



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Amar Telidji - Laghouat

FACULTÉ : GENIE CIVIL ET ARCHITECTURE

DÉPARTEMENT : GENIE CIVIL

MÉMOIRE DE MASTER

Présenté par : Belhadji Fatima et Benaïda Hind

DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIES

FILIERE : GENIE CIVIL

OPTION : MATERIAUX EN GENIE CIVIL

Thème

Formulation et cure du mortier autoplaçant

Jurys de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
M ^{me} Bendjillali Khadra	MCA	Présidente
M ^{er} Boukhelkhal Aboubakeur	MCB	Examineur
M ^{er} Azzouz Lakhdar	Pr	Encadreur
M ^{me} Merghoub Messouda	MAA	Co-encadreur

Promotion : Juin-2019



Remerciements

Nous tenons à remercier en premier lieu DIEU Miséricordieux qui nous à donné la force et la volonté d'achever ce modeste travail.

Nous exprimons nos sincères remerciements :

*Nous tenons à remercier en premier lieu nos encadrateurs
M^{er} L. AZZOUZ et M^{me} M. Merghoub
qui nous a guidés pendant la réalisation de ce modeste travail*

*.Nous remercions également les membres de jury, M^{me} Bendjilali
Khadra et M^{er} Boukhelkhal Aboubakeur pour leur participation au
jury de soutenance.*

*Nous tenons à remercier le chef de département de génie civil et tous
les enseignants pour tout ce qu'ils ont fait durant notre formation.*

*Nous remercions tous les responsables de LABORATOIRE de génie
civil dans l'université de Amar Telidji Laghouat*

إهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

أهدي ثمرة جهدي وبالفحمد وشكري إلبالذي خلقتني فسوانني وبرحمته هدايني
ومن الجهل أنجاني إلبالله عز وجل شأنه وعلى.

إلبالنور الذي رأيته أول ما فتحت عيوني على الدنيا وما فيها، إلبنبع الحنان
إلبروض الحنان إلبأعظم عطيمة قد تتجسد في الإنسان على الحب الأزلي، إلبإلى
التي عاشت لتجعلني أعيش، إلبإلى التي سمرت لأجلي إلبإليك يا أمي كل المعنى والحب
والتقدير.

إلبإلى هندي في هذه الحياة واليد المعطاة التي زرعت في نفسي أصول العلم
والإيمان

ولم يتوان دعمه لي طيلة حياتي، أهديك يا أبي هذا العمل الذي طالما انتظرته
إلبإلى كل إخوتي : محمد، علي، الهوا ري، محمود، جمال
إلبإلى قرة عيني وتوأم روحي رشيدة

إلبإلى القلوب الطاهرة الرقيقة والنفوس البريئة والى الأني هن الحب والأمل وهن
أطيان رائعة في مخيلتي : أمال، كريمة، فاطمة، حورية، نصيرة، فطيمة، عائشة
والى كل ساندني من قريب أو بعيد والى كل من وسعهم قلبي ولم يسعهم قلبي.

فاطمة





DEDICACE

À MA CHÈRE MÈRE OM EL KHEIR

À MON PÈRE ABDELMALEK

DONT LE MÉRITE, LES SACRIFICES ET LES QUALITÉS
HUMAINES

M'ONT PERMIS DE VIVRE CE JOUR.

À MES FRÈRES ET MES SŒURS

WALID, KARIMA, MEBARKA, AHMED, AMEL

À TOUS LES GENS M'AIMENT

NACIRA MEKHOLOUFI

HIND



TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS

DEDICACE

RESUMES

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES PHOTOS

LISTE D'ABRIVIATION

Introduction générale.....	1
Problématique.....	2
L'objectif vis	3
Programme de recherche.....	4

Partie théorique : revue de la littérature

Chapitre I : Généralités sur le béton autoplaçant et mortier autoplaçant.

I-1-Introduction.....	6
I-2-Les critères caractérisant un béton autoplaçant	7
I-3-Propriété du béton auto plaçant	7
I-4-Avantage et inconvénient des bétons autoplaçants.....	8
I-4-1-Avantage.....	8
I-4-2-Inconvénient	9
I-5- Domaines d'application.....	9
I-6-Les principaux constituants des BAP.....	10
I-6-1-le ciment	10
I-6-2- Les additions minérales	10
I-6-2-1-Fillers calcaires	11
I-6-2-2-L'influence de filler calcaire.....	11
I-6-3- Granulats	12
I-6-4-Adjuvants chimiques.....	12
➤ Les Superplastifiants	13
➤ Effets sur le béton	14
➤ Influence du dosage en superplastifiant.....	14
I-6-5 -L eau de gachage.....	14
I-7-Formulation de béton autoplaçant.....	15

I-7-1-Optimisation des mortiers.....	15
I-7-2- Optimisation du volume de pate.....	15
I-7-3- Optimisation du squelette granulaire.....	15
I-8-Essais de caractérisation sur bétons autoplaçants.....	15
I-8-1-Déformabilité.....	16
I-8-2- Capacité de passage.....	16
I-8-3-Résistance à la ségrégation.....	17
II-Les mortiers autoplaçants.....	18
II-1-Définition.....	18
II-2-Formulation du mortier autoplaçant.....	19
II-2-1- Rapport E /L.....	19
II-2-2- Rapport Sable /mortier.....	19
II-2-3- variation du rapport superplastifiant /Liant(Sp/L).....	20
II-3-Caractéristiques principales d'un mortier autoplaçant.....	20
a)-A état frais	20
II-3-1-Essai d'étalement au mini-cône	20
II-3-2-Essai de l'entonnoir en V (V-funnel)	20
b)-A état durci	21
II-3-4-Résistances mécaniques	21
II-3-5-Retrait	21
II-4- Les types de retrait.....	22
II-4-1-Le Retrait endogène	22
II-4-2-Retrait plastique.....	22
➤ Paramètres qui influent sur le retrait plastique	23
II-4-3-Retrait de dessiccation.....	24
II-4-4-Le retrait thermique.....	25
II-5-Les paramètres qui affectent le retrait	26
Chapitre II : Comportement des bétons mortiers autoplaçants en climat réel.	
(l'influence des paramètres de la formulation et de cure)	
II.1-Généralité.....	28
II-2- Introduction.....	28
II-3-Facteurs climatiques à prendre en compte.....	29
II-3-1-Température de l'air	29
II-3-2- Humidité relative.....	29
II-3-3- Vent.....	29

II-3-4- Rayonnement solaire et précipitations.....	29
II-3-5- Evaporation.....	30
II-4-Effet du climat chaud sur les propriétés du béton.....	30
II-5-Effet des conditions chaudes sur la qualité du béton autoplaçant.....	30
II-6-Effet des condition climatique sur le retrait.....	31
II-7- Effet de climat chaud sur la résistance mécanique.....	32
II-8-Paramètres de formulation influentes sur les propriétés des bétons autoplaçant	32
II-8-1-Rapport E/C.....	32
II-8-2-Addition minérale.....	33
II-8-3-Influence de superplastifiant.....	34
II-8-4-Influence des granulats.....	34
II-9-Influence de cure sur les propriétés des bétonautoplaçants.....	35
II-9-1- L'importance de la cure et conséquences sue béton autoplaçant.....	36
II-9-2-Influence de cure sur le retrait.....	37
II-9-3-Influence de cure sur la résistance mécanique.....	37
II-9-4-Les différents procédés de cure dubéton.....	38
II-9-4-1-La cure àl'eau.....	38
II-9-4-2-La cure par des matériauxd'étanchéité.....	39
II-9-5-L'influence de la mode de cure sur la durabilité du matériau.....	40
II-9-6-Différents exemples d'application de cure.....	41
II-9-6-1-Surfaces verticales	41
II-9-6-2-Pavement et dallage	41
II-9-6-3- Routes mineures, chemins.....	42
II-9-7-Procèdes de cure.....	42
II-9-8-La durée de cure.....	43
II-9-9-La classe de cure.....	44
II-9-10-Pathologies liées à l'absence de cure	44
Conclusion (Partie Théorique)	

Partie expérimentale

Chapitre III : Caractérisation des mortiers autoplaçants et formulation adoptée et essais réalisés.

III-1-Caractérisation des matériaux utilisés.....	48
III-1-Ciment	48
III-1-1-Les essais réalisés sur le ciment.....	49
III-2-Sable.....	49

III-2-1-Essais sur sable alluvionnaire.....	49
III-2-2-Essais Masse volumique.....	49
III-2-3-La teneur en eau NF P 94-050.....	50
III-2-4-Equivalent de sable NF P18-598.....	50
III-2-5-Coefficient de l'absorption des granulats NF P 18-555.....	51
III-2-6-Analyse granulométrique	52
III-2-7-Module de finesse (MF).....	53
III-3-Adjuvant.....	54
III-3-1-Propriétés et effet sur bétons.....	54
III-3-2-dosage.....	55
III-3-3-mode d'emploi.....	55
III-4- L'eau de gâchage.....	55
III-5-Filler calcaire.....	55
III-Expérimentation.....	56
III-1-Formulation.....	56
III-2-procédure de malaxage.....	57
III-3-Essais effectuées sur mortier frais.....	59
a)-Essai d'étalement au mini-cône.....	59
b)-Essai d'écoulement à l'entonnoir en V (V-Funnel).....	59
III-4-Composition sélectionné.....	60
III-5-conservation et cure des eprovette.....	60
I-5-1-Condition de cure	60
III-6-Les méthodes de cure choisie.....	61
a)-Méthode de cure à l'eau.....	61
b)-Cure avec recouvrement en film plastique.....	61
C)- cure à l'aire libre.....	62
III-7-Essai sur mortier a état durci.....	62
III-7-1-Les essais mécaniques.....	62
a)-Résistance à la flexion.....	62
b)-Résistance à la compression.....	63
III-7-2 Retrait norme	64
III-7-3-Perte de masse.....	65
Chapitre IV : Résultats et discussions.	
IV-1-introduction.....	68
.IV-2- Essais.....	69

IV-3-Climat de la ville de laghouat.....	69
IV-4-Résultat à état frais	70
IV-5- Discussion.....	73
IV-5-1- Rhéologie (Etalement et Ecoulement).....	73
IV-6- Résultat à état durcis.....	75
IV-6-1- l'évolution de résistance à la compression avec l'âge et mode de cure...	75
IV-6-2-L'évolution de résistance à la flexion avec l'âge et mode de cure.....	78
IV-6-3-L'évolution de Retrait avec l'âge selon le mode ambiant.....	81
Discussion ; Retrait – perte de masse.....	84
Conclusion générale et Recommandations.....	85
Bibliographie.....	88

LISTE DES FIGURES

Partie théorique : revue de la littérature

Chapitre I : Généralités sur les bétons et les mortiers autoplçants

Figure I.1 : Constituants des bétons ordinaires(BO) et des BAP	6
Figure I.2 : Mise en place du BAP par un ouvrier.....	7
Figure I .3 : Propriété du béton auto plaçant à l'état frais.....	8
Figure I.4 : un BAP constitue la solution idéal pour des éléments de structure frotement armés.....	10
FigureI.5 :Illustration de l'effet filler.....	12
Figure I.6 : Action des superplastifiants-Défloculation des grains de ciment.....	13
Figure I .7 : Représentation schématique de l'essai d'étalement	16
Figure I.8 :Représentation schématique de l'essai à la boîte en L.....	17
Figure I.9: Essai de la stabilité au tamis.....	17
Figure I .10 : Essai d'étalement pou mortier.....	20
Figure I.11: Essai d'écoulement au mini-entonnoir en V.....	21
Figure I .11 : Retrait plastique.....	23
Figure I.12 :Amplitudes maximales des BAP et Bétons ordinaires	24

Chapitre II :Comportement des bétons et mortier autoplaçants en climat réel.

(l'influence des paramètres de la formulation et de cure)

FigureII.1:Shéma de représentation du liquide entre deux particules sphérique.....	31
Figure II .2 : Variation de la résistance à la compression de l'age.....	33
FigureII.3 : influence d'un superplastifiant sur la résistance à jeune age d'un béton	34
FigureII.4 : des fissurations.....	36
Figure II.5:Arrosage continue.....	38
Figure II.6 : Pulvérisation duproduit de cure à la surface du béton.....	39
Figure II.7: Usage d'un polyane recouvrant la surface du béton.....	40
Figure II.8: Maintien des coffrages en place.....	40
FigureII.9: la cure des surfaces horizontale.....	41
FigureII.10: La cure des routes.....	42

partie experimentales

ChapitreIII : Caractérisation des mortiers autoplacants et formulation adoptée et essais réalisés.

Figure III.1 : Equivalent de Sable à Vue Et Au Piston	50
---	----

Figure III.2 : Essai l'absorption du sable.....	51
Figure III.3 : Courbe granulométrique de sable 0/5.....	53
Figure III.4 : Essai à mini v fenuel	59
Figure III.5 : Essai d'étalement au mini cône.....	59
Figure III.6: Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.....	63
Figure III.7 : Dispositif de compression.....	63
Figure III.8: Appareillage pour la mesure du retrait.....	65
Figure III.9 :L'organigramme programme expérimental.....	66

Chapitre IV :Résultat et disucation

Figure IV .1 : histogramme etalement en fonction de SP/L du MAP400 etMAP470.....	71
Figure IV .2 : histogramme étalement en fonction de SP/L du MAPC400 etMAPC470.....	72
Figure IV . 3 : histogramme écoulement en fonction de SP/L du MAP400 etMAP470.....	72
Figure IV . 4: histogramme écoulement en fonction de SP/L du MAPC400 etMAPC470.....	73
Figure IV . 5: histogramme de l'écoulement en fonction de SP/L	74
Figure IV . 6: histogramme de étalement en fonction de SP/L	74
Figure IV . 7: courbes de resistance a la compression du MAP470.....	75
Figure IV .8 : courbes de resistancea la compression du MAPC470.....	76
Figure IV .9: courbes de resistancea la compression du MAP400.....	77
Figure IV .10: courbes de resistancea la compression du MAPC400.....	77
Figure IV. 11: courbes de résistance a la flexion du MAP400.....	78
Figure IV .12: courbes de résistance a la flexion du MAPC400.....	79
Figure IV .13: courbes de résistance a la flexion du MAP470.....	79
Figure IV .14: courbes de résistance a la flexion du MAPC400.....	80
Figure IV .15: courbes d'essai retrait du MAP400 et MAP 470.....	82
FigureIV.16 Courbes de essai Rètrait du MAPC 400Cet MAPC470.....	83
FigureIV-17-Courbes de perte de masse en fonction de reterai	83
Figure IV.18.Courbes de Perte du Masse du MAPC400et MAPC470	85
FigureIV.19.Courbes de Perte du Masse du MAP400 et MAP470.....	85

LISTE DES TABLEAUX

Partie théorique : revu de la littérature

Chapitre I : Généralités sur les bétons et les mortiers autoplaçants

Tableau I .1 : Retrait du béton en fonction de la vitesse de l'air..... 22

Chapitre II : Comportement du béton et mortier autoplaçant en climat réel

Tableau II-1 : l'influence de l'augmentation de ces paramètres sur les performances rhéologiques et mécaniques des bétons autoplaçant..... 22

Tableau. II-1 : La durée minimale de cure 35

Tableau II.2 : Classe de cure..... 35

Partie expérimentales 43

Chapitre III :Caractérisation des Mortiers autoplaçants et formulation adopté 44

et essais Tableau III .1 : propriétés chimique et minéralogique du ciment CPA CEM 1 42.5R.

Tableau III.2: propriétés physiques du ciment CEM 1 42 .5R 48

TableauIII.3 : les résultats –Propriété physique de sable..... 49

Tableau III. 4: Analyse Granulométrique de sable 0/5..... 52

Tableau III.5 : Caractéristique de «MEDAFFLOW 30..... 52

Tableau III.6:propreite de superplastifiant sur le beton..... 54

Tableau III.7: Procédure de malaxage et mode d introduction de l adjuvant..... 54

Tableau III.8: Essai préliminaire de formulation du MAPII (CEMI 42.4 R sans ajout calcaire)..... 57

Tableau III.9:Essai préliminaire de formulation du MAPII (CEMI 42.4 R avec 5%de calcaire)..... 58

Tableau III.10: les formulations adoptées..... 58

Chapitre IV : Résultats et discussion 60

Tableau IV .1 : résultats de donne climatique de mois de mai 2019.....

Tableau IV .2: résultats de la formulation de MAPI et MAPII..... 70

Tableau IV .3 : formulation adopté 71

Tableau IV .4 : résistance à la compression du MAPI et MAPII..... 74

Tableau IV .5: résistanceà la flexion du MAPI et MAPII..... 75

Tableau IV .6 : essai de retrait sans filler du MAPI et MAPII..... 78

Tableau IV .7: essai de retrait avec filler du MAPI et MAPII..... 81

Liste des photos

Partie expérimentales

Chapitre III : Caractérisation des mortiers autoplacants et formulation adoptée et essais réalisés.

	48
PhotoIII .1 : Ciment utilisé dans la confection des mortiers autoplacants.....	50
Photo III.2 : Essai Equivalent de sable.....	53
PhotoIII .3 : Essai analyse granulométrique.....	55
Photo III.4:Matériaux utilisé.....	55
Photo III.5 : Superplastifiant ‘MEDAFLOW30.....	58
Photo III. 6 : malaxeur du mortier	58
Photo III. 7 : Moule de (4×4×16).....	62
PhotoIII.8 : Trois mode de cure choisie.....	

Liste des abréviations

C₃S : Silicate tricalcique : 3CaO, SiO₂.

C₂S:Silicate bicalcique: 2 CaO, SiO₂.

C₃A : Aluminate tricalcique : 3CaO, Al₂O₃.

C4AF : Alumino-ferrite tétra calcique : 4 CaO, Al₂O₃, Fe₂O₃.

C-S-H : Hydrates de Silicates de Calcium.

d : Diamètre du plus petit granulat.

D : Diamètre du plus gros granulat.

E/C : Rapport eau sur ciment.

C/S : rapport ciment sur sable.

P_a : Masse volumique apparente en g/cm³.

P_s : Masse volumique absolue g/cm³.

ES_v : Equivalent de sable visuel.

ES_p : Equivalent de sable au piston.

R_c : Résistance à la compression MPA.

R_f : Résistance à la flexion MPA.

L : Distance entre appuis (égale à 100mm).

b : Coté de la section carré de l'éprouvette prismatique (égal à 40mm).

A : Section de l'éprouvette en m².

R_{cu} : la somme des refus cumulés (g).

HR % : humidité relative.

SSB : surface spécifique de Blaine (cm²/g).

A_m : Coefficient d'absorption massique.

M_s : Masse des grains solides.

V : Volume total du matériau.

V_s : Volume des grains solides.

M_f : module de finesse.

F. P : couverture des éprouvettes dans un film plastique.

ENV I : conservation des éprouvettes à l'extérieur du labo vis à vis le comportement mécanique.

ENV II : conservation des éprouvettes à l'intérieur du labo vis à vis le retrait de dessiccation (séchage).

MAP₄₀₀ : mortier Autoplaçant dosé à 400 Kg/m³ de ciment.

MAP₄₇₀ : mortier Autoplaçant dosé à 470kg/m³ de ciment.

MPA_{C400} : mortier autoplaçant avec filler calcaire dosé à 400 Kg/m³ de ciment.

MAP_{C470} : mortier Autoplaçant avec filler calcaire dosé à 470kg/m³ de ciment.

W% : perte de masse

Introduction générale

De nombreuses recherches sont menées sur l'influence de traitement de cure (mûrissement, maturation) sur la résistance du béton au jeune âge et à long terme. De même, il y a une richesse d'études sur l'influence des très hautes et très basses températures, incluant les effets du feu et les effets de cycles de gel dégel. Cependant, il y a un manque des études sur les effets de températures et humidité relative de milieu environnant du béton curé en service (au-delà de 28 jours), malgré qu'il soumis à une plage de températures très variées, de plus basse température de climats froids et à très hautes températures de climats chauds. De plus, la plage de températures a été considérablement élargie avec des constructions de plus en plus modernes dans des pays à climat chaud.

Dans ce but, les recherches continues ont permis l'émergence de bétons spéciaux : les bétons à hautes performances (BHP), les bétons à très hautes performances (BTHP), les bétons de fibres métalliques (BFM) et les bétons autoplaçants (BAP). Les BAP (SCC, Self compacting concrete) ont été développés dans les années 80 par des chercheurs de l'université de Tokyo au Japon. Leur objectif était d'augmenter la cadence de travail en réduisant l'effectif du personnel sur chantier et le temps de mise en œuvre.

Les bétons auto plaçant est un béton très fluide, homogène et stable, mis en œuvre sans vibration (la compaction des BAP s'effectuent par le seul effet gravitaire).

Pour cela, les BAPs doivent avoir des propriétés bien déterminées à l'état frais à savoir la fluidité (étalement au cône d'abrasé), la capacité de remplissage (boite en L) et la résistance à la ségrégation (stabilité au tamis), pour assurer la stabilité rhéologique, l'utilisation des additifs organique (super plastifiants et agent viscosifiant) et minérales (fines) s'avère nécessaire.

Les propriétés des BAP sont généralement liées aux celles de leurs mortiers autoplaçants (MAP) qui ont été abordés ici du point de vue leur comportement vis à vis le climat aride de la région de la ville de Laghouat.

Problématique

Ce travail s'inscrit dans les problématiques actuelles de durabilité des ouvrages. La fissuration induite par le phénomène de séchage, est susceptible de détériorer les propriétés mécaniques et de transferts des matériaux utilisés en construction. L'objet du travail est la compréhension de l'influence des modes de cure choisis (immersion et application d'un film plastique étanche) sur des éprouvettes $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ de deux MAPs (conservé sous un climat réel (climat de mois de Mai) de la région de Laghouat).

Laghouat se caractérise par un climat aride, dans des telles conditions climatiques, notamment en été, le béton peut subir des problèmes de fissuration dus au taux important d'évaporation de l'eau de gâchage, particulièrement durant les premiers jours de sa mise en place. Afin de maintenir la qualité du béton et d'assurer sa durabilité, le constructeur peut employer des techniques différentes de cure durant son durcissement et il peut aussi réduire le dosage en eau par l'introduction des adjuvants superplastifiants.

L'objectif visé

L'objectif de ce travail, est d'étudier l'influence de traitement de cure sur les propriétés mécaniques et physiques de deux mortiers autoplaçant coulés et conservés dans un climat réel.

Les deux mortiers autoplaçant MAPI, MAPII sont de compositions différentes de point de vue dosage et type de ciment utilisé et aussi pourcentage d'adjuvant inclus dans la composition

Les modes de cure appliqués sont immersions total à l'eau, l'application d'un film plastique étanche, et la cure à l'air libre tout en examinant expérimentalement l'efficacité de chaque type de cure sur le comportement mécanique, par la mesure de la résistance à la compression et celle à la flexion, en fonction du temps d'application de cure (3 -7- 14 et 28 jours) dans l'environnement de conservation dans ils sont posées.

Evoquons aussi l'effet de l'ajout de calcaire et l'effet du dosage du ciment, et aussi dans le même temps suivre l'évolution de retrait de dessiccation pour chaque composition des deux MAPs étudiés.

Programme de la recherche

Le programme de recherche se divise en deux parties :

Partie théorique

Chapitre 01 : Généralité sur les Bétons et Mortier Autoplaçant: présente une synthèse bibliographique sur le bétons autoplaçant, définition, les constituants et propriété à l'état frais et durci , ainsi que le mortier autoplaçant, exposons aussi les différents approche de formulation connus ainsi l'influence de traitement de cure , principe ,importance et rôle des différents modes de cure sur le retrait et les propriétés mécaniques des bétons et mortiers autoplaçant dans le :

Chapitre 02 : comportement du béton et mortier autoplaçant en climat réel (l'influence des paramètres de la formulation).

Partie expérimentale

Cette partie explique les différentes méthodes de caractérisation des matériaux choisis :

- Ciment CEMI 42.5 R de Biskra
- Sable 0/5 alluvionnaire de la région de Laghouat.
- Filler de Calcaire de la région de Laghouat.
- Adjuvant MEDAFLOW30 de Granitex.
- Eau de robinet pour gâchage des MAP.

Les techniques expérimentales utilisées durant cette étude sont aussi montrées dans cette partie ; pour la caractérisation, la formulation adoptée et le choix du mode de cure sont expliqués par des essais préliminaires qui montrent l'évaluation de l'aptitude à l'écoulement et de l'étalement à l'état frais, ainsi que l'évaluation des résistances mécaniques en compression et en flexion et physique que le retrait.

Les résultats trouvés à l'issue de notre étude sont illustrés dans le chapitre IV avec analyse et discussion.

En fin, Une conclusion générale clôture ce mémoire en synthétisant les principaux résultats obtenus lors de cette étude ainsi que les intérêts techniques qui en découlent.

PREMIÈRE PARTIE : REVUE DE LA LITTÉRATURE

Chapitre I : Généralité Sur les Bétons et les Mortiers

Autoplaçants

Chapitre II : Comportement du Béton Et Mortier Autoplaçant

En Climat réel

(L'influence des paramètres de la formulation et de cure)

Conclusion

Chapitre I

Généralités Sur les Bétons

Et

Mortiers Autoplaçants

Le présent chapitre consiste à donner des généralités sur les bétons autoplaçants. La définition des BAP, leurs constituants, leurs propriétés essentielles ainsi que les avantages et inconvénients de BAP, ainsi que leurs méthodes de formulation seront présentées dans ce chapitre. Egaleme nt, les mortiers autoplaçants et de béton, leurs définitions et leurs propriétés, leurs particularités de point de vue propriétés à l'état frais et durci seront présentées dans ce même chapitre

I-Bétons autoplaçants

I-1-Introduction

Le béton autoplaçant est un béton très fluide, homogène et stable, qui se mis en œuvre sans vibration (la compaction des BAP s'effectuent par le seul effet gravitaire) et conférant à la structure une qualité au moins équivalente à celle correspondant aux bétons classiques mis en œuvre par vibration. Ce sont des bétons qui contiennent plusieurs combinaisons de matériaux cimentaires et ajouts.

L'idée de ces bétons a été lancée vers le milieu des années 1980 par les chercheurs de l'université de TOKYO, puis a été reprise rapidement par les grands groupes industriels japonais (Taisei, Kajima, Obayash,...) [1].

Les BAP se différencient des bétons ordinaires (BO) par leurs propriétés à l'état frais, par leur composition [présence indispensable des fines minérales (les ajouts minéraux), et de superplastifiants]; voir schéma suivant :

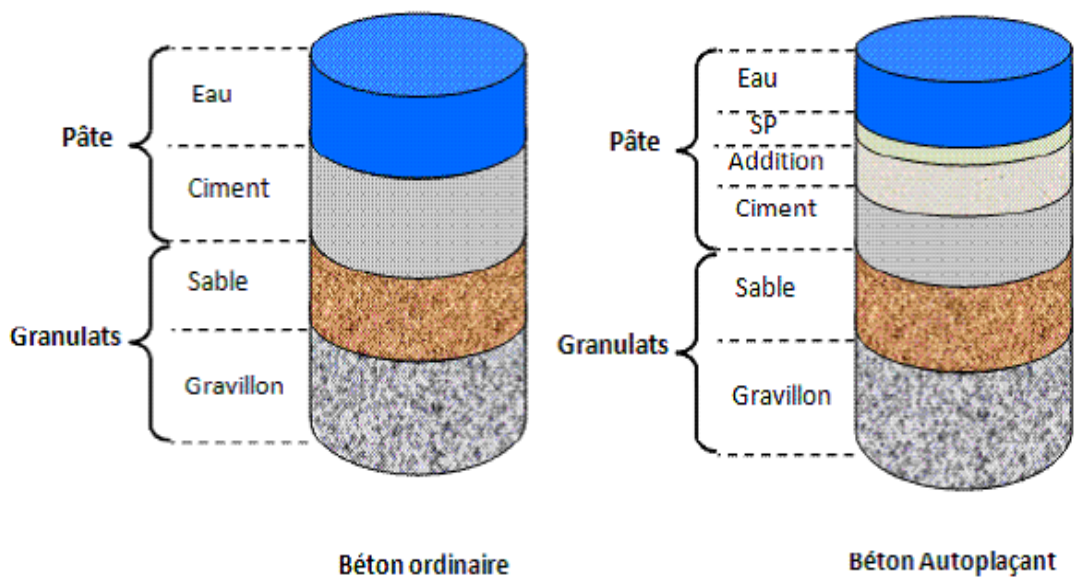


Fig. I.1 : Constituants des bétons ordinaires(BO) et des BAP [2].

I-2-Critères caractérisant un béton autoplaçant

- 1- Les valeurs cibles d'étalement au cône d'Abrams sont généralement fixés dans la fourchette 60 cm à 75 cm (et pas de ségrégation visible en fin d'essai : auréole de laitance ou amoncellement de gros granulats au centre).
- 2- Le taux de passage à la boîte en L doit être supérieur à 0,8.
- 3- Le béton doit être stable sous l'effet de la gravité (pas de ségrégation) et présenter une capacité de ressuage limitée. L'absence de ségrégation visuelle lors de l'essai d'étalement au cône d'Abrams n'est pas suffisante [3].



Fig. I.2 : Mise en place du BAP par un ouvrier.

I-3-Propriétés du béton auto plaçant

Un béton est qualifié d'autoplaçant, non pas par rapport à sa composition, mais parce qu'il possède certaines propriétés à l'état frais, qui sont reliées à la composition de la pâte de ciment qu'à celle du mélange en lui-même. Un des avantages des bétons autoplaçants est d'améliorer la déformabilité du mélange afin qu'ils puissent remplir facilement les coffrages sans utiliser un moyen de vibration (l'étalement du béton et sa mise en place se font seulement sous l'effet de la gravité).

Les principaux paramètres qui caractérisent ces bétons sont la stabilité et la fluidité. Il existe de par le monde divers essais pour caractériser l'ouvrabilité des BAP.

Les bétons auto plaçons sont caractérisés à l'état frais par deux propriétés principales : une grande capacité de passage et une grande résistance à la ségrégation [4].

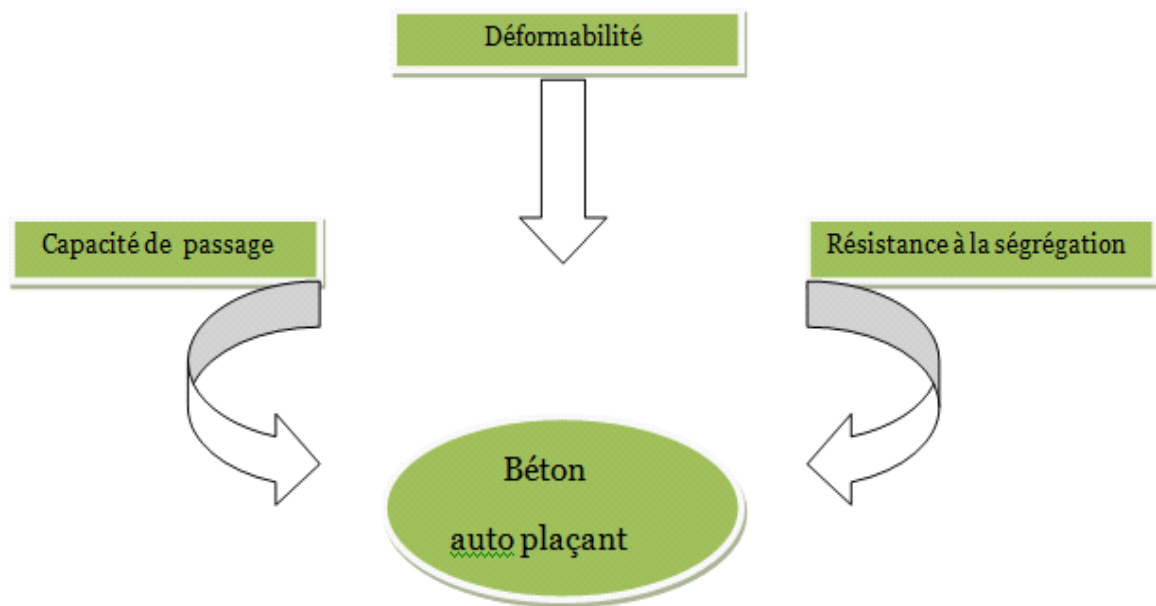


Fig. I .3 : Propriété Du Béton Auto plaçant à L'état Frais [5].

I-4-Avantages et inconvénients des bétons autoplaçants

I-4-1-Avantages

- Facilité la mise en œuvre du béton (coulage en un seul point, augmentation du débit de béton pompé).
- Bétonnage en milieu dans des zones fortement ferraillées et à géométrie complexe.
- Réalisation d'éléments de forme plus complexe.
- Réduction le temps de bétonnage et des bions de ragréage.
- Compatibilité des matériaux.
- Etanchéité du coffrage.
- Remplissage de parties difficilement accessibles
- Diminution de la pénibilité du travail et suppression de l'apparition du syndrome du vibreur [3].

I-4-2-Inconvénients

- Le béton est très liquide : le coffrage doit-être étanche
- Comme c'est un béton très fluide, le temps de séchage est plus élevé que pour un béton ordinaire
- Prix supérieur à un béton classique
- Même si le béton autoplaçant demande moins de préparatifs et de main d'œuvre pour la pose, il n'en est pas moins cher. Le coût pour la matière reste le même que pour les autres bétons. Comptez donc environ 100€ le m² minimum.
- D'autre part, le béton autoplaçant ne se distingue vraiment que par sa pose. Sinon, il présente les mêmes caractéristiques de sensibilité à l'humidité que les autres bétons. Il faut donc prévoir un revêtement spécifique pour le protéger des tâches et de l'eau.
- Il est donc aussi sensible à l'usure, et peut présenter rapidement après sa pose des fissures. Mais ce problème existe pour tous les types de béton, donc ce n'est pas une surprise.

Enfin, prévoyez un temps de pose plus long que pour d'autres bétons. En effet, comme il est assez liquide, il prendra du temps à se solidifier de manière satisfaisante [6].

I-5- Domaines d'application

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. La plupart des ouvrages peuvent être réalisés en BAP (voiles, poteaux, Piles, poutres, planchers dalles, dallages, fondations, éléments de façade, mobiliers urbains, etc.). Les BAP sont particulièrement adaptés à la réalisation de structures pour lesquelles la mise en œuvre d'un béton classique est délicate c'est-à-dire, présentant :

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



Fig. I.4 : Un BAP constitue la solution idéale pour des éléments de structure fortement armés [7].

I-6-Principaux constituants des BAP

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.

I-6-1-Ciment

Les performances des BAP sont liées à la composition du ciment, En effet, le superplastifiant est absorbé par les composants C_3A et C_4AF après le malaxage, donc l'efficacité de dispersion du SP est liée à la teneur du ciment en C_3A et C_4AF .

Tous les ciments qui sont conformes à la norme EN197-1 peuvent être utilisés dans la production des BAP.

Différents types de ciment se distinguent par leurs relations avec les propriétés du béton ainsi, le choix du type du ciment, est conditionné par les performances souhaitées du béton (la résistance, stabilité, retrait...).

I-6-2- Additions Minérales

Les additions minérales sont des poudres très fin de taille inférieure à $80\mu m$. Selon leur réaction pouzzolanique, elles se divisent en deux familles : additions pouzzolaniques et addition inertes ou quasi-inertes (fillers calcaires) [8].

a)-Additions Pouzzolaniques

- La pouzzolane naturelle
- La fumée de silice
- La cendre volante
- Le métakaolin
- Le laitier des hauts fourneaux.

b)-Addition inertes ou quasi-inertes

- La poudre de calcaire
- La poudre de craie
- La poudre de marbre.

I-6-2-1-Fillers calcaires

Les fillers calcaires sont des produits obtenus par broyage fin de roches naturelles (Calcaires, basalte, bentonite, etc.). Présentant une teneur en carbonate de calcium CaCO_3 Supérieure à 75%. Ces produits désignés dans le commerce comme fillers sont des poudres fines à granulométries contrôlées et dont les plus gros grains ne dépassent pas 80 micron. Les fillers se différencient les uns des autres par :

- leur origine, leurs compositions chimiques et minéralogiques, leurs défauts de structure, les impuretés qu'ils contiennent.
- leur finesse, la forme des grains, leur état de surface.
- leur dureté, leur porosité.

Un filler est dit calcaire s'il contient au moins 90% de carbonate de calcium. Dans les autres cas, le filler est désigné par le nom de sa roche d'origine [9].

I-7-2-2-Influence 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).

L'appellation de filler calcaire vient du fait que cette addition, si elle est broyée et insérée dans le squelette granulaire du ciment (Fig. I.5) et permet donc de combler les vides entre les autres particules de dimensions plus importantes du béton (ciment, granulats). L'effet, appelé effet

filler, se traduit par une compacité plus importante du squelette granulaire et va donc avoir des effets sur les propriétés aussi bien à l'état frais qu'à l'état durci [10].

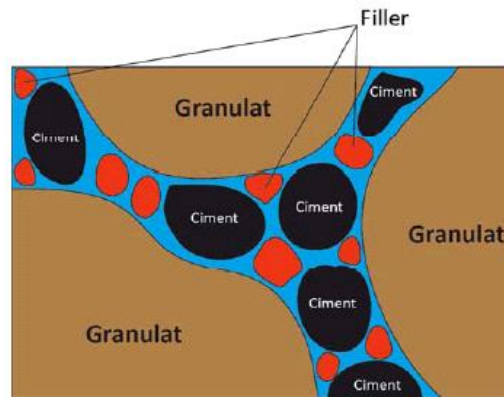


Fig. I.5 : Illustration de l'effet de filler

I-6-3- Granulats

La formulation des BAP peut être obtenue en utilisant des granulats concassés ou roulés. En raison du blocage du béton en zones confinées par les gravillons, il est alors nécessaire d'en diminuer le volume. D'une part, si la présence de gravillons permet d'augmenter la compacité du squelette granulaire, en revanche, il limite la quantité du liant nécessaire pour l'ouvrabilité et la résistance voulus.

L'ouvrabilité et la résistance à la ségrégation des BAP sont largement influencées par le volume, la forme, la granulométrie, la taille, l'humidité, le rapport gravillon/sable et la finesse des granulats.

I-6-4-Adjuvants chimiques

Afin d'obtenir une très grande fluidité d'un béton autoplaçant on utilise généralement un adjuvant fluidifiant de la dernière génération, à base de poly carboxylates.

Ces adjuvants permettent de réduire de manière importante le dosage en eau tout en ayant également un effet sur la viscosité.

- **Superplastifiants**

Les superplastifiants sont des réducteurs d'eau, mais beaucoup plus efficaces et très différents des réducteurs d'eau traités dans la section précédente. Les superplastifiants se distinguent également par leur nature.

Le béton étant un matériau composite poreux constitué de ciment, de granulats et d'eau, ses propriétés mécaniques finales dépendent très étroitement de la quantité d'eau introduite lors du gâchage. L'utilisation de superplastifiants permet de modifier la quantité d'eau ajoutée au béton.

En tant qu'adjuvant, le superplastifiant peut avoir plusieurs fonctions dans un mélange cimentaire. La fonction de base est la fluidification, puisqu'il provoque un important gain d'ouvrabilité d'un mélange. Le superplastifiant est responsable d'un effet de plastification à même teneur en eau, il permet d'augmenter l'ouvrabilité, sans diminuer les résistances à long terme de la pâte du mortier ou du béton. La fonction (réducteur d'eau) se manifeste par la réduction du rapport E/C pour une même ouvrabilité. Ceci permet donc d'augmenter les performances mécaniques du mélange [11].

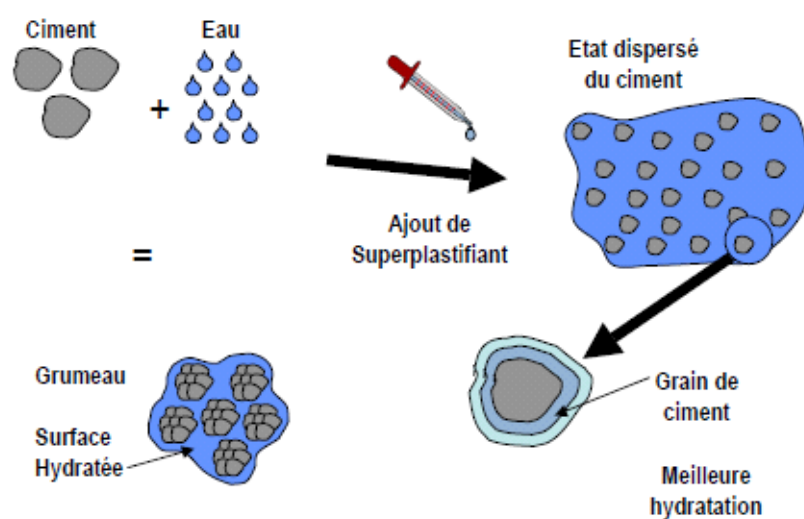


Fig. I.6 : Action des superplastifiants-Défloculation des grains de ciment [11].

- **Effets sur le béton autoplaçant**

- a)-A L'état Frais**

- Avantages des Plastifiants amplifiés liés à un E/C plus bas
 - Maintien de la maniabilité (en fonction de la nature chimique) jusqu'à 2 heures ou perte rapide de la maniabilité (en fonction de la nature chimique).

- b)-A L'état Durci**

- Amélioration des résistances mécaniques à court et long terme,
 - Diminution du retrait (due à la réduction du rapport E/C et à l'augmentation du rapport Granulat/Ciment),
 - Amélioration de la compacité,
 - Amélioration de la liaison béton-acier,
 - Réduction de la porosité capillaire de la pâte de ciment,
 - Diminution du coefficient de la perméabilité [11].

Influence du dosage en superplastifiant

Pour augmenter la maniabilité d'un béton, le dosage normal des superplastifiants est compris entre 1 et 3 litres par mètre cube de béton, pour des superplastifiants sous forme liquide contenant 40% de matériaux actifs. Lorsque les superplastifiants sont utilisées pour réduire la teneur en eau du béton, leur dosage est beaucoup plus élevé et se situe entre 5 et 20 litres par mètre cube de béton.

Pour déterminer le dosage optimal en superplastifiant, on peut étudier la rhéologie d'un coulis ayant un rapport eau /ciment relativement faible, en mesurant l'étalement au mini cône ou l'écoulement au cône Marsh. Les courbes obtenues pour différents dosages en superplastifiant, présentent une chaussure très nette lorsque l'on au-delà de ce point. Il est inutile de rajouter du superplastifiant parce que la fluidité du coulis ne peut plus être améliorée et un dosage excessif risque de retarder indument le durcissement du béton et de créer un phénomène de ségrégation [8].

I-6-5-Eau de gâchage

La teneur en eau d'un BAP a un grand effet sur la fluidité et la résistance à la ségrégation de celui-ci. Lorsque la teneur en eau est trop élevée, la résistance à la ségrégation devient faible

et la pâte ou mortier se sépare facilement des gravillons, ce qui favorise le risque de blocage auprès des armatures. Si la teneur en eau est trop faible, le mélange aura une fluidité insuffisante, même avec l'utilisation du superplastifiant.

I-7-Formulation de béton autoplaçant

L'approche d'optimisation pour développer les performances d'un béton et sa durabilité consiste en général à choisir et examiner un groupe d'essais préliminaires, évaluer les résultats puis ajuster des propositions de mélange et examiner d'autres mélanges jusqu'à ce que les propriétés exigées soient réalisées.

I-7-1- Optimisation des Mortiers

Selon **Okamura [12]**, le concepteur des BAP, propose de les formuler en composant en premier lieu le mortier du béton. Dans le mortier, la proportion de sable est fixée arbitrairement. Il reste ensuite à trouver expérimentalement les dosages en eau et en superplastifiant, pour un liant donné (rapport massique ciment sur addition fixé). La formule finale est obtenue en ajoutant au mortier un volume de gravillons limité, de manière sécuritaire, à la moitié de leur compacité.

I-7-2-Optimisation du volume de pâte

Le béton est considéré ici comme un mélange diphasique, avec une phase solide, les granulats, et une phase liquide, la pâte. Dans le cas d'un BAP, la pâte joue un rôle prédominant. Son rôle est de séparer les gravillons pour limiter les contacts, en particulier dans les milieux ferraillés et ainsi prévenir la formation de voûtes susceptibles de bloquer l'écoulement. Cette formulation consiste à déterminer la quantité de pâte en excès optimale pour fluidifier le BAP et limiter les problèmes de blocage.

I-7-3- Optimisation du squelette granulaire

La formulation des bétons peut passer par une optimisation de la porosité du système formé par les grains solides, du ciment aux gravillons. Il est connu par exemple que la résistance à la compression augmente avec la compacité de la pâte. L'ouvrabilité est elle aussi tributaire de l'arrangement du squelette granulaire.

I-8-Essais de caractérisation sur bétons autoplaçants

Plusieurs essais ont été développés pour déterminer les propriétés rhéologiques tant au point de vue de la fluidité que de la ségrégation(essai à la boîte en L, au tube en U et au cône en V essai d'étalement, divers rhéomètre, essai d'enfoncement de billes, etc.). Certains essais permettent de qualifier soit la fluidité du béton, soit son comportement rhéologique.

I-8-1-Déformabilité

- *Essai d'étalement*

C'est l'essai le plus courant, il s'effectue sur une plaque métallique plane de plus de 90 cm de côté et à l'aide du cône d'Abrams.

À l'essai au cône d'Abrams, le BAP, du fait de sa fluidité s'étale et forme une galette dont on mesure le diamètre, qui dépasse souvent les 500mm. La notion traditionnelle d'affaissement au cône d'Abrams n'a plus aucun sens avec ce genre de béton. Il donne une indication sur la capacité à s'auto-compacter en milieu non confiné, qui présenté dans la figure suivants.

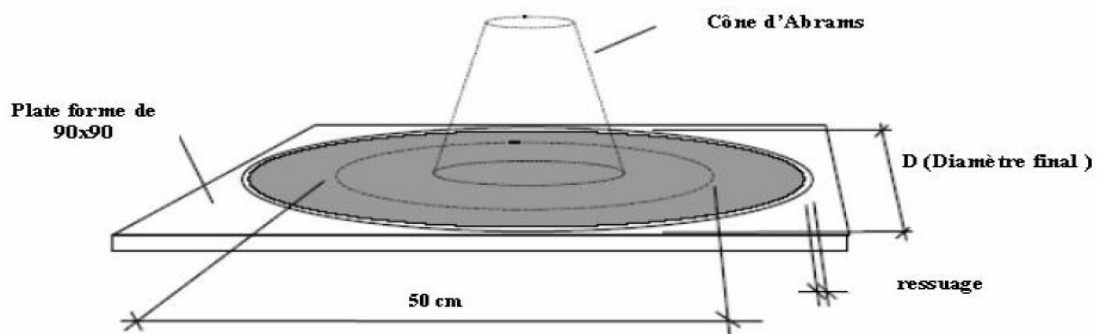


Fig. I .7: Représentation schématique de l'essai d'étalement [10].

I-8-2-Capacité de passage

- *Essai de la boîte en L*

Cet essai est réalisé en utilisant une boîte ayant une forme en L. elle permet de tester la mobilité du béton en milieu confiné et de vérifier que sa mise en place ne sera pas contrariée par des phénomènes de blocage inacceptables. Un dessin technique de la boîte est décrit par la figure ci-dessous.

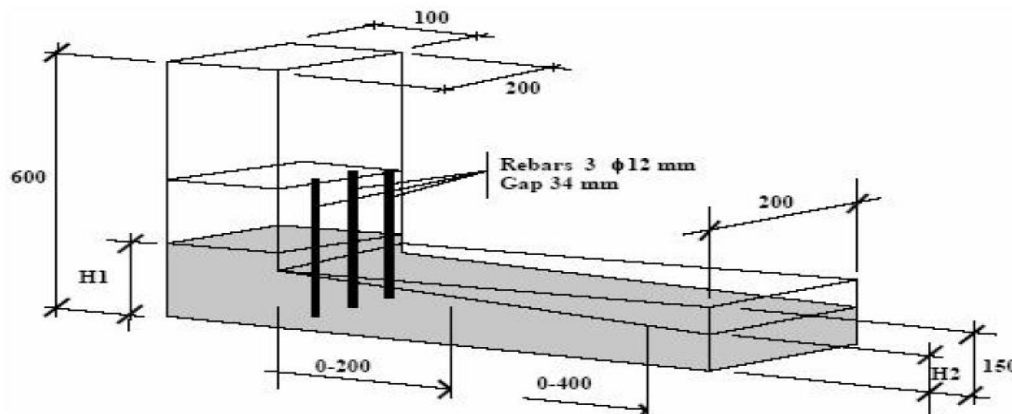


Fig. I.8 : Représentation schématique de l'essai à la boîte en L [10].

I-8-3-Résistance à la ségrégation

• Essai de stabilité au tamis

Cet essai vise à qualifier les bétons autoplaçants vis-à-vis du risque de ségrégation. Il peut être utilisé en phase d'étude de formulation d'un béton autoplaçant en laboratoire, ou pour le contrôle de la stabilité du béton livré sur chantier.

Il consiste à déposer deux litres de béton sur un tamis ayant des mailles de 5mm d'ouverture. Après 5 minutes, on pèse la quantité de mortier ayant traversé le tamis. Cette quantité par rapport à la quantité de mortier initialement présent dans le contenant de 2L donne l'indice de ségrégation [13].

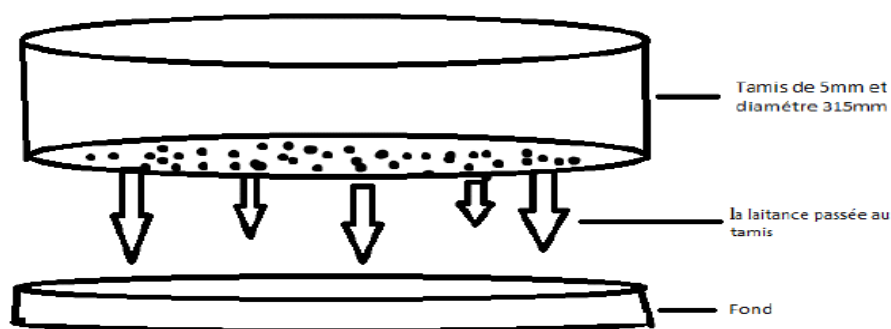


Fig. I.9 : Essai de la stabilité au tamis[13].

II- Mortiers autoplaçants

Dans le BAP, la phase du mortier est une phase très importante car elle fournit la lubrification entre les particules des gros granulats, et la stabilité globale du béton. Pour que le mortier puisse être considéré comme autoplaçant, il doit répondre à deux exigences essentielles : présenter une fluidité élevée et une résistance suffisante aux ségrégations statique et dynamique. En termes de rhéologie, cela revient à abaisser le seuil de cisaillement du mortier, tout en maintenant la viscosité plastique du mélange. A cet égard pas mal de recherches ont été faite dont les auteurs ont étudiés la rhéologie des mortiers autoplaçant partent de formulation, l'influence des ajouts minéraux et de superplastifiant, ainsi que la résistance mécanique.

II-1-Définition

Le mortier autoplaçant correspond à l'ensemble ciment, additions, eau efficace, air, adjuvants. Chacun de ces éléments joue un rôle différent dans le comportement du mortier frais et durci, L'étude du comportement rhéologique et mécanique de l'ensemble devient particulièrement difficile si on désire la conduire en analysant l'influence de tous les éléments [13].

Du moment que le mortier occupe un volume important dans les BAP (presque 70% du volume du BAP). les résultats d'essais sur MAP seront concluants et peuvent donner une grande idée sur le comportement rhéologique du BAP.

Les mortiers sont testés pour les raison suivantes :

- Le BAP a un volume en gros granulats moins important que le béton ordinaire, et donc les propriétés du mortier sont dominants.
- L'évaluation des propriétés du mortier est une partie intégrale de la formulation des BAP et donc la connaissance des propriétés sont dominantes.
- Tester un mortier est beaucoup plus commode et simple que tester un béton.

Les mortiers sont testés à travers l'essai d'étalement au mini -cône, l'essai d'écoulement au mini -entonnoir en V et compatibilité au cône marche. Ces tester ont pour but de déterminer la teneur en eau (rapport Eau /liant), la teneur en sable (rapport Sable/Mortier) et le dosage en superplastifiant (rapport superplastifiant /liant).

II-2-Formulation du mortier autoplaçant

Dans le BAP, la phase du mortier fournit la lubrification entre les particules des gros granulats, et la stabilité globale du béton. Les propriétés du mortier sont semblables à celle du BAP lui-même, c'est-à-dire un faible seuil de cisaillement pour assurer l'écoulement sous le seul effet de la gravité et une viscosité plastique suffisante afin d'assurer la non ségrégation du béton durant l'écoulement. En l'absence d'un rhéomètre pour mesurer le seuil de cisaillement et la viscosité plastique, la fluidité du mortier a été évaluée par l'essai d'étalement et l'essai de l'entonnoir (V-funnel) qui ont été utilisés par plusieurs chercheurs.

Pour la formulation du mortier autoplaçant dans notre étude, on s'est basé sur la méthode OKAMURA avec une amélioration au niveau de la teneur en sable, le rapport Eau/Liant (E/L) et le rapport Superplastifiant/Liant (Sp/L) pour s'adapter aux propriétés des matériaux locaux et en particulier le sable. La sélection du rapport sable/mortier et du rapport Superplastifiant/Liant est ajustée par l'essai d'étalement, dont le diamètre de la galette obtenu doit être compris entre $27 \text{ cm} \leq d \leq 33.5 \text{ cm}$, et par l'essai de l'entonnoir en V (V-funnel), dont le temps d'écoulement obtenu doit être compris entre $2 \text{ s} \leq t \leq 10 \text{ s}$.

II-2-1- Rapport Eau/Liant (E/L)

Nous avons effectué beaucoup d'essais préliminaires de mesure d'étalement et de temps d'écoulement afin de fixer le rapport eau/liant (E/L). Felekoglu et al ont montré que le rapport E/C optimum pour produire un BAP est compris dans l'intervalle 0,84 et 1,07 en volume qui correspond à l'intervalle 0,28 et 0,45 en masse. Les rapports E/C au-dessus et en dessous de cet intervalle peuvent causer un blocage ou une ségrégation du mélange. Les différents essais préliminaires ont montré qu'il faut aller jusqu'au rapport eau/liant 0,40 afin d'avoir un mortier autoplaçant satisfaisant ayant un étalement supérieur à 27 cm surtout dans le cas de faible dosage en superplastifiant.

II-2-2- Rapport Sable/Mortier (S/M)

L'optimisation du rapport Sable/Mortier consiste à développer les meilleures caractéristiques du mortier à l'état frais pour assurer par la suite des bonnes caractéristiques du béton autoplaçant à l'état frais et durci. Le principe de la méthode consiste à rechercher la composition optimale pour les rapports Sable/Mortier de 0,5 tout en faisant varier le rapport superplastifiant/liant (Sp/L).

II-2-3- Variation du Rapport Superplastifiant /Liant (Sp/L)

Pour déterminer l'effet de la variation de la teneur en superplastifiant sur le mortier à l'état frais, on étudie la variation du diamètre d'étalement (mini-cône) et du temps d'écoulement (V-funnel), en fonction du dosage en superplastifiant Sp/L.

II-3- Caractéristiques principales d'un mortier autoplaçant

a)-A état frais.

II-3-1-Essai d'étalement au mini-cône

L'essai consiste à remplir le petit cône de mortier, placer sur une plaque à surface propre et humidifier et dont les dimensions sont présentées sur la figure suivante. Le cône est ensuite soulevé et le mortier en sort en formant une galette qui s'élargit sous son propre poids. La valeur de l'étalement correspond au diamètre moyen de la galette du mortier ainsi obtenue. La tendance à la ségrégation et au ressuage peut être détectée visuellement, le sable doit être réparti uniformément et aucune concentration ou séparation de fines ne devrait apparaître sur les bords de la galette [14].

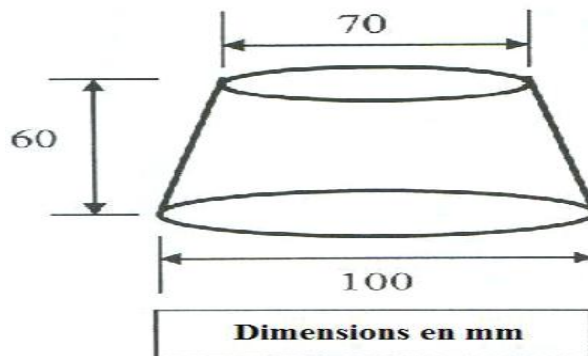


Fig. I .10:Essai d'étalement pour mortier.

II-3-2-Essai de l'entonnoir en V (V-funnel)

L'essai consiste à remplir un mini-entonnoir en V en MAP tout en maintenant le clapet qui se situe à la base du mini-entonnoir fermé. le clapet est ensuite ouvert permettant au MAP de s'écouler au travers l'orifice. le temps d'écoulement T_v est le temps qui sépare l'instant de l'ouverture du clapet et l'instant où la lumière du jour devient visible du haut du mini-entonnoir [15].

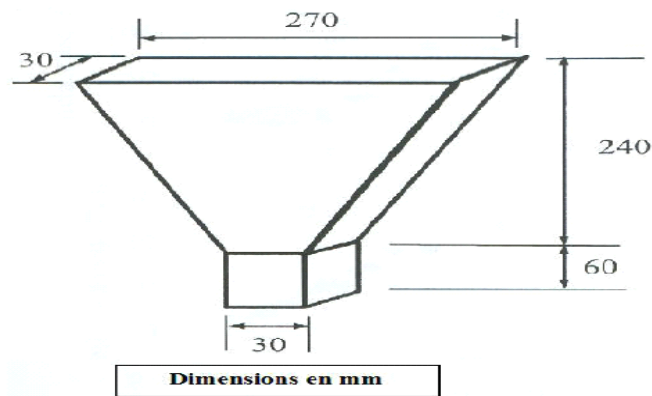


Fig. I.11 : Essai d'écoulement au mini-entonnoir en V.

b)-A état durci

II-3-4-Résistances mécaniques

Dans les zones chaudes et sèches, le béton est soumis dès son jeune âge à des températures très élevées accompagnées d'une évaporation intense. Le départ prématuré de l'eau de gâchage peut arrêter l'évolution de la réaction d'hydratation du ciment. Ce qui va affecter négativement la qualité des hydrates formées et par la suite va réduire la résistance mécanique, notamment à la compression. Le béton dans ces milieux aura alors une grande tendance à la fissuration, et la protection du béton contre ces effets devient d'une importance pratique extrême.

II-3-4-Retrait

Le phénomène de retrait est un facteur très important dans la pratique. Il correspond à des variations dimensionnelles mettant en jeu des phénomènes physiques avant, pendant et après la prise des bétons. Le retrait du à la perte d'une partie de l'eau de gâchage par évaporation.

Cette évaporation peut être causée par les conditions climatiques.

La vitesse de l'air joue un rôle important aussi, elle accélère l'évaporation de l'eau et l'accroît par la suite le retrait comme il est montré au tableau I-1. [16].

Tableau. I.1 : Retrait du béton en fonction de la vitesse de l'air .

Vitesse de l'air (en m/s)	Retrait (en m/m)
0.0	1100
0.6	1600
1.0	2000
2.5	2800

II-4- Les types de retraits

II-4-1-Retrait endogène

On nomme le retrait endogène la contraction volumique de la pâte de ciment sans échange d'humidité avec le milieu extérieur en conditions isothermes.

C'est la conséquence macroscopique du retrait chimique, contraction égal à la différence de volume entre les hydrates et les réactifs, eau et ciment (contraction de la Chatelier) [8].

II-4-2-Retrait plastique

Le retrait plastique est défini, de manière classique, comme la contraction du béton en phase plastique consécutive au séchage. Il se développe lorsque la quantité d'eau évaporée à la surface est supérieure à la quantité d'eau de ressuage. L'association du retrait plastique et du séchage est toutefois une limitation de la définition. En effet, certaines publications sur BHP font état de fissuration possible avant la fin de prise, malgré toute protection contre l'évaporation d'origine chimique, de grande amplitude chez les bétons de rapport E/C inférieur 0.4.

Même si le BAP a en général un rapport E/C supérieur à cette valeur et, a priori, un faible retrait endogène, le retrait plastique désignera ici la contraction totale du béton « somme » du retrait endogène et du retrait de séchage, pendant la phase plastique.

La « phase plastique » est définie par la période s'écoulant entre la fabrication et le début de prise, période pendant laquelle le béton ne présente pas de cohésion.

Mais, comme le début de prise est difficile à mesurer pour un béton, les mesures de retrait plastique disponibles dans la littérature englobent très souvent la contraction totale pendant la prise.

A la fin, il est préférable de définir le retrait plastique comme la contraction totale du béton entre la fabrication du béton et la fin de prise.

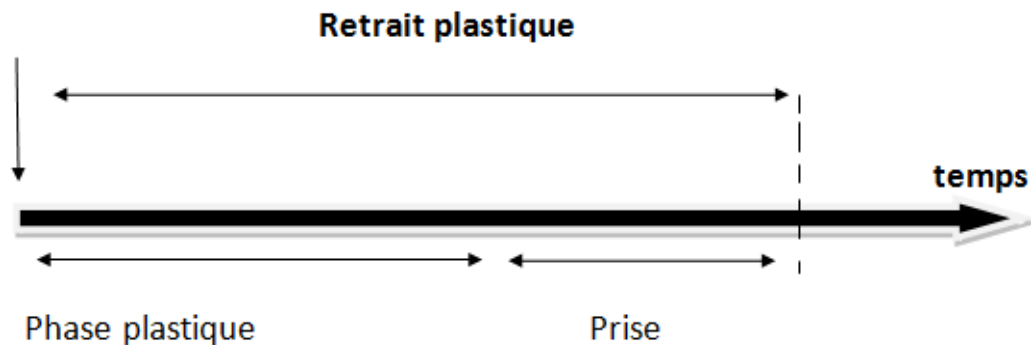


Fig. I .11 : Retrait plastique.

- **Paramètres qui influent sur le retrait plastique**
 - rapport de la masse d'eau et masse de fines. La taille des pores, et donc le rayon des ménisques à la surface, diminuent avec le rapport E/F ; en conséquence, le retrait de séchage se trouve augmenté lorsque ce rapport diminue ;
 - le rapport E/C . le retrait endogène est en fonction décroissante du rapport E/C . l'eau des pores est consommée d'autant plus vite par l'hydratation que sa proportion est faible dans le mélange ;
 - masse de ciment ou de fines. Pour un rapport E/F ou E/C donné, l'augmentation de la masse de ciment ou fine provoque l'augmentation du retrait plastique parce que les efforts capillaires ont lieu au sien de la pâte ;
 - nature de fines. Le retrait plastique augmente avec la surface spécifique. L'emploi de ciment fin ou d'une addition comme fumée de silice engendre un réseau poreux très resserré et donc des pressions capillaires rapidement élevée sous l'effet du séchage ou de l'hydratation ;
 - adjuvant. tous les adjuvants qui retardant la prise augmentent le retrait plastique, parce qu'ils retardent la naissance du squelette solide s'opposant aux efforts capillaire [17].

- Plusieurs travaux ont comparé le retrait plastique du BAP et celui du béton vibré observé des retraites plastiques deux à trois fois plus grands pour les BAP que pour les bétons ordinaires.

Selon **Turcry [18]** ; l'amplitude maximale du retrait plastique des BAP est environ cinq fois supérieure à celle des bétons ordinaires.

Ces différences semblent pouvoir s'expliquer par deux paramètres de formulation qui changent d'un type de béton à l'autre : un rapport eau/fines (E/F) plus faible pour les BAP et un dosage en superplastifiant des BAP plus fort qui retarde leur prise.

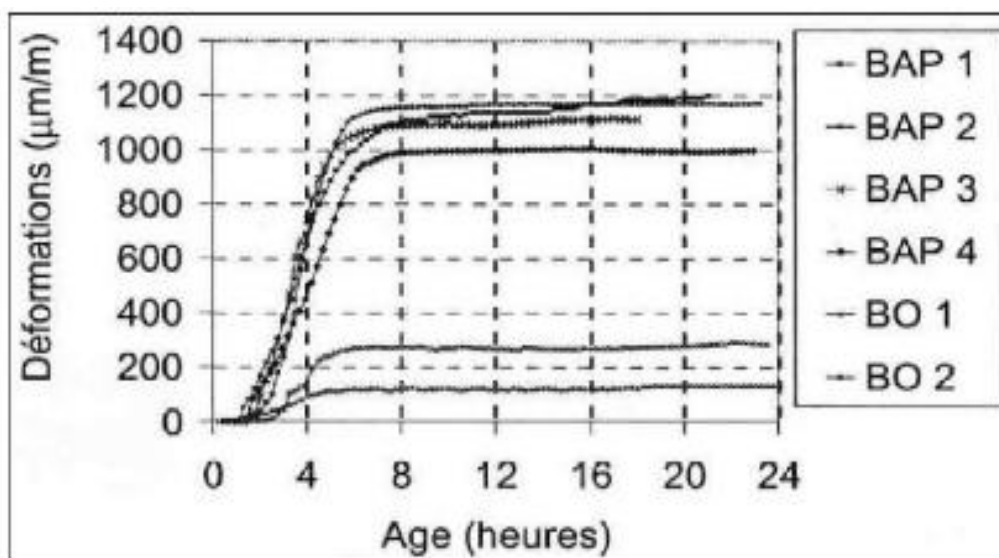


Fig. I.12 : Amplitudes maximales des BAP et Bétons ordinaires [19].

II-4-3-Retrait de dessiccation

Les données de littérature sur le retrait de dessiccation des BAP sont très contradictoires. Certains auteurs trouvent des déformations pour ces bétons plus importantes que celles mesurées sur des bétons vibrés. Ce retrait apparaît être d'auteur plus faible que le rapport G/S des BAP est élevé.

D'auteur annonce des retraites équivalents pour les deux types de béton à résistance mécanique constante.

Le retrait de séchage des BAP moins importants que ceux des bétons vibrés auxquels ils sont comparés (quantité de ciment et rapport E /C équivalents, volume de pate différent) [20].

II-4-4-Le retrait thermique

Le retrait thermique est dû à un gradient thermique important entre le cœur d'une structure, où règne une température élevée et la peau exposée à l'air ambiant. Par conséquent, il est d'autant plus important que la pièce (pile de pont, barrage, bloc de fondation etc.) est massive. La réaction d'hydratation exothermique est la cause inévitable de montée en température du béton ou du mortier, mais on peut également invoquer les conditions climatiques ainsi que les traitements thermiques qui sont parfois effectués sur les ouvrages. Toutefois, la réaction d'hydratation produit suffisamment de chaleur pour induire des montées en température allant jusqu'à 80°C au cœur d'une pièce en béton. Des fissures apparaissent lorsque la contraction opérée en peau et opposée à la dilatation au centre de la pièce, engendre des contraintes dépassant la limite en traction du béton. Par ailleurs, ce problème se pose d'autant plus dans le cas des reprises de bétonnage pour lesquelles la contraction est gênée par la rigidité de la pièce déjà coulée et cause une fissuration localisée plus profonde mais également plus espacée. Pour les structures en couches minces de mortier, ce type de retrait est négligeable devant ceux présentés par la suite [20].

Lorsque l'élément du béton ou mortier se trouvera dans une atmosphère ayant une humidité relative inférieure à celle d'équilibre de l'élément, les dimensions de ce dernier diminuent ; c'est le retrait. On mesure le retrait sur des éprouvettes prismatiques de mortier de 16 cm de longueur et d'une section droite de 4×4cm, conservées dans l'air à une température de 20°C et une hygrométrie de 50%.

La norme impose les valeurs limites, à 28 jours, de :

- 800µm/m pour les ciments portland CPA-CEM I ET CPJ-CEMII de classe 32,5R.
- 1000µm/m pour des types de ciment identique mais des classes 32,5R-42,5 et 42,5R.
- Les principaux paramètres agissant sur le retrait sont :
 - La nature du ciment ;
 - La finesse de mouture ;
 - Le dosage en ciment, dans le mortier ;
 - Le dosage en eau ;
 - La propreté et nature des granulats.

II-5- Paramètres qui affectent le retrait

Les paramètres qui affectent la cinétique et l'amplitude du retrait plastique:

- Le retrait chimique. L'amplitude de la contraction chimique dépend uniquement de la nature de ciment et la vitesse d'hydratation.

Le retrait chimique influe sur le retrait endogène.

- Le retrait de séchage n'apparaît que si le ressuage est négligeable devant l'évaporation ;

- Le taux d'évaporation ;

- L'angle de frottement interne conditionne la « naissance » de la déformation horizontale ;

- La géométrie et la taille des pores contrôlent le développement de la pression capillaire créée par un départ d'eau.

- La compressibilité du squelette.

Synthèse

L'effet du climat sur les différentes propriétés (à l'état frais ou à l'état durci) des BAP ne fait objet quasiment d'aucune étude jusque-là. Les applications des BAP sur des éléments horizontaux, généralement à grandes surfaces d'exposition, aggraverait pourtant le départ d'eau par évaporation.

La cure est un processus qui consiste à maintenir une certaine humidité et une certaine température au béton pendant une période bien définie.

Le chapitre II explique les différents paramètres de climat qui influent sur béton autoplaçant et aussi application de la cure pour protégé béton (les divers types et classes).

Chapitre II

Comportement du Béton ET Mortier Auto plaçant

En Climat réel

(L'influence des paramètres de la formulation et de Cure)

Dans ce chapitre on va identifier les facteurs d'influence des climats réels et le comportement de Mortiers Et Bétons Autoplaçants dans ce climat ainsi l'influence de la cure et les divers types, qui peuvent être appliqués pratiquement sur le terrain, et les pathologies liées à l'absence de cure. Sans oublier l'influence des paramètres de composition. Plusieurs travaux ont été effectués dans ce sens surtout pour le béton ordinaire, mais non on va se limiter à la bibliographie orientée dans le comportement du BAP et MAP choisi dans cette étude malgré le peu des données.

II.1-Généralités

D'après le comité 305 de l'American Concrete Institute [21], le temps chaud est défini comme « toute combinaison d'une température élevée de l'air, d'une faible humidité relative, de la vitesse du vent et du rayonnement solaire, qui tend à altérer la qualité du béton frais ou durci en accélérant l'évaporation et la vitesse de l'hydratation du ciment ou, sinon, à conduire à des propriétés anormales du matériau». Pour apporter des précisions à cette définition retient trois groupes de climats chauds, en se basant sur les humidités relatives (HR) moyennes des régions concernées :

- climat chaud et humide ($HR \geq 85\%$),
- climat chaud à humidité modérée ($50\% < HR < 65\%$),
- climat chaud et sec ($HR < 40\%$).

L'hygrométrie de l'air est en effet un paramètre qui commande la capacité d'évaporation de l'eau à partir d'une surface plane fraîchement coulée de dalle ou de plancher. En précisant un peu plus, il est possible de distinguer deux catégories de climat :

- Climats désertiques ou sahéliens, chauds et secs
- Climats tropicaux ou équatoriaux, chauds et humides

II-2- Introduction

Le climat chaud est un terme utilisé pour désigner les pays qui ont des valeurs de température et de vent très élevées avec une humidité relative qui peut être très basse ou très élevée. La fissuration à jeune âge est une préoccupation permanente pour les constructeurs et un défaut de protection de la surface peut causer de nombreux problèmes en termes de durabilité. La température et l'humidité de l'air, le vent et les radiations solaires sont les facteurs liés au climat qui influent d'une manière directe les propriétés du béton. Les constructeurs sont obligés dans des telles situations de prendre des précautions particulières pour prévenir tout risque dans l'avancement des projets en cours de réalisation. La cure du béton est parmi les moyens de précaution les plus efficaces.

II-3-Facteurs climatiques à prendre en compte

II-3-1-Température de l'air

Les températures élevées dont on vient de donner des ordres de grandeur et des plages de variation selon les climats, sont le terrain favorable à l'évaporation de l'eau du béton et à sa dessiccation. Elles ont également pour effet d'accélérer la prise et le durcissement du ciment sans pour autant que les résistances à long terme soient augmentées.

Une augmentation de la température conduite à une accélération des réactions de l'hydratation, de nombreuse étude on montrer que l'humidité du milieu environnement influe sur la cinétique hydratation des phases de clinker de façon différent ; l'hydratation C_3A et moins sensible que celle du C_3S et C_2S lorsque l'humidité relative ambiante et faible.

Bentz et colle [22] ont aussi observé que le changement de cure de 100 à 90% quelque heures après l'hydratation influe de façon importante l'évolution du degré d'hydratation ; selon **Power [23]** si humidité relative est inférieure à 80%, l'hydratation s'arrête.

II-3-2- Humidité relative

Les variations de la température de l'air impliquent celles de l'humidité relative. L'évaporation est d'autant plus forte que cette humidité est faible ; elle est à relier à la quantité d'eau que l'air peut théoriquement absorber pour atteindre sa saturation (capacité restante d'absorption d'eau de l'air.

II-3-3- Vent

L'action du vent sur le béton frais est développée par, « en accélérant les échanges convectifs au niveau de la surface du béton, le vent accroît la quantité d'eau évaporée ». La vitesse d'évaporation de l'eau de gâchage est donc d'autant plus élevée que celle du vent augmente. Par temps chaud, cette évaporation peut atteindre de sérieuses proportions si la vitesse du vent excède 15km/h.

II-3-4- Rayonnement solaire et précipitations

Ces deux paramètres exercent une forte influence sur la température et l'humidité relative ambiantes. La température de l'air dépend directement du rayonnement solaire en l'absence de nébulosité et de pluie. Dans ce cas, le rayonnement direct va provoquer l'élévation de la température des matériaux de base stockés (ciment, granulat et eau). Il en résulte une augmentation de la température du béton frais. Après la mise en place du béton, le rayonnement solaire direct conduit à une évaporation rapide de l'eau des surfaces en béton exposées et peut entraîner une fissuration par retrait plastique.

II-3-5-Evaporation

La littérature fait ressortir que l'évaporation est le paramètre préoccupant lors du bétonnage par temps chaud et qu'elle est amplifiée sous l'action conjuguée des facteurs décrits précédemment. Elle se produit lorsque la surface de l'eau est exposée à un air non saturé. Dans le cas du béton frais, la surface d'eau est créée par le phénomène de ressuage.

II-4-Effet du climat réel sur les propriétés du béton

De graves défaillances apparaissent dans certaines constructions en béton, et plus particulièrement celles réalisées en béton Autoplaçant, ce qui affecte sa durabilité, notamment dans les pays chaud. Généralement, ce problème est dû à trois causes principales :

- Effet agressif des conditions météorologiques.
- Utilisation de matériaux non appropriés à un tel type de béton ou de mauvaise qualité
- Travail non qualifié ou pratiques de conception qui ne sont pas en convenance avec les conditions locales. La détérioration en du béton dans les conditions climatiques chaudes (dans les régions désertiques) est enregistrée sous forme de fissuration précoce lors de la réalisation, ou à long terme, au fil du temps. Le temps chaud est défini dans le Manuel ACI comme une combinaison de haute température de l'air, avec une Faible ou haute humidité relative et vitesse du vent.

La plupart des régions du sud Algérien sont typiquement considérées comme climat chaud.

Dans ces régions, les températures estivales excèdent souvent les 40 C°.

II-5- Effets des conditions climatiques sur la qualité du béton autoplaçant

De nombreuses enquêtes ont été menées pour évaluer les effets des conditions climatiques chaudes sur les propriétés du béton et la quasi-totalité de ces recherches sont menés sur les propriétés à l'état durci et les caractéristiques de durabilité.

Les données de la littérature spécifique sont contradictoires même si les communications traitant du problème montrent une tendance d'un retrait plus important pour les BAP.

- Perte rapide de consistance et de maniabilité
- Chute de résistance à la compression
- Augmentation de la fissuration due au retrait plastique

II-6-Effet des conditions climatiques sur le retrait

Plusieurs études on évoquer l'effet de climat chaud sur le retrait comme :

L'étude de **AIT AIDER [24]** ; à montre que lorsque le taux d'évaporation dépasse celui du ressuage, la portée du retrait plastique est presque identique pour les deux natures de mortier. Avec un faible taux d'évaporation, les BAP semblent mieux épargnés de la fissuration. Il est donc plus que vital de protéger automatiquement les BAP en utilisant une cure approprié, particulièrement en conditions climatiques chaudes.

Par des auteurs montrent que ; influence des conditions environnementales et mécaniques sur mortier de jeune âge ,A des taux d'humidité relative situées sous le niveau capillaire , les écarts de températures et leurs variations en cours des 12jours ont fait apparaitre que le pertes de poids et de retrait sont limitées par la quantité de CSH ; celle-ci entrant plus grande dans les pates aux fumée de silice.

D'après **Bella [25]** ; Si les conditions climatique (température, humidité relative et vent) sont sévères telle que le climat chaud et aride et la forme de l'ouvrage présente une grande surface libre (tel que les dalles et planchers), cette eau de ressuage va s'évaporer plus rapidement que la vitesse de ressuage (c.-à-d. la vitesse de montée de l'eau), ce qui va créer des capillaires (ou des vides) entre les particules solides , et par suite des contraintes de traction vont agir pour rapprocher les parois des capillaires entre elles (figureII.1).

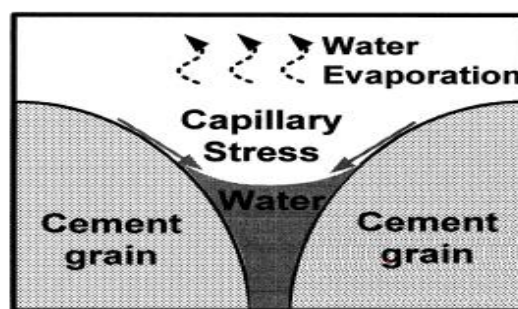


Fig. II.1 : Schéma représentatif du liquide entre deux particules sphériques [25]

II-7-Effet de climat réel sur la résistance mécanique

L'étude de **Almusallam [26]** ; montre l'effet du climat. chaud sur les propriétés du béton exposé aux différentes conditions climatiques. L'effet de la température, le vent et l'humidité relative sur le retrait plastique. La résistance à la compression et la porosité ont été étudiés. Les principaux résultats ont montré l'effet du climat sévère et les conditions météorologiques sur la détérioration du béton et de ses propriétés {fissuration, résistance à la compression). Une température trop élevée affecte la porosité du béton.

Berhane [27] ; a étudié l'effet du climat chaud et humide sur la résistance à la compression du mortier, les variables de cette étude étaient la température de l'air, du mortier et le type de ciment. Il affirme que le climat chaud à une influence négative sur la résistance à la compression à 28 jours, cette dernière chute avec l'utilisation d'une classe cimentaire très élevée.

BELLA et al [25] ; Les réactions d'hydratation du ciment sont thermo activée, c.-à-d. qu'elles sont accélérées par l'effet de la température, ce qui donnent normalement une grande résistance, mais cela est vrai seulement au jeune âge (< 2 jours), les expériences montrent [15, 16, 17] que la résistance à long terme (28 jours) est réduite par l'effet de l'accélération du durcissement, probablement parce que ces produit d'hydratation du ciment du béton qui a subi une accélération de durcissement sont plus faibles est moins dense que les produits d'hydratation du béton dans la température normale (20 ± 5 °C).

II-8-Paramètres de formulations influençant sur les propriétés des bétons autoplaçants

II-8-1-Rapport E/C

Ait Aider [24] ; montre qu'une augmentation du rapport E/C dans les climats sévères peut donner un effet contraire à celui des travaux de Barhane [27] peut assurer la résistance nécessaire à 28jours. Cette augmentation du rapport E/C garantit l'humidité nécessaire pour le processus d'hydratation. Ces travaux ont été effectués sur des éprouvettes de béton de différents rapport E/C conservés dans cinq différent cures et conditions climatique.

Le comportement rhéologique du béton est aussi influencé par la température et les climats chauds. Ces conditions ont un effet négatif sur la consistance et la maniabilité. Cette dernière se caractérise par l'affaissement. Des bétons ordinaires ou l'étalement pour les BAP. Plus la température est élevée, plus il y'a une perte d'ouvrabilité. De plus la température affecte les superplastifiants et influe leurs compatibilité avec les matériaux cimentaires **Taleb [28]** ; La

(figure II.2) montre que la diminution du rapport E/C influe significativement sur la résistance en compression des BAP qui est légèrement supérieure à celle du Béton Ordinaire.

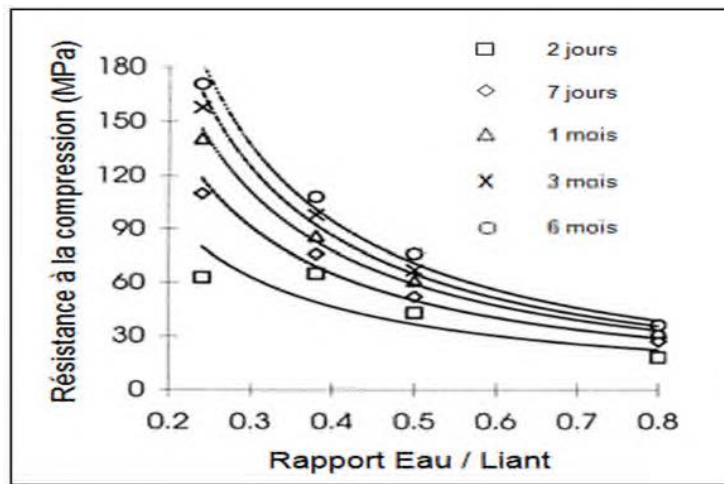


Fig. II.2 : Variation de la résistance à la compression en fonction de l'âge.

II-8-2-Additions minérales

Turcry [18] ; a montré l'effet des additions minérales sur la fissuration dans une étude sur le retrait empêché des BAP. A utilisé des mortiers dont le volume de sable est fixé à 45 % du volume total. A pris comme variable la quantité de super plastifiants, volume des additions sur le volume du ciment et le rapport E/ liant. L'utilisation des grands rapports Addition/ ciment conduit à une fissuration très élevée, à l'exception des fillers calcaire sans adjuvant. Pour des rapports E/liant égal à 1.07, les mortiers avec fillers calcaires fissurent moins que ceux avec cendres volantes.

➤ Influence des Fillers Calcaires

Felekoglu [29] ; Les résultats ont montré que les fillers calcaires augmentent la viscosité des pâtes de ciment, en améliorant la stabilité et la non-ségrégation, pour un dosage en superplastifiant et un rapport eau/ (ciment fillers) constant.

Benachour et al [30], Du fait de sa grande utilisation dans l'industrie, de nombreuses études ont montré généralement le rôle important des fillers dans les bétons, les mortiers, en soulignant que leur présence excessive était souvent un facteur néfaste. Toutefois, ces études ont été réalisées le plus souvent sur des mortiers normaux dans lesquels une partie du sable ou du ciment a été substituée par des fillers calcaires.

I-8-3-Influence du superplastifiant

Selon **Taleb [28]** ; La réduction du rapport E/C va nous permettre d'augmenter les performances mécaniques du mélange fig. II.3. Cette réduction d'eau de gâchage va aussi directement contribuer à la diminution de la consommation d'eau dans la production des bétons. Ceci est important surtout lorsque l'approvisionnement en eau est souvent un problème.

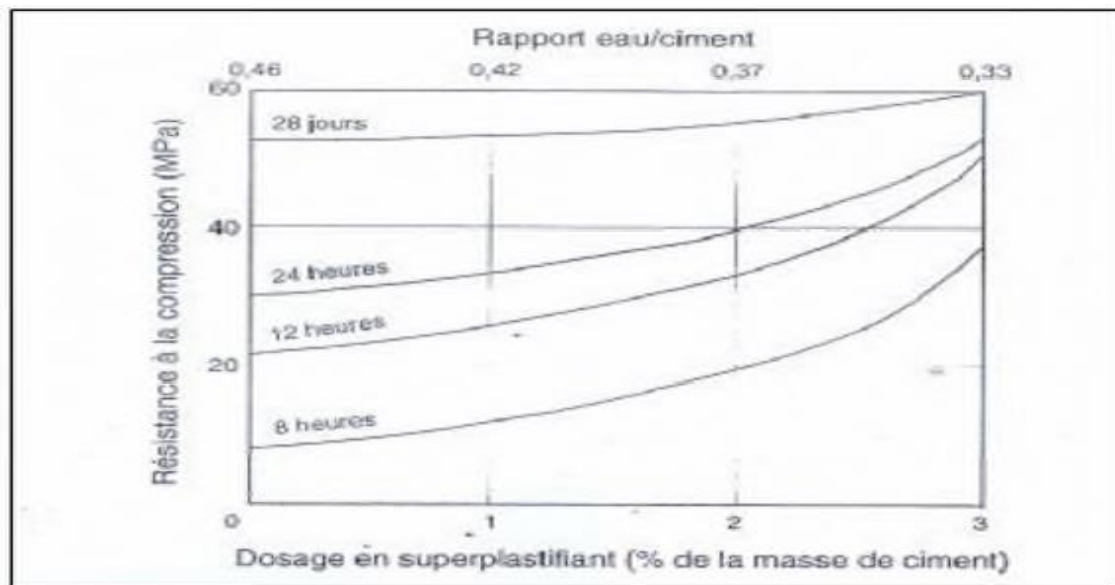


Fig II.3 : Influence d'un superplastifiant sur la résistance à jeune âge d'un béton

Tabet [31] ; L'utilisation de superplastifiants nous permet d'obtenir un béton très liquide pouvant être mis en place sans vibration ni ressuage ou ségrégation.

Hot [32] ; a suggéré que la viscosité du fluide interstitielle et le changement de l'état de floculation dû à la présence de molécules de polymère adsorbé, serait à l'origine de la diminution plus ou moins prononcée de la viscosité macroscopique suite à l'ajout d'un polymère.

II-8-4-Influence des granulats

Le volume des gros granulats dans le béton est le facteur le plus important pour le contrôle de la maniabilité et de la capacité de remplissage : plus la teneur en gros granulats augmente et plus la capacité de remplissage ne diminue.

Okamura et coll [33] ; mentionnent que le premier point dont il faut tenir compte lors de la formulation d'un BAP est de limiter la teneur en gros granulats car les bétons frais à faibles dosages en granulats se caractérisent généralement par une haute résistance à la ségrégation.

BENSEBTI [34] ; ont déterminé les quantités optimales en gros granulats et en sable capables d'améliorer la fluidité des mélanges de béton en présence d'un agent colloïdal et de superplastifiant. La quantité des granulats (granulats concassés lavés) a été de 300 L/m^3 avec une teneur de 70% de granulats de diamètre maximum 14 mm et 30% de diamètre maximum 20 mm. Quant à la quantité de sable, elle correspondait à un rapport Sable/Pâte (volumique) de 0,6.

Le **tableau II-1** ci-dessous récapitule l'influence de l'augmentation de ces paramètres sur les performances rhéologiques et mécaniques des bétons autoplaçant

Constituent	Fluidité	Viscosité	Stabilité	Résistance à 28j
Filler	↘	↗	↗	↘
Pouzzolane	↘	↗	↗	↘
Superplastifiant	↗	↘	↘	↗
Granulat ($D_{\max}$)	↘	↗	↗	↘
E/C	↗	↘	↘	↘

II-9- Influence de cure sur les propriétés des bétons autoplaçants

Lorsque le ciment est mélangé à l'eau, une réaction d'hydratation débute. Grâce à cette réaction des liens chimiques s'établissent entre l'eau et le ciment et forment le béton. Plus les liens seront abondants, plus le béton sera résistant et durable. Il faut donc favoriser l'hydratation. L'hydratation a lieu correctement si :

- le béton jeune est gardé dans des conditions d'humidité suffisantes => suffisance en eau,
- il est maintenu à une température adéquate et ce durant les quelques heures suivant la mise en place du béton.

Alors le processus qui consiste à garder une certaine humidité et une certaine température est appelé CURE du béton. On tente alors de protéger le béton jeune d'une trop grande évaporation, en jouant sur ces facteurs. La cure est réalisée :

- Soit par limitation d'évaporation
- Soit par apport d'eau à la surface du béton.

Elle doit protéger le béton au jeune âge contre :

- La dessiccation provoquée par le vent, le soleil, le faible taux d'humidité de l'air ambiant

- De minimiser les risques de fissuration.
- De confère au béton d'enrobage des performances satisfaisantes.

La cure du béton est indispensable : elle doit être appliquée le plus tôt possible après la mise en œuvre du béton.

II-9-1-Importance de la cure et conséquences sur béton autoplaçant

La cure du béton est importante au début de sa prise et de son durcissement. L'eau peut quitter le béton fraîchement coulé par évaporation sur les surfaces non protégées.

- L'évaporation empêche la réaction chimique de prise du béton de se faire correctement mettant en cause la résistance du béton. En effet, s'il y a moins d'eau que celle nécessaire à l'hydratation, il y aura moins de liaisons chimiques donc moins de force de cohésion entre les composés.
- L'évaporation de l'eau provoque l'augmentation de la porosité. L'eau en partant crée des vides qui seront des espaces libres pour la venue des agents agressifs (chlorures, carbonates, les sulfates, les alcalins, les acides), un logement pour l'eau gelée, ... Cette porosité aurait donc pour conséquence une diminution de la durabilité du béton.
- Des fissures peuvent également apparaître. L'eau de surface, en s'en allant à tendance à entraîner la matière avec elle (« elle aspire »), mais le béton ayant un peu durci ne se fait pas

aspirer par l'eau. On a alors création de fissures, celles-ci jouent au même titre que les vides sur la durabilité et la résistance.



Fig. II.4 : Fissurations.

II-9-2-Influence de cure sur le retrait

Mbemba-Kiele [37], affirme que le séchage excessif en générale et particulièrement en présence du vent a une importante influence sur la fissuration du béton, Dans des conditions sévères, le vent, bien qu'il soit faible (20km/h), influe, de façon prononcée les bétons. Et l'absence de cure surtout dans les premières heures de coulage peut être fatale pour la durabilité du béton. Pour son étude, les conditions de séchage ont été simulées dans une chambre climatique de 20 C° de température et de 50 % d'hygrométrie et une vitesse du vent de 5m/s. L'exposition d'un béton à des conditions climatiques sévères est la cause du déséquilibre hygrométrique qui se manifeste dans ce dernier, traduit par le mouvement de l'eau du béton vers l'extérieur.

II-9-3-Influence de cure sur les résistances mécaniques

Une quantité de pâte (liant + eau) relativement plus importante dans les BAP par rapport aux bétons ordinaires, pourrait les rendre plus vulnérables vis-à-vis de la dessiccation, d'autant plus que les BAP sont susceptibles de peu ressuer. Cependant cette sensibilité à perdre de l'eau peut être très différente d'une formule de béton à une autre, en fonction des types d'additions utilisées comme fines en substitution partielle et en complément du ciment. D'une manière générale, il est recommandé d'être particulièrement vigilant aux moyens de cure à mettre en œuvre après le bétonnage afin d'éviter une évaporation trop importante dans les premières heures du durcissement. Il convient donc d'appliquer de façon stricte les règles définies pour la cure des bétons ordinaires, pour le cas des BAP. Pour les applications horizontales, il est recommandé d'appliquer une cure immédiatement après la mise en œuvre du béton afin d'éviter une évaporation trop importante, source de fissuration précoce et de diminution des propriétés de durabilité du béton d'enrobage [35]. Dans le cas d'une utilisation d'un produit de cure, ce dernier devra être compatible avec la pose éventuelle ultérieure d'un revêtement de finition.

Mbemba-Kiele [36] ; montrent qu'il n'existe pas de lien entre l'apparition de la fissure et les déformations plastiques du matériau. En l'absence de vent. La fissuration des bétons à l'état plastique intervient lorsque la dépression capillaire dans le béton va dépasser la pression d'entrée d'air. Les résultats montrent bien que l'usage de matériaux d'étanchéité (ici le film plastique) semble le mode de cure le plus efficace contre la fissuration précoce, à première vue. L'absence de fissure est liée, en outre, à l'apparition beaucoup plus tardive de la dépression capillaire dans le béton, c'est-à-dire pendant la prise. A cet instant le matériau n'est plus plastique.

Ainsi le développement de la dépression capillaire en conditions endogènes pourrait être un indicateur de début de prise du matériau. L'usage de produit de cure protège partiellement le matériau contre les déformations plastique. Le produit de cure constitue un écran protecteur contre l'entrée d'air dans le matériau.

II-9-4-Différents procédés de cure du béton

Plusieurs méthodes de cure sont utilisées sur le chantier, parmi lesquelles, on distingue :

II-9-4-1-La Cure à l'eau

L'utilisation de l'eau comme produit de cure du béton correspond à une solution très satisfaisante du point de vue technique.

Le développement de la pression capillaire dans les matériaux cimentaires, humidifiait la surface du béton frais avant que la pression d'entrée d'air ne soit atteinte. Ainsi, il évitait la fissuration précoce du matériau en surface tout en contrôlant la cure. Les procédés de cure directe par l'eau sont satisfaisants si la présence d'eau est continue. Plusieurs procédés existent :

a)-l'arrosage continue constitue une cure excellente s'il n'y a pas de risque de gel. La pulvérisation d'un brouillard. La vapeur d'eau peut être utilisée à la pression atmosphérique pour maintenir un film d'humidité au contact du béton.



Fig. II.5 : Arrosage continue

b)-L'immersion de la pièce supprime tout risque de dessiccation ou de défaut d'hydratation. L'eau ne devant pas être beaucoup plus froide que le béton pour éviter de provoquer des contraintes trop importantes donc des risques de fissuration.

c)-L'utilisation de toiles, paillassons, tous revêtements absorbant est possible mais il faut encore veiller à leur propreté. La fréquence de ré humidification de la couverture diminue lorsque sa rétention d'eau augmente.

d)-L'usage de matériaux fins humides (sable) tout en vérifiant qu'ils ne contiennent pas de substances pouvant retarder la prise du ciment.

II-9-4-2-La cure par des matériaux d'étanchéité

a)-L'usage de produits de cure consiste à former à la surface un film s'opposant à la dessiccation. Avec un temps de séchage rapide, ces produits offrent une protection efficace pendant 3 à 4 semaines.



FigII.6 : Pulvérisation du Produit de Cure à la Surface du Béton.

b)-L'usage de feuilles étanches, tel un film plastique, appliqué à la surface humide du béton frais, et doit recouvrir toutes les faces exposées du matériau, puis lesté de manière à est au contact du béton pendant toute la durée de la cure (figure II -7).

c)-Le maintien des coffrages en place permet d'éviter une grande évaporation à la surface du béton, une fois le béton coulé. (Figure II-8)



Fig. II.7 : Usage d'un polyane recouvrant la surface du béton.



Fig.II.8 : Maintien des coffrages en place.

II-9-5-L'influence du mode de cure sur la durabilité des matériaux

La fissuration de la surface des bétons a conduit à rechercher une optimisation de l'efficacité dès la nécessité d'emploi d'un produit de cure sur béton frais pour empêcher le différent système ou méthodes de cure.

- Pour les dalles, comparaison des systèmes aqueux et à base de produits contenant un solvant.
- Pour les voiles, comparaison de différentes méthodes :

- a)-maintien sous coffrage ;
 - b)-décoffrage non suivi de cure ;
 - c)-décoffrage suivi la cure maintenue pendant des durées variables (1, 3 ou 8jour).
- Pour un voile comparaisons des systèmes aqueux et à solvant [17].

II-9-6-Différents exemples d'application de cure

II-9-6-1-Surfaces verticales

Tous les bétons qui sont en permanence exposés aux conditions climatiques (les murs, les immeubles, les ponts,...) ont besoin de subir un important traitement de cure et ce durant au moins 1 semaine. Une cure réussie rend le béton moins perméable en conséquence plus résistant au gel, au dégel, à la sécheresse et à l'humidité.

La couleur du béton dépend du nombre d'heures ou de jours qu'est resté le coffrage et du temps qu'il fait lors du décoffrage. Dans le cas où on accorde de l'importance à l'uniformité de la teinte du béton, on doit laisser le coffrage 4 jours ou les protéger par un film plastique si les surfaces sont décoffrées avant ce délai. On a tout intérêt à prévenir l'apparition des taches car les enlever coûte beaucoup de temps et d'argent.

Il est à remarquer que le film plastique protège à la fois de l'évaporation et des poussières ou saletés environnantes. On peut utiliser des sprays ou la toile de jute, mais il faut les avoir testés au préalable.

II-9-6-2-Pavement et dallage

Pour la plupart des surfaces horizontales il est important d'avoir réalisé une bonne cure, surtout si elles doivent faire face au trafic (piétons et véhicules).

En règle générale on utilise des films plastiques. (Pas de spray pour permettre les liaisons entre les différentes couches).



Fig. II.9 : la cure de la surface horizontale

II-9-6-3- Routes mineures, chemins

Une façon assez pratique pour réaliser la cure sur des petites routes est d'utiliser un spray. Pour des routes plus larges on préférera utiliser un film plastique plus facile à poser. En effet, avec un spray il sera difficile d'atteindre le milieu de la route.

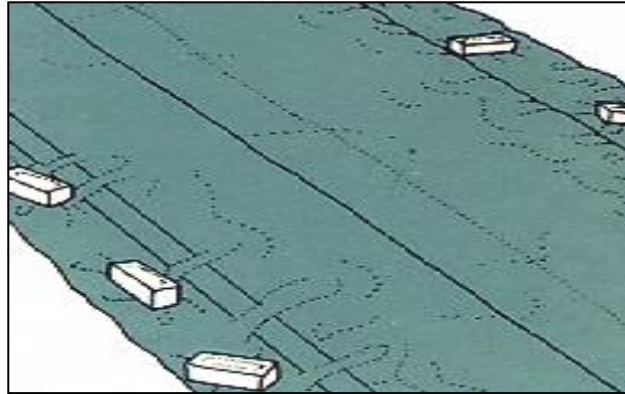


Fig. II.10 : La cure des routes

Un ensemble de briques seront mise en place pour maintenir correctement le film plastique. Par grand vent d'autres précautions devront être prises.

II-9-7-Procèdes de cure

Le procédé de cure consiste à appliquer, dès la fin de mise en place du béton, selon les caractéristiques de l'ouvrage, les méthodes suivantes :

- Maintien du coffrage en place
- Application par pulvérisation d'un produit de cure conforme à la norme NF P 18-370 et bénéficiant de la marque nf produit de cure, à un dosage de 100 à 300g/m²
- Apport d'eau pour maintenir la surface du béton humide : brouillard d'eau, film d'eau, arrosage léger....
- Mise en place de bâches étanches à la vapeur : film polyane (fermées le long des joints ou des arêtes pour éviter les courants d'air)
- Mise en place de géotextiles (humidifiés régulièrement)

II-9-8- Durée de cure

Les normes NF P 18-370 et NF P 18-371 et bonification d'une certification de conformité émanât d'un organisme certificateur officiel (marque NF – produits de cure).

La durée minimale de cure doit être conforme à la classe 2 de la norme NF en 13670/CN.

Elle est fonction de la température à la surface du béton (t) et du développement de la résistance du béton ($r=R_{2j} / R_{28j}$).

Tableau. II-2- La durée minimale de cure

Température de la surface du béton (t) en °C	Durée minimale de cure, jours		
	Evolution de la résistance du béton ^(c, d) (f_{cm2j}/f_{cm28j})=r		
	Rapide $r \geq 0.50$	Moyenne $0.5 \geq r \geq 0.3$	Lente $0.3 \geq r \geq 0.15$
$t \geq 25$	1.0	1.5	2.5
$25 \geq t \geq 15$	1.0	2.5	5
$15 \geq t \geq 10$	1.5	4	8
$10 \geq t \geq 5^{(b)}$	2.0	5	11

(b) Pour les températures inférieures à 5 °C, il convient d'augmenter la valeur indiquée dans le tableau par la durée pendant laquelle la température est restée inférieure à 5°C

(C) l'évolution de la résistance du béton est le rapport de la résistance moyenne à la compression à 2 j à la résistance moyenne à la compression à 28j , détermine par des essais Préalables ou base sur l'expérience d'un béton de composition comparable

(d) Pour une évolution très lente de la résistance du béton, il convient de formuler des exigences particulières dans les spécifications d'exécution.

II-9-9-Classe de cure

Le choix de la classe de cure est la responsabilité du maître d'ouvrage.

La classe de cure doit être spécifiée dans le CCTP.

Tableau. II.3 : Classe de Cure

Classe de cure	1	2	3	4
Périodes (heures)	12 ^a	/	/	/
Pourcentage de la valeur spécifiée pour la résistance caractéristique à 28 jours	/	35%	50%	70%
^a à condition que la durée de prise n excédé pas 5h et que la surface du béton soit à une température supérieure ou égale à 5°C				

II-9-10-Pathologies liés à l'absence de cure

L'absence de cure génère des effets négatifs sur le béton :

- Des effets visibles sur la surface du béton :
- Risque de fissuration du béton de surface du au retrait plastique (phénomènes identique au séchage d'une argile)
- Surface résistance mal à l'abrasion et sur laquelle les revêtements adhèrent mal (Poudroiment de surface, farinage)
- Un effet non visible sur la porosité et la durabilité du béton :
- Mauvaise hydratation du ciment en surface et donc augmentation de la porosité du béton d'enrobage.
- Réduction des performances du béton d'enrobage des armatures et plus grande sensibilité aux agents agressifs (CO₂, chlorure....).

Conclusion (Partie Théorique)

Une synthèse bibliographique a été réalisée sur le comportement du matériau au très jeune âge. Cela a permis de présenter l'état de l'art des différentes transformations du matériau, parfois couplées, pendant les premières heures qui suivent le gâchage, ainsi que l'influence des conditions environnementales et de la cure appliquée sur le matériau. Les informations issues de cette synthèse ont mis en évidence que le comportement du béton s'avère être délicat puisque de nombreux phénomènes, agissent de façon plus moins couplés, et à différentes échelles d'observations du matériau : séchage, fissuration et retrait. Seule une cure du matériau éviterait la fissuration précoce du matériau tout en amoindrissant l'amplitude des déformations (retrait).

L'ensemble des données recueillies de la synthèse bibliographique nous a permis de nous positionner vis-à-vis du problème qui nous a été posé et de mettre en place des moyens expérimentaux afin d'atteindre les objectifs de la thèse.

Un ensemble de dispositifs expérimentaux a été mis en place pour l'étude du comportement des MAPs au très jeune âge : quatre composition des mortiers autoplaçant ont été testé présentant un volume de pâte différent, un rapport S/M=0.5 et une maniabilité presque identique avec trois rapports SP/C+F différents (0.8% -0.9 %-1%) ont été mis au point (pour avoir l'auto plasticité des MAPs étudiés).

Les chapitres qui suivent cette partie ; chapitre III et IV sont évoquer les axes

- l'influence des paramètres de formulation sur les résistances mécaniques
- l'influence du mode de cure sur les résistances mécaniques
- l'influence des paramètres de formulation sur le retrait et perte de masse
- l'influence de mode de conservation sur le retrait.

PARTIE EXPÉRIMENTALE

***Chapitre III : Caractérisation des Matériaux et formulation
adopté et et r***

Chapitre VI : Résultats et Discussions

Conclusion

Chapitre III

Caractérisation des Matériaux et Formulation Adopté et essais

Dans ce chapitre, nous intéressons en premier temps à la caractérisation des matériaux entrant dans la composition de différents mélanges, ainsi que la méthode de formulation adoptée du mortier autoplaçant. Ensuite, on présente les méthodes utilisées pour réaliser les différents essais expérimentaux de notre recherche.

Le MAP est caractérisé à l'état frais par les essais spécifiques suivants :

- Essai d'étalement au Mini-Cône
- Essai de l'entonnoir en V (V-funnel)

A l'état durci nous avons évalué le retrait et la résistance à la compression et la résistance à la flexion aux différents âges et différents modes de cure.

III-Caractérisation des matériaux utilisés

La majorité des essais de caractérisation des matériaux de base ont été réalisés selon la norme française dans le laboratoire de génie civil de l'université de Laghouat.

III-1-Ciment

Un ciment Portland de type CEMI 42.5R a été utilisé dans tous les mélanges. Il provient de la cimenterie de Biskra. Il est composé majoritairement du clinker avec une faible proportion du gypse. Les compositions chimiques et minéralogiques, ainsi que les propriétés physico-mécaniques du ciment sont présentées dans les tableaux III.1 et III.2.

Le type de ciment utilisé dans cette étude le CEM 1 42 .5R, est un ciment portland ordinaire dont la résistance minimale à la compression à 28 jours est de 42 .5 MPA.



Photo III .1 : Ciment utilisé dans la confection des mortiers autoplaçants.

Tableau III .1 : Propriétés chimiques et minéralogiques du ciment CEMI42.5R.

Composition chimique %									
CaO	SiO ₂	A ₁₂ O ₃	Fe ₂ O	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	PAF
63.47	20.8	4.6	2.4	2	2.4	0.11	0.9	0.21	1.72
Composition minéralogique %									
C ₃ S	C ₂ S		C ₃ A		C ₄ AF				
66	14		1.70		8.30				

Tableau III.2 : Propriétés Physiques Du Ciment CEM 1 42 .5R .

Paramètre	Valeur
Densité spécifique	3.08
Masse volumique apparente g/cm ³ .	1.07
Finesse (cm ² /g)	3300
Débit de prise (minute)	170=2h50m
Fin de prise (minute)	255=4h15m

III-2-Sable

Le sable utilisé est de type alluvionnaire, disponible en abondance dans la wilaya de Laghouat. D'après les résultats de l'analyse granulométrique (Figure III.1), ce sable naturel de classe granulaire 0/5, présente une granulométrie continue et étalée qui sont recommandées pour la production des bétons de bonnes qualités. Les propriétés physiques du sable sont présentées dans le tableau III.3. La valeur de l'équivalent de sable montre que le sable utilisé est très propre, signe d'absence presque totale des fines argileuses.

III-2-1 Essais sur sable alluvionnaire

Les caractéristique principales requises pour un sable, définie par l'essai la masse volumique équivalente de sable et l'analyse granulométrique et essai d'absorption et ainsi la teneur en eau selon la norme française démonté sur le même tableau ; on va vous expliquer en preuve les différent essai s de caractérisation avec photo et formulation.

Tableau III.3 : Résultats –Propriétés physiques de Sable.

Essai	Résultat	Norme
Masse volumique Absolue(g/cm³)	2.6	NF P18-555
Equivalent de sable %	87.75	NF P18-598
Masse volumique Apparente (g/cm³)	1.59	NFP18-555
Coefficient d'absorption %	0.79	NF P 18-555
Teneur en eau %	1.72	NF P 94-050

III-2-2-Essais masse volumique

C'est la masse par unité de volume absolu du corps, c'est-à-dire de la matière qui constitue le Corps, sans tenir compte du volume des vides.

$$\gamma_s = \frac{M_s}{V_s}$$

Avec :

M_s : masse sec des grains solide

V_s : volume des grains solide.

III-2-3-Essai teneur en eau(NF P 94-050)

La teneur en eau est un paramètre d'état lié à l'environnement du sol qui permet d'approcher certaines caractéristiques mécaniques et d'apprécier la consistance d'un sol fin.

Calculer la teneur en eau est calculée par la formule suivant :

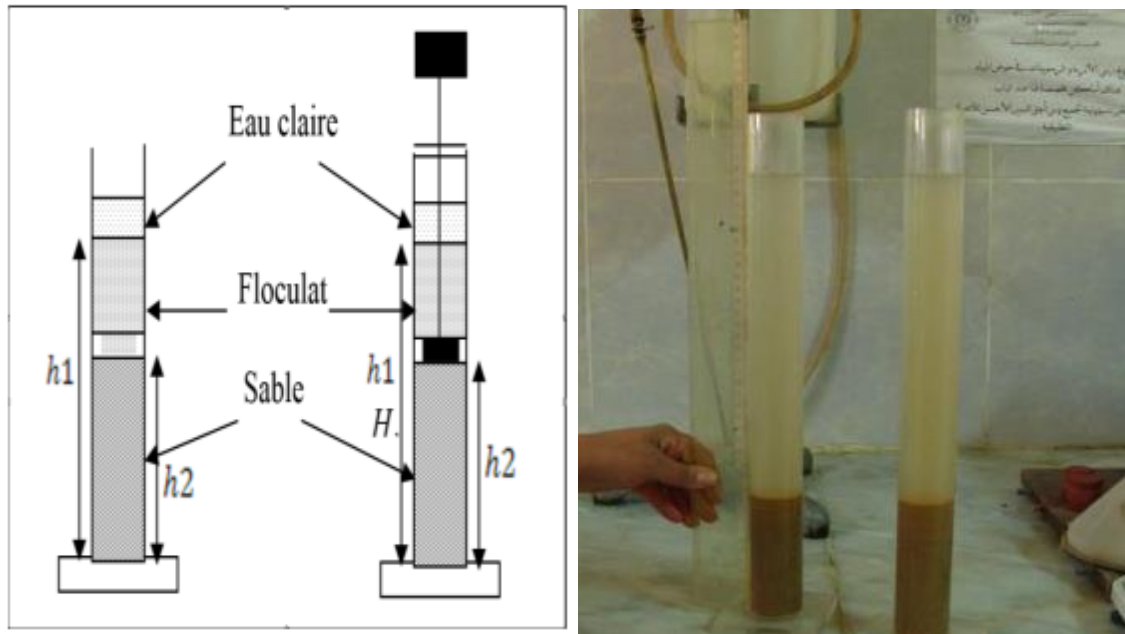
$$\omega\% = \frac{M_h - M_s}{M_s} \times 100$$

M_s : masse sec des grains solide .

M_h : masse humide des grains solide

III-2-4-Essai équivalent de sable NF P18-598

Cet essai, est utilisé de manière courante pour évaluer la propreté des sables entrant dans la composition de mortier. L'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sable, deux indices sont déterminés E_s (vue) et E_s (piston).



.Photo III.2 : Essai Equivalent De Sable.

III-2-5-Coefficient d'absorption des granulats NF P 18-555

Certain matériaux granulaires peuvent présenter une porosité interne qui est préjudiciable, en particulier, à la résistance au gel des bétons. En effet, l'eau incluse dans le granulat provoque l'éclatement du béton lorsque celui-ci est soumis de manière prolongée à des basses températures.

On calcule le pourcentage de masse d'eau retenue sèche du matériau imbibé pendant 24 h dans l'eau à 20°C.

$$\text{Abs} = \frac{Mh - Ms}{Ms}$$

Ms : Masse de l'échantillon sec après passage à l'étuve 105°C(24 h) en (g).

M h : Masse de l'échantillon imbibé en(g).

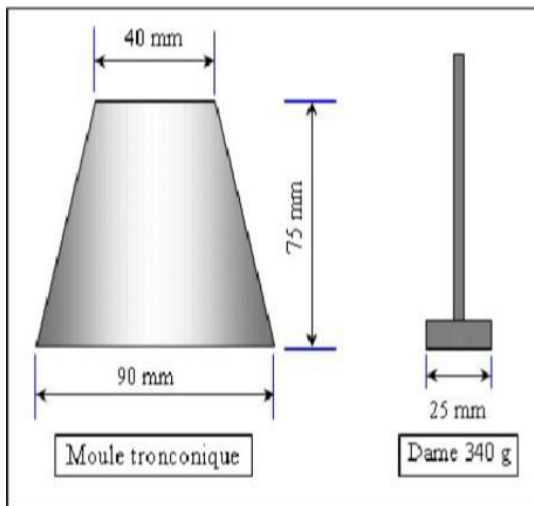


Fig. III.2 : Essai d'absorption du sable

III-2-6-Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique est effectuée par le tamisage à sec selon la norme NFP 18-560, elle permet déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs de différentes familles de grains constituant l'échantillon. La figure III.3, présente la courbe granulométrique de sable après cette analyse [38].

Tableau III.4 : Analyse Granulométrique Du Sable 0/5

Ouverture Tamis (mm)	Refus Partiel (g)	Refus cumulé (g)	Pourcentage refus (%)	Pourcentage passant (%)
5	0	0	0	100
3.15	13.5	13.5	0.67	99.32
2.5	26	39.5	1.97	98.02
1.25	92	131.5	6.57	93.48
1.00	74	178.5	8.92	91.07
0.63	236.5	119	2.07	97.62
0.4	361	776	3.88	96.12
2.25	678	1454	72.7	27.3
0.16	361.5	1815.5	90.77	9.22
0.1	118	1933.5	96.67	3.32
0.08	28.5	1962	98.1	1.9
Refus	33.5	1995.5	99.77	0.

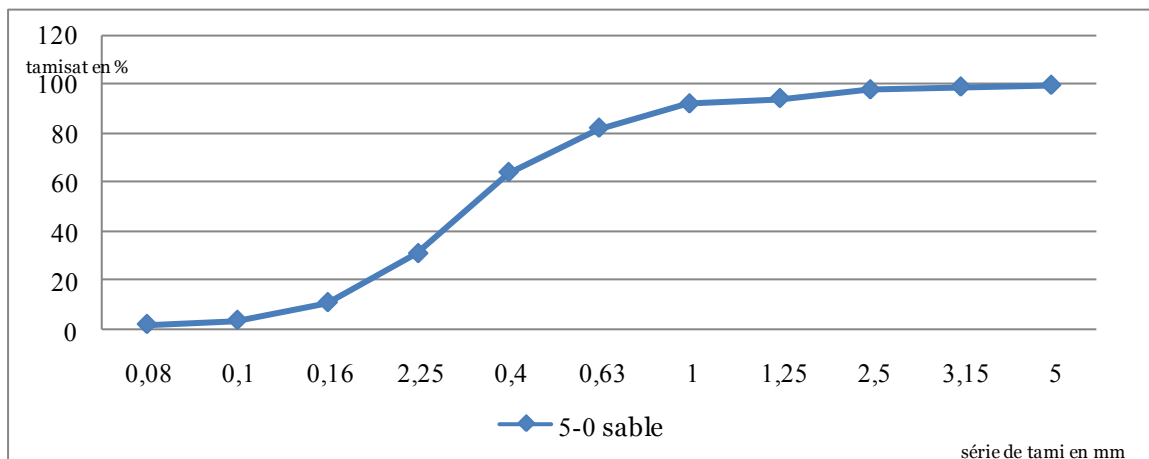


Fig. III.3 : Courbe Granulométrique Due Sable 0/5.

III-2-7-Module De Finesse

Il est déterminé selon la norme NFP 18-540 par la somme des pourcentages des refus cumulés ramenée à l'unité, pour les tamis de la série : **0,16; 0,315; 0,63; 1,25; 2,5 et 5mm**

$$M_f = \frac{\sum \text{des refus sur les tamis } (0,16; 0,315; 0,63; 1,25; 2,5; 5)}{100}$$

$$M_f = \frac{1}{100} \sum [5 ; 3.15 ; 2.5 ; 1.25 ; 0.630 ; 0.160] = 1 / 100 [0.675 + 1.975 + 6.575 + 20.75 + 90.775]$$

M_f = 1.2 sable très fins



Photo III .3: Essai Analyse Granulométrique.

III-3-Adjuvant

Le MEDAFLOW 30 est un Superplastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération. Il est conçu à base de poly carboxylates qui améliore considérablement les propriétés des bétons. Le MEDAFLOW 30 permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité. En plus de sa fonction principale de Superplastifiant, il permet de diminuer la teneur en eau du béton d'une façon remarquable

Tableau III.5 : Caractéristiques de « MEDAFLOW 30 »

Forme	Liquide
Couleur	Jaunâtre
PH	6 – 6,5
Densité	1,07 ± 0,01
Teneur en chlore	< 1g/L
Teneur en extrait sec	40%.

III -3-1- Propriétés Médaflow 30 et effet sur le béton

Le Tableau III.6 : présente les propriétés du superplastifiant le MEDAFLOW 30 sur le béton et domaine d'application

Tableau III.6 : Propriétés de superplastifiant sur le béton

Sur béton frais	Sur béton durci	Domaines d'application
l'obtention d'un E/C très faible	Résistance mécaniques à jeune âge et à long terme	Bétons à hautes performances
l'amélioration considérable de la fluidité	diminuer la porosité	
une très bonne maniabilité	augmenter la durabilité	Bétons autoplaçants
un long maintien de l'ouvrabilité	diminuer le retrait et le risque de fissuration	Bétons pompés
éviter la ségrégation		Bétons précontraints ;
faciliter la mise en œuvre du béton		Bétons architecturaux.

III-3-2- Dosage

Plage de dosage recommandée : 0,5 à 2,0 % du poids de ciment. Le dosage optimal doit être déterminé on au labo en fonction du type de béton et des effets recherchés.

III-3-3- Mode d'emploi

Le *MEDAFLOW 30* est introduit dans l'eau de gâchage.

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

III-3-4- Conditionnement, stockage, délai de conservation

Le *MEDAFLOW 30* est conditionné en bidon de 11kg et fût de 210kg.

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

III-4- Eau De Gâchage

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

III-5-Filler Calcaire

L'ajout calcaire utilisé est bien tamisé dans le tamis 80 μm et suit par des essais de caractérisation qui on donné :

Masse volumique absolue 2.66g/cm³ de masse volumique apparente de 1.01g/cm³

Surface spécifique de 2880cm².



Photo III.4 : Matériaux utilisés



Photo III.5 : Superplastifiant ‘ MEDAFLOW30

III-Expérimentation

III-1-Formulation

Pour la formulation du mortier autoplaçant, et comme mentionné précédemment, on s'est basé sur la méthode OKAMURA avec une amélioration au niveau de la teneur en

Sable, le rapport Eau/Liant (E/L) et le rapport Superplastifiant/Liant (Sp/L) pour s'adapter avec les exigences des matériaux locaux et en particulier le sable. La formulation du mortier autoplaçant a été faite en fixant préalablement le rapport E/L par volume (V_{eau}/V_{liant}), et de faire calculer ensuite la quantité de chaque constituant et le rapport E/L en masse. Si celui-ci se coïncide avec le rapport E/L en masse exigée dans la formulation, le rapport E/L par volume fixé au début est accepté, sinon il faut faire changer le rapport E/L par volume jusqu'à obtenir le rapport E/L en masse désiré, ces étapes peuvent être réalisées avec la connaissance des propriétés physiques des matériaux constituant le MAP telles que la densité, la teneur en eau, le coefficient d'absorption. La formulation des MAP est résumée comme suit :

Calcul de quantité de chaque constituant :

•Le ciment :

Le pourcentage en volume du ciment %C

$$\%C_{vol} = \frac{(1-S/M)}{(1+\frac{E}{C}parvolume)} \times 100$$

La quantité de ciment C en kg

$$C (Kg) = \frac{V \times \frac{E}{C} parvolume}{100} \times 100$$

•Le sable

La quantité du sable en Kg est S

$$S (Kg) = \left(1 + \frac{Correction}{100}\right) \times \frac{V \times \frac{S}{M} \times}{100} + \rho S$$

•Le super plastifiant

La quantité de super plastifiant est Sp :

$$Sp (Kg) = \frac{\% SP \times C}{100}$$

•Eau

L'eau ajoutée au mortier (E) est divisée en deux parties : une première E1 ; qui est de 70% de la quantité d'eau globale ; qui on ajoute lors du malaxage durant la première minute et la deuxième quantité (E2) (30% de la quantité d'eau globale) est mélangée avec l'adjuvant et ajoutée au mélange du mortier dans les 2 minutes du malaxage qui suit la première.

La quantité d'eau globale E en litre

$$E = \frac{V * \%Evol}{100} \times \frac{\phi E}{1000} - \left(\frac{Sp * 70}{100} \right) - \left(\frac{V \times \frac{S}{M} \times \rho S}{1000} \times \frac{correction}{100} \right)$$

$$Eau_1 = E_1 = E \times 0.7$$

$$Eau_2 = E_2 = E \times 0.3$$

III-2-Procédure de malaxage

Après avoir calculé la quantité de chaque élément entrant dans la composition du MAP, on procède à un malaxage sec du ciment au ajout et du sable pendant 15 secondes pour homogénéiser le mélange, on ajoute ensuite 70% de l'eau de gâchage avec un débit régulier dans le reste de la première minute. Durant la minute suivante, on introduit régulièrement le superplastifiant avec l'eau restante. Le malaxage est continué pendant 3 autres minutes.

.



Photo III.6 : Malaxeur de mortier

Photo III. 7 : Moule de (4×4×16) cm³

Les tableaux III-8 et III-9 englobent des résultats des essais préliminaires de deux MAPs

Tableau III .8 : Essai Préliminaire de Formulation du MAP I (CEMI 42.5 R Sans Ajout Calcaire).

MAPI :(CEM I42.5R)						
MAP ₄₀₀				MAP ₄₇₀		
	0.8 SP%	0.9SP%	1SP%	0.8SP%	0.9SP%	1SP%
Ciment	893.75	893.75	893.75	894.95	894.95	894.95
Sable	1690.0	1690.0	1690.0	1690	1690	1690
Eau	364.79	364.16	363.54	364.39	363.75	363.14
Superplastifiant	7.15	8.04	8.94	7.16	8.05	8.94
E₁ (70)	255.353	254.912	254.478	255.073	254.625	254.190
E₂(30)	109.437	109.248	109.062	109.317	109.154	108.924

Tableau III .9 : Essai Préliminaire de Formulation du MAP II (CEMI 42.5 R Avec 5% De Filler De Calcaire)

MAP II :(CEM I42.5R+5% de filler calcaire)						
MAP _{C400}				MAP _{C470}		
	0.8 SP%	0.9SP%	1SP%	0.8 SP%	0.9SP%	1SP%
Sable	1560.0	1560.0	1560.0	1560.0	1560.0	1560.0
Ciment	781.4	781.4	781.4	781.4	781.4	781.4
Calcaire	41.00	41.00	41.00	41.00	41.00	41.00
Eau	336.9	336.3	336.3	336.9	336.3	336.3
Superplastifiant	6.6	7.4	8.2	6.6	7.4	8.2
E₁ (70)	235.83	235.41	235.06	235.83	235.41	235.06
E₂(30)	101.07	100.89	100.74	101 .07	100.89	100.74

III-3-Essais effectués sur mortier à l'état frais

Pour la formulation du mortier autoplaçant, et comme mentionné précédemment, on s'est basé sur la méthode OKAMURA. La sélection du rapport sable/mortier et du rapport S_p/L est ajustée par l'essai d'étalement, dont le diamètre de la galette obtenu doit être compris entre $270 \text{ mm} \leq d \leq 330 \text{ mm}$, et par l'essai de l'entonnoir en V (V-funnel), dont le temps d'écoulement obtenu doit être compris entre $2 \text{ sec} \leq t \leq 10 \text{ sec}$.

- L'optimisation de la pâte s'effectue sur un mortier dont la teneur volumique en sable est égale à 50%
- L'eau, le superplastifiant et les fines sont ajustés pour les mortiers pour obtenir une viscosité suffisante (mesurée par le temps d'écoulement par l'entonnoir en V) et une fluidité importante (mesurée par l'étalement au cône)



Fig. III.4 : Essai à mini v fenuel



FigIII.5 : Essai d'étalement au mini cône

III-4-Compositions sélectionnées

Dans le BAP, la phase du mortier est une phase très importante car elle fournit la lubrification entre les particules des gros granulats, et la stabilité globale du béton.

Les formulations adoptées sont illustrées sur le tableau suivant.

Tableau III.10 : Les formulations adoptées

	MAPI		MAPII	
	MAP ₄₀₀	MAP ₄₇₀	MAP _{C400}	MAP _{C470}
	0.9SP%	0.8SP%	1SP%	1SP%
Sable	1690	1690.0	1560.0	1560.0
Ciment	893.75	894.95	781.4	781.4
Calcaire	-	-	41.00	41.00
Eau	364.79	364.39	336.3	336.3
Superplastifiant	7.15	7.16	8.2	8.2
E₁ (70)	255.353	255.073	235.06	235.06
E₂(30)	109.437	109.317	100.74	100.74

III-5-Conservation et cure des éprouvettes

III-5-1-Conditions de cure

Tous les mélanges ont été préparés et conservés pendant le mois de Mai. Afin d'examiner l'effet du climat chaud et de la durée de cure sur les résistances à la compression et à la flexion,

On a choisi de mettre une série des éprouvettes à l'eau, une autre série à l'air libre toujours à l'extérieure du labo à $T = 25\text{ °C}$ et $HR = 33\%$ durant 28 jours.

Lorsque la procédure de malaxage est achevée, et après avoir fait tous les essais relatifs aux mortiers à l'état frais, des éprouvettes de types prismatiques $(4 \times 4 \times 16)\text{cm}^3$ sont coulées sans compactage pour réaliser les essais relatifs aux mortiers à l'état durci. Les quatre

compositions sont réalisées. On a effectuée un nombre de 144 éprouvettes pour les essais mécaniques et un nombre de 12 pour le retrait

III-6- Méthodes de cure choisies

a)-Cure à l'eau

La méthode de cure à l'eau inclut l'immersion, l'évaporation et la toile de jute humide ou d'autres matériaux absorbants humides. La méthode de cure à l'eau est estimée généralement être la seule méthode de cure efficace pour éviter la fissuration due à la dessiccation interne pour les bétons de faibles rapports E / C (qui devient critique lorsque E/C est inférieur à 0.4).

ASTM C 94 contient des conditions sur l'eau de gâchage et l'eau de cure.

Les matériaux absorbant l'eau peuvent être couverts du plastique pour éliminer l'évaporation et pour réduire la quantité de l'eau nécessaire pour une cure efficace. La toile de jute peut être imprégnée d'un côté avec une couche imperméable.

Les conditions de séchage extrême peuvent poser un problème quand on emploie la méthode de cure à l'eau. Des recherches en laboratoire ont prouvé qu'un béton exposé à un taux d'évaporation supérieures à 1.4kg /m² /h peut développer un gradient de refroidissement au-dessus d'une profondeur de 50 mm supérieur à 13°C. Couvrir les matériaux absorbant humides d'une couche de recouvrement en plastique empêchera significativement le refroidissement par l'évaporation.

Les conseils typiques sont que tout béton soit inspecté au moins une fois par jour ou plus souvent si les conditions le permettent, et si le béton trouvé est sec, la situation est corrigée et un jour supplémentaire est ajouté à la cure requise.

b)-Cure avec recouvrement par film plastique

Cette méthode est simple et relativement exempte de conformité à des normes. Cette méthode est probablement impraticable pour de grandes surfaces et ou des conditions venteuses, mais peut être pratique pour de plus petites surfaces.

ASTM C 171 décrit les spécifications du recouvrement en plastique, et contient des conditions relativement simples. Une attention particulière sur les caractéristiques de l'application doit être apportée au chevauchement des feuilles 50mm.

Les feuilles simples en polyéthylène répondant fonctionnent bien pour la conservation de l'eau, mais l'utilisation de ce type de matériau peut avoir comme conséquence une coloration non homogène de la surface du béton. Pour cette raison, quelque organisme ne permet pas la cure avec les feuilles en plastique. On fabrique également les feuilles

plastique /toile de jute stratifiées qui éviterait ce problème. Des couvertures colorées en blanc sont disponibles, qui aident à contrôler la température en reflétant la lumière du soleil.

Les feuilles en plastique doivent être appliquées après le temps de début de prise. Comme dans la méthode de cure à l'eau, l'inspection visuelle quotidienne est la méthode normale de vérification. Si des secteurs sèches sont trouvés, la situation est corrigée et un jour supplémentaire est additionner à la cure requise.

c)- Cure à L'air Libre

Conservation de l'éprouvette à milieu extérieur du labo génie civil.

Sous l'hygrométries du climat de Laghouat



Photo III.8 : Trois Modes de Cure Choisis.

III-7-Essai Sur mortier à l'état durci

III-7-1-Essais Mécaniques

Les essais mécaniques ont été réalisés des éprouvettes prismatiques de dimensions

(4×4×16) cm³

a)-Résistance à la flexion

La mesure de la résistance à la flexion a été effectuée sur une machine CONTROLS couplé à un ordinateur menué d'un logiciel de charge avec une vitesse constante 5 kg/s pourvu d'un dispositif de flexion par trois points, tel que celui schématisé sur la figure suivante :

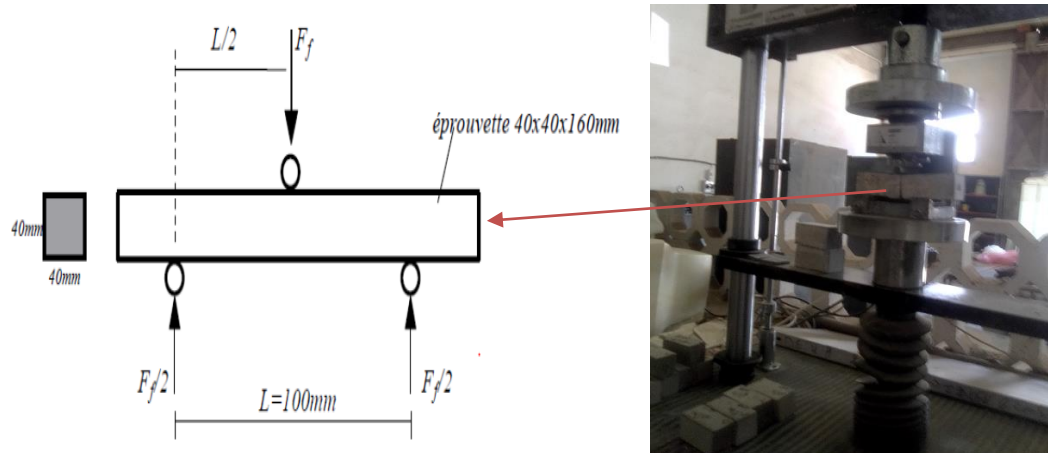


Fig. III.6 : Dispositif L'essai De Résistance à La Flexion.

Le principe d'utilisation de cette machine est de lire la déformation de l'anneau utilisé pour l'écrasement de l'éprouvette (4x4x16)cm³ à l'aide d'un comparateur et grâce à un tableau fournis par le constructeur de cette machine, on déduit la charge de rupture correspondante à la déformation de l'anneau lue sur le comparateur.

La résistance à la flexion R_f (MPa) est donnée par la formule suivante :

$$R_f = 1,5F \frac{L}{b^3}$$

Avec :

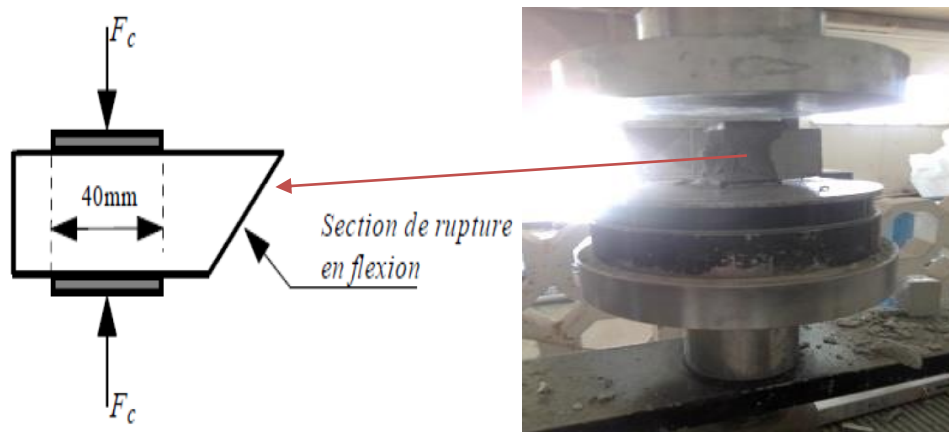
F : en kgf est la charge de rupture donnée par le tableau fourni avec l'appareil.

$b = 40$ mm et $L = 100$ mm.

b)-Résistance à la compression

La machine utilisée est une presse hydraulique décrite par la norme NF EN 196-1.

Les demi-prismes de l'éprouvette obtenue après rupture en flexion seront rompus en compression comme indiqué sur la figure ci-dessous :



FigIII.7 : Dispositif De Compression.

$$R_c \text{ (Mpa)} = F_c / 1600 \text{ (N/mm}^2\text{)}.$$

Ou :

R_c : la résistance à la compression, en newton par millimètre carré.

F_c : la charge maximale à la rupture, en newton .

$1600 = 40\text{mm} \times 40\text{mm}$ est l'aire de plateaux ou des plaques auxiliaires. En millimètre carrés.

III-7-2-Essais de retrait

Le retrait est un phénomène simple qui correspond à une contraction volumétrique que l'on observe quand le béton se dessèche.

Il consiste à mesurer la variation dimensionnelle longitudinale relative par rapport à la longueur initiale de l'éprouvette après 24 h de moulage ($L_0 = 16\text{cm}$). L'axe longitudinal l'éprouvette étant vertical.

après démoulage à 24 h, les éprouvettes sont placés dans un refractomètre (Fig. III.8) munis d'un comparateur qui permet de mesurer le retrait de l'éprouvette.

a)-Conduite de l'essai

Régler le comparateur à zéro juste au moment du démoulage de l'éprouvette sur la tige en invar de 160 mm de longueur, soit L_0 la mesure de l'éprouvette.

Soit $dl(t)$ la valeur lue sur le comparateur au temps t , la longueur de l'éprouvette est :

$$L(t) = L_0 + dl(t)$$

La variation de longueur au temps est :

$$\Delta l = L(t) - L_0 = dl(t) - dl(t_0)$$

La variation relative de longueur est :

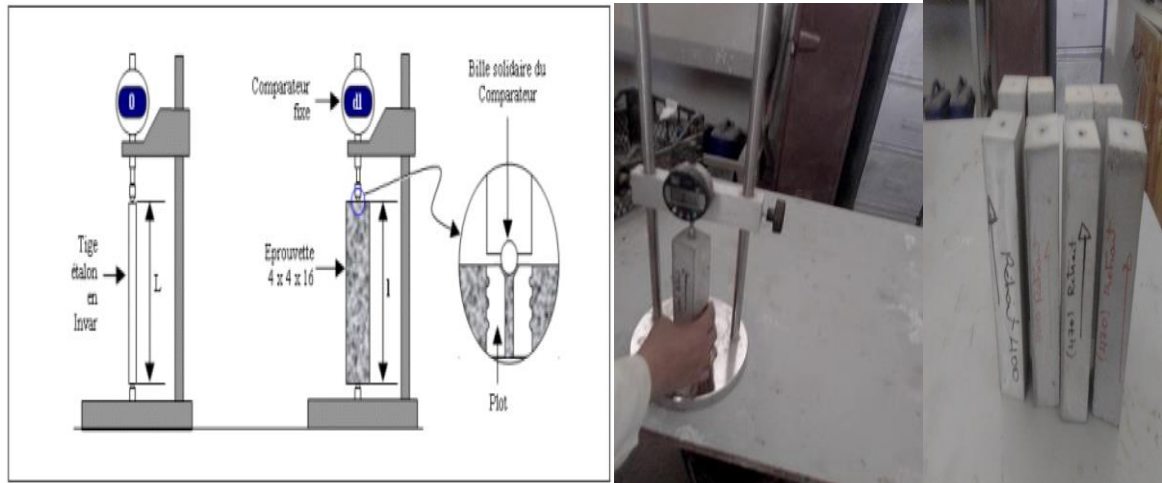
$$\frac{\Delta L}{L} = \left| \frac{L_f - L_i}{16} \right|$$

Le retrait étant exprimé par

L_f : Longueur finale ;

L_i : Longueur initiale ;

L_0 : Longueur initiale après 24h de moulage. ($L_0 = 16 \text{ cm}$)



FigIII.8 : Appareillage pour la mesure du retrait.

III-7-3-Essai perte de masse

Les essais en perte en poids ont été réalisés sur les mêmes mortiers à partir du démoulage (suivi continu à partir de 24 h).

Un suivi continu est réalisé afin d'évaluer les variations dimensionnelles et pondérales à l'âge de 28 jour après démoulage et dans les trois milieux de conservation.

Climat influé beaucoup plus sur la variation dimensionnelle des éprouvettes.

Les mesures de la perte en poids ont été effectuées en mesurant le poids des éprouvettes après démoulage et à chaque âge pour les éprouvettes non couverte (retrait de séchage). Les résultats seront la différence entre la valeur du poids mesuré à l'instant t et celui du poids initiale de l'éprouvette.

$$\Delta m = 100 \times (m_{ini} - m_t) / m_{in}$$

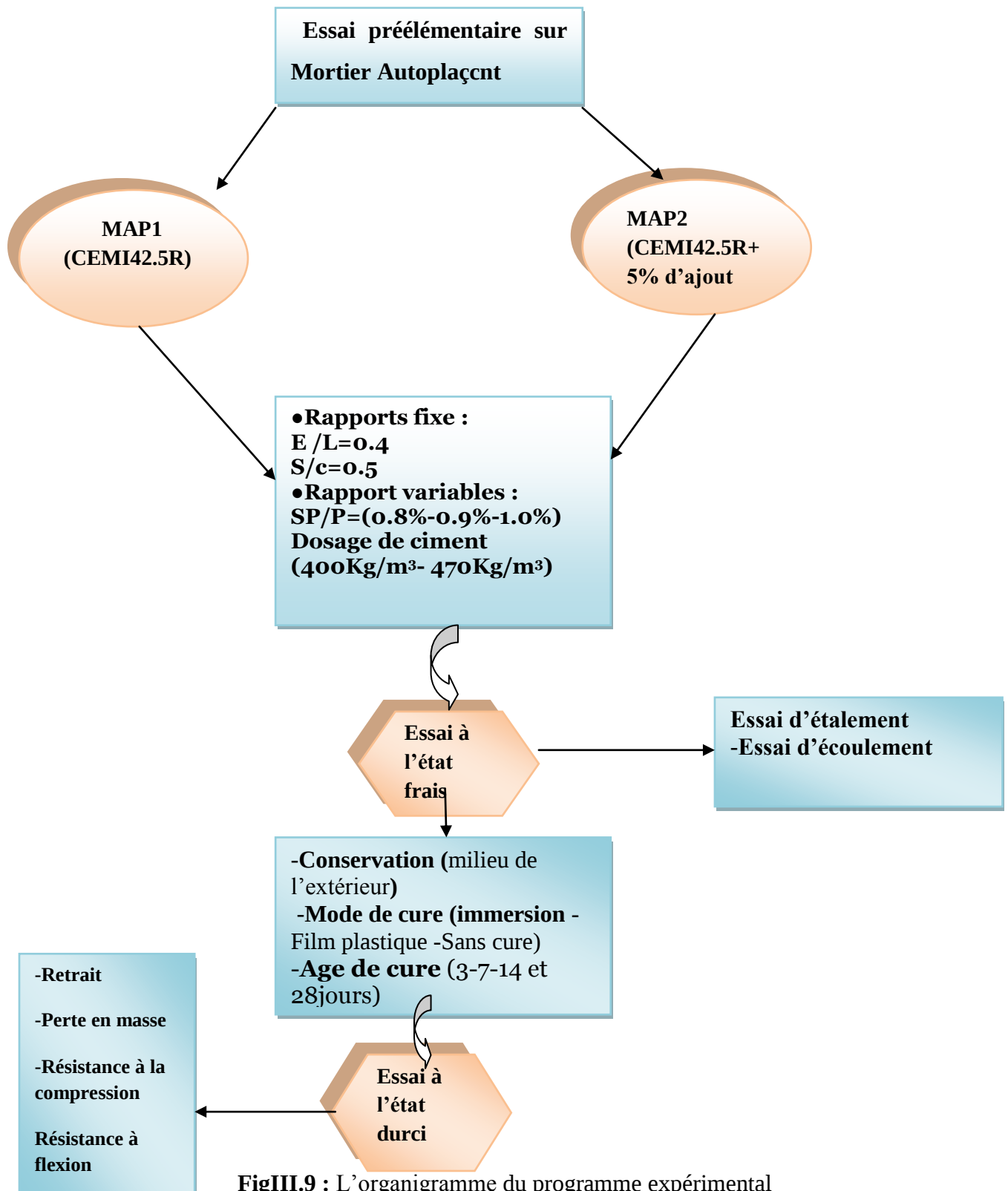
Δm (%) : le pourcentage de perte en masse,

m_{ini} : la masse initiale de l'éprouvette avant dessiccation,

m_t : la masse mesurée à l'instant t .

Les mesures de perte en masse ont été effectuées sur tout les éprouvettes avant écrasement et avant d'effets l'essai au retrait.

La démarche choisie est résumé sur la Fig. III.9 : voir l'organigramme du programme expérimental .



FigIII.9 : L'organigramme du programme expérimental

Chapitre IV

Résultats

& Discussions

Nous présentons dans ce chapitre, tous les résultats des différents essais de l'état frais et l'état durci sur les mortiers autoplaçants. Nous essayons de comparer ces résultats avec ceux donnés dans la littérature et interpréter selon nos données liés aux matériaux utilisés, aux conditions de conservation et aux moyens de cure appliqués.

IV.1-Introduction

Afin de développer des formulations de MAP, nous avons, en premier lieu, étudié l'effet des principaux paramètres clés de composition sur les propriétés rhéologiques des MAP (étalement, écoulement).

Les paramètres étudiés reliés à l'optimisation des MAP sont :

- le rapport volumique Sp/pet le rapport massique E/L.
- la nature et le dosage d'additions minérales, telles que les fillers calcaires
- la concentration en super plastifiant.

Après avoir optimisé les paramètres cités précédemment, nous avons sélectionné

Quatre formulations, qui présentent les meilleures performances, afin d'évaluer leurs propriétés physico-mécaniques suivantes :

- La résistance à la compression, la résistance à la flexion, retrait, perte de masse.

Nous avons également fait une comparaison selon le mode de cure choisi et les différents paramètres de formulation.

IV.2-Essais

- ✚ Quatre compositions des MAP. ; E /L (massique) : 0,40 ; E/L (volumique) différents T (°C) / HR (%) : 20°C / 50%,
- ✚ Trois modes de cure appliqués aux MAPs : l'usage d'un film plastique ; immersion totale à l'eau et cure à l'air libre sans traitement (extérieur du labo).
- ✚ Le comportement des MAPs protégés par la cure sera comparé à celui des MAPs dépourvus de cure vis à vis le comportement mécanique pour tous les âges (3J-7J-14J-28J)

L'étude des mortiers autoplaçants est subdivisée en trois parties ; Essais rhéologique ; physiques et essais mécaniques.

- **Essais rhéologique** : Etalement et Ecoulement
- **Essais physiques** : Perte en poids, retrait (retrait de séchage).
- **Essais mécaniques** : Résistance mécanique à la flexion et à la compression

IV-3-Climat de la ville de Laghouat

Il est très difficile, voire impossible de prévoir le temps qu'il fera à un certain moment et à un endroit bien précis .des moyennes de températures ou de précipitations prouvent nous aider, quand même de nous donner une idée.

Il faut noter que tous les essais ; même dégrassement, sont effectués durant le mois de Mai ; alors les températures précipitation et l'humidité moyennes dans la région sont présenté sur le tableau IV.1 :

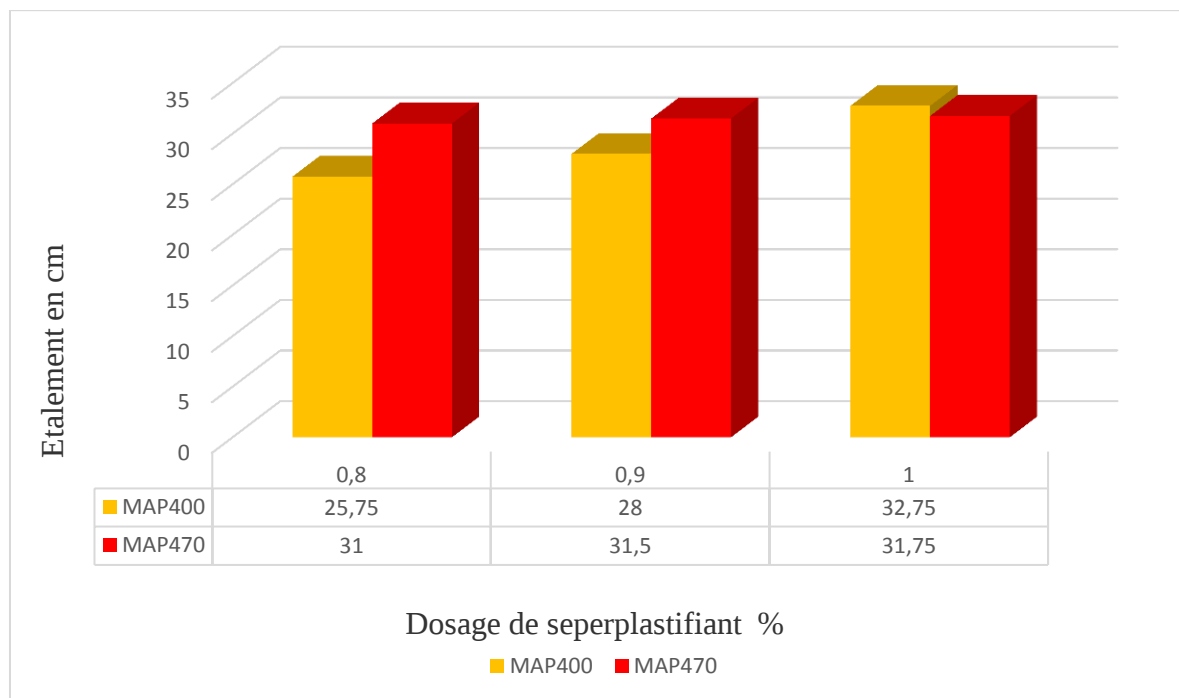
Tableau IV.1- Résultats de données Climatiques du Mois de Mai 2019 [40].

Dates	Température C°	Humidité HR%	Vitesse du vent Km/h
4/05	20	28-12	Calme
5/05	20	33-11	Calme
6/05	23	35-19	Calme
7/05	23	33-16	Calme
8/05	24	32	Calme
9/05	20	33-16	Calme
10/05	15	34-18	11-7
11/05	21	35-19	11-14
12/05	28	33-11	18-11
13/05	28	28-11	11-7
14/05	22	28-12	14-7
15/05	22	28-14	22-7
16/05	22	30-16	7-7
17/05	25	31-16	11-7
18/05	24	35-22	22-14
19/05	20	55-34	7-4
20/05	18	45-30	11-14
21/05	22	44-33	11-14
22/05	23	49-23	11-7
23/05	25	42-29	11-7
24/05	27	43-27	18-11
25/05	28	37-27	14-7
26/05	25	37-21	11-7
27/05	22	25-23	11-7
28/05	24	35-22	11-7
29/05	25	43-30	11-7

VI-4-Résultat à L'états Frais

Tableau IV.2 : Résultats de la Formation de MAPI et MAPII

	MAPI						MAPII					
	MAP400			MAP470			MAPC400			MAPC470		
S/M=0.5	0.5						0.5					
E/C=0.4	0.4						0.4					
SP/L	0.8%	0.9%	1%	0.8%	0.9%	1%	0.8%	0.9%	1%	0.8%	0.9%	1%
Etalement (mini-cône)	26.75	28	32.75	31	31.5	31.75	20.5	27.5	29.5	24	24.75	30.25
Ecoulement (Fennell)	04	3.97	2.95	3.68	3.5	3	10	4.26	3.29	5.6	4.90	3.2
Température C° (±1)	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
Humidité HR% (±1)	28	28	28	28	28	28	30	30	30	30	30	30
Observation visuel	Pâte ferme	Pâte homogène et stable	Pâte avec ressuage	Pâte homogène et stable	Pâte avec ressuage	Pâte homogène et stable	Pâte ferme	Pâte ferme	Pâte homogène et stable	Pâte ferme	Pâte ferme	Pâte homogène et stable



FigIV.1 .Histogramme Etalement en Fonction de SP/L du MAP400 et MAP470

Fig IV.4. Histogramme de Ecoulement en fonction de SP/L du MAPC400 et MAPC470

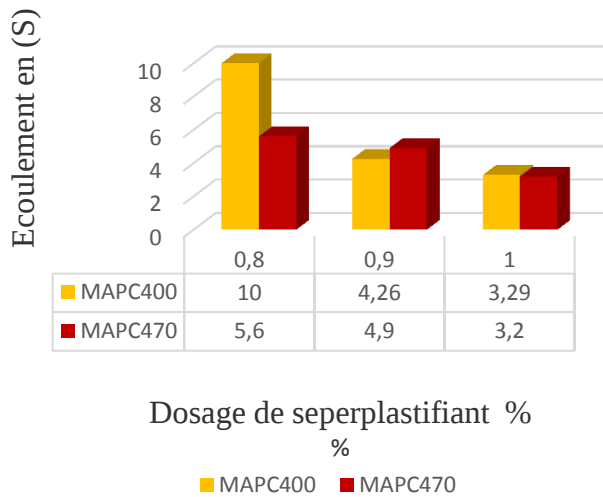


Fig IV.2 . Histogramme Etalement en fonction de SP/L du MAPC400 et MAPC470

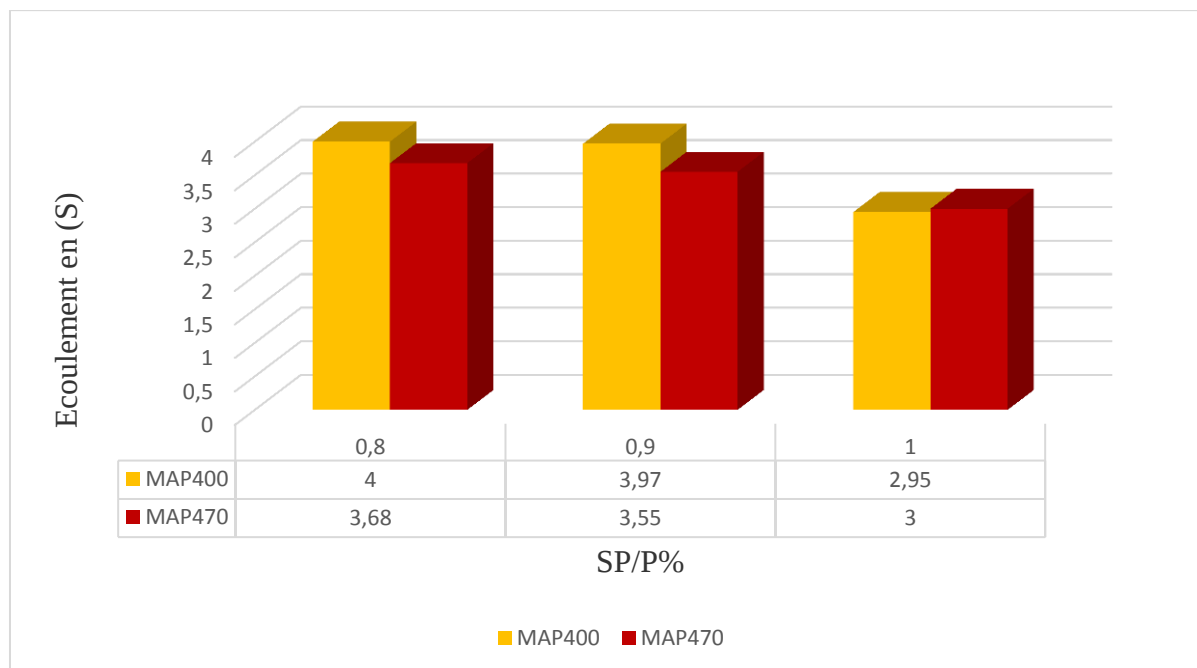
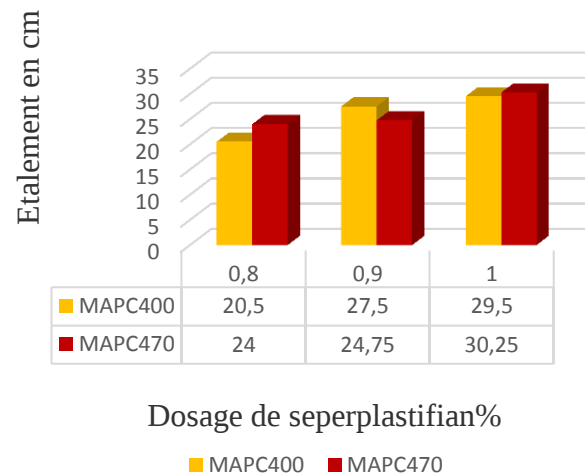


Fig. IV.3. Histogramme d'écoulement en Fonction de SP/L du MAP400 et MAP470

IV.5-Discussion

IV.5-1-Rhéologie (Etalement et Ecoulement)

Plusieurs mélanges ont été formulés par la méthode générale avec une légère modification ; objectif et de trouvés des mortiers de bonne caractéristique rhéologique et de propriétés mécanique acceptables. Par la suite des essais préliminaires 4 mélanges ont été sélectionnés selon des critères posés sur l'étalement et l'écoulement

Les histogrammes présentes dans la figure(IV.1) montre que les mélanges sans ajouts ont donné des valeurs d'écoulement presque semblable qui sont de l'ordre de 3.97s, 3.55s respectivement pour MAP400 ; MAP 470 et un étalement de 28cm pour le MAP 400 comparé de 31s pour le MAP 470 cette différence et du au taux élevé du dosage du ciment qui donne un mortier autoplaçant dans les normes avec un rapport SP/P=0.8%. Dans le cas des mortiers avec ajout de filler calcaire on a abouti au choix d'un dosage SP/P= 1% selon une constatation visuelle ,mortier autoplaçant est acceptable (homogène et stable).

Selon les histogrammes montrés sur la figure(IV.2) ici on peut dire qu'un faible dosage du ciment demande un pourcentage élevé d'adjuvant pour aboutir à un étalement convenable et sans ressuage, et si on augmente le dosage du ciment ont un rapport de SP /P=0.8% qui va aller jusqu'à 1% pour MAPC470, c'est l'effet de l'ajout calcaire qui correspond à un étalement de l'ordre de 30.25cm ; cela signifie que le calcaire améliore l'étalement du mortier.Pour l'écoulement on a des meilleures valeurs qui sont prescrit dans l'intervalle mentionné précédemment dans ce chapitre. On constate que l'ajout de 5% de filler calcaire favorise l'écoulement qu'elle soit le dosage du ciment utilisé voir fige. IV.3 ; on pense que au delà de 5 % on aura un écoulement difficile ; ceci à été aussi confirmé dans la littérature.

Tableau IV.3 : Formulation Adoptée.

	MAPI		MAPII	
	MAP400	MAP470	MAPC400	MAPC470
Dosage				
Les choix du SP%	0.9	0.8	1	1
Etalement (cm)	28	31	29.5	30.25
Ecoulement(s)	3.97	3.68	3.29	3.2

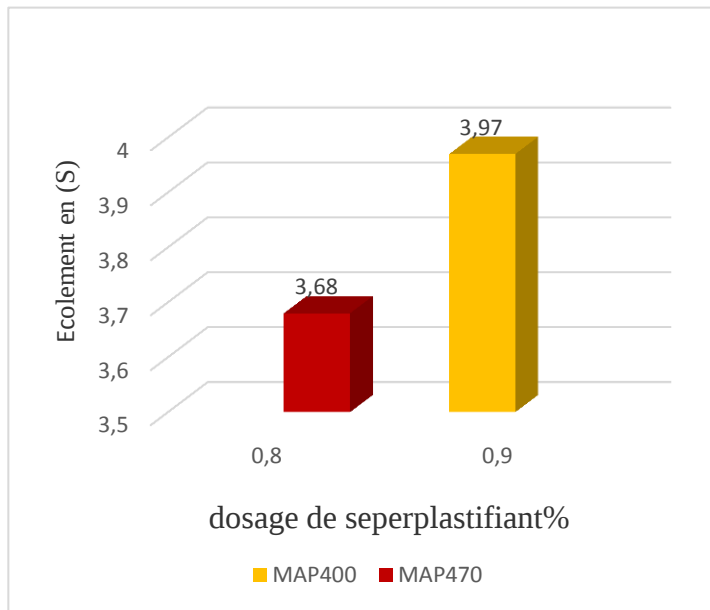


Fig IV.5 : Histogramme de Ecoulement en Fonction SP/L

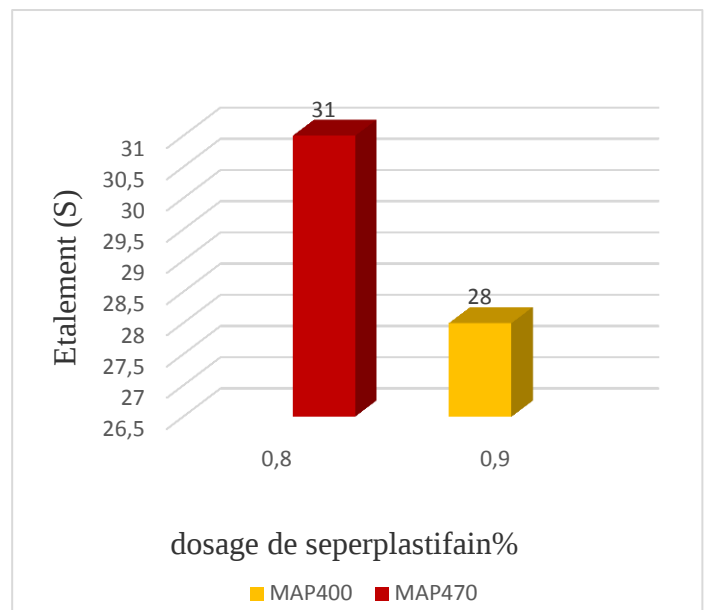


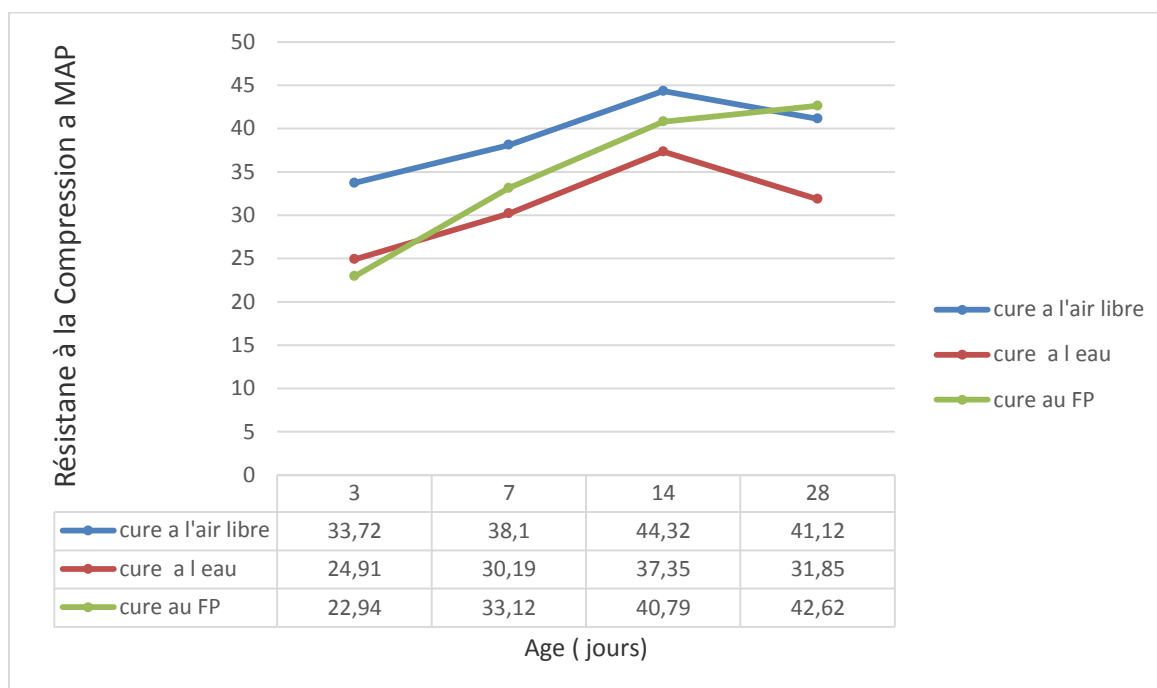
Fig IV.6 : Histogramme de Etalement en fonction SP/ L

IV-6- Résultats à L'états Durci

IV -6-1-Evolution de la résistance à la compression avec l'âge et mode de cure

Tableau IV.4 : Résistance à la Compression du MAPI et MAPII

MAPI	Résultats résistance à la compression en MAP pour MAPI							
	MAP400				MAP470			
Age de cure	3J	7J	14J	28J	3J	7J	14J	28J
Mode de cure								
Cure à l'air libre	36.64	31.12	31.23	31.66	33.72	38.10	44.32	41.12
Cure à l'eau	23.89	29.13	38.25	37.65	24.91	30.19	37.35	31.62
Cure au FP	37.57	48.28	37.23	43.69	22.94	33.12	40.79	42.62
MAPII	MAPC400				MAPC470			
	3J	7J	14J	28J	3J	7J	14J	28J
Cure à l'air libre	30.35	30.53	41.31	38.93	30.41	28.95	36.86	40.28
Cure à l'eau	34.30	36.93	36.51	36.93	24.37	28.26	31.95	33.44
Cure au FP	21.31	35.12	40.60	45.66	28.19	27.42	32.55	38.09



FigIV.7:Courbes de résistance à la compression du MAP470

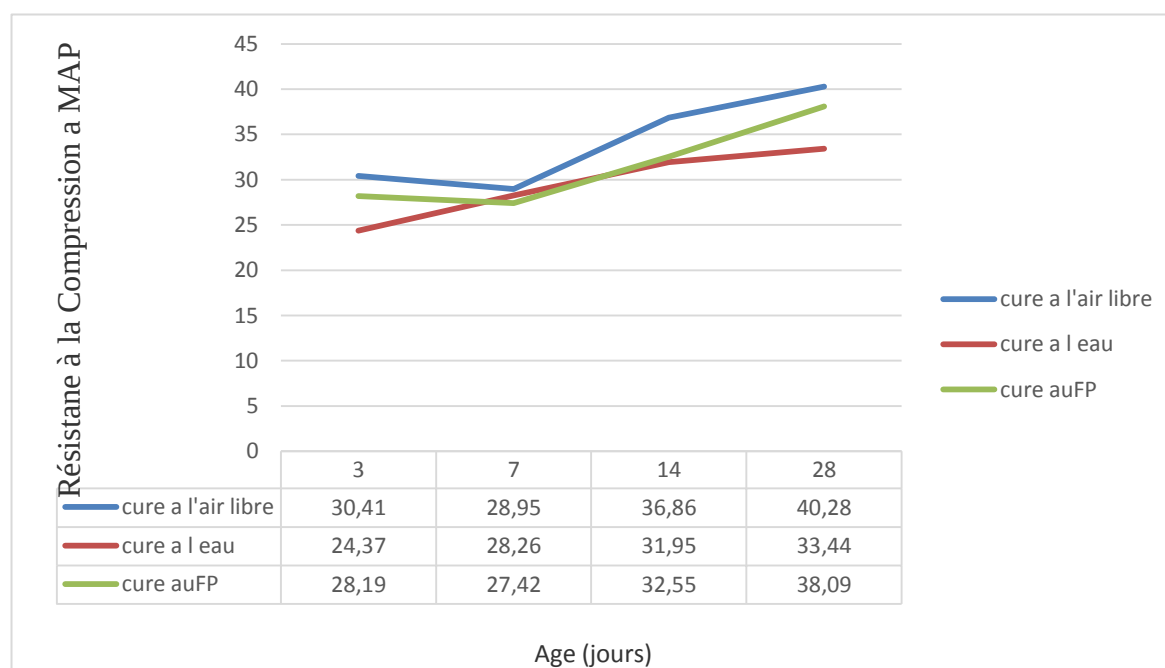


Fig. IV.8.Courbe de Résistance à la Compression du MAPC470

MAP470/ MAPC470

D'après les résultats de l'évolution de la résistance à la compression illustrés dans la figure (IV.7) on constate des bonnes résistances qui se développent apparemment à l'air libre par rapport aux éprouvettes conservées aux autres modes, c'est dû bien à l'accélération de la hydratation de la pâte de ciment. Par ailleurs un fort dosage en ciment ou encore la présence des additions minérales dans les compositions accélère le durcissement à des températures élevées, cela pour des âges de 3j à 7j ; mais aux moyens âges on a une diminution qui a été récupérée par traitement en film plastique.

Dans la figure IV.8 on constate que le traitement de cure par le film plastique ou par l'immersion à l'eau on donne de bonnes résistances par rapport aux éprouvettes conservées dans l'air et toutes les valeurs se rejoignent à 7j de durcissement.

Alors on peut dire que le prolongement de la cure de 7j jusqu'à 28j est vraiment nécessaire afin d'améliorer les résistances pour les deux mortiers (MAP470 et MAPC470).

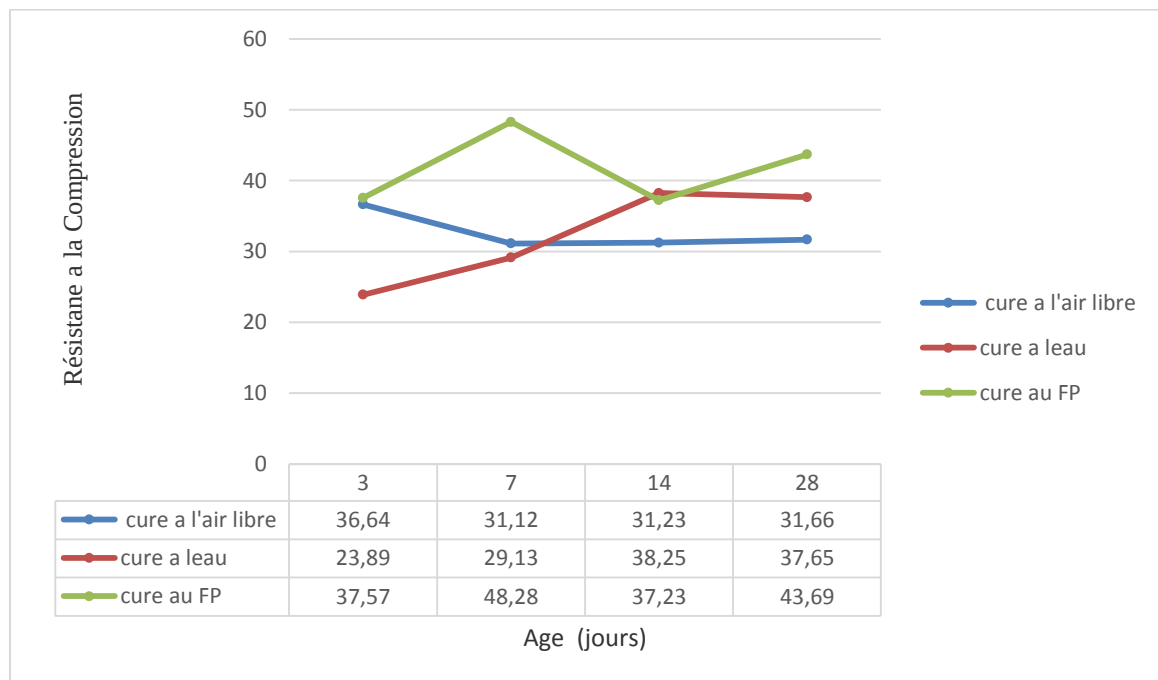


Fig IV.9: Courbes de résistance à la compression du MAP400

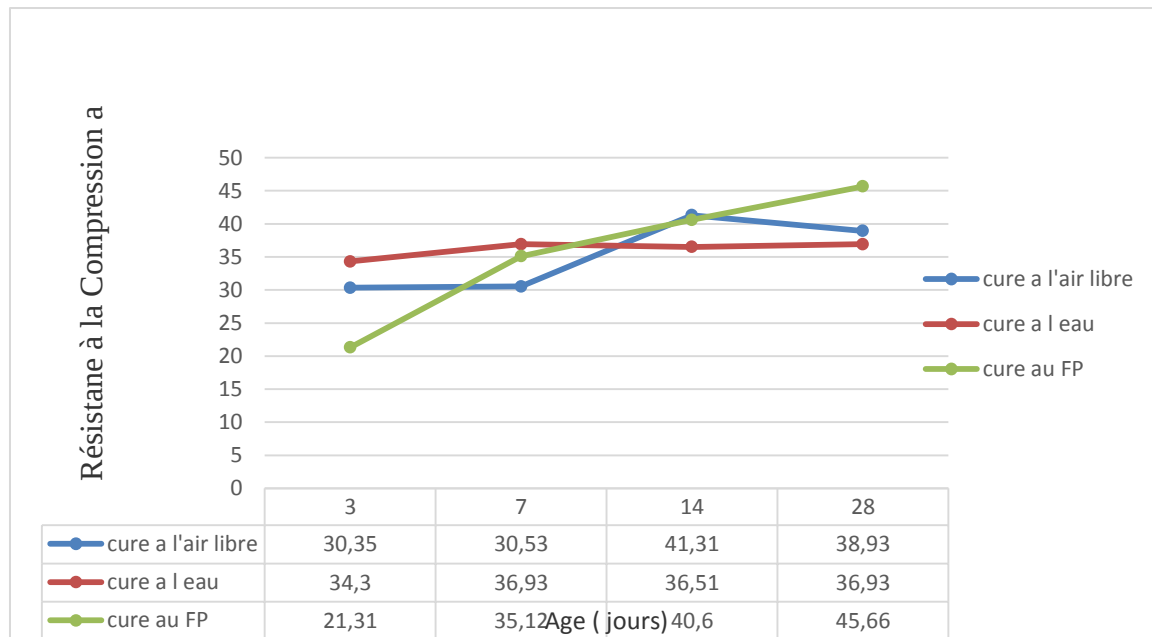


Fig. IV.10 : Courbes de résistance à la compression du MAPC400

MAP400/ MAPC400

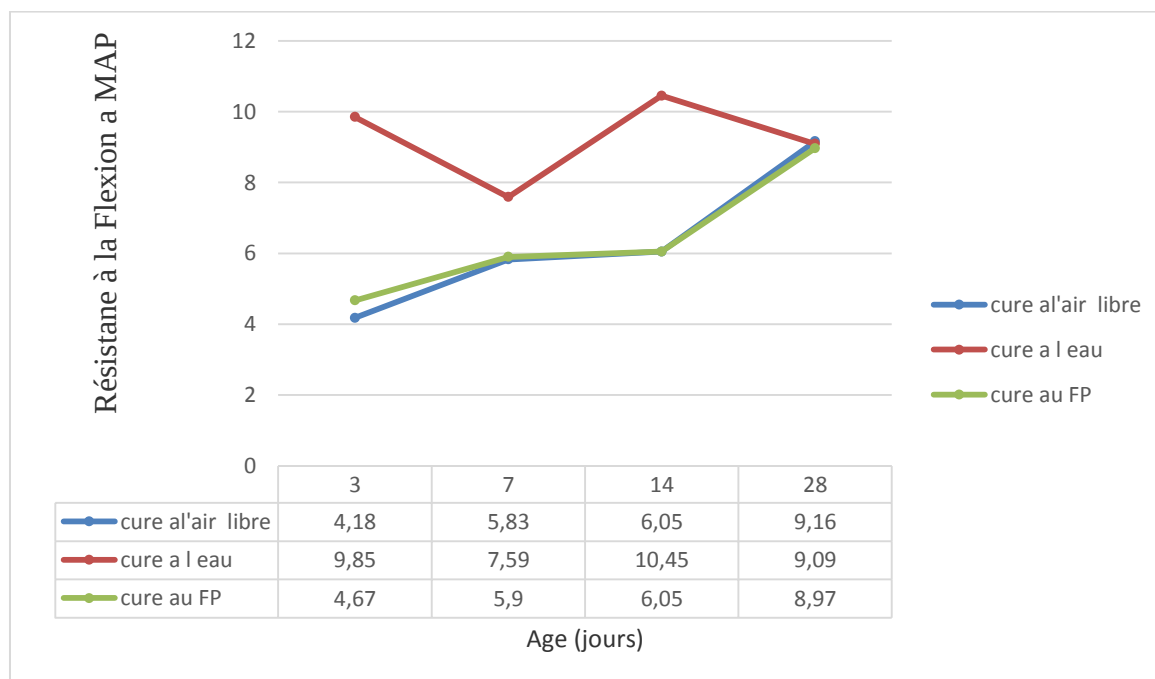
Selon les deux figures IV.9 et IV.10, on constate que si on diminue le dosage du ciment de 470 à 400 on aura une réduction dans les valeurs de résistances enregistrées; mais apparemment on a trouvé une résistance maximale de l'ordre de 50 à l'âge de 7j cela peut être expliqué par l'influence de l'adjuvant.

Mais, cette non influence sur la résistance obtenue peut signaler que avec un pourcentage de 5% [41] de l'ajout calcaire diminue les résistances pour tous les âges et tous les modes de conservation comme on peut dire que le calcaire aide à améliorer les résistances s'il a une grande finesse

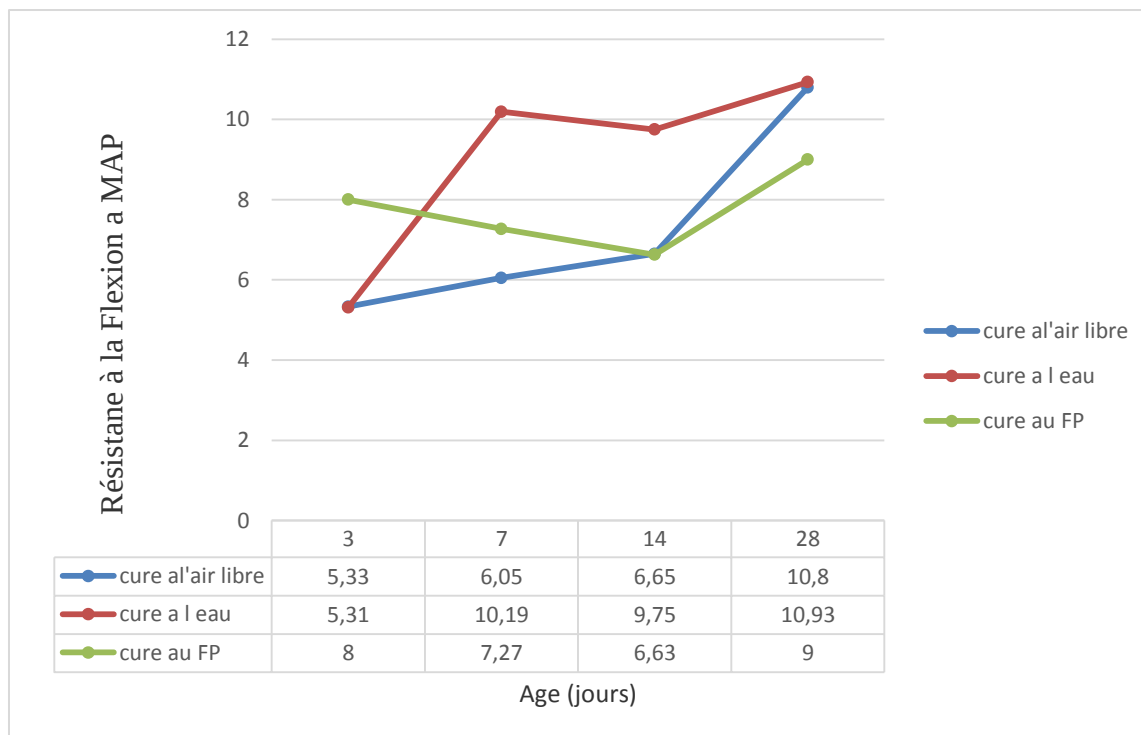
IV-6-2-Evolution de la Résistance à la Flexion avec l'âge et Mode de Cure

Tableau IV-5 : Résistance à la Flexion du MAPI et MPAII

MAPI	Résultats résistance à la flexion en MAP pour MAPI							
	MAP400				MAP470			
	3J	7J	14J	28J	3J	7J	14J	28J
Age de cure								
Mode de cure								
Cure à l'air libre	4.18	5.83	6.05	9.16	3.93	6.00	6.37	9.27
Cure à l'eau	9.85	7.59	10.45	9.09	7.89	8.49	11.16	10.67
Cure au FP	4.67	5.9	6.05	8.97	5.94	6.94	6.19	8.23
MAPII	MAPC400				MAPC470			
	3J	7J	14J	28J	3J	7J	14J	28J
Cure à l'air libre	5.33	6.5	6.65	10.8	4.86	4.35	6.58	10.39
Cure à l'eau	5.31	10.19	9.75	10.93	7.9	9.10	9.15	9.80
Cure au FP	8	7.27	6.63	9.00	8.92	6.62	5.69	8.38



FigIV.11.Courbes de résistance a la flexion du MAP400



FigIV.12 : Courbes de résistance à la flexion du MAPC400

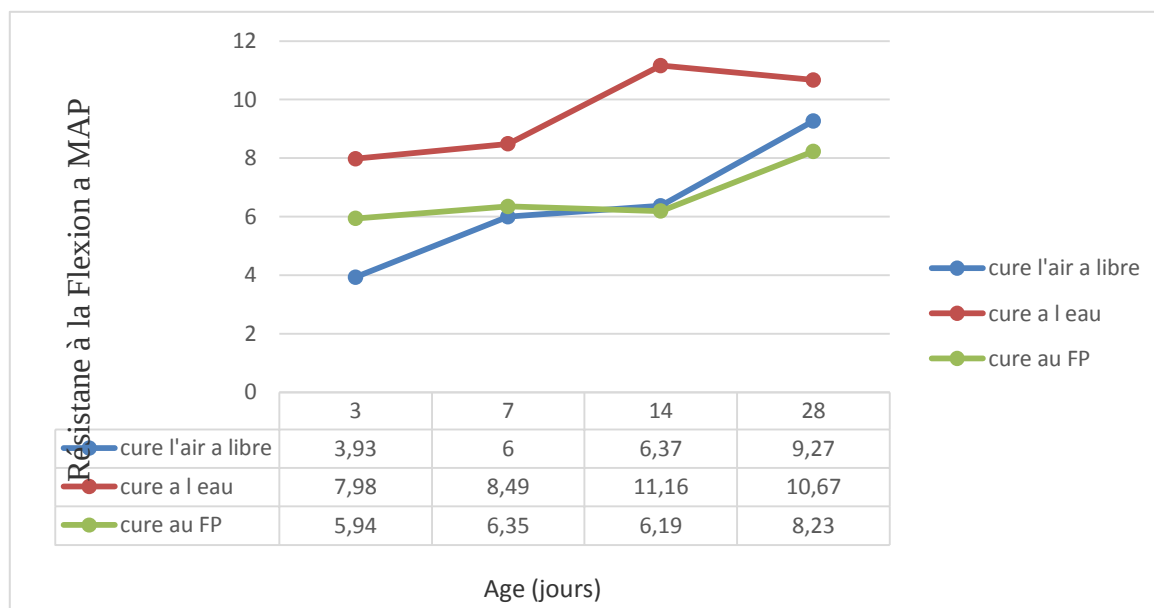
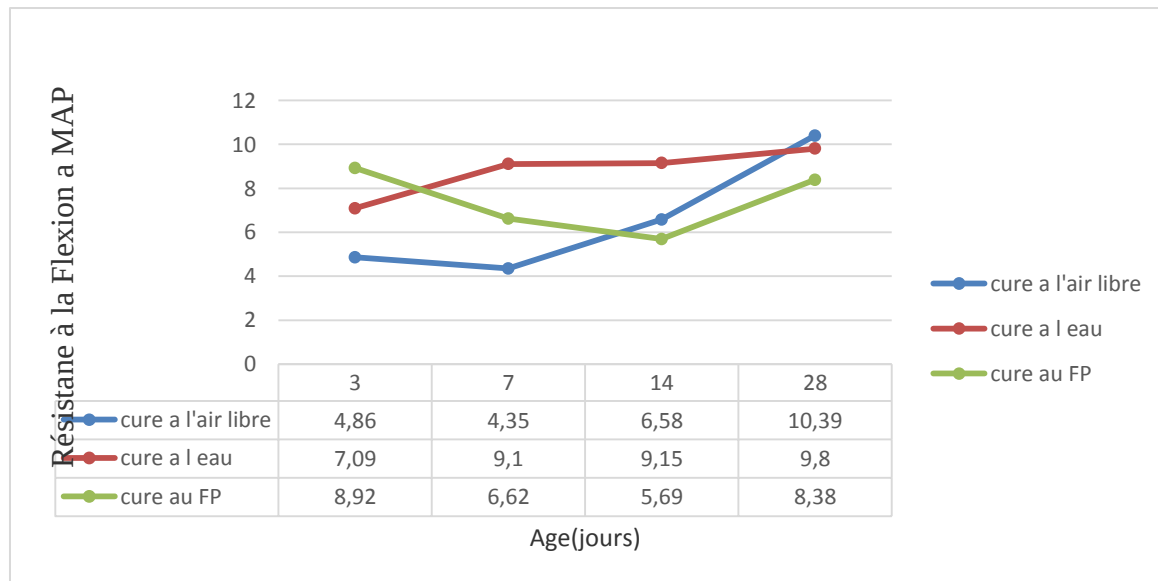


Fig. IV.13 : Courbes de résistance a la Flexion du MAP470



FigIV.14 : Courbes de résistance a la Flexion du MAPC470

MAP470/ MAPC470

Pour la résistance à la flexion du MAP400 et MAP470 on constate une grande évolution de la flexion à jeune âge des éprouvettes curé à l'eau par rapport à l'air et au film plastique ; pour le MAP400 une évolution est constaté jusqu' 7j puis une chute est constatée à 14j est dus à la influence de l'ajout que selon la littérature ; l'ajout calcaire diminue les résistances à moyenne et à long terme selon le dosage qui devant être supérieur à 5% et selon la finesse ; apparemment la finesse de notre calcaire et inferieur à la finesse du ciment utilisé alors cela peut influes négativement sur les résistances obtenues

On constate aussi sur la figure IV.11 ; que les éprouvettes curés à l'eau présente des bonnes résistances qui tends à donner une légère diminution à 28j et les valeurs enregistrés par la conservation dans un film plastique sont meilleur que celle curées à l'air et tends à s'améliorés à 28j, c'est due à l'augmentation de la vitesse hydratation du ciment qui va crier des écarts de températures entre le cœur de l'éprouvette et sa surface

IV-6-3-Evolution du retrait avec l'âge selon le mode ambiant :

Tableau IV-6 : Résultats de retrait et perte de masse

			MAP400			MAP470			perte de masse	
Age	Date	T	poids(g)	Mesure	$\varepsilon (\mu m)/m$	poids(g)	Mesure	$\varepsilon (\mu m)/m$	MAP 400	MAP 470
1	04/05	20	553.0	0.775	00	570.5	0.341	00	00.00	00
02	05/05	20	546.0	0.746	181.25	563.5	0.303	237.5	1.26	1.22
03	06/05	20	543.4	0.703	450.00	560.9	0.283	362.5	1.73	1.68
04	07/05	21	541.2	0.694	506.25	558.8	0.269	450	2.13	2.5
05	08/05	21	539.9	0.681	587.5	557.5	0.223	737.5	2.36	2.27
06	09/05	22	538.2	0.670	656.25	556.1	0.215	787.5	2.67	2.52
09	12/05	24	535.6	0.636	868.75	553.1	0.210	818.75	3.14	3.04
10	13/05	21	534.5	0.619	975.00	552.0	0.197	900	3.34	3.24
11	14/05	19	533.8	0.608	1043.75	551.3	0.179	1012.5	3.47	3.36
12	15/05	20	533.2	0.587	1175.00	550.9	0.161	1125	3.58	3.43
16	16/05	21	532.6	0.587	1175.00	550.9	0.160	1131.25	3.68	3.43
17	20/05	19	530.3	0.575	1250.0	547.9	0.140	1246.87	4.15	3.96
19	21/05	21	530.3	0.574	1256.25	547.9	0.139	1262.5	4.15	3.96
22	23/05	21	530.4	0.571	1275	547.8	0.137	1275	4.04	3.97
24	26/05	19	529.6	0.564	1318.75	547.00	0.130	1318.75	4.23	4.11
25	27/05	22	528.7	0.550	1406.25	546.1	0.115	1412.5	4.39	4.27
26	28/05	23	528.5	0.548	1418.75	545.9	0.114	1418.75	4.52	4.31
28	30/05	23	528.5	0.548	1418.75	545.9	0.114	1418.75	4.52	4.31

➤ Résultats évolution de retrait avec l'âge [MAP400-MAP470]

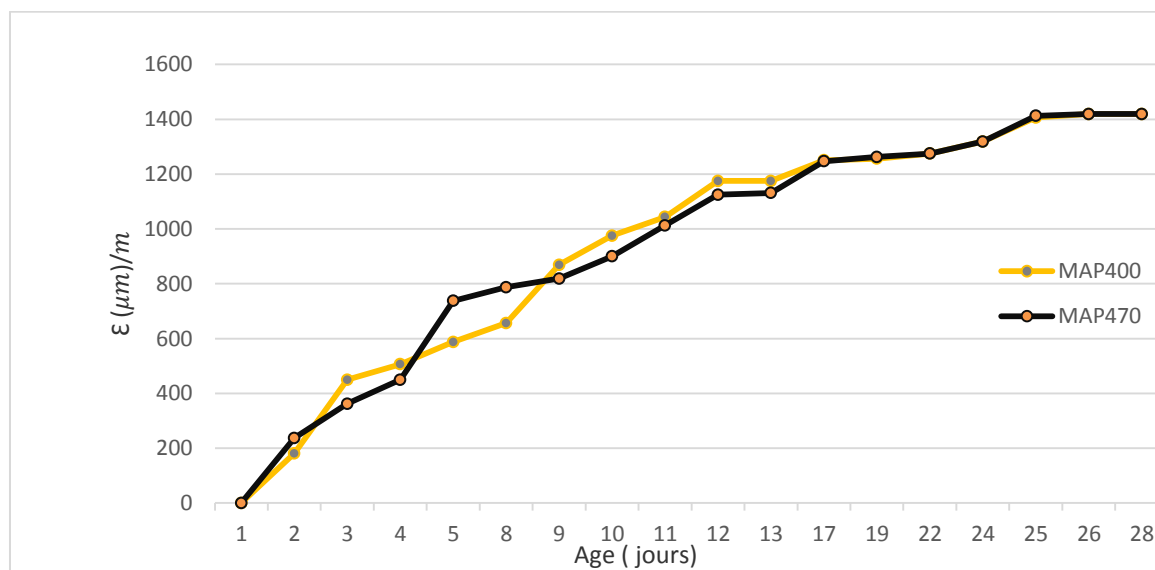


Fig IV.15. Courbes de retrait du MAP400 et MAP 470

Tableau IV-7 : Essai de Retrait Pour MAPC400 et MAPC470

MAPC400						MAPC470			Perte de masse	
Age	Date	T	poids(g)	Mesure	ϵ (μm)/m	poids(g)	Mesure	ϵ (μm)/m	MAPC 400	MAPC 470
1	07/05	21	569.2	0.456	00.00	555.3	0.344	00.00	00.00	00.00
2	08/05	21	563.6	0.421	218.75	545.4	0.327	106.25	0.98	1.78
3	09/09	22	560.2	0365	535.41	1.4	0.238	654.166	1.58	2.50
6	12/05	24	555.9	0.318	862.5	536.7	0.174	1062.5	2.33	3.34
7	13/05	21	554.5	0.299	981.25	535.2	0.154	1187.5	2.58	3.61
8	14/05	19	553.7	0.279	1106.2	543.2	0.137	1293.75	2.72	3.79
9	15/05	20	553.0	0.268	1175	533.7	0.121	1390.62	2.84	3.88
13	16/05	21	552.3	0.264	1200	532.8	0.123	1381.25	2.96	4.05
15	20/05	19	549.8	0.237	1368.75	530.2	0.103	1506.25	3.42	4.52
16	22/05	21	549.7	0.237	1368.75	530.2	0.103	1506.25	3.42	4.52
19	23/05	21	549.7	0.237	1368.75	530.2	0.102	1512.5	3.42	4.52
22	26/05	19	548.7	0.226	1437.5	529.6	0.091	1581.25	3.60	4.62
25	29/05	22	547.8	0.223	1456.25	528.6	0.073	1693.75	3.75	4.80
26	30/05	23	547.6	0.221	1468.75	528.3	0.070	1712.5	3.79	4.86
28	01/06	24	547.6	0.221	1468.75	528.	0.07	1712.5	3.79	4.86

➤ Résultats évolution de retrait avec l'âge [MAPC400-MAPC470]

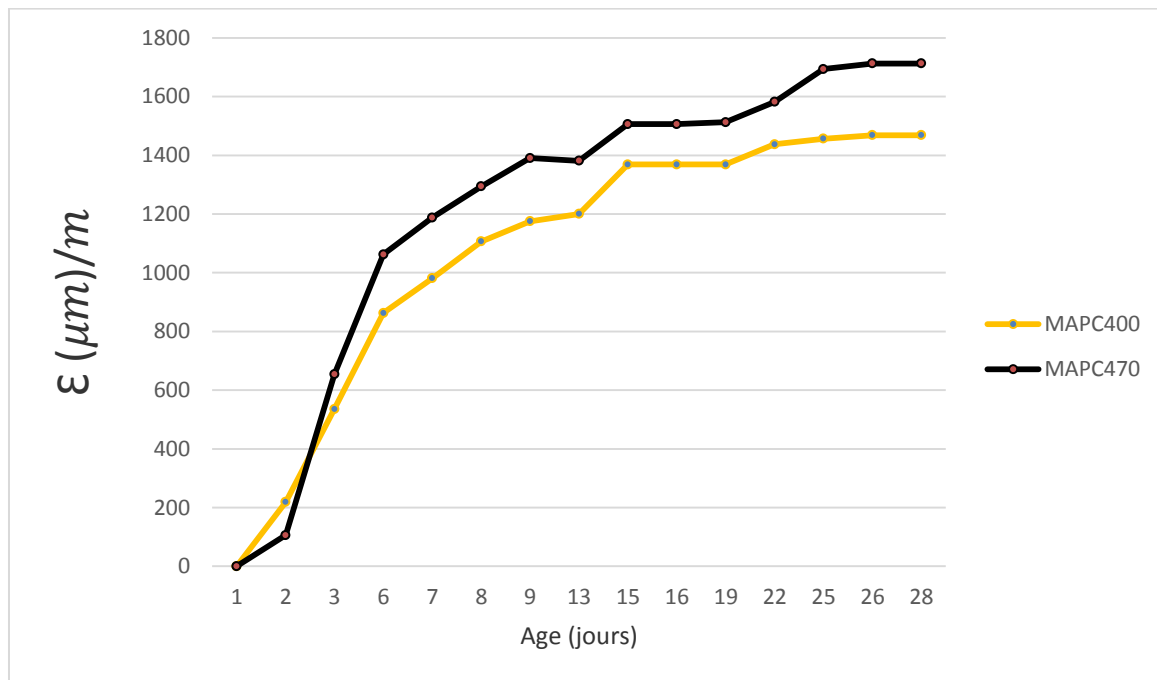


Fig-IV.16 : Courbes de retrait du MAPC 400Cet MAPC470

➤ Résultats évolution de perte de masse en fonction d'âge

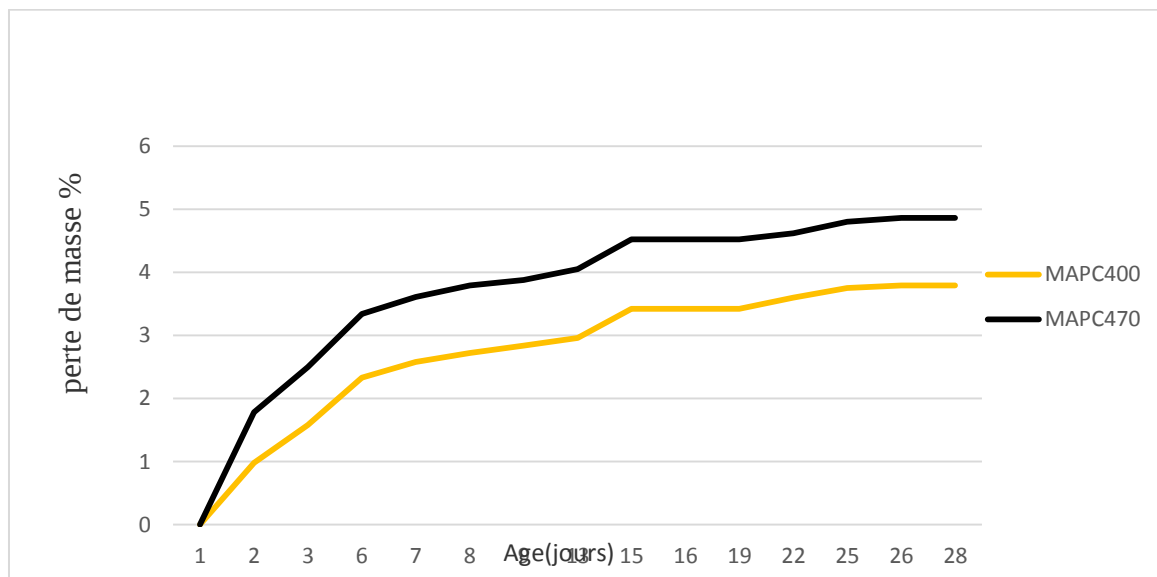
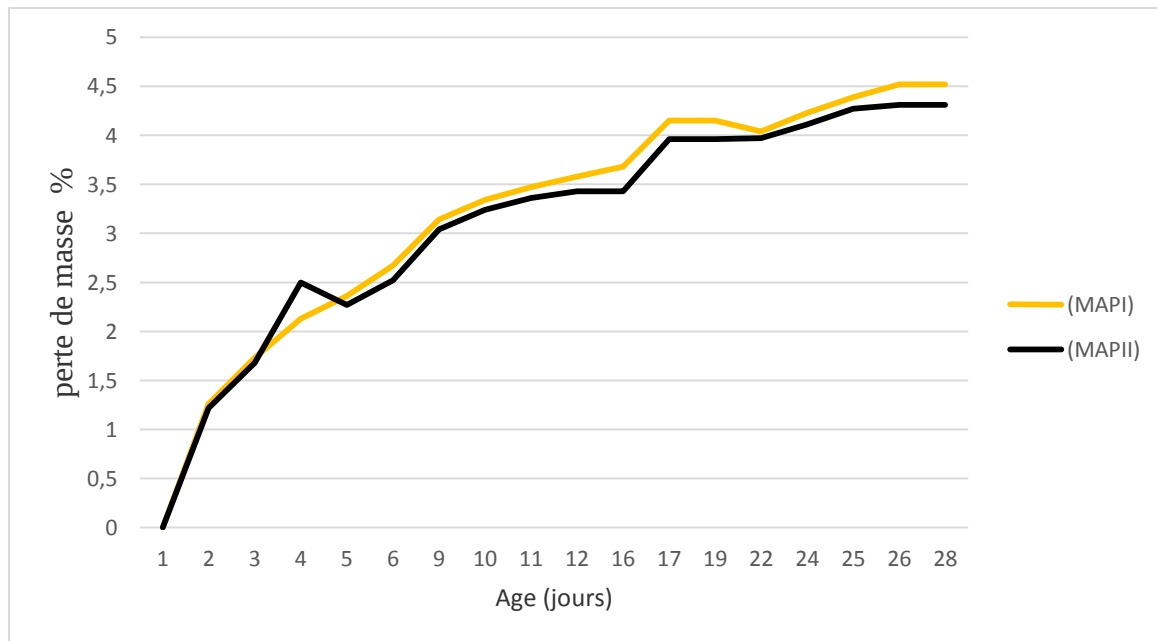


Fig IV.17. Courbes de Perte du Masse du MAPC400et MAPC470



FigIV.18. Courbes de Perte de Masse du MAP400 et MAP470

➤ Résultats évolution de perte de masse en fonction de retrait

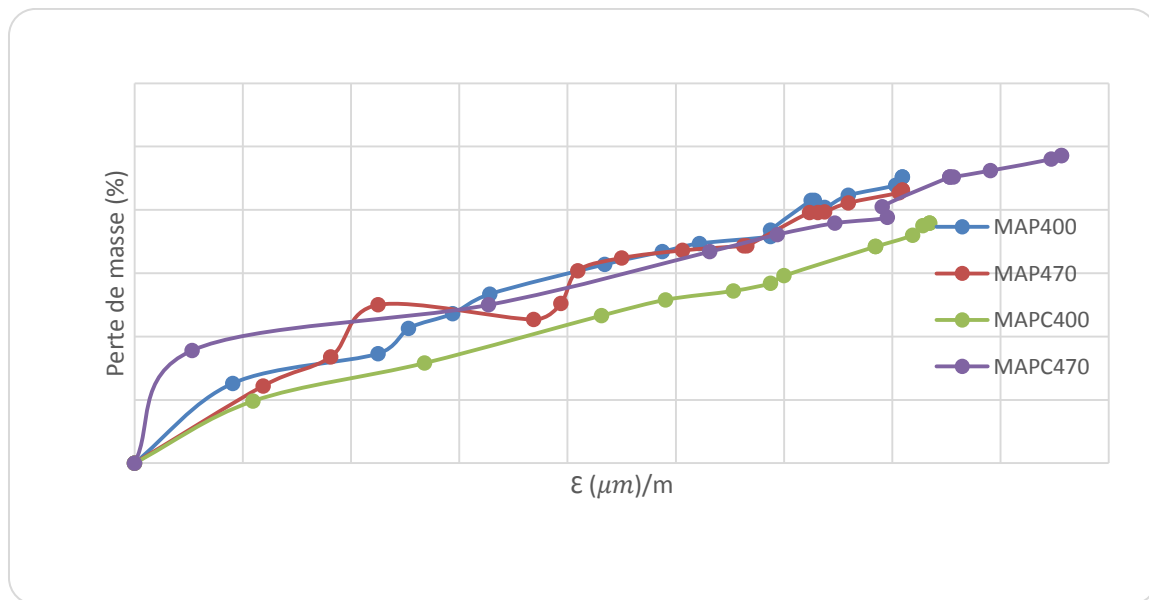


Fig19- Courbes de Perte de Masse en Fonction de Retrait

Discussion : Retrait- perte de masse :

Nous remarquons que les éprouvettes ayant subi une conservation en mode ambiant exhibent un retrait important à jeune âge

Les résultats du retrait de séchage sont exprimés sur la figure IV .17. Tous les mélanges présentent un retrait entre 1 et 28 jours.

Le séchage a commencé à l'âge de 24h après démoulage, les mélanges avec 5 % de calcaire présentent un retrait similaires à ceux du témoin, alors que le mélange avec 5% de présentent des retraits plus importants d'environ 1,12 fois celui du témoin. On remarque que ce mélange présente un retrait le plus faible, ce qui compenserait certainement moins son degré du retrait de séchage.

La premier observation inscrite à partir de la représentation du retrait en fonction de la variation de la perte en masse en mode de dessiccation c'est l'accroissent du retrait pour tous le MAP cela peut être liée à la perte d'eau élevée qui n'a aucun effet sur le retrait

Alors c'est l'eau libre dans les grands pores capillaires qui débute à s'éliminer et qui stipule un retrait à jeune âge.

Puis le retrait est ralenti liée à la perte de masse. A la suite des résultats de cette études paramétriques qui montre l'effet du taux de substitution de ciment par 5% de filler calcaire ; nous constatons que l'incorporation de calcaire dans les MAP contribue à la réduction de la chaleur hydratation et par conséquent à la diminution de retrait endogène et par suite à la diminution du retrait de dessiccation ce qui a été confirmé aussi par la plus grande valeur de retrait enregistré est de l'ordre de aucune fissure n'a été signalée à vue d'œil pour tous les MAPs même avec le MAP qui a donné une grande valeur de retrait comme on constate que la perte en masse est plus élevée au jeune âge dans le MAP contenant de l'ajout calcaire

Conclusion générale

L'étude bibliographique ne a permet de montrer clairement l'influence du climat chaud sur les propriétés des BAP et MAP. Néanmoins, les propriétés mécaniques sont influencées par la composition, et notamment la nature et le dosage de l'addition minérale. Il est connu qu'une cure adéquaté du béton est très importante non seulement pour atteindre la résistance à la compression voulue mais aussi pour obtenir un béton durable.

La contribution des additions minérale sur la performance finales des matériaux cimentaire (résistance mécaniques ; propriété physique ;...) dépendent essentiellement milieu de conservation, et aussi du taux de pourcentage de substitution de ciment et remplacer par le filler de calcaire. Donc nous avons proposé

- ✓ quantifier la contribution de l'addition minérale aux performances physiques et mécaniques des mortiers autoplaçant

- ✓ l'introduction du 5% d'ajout calcaire à très fort pourcentage dans la pâte cimentaire à consistance normalisée engendre un besoin une quantité d'eau considérable

, donc dans notre étude le 5% de FC de poids de ciment c'est un pourcentage convenablement.

- ✓ L'introduction de superplastifiants dans les compositions engendre en premier lieu une réduction d'une quantité importante du besoin d'eau.

- ✓ Le milieu de conservation des éprouvettes c'est le climat chaud

De ce fait on a peut tirer les constatations suivantes :

- La diminution des paramètres rhéologiques avec l'addition de calcaire est dû au fait que le ciment est substitué par un matériau ayant une densité plus petite, ceci augmente le volume de la pâte, et comme la pâte joue le rôle d'un lubrifiant entre les granulats et lorsque ce dernier augmente, la distance maximale entre les granulats augmente et les frottements entre les constituants du mortier diminue.
- le filler calcaire peut avoir un effet positif en limitant le retrait de séchage des BAP, s'il est utilisé avec une finesse et une proportion adéquates dans mélanges.
- La conservation sous une température qui varie entre 22 et 28°C et une humidité relative entre 20 et 59% sous le film plastique est considérée comme une meilleure cure, vis à vis de la résistance mécanique mieux que la conservation dans un milieu 100% humide.

Conclusion générale

- A jeune âge, la résistance de compression est d'autant plus grande que la température de cure est élevée. Mais à 28 jours, elle est nettement faible pour toutes les compositions.
- L'exposition des résultats concernant la perte en masse à une humidité relative environnante, inférieure à celle régnant au sein du matériau est à l'origine d'un déséquilibre hygrométrique. Ce déséquilibre se traduit par un mouvement de l'eau de l'intérieur du matériau vers l'extérieur, conduisant au séchage de celui-ci
- L'étude de l'évolution de la perte en poids en fonction du temps des MAPs suit la même cinétique de séchage, le MAPS sont plus susceptible à la perte de masse.

Recommandations

- Il convient de noter que ; vue le temps limité accordé généralement à un PFE ; la présente étude a été limitée et on n'a pas fait les essais suivants
- Essai de retrait endogène que doit être effectué selon le mode de cure par mode courant
- Essais de Gonflement (mode saturé)
- Essais mécaniques, on se limitant à 28 jour au lieu d'aller plus que 60 j afin d'évoquer en mieux l'effet du climat (chaud et sec).
- On n'a pas pu utiliser un autre mode de cure comme par exemple produit de cure.
- Vu cet état de travail effectué et afin de mettre en évidence d'autres propriétés des matériaux nous recommandons ces essais pour des travaux futurs.

REFERENCES

- [1] Benkechkache Ghofrane ;«Etude de comportement diffère des bétons autoplaçants influence des paramètres de composition et de chargement».Mémoire de magister université mentouri constantine novembre2007Algerie.
- [2] Benbrahim Fahima ;« effet des granulats de verre mousse sur les propriétés rhéologiques et physico-mécaniques du mortier autoplaçant » .mémoire de master université de m'hamed bougara –boumerdes 2014–2015Algerie.
- [3] <https://fournisseurs-beton.fr/beton-autonivelant>.
- [4] Hadjadj Miloud et Chenafi Missoum. «Effet des additions cimentaires sur le comportement rhéologique et mécanique des mortiers autoplaçants». Mémoire Université Ammar Telidji de Laghouat 2017.
- [5] Boukhelkhal Aboubakeur; « Rhéologie, caractérisation physique-mécanique et durabilité des bétons autoplaçants à base de la poudre de marbre», Mémoire de magister université Ammar Telidji de Laghouat 2012Algerie.
- [6] <http://www.guidebeton.com/beton-autoplaçant>.
- [7] P. Van Itterbeeck&V. Dieryck ; « Béton autoplaçant : recommandations pour la mise en œuvre ».
- [8] R. Chaid, R. Jauberthie et A. Boukhaled. « Effet de l'ajout calcaire sur ladurabilité des bétons». Le banese Science Journal, Vol. 11, No. 1, 2010.
- [9] Paco Diederich ; « contribution à l'étude de l'influence des propriétés des fillersCalcaires sur le comportement autoplaçant du béton ».Thèse de doctorat université de toulouse 2010 France.
- [10] Guillaume Francque ville ; «la technologiedu beton».
- [11] Kadid Saidi & Boucetha Zakia ; « influence des milieux de conservation sur la durabilite des mortiers autoplaçants ». mémoire de master universite m'hamedbougara –boumerdes 2016/2017Algerie.
- [12] Okamura.Het Ouchi, « Self-compacting concrete, Journal of advanced Concrete Technology», 200.
- [13] Hadjadj Miloud &ChenafiMissoum ; « effet des additions cimentaires sur le comportement rhéologique et mécanique des mortiers autoplaçants ». mémoire université Amar Telidji de Laghouat 2017.
- [14] Ramdani Fatima &Souilem hadjer ;«Etude rhéologique de mortier autoplaçant de haute performance », mémoire de master université Ammar Telidji de Laghouat 2015- 2016.

- [15] P.l. Domone, J.Jing, «properties of mortar for self-compacting concrete»,proceedings of rilem international symposium on scc, stockholm, September 1999,rilem proceedins pro 7, paris pp109-120.
- [16] Bendjilali Khadra ,« comportement physico-mécanique du béton en zones arides : Apport du traitement de cure en climat réel de laghouat » , Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de magister centre universitaire Ammar Telidji de Laghouat 2001.
- [17] Christian Bernardin ; «Les bétons autoplaçants».2011 en France.
- [18]Turcry P. « Retrait et fissuration des bétons autoplaçants- influence de la formulation » Thèse de doctorat de l'Ecole centrale de Nantes, 2004.
- [19] Redouane Ghriga ; «Influence de la substitution du sable alluvionnaire par sable recyclé et du sable dunaire sur les propriétés des mortiers autoplaçants».2017-2018.
- [20] Joachim Monge «fissuration des mortiers en couches minces - effets de l'hydratation, du séchage et de la carbonatation», the`se de doctorat de l'école normal supérieure de Cachan 20/12/2007 France.
- [21] ACI 305. Hot weather concreting. Journal of American Concrete Institute1991; 4; 417 - 436.
- [22]Bentz, M.R.Geiker and K.K.Hansen, « Shrinkage-reducing admixtures and early-age desiccation in cement pastes and mortars, »Cement and concrete research, vol.31, pp.1075-1085, 2001.
- [23]T.C.Powers, « The Belding of Portland Cement Paste, Mortar, and Concrete »in AC journal proceedings, 1939.
- [24] AIT Aider Hacène «le retrait plastique des bétons autoplaçants dans un environnement chaud» université mouloud mammeri de Tizi-Ouzou (Algérie).
- [25] Bella et all «état de l'art sur les bétonnages par temps chaud etpartiques au sud algerien », Université Kasdi Merbah, Ouargla 26 & 27 Novembre 2012.
- [26] Almusallam Abdullah et al «Plastic shrinkage cracking of blended cernent concretes in hot environments» Magazine of concrete research, vol. 51, pp. 241-246, 1999.
- [27]Berhane .Z «effet of évaporation of water from fresh concrete in hot climates, on the propriétés of concrete.Proc of the third confor. On concrete in hotclimates, Torquary, edited by M .J wather, EBFN P 81-88.
- [28] Taleb O., 2009 « Optimisation de la formulation des bétons autoplaçants à base de matériaux locaux », mémoire de magister de l'université de Tlemcen, Algérie.

[29] Felekoglu B., 2007« Utilisation of high volumes of limestone quarry wastes in concrete industry (self-compacting concrete case) », Resources Conservation & Recycling, vol.51, page 770–791.

[30] Benachour et al «Effect of a high calcite filler addition up on microstructural, mechanical, shrinkage and transport properties of a mortar, cement and concrete research , vol 38 , page 727-736.

[31] Tabet N, 2012 « Contribution à l'étude de l'influence de la nature et des dimensions des fibres sur le comportement physico- mécanique des bétons autoplaçants fibres (BAPF) », Mémoire de magister, l'université M'hamed bougra-Boumerdes, Algérie.

[32] Hot J. 2013 : «Influence des polymères de type superplastifiants et agents entraîneurs d'air sur la viscosité macroscopique des matériaux cimentaires», thèse de doctorat, Université Paris-Est, France.

[33] Okamura et coll., 2003: Self-compacting concrete, Journal of advanced concrete technology, Vol1, N°1, pp, April Japan.

[34] Bensebti S.E., 2008 : «Formulation et Propriétés des Bétons Autoplaçants à Base de Matériaux Locaux», thèse de doctorat de l'université Mentouri-Constantine, Algérie.

[35] Boukendakdji O. «Étude de l'influence des paramètres de formulation sur les propriétés d'un béton autoplaçant » ; thèse de doctorat de l'université Saad Dahleb de Blida, Algérie, 2010.

[36] Mbemba-Kiele «Influence du vent et de la cure sur le comportement des bétons au très jeune âge».

[37] R. Dupain, R. Lanchon, J.C. Saint-Arroman «Granulats, Sols, Ciments et Bétons» ; caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire. Editions Casteilla-25, rue Monge -75005 Paris.

[38] Okamura H. «self-compacting high –performance concrete. » Concrete International 1997 ; 19(7) ; 50-54

[39] <https://ar.dz.meteo.com> «METEOCAST»

[40] Neville A.M, «Propriétés des bétons», Traduction de CRIB, Sherbrooke, Canada, Edition Eyrolles, Paris, France, 2000 ; pp. 806.

عنوان المذكرة: صياغة ومعالجة ملاط ذاتي الرص

المؤطر: مرغوب وعزوز

اللقب و الاسم: بالحاجي فاطمة- بن عيدة هند

ملخص :

تم استخدام الخرسانة ذاتية الرص (BAP)، أو الخرسانة ذاتية التوضع لأول مرة في اليابان في أواخر الثمانينيات من القرن الماضي لتحسين ربحية البناء. الهدف من هذا العمل هو صياغة ملاط قائم بذاته (MAP) مصنوع من مواد محلية. نهتم في هذا العمل بدراسة : تأثير تكوين المعلمات على سلوك ملاط الضبط الذاتي في الحالة طرية والمتصلبة. وقد تطرقنا بدراسة تأثير نوع و كمية لأسمنت وكذلك مختلف طرق العلاج المختارة مثل (الغمر، فيلم بلاستيكي، الهواء الحر) على السلوك تجاه الانكماش والمقاومة الميكانيكية. النتائج التي تم الحصول عليها لها قوة ضغط جيدة من 20 إلى 46 لـ MAPC400 المحفوظة في FP و 8 إلى 12 من MAP470 لقوى الانحناء المحفوظة بالماء. الكلمات المفتاحية: الخرسانة ذاتية الرص BAP ،ملاط ذاتي الرص MAP ، انكماش ، معالجة ، مقاومة.

Memory title: Formulation and curing of self-compacting mortair

Name and First name: Belhadji Fatma- Benaida Hind

Directed by: Merghoub and Azouz

Abstract

Self-compacting concretes (BAP), or self consolidating concrete were used for the first time in Japan in the late 1980s to improve the profitability of construction.

The aim of this work is the formulation of a self-compacting mortar (MAP) madding from local materials.

We are particularly interested in:

The influence of the composition parameters on behaviour of self-compacting mortar at the fresh and hardened state. This work concerns the study of the effect of variation of type and percentage at cement. Thus, the influence of various modes of cure such as (Immersion, plastic film, air) on the shrinkage and on mechanical resistance. The obtained results showed a good compressive strength of 20 MPA to 46 for MAPC400 preserved at FP and 8 to 12 MAP470 flexural strengths preserved with water.

Keywords: Self-compacting concrete (BAP), Self-placing mortar (MAP), Curing, shrinkage, strength.

Titre du mémoire : Formulation et cure du mortier autoplaçant.

Nom et Prénom : Belhadji Fatma-Benaida Hind

Encadreur : Merghoub&Azouz

Résumé

Les bétons auto plaçant (BAP), anglais self-compacting concrete ont été utilisés pour la première fois aux japons vers la fin des années 1980 afin d'améliorer la rentabilité des constructions. L'objectif de ce travail s'articule autour de la formulation d'un mortier auto plaçant (MAP) confectionné à partir des matériaux locaux.

On s'intéresse en particulier à :

L'influence des paramètres de composition sur le comportement de Mortier auto plaçant à l'état frais et durcis, et l'influence de traitement de cure. Ce travail concerne l'étude de l'effet de variation de type et pourcentage du ciment. Ainsi l'influence de différents mode de cure choisi telle que (Immersion, Film plastique) sur du retrait et de la résistance mécanique. Les résultats obtenus montre des bonnes résistances à la compression environs de 20 a 46MPa pour MAPC400 conserve au film plastique et bonne résistance a flexion MAP470 de 8 a12 pour éprouvette conservé à l'eau.

Mots clés : Béton auto plaçant(BAP), Mortier auto plaçant (MAP), cure, retrait, resistance.