

BETONS AUTOPLAÇANTS A BASE DE MATERIAUX LOCAUX ETUDE DU COMPORTEMENT A L'ETAT FRAIS ET DURCIS

N. BOUHAMOU (1), N. BELAS (2), F. BELABDELOUAHAB (3), H. MESBAH (4), A. MEBROUKI (5),

(1) : Maître de Conférence ; Université de Mostaganem, Algérie

(2) : Professeur ; Université de Mostaganem, Algérie

(3) : Maître de Conférence ; ENTP de Kouba, Algérie

(4) : Maître de Conférence ; IUT de Rennes, France

(5) : Maître Assistant – Chargé de Cours ; Université de Mostaganem, Algérie

Résumé :

La présente étude s'inscrit dans le cadre des travaux de recherches menés au département de génie civil de l'université de Mostaganem. Elle concerne l'étude de l'influence des paramètres de composition sur le comportement du BAP. Elle a pour objectif d'étudier les rôles joués par les différents constituants susceptibles d'entrer dans la formulation d'un BAP à base de matériaux locaux et notamment l'utilisation du sable de mer et du sable de carrière (considéré comme déchet naturel), de mettre en évidence les éventuelles interactions entre constituants.

Mots clés : bétons autoplaçants - fines calcaires - sable de mer - sable de carrière - résistance mécanique - retrait.

1. INTRODUCTION

Dans les années quatre-vingt et quatre-vingt-dix, les études relatives aux bétons à hautes performances ont montré le rôle néfaste de l'excès d'eau dans les bétons. La réduction de cette quantité d'eau, par emploi de défloculants et par correction de l'empilement granulaire via les ultrafines, a conduit aux gains de résistance et de durabilité que l'on connaît.

A travers ces résultats et ces travaux de recherches, l'amélioration constatée de l'ouvrabilité de ces nouveaux bétons a conduit les chercheurs à développer et à fiabiliser cette propriété.

Aujourd'hui, en totale continuité avec les bétons à hautes performances, c'est un changement d'objectifs constituant aussi une véritable révolution culturelle que proposent les bétons autoplaçants : l'étude du matériau n'est plus seulement gouvernée par l'amélioration de la résistance et de la pérennité. Toutefois ces dernières propriétés restent calées à des niveaux équivalents ou supérieurs à celles des bétons courants. Ce sont désormais, avec les bétons autoplaçants que les aptitudes à être aisément mis en œuvre sans vibration qui sont devenues prioritaires. Ces aptitudes vont avoir de grandes conséquences en terme de délai d'exécution, de réduction de matériels, de qualité de bétonnage, de facilité de mise en œuvre, de respect du voisinage et de moindre pénibilité pour les ouvriers.

Les recherches sur la formulation et l'étude de comportement différé sont toujours en cours dans de nombreux pays à l'image de la France dont l'intérêt pour ce matériau a donné naissance à un programme national intitulé PNB@P.

Enfin, les travaux de recherches effectués au département de génie civil de la faculté des sciences et sciences de l'ingénieur de l'université de Mostaganem (Algérie), s'inscrivent dans le cadre des liens existants entre les composantes de l'université de Mostaganem et l'université de Rennes (France) et l'université de Sherbrook (Canada).

Les objectifs de cette étude visent à comprendre l'influence des principaux constituants sur le comportement mécanique différé des bétons autoplaçants en caractérisant leurs performances physiques et

mécaniques. Notre but est avant tout de chercher des solutions pour optimiser une formule de BAP et non d'expliquer les différences entre BAP et BO.

Notons qu'une formulation avec de tels matériaux est la première du genre à être menée. Par conséquent, pour mieux cerner les mécanismes qui régissent les comportements du retrait nous proposons de compléter notre étude par la mise en évidence de l'effet des différents paramètres sur la microstructure du BAP.

2. MATERIAUX ET FORMULATION

2.1. Matériaux utilisés

Matériau	Sable de mer (Sm)	Sable de carrière (Sc)	Gravier 3/8 (G3/8)	Gravier 8/15 (G8/15)	Gravier 15/20 (G15/20)	Fines (F)	Ciment (C)	Adjuvant	
								BY40	20HE (Sc)
Nature	siliceux	calcaire	calcaire	calcaire	calcaire	calcaires	Cp CEMII / A 32,5	plastifiant	Viscosant et fluidifiant

Tableau.1. Caractéristiques des matériaux utilisés

2.2. Méthode de formulation

Cinq bétons autoplaçants et un béton vibré (ordinaire) ont été mis en œuvre. Le critère de comparaison choisi est la résistance mécanique en compression à 28 jours.

La méthode de formulation utilisée pour concevoir les compositions de BAP testées dans cette étude expérimentale est une méthode empirique basée sur quatre points :

- La formulation du BAP doit répondre aux critères de résistance mécanique (fixés ou désirés) choisis à partir de la formule de Bolomey.

- Le volume de pâte doit favoriser l'écoulement du béton tout en réduisant le coût en matières premières de cette formulation [1].

Pour cela, le volume de pâte (eau efficace + air occlus + ciment + additions + adjuvant + fines des granulats de dimension inférieure à 80 µm) est fixé à 375 litres. L'eau efficace correspond à l'eau totale théorique (eau de gâchage + eau apportée par les granulats + eau apportée par les adjuvants) à laquelle on soustrait l'eau absorbée par les granulats.

- Le dosage en adjuvant (superplastifiant et viscosifiant) est calculé afin de limiter la ségrégation et le ressuage. Ce dosage est déterminé de manière expérimentale à partir d'essais sur bétons frais pour lequel l'étalement doit être compris entre 60 et 75 cm.

- L'optimisation de la constitution doit réduire la ségrégation et favoriser

l'écoulement. Pour cela et afin de sélectionner une combinaison adéquate de granulats qui améliore la maniabilité et la déformabilité du béton autoplaçant, plusieurs proportions ont été considérées tout en gardant un rapport G/S proche de 1.

•En ce qui concerne la formulation du béton vibré correspondant, sa composition a été obtenue à partir de la méthode de Dreux-Gorisse en conservant le même rapport E/C; c'est-à-dire à consistance sensiblement la même que celle des BAP.

Les bétons ont été confectionnés selon les recommandations actuelles de l'AFGC [2]. Toutes les compositions étudiées sont présentées dans le tableau 2

Compositions (kg/m ³)	Bétons					
	BAP 1	BAP 2	BAP 3	BAP 4	BAP 5	BO
G/S	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,6
Ciment	400	400	400	400	400	350
Fillers calcaires	100	100	100	100	100	-
Sable de mer	578	578	578	495	495	129
Sable de carrière	333	299	249	299	249	576
Gravillon 3/8	333	366	333	333	416	204
Gravillon 8/15	416	416	499	532	499	947
Plastiment BV 40	-	-	-	-	-	5,25
Viscocrète 20 HE	4	4	4	4	4	-
Eau efficace	200	200	200	200	200	175
E/C	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Tableau.2. Composition des différents bétons (kg/m3).

2.3. Caractérisation des bétons

2.3.1. À l'état frais

La caractérisation à l'état frais des bétons s'est limitée aux essais recommandés par l'AFGC [2]: étalement au cône, écoulement à la boîte en L, stabilité au tamis et ressuage.

a. Essai d'étalement (BAP) ou d'affaissement (BO)

Il s'agit de démouler un cône normalisé DIN (ou cône d'Abrams) de béton frais et de mesurer le diamètre de la galette du béton obtenue (photo 1). Il faut rappeler qu'il est considéré comme autoplacant, un béton qui forme une galette d'un diamètre compris entre 60 et 75 centimètres. Pour les BAP, des temps d'écoulement intermédiaires ont été mesurés. Il s'agit du temps nécessaire pour atteindre un diamètre de 50 cm, noté 't50'.

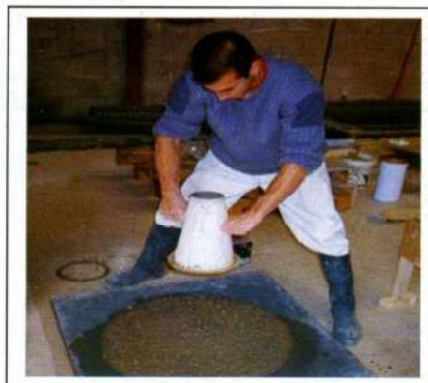


Photo.1. Essai d'étalement

Pour la formulation vibrée (BO), c'est le test traditionnel du cône d'Abrams selon la norme NF P 18-451 qui s'est substituée à celui d'étalement.

Le tableau 3 fournit les valeurs des étalements (BAP) et d'affaissement (BO) en cm ainsi que les temps d'écoulements 't50' en secondes des bétons.

Bétons		BAP1	BAP2	BAP3	BAP4	BAP5	BO
Etalement	Dmoy (cm)	73,0	72,0	70,0	71,0	74,5	-
	t ₅₀ (s)	2,5	2,3	2,0	2,1	2,8	-
Affaissement (cm)		-	-	-	-	-	8

Tableau.3. Récapitulatif des résultats des essais d'étalement et d'affaissement.

Nous pouvons constater que l'ensemble des bétons autoplacants respecte le critère d'étalement. L'étalement spécifié était respectivement compris entre 64 cm (BAP1) et 70 cm (BAP3).

Bien qu'aucune limite ne soit donnée pour les temps d'étalement, les temps mesurés pour atteindre une galette de 50 cm de diamètre (t50) sont proches des valeurs couramment rencontrées (3 secondes).

Pour toutes les compositions du BAP, l'auréole de laitance à la périphérie des galettes de béton était absente ou pratiquement très faible (de 1 à 2 mm). De plus, les gros granulats ont toujours été entraînés correctement par la matrice cimentaire et ne sont pas restés amoncelés au milieu des galettes de béton.

Sur la consistance du béton ordinaire (vibré) : aucune condition n'avait été fixée au préalable. La classe d'affaissement obtenue est la classe S2 (béton plastique : de 5 à 9 cm d'après la norme NF EN 206-1).

b. Essai de la boîte en L

La boîte en L permet de tester la mobilité du béton en milieu confiné et de vérifier que la mise en place du béton ne sera contrariée par des phénomènes de blocage.

Au total 13 litres de béton sont mis dans la partie verticale puis on laisse le béton se reposer pendant 1 minute. La trappe est ensuite levée et on laisse le béton s'écouler dans la partie horizontale de la boîte à travers le ferrailage. A la fin de l'écoulement, on mesure H1 et H2 et le résultat est exprimé en terme de taux de remplissage H2/H1 (photo2, figure 1).



Photo.2. Remplissage du béton à l'amont des armatures

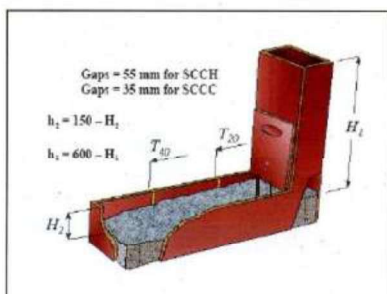


Figure.1. Mesure des paramètres après stabilisation

Les résultats du tableau 4 sont conformes à ce que l'on peut espérer d'un béton autoplaçant. Cependant, le plus important dans cet essai est que le béton testé s'écoule à travers les armatures correctement. Sur ce point, aucun problème n'est à signaler puisque tout les BAP présentent des taux de remplissage supérieur à 0,80.

Bétons	BAP1	BAP2	BAP3	BAP4	BAP5	BO
H_2/H_1	0,93	0,91	0,87	0,89	0,95	-
$T_{40}(s)$	3,0	3,1	3,5	3,3	3,0	-

Tableau.4. Résultats des essais de la boîte en L.

c. Essai de stabilité au tamis

Il consiste à mesurer la proportion d'éléments fins de béton (laitance) passant au travers d'un tamis d'ouverture 5 mm (Photo 3) pour qualifier le béton vis-à-vis du risque de ségrégation et de déduire si le béton testé possède une stabilité satisfaisante ou non.



Photo.3. Essai de stabilité au tamis.

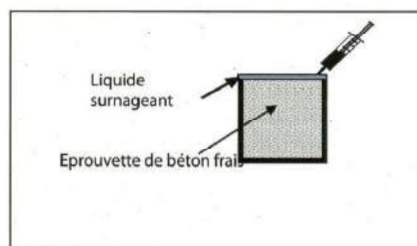
Les résultats du tableau 5 montrent que tous les BAP ont un taux de ségrégation inférieur à 15 %, synonyme d'une stabilité correcte.

Bétons	BAP1	BAP2	BAP3	BAP4	BAP5	BO
π (%)	11,85	12,60	7,68	8,45	13,50	-

Tableau.5. Résultats des essais de stabilité au tamis.

d. Essai de ressuage

Pour l'essai de ressuage, il s'agit de mesurer la quantité de liquide remonté à la surface d'une éprouvette 15 x 30 cm au bout de 3 h (Photo 4).



Un ressuage important est le signe d'une dégradation de la qualité esthétique des parements et de la durabilité. La valeur limite de ressuage conseillée doit être $\leq 3\%$ en volume. Cette condition a été confirmée par tous nos bétons.

bétons	BAP1	BAP2	BAP3	BAP4	BAP5	BO
Ressuage (%)	1,46	1,52	1,15	1,26	1,58	-

Tableau.6. Résultats des essais de ressuage.

2.3.2. À l'état durcis

Le tableau 7 présente les résistances à la compression à 28 jours des six bétons. On signalera toutefois que la valeur obtenue pour chaque béton est une moyenne de 3 valeurs.

Bétons	BAP1	BAP2	BAP3	BAP4	BAP5	BO
R_c à 28 jours (MPa)	37,9	38,6	41,0	39,8	37,1	36,5

Tableau.7. Résistances en compression à 28 jours des bétons confectionnés.

On peut noter que les résistances entre BAP et BO ne sont pas très différentes. Les raisons des petits écarts observés sont diverses :

- Les résistances élevées des BAP sont liées au volume de pâte important.
- L'utilisation du superplastifiant «viscocrete 20HE» dans les formulations autoplaçantes peut avoir une influence bénéfique sur la résistance mécanique.
- Enfin la présence d'une quantité importante de filler calcaire comme addition dans les BAP peut également avoir une action positive sur leur compacité et leur résistance mécanique.

2.3.3 Bilan

Une première remarque pourrait être faite sur les performances obtenues par les bétons autoplaçants. Il est visible que l'on obtient de bons bétons en terme de résistances mécaniques (dus essentiellement à une forte compacité - adjuvantation, dosage en fines élevé). Cependant le faible

recul sur ses performances à long terme incite à regarder de plus près les paramètres influant sur son caractère durable.

3. INFLUENCE DES PARAMETRES DE COMPOSITION SUR LE COMPORTEMENT DU BAP

Nous nous proposons d'étudier les effets des paramètres de composition d'une formule de BAP sur les caractéristiques à l'état frais et à l'état durci. Nous avons choisi de travailler sur le BAP3 qui a présenté la meilleure caractérisation aussi bien à l'état frais qu'à l'état durci en comparaison avec les autres formules du BAP.

Notre objectif est de chercher des solutions pour optimiser une formule de BAP et non d'expliquer les différences entre BAP et BO. Les paramètres de formulation étudiés sont les suivants :

- le rapport de la masse d'eau et de la masse de ciment : E/C,
 - la proportion de pâte (c+a+e+Sp) du béton (%) : Vpâte,
- La plage de chaque paramètre est donnée dans le tableau 8.

Paramètres	Minimum	Intermédiaire	Maximum
E/C	0,4	0,5	0,6
V _{pâte} (%)	35	37,5	40

Tableau.8. Plages des paramètres de composition d'une formule de BAP.

Les essais expérimentaux de cette étude ont été exclusivement réalisés sur des échantillons de bétons. A l'état frais, nos bétons ont été caractérisés par les essais recommandés par l'AFGC [1].

Tandis qu'à l'état durcis, ils sont obtenus par coulage dans différents moules.

Les diverses formes d'échantillons coulées selon les essais envisagés étaient les suivantes :

- cylindres 11 x 22 cm : pour les résistances mécaniques en compression;
- prismes 7 x 7 x 28 cm : pour le retrait du béton durci

3.1. Influence des paramètres de composition sur le comportement du BAP à l'état frais

3.1.1. Influence du rapport E/C

A part son rôle majeur dans le phénomène de l'hydratation, l'eau est l'un des facteurs les plus importants au niveau de l'ouvrabilité du béton. L'augmentation du dosage en eau augmente la fluidité du béton et entraîne la diminution de la concentration en solides; au niveau rhéologique, le seuil de cisaillement et la viscosité diminuent. Cependant, l'introduction excessive d'eau provoque la chute de la résistance mécanique du béton à l'état durci, ainsi que l'apparition des phénomènes de ségrégation à l'état frais.

Le dosage du ciment dans le béton est très souvent relié aux propriétés mécaniques et de durabilité du béton. On considère que l'écoulement et l'ouvrabilité du béton sont reliés au rapport E/C qui représente un facteur très influent sur les différents aspects des bétons. Ce rapport a toujours été associé directement à la résistance mécanique du béton et sa durabilité, et la formulation des bétons ordinaires passait par l'optimisation de ce paramètre.

Pour étudier l'influence du rapport E/C sur le comportement du BAP à l'état frais, nous avons gardé le couple volume de pâte et F/C constants (Vpâte = 37,5 %, F/C = 0,25).

[F/C : rapport des fines et de la masse de ciment]

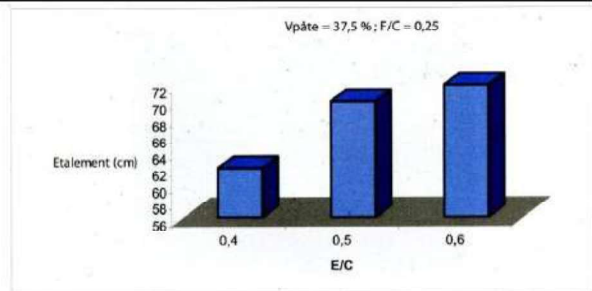


Figure.2. Influence de la variation du rapport E/C sur le diamètre d'étalement du BAP (Vpâte et F/C constants).

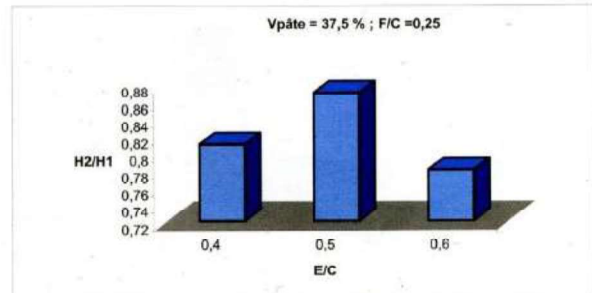


Figure.3. Influence de la variation du rapport E/C sur la ségrégation dynamique (H2/H1).

D'après la figure.2, on constate que la diminution du rapport E/C a influé directement sur l'étalement du BAP. On observe pour un BAP de rapport E/C = 0,4, une diminution de diamètre d'étalement de 12,90 % et 16,13 % par rapport à ceux des BAP de E/C = 0,5 et 0,6 respectivement. Cette diminution est interprétée par la réduction de la quantité d'eau de gâchage incorporée lors du malaxage.

Cependant, cette diminution a influé positivement sur la stabilité et la résistance à la ségrégation dynamique pour les BAP de rapport E/C = 0,4 et E/C = 0,5 (figure 3). Seule la formulation avec un rapport E/C = 0,6 ne respecte pas cette condition ; ceci est dû probablement à la quantité d'eau importante.

Le tableau 9 présente les résultats de la résistance à la ségrégation statique et du ressuage du BAP.

	E/C = 0,4	E/C = 0,5	E/C = 0,6
Stabilité au tamisn (%)	7,45	7,68	15,98
Ressuage (%)	1,09	1,15	3,25

Tableau.9. Influence du rapport E/C sur la résistance à la ségrégation statique et le ressuage.

Les BAP correspondant aux rapports E/C = 0,4 et 0,5 ont un taux de ségrégation inférieur à 15 % et un ressuage n'excédant pas les 3 %, synonyme d'une stabilité correcte.

Le BAP de E/C = 0,6 présente la particularité d'engendrer une mauvaise stabilité vis-à-vis de l'écoulement

3.1.2 Influence du volume de pâte

Le volume de pâte est supposé jouer deux rôles dans un BAP. D'abord, il fluidifie le matériau en limitant les contacts entre les granulats. Ensuite, il écarte suffisamment les gravillons pour éviter la formation d'amas

contre les armatures, responsables de blocage de l'écoulement. Nous supposons qu'il existe un volume de pâte minimal permettant de remplir chacune de ces deux fonctions.

Parmi les bétons testés, un seul présente un étalement inférieur à 60 cm (figure.4). On constate que l'augmentation du volume de pâte, contribue significativement à l'amélioration de la maniabilité. Cette amélioration est due principalement à la réduction de la teneur des gros granulats dont l'augmentation du volume et particulièrement les granulats concassés conduit à un frottement important. C'est le cas du BAP au volume de pâte de 35 %.

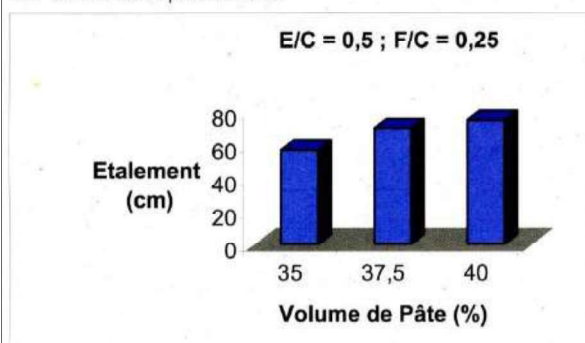


Figure.4. Influence de la variation du volume de pâte sur le diamètre d'étalement.

Sur le taux de remplissage, la figure.5 montre une bonne corrélation entre le volume de pâte et le résultat de l'essai à la boîte en L de nos bétons.

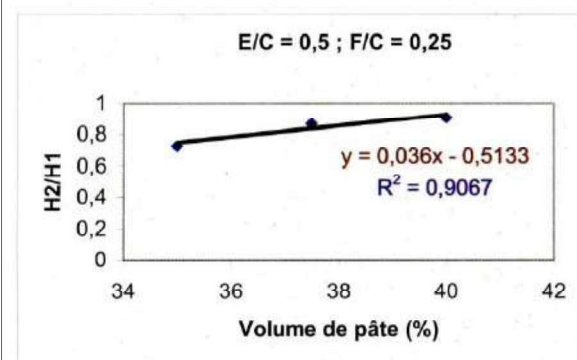


Figure.5. Corrélation entre le taux de remplissage H2/H1 et le volume de pâte.

Le BAP au volume de pâte de 35 %, a présenté un blocage à la boîte en L dont le taux de remplissage H2/H1 ne dépasse pas 0,80.

A cet effet on constate que pour une teneur en quantité de pâte de l'ordre de 35 % avec un rapport E/C de 0,5 et un rapport F/C de 0,25, ne permet pas d'obtenir un BAP répondant aux exigences de l'AFGC.

Le tableau 10 montre les différents résultats obtenus des essais de stabilité au tamis et du ressuage.

	Vpâte = 35 %	Vpâte = 37,5 %	Vpâte = 40 %
Stabilité au tamis (%)	5,66	7,68	15,01
Ressuage (%)	0,93	1,15	3,15

Tableau.10. Influence du volume de pâte sur la résistance à la ségrégation statique et le ressuage.

Contrairement à l'essai d'étalement et la boîte en L, le béton au volume de pâte de 40 % se trouve à la limite du domaine autoplaçant puisque son pourcentage de laitance est légèrement supérieur à 15 %. Ce béton a également développé une stabilité critique vis-à-vis du ressuage dont le pourcentage a dépassé 3 %. Cette ségrégation est due principalement à l'augmentation du volume de pâte par rapport à celui des granulats.

3.1.3 Bilan

L'étude menée sur le comportement du BAP à l'état frais en fonction de ces paramètres de composition, a permis de tirer les conclusions suivantes :

■ Les rapports E/C = 0,4 et E/C = 0,5 (F/C = 0,25, Vpâte = 37,5 %) ont influé positivement sur la stabilité et la résistance à la ségrégation du BAP.

Le BAP de rapport E/C = 0,6 (F/C et Vpâte constants) présente la particularité d'engendrer une mauvaise stabilité vis-à-vis de l'écoulement.

■ Une teneur en quantité de pâte de l'ordre de 35 % (E/C et F/C constants) ne permet pas d'obtenir un BAP répondant aux exigences de l'AFGC.

Le BAP au volume de pâte de 40 % (E/C et F/C constants) se trouve à la limite du domaine autoplaçant.

3.2. Etat durci (Résistances mécaniques)

Les échantillons utilisés pour déterminer la résistance mécanique en compression des différents bétons étudiés, sont des éprouvettes cylindriques de diamètre 11cm et de hauteur 22cm. Une fois démoulées, elles subissent une rectification et sont conservées dans l'eau dans une salle à 20°C et 95 ± 5 % d'humidité relative jusqu'à l'échéance déterminée (1 jour, 7 jours, 28 jours et 90 jours).

Avant chaque essai, les éprouvettes sont pesées et mesurées pour déterminer la masse volumique apparente afin de vérifier l'homogénéité du béton.

a – Influence du rapport E/C

Le paramètre le plus communément utilisé pour prévoir la résistance en compression est le rapport eau/ciment. La résistance d'un béton bien compacté apparaît comme étant inversement proportionnelle au rapport eau/ciment. Cette relation, étant considérée comme une loi, n'est en fait qu'une véritable règle établie par Duff Abrams en 1919 [4]. L'évolution des résistances à la compression en fonction du rapport E/C est schématisée par les figures 6 et 7.

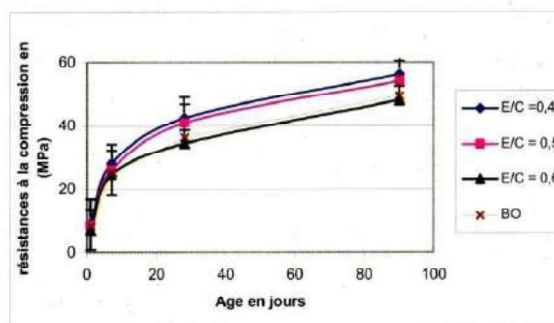


Figure.6. influence du rapport E/C sur les résistances à la compression du BAP

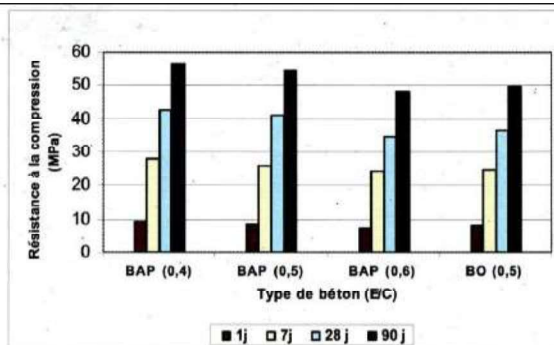


Figure.7. Histogramme des résistances à la compression en fonction du rapport E/C

Ces figures montrent que la diminution du rapport E/C influe significativement sur la résistance à la compression. On constate pour un BAP de rapport E/C = 0,4 un gain de résistance à la compression de 7,62 % et 22,65 % par rapport à celles des BAP de rapport E/C de 0,5 et 0,6 respectivement à 1 jour.

A 28 jours le BAP de rapport E/C = 0,4 présente des augmentations en résistance de 3,91 % et 18,89 % par rapport à celles des BAP aux rapports E/C de 0,5 et 0,6 respectivement.

Les mesures réalisées à l'échéance de 90 jours fournissent quant à elles une résistance supérieure pour le BAP de rapport E/C = 0,4 (56,53 MPa) par rapport à celles des BAP de rapport E/C de 0,5 (54,40 MPa) et 0,6 (48,17 MPa).

Cette amélioration de résistance est due principalement à la diminution de la quantité d'eau libre.

Pour obtenir un caractère autoplaçant, le dosage en superplastifiant dans les BAP est élevé.

Cela n'a toutefois pas entraîné de modification sensible de la cinétique de durcissement.

L'évolution des résistances du BAP ayant un E/C = 0,5 par rapport au BO avec le même E/C implique une cinétique beaucoup plus rapide dans le cas du BAP dont le volume d'hydraté obtenu est supérieur à celui développé dans le BO, donc une plus grande densification du gel. De plus la présence de fines calcaires dans le BAP permet un meilleur arrangement de la structure granulaire et donc autorise l'obtention d'une plus grande compacité par rapport au BO. Il est aisé dans ces conditions de comprendre l'écart en faveur du BAP par rapport au BO que présente la résistance à la compression à 28 jours et à 90 jours, les résistances présentent des augmentations respectives de l'ordre de 10,93 % et 8,68 % par rapport à celles du BO.

b – Influence du volume de pâte

Un BAP présentant une bonne ouvrabilité doit contenir un volume de pâte suffisant pour couvrir la surface des granulats afin de minimiser les frictions entre particules, mais aussi une quantité supplémentaire de pâte pour donner une meilleure ouvrabilité [5]. Cette pâte une fois injectée dans les interstices du granulat, prend le nom de matrice, et ses propriétés apparentes sont affectées par l'arrangement géométrique du squelette. Plus précisément, c'est la distance moyenne entre deux gros granulats adjacents, appelée épaisseur maximale de pâte [6] qui résume l'influence de la topologie du squelette ; plus cette distance est faible, et plus la résistance du béton est élevée.

Nous supposons qu'il existe un volume de pâte minimal favorisant cette condition.

Les résultats d'essais des résistances à la compression en fonction du volume de pâte sont donnés par les figures 8, 9 et 10.

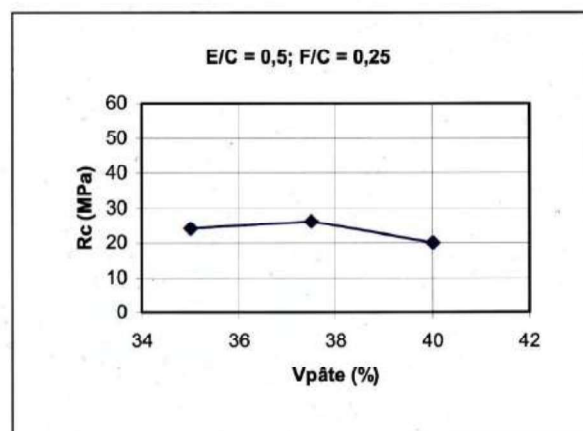


Figure.8. Effet de Vpâte sur la résistance à la compression à 7 jours.

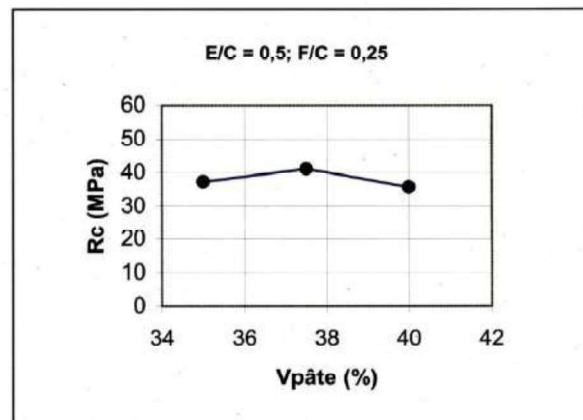


Figure.9. Effet de Vpâte sur la résistance à la compression à 28 jours

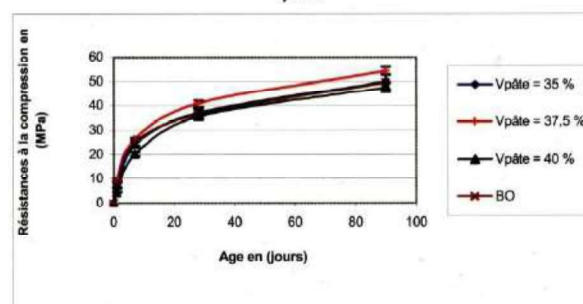


Figure.10. Influence du volume de pâte sur les résistances à la compression du BAP

Les figures 8 et 9 montrent l'effet du volume de pâte sur la résistance à la compression à 7 et 28 jours respectivement. En première approximation, il s'agit de la compacité de la pâte qui varie avec le pourcentage de son volume. On remarque en effet que le volume de pâte sur le domaine [35 % - 37,5 %] contribue à augmenter les

résistances aux deux échéances avant de provoquer leur diminution lorsque son taux dépasse une certaine valeur critique qui est de l'ordre de 37,5 %.

Il n'y a qu'une seule explication à cela : sur le domaine du volume de pâte [37,5 % - 40%] la quantité de pâte est importante. Ainsi, la distance entre granulats est plus grande ce qui provoque des frictions entre eux et par conséquent ceci peut engendrer des résistances plus faibles.

Les écarts de résistances à la compression BAP – BO constatés sur la figure 10, s'expliquent par la proportion de pâte plus importante dans les BAP (375 l/m³ contre 303 l/m³ pour le BO) et l'absence de fines calcaires dans le BO qui peut avoir une action négative sur la compacité [7].

CONCLUSION

Notre recherche est l'une des premières expériences algériennes. Au terme de celle-ci nous pouvons conclure qu'il est possible de fabriquer un BAP avec nos matériaux locaux représentant les mêmes composants de base qu'un béton ordinaire. Cependant, les exigences que doit satisfaire un béton autoplaçant par rapport à un béton vibré sont sensiblement plus élevées en ce qui concerne sa formulation et sa caractérisation à l'état frais. La formulation du BAP requiert une étude

précise notamment dans le choix des constituants, et l'optimisation des paramètres influant en particulier le rapport E/C et le volume de pâte.

- a l'état frais :

■ Les rapports E/C = 0,4 et E/C = 0,5 (F/C et Vpâte constants) ont influé positivement sur la stabilité et la résistance à la ségrégation du BAP.

■ Le BAP de rapport E/C = 0,6 (F/C et Vpâte constants) présente la particularité d'engendrer une mauvaise stabilité vis-à-vis de l'écoulement.

■ Une teneur en quantité de pâte de l'ordre de 35 % (E/C et F/C constants) ne permet pas d'obtenir un BAP répondant aux exigences de l'AFGC.

■ Le BAP au volume de pâte de 40 % (E/C et F/C constants) se trouve à la limite du domaine autoplaçant.

- à l'état durci :

■ La diminution du rapport E/C influe significativement sur la résistance à la compression.

■ A 28 jours le BAP de rapport E/C = 0,4 présente des augmentations en résistance de 3,91 % et 18,89 % par rapport à celles des BAP aux rapports E/C de 0,5 et 0,6 respectivement.

■ Avec un même rapport E/C (E/C = 0,5), l'évolution de résistance du BAP par rapport au BO implique une cinétique beaucoup plus rapide dans le cas du BAP, d'où un volume d'hydrates obtenu avec le BAP supérieur à celui développé dans le BO : à 28 jours et à 90 jours les résistances présentent des augmentations respectives de 10,93 % et 8,68 % par rapport à celles du BO.

■ Le volume de pâte sur le domaine [35 % - 37,5 %] contribue à augmenter les résistances aux différentes échéances avant de provoquer leur diminution lorsque son taux dépasse une certaine valeur critique qui est de l'ordre de 37,5 %.

■ Les écarts de résistances à la compression BAP – BO s'expliquent par la proportion de pâte plus importante dans les BAP (375 l/m³ contre 303 l/m³ pour le BO).

■ L'absence de fines calcaires dans le BO peut avoir une action négative sur la compacité et par conséquent sur la résistance [6].

5. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] S. ASSIE, «Durabilité des bétons autoplaçants», Thèse de l'INSA de Toulouse, 2004.

[2] AFGC, «Les bétons autoplaçants», Recommandations provisoires, AFGC, 2000.

[3] E. PROUST, «Retrait et fluage des bétons autoplaçants : vers une compréhension des comportements différés», thèse de doctorat de l'Institut National des Sciences Appliquées, Toulouse, 2002.

[4] A. Neville, «Propriétés des bétons», Centre de Recherche International du Béton, Editions Eyrolles, 2000.

[5] S.G. OH and al, «Toward mix design for rheologie of self-compacting concrete», In Proceedings of the First International RILEM Symposium of Self-Compacting Concrete, RILEM, 1999.

[6] T. SEDRAN, «Rhéologie et rhéométrie des bétons», Application aux bétons autonivellants, Thèse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1999.

[7] K.H. KHAYAT, «Utility of statistical models in proportioning self-consolidating concrete», In Proceedings of the First International RILEM Symposium of Self-Compacting Concrete, RILEM, 1999.