) :

Tableau III.24 : 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 Mg^{2+}	110.8
Sodium Na^+	/
Calcium Ca^{2+}	267.2
Sédiment sec	1412
Rééligibilité d'oxydation en eau	1024

III.8: Les fillers utilisés :**III.8.1 : Fumée de silice (FS):**

sont des substances minérales composée essentiellement de silice du couleur gris clair comme le ciment, que possède une propriété pouzzolanique. Grace à la structure fine de la fumée de silice (**10 à 20 fois** que le ciment) (**Figure III.5**).



Figure III.5 : Poudre de la fumée de silice.

III.8.1 .1 : Caractéristiques chimiques et physiques de la fumée de silice:

Tableau III.25 : Caractéristiques chimiques et physiques de la fumée de silice.

Analyse chimique		Analyse physique		
Oxydes	% Massique	Désignation	Valeurs	Unité
SiO ₂	85 – 95	Masse volumique absolue	2.2	g/cm ³
CaO	0.8 – 1.2	Densité	250	Kg/cm ³
MgO	1 – 2			
Fe ₂ O ₃	0.05 – 1	Surface spécifique de Blaine	15000	m ² /Kg
Al ₂ O ₃	1 – 3	Taille des particules	<1	/
Pert de feu	0.5 – 1			µm

III.8.2: Filler de calcaire:

La poussière émanant de l'exploitation de la roche calcaire est appelée 'filler calcaire'

(Figure III.6).



Figure III.6 : filler calcaire.

III.8.2.1 : Caractéristiques physiques et chimiques du filler de calcaire :

La composition chimique et les propriétés physiques du filler calcaire sont présentées dans le (Tableau III.26).

Figure III. 26 : composition chimique et les propriétés physiques du filler calcaire.

Analyse chimique		Analyse physique		
Oxydes	% Massique	Désignation	Valeurs	Unité
CaO	55,91	Densité absolue	2.45	g/cm ³
Al ₂ O ₃	0,11	Densité apparente	0.86	g/cm ³
Fe ₂ O ₃	0,06	S.S.B	7581	cm ² /g
SiO ₂	0,40	D ₁₀	1.1	µm
MgO	0,18	D ₅₀	4.06	µm
Na ₂ O	0,05	D ₉₀	28.67	µm
K ₂ O	0	I ₂₈	0.74	/
Cl ⁻	0,009	I ₉₀	0.76	/
SO ₃	0,04			
P-A-F (1000°C)	42,68			

III.8.3 : Poudre de marbre :

Le marbre est une roche métamorphique dérivant par écrasement, élévation de température de roche calcaire composé de calcite et de couleur blanche à l'état pur (Figure III.7).



Figure III.7 : Poudre de marbre.

III.8.3.1 : Caractéristiques physiques et chimiques du marbre :

Caractéristiques physiques de ce filler (marbre) sont présentées au (Tableau III.27) :

Tableau III.27 : Caractéristiques physiques du marbre.

Propriété physiques	Fine marbre
Masse volumique apparent (g/cm^3)	0.83
Densité	2.67
Surface spécifique Blaine (cm^2/g)	448

Composition chimique est établie à la cimenterie Lafarge de M'Sila. Elle est donnée par le tableau suivant :

Tableau III.28 : Caractéristiques chimiques du marbre.

Analyse chimique	Fines marbre
SiO₂	1.47
CaO	55.3
MgO	0.01
Fe₂O₃	0.14
Al₂O₃	0.35
Na₂O₃	0.12
K₂O	0.04
So₃	0.01
Pert de feu	42.56

III.9 : Conclusion :

Ce chapitre est destiné à la caractérisation des matériaux utilisés (Ciment, fumée de silice, filler calcaire, poudre de marbre, super-plastifiant, sable et gravier). Les résultats obtenus d'après les essais exécutés au laboratoire de génie civil à l'université de M'sila pour la confection du béton de notre programme expérimental des différentes propriétés chimiques, physiques et mécaniques sont présentées.



CHAPITRE IV : **Techniques Expérimentales**

Chapitre IV : Techniques Expérimentales

IV.1: Introduction :

La partie expérimentale est une continuité de la partie théorique pour équilibrer le plan de travail et définir les différentes techniques expérimentales. Dans cette partie nous avons indiquée d'une façon principale la formulation utilisée pour le calcul de dosage d'un BAP, ainsi que la mise en œuvre et essais essentiels soit à l'état frais ou durci pour caractérisée ce type de béton qui on a choisir. Ces essais on à effectuée dans un laboratoire équipée au niveau de l'université de M'sila.

IV.2 : Calcul des constituants d'un BAP:

Pour la formulation du béton auto-plaçant nous adaptons une formulation empirique selon les recommandations de l'AFGC [30] qui recommande des valeurs limites des constituants des BAP:

- **Les données de base:**
 - On a choisi: $G/S=0.9$. Ou $G/S=1$.
 - On fixe le rapport $E/C =0,5$.
 - Le dosage en super-plastifiant est donné selon la fluidité (donné par l'essai d'étalement). on vise un étalement de **600 à750mm**.
- **Optimisation de la composition du BAP**
 - Le volume de la pâte pour $1m^3$ du BAP égale à : $368 l/m^3$.
 - **420 kg/du ciment.**
 - **42 kg/d'addition** (fumée de silice, calcaire, poudre de marbre) (10% du poids du ciment).
 - $E/C=0, 5$.
 - $G/S=1$
- **Détermination de la masse de chaque constituant:**
 - On a: $C=420 kg /m^3$.
 - $f_{in} = 40kg /m^3$
 - $E/C = 0,5$ donc $E=0,5*(420)$, $E= 210L/m^3$.
 - Le dosage en super-plastifiant est 2% de la masse du ciment.
 - $SP=0.02(420)$.
 - $SP=8, 4kg /m^3$.

- Les masses des constituants pour 1m^3 du BAP sont :

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

Constituants	Quantité(kg /m ³)
Sable	823
Gravier 3/8	420
Gravier 8/16	421
Ciment	420
Eau	210
Super plastifiant	8.4
Fin	42

IV.3 : Préparation de mélange :

La préparation du béton auto-plaçant demande plus d'attention et de précision que la préparation d'un béton ordinaire. Pour parvenir à effectuer plusieurs essais sur le béton frais, il faut suivre une certaine méthodologie.

Le premier paramètre à prendre en compte est la capacité du malaxeur utilisé.

Après avoir déterminé les proportions de chaque constituant on suit le mode opératoire suivant:

- Vérifier en premier le nombre et l'état des moules prismatiques et cubiques nécessaires pour les essais. Ces derniers doivent être graissés à l'aide d'une huile pour faciliter le décoffrage.
- Réunir tout le matériel nécessaire pour effectuer les essais.
- Vérifier que les matériaux ne sont pas humides, sinon les sécher préalablement dans l'étuve.
- Préparer la quantité d'eau nécessaire pour la gâchée. Le super-plastifiant est ajouté à un quart de l'eau de gâchage.
- Peser les matériaux secs (gravier, sable, ciment, marbre) et les introduire dans le malaxeur.
- Mettre le malaxeur en marche pour homogénéiser le mélange sec.
- Laisser le malaxeur en marche et ajouter progressivement la première un quart de l'eau de gâchage (celle qui contient l'adjuvant).
- Ajouter la trois quarts d'eau graduellement.
- 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.

IV.4: Conservation des éprouvettes :

Après le gâchage pour un béton BAP, les moules sont conservés dans une pièce à température ambiante, et démoulés après 24h.

Une fois démoulés, pour assurer un bon mûrissement du béton, les éprouvettes sont conservées dans un bac d'eau à une température de 20°C, ceci permet d'éviter les pertes d'eau, et de garantir le déroulement normal du processus d'hydratation du ciment (**Figure IV.1**).

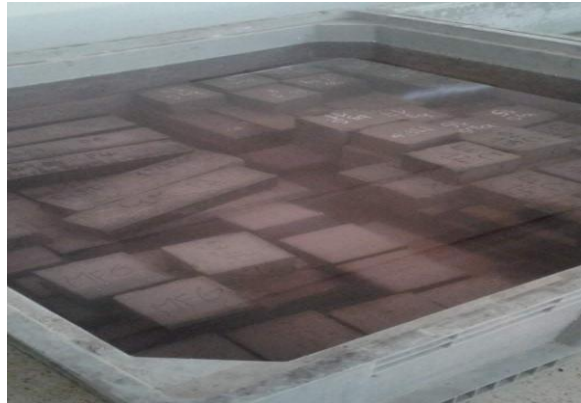


Figure IV.1: Conservation des éprouvettes.

Finalement pour les éprouvettes qui vont être exposées à une température élevée après plus de 30 jours de cure à l'eau et après passage à l'étuve pour 24h les éprouvettes ont été exposées à une température élevée variante de 20°C, 100°C, 200°C, 400°C et 600°C avec une vitesse de la montée en température de 10°C/min et un maintien de température dans le four à moufle pendant 1heure. Le procédé expérimental appliqué repose sur un chargement thermique puis mécanique (**Figure IV.2**).



Figure IV.2 : Le four utilisé pour la montée en température.

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

Les essais proposés par L'AFGC qui servent actuellement de référence à défaut d'être normalisés. Les résultats de ces essais permettent de donner une vision qualitative pour les BAP.

Trois principaux essais permettent de caractériser et de contrôler la rhéologie des BAP :

- Mobilité en milieu non confiné (décrite par l'essai d'étalement au cône d'Abrams).
- Mobilité en milieu confiné (décrite par l'essai d'écoulement à la boîte en L).
- Stabilité (résistance à la ségrégation décrite par l'essai de stabilité au tamis).

IV.5.1 : Essai d'étalement au cône d'Abrams [NF EN 12 350-8]:

La fluidité des BAP peut être caractérisée par la mesure de l'étalement au cône d'Abrams (essai d'étalement ou slump flow). Des valeurs cibles de l'ordre de 600 à 750 mm correspondent à l'étalement moyen conseillé d'un BAP. La valeur cible d'étalement doit être définie en fonction des caractéristiques de la formulation et des conditions et méthodes de mise en œuvre. Cet essai caractérise la mobilité du BAP en milieu non confiné. Il permet en particulier de vérifier la fluidité du béton lors de sa réception sur chantier [26](Figure IV.3)

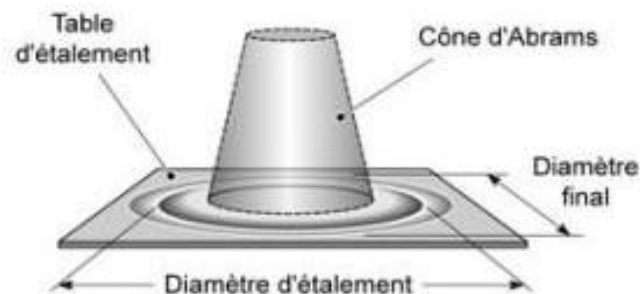


Figure IV.3 : Essai d'étalement par cône d'Abrams sur les BAP.

➤ Matériel nécessaires :

- Plateau équipé en partie supérieure d'une plaque métallique plane (type table DIN) constituant un carré d'au moins 90 cm de côté
- Cône d'Abrams disposant d'un empattement à sa base afin qu'il puisse être maintenu contre le plateau avec les pieds par l'opérateur.
- Mètre ou règle de 90 cm.

➤ Mode opératoire :

- S'assurer que le plateau est placé sur un support stable et horizontal.
- Humidifier la surface de la plaque (éliminer l'eau en excès avec un chiffon).
- Placer et centrer le cône d'Abrams sur le plateau.
- Prélever un échantillon de béton représentatif.

- Equiper la partie supérieure du cône d'un entonnoir. Remplir le cône en déversant de manière continue, jusqu'à l'ara supérieure du cône.
- Retirer l'entonnoir, araser si nécessaire à l'aide d'une truelle et nettoyer la plaque si nécessaire avec un chiffon humide.
- Soulever le cône verticalement à l'aide des deux poignées.
- Une fois que le béton s'est étalé sur la table, mesuré (au centimètre le plus proche) le diamètre final (D final) sur deux côtés perpendiculaires.
- Noter le résultat des deux valeurs. Exemple: (68/70cm). Si les deux valeurs différentes de plus de 5 cm, l'essai doit être invalidé et reconduit.
- Exprimer le résultat final en termes de moyenne des deux valeurs obtenue, en arrondissant au centimètre supérieur. [31]

IV.5.2 : Essai de stabilité au tamis [NF EN 12 350-11]:

Cet essai permet d'étudier la résistance à la ségrégation et au ressuage du BAP, qui doit être stable sous l'effet de la gravité. Il consiste à déverser une quantité de béton (2 litres) sur un tamis (de maille 5 mm) avec une hauteur de chute de 50 cm.

Le pourcentage en poids de laitance ayant traversé le tamis par rapport au poids de l'échantillon initial exprime la stabilité du béton. Ce rapport doit être compris entre 10 % et 20 % [26] (Figure IV.4).



Figure IV.4 : Essai de stabilité au tamis.

➤ Matériel utilisé :

- Seau de 10 L + couvercle
- Tamis 5 mm diamètre 315 mm + fond
- Balance : précision minimale 20 g, portés minimaux 20kg.

➤ Mode opératoire :

- Echantillonnage :
- En laboratoire : Malaxer, versé directement 10 litres de béton dans le seau.

- Temps d'attente entre l'arrêt du malaxeur et le prélèvement <30s.
 - Sur chantier, BPE amené par camion malaxeur : Malaxer à grande vitesse pendant 1 minute.
 - Remplir le seau avec 10 litres de béton directement depuis la goulotte du camion.
 - Sur chantier avec centrale, mise en œuvre à la benne : Prélever 10 L de béton en tête de benne à la main écope pour remplir le seau.
 - Couvrir le seau pour protéger le béton de la dessiccation.
 - Attendre 15 mn.
 - Peser le fond et le tamis à vide.
 - Peser le fond seul.
 - Poser tamis+fond sur la bascule.
 - Faire la tare.
 - Observer et noter l'éventuelle présence d'eaux claires de ressuage à la surface du seau après les 15mn.
 - Verser sur le tamis un poids de béton égal à 4,8 kg - tolérance ± 0.2 kg ; verser ce béton au centre du tamis : hauteur de chute du béton de 50 cm ± 5 cm.
 - Noter le poids réel lu de l'échantillon.
 - Attendre 2 mn.
 - Faire la tare.[31]
 - **Peser le fond avec la laitance :**
 - On a : $P_{\text{laitance}} = P_{\text{(fond + laitance)}} - P_{\text{fond}}$
 - Calculer le pourcentage en poids de laitance par rapport au poids de l'échantillon.
 - $\delta = (P_{\text{laitance}}/P_{\text{échantillon}})*100$
 - **Critères d'acceptabilité :**
 - Les critères qui suivent sont particulièrement adaptés aux applications de béton auto-plaçant en éléments verticaux. La mesure de pourcentage de laitance conduit à classer les formules de béton auto-plaçant de la façon :
 - $0\% \leq \% P_{\text{laitance}} \leq 15\%$ **stabilité satisfaisante.**
 - $15\% < \% P_{\text{laitance}} \leq 30\%$ **stabilité critique** (essai de ségrégation à réaliser in situ).
 - $\% P_{\text{laitance}} > 30$ **stabilité très mauvaise** (ségrégation systématiquement, béton inutilisable). 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. [26]

IV.5.3 : 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.5**) et de vérifier que la mise en place du béton ne sera pas contrariée par des phénomènes de blocage inacceptables [26].

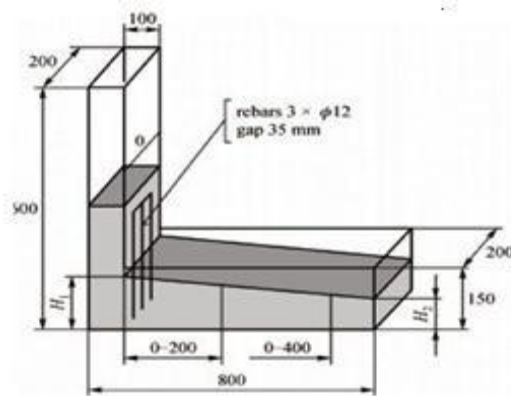


Figure IV.5 : Boîte en L pour le béton auto-plaçant.

➤ Mode opératoire :

- La partie verticale de la boîte est entièrement remplie de béton (le volume nécessaire est d'environ 13 litres). Après arasement, on laisse le béton reposer pendant une minute. Puis on lève la trappe et on laisse le béton s'écouler dans la partie horizontale de la boîte en L à travers le ferrailage. La distance libre entre les bares est de 39mm.
- Quand le béton ne s'écoule plus, on mesure les hauteurs H_1 et H_2 (Figure IV.3) et on exprime le résultat en terme de taux de remplissage H_2/H_1 .
- Lorsque le béton s'écoule mal à travers le ferrailage et qu'il se produit un amoncellement de granulat en aval de la grille, c'est le signe d'un problème de blocage ou de ségrégation.
- A noter que les temps nécessaires pour des écoulements horizontaux respectifs de 20 cm et 40 cm (à matérialiser sur le fond de la boîte en L) peuvent être mesurés pour estimer la viscosité du béton. [31]

IV.5.4 La masse volumique du béton auto-plaçant [NF EN 12 350-6] :

- Les éprouvettes essuyées et nettoyées sont pesées avec une erreur inférieure à 1/1000. La masse volumique est alors calculée en divisant la masse sur le volume de l'éprouvette.
- C'est-à-dire : $\rho = M/V$.
- La masse volumique exprimée en kg/dm^3 .

IV.6 : Essais de caractérisations du béton auto plaçant à l'état durci :

IV.6.1 : Essai de compression [NF EN206-1] :

Le but est de déterminer la résistance à la compression du béton.

L'essai se fait sur une éprouvette cylindrique de dimensions normalisées et d'élanement de 2 ($H = 2 \varnothing$) ou éprouvette cubique $10 \times 10 \times 10$. (Figure IV.6)

La résistance sera : $G = \frac{F}{S}$

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



Figure IV.6 : Essai de compression.

IV.6.2 : Essai de traction par flexion [NF P18-408] :

Cet essai pour but de déterminer la résistance à la traction du béton. C'est un essai de traction par flexion qui consiste à écraser un prisme (7x7x28) de béton placé horizontalement entre deux plateaux d'une presse. (Figure IV.7)



Figure IV.7 : Principe de l'essai traction par flexion.

IV.6.3 : Essais de dureté par rebondissement (scléromètre) [NF EN 12398]:

Cet essai est mesure la " dureté au choc" du béton au voisinage de la surface (Indice sclérométrique).

Cet indice, reporté sur abaque, permet de déduire la résistance à la compression du béton testé (Figure IV.8).



Figure IV.8 : Principe de l'essai scléromètre.

IV.6.4 : Ultrason [NA 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.9**).

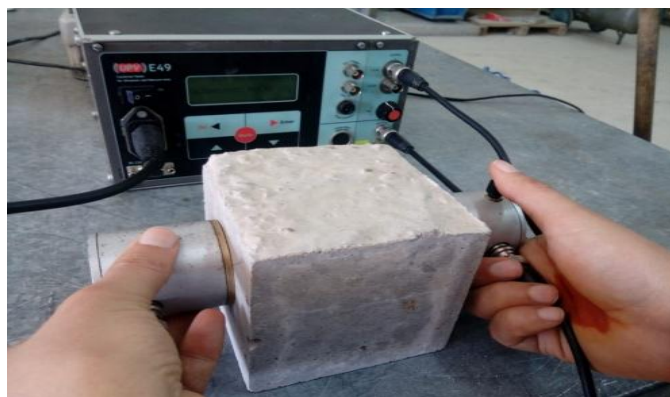


Figure IV.9 : Appareil ultrason.

IV.6.5 : Mesure de la perte de masse :

Cette partie d'étude a eu pour but d'évaluer les quantités de l'eau libre présente dans les matériaux testés. Elle permet également d'observer les cinétiques du processus de séchage et de déshydratation des BAP. Les mesures sont réalisées sur les bétons avant et après l'essai d'échauffement stationnaire. Les peser a été effectué avec une balance de résolution 0,1g.

$$\text{Perte de masse } (\Delta M) : \Delta M = (M_0 - M_1) / M_0 \times 100\%$$

IV.6.6 : Mesure de la porosité à l'eau (P_{eau}) [NF P 18 459] :

Pesée hydrostatique : M_{eau} = masse en grammes pesées sous l'eau.

Pesée dans l'air de l'éprouvette saturée d'eau M_{sat} .

Séchage à $T^\circ = 105^\circ\text{C}$ jusqu'à masse constante (2 pesées espacées de 24 h ne s'écartent pas plus de 0.05%) (**Figure IV.10**).

Pesée dans l'air de l'éprouvette sèche M_{sec} .

Calcul de la porosité accessible à l'eau :

$$P_{eau} = \frac{M_{sat} - M_{sec}}{M_{sat} - M_{eau}} \times 100$$



Figure IV.10 : Essai de porosité à l'eau.

IV.7 : Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons décrit tous les essais réalisés, soit à l'état frais ou durci, une description sur le protocole de conception de ce type de béton ainsi que les formules de calcul et les critères fondamentaux de chaque essai.

A decorative orange scroll graphic with a gradient from light to dark orange. It has a vertical strip on the left side and rounded corners. The text is centered on the scroll.

CHAPITRE V :

Résultats et discussions

Chapitre V : Résultats et discussions

V.1: Introduction :

Cette étude a pour objectif d'évaluer les propriétés physico-mécaniques d'un béton auto plaçant avec l'ajouts de trois types de fillers (poudre de marbre, filler de calcaire et fumée de silice) avec un pourcentage de 10 % de chaque addition, pour voir l'influence des additions sur les propriétés du béton auto plaçant à l'état frais et à l'état durci et l'évaluation de la qualité de béton auto plaçant exposé à haute température au moyen des essais non destructifs et essaie direct.

V.2 : Les formulations des bétons étudiés :

Les formulations des bétons réalisés sont les suivantes :

BAP T → Béton auto plaçant témoin sans filler.

BAP 1 → Béton auto plaçant avec l'ajout de **10%** filler de marbre.

BAP₂ → Béton auto plaçant avec l'ajout de **10%** filler de calcaire.

BAP 3 → Béton auto plaçant avec l'ajout de **10%** fumée de silice.

A partir des mélanges obtenus, il faut procéder à différents essais afin de caractériser les BAP confectionnés. Pour cela, nous utilisons les tests recommandés par l'AFGC [30].

V.3 : Résultats des essais à l'état frais:

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

- **Essai cône d'Abrams** (essai d'étalement).
- **Essai boîte en L** (contrôlé l'écoulement).
- **Essai de stabilité au tamis** (pour étudier la ségrégation).

Les résultats des bétons à l'état frais sont représentés au tableau suivant :

Tableau V .1 : Résultats d'essais sur le béton frais

Type de béton	L'étalement (mm)	Stabilité de tamis (%)	Boîte en L (H2/H1)	Masses volumiques de béton (kg/m ³)
BAB T	690	14.18	91	2.335
BAP 1	730	7.70	81.25	2.376
BAP 2	725	7.20	80	2.356
BAP3	680	10.04	88.9	2.476

D'après les résultats obtenus dans le tableau (Tableau V.1), on note que les étalements des bétons auto plaçant sont supérieurs à **60 cm**, le taux de remplissage de la boîte en L de l'ordre minimum **80%**, la plus part des **BAP** réalisés ont une valeur de laitance qui est inférieure à **15%** selon le critère d'acceptabilité, donc, on peut déduire que la stabilité au tamis est considérée comme satisfaisante.

V.3.1 : Essai d'étalement au cône d'Abrams [NF EN 12 350-8]:

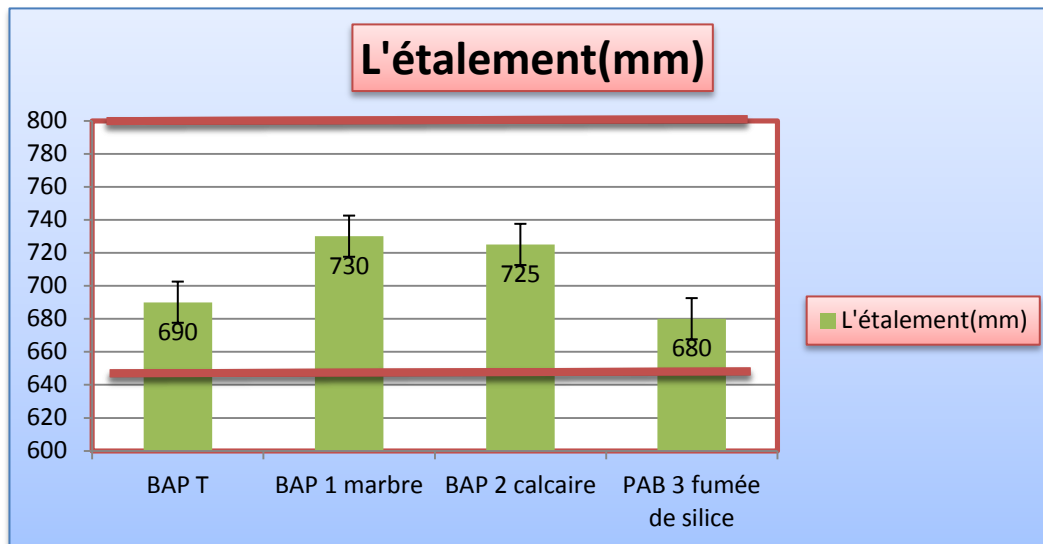


Figure V.1 : l'étalement en fonction de type de béton.

D'après les résultats dans la (figure V.1) ci-dessus, on constate une légère amélioration d'étalement de l'ordre de **6 %** dans la formulation contenant de **PM** et **5%** dans la formulation contenant de **FC**, par rapport au béton témoin **BAP T**.

Pour un **BAP** contenant de **FS**, Affiche une réduction (**1.45%**) en comparaison avec le **BAP T**.

Aussi, on voit clairement que l'étalement de BAP avec les additions de (FC et PM) est supérieur à celle de BAP à base de fumée de silice (FS), ceci peut être expliqué par le fait que l'utilisation de la fumée de silice FS augmente la demande en eau.

Les meilleures valeurs obtenues des bétons reviennent à leurs enrichissement et homogénéités par les fines (le mélange utilisé et relativement modifié pour diminuer le frottement entre les grains sans ressuage et ségrégation, sans oublier le rôle de remplissage des vides par les fillers).

V.3.2 : Essai de stabilité au tamis:

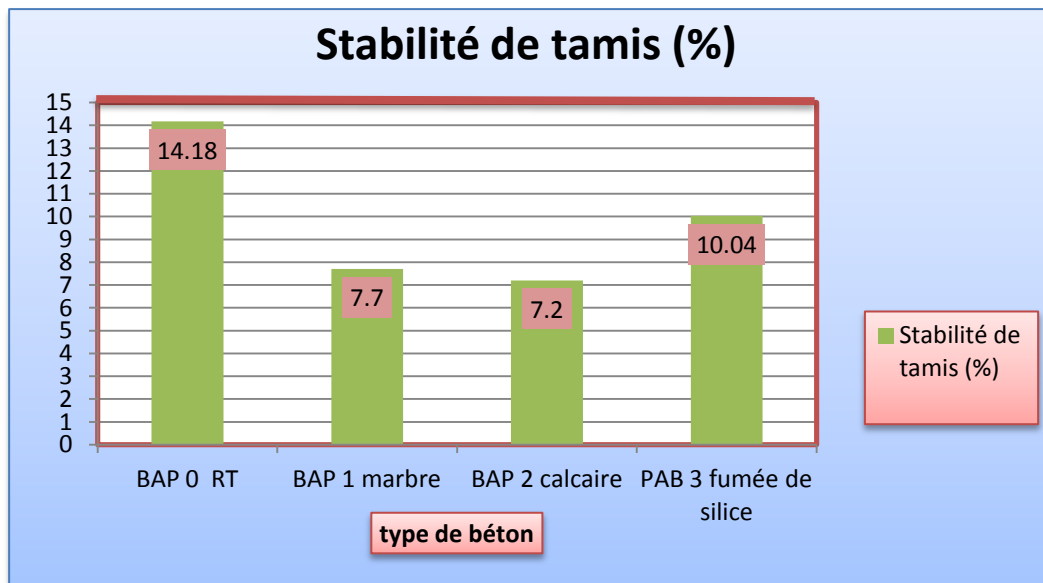


Figure V .2 :L'indice de ségrégation en fonction de type de béton.

D'après la (figure V.2), la majorité des bétons réalisés indiquent une bonne stabilité au tamis et une bonne homogénéité sans ségrégation statique. En effet, la quantité de laitance est située dans le domaine des **BAP** dictée par les normes (soit inférieure légèrement à **15%**).

Lorsque le **BAPt** enregistre une valeur plus élevée qui atteint un maximum de (**14.18** %). On peut justifier ce résultat par influence des grains fins et le rôle de super plastifiant qui diminue la quantité d'eau dans les bétons et défloculation des grains.

V.3.3 : Essai de la boîte en L :

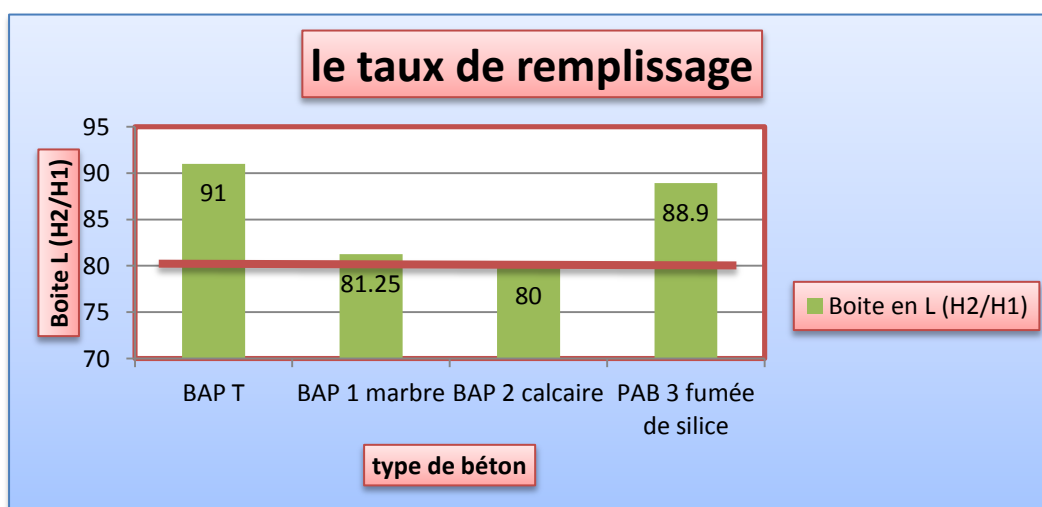


Figure V .3 : Le taux de remplissage en fonction de type de béton.

Les résultats obtenus par l'essai de la boîte en L sont présentés sur la (**figure : V.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 auto-plaçant.

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 facilité par la présence de la silice qui existe dans la poudre de la fumée de silice, sans oublier l'absorption élevée de fumée de silice par rapport à filler calcaire et poudre de marbre sans omettre que l'augmentation de l'absorption est en fonction de la finesse, ce qui traduit la variation de la fluidité et l'aisance d'écoulement.

V.3.4 : La masse volumique :

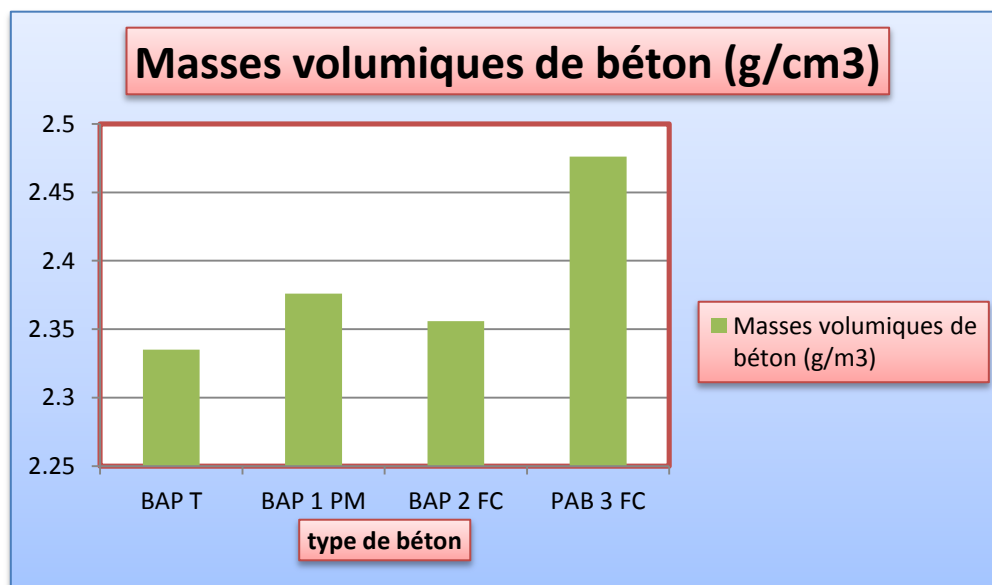


Figure V .4 : La masse volumique en fonction de type de béton

Comme la montre la (**Figure V.4**) la masse volumique des **BAP** est supérieure à celle du béton témoin ceci est dû à la présence des fillers dans le béton et à leurs masses volumiques importante.

V.4 : Résultats des essais à l'état durci:

Les formulations des bétons ont été confectionnés en éprouvettes cubiques ($10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$) et prismatiques ($7 \times 7 \times 28 \text{ cm}^3$).

Nous suivons les démarches suivantes :

- Les éprouvettes ont été conservées à l'eau pendant 30 jours à une température ambiante de 20 °C.
- Après 30 jours, nous prélevons les échantillons de l'eau et les mettons dans l'air pendant 24 heures à une température de 20°C.
- Passage de tous les éprouvettes à l'étuve jusqu'à la stabilisation de leur masse à une température de $100 \pm 5 \text{ C}^\circ$.
- Exposition des éprouvettes à des températures de 20°C, 100 °C, 200 °C, 400°C et 600°C avec une vitesse de montée en température de 10°C/min et un maintien en température dans le four à moufle pendant 1heure.

Le procédé expérimental appliqué repose sur un chargement thermique puis mécanique (l'écrasement).

V.4.1: La résistance mécanique en compression (R_c):

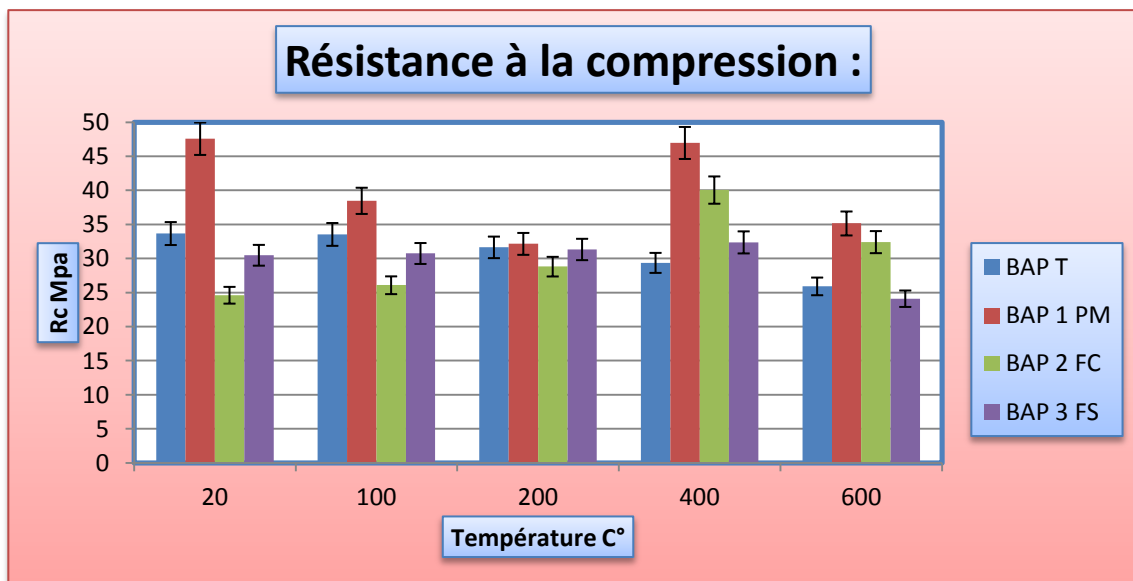


Figure V. 5 : la résistance à la compression des différents types de béton en fonction de la température.

Comme le montre la (Figure V.5). Le comportement des **BAPs** exposés aux hautes températures diffère de celui du **BAPT** (témoin). Pour ce dernier, on observe une décroissance monotone de la résistance en compression jusqu'à 600°C,

En comparant la résistance à la compression des **BAPs** on voit clairement que la résistance de **BAP1(PM)** est supérieure à l'autre résistance des **BAPs**, et plus élevée à

20°C ensuite elle diminue jusqu'à 200°C, les résistances de **BAP2 (FC)** et **BAP3(FS)** montent lentement jusqu'à atteindre à 400°C.

Pour tous les **BAPs** on observe après une diminution modérée de la résistance entre 20°C et 200°C, une augmentation importante de la résistance en compression au-delà de 400°C, ce gain de résistance entre 200°C et 400°C pour les **BAPs** peut-être expliqué par l'hydratation supplémentaire de la matrice cimentaire due à la migration de l'eau déliée dans les pores.

Au-delà de 400°C, tous les **BAPs** testés présentent une baisse de résistance importante due aux quantités importantes de microfissures à 600°C, la baisse de résistance est due à une dégradation couplée de la matrice cimentaire et à une désagrégation des granulats causant une fissuration importante.

V .4.2 : La résistance mécanique en traction par flexion (Rt) :

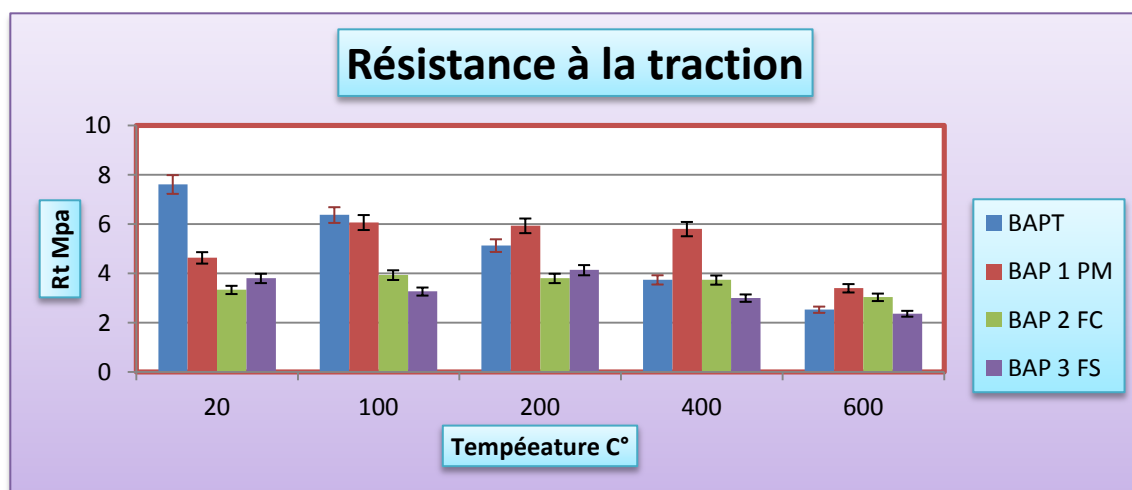


Figure V.6 : la résistance à la traction en fonction de température.

Comme le montre la (Figure V.6). Le comportement des **BAPs** exposés aux hautes températures diffère de celui du **BAP t (témoin)**. Pour ce dernier, on observe une décroissance de la résistance à la traction de manière continue avec l'élévation de la température, ceci est expliqué par l'apparition de fissures.

Pour les **BAP1 (PM)** et **BAP2(FC)** après une augmentation modérée de résistance entre 20°C et 200°C, on observe une stabilité de la résistance à la traction entre 200°C et 400°C.

Pour le **BAP3 (FS)**, après une diminution modérée de résistance entre 20°C et 200°C, on observe une augmentation de la résistance à la traction entre 200°C et 400°C.

Au-delà de **400°C**, on observe une diminution importante de la résistance à la traction relative pour tous les bétons. À **600°C**, les valeurs de résistance à la traction sont très faibles

V .4.3 : La porosité:

La mesure de la porosité à l'eau est un paramètre important qui permet de caractériser le réseau poreux des bétons testés.

Tableau V.2 : Résultats de la porosité

Formulation	Vp
BAP T	15.02
BAP1	8.09
BAP2	11.76
BAP3	11.79

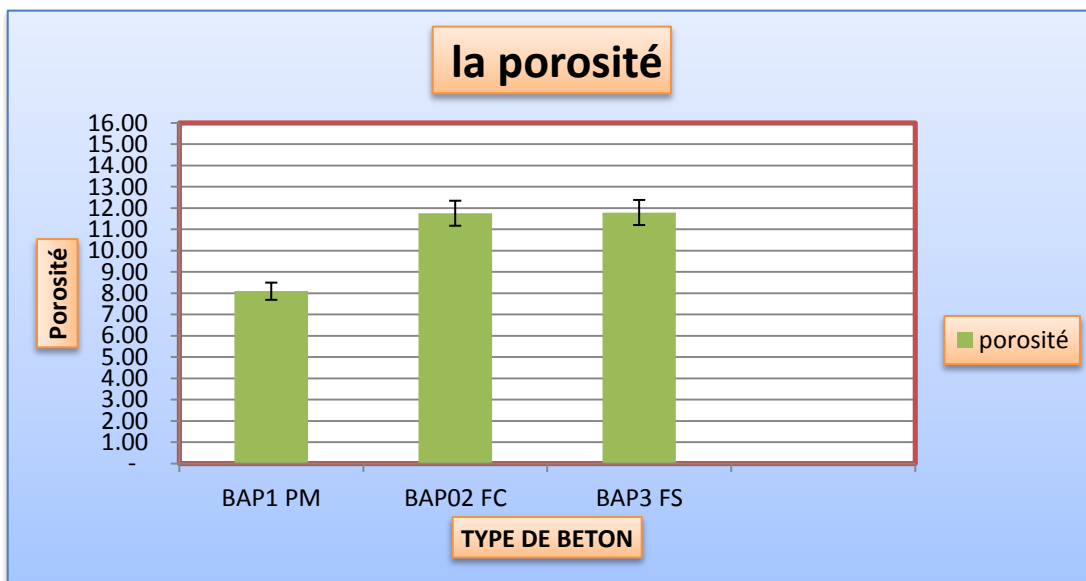


Figure V.7 : La porosité des différents bétons en fonction de type de béton.

A partir des résultats obtenus de (**figure : V.7**) des bétons à 20 °C (la température ambiante) on observe que le BAPt présentent une porosité supérieur par rapport aux autres BAPs. La porosité des BAP 2 et BAP3 diminue de 22% et le BAP1 diminue de 46 % par rapport au BAPt.

V.4.4 : La perte de masse:

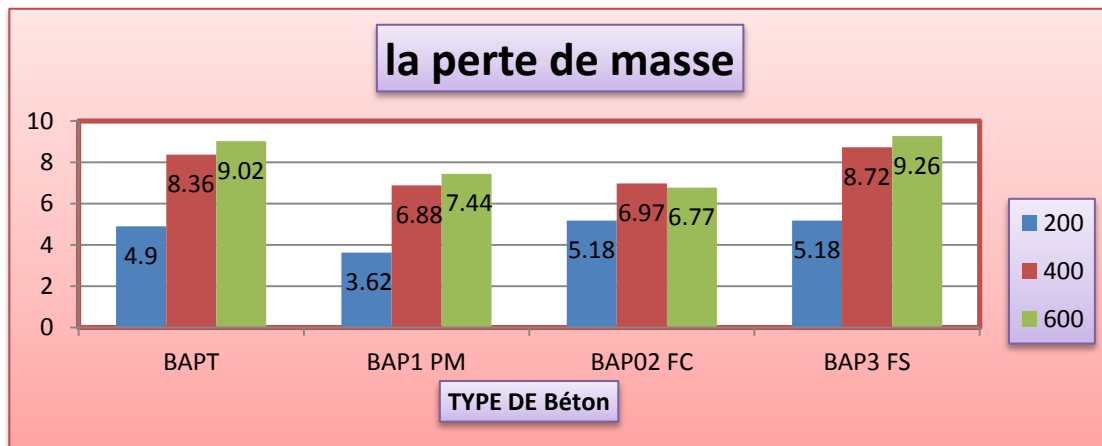


Figure V.8 : La perte de masse pour les éprouvettes cubiques.

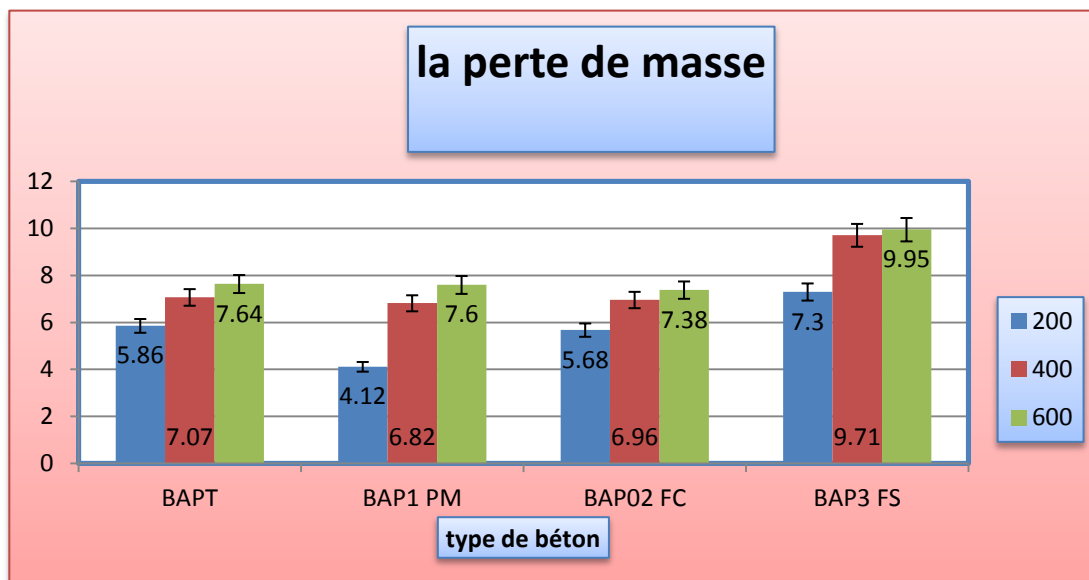


Figure V.9 : La perte de masse pour les éprouvettes prismatiques.

Les résultats des (Figure de V.5 à V.8) nous permettent de dire que la perte de masse n'est pas influencée par la forme et les dimensions des éprouvettes.

On remarque une augmentation de la perte de masse des quatre BAPs, du BAPt jusqu'au dernier(BAP3). Par contre, on observe une grande perte de masse duBAP3par rapport le BAPt.

On observe que les **BAP** sont de faible perte de masse qui s'explique sa par le départ de l'eau durant le chauffage (à l'étuve et au four) et à l'augmentation de porosité.

V.4.5: Les essais non destructifs :

V.4.5.1: La vitesse de propagation des ondes :

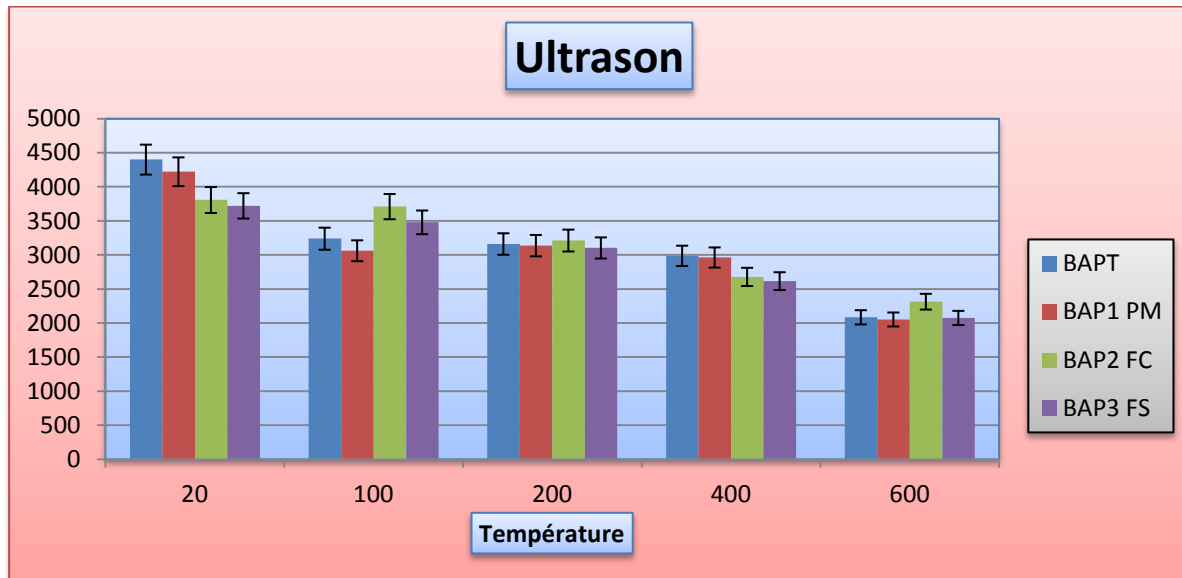


Figure V.10 : La vitesse de propagation des ondes en fonction de la Température pour des bétons étudiés.

Selon la (**figure V.10**), on remarque une vitesse de propagation du son qui est au-delà de **3200 m/s** à température **20°C**, 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, on remarque une diminution de vitesse de propagation avec l'augmentation de la température quel que soit le type de béton, seulement que l'augmentation de la vitesse ultrason de **BAP1** entre **100°C** et **200°C** et diminue après **400°C**.

V.4.5.2: l'indices clérométrique :

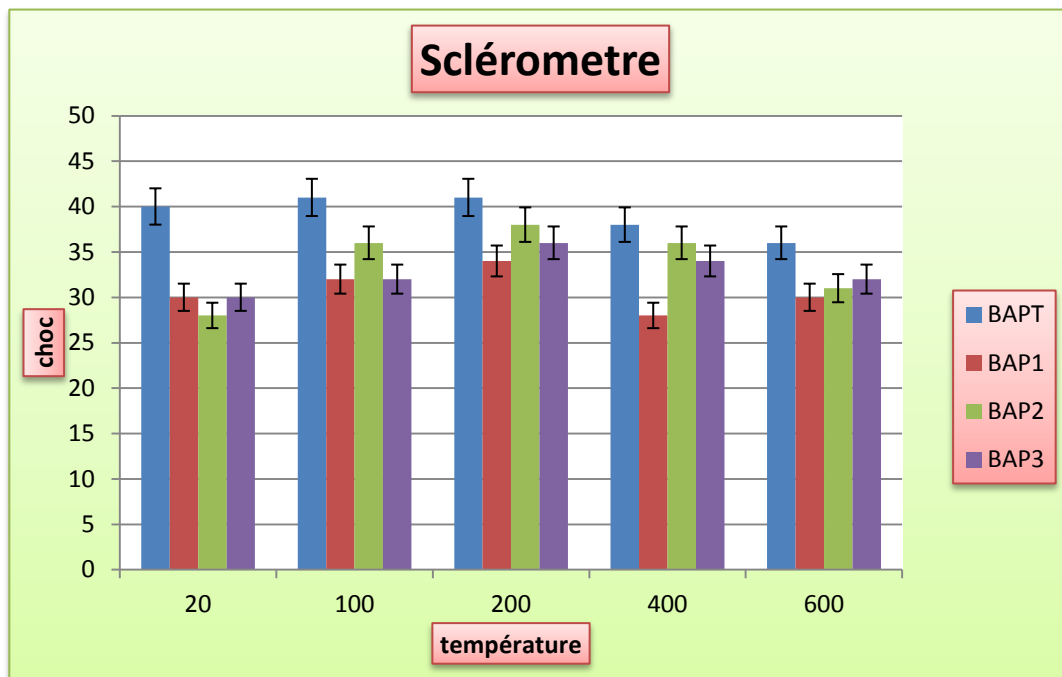


Figure V.11 : Evaluation de l'indice sclérométrique en fonction de la température pour des bétons étudiés.

A partir de (**figure V.11**), en comparant l'indice sclérométrique avec l'augmentation de la température, on observe une augmentation de l'indice sclérométrique de tout les **BAPs** entre **20°C** et **200°C**. Au-delà de **200°C**, tous les **BAPs** testés présentent une diminution de l'indices clérométrique jusqu'à **600 °C**, seulement que la diminution de l'indice sclérométrique de **BAP1** entre **200C°** et **400 °C** et augmente après **400 °C**.

V.5 : Etude de corrélation :

V.5.1 : la corrélation (Rc) en fonction de (V) :

V.5.1.1: la corrélation (Rc) en fonction de (V) de (BAP T) :

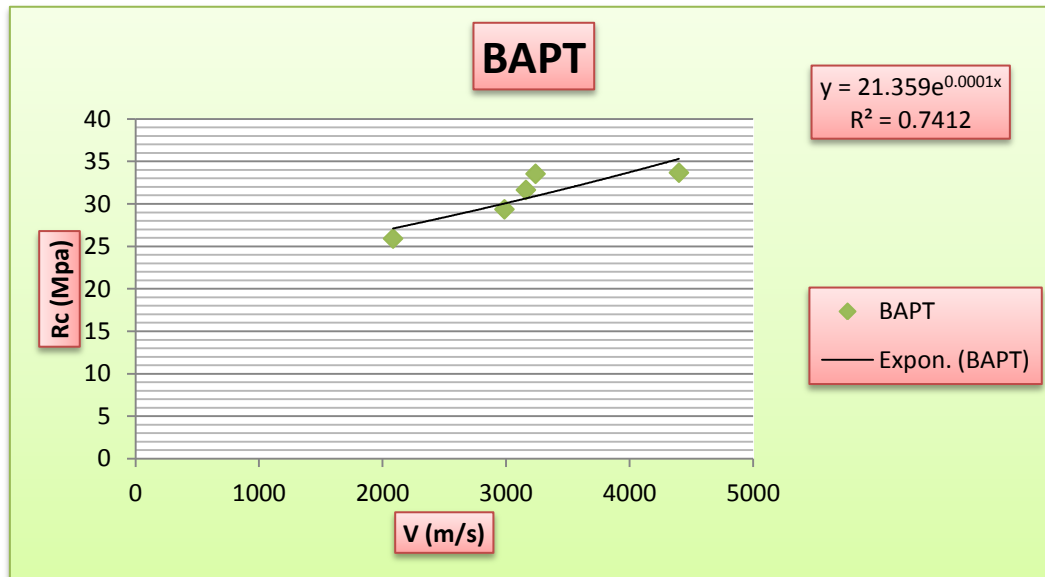


Figure V. 12 : La résistance à la compression en fonction de la vitesse d'ultrason de béton BAP Témoin.

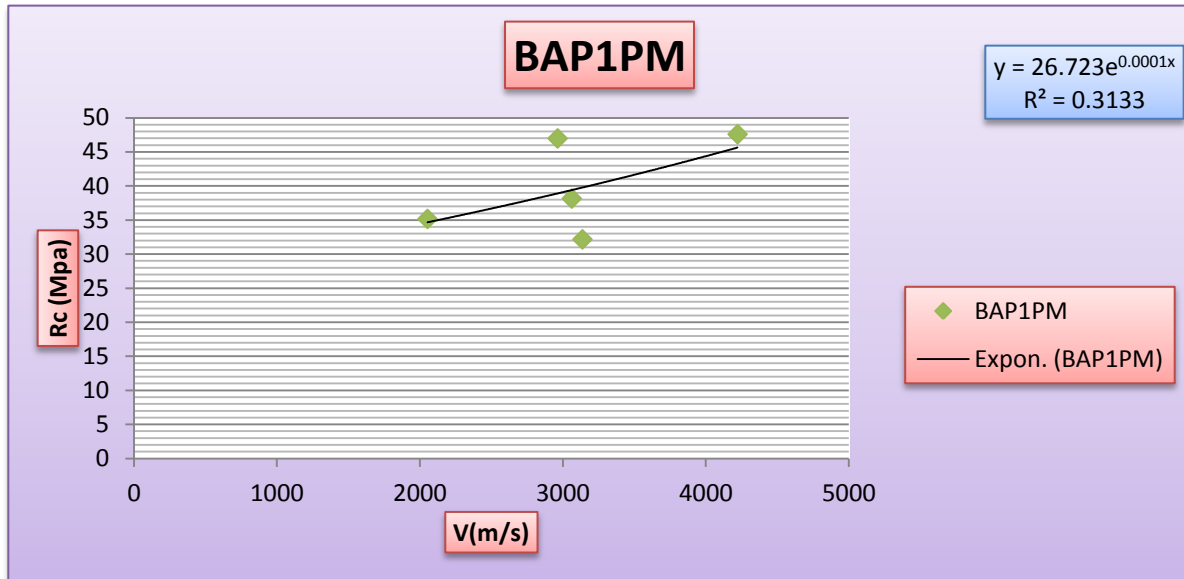
On remarque d'après la (Figure V. 12) une dispersion acceptable pour le béton BAPT

Avec coefficient de corrélation $R^2 = 0.741$

La corrélation obtenue de type non linéaire (Expo).

La formule obtenue prend la forme BAP 1 FM : $Rc = 21.35e^{0.0001v}$

V.5.1.2 : la corrélation (Rc) en fonction de (V) de (BAP 1) :



**Figure V.13 : La résistance à la compression en fonction de la vitesse d'ultrason
Des bétons BAP 1**

On remarque d'après la (**Figure V.13**) une large dispersion pour le béton **BAP1 (PM)**

Avec coefficient de corrélation $R^2 = 0.313$.

La corrélation obtenue de type non linéaire(EXPO).

La formule obtenue prend la forme :

$$(BAP 1PM) : Rc = 26.72e^{0.000V}.$$

V.5.1.3 : la corrélation (Rc) en fonction de (V) de (BAP 2) :

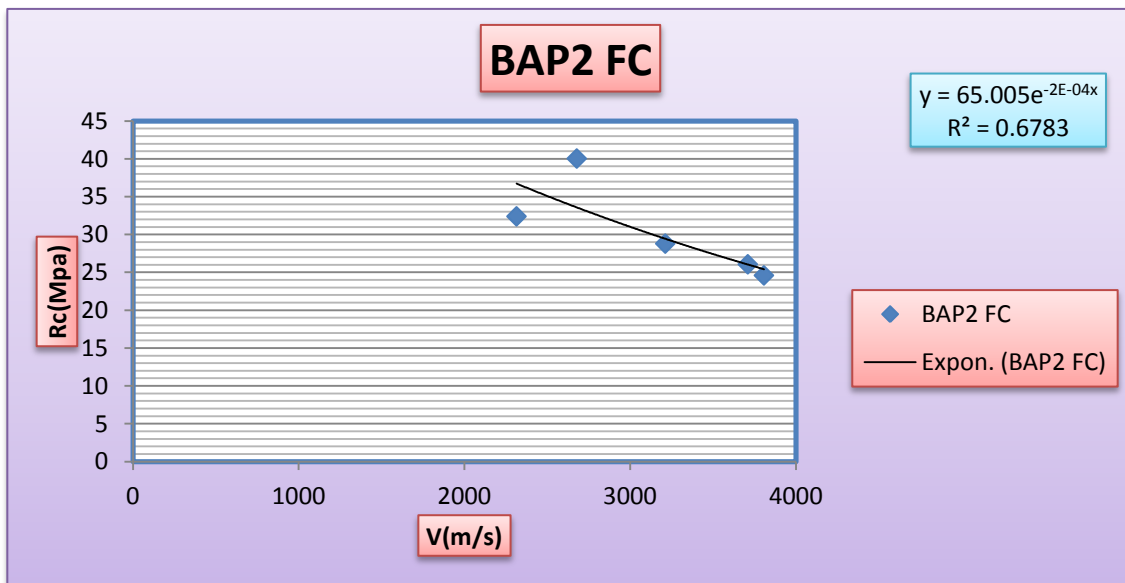


Figure V.14 : La résistance à la compression en fonction de la vitesse d'ultrason
Des bétons BAP 2

On remarque d'après la (Figure V. 14) une dispersion pour le béton **BAP2 (FC)**

Avec des coefficients de corrélation $R^2 = 0.678$.

La corrélation obtenue de type non linéaire (EXPO).

La formule obtenue prend la forme :

$$(BAP\ 2\ FC) : R_c = 65.00e^{-2E-04V}$$

V.5.1.4 : la corrélation (Rc) en fonction de (V) de (BAP 3) :

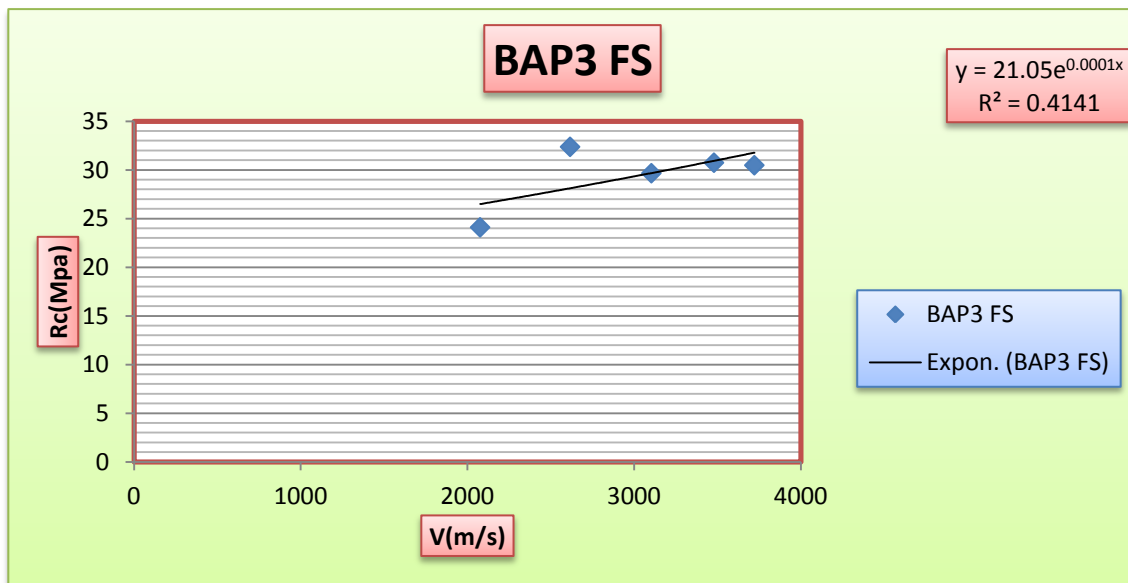


Figure V.15 : La résistance à la compression en fonction de la vitesse d'ultrason
Des bétons BAP 3

On remarque d'après la (Figure V. 15) une dispersion pour le béton **BAP3 (Fs)**

Avec un coefficient de corrélation $R^2 = 0.414$.

La corrélation obtenue de type non linéaire(EXPO).

La formule obtenue prend la forme :

$$(BAP 2 FC) : Rc = 21.05e^{0.000V}.$$

V .5.2 : la corrélation (Rc) en fonction de (Is) :

V .5.2 .1 : la corrélation (Rc) en fonction de (Is) de (BAP T) :

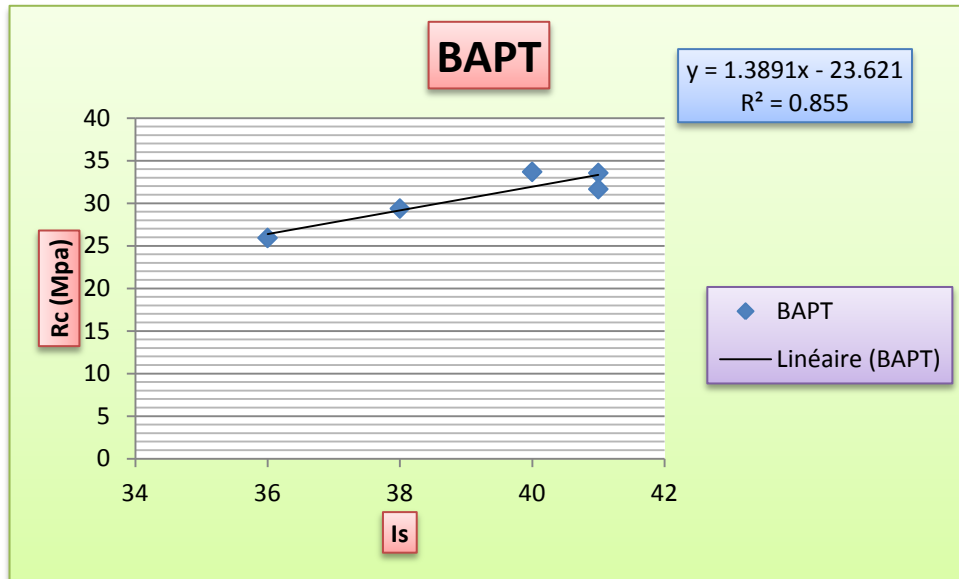


Figure V .16 : Résistance à la compression (Rc) en fonction de l'indice sclérométrique (Is) de BAPt.

On remarque d'après la (Figure V.16) on remarque une dispersion acceptable pour BAPt, en fonction de :

l'indice sclérométrique, le coefficient de corrélation : $R^2 = 0.855$

La corrélation obtenue de type linéaire.

La formule obtenue prend la forme : BAPT: $Rc = 1.389Is - 23.62$

V.5.2.2 : la corrélation (Rc) en fonction de (Is) de (BAP 1)

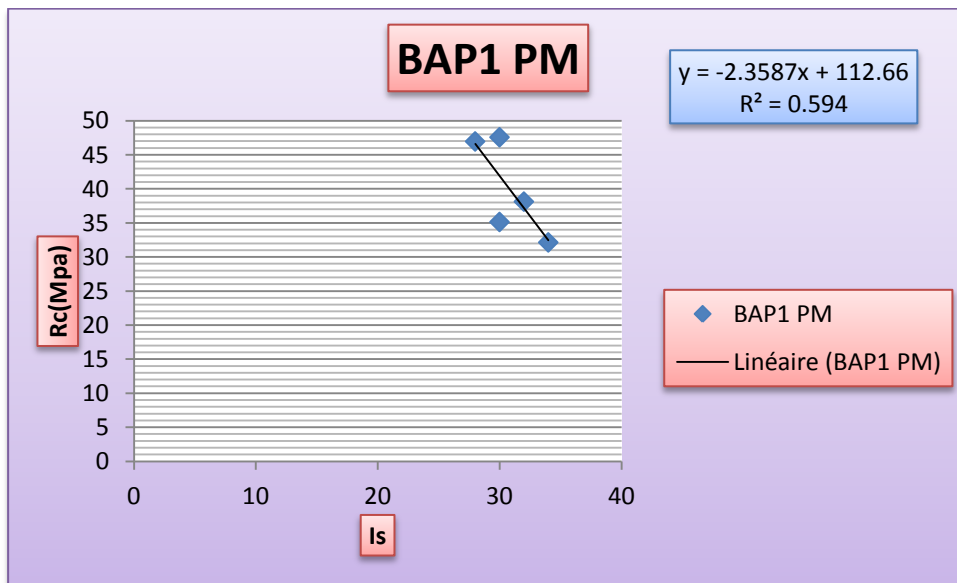


Figure V. 17 : Résistance à la compression (Rc) en fonction de l'indice sclérométrique (Is) de Béton BAP1.

On remarque d'après la (Figure V.17) on remarque une dispersion acceptable est constaté

Pour :

BAP1(PM)

$$R^2 = 0.594$$

La corrélation obtenue de type linéaire.

Les formules sont les suivantes :

$$\text{BAP1 (PM):Rc1} = -2.358\text{Is} + 112.6$$

V.5.2.3 : la corrélation (Rc) en fonction de (Is) de (BAP 2)

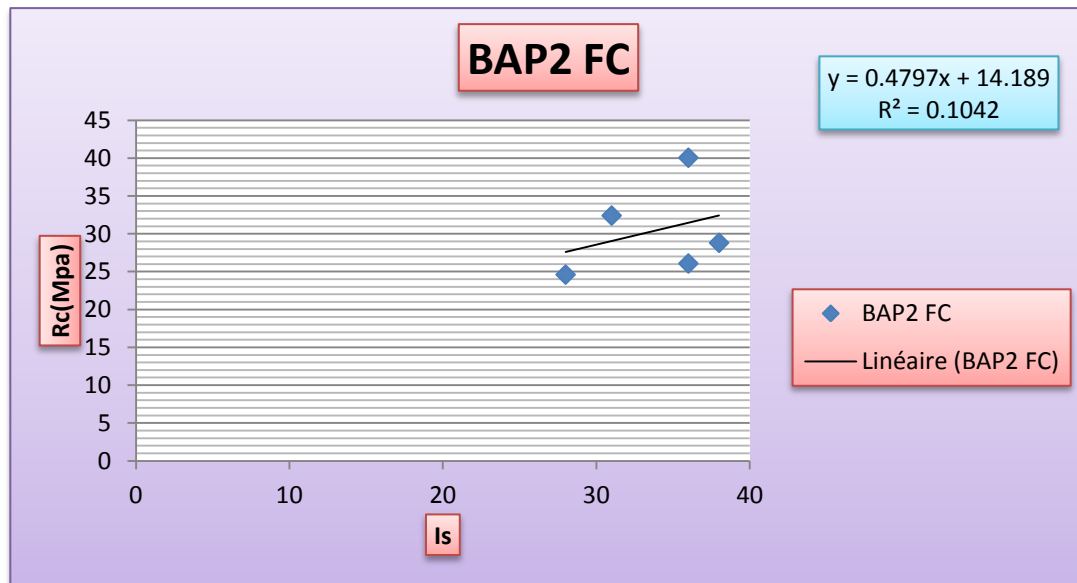


Figure V.18 : Résistance à la compression (Rc) en fonction de l'indice sclérométrique (Is) de Béton BAP2.

On remarque d'après la (Figure V.18) on remarque de larges dispersions pour BAP2(FC)

$$R^2 = 0.104$$

La corrélation obtenue de type linéaire.

Les formules sont les suivantes :

$$\text{BAP1 (PM): } Rc1 = -2.358Is + 112.6$$

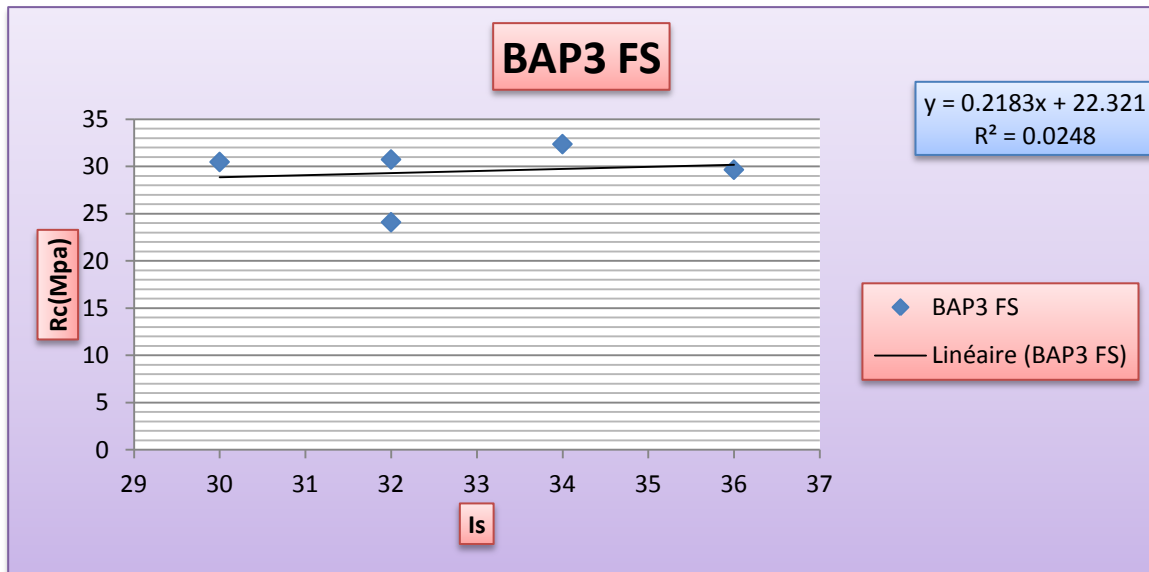
V .5.2 .4 : la corrélation (R_c) en fonction de (I_s) de (BAP 3) :

Figure V .19 : Résistance à la compression (R_c) en fonction de l'indice sclérométrique (I_s) de Béton BAP3.

On remarque d'après la (Figure V.19) on remarque de larges dispersions pour **BAP3(FS)**

$$R^2 = 0.024$$

La corrélation obtenue de type linéaire.

Les formules sont les suivantes :

$$\text{BAP1 (PM): } R_{c1} = 0.218I_s + 22.32$$

A decorative orange scroll graphic with a gradient from light to dark orange. It has a vertical strip on the left side and a small circular tab on the top right. The text is centered within the scroll.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans ce travail on va résumer l'ensemble des conclusions et recommandations auxquelles on a abouti après l'interprétation des résultats obtenus des essais réalisés sur les différents bétons étudiés, les objectifs de cette étude sont l'évaluation de la qualité de béton autop-lançants (BAP) soumis à de hautes températures et avec l'ajout de trois fillers (calcaire, poudre de marbre et fumée de silice) à 10% de pourcentages de chaque filler et de 2% d'adjuvant, investiguer l'effet combiné sur les propriétés physico-mécaniques et vérifier la fiabilité des essais non destructifs (ultrason – scléromètre) par rapport à l'essai direct d'écrasement .

En finalité l'établissement d'une corrélation entre les propriétés telles que la vitesse ultrason (V), l'indice scléromètre (Is) et la résistance à la compression.

A L'ETAT FRAIS :

- Une augmentation de la masse volumique de béton avec fillers à l'état frais est constaté par rapport au béton témoin.
- La demande en eau de gâchage est presque similaire pour toute la formulation des bétons sauf pour la formulation avec la fumée de silice qu'il augmente la demande en eau pour le béton.
- Une légère amélioration d'étalement de l'ordre de 6 % dans la formulation contenant de poudre de marbre, 5% dans la formulation contenant de filler de calcaire et une réduction de 1.45% Pour la formulation contenant de fumée de silice, par rapport au béton témoin.
- L'essai d'étalements des bétons auto-plaçants testés est supérieurs à 68 cm, le taux de remplissage de la boîte en L est de l'ordre 80 %, la laitance est inférieure de 15 % selon le critère d'acceptabilité, la stabilité au tamis est considérée comme satisfaisante.
- nous recommandons d'utiliser une formulation du béton auto-plaçant avec $E/L=(0.45 \text{ à } 0.63$ pour le fumée de silice) et Dosage en ciment 420 kg/m³ pour avoir une grande fluidité et une bonne stabilité et pourcentage des fillers (10 %) de volume ciment avec dosages d'adjuvant qui atteint (2%) ,que l'effet d'emploi de l'adjuvant joue le rôle à améliorer l'ouvrabilité et l'adhérence sur béton .

A L'ETAT DURCI :

- La caractérisation des bétons auto-plaçant à l'état durci est basée sur les résistances à la compression et à la traction par comparaison avec celles du BAP témoin.
- Les résistances en compression des BAP avec ajout de fillers sont inférieures à celle de BAP témoin à la température ambiante, Cette diminution de la résistance en compression se traduit par le fait que la teneur des BAP en produits inertes a augmenté.
- Les fillers ne manifestent aucune activité qui contribue à la résistance en compression. Mais il permet d'obtenir des BAP de performances acceptables.
- Pour tout les BAPs on observe après une diminution modérée de la résistance entre 20°C et 200°C, une augmentation importante de la résistance en compression Au-delà de

400°C, ce gain peut-être expliqué par l'hydratation supplémentaire de la matrice cimentaire due à la migration de l'eau déliée dans les pores.

➤ Une décroissance monotone de la résistance en compression de tous les BAPs avec l'élévation de la température jusqu'à 600°C.

➤ Une décroissance de la résistance à la traction de manière continue de tout les BAPs avec l'élévation de la température, ceci est expliqué par l'apparition de fissures.

➤ Le BAP témoin à 20 °C (la température ambiante) présente une porosité plus importante par rapport aux autres formulations des BAPS, que le BAP avec filler de calcaire et le BAP avec la fumée de silice est diminué de 22% et le BAP avec la poudre de marbre est diminué de 46 %.

➤ La perte de masse est augmentée avec l'élévation de la température et les BAPs ont de faibles pertes de masse on explique son par le départ de l'eau durant le chauffage (à l'étuve et au four) et à l'augmentation de porosité.

➤ Les corrélations obtenues pour (R_c) en fonction de (V) sont acceptables par rapport le coefficient de corrélation r^2 , que r^2 est égale à (0.741 ,0.678), et de type non linéaire (exponentielles).

➤ Les corrélations obtenues pour (R_c) en fonction de (I_s) par rapport le coefficient de corrélation r^2 , sont acceptables pour le (BAP témoin et BAP avec poudre de marbre) que r^2 est égale à (0.855, 0.594), et faibles pour le (BAP avec le filler de calcaire et BAP avec fumée de silice) de r^2 est égale à (0.104,0.024), les relations est du type linéaire.

➤ Les résultats obtenus par les essais non destructifs de scléromètre et l'ultrason restent approximatifs par rapport à ceux des essais d'écrasement dans le cas de la détermination de la réponse mécanique des bétons BAP ou des coefficients de correction sont nécessaires.

➤ L'analyse de ce travail à prouver que les paramètres qui influencent de manière significative la résistance du béton peut influencer les résultats d'essai non destructifs de la même manière.

➤ Les essais non destructifs (ultrason et scléromètre) restent des moyens efficaces pour l'évaluation de la résistance du béton et juger sa qualité sur site ; afin de contourner les inconvénients des méthodes destructives, d'où la structure peut être contrôlée sans modifier, ni sa performance ni son apparence avec toute rapidité et simplicité.

PERSPECTIVES ET TRAVEAUX FUTURS :

Pour compléter les études déjà réalisées, il serait utile d'étudier l'influence d'autres caractéristiques de ces fillers notamment la finesse, le dosage d'ajout, les propriétés chimiques...etc., sur les propriétés des BAP soumis à de hautes températures. Ces paramètres aideront à comprendre comment les BAP se comportent et sont affectés par une élévation de température.



Annexe

GRANIPAN RFS

Conforme à la norme EN 1504-3 et tab 1, 2 et 3

Mortier de réparation et de ragréage de béton en milieu agressif

DESCRIPTION

Le **GRANIPAN R03** est un mortier hydraulique modifié par l'ajout de polymères additifs en quantité suffisante pour lui conférer des propriétés spécifiques.

C'est un mortier pré dosé en 2 composants, Il est préconisé pour tous les bétons utilisés dans le cadre d'une réparation structurale et ragréage des bétons et mortiers.

Le **GRANIPAN RFS** est composé de :

Élément A : Résine en émulsion

Élément B :

- Liant hydraulique
- Charges sélectionnées
- Fumée de silice
- Adjuvants

DOMAINES D'APPLICATION

- Réparation structurale des bétons exposés à des milieux agressifs.
- Reprofilage, réfection d'angles de poutres, nez de marches...
- Réparation de sols industriels
- Réparation d'ouvrages hydrauliques
- Ragréage de façades

PROPRIÉTÉS

- Bonne ouvrabilité
- Bonne adhérence sur béton, mortier, briques...
- Sans retrait
- Bonne imperméabilité

CARACTÉRISTIQUES

- Granulométrie : 0-3 mm
- Rapport pondéral (A / B)..... 1/6
- Densité du mortier frais..... 2,2
- Adhérence sur béton (EN 1542,).....>2MPa
- Rc 28 (EN 12190).....>35 MPa

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

MODE D'EMPLOI

Préparation du support (NF P74-203/ DTU 59-3) :

Le support doit être sain et propre. Il doit être débarrassé des parties non adhérentes ou friables. Les traces d'huile, de graisse, de laitance, etc., doivent être éliminées.

Les armatures doivent être dégagées de toute trace de rouille par sablage ou brossage puis recouverts par un inhibiteur de corrosion (**GRANIPROT ARMATURES**). Humidifier de nouveau le support juste avant l'application du **GRANIPAN RFS**.

Préparation du mélange :

Verser l'élément **A** (résine en émulsion) dans un récipient propre ouvert. Ajouter progressivement l'élément **B** tout en malaxant (agitateur mécanique à faible vitesse de rotation), jusqu'à l'obtention d'un mortier de consistance et de couleur homogène.

Application :

Le mortier obtenu s'applique à la truelle, à la spatule ou à la taloche. L'épaisseur de la couche en une main de **GRANIPAN RFS** ne doit pas dépasser 5 cm. Pour les épaisseurs supérieures à 5 cm, il faut procéder par couches successives appliquées à 24 heures d'intervalle.

Cure :

Après mise en place, protéger le mortier contre une dessiccation rapide (arrosage, toile de jute humidifiée, produit de cure tel que le **MEDACURE**)

CONSOMMATION

A titre indicatif, la consommation moyenne sera d'environ 22 kg/ m² et par cm d'épaisseur.

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

GRANIPAN RFS

Le **GRANIPAN RFS** est livré en kits de 35 kg :

Élément A : bidon de 5 kg

Élément B : sac de 30 kg.

Stocker à l'abri de l'humidité.

Durée de conservation :

06 mois dans son emballage d'origine fermé.

PRÉCAUTIONS D'EMPLOI

Manipulation non dangereuse.

Se référer à la Fiche de Données de Sécurité

disponible sur : www.granitex.dz

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

MEDAPLAST SP 40

Conforme à la norme EN 934-2 Tab 1, 3.1 et 3.2 NA 774

Superplastifiant - haut réducteur d'eau

DESCRIPTION

Le **MEDAPLAST SP 40** est un superplastifiant haut réducteur d'eau permettant d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.

En plus de sa fonction principale de superplastifiant, il permet de diminuer considérablement la teneur en eau du béton.

DOMAINES D'APPLICATION

- Bétons à hautes performances
- Bétons pompés
- Bétons précontraints
- Bétons architecturaux
- Bétons extrudés
- Bétons BCR

PROPRIÉTÉS

Grâce à ses propriétés le **MEDAPLAST SP 40** permet :

Sur béton frais :

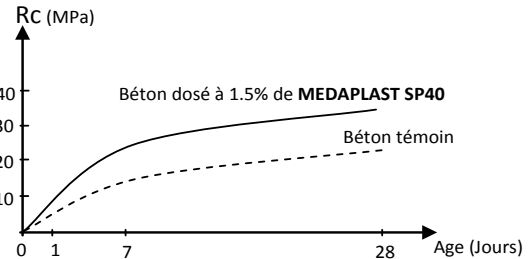
- Améliorer la fluidité
- Augmenter la maniabilité
- Réduire l'eau de gâchage
- Éviter la ségrégation
- faciliter la mise en œuvre du béton

Sur béton durci :

- Augmenter les résistances mécaniques même à jeune âge
- Diminuer la porosité
- Augmenter la durabilité
- Diminuer le retrait

CARACTÉRISTIQUES

• Aspect	Liquide
• Couleur	Marron
• pH	8,2
• Densité	1,20 ± 0,01
• Teneur en chlore	< 1g/L
• Extrait sec	40%



Evolution des résistances en compression

MODE D'EMPLOI

Le **MEDAPLAST SP 40** est introduit dans l'eau de gâchage.

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

DOSAGE

Plage de dosage recommandée :

0,6% à 2,5% du poids de ciment soit 0,5L à 2L pour 100 kg de ciment

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

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Le **MEDAPLAST SP 40** est conditionné en bidons de 12Kg, fûts de 270 kg et cubitenaire de 1200 kg.

Délai de conservation :

Une année dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur ($5^{\circ}\text{C} < t < 35^{\circ}\text{C}$).

PRÉCAUTIONS D'EMPLOI

Manipulation non dangereuse.

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

PV d'essais conforme aux normes, établi par le **CNERIB** en Janvier 2007.

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



Zone industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger

Tél : (213) 021 51 66 81 & 82

Fax : (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23

www.granitex.dz - E-mail: granitex@granitex.dz

