

UNIVERSITE MOHAMED KHIDER - BISKRA
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

N° d'ordre:.....

Série:

MEMOIRE DE MAGISTER
En Genie Civil
Option : Matériaux De Construction

Présenté par :

YAGOUB MOHAMED

THEME
EVALUATION DE LA QUALITE DU BETON DE FIBRES IN SITU
CAS DE BETON AUTOPLAÇANT AVEC DES FIBRES MIXTES

Soutenu le : 30/06 / 2009

Devant le jury :

Président	: MEZGHICHE Bouzidi	M.C	Université de Biskra
Rapporteur	: MELLAS Mekki	M.C	Université de Biskra
Examineur	: GUETTALA Abdelhamid	Pr.	Université de Biskra
Examineur	: ZATAR Abdellah	M.C	Université de Biskra
Examineur	: OUNIS Abdelhafid	M.C	Université de Biskra

INTRODUCTION GENERALE

Le béton est le matériau le plus utilisé dans tous les domaines de la construction et du bâtiment, malgré sa complexité. Il contient habituellement un mélange de ciment, d'eau et des granulats, mais il est considéré comme homogène. Non seulement, il peut être moulé dans les formes les plus diverses (coupole, voûte et des éléments avec des formes compliquées), mais aussi une excellente résistance à la compression et une grande rigidité.

Ces caractéristiques ont néanmoins limitées son utilisation: il est fragile (résistance au choc), il résiste mal à la traction et il est sujet à la fissuration dans le cas des éléments minces. Pour cela on ajoute des fibres (béton de fibre), qui peuvent apporter une meilleure réponse au problème de la fragilité du béton et minimiser le risque de fissuration ce qui permettait d'améliorer sa durabilité et sa résistance. Il existe actuellement une grande variété de fibres. Parmi les plus utilisées, les fibres d'acier, de verre, d'amiante et de polypropylène...etc.

Il est nécessaire, non seulement de développer un béton de qualité, mais aussi d'assurer une mise en place correcte afin de répondre aux exigences demandées pour la mise en service de la structure, donc il reste toujours le problème de remplissage dans des endroits sur ferraillés et le risque de ségrégations pour le béton de fibres.

L'ajout des éléments fins qui doivent comporter au moins une addition minérale, moins de gravillons, un dosage en adjuvant superplastifiant et assez souvent un agent colloïdal, peut produire des bétons très maniabiles qui s'étalent, sans aucune vibration, dans les coffrages et se caractérisent par une grande fluidité et une grande capacité de remplissage, tout en étant stables et garantissent aussi de bonnes performances mécaniques et de durabilité.

Dans ce mémoire, on a été utilisé un béton autoplacant in situ avec la combinaison de deux types de fibres (fibres polypropylène et fibres métalliques) avec des dosages appropriés. Pour chacune des compositions de béton, nous étudierons l'influence du pourcentage des fibres sur les propriétés mécaniques qui est contrôlée par essais destructifs (la résistance en compression) et les méthodes des essais non destructifs (l'indice sclérométrique, la vitesse du son et la méthode combinée) sur des cubes de 10x10x10 cm réalisés sur chantier.

Ce mémoire est structuré comme suite :

- ✓ Les chapitres I, II et III donne une recherche bibliographique (aperçu général) qui comporte une synthèse bibliographique sur le béton de fibres et les types des fibres tel que les fibres (métallique, polypropylène et verre ...etc), ainsi que béton autoplacant et ses principaux constituants aussi leur caractérisations à l'état frais et durci, enfin les essais non destructifs sur béton in situ comme l'indice sclérométrique, la vitesse du son et la méthode combinée suivi par les avantages et les références normatives de chaque essais.
- ✓ Le chapitre IV, consacré à l'étude expérimentale, présente les caractéristiques des matériaux utilisés (composition minéralogique, composition chimique et propriété physique) pour le ciment, sable, gravier, adjuvant, les additions minérales et les fibres (métallique et polypropylène) et les essais sur matériaux utilisés (Analyse granulométrique, Equivalent de sable et coefficient de Los Angles,...etc.)
- ✓ Le chapitre V, représente la préparation des échantillons, les procédures à suivre, la composition des mélanges (pourcentage des fibres métalliques et fibres polypropylène) et la préparation du béton in situ (condition de conservation et codification des mélanges) ainsi que les essais réalisés sur béton à l'état frais (L'essai d'étalement au cône d'Abrams, L'essai d'écoulement à la **L-box** ou boîte en **L** et L'essai de stabilité au tamis), l'état durci par les essais non destructifs (l'indice sclérométrique, la vitesse du son et la méthode combinée) et les essais destructifs (la résistance à la compression).
- ✓ Dans le chapitre VI, nous présentons les résultats obtenus pour la résistance à la compression, l'indice sclérométrique et la vitesse du son. L'analyse des ces résultats

obtenue par des cubes de côté 10 cm réalisés sur chantier au niveau de wilaya de Biskra.

Finalement, une conclusion qui propose une synthèse des résultats obtenus, et les recommandations.

CHAPITRE -1-

LE BETON DE FIBRES

1.1 Introduction

Les matériaux composites sont reconnus comme étant la combinaison de deux ou plusieurs corps de nature et de composition différentes, et qui, contrairement aux composés chimiques, possèdent des zones identifiables à chacun de ces corps. Ainsi, les matériaux constituants ne sont qu'entremêlés laissant voir une interface ou encore une zone de transition.

Par ses nombreuses qualités, le béton se prête à de multiples conceptions. Non seulement il peut être moulé dans des formes les plus diverses, mais il a une excellente résistance à la compression, une grande rigidité, une faible conductivité thermique et électrique, il est également peu combustible et peu toxique.

Deux caractéristiques ont néanmoins limité son utilisation, il est fragile et résiste mal à la traction. Cependant, la récente mise au point de produits composites, renforcés de fibres dans les secteurs de l'aérospatiale et des plastiques, a offert la possibilité de pallier à ces lacunes.

Ce digest décrit les propriétés générales et l'utilisation en construction du béton renforcé de fibres. La promesse d'éléments plus minces, plus résistants, plus légers et moins sujets à la fissuration par la simple addition d'une petite quantité de fibres rend cette innovation très intéressante.

Pour ce qui est des matériaux composites, ils sont constitués d'un dort fibreux protégé et supporté par matrice. Ils peuvent supporter de plus grandes contraintes que leurs matériaux constitutifs. puisque la matrice et les fibres interagissent, redistribuant ainsi les contraintes de la charge externe; on parle alors de synergie. La performance des bétons renforce dépend des matériaux constituants, de l'orientation, de la longueur, de la forme, du pourcentage et de la composition des fibres, des propriété mécanique de la matrice, de l'interaction fibre-matrice et de l'utilisation prévue

1.2 Le béton de fibres

Le béton avec fibre est un béton conventionnel auquel on a ajouté des fibres durant le malaxage. Son nom: la micro-fibre.

Les microfibrilles peuvent être utilisées quand on souhaite réduire la fissuration et améliorer la durabilité. Et elles conviennent particulièrement bien aux dalles sur le sol, dalles surélevées, pavages, piscines, trottoirs, béton projet etc...

Comme armature secondaire utilisée pour assurer le contrôle de la fissuration, elle constitue une solution idéale lorsqu'elle est combinée au treillis métallique soudé ou ferraillement en acier. Cette fibre n'est pas recommandée pour remplacer l'armature exigée par les codes et les normes du bâtiment.

Les propriétés de cette fibre sont étonnantes. En effet, sa force majeure est sa capacité à diminuer le retrait plastique et les fissures d'environ 40% et plus.

Les propriétés du béton de fibres dépendent de la qualité de la matrice et des caractéristiques de fibres. La matrice considérée est identique à la matrice d'un béton courant, les fibres sont de formes et de dimensions différentes liées aux technologies d'élaboration. Chacune de ces catégories de fibres donne au béton des propriétés spécifiques lesquelles dépendent de la nature, la forme géométrique, l'élancement, et la teneur en volume de fibre.

1.3 Historique du béton de fibres

Une analyse profonde de ce concept nous indique que cette idée est très ancienne et date depuis l'antiquité. En effet les pharaons ont pensé à l'idée des pailles pour renforcer la brique de boue d'après Exode 5:6 comme il est le cas Finlandais utilisant pour la 1^{ère} fois, les fibres d'amiante dans le renforcement des poteries en argile, il y'a de cela 5000 années. D'autres sources ANTOINE, E.N - Mars 1985 et ACI COMMITTEE 554 Mars-Avril 1984 ont indiqué que l'usage de cette technique par le biais de pailles afin de renforcer les briques, tandis que les poils des animaux et les fibres pour renforcer le plâtre et la pâte de ciment. On peut noter aussi la réalisation, au milieu du XX^e siècle, d'alliages métalliques avec fibre de carbone.

En 1910, une série d'essais pour améliorer la résistance du béton a été faite par J.PORTER qui a conclu que la présence des fibres courtes dans le béton augmente sa résistance à l'écrasement et à la traction.

Par la suite 1911, GRAHAM a établi un brevet sur les bétons de fibres. C'était le premier brevet Américain où il a décrit l'emploi des tranches d'acier comme des renforts fibreux dans les matériaux de construction. Un deuxième brevet Américain sur ce sujet a été pris par WEAKLY.

En 1912, qui consiste à l'utilisation des bandes en fils d'acier fabriquées avec deux fils, avec l'intermédiaire d'un anneau, afin d'assurer une adhérence durable avec le béton.

En 1920, A. KLEINLOGEL a déposé le premier brevet Allemand qui a décrit la synthèse d'ajouter un volume relativement important, de particules de fer au béton pour produire une masse capable d'être usinée (par tournage) comme une masse d'acier.

Quelques années après, en 1938, un autre brevet a été établi par N. ZITEVIC en Grande Bretagne. Son procédé consiste à mélanger avec le béton des petits éléments en fer approximativement avec 100 mm de long et 1.00 mm de diamètre. Ces éléments métalliques sont très semblables aux fibres utilisées aujourd'hui pour armer le béton. Il a conclu qu'il y a une amélioration de la résistance du béton à la compression, à la traction et au cisaillement.

A partir de 1940, plusieurs procédés sont apparus dans de différents pays. Ces procédés recommandent en général l'inclusion des fibres d'acier dans le béton pour améliorer sa performance. Mais on note ici que celui de G.CONSTANTINESCO, en 1943 en Angleterre et en 1954 en U.S.A, mérite une attention particulière.

A partir des années 1970, il s'est produit une sorte de réveil dans le domaine de la technologie des bétons renforcés de fibres d'acier. La confiance acquise dans certaines propriétés spécifiques des bétons renforcés de fibres d'acier augmente de façon permanente par l'utilisation de ces bétons dans des applications industrielles. Le premier article dans ce concept peut-être attribué à LANKARD et SHEETS. Dans cet article, ils ont

confirmé que l'ajout de 1% à 2% de fibres au béton réfractaire donne une amélioration significative à sa résistance.

1.4. Les fibres

Les fibres sont définies comme des éléments discontinus, de nature variable, des formes sensiblement cylindriques, d'un diamètre et longueur variable. Elles sont réparties dans la matrice soit d'une façon aléatoire ou orientation préférentielle.

Généralement les fibres sont aussi utilisées pour définir le constituant élémentaire des structures textiles. Par ailleurs, on distingue la fibre de longueur réduite ou fibre courte, de 20 à 150 mm, et la fibre de grande longueur ou filament continu.

Il existe un grand nombre de fibres qui se différencient par leur origine (naturelles, artificielles et synthétiques), leur forme (droite, ondulée, aiguille, ...etc.), leur dimension (macro ou micro - fibre) et aussi par leurs propriétés mécaniques. Cependant, pour faire un choix de fibres à utiliser pour des applications, il est nécessaire de tenir compte de la compatibilité de la fibre avec la matrice, et la mode de performance du composite.

1.5. Les types des fibres

On retrouve sur le marché plusieurs types de fibres, elles peuvent être classées par familles, un choix approprié du type de fibre à utiliser est essentiel. Chaque type de fibre possède des caractéristiques particulières qui les rendent apte à servir à une utilisation plutôt qu'à une autre.

Ainsi l'adoption d'une fibre influencera les facteurs suivants:

- Densité,
- Résistance tension et en compression,
- Résistance aux impacts et à la fatigue,
- Module d'élasticité,
- Conductivités thermique et électrique,
- Stabilité dimensionnelle,
- Résistance aux conditions environnementales,
- Coût,

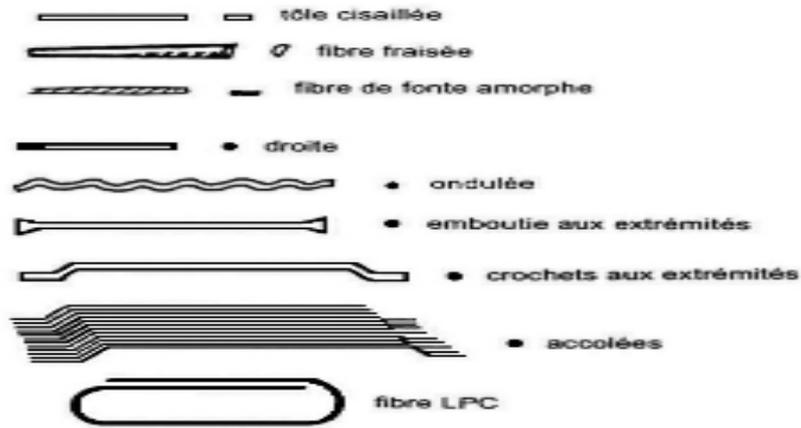


Figure 1.1 : Différentes formes de fibres

Les différentes fibres actuellement disponibles peuvent être classées selon leur origine en :

- ✓ Fibres naturelles minérales et végétales : amiante, cellulose ;
- ✓ Fibres synthétiques d'origine minérale : verre, carbone, fibres métalliques
- ✓ Fibres synthétiques organique : polyamides, polypropylène, acrylique, kevlar, aramide

Tableau (1.1) Les propriétés géométriques et mécaniques des différentes fibres

NATURE DE LA FIBRE	FORME DE LA FIBRE	COUPE DE LA FIBRE	LONGUEUR DES FIBRES (mm)	ÉLANCEMENT L_e/D	MASSE VOLUMIQUE (g/cm^3)	RÉSISTANCE EN TRACTION (MPa)	MODULE D'ÉLASTICITÉ (MPa)	COEFF. DE DILATATION $\mu m/m^{\circ}C$
FIBRES COURTES DISPERSÉES								
Acier	Formes irrégulières		25-35	25-55	7,8	2500	200 000	11
			10-30	-				
	Formes particulières		6-30	-				
			30-60	-				
Fonte amorphe			30-60	1200-1400	7,2	2 000	140 000	10
Amitié		\emptyset	5	250-350	2,6	600	100 000	10
Cellulose	Variable				0,6 à 0,8			
Polypropylène		\emptyset	10-30	140-1700	0,9	500	3000	80
Verre		\emptyset	10-20		2,6	2 000	80 000	9
Carbone		\emptyset	2-15	150-400	2,0	2 000	400 000	1
Aramide		\emptyset	1-10	100-600	1,2	1 800	15 000	60

1.5. 1. Les fibres de verre « E » et « AR »

Les fibres « E » sont les fibres de verre classique à forte teneur en bore elles présentent de bonnes caractéristiques mécaniques, mais sont sensibles aux alcalis libérés par l'hydratation du ciment.

Leur emploi dans le béton nécessite donc l'incorporation de polymères ou autres ajouts au mélange, au moment du gâchage qui ont pour fonction d'enrober la fibre et de la protéger de l'attaque alcaline.

Les fibres **AR** (alcali-résistantes) sont obtenues avec un verre riche en zirconium moins sensible aux alcalis.

Un traitement d'ensimage (dépôt d'un produit de protection) améliore encore leur tenue.

1.5. 1.1. Propriétés des fibres de verre

- ✓ Les caractéristiques mécaniques élevées de ces fibres ont déjà été mentionnées 3000 MPa pour la résistance à la traction.
- ✓ Il faut également souligner leur excellente résistance au feu (jusqu'à 800 C) ce critère ajouté a un coefficient de dilatation du même ordre que celui de la pâte de ciment confère aux bétons de fibres de verre une bonne résistance au feu.
- ✓ Les essais en cours doivent permettre d'améliorer l'évolution des caractéristiques du béton de fibres de verre lors de son vieillissement.

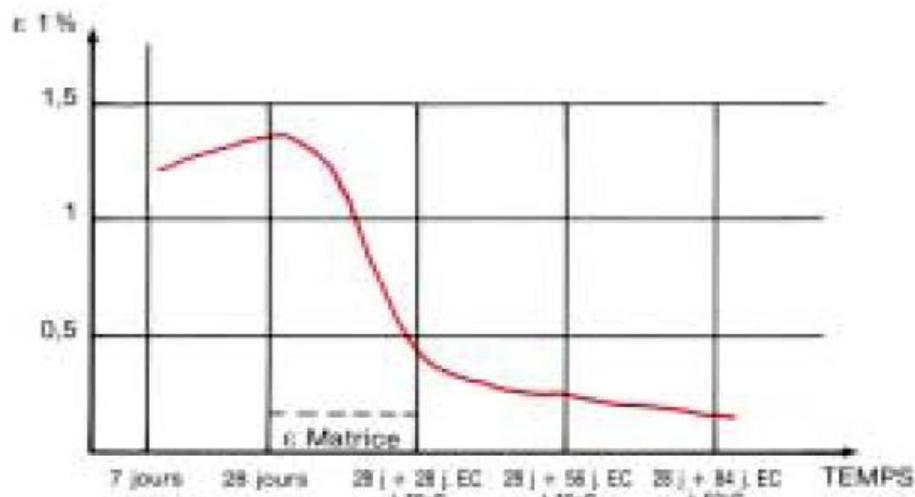


Figure 1.2. Evolution de la déformabilité d'un béton de fibres de verre au cours de son vieillissement (GRC classique)

1.5. 1.2Elaboration des bétons de fibres de verre

Ce procédé consiste à fabriquer un mortier dans un malaxeur et à y ajouter 4 à 5 % en poids de fibres de verre coupées (entre 15 à 60 mm de longueur), ce mélange peut être moulé ou pressé, mais dans tous les cas la vibration doit être de faible amplitude pour maintenir une répartition homogène des matériaux

1.5. 1.3 Projection

On utilise un pistolet pneumatique permettant de projeter simultanément le mortier déjà prémélangé et la fibre approvisionnée en bobines tresses (stratifils qui est automatiquement coupée et dispersée dans le flux de mortier.

Le débit et l'orientation du pistolet permettent à l'opérateur expérimenté de contrôler l'épaisseur et l'homogénéité de la couche de béton projeté

1.5. 1.4 Applications

Sur chantier les mortiers de fibres de verre s'utilisent pour les enduits extérieurs monocouches ainsi que pour certains procédés d'isolation thermique.

En préfabrication les domaines d'application sont très vastes :

- ✓ panneaux de façade minces de 10 à 15 mm d'épaisseur ou panneaux sandwich à isolant incorporé
- ✓ éléments de bardage et éléments décoratifs
- ✓ mobilier urbain
- ✓ éléments divers : coffrets, coffrages, habillages,
- ✓ produit d'assainissements : tuyaux, caniveaux

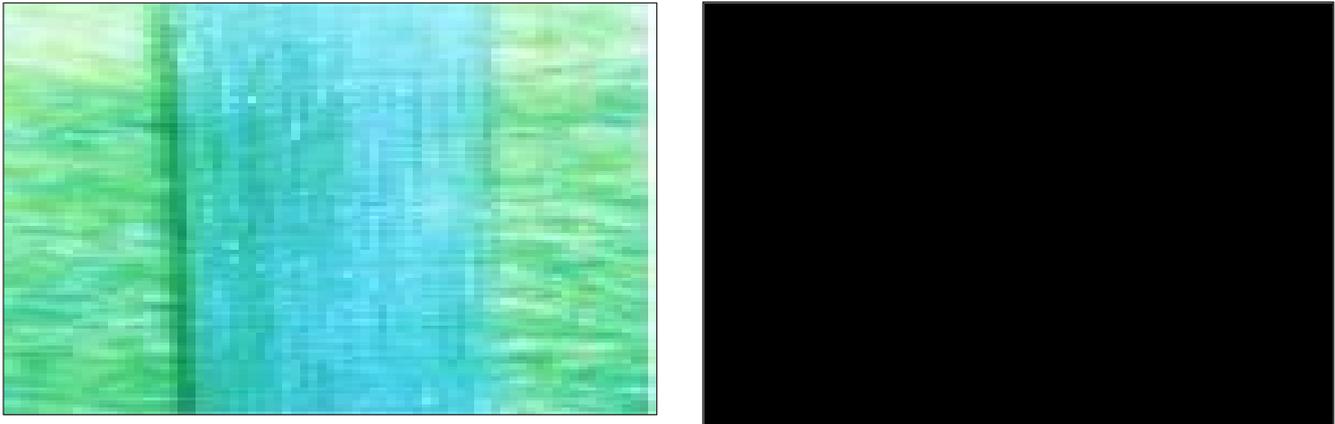


Photo.1.1 : Fibres de verre.

Les avantages et désavantages des fibres de verre peuvent être résumés comme suit (MALLICK, 1988; LABONTE, 1993; BAKIS, 1993; SCHWARTZ, 1984):

1.5. 1.5. Avantages

- ✓ Coût faible,
- ✓ Grande résistance en tension,
- ✓ Grande résistance aux produits chimiques,
- ✓ Excellent isolant,
- ✓ Grande ténacité,
- ✓ Excellente résistance aux impacts,
- ✓ Module d'élasticité faible (réduit perte de précontrainte),
- ✓ Bonne fiabilité.

1.5. 1.6. Désavantages

- ✓ Densité élevée (par rapport aux autres fibres),
- ✓ Sensibilité à l'abrasion,
- ✓ Faible module d'élasticité (grande déformation),
- ✓ Faible résistance à la fatigue,
- ✓ Grande dureté (usure des instruments de fabrication),
- ✓ Faible résistance aux charges cycliques ;
- ✓ Corrosion possible aux alcalis et aux acides hydrofluoriques,
- ✓ Vieillessement à l'humidité.

1.5. 2. Fibres d'acier

Les fibres d'acier, qui sont sans doute les plus utilisées dans le domaine du génie civil, ont fait l'objet de plusieurs recherches. En effet, les propriétés mécaniques du béton renforcé par ces fibres sont influencées par la résistance d'adhésion interfaciale entre fibre et matrice.

Les fabricants des fibres d'acier ont essayé par tous les moyens d'améliorer l'adhérence en jouant sur l'irrégularité de la surface de la fibre. Il existe de nombreuses variétés de fibres qui se différencient les unes des autres par leur section (ronde, carrée, rectangulaire), leur diamètre, leur longueur et leurs modes d'élaboration. Elles peuvent être rectilignes, ondulées, ou présenter des élargissements aux extrémités, soit en crochets pour améliorer l'accrochage dans le même but, elles peuvent présenter des aspérités, des crans surfaces.

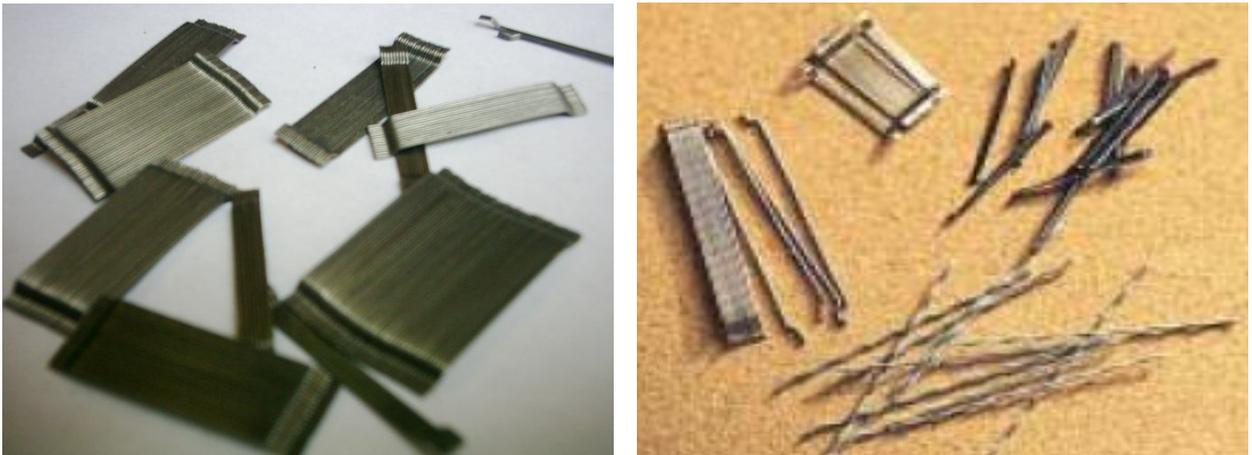


Photo.1.2 : Fibres métalliques

Les fibres métalliques notamment d'acier ont donné lieu à de nombreuses recherches pour développer leur emploi dans le béton.

A recherche de l'adhérence au béton a donné naissance à une grande variété de fibres susceptibles, par leur forme ou leur état de surface, de mieux s'ancrer dans le béton :

- ✓ fils étirés et coupés, ondulés crantés, torsadés, avec crochets
- ✓ fibres usinées à surface rugueuse

- ✓ fibre de fonderie la fibres de fonte se présente sous forme d'un mince ruban de 30 μm d'épaisseur.

Les fibres métalliques sont de types et de formes variées et présentent une très bonne compatibilité avec le béton. Les fibres sont composées d'acier au carbone, d'acier inoxydable ou d'acier galvanisé contre la corrosion. En général, la longueur des fibres varie de 25 à 60 mm et le diamètre varie de 0,5 à 1,3 mm. La fabrication des fibres métalliques s'effectue selon plusieurs méthodes en relation avec leurs formes géométriques multiples (ASTM A 820)

La résistance en traction de ces fibres varie généralement entre 1000 et 3000MPa, mais cette résistance est rarement utilisée dans le composite dû au phénomène de pull - out des fibres.

1.5. 2.1. Propriétés des fibres métalliques

Elles présentent une très bonne compatibilité avec le béton, certaines fibres sont inoxydables ou traitées contre la corrosion, en vue de certains usages particuliers

1.5. 2.2. Applications

Du fait de leurs propriétés, les fibres trouvent un vaste domaine d'applications la où on veut réduire les risques de fissuration, espacer les joints de retrait, augmenter la résistance aux chocs et tirer parti de l'amélioration de la résistance en traction pour diminuer le dimensionnement des pièces :

- ✓ dallages, parkings, pistes
- ✓ bétons projetés en galeries, tunnels, talus
- ✓ éléments préfabriqués divers : tuyaux, caniveaux, garages
- ✓ pieux de fondation

1.5. 2.3. Les bétons de fibres métalliques

Le mélange des fibres métalliques au béton doit être particulièrement soigné, certaines fibres ayant tendance à s'agglomérer, l'incorporation des fibres peut être faite soit au malaxage, soit au moment du coulage soit à la projection.

La composition du béton doit être mise au point en fonction des caractéristiques de la fibre et des emplois.

L'emploi de superplastifiant est en particulier recommandé pour compenser la diminution d'ouvrabilité provoquée par l'incorporation de fibres.

La mise en œuvre et le compactage doivent être étudiés pour le béton considéré et en fonction de sa maniabilité qui diffère généralement de celle des bétons classiques sans fibres.

Les dosages en fibres sont de l'ordre de 0.3 à 2% en volume, soit 25 à 160 Kg/m³

1.5. 3. Fibres de carbone

Le carbone est très dispendieux ce qui le rend beaucoup moins populaire que le verre moins disponible sur le marché, les fibres de carbone sont cependant reconnues comme étant les fibres les plus performantes.

1.5. 3.1. Elaboration

Les fibres de carbone sont produites par la pyrolyse de deux types de précurseur : le textile et le "pitch" (brai ou poix). Les précurseurs textiles se divisent en plusieurs branches telles que la rayonne et la polyacrylonitrile (PAN), cependant la PAN est de loin la plus commune le mode d'élaboration des fibres de carbone est relié au type de précurseur.

Les filaments passent premièrement à une cyclisation mouillée pour ensuite être étirés à température élevée permettant aux chaînes polymères d'être alignées dans la direction des filaments. Ces filaments sont ensuite chauffés à l'air (220°C) pendant environ deux heures, provoquant une oxydation, La prochaine étape consiste à carboniser les filaments en les chauffant graduellement à environ 1500°C en atmosphère inerte. Bien que les filaments contiennent à cette étape surtout du carbone augmentant considérablement leur résistance en tension, une distribution encore imparfaite de ces atomes entraîne un bas module d'élasticité des filaments (HR).

Alors que les filaments carbonisés sont subséquentiellement traités à la chaleur à environ 3000°C, leur structure devient plus ordonnée ; on assiste à une graphitisation. Les filaments ainsi transformés ont atteint un haut module d'élasticité (HM/UHM) au détriment de leur résistance en tension.

1.5. 3.2.Types de fibres

Les types de fibres de carbone sont classés selon leurs propriétés mécaniques. Ces propriétés dépendent des cycles de pyrolyse ainsi que de la nature du précurseur.

On distingue deux types de fibres divisés en quatre grandes classes de fibres.

1..5. 3.2.1.Les types I :

Sont les types hauts modules soient les classes UHM (ultra haut module) et HM (haut module),

1.5. 3.2.2.Les types II :

Sont les types hautes résistances soient les classes I THR ou VHS (Très haute résistance ou very high strength) et HR ou HS (haute résistance ou high strength).

En général, Les fibres de faible module ont une densité et un coût plus faible ainsi qu'une résistance en tension et une déformation aux ruptures plus grandes que les fibres de hauts modules.



Photo1.3 : Fibres de carbone.

Les avantages et désavantages des fibres & carbone peuvent être résumés comme suit (MALLICK, 1988; LABONTE, 1993; SCHWARTZ, 1984):

1.5. 3.3. Avantages

- ✓ Grande résistance en tension et en compression,
- ✓ Excellente tenue à haute température,
- ✓ Grande résistance à la fatigue,
- ✓ Excellente rigidité,
- ✓ Bonne conductivité électrique et thermique,
- ✓ Inertie complète à la corrosion et aux produits chimiques (sauf O₂ et acides oxydants a chaud),
- ✓ Insensibilité à l'humidité et aux rayures,
- ✓ Faible coefficient de dilatation,
- ✓ Usinage facile.

1.5. 3.3. Désavantages

- ✓ Coût élevé,
- ✓ Corrosion de contact par pile galvanique avec les métaux,
- ✓ Sensibilité aux impacts et à l'abrasion,
- ✓ Faible ténacité,
- ✓ Mauvais isolant,
- ✓ Faible allongement et rayon de courbure ;
- ✓ Raideur à l'enroulement (bobinage difficile).

1.5. 4. Fibres de polypropylène

Les fibres de polypropylène sont fabriquées depuis 1954 par l'industrie textile. Le polypropylène est un polymère cristallisable de la famille des polyoléfinés des produits chimiques. Il a connu une extension croissante dans ce domaine où il apporte les avantages suivants : déformabilité élevée, imputrescibilité et bonne résistance en traction qui peut atteindre 800 MPa.

Ces fibres sont utilisées dans les bâtiments pour l'élaboration de revêtement de façades dans plusieurs constructions (Londonderry House Hôtel), ainsi que l'élaboration de panneaux décoratifs de 33cm d'épaisseur et aussi dans la réalisation des canalisations et des pieux

Les fibres de polypropylène sont en général assez longues (30 à 60 mm), légères et ne sont pas attaquées par le ciment. Leur module d'élasticité plus faible que la pâte durcie Il convient de les utiliser de préférence pour les pièces minces devant résister, soit à l'action corrosive de certaines ambiances dans lesquelles l'acier pourrait se corroder rapidement, soit aux chocs mécaniques.



Photos 1.4 : fibres polypropylène.

1.5. 4. 1. Propriétés des fibres de polypropylène

Si leurs caractéristiques mécaniques ont des valeurs plus faibles que celles des fibres métalliques, il faut cependant mentionner leur insensibilité chimique, leur souplesse, qui rend aisée leur incorporation au béton et leur allongement à la rupture (15 à 20 %), qui favorise la « ductilité » du béton.

Comme la plupart des matières plastiques, les fibres de polypropylène sont peu résistantes au feu : leur température de fusion est d'environ 160 C mais leur fusion n'affecte pas la résistance du béton

1.5. 4. 2. Les bétons de fibres de polypropylène

La fabrication du béton avec fibres de polypropylène ne soulève aucune difficulté, la repartition des fibres se faisant facilement et ne nécessitent pas de précaution particulière lors de malaxage.

Les fibres de polypropylène améliorent la maniabilité du béton et sa cohésion. Ces propriétés sont intéressantes pour les pièces à démoulage immédiat (bordures, tuyaux) en même temps qu'elles améliorent l'aspect et la précision des angles, des tranches ou arêtes des pièces moulées ou des dallages.

Le grand avantage des bétons de fibres de polypropylène est leur bonne résistance à la fissuration due au « premier retrait » ainsi que leur résistance aux chocs. Les dosages couramment pratiques sont de l'ordre de 0.05 à 0.2 en volume (0.5 à 2 Kg de fibres par m³ de béton)

1.5. 4. 3. Application

Des propriétés précédentes découlent les applications des bétons de fibres de polypropylène :

- ✓ Dallages industriels et chaussées
- ✓ Pièces préfabriquées (panneaux décoratifs)
- ✓ Sculptures
- ✓ Eléments réalisées avec coffrages glissants
- ✓ Mortiers projetés
- ✓ enduits

1. 6. Hybrides :

Les hybrides sont la combinaison de deux ou plusieurs fibres sous une même matrice, Cette procédure permet d'accroître étendue des propriétés pouvant être réalisées par les composites. Des spécifications de design peuvent ainsi être rencontrés à un coût plus économique que les composites à hautes performances ou encore les composites conventionnels.

Des associations de fibres de différentes caractéristiques commencent à être utilisées.

BANTHIA ET AL. [2004] montrent que l'association des fibres synthétiques et des fibres métalliques peut donner aux BAP des comportements plus ductiles, que dans le cas des bétons fibrés seulement avec les fibres métalliques.

KAWAMATA ET AL. [2003] ont essayé d'utiliser dans le cas des bétons autoplaçants des fibres longues en association avec les fibres courtes. Selon ces auteurs, les fibres courtes empêchent la formation des petites fissures, retardant ainsi la formation des macro fissures, qui seront à leur tour reprises par les fibres les plus longues et demandent une plus grande dissipation d'énergie pour rompre. Par là la ductilité du matériau serait augmentée.

Le carbone possède une haute résistance en tension et un haut module d'élasticité mais sa résistance à l'impact est faible .Par contre, l'aramide possède une bonne résistance à l'impact mais un faible module d'élasticité comparée au carbone. Une combinaison de ces matériaux sous une même matrice permet de mettre à profit les meilleures qualités de chacune de ces fibres. Ainsi un hybride contenant 50% de carbone et 50% d'aramide démontre une résistance à la flexion trois fois supérieure à l'aramide seul (SCHMARTZ, 1984).

L'hybride le plus rencontré dans les barres d'armature est le verre-carbone. Si des propriétés mécaniques un peu plus faibles que le carbone peuvent être utilisées, un utilisateur peut grandement tirer profit du coût de celui-ci en y ajoutant du verre. Si par contre pour une utilisation donnée le verre démontre une trop grande flèche, des fibres de carbone à haut module d'élasticité peuvent être combinées au verre. Les fibres de carbone augmenteront aussi la résistance à la fatigue, la rigidité en torsion sans oublier d'ajouter son effet conducteur.

Puisque les hybrides sont renforcés par plus d'un type de fibre, une ductilité artificielle est obtenue. En tension, la rupture débute à partir des fibres possédant la plus faible capacité d'élongation et se poursuit jusqu'aux fibres les plus élastiques. En résumé, la rupture finale du matériau se produit lorsque les fibres possédant la plus grande capacité d'étirement (module d'élasticité le plus faible) se ruptures donnant ainsi une relation contrainte-déformation non- linéaire (SUGITA, 1993).

1.7. Rôles des fibres dans le béton

Lorsque les charges appliquées au béton s'approchent de la charge de rupture, les fissures se propagent, parfois rapidement. Les fibres noyées dans le béton permettent d'arrêter le développement de la fissuration comme il est indiqué dans la (figure.I.1.3). Les barres d'armature en acier jouent un rôle analogue, car elles agissent comme des fibres de grande longueur. Les fibres courtes et discontinues ont cependant l'avantage de se mélanger et de se disperser dans le béton de façon uniforme. Les fibres sont ajoutées à la gâchée de béton, qui contient habituellement du ciment, de l'eau et des granulats fins et grossiers.

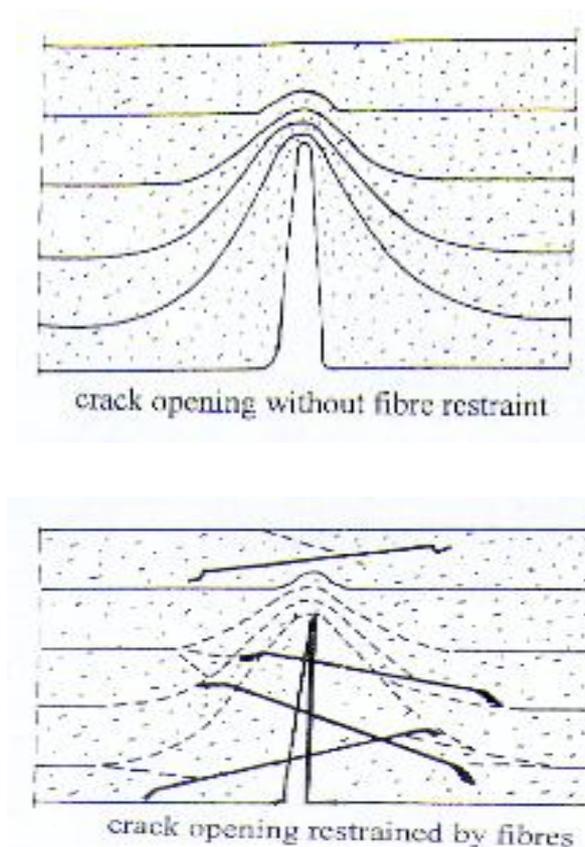


Figure.1.3. Effet de retardement de la fissuration avec fibres et béton

1.8. Propriétés physiques et mécaniques de certaines fibres :

Tableau (1.2) Propriétés physiques et mécaniques de certaines fibres

Fibre	Diamètre en μm	Densité	Allongement de rupture en %	Module d'élasticité, en GPa	Résistance en traction, en GPa
Acier	5-500	7,8	3-4	200	1-3
Verre	9-15	2,6	2-3,5	80	2-3
Polypropylène	7,5	0,9	20,0	5	0,5
Particules de mica	0,01-200	2,9	-	170	0,25
Amiante	0,02-20	2,5-3,4	2,3	200	3
Carbone	7,5	1,7-2,0	0,5-1,0	300-400	2-3

Si le module d'élasticité de la fibre est élevé par rapport au module d'élasticité du béton, les fibres reprennent une part des charges, augmentant ainsi la résistance à la traction du matériau. L'augmentation du rapport longueur/diamètre des fibres accroît habituellement la résistance à la flexion et la ténacité du béton. Les valeurs de ce rapport sont généralement comprises entre 100 et 200, car des fibres de trop grande longueur ont tendance à former des boules dans le mélange, créant ainsi des problèmes d'ouvrabilité.

En général, les fibres réduisent le fluage, c'est-à-dire la déformation du béton avec le temps sous une contrainte constante. Par exemple, le fluage en traction d'un béton renforcé de fibres d'acier peut représenter seulement 50 à 60 % de celui d'un béton ordinaire et le fluage en compression, 10 à 20%.

Le retrait du béton, qui est provoqué par la perte de l'eau pendant le séchage, est en partie empêché par les fibres. Le retrait du béton peut être diminué de 35 % ou moins si l'on ajoute 1,5 % de fibres par volume.

D'autres propriétés du béton comme la résistance en compression et le module d'élasticité ne figurent pas dans les tableaux car elles sont nettement moins touchées par la présence des fibres.

1.9. Fabrication de béton de fibres

Avant de mélanger le béton, la longueur des fibres, leur quantité et la composition du mélange sont choisies pour éviter la formation de boules de fibres. Dans les mélanges renforcés, le mortier occupe d'habitude environ 70 % du volume, contre 50 % pour les mélanges de béton courants, non renforcés de fibres.

Les panneaux en ciment renforcé de fibres ne contiennent pas de granulats grossiers. Ces produits sont généralement réalisés en projetant simultanément le mortier et les fibres hachées. Un mortier ayant un rapport eau/ciment élevé facilite la projection. Il existe d'autres méthodes de fabrication, dont le coulage, moins universel que la projection, et le moulage sous pression, où le rapport eau/ciment moins élevé permet d'obtenir un produit plus résistant.

Des adjuvants chimiques sont ajoutés au mélange de béton renforcé de fibres, notamment pour augmenter son ouvrabilité. En Amérique du Nord, les entraîneurs d'air et les réducteurs d'eau sont ordinairement additionnés aux mélanges qui contiennent une proportion de 50 % ou plus de granulats très fins.

Les superplastifiants incorporés à des bétons renforcés de fibres peuvent abaisser le rapport eau/ciment et améliorer la résistance, la stabilité volumétrique et l'ouvrabilité des mélanges frais.

1.10. Diverses applications de béton de fibre :

Les nombreuses innovations de la technologie des bétons renforcés de fibres ont permis d'étendre considérablement la gamme des applications (**Tableau 1.3**).

Tableau 1.3. Application de divers renforcements de fibres dans les produits à base de ciment*

Type de fibre	Application
Verre	Panneaux préfabriqués, murs, rideaux, tuyaux d'égout, toiture en voile mince de béton, enduit pour blocs de béton.
Acier	Éléments de toiture en béton cellulaire, revêtements de chaussée, tabliers de pont, produits réfractaires, tuyaux en béton, pistes d'atterrissage, réservoirs sous pression, structures résistantes aux explosions, revêtements de tunnel, coques de bateaux.
Polypropylène, nylon	Pieux de fondation, pieux précontraints, panneaux de revêtement, éléments flottants de débarcadères et amarres pour les marinas, matériaux de réparation des routes, couches de lest pour les tuyaux sous-marins.
Amiante	Voiles, tuyaux, panneaux, matériaux d'isolation thermique et de protection contre le feu, tuyaux d'égout, plaques de toiture plates et ondulées, revêtements de mur.
Carbone	Éléments ondulés pour la construction des planchers, structures de membrane simple ou double courbure, coques de bateaux, planches d'échafaudage.
Particules de mica	Remplacent partiellement l'amiante dans les panneaux à base de ciment, les tuyaux en béton ; matériaux de réparation.
*La combinaison de plusieurs types de fibres peut être utilisée pour des besoins particuliers.	

1.11. Propriétés du matériau composite (béton de fibre) :

Les fibres peuvent améliorer la ténacité, la résistance en flexion ou les deux, et sont choisies en fonction de leur disponibilité, de leur coût et de leurs propriétés. Par exemple, les fibres de polypropylène augmentent nettement la ténacité du béton mais ont peu d'effet sur sa résistance en traction. Par contre, les mélanges de fibres de polypropylène et de verre donnent un béton de grande résistance en flexion et très tenace (voir les tableaux 3 et 4).

Tableau 1.4. Ténacité des matériaux à base de ciment renforcés de fibres par rapport à des matériaux non renforcés

Matériau composite	Volume de fibres en pourcentage (%)	Ténacité p/r aux produits non renforcés*
BÉTON		
acier	0,5	2,5-4,0
acier	1,0	4,0-5,5
acier	1,5	10-25
verre	1,0	1,7-2,0
polypropylène	0,5	1,5-2,0
polypropylène	1,0	2,0-3,5
polypropylène	1,5	3,5-15,0
nylon	1,0	1,5-1,7
MORTIER		
acier	1,3	15,0
amiante	3-10	1,0-1,5
PÂTE DE CIMENT		
verre	4,5	2,0-3,0
particules de mica	2,0-3,0	3,0-3,5
* Ces valeurs sont des valeurs types seulement et peuvent varier selon la méthode d'essai, le procédé ou le mélange.		

Tableau 1.5. Résistance en flexion de matériaux à base de ciment renforcés de fibres par rapport à des matériaux non renforcés

Matériau composite	Volume de fibres (en %)	Résistance en flexion p/r aux produits non renforcés*
BÉTON		
acier	1-2	2,0
verre	1-2	2,5-3,5
MORTIER		
acier	1,3	1,5-1,7
verre	2	1,4-2,3
amiante	3-10	2,0-4,0
PÂTE DE CIMENT		
verre	4,5	1,7-2,0
particules de mica	2-4	2-2,5
polypropylène	1-2	1,0
*Ces valeurs sont des valeurs types seulement et peuvent varier selon la méthode d'essai, le procédé et le mélange.		

1.12. Effet des fibres sur la maniabilité et la résistance du BAP

1.12.1. Effet sur la maniabilité

Dès son apparition, c'est peut être la maniabilité des BAP qui attire l'attention. Cette propriété qui assure la fabrication et la mise en œuvre des ouvrages peut aboutir toujours à une finition de qualité acceptable.

L'incorporation des fibres que ce soit de polypropylènes ou métalliques, peut apporter quelques modifications sur les comportements rhéologiques ou mécaniques des BAP.

[Y .ROUSSEL] a montré que l'apport en fibres diminue la précision de l'indice d'ouvrabilité qu'apporte l'essai d'étalement, et la maniabilité semble devenir moins bonne lorsque le volume de fibres dépasse le 1% du volume de mélange [CANADA 2000].

D'autres chercheurs ont montré que l'association des fibres synthétiques et des fibres métalliques peut donner aux BAP des comportements plus ductiles que dans le cas des bétons fibrés seulement avec des fibres métalliques [2006].

[HOCINE OUCEIF ET COLL.] ont montré aussi, que pour une même composition de béton, une teneur de 0.5% de fibres courtes (métalliques) a la même efficacité que l'utilisation de plus de 1% de fibres plus longues (synthétiques). Ils ajoutent également, que pour un BAP bi fibré de différentes dimensions et propriétés (fibres métalliques de fonte amorphe adhérente de 20mm et 30mm, et fibres synthétiques glissantes de 40mm et 50mm), ils ont pu formuler des BAP répondants aux critères rhéologique fixés [2006].

1.12.2. Effet sur la résistance

Les fibres ont habituellement un faible effet sur la résistance à la compression. Leur effet le plus significatif a trait au comportement en flexion (traction), ainsi dans plusieurs applications, les bétons renforcés de fibres sont utilisés dans des endroits où ils sont soumis à de tels efforts [Y.ROUSSEL .2000].

Les fibres métalliques utilisées essentiellement en dallages industriels, dallages de parking, les pistes, les pieux, les déversoirs de barrage, les silos [G.DREUX ET J.FESTA en 1996] , présentent une bonne résistance à la traction et à la flexion, une augmentation de la ductilité et une réduction du nombre de joints de retrait [BETONS VICAT].

Egalement, les fibres polypropylènes n'assurent pas un renforcement structural du béton, elles s'opposent aux effets du retrait plastique et peuvent se substituer pour cette fonction au treillis antifissuration [SIKAFIBRES ANTIFISSURES].

1. 13 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons résumé, l'état de connaissance sur le historique et le comportement mécanique des bétons de fibres, les types, les avantages et désavantages de chaque type de fibres aussi que l'influence de la présence des fibres dans les béton renforcés par des fibres.

Quelques recherches sur le béton auto plaçant avec fibres et leurs effets sur la maniabilité et la résistance.

CHAPITRE -2-

BETON AUTOPLAÇANT:

2.1. Introduction

Cette partie présente un aperçu détaillé sur le béton autoplaçant en tant que nouveau matériau. Il expose d'abord l'historique de leur développement ainsi que leur définition, ce chapitre fait une synthèse sur la description des constituants entrant dans la fabrication des BAP et les caractéristiques à l'état frais et durci, finalement, il met en relief les innovations et les avantages apportés par les BAP.

2.2. Historique de béton Autoplaçant

Les chercheurs K. OZAWA ET K. MAEKAWA de Université de Kochi (Tokyo) ont développé le premier prototype de BAP pendant l'été de 1988. Ces résultats ont été présentés par K. OZAWA pour la première fois au 2^{ème} Congrès de l'Asie de l'Est et Pacifique sur le Génie Civil et la Construction, tenu en Janvier 1989 à Chiangmai (Thaïlande) . Trois années plus tard, en Mai 1992, au 4^{ème} Congrès International CANMET & ACI à Istanbul, l'intervention du K. Ozawa a accéléré la diffusion mondiale du concept de cette nouvelle génération de béton.

2.3. Définition du béton Autoplaçant

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

Les BAP se distinguent des bétons ordinaires principalement par leurs propriétés à l'état frais. Les critères caractérisant un béton autoplaçant sont :

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 .

2.4. Les 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.

2.4.1. Matériaux de base

Les granulats, le ciment et l'eau forment les éléments de base de tous types de béton. Ils sont qualifiés ainsi puisqu'ils sont historiquement les seuls constituants des bétons de nos ancêtres et parce qu'ils ont toujours les plus grosses proportions relatives dans le mélange de BAP.

2.4.1.1 Les granulats

Les granulats roulés ou concassés peuvent en principe être utilisés. Les granulats roulés en vrac présentent un plus petit volume de vide intergranulaire, ce qui nécessite une plus faible quantité de pâte de ciment pour le remplir. La flottabilité des granulats concassés dans la pâte de ciment est cependant meilleure, en raison de leur plus grande surface spécifique. masse identique. Afin d'empêcher tout risque de blocage du BAP par les barres d'armature lors du coulage, on limite en général le diamètre maximal des granulats à 16 mm. L'expérience a néanmoins montré qu'il était également possible d'utiliser des granulats de diamètre maximal différent. Le mélange pour béton (granularité) est caractérisé par une teneur élevée en sable et en éléments fins. Le passant au tamis de 2 mm devrait être idéalement compris entre 38 et 42%. De même, la proportion de farines (ϕ 0,125 mm) ne devrait pas être trop faible, l'optimum étant situé entre 4 et 8%. Le choix d'une granularité continue appropriée est très important, étant donné la forte incidence du volume des vides sur la quantité nécessaire de pâte de ciment. Afin d'assurer une bonne

stabilité du BAP (éviter toute ségrégation), il est recommandé de choisir un sable spécialement optimisé, au besoin recomposé. Partir de plusieurs fractions.

2.4.1.2. Le ciment

En principe, tous les types normalisés de ciment conviennent pour la fabrication de BAP. Cependant, l'utilisation du ciment portland (contenant seulement le clinker) nous donne toute latitude pour varier et contrôler les quantités introduites des additions minérales.

2.4.1.3. L'eau de gâchage

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

2.4.2. Additions minérales

L'emploi des pouzzolanes minérales pour faire des mortiers et des bétons est connu depuis l'Antiquité. Ces pouzzolanes désignent un grand nombre d'additions minérales aux origines diverses, mais qui présentent tous, le fait d'être fins et de réagir en présence d'eau et de chaux. De nos jours, des quantités considérables de plusieurs types de ces additions continuent d'être utilisées.

Nous présentons ci-dessous les différentes additions minérales éventuelles qu'on peut incorporer dans les compositions des BAP :

1. Les fillers calcaires
2. Les pouzzolanes naturelles
3. Le laitier de haut fourneau
4. La fumée de silice
5. Les cendres volantes,...

2.4.3. Adjuvants chimiques

Afin d'obtenir une très grande fluidité requise d'un béton autoplaçant on utilise généralement un adjuvant fluidifiant de la dernière génération, base de polycarboxylates. Ces adjuvants permettent de réduire de manière importante le dosage en eau tout en ayant également un effet sur la viscosité. L'efficacité d'un adjuvant peut être plus ou moins prononcée selon le ciment et les additions utilisés (compatibilité). De plus, un dosage élevé en adjuvant retarde généralement le début de prise. L'utilisation d'un adjuvant stabilisateur permet de réduire le risque de ségrégation du BAP (ressuage, granulats grossiers coulant vers le bas), qui devient ainsi plus stable et moins sensible aux variations du rapport E/C éq. Dans chaque cas, il convient donc de sélectionner les adjuvants les mieux appropriés à un ciment donné au moyen d'essais préliminaires sinon, il faut s'attendre à devoir recourir à des dosages élevés en adjuvants, voire à l'apparition d'un raidissement prononcé, avec perte des performances recherchées du BAP.

2.4.3.1 Les superplastifiants

Ce sont des réducteurs d'eau à haute efficacité, et se présentent généralement sous forme de liquide. Ils sont composés de longues molécules organiques de masse élevée. Les plus couramment utilisés sont les sels de sodium ou de calcium du polynaphtalène sulfoné, et les sels de sodium de la polymélamine sulfonée. Les copolymères acrylate-ester ou polyacrylates ont récemment été introduits sur le marché.

Le mode d'action des superplastifiants est extrêmement complexe. Il peut être expliqué comme suit:

Lorsqu'ils sont en contact avec un milieu aussi polaire que l'eau, les grains de ciment, qui présentent un grand nombre de charges opposées (positives et négatives) sur leur surface, tendent à s'agglomérer sous forme d'amas (floculation). Par conséquent, cette floculation piège un certain volume d'eau entre les grains de ciment (eau captive) qui n'est plus disponible pour assurer une bonne maniabilité au béton.

Les superplastifiants en s'adsorbant à la surface des grains de ciment brisent cette dynamique. Ils neutralisent les différentes charges et donnent la même charge électrostatique à chaque grain de ciment. Ces charges de même signe vont créer des forces répulsives entre les particules et, par conséquent, la dispersion des grains de ciment libre

de l'eau qui est maintenant disponible à la lubrification du mélange d'où l'augmentation de la maniabilité.

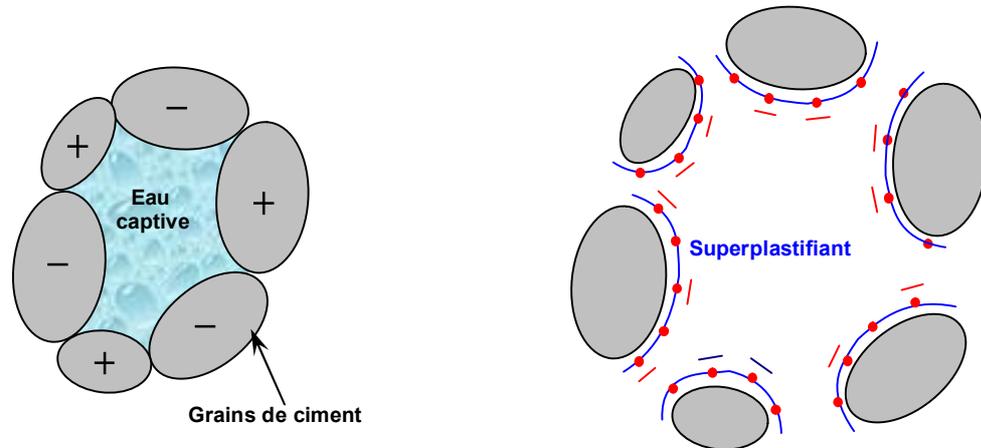


Figure 2.1 : Pâte de ciment non adjuvante : **Figure 2.2** : Pâte de ciment additionnée d'un superplastifiant

2.4.3.2. Les agents colloïdaux

En 1977, des agents colloïdaux améliorant la viscosité et la stabilité du béton ont été développés en Allemagne. Ces adjuvants, se présentant généralement sous forme de poudre, sont fréquemment utilisés pour empêcher le délavement à l'état frais des bétons coulés sous l'eau, comme agent de pompage, et pour améliorer la cohésion de mélange des BAP. Leur utilisation commence à être populaire, mais ils sont actuellement relativement chers comparés aux autres adjuvants.

La plupart des agents colloïdaux sont composés d'éther de cellulose ou de polymères de type acrylique qui sont solubles dans l'eau [B.NECIRA]. Ils sont classés selon leur origine en trois catégories [HOLCIM] :

- a. *Polymères naturels* : Ils comprennent des gommages naturelles, des protéines de certaines plantes et l'amidon.
- b. *Polymères semi-synthétiques* : Ils comprennent des dérivés de l'amidon, des dérivés de l'éther de cellulose comme l'hydroxyle de cellulose, l'hydroxyle de méthyle de propyle de cellulose et le méthyle carboxyle de cellulose, ainsi qu'un électrolyte comme de l'aligone de sodium.

c. *Polymères synthétiques* : Ils comprennent de l'éthylène comme de l'oxyde de polyéthylène et de vinyle comme l'alcool de polyvinyle.

Le mécanisme d'action des agents colloïdaux est fonction du type et de la concentration des polymères. Il peut être décomposé en trois phases [F.JACOBS AND F.HUNKELER] :

1. *Adsorption* : Les longues chaînes de polymères adhèrent à la périphérie des molécules d'eau par un phénomène d'adsorption et fixation d'une partie de l'eau. La quantité d'eau adsorbée dépend de la longueur des polymères et de leur surface spécifique.
2. *Association* : Les molécules des chaînes de polymères adjacentes peuvent développer entre elles des forces d'attraction qui bloquent les mouvements de l'eau et provoquent la formation d'un gel qui augmente conséquemment la viscosité.
3. *Entrelacement* : Les chaînes de polymère peuvent s'entrelacer et s'emmêler spécialement dans des mélanges à forte concentration d'agent colloïdal. Cet entrelacement augmente la viscosité.

2.4.4. Autres additions

En plus des additions minérales indispensables caractérisant la composition de la pâte de ciment du BAP, les additions inertes suivantes sont aussi parfois utilisées:

- ✓ les pigments pour la coloration d'éléments architectoniques
- ✓ les fibres d'acier comme armature constructive
- ✓ les fibres de polyéthylène (fibres PE) pour améliorer la résistance au feu
- ✓ les fibres de polyéthylène ne (fibres PP) pour empêcher les fissures de retrait plastique.

2.5. Caractérisations des BAN à l'état frais

Les bétons autoplaçants sont des matériaux encore relativement nouveaux au monde de construction, les caractéristiques les plus importantes pour la mise en œuvre du BAP sont la fluidité, la viscosité et la résistance envers la ségrégation.

Il existe de nombreux procédés pour effectuer le contrôle de ces propriétés sur béton frais. Ils vont du complexe et coûteux rhéomètre à béton, jusqu'au simple cône servant à la mesure de l'étalement (Slump Flow) [HOLCIM].

En France, trois essais de caractérisation ont été préconisés en l'an 2000, pour l'Association Française de Génie Civil [AFGC], ces recommandations sont devenues sur site les essais de références pour valider une formule de BAP. Ces trois essais sont : l'essai d'étalement, l'essai à la boîte en L et, l'essai de stabilité au tamis [M.SONEBI].

2.5. A- Essai d'étalement

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

Pour l'AFGC les valeurs ciblées d'étalement sont généralement fixées dans la fourchette 60 à 75 cm. Il est possible aussi de mesurer le temps d'écoulement du béton pour atteindre un étalement de 50 cm (noté $T50$) ce qui donne un indice sur la viscosité d'un mélange de béton.

Les figures suivantes représentent d'une façon claire l'essai de l'étalement.

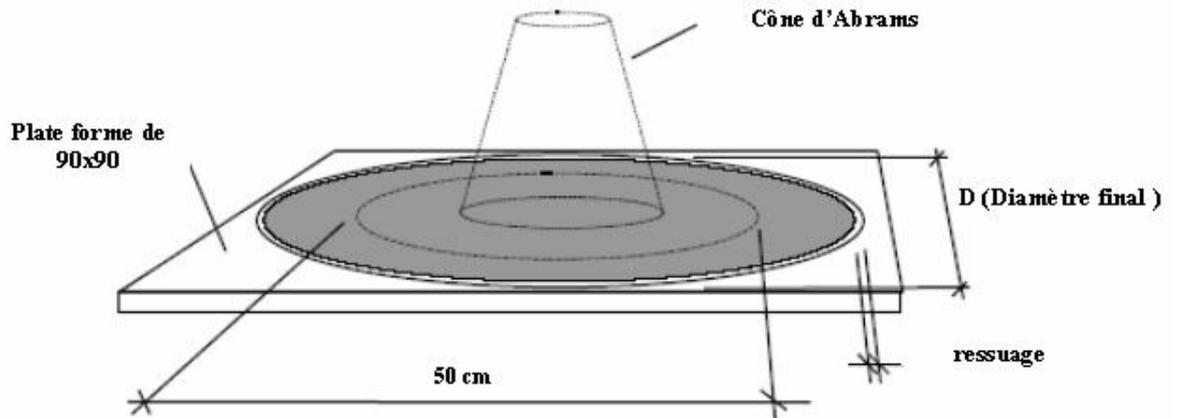


Figure 2.3 : Représentation schématique de l'essai d'étalement.



Phot.2.1 - Détermination de l'étalement.

2.5. B- Essai de 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 pas contrariée par des phénomènes de blocage inacceptables.

Le mode opératoire est exprimé d'après l' [AFGC] comme suit :

La partie verticale de la boîte est entièrement remplie de béton (le volume nécessaire est d'environ 13 litres). Après arasement, on laisse le béton reposer pendant une minute. Puis on lève la trappe et on laisse le béton s'écouler dans la partie horizontale de la boîte à travers le ferrailage. La distance libre entre les barres est de 39 mm.

Quand le béton ne s'écoule plus, on mesure les hauteurs H_1 et H_2 et on exprime le résultat en terme de taux de remplissage H_2/H_1 .

Lorsque le béton s'écoule mal à travers le ferrailage et qu'il se produit un amoncellement de granulats en aval de la grille, c'est le signe d'un problème de blocage ou de ségrégation.

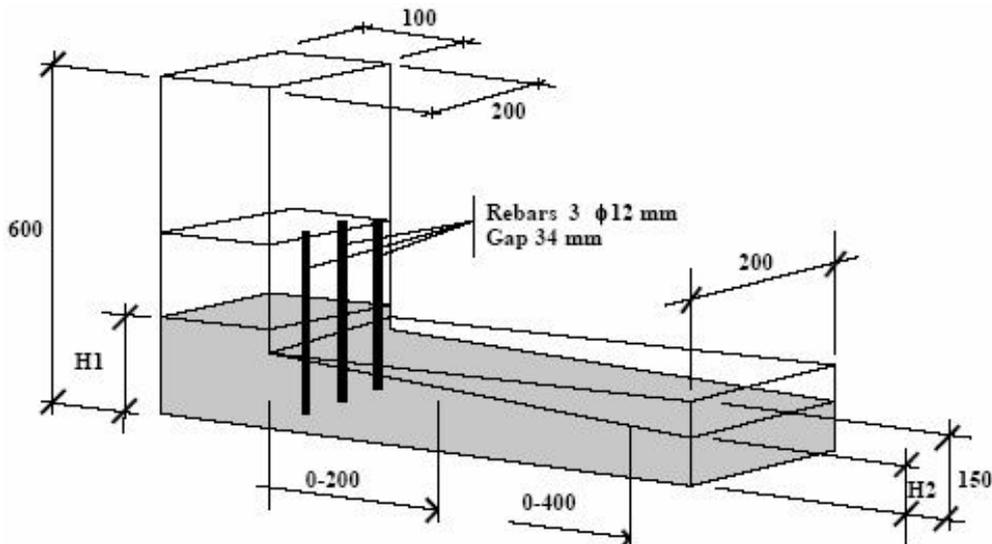


Figure2. 4 - Représentation schématique de l'essai à la boîte en L



Photo2. 2. - Représentation de l'essai à la boîte en L

2.5. C- Essai de stabilité au tamis

Cet essai vise à qualifier les bétons autoplaçant vis-à-vis du risque de ségrégation. Il peut être utilisé en phase d'étude de formulation d'un béton autonivelant en laboratoire, ou pour le contrôle de la stabilité du béton livré sur chantier. Cet essai complète les essais permettant d'apprécier la mobilité en milieu confiné ou non, en caractérisant la stabilité [AFGC].

Cet essai consiste à l'utilisation d'un seau de 10 L avec un couvercle, un tamis de 5 mm de diamètre de 315 mm plus fond et une bascule de portée minimale de 20 kg et de précision de 20 g.

Le mode opératoire d'après les recommandations de l' [AFGC] est le suivant : A la fin du malaxage, dix litres de béton sont versés dans le seau. Après quinze minutes, un échantillon de 4,8 kg est versé du seau sur le tamis, deux minutes plus tard, on pèse la quantité de pâte (laitance) ayant traversé le tamis. Le pourcentage en poids de laitance par rapport au poids de l'échantillon donne l'indice de ségrégation π la mesure de cet indice conduit à classer les formules de BAP de la façon suivante:

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



Photo2. 3 - Représentation de l'essai de stabilité au tamis

Tableau2.1 - Valeurs préconisées pour les essais A.F.G.C

Étalement	de 60cm à 75cm
H_2/H_1	≥ 0.8
Laitance	$\leq 15\%$

2.6. Caractérisation des BAP à l'état durci

Lorsque le BAP est formulé et mis en oeuvre de manière adéquate, ses propriétés à l'état durci (résistance, déformation, durabilité) ne se différencient guère de celles d'un béton ordinaire vibré. Généralement ces propriétés d'après plusieurs chercheurs, sont meilleures, en particulier lorsque le béton spécifié doit répondre à des exigences courantes, ce qui est généralement le cas dans le domaine du bâtiment.

2.6. A- La résistance mécanique

La mise au point d'une formule de béton consiste à rechercher à partir d'un composant donné (le plus souvent local), un mélange ayant à l'état frais une certaine maniabilité, à l'état durci une résistance en compression donnée, et ce au moindre coût. Ce critère de résistance conduira au choix du ciment (nature, classe) et son dosage, ainsi qu'au dosage en eau et à l'éventuelle utilisation d'adjuvants. Ce critère a également une influence sur le rapport G/S (proportion gravier / sable) [G.DREUX ET J.FESTA].

D'une façon expérimentale les BAP impliquent un rapport E/C bas, donc de nature à fournir de bonnes résistances mécaniques.

[PAULTRE ET COLL. 1996] ont fait des tests comparant les BAP aux traditionnels BHP, ils ont remarqué que les résistances en compression des BAP et BHP sont remarquables

[GIBBS ET COLL. 1999], rapporté par [A.Daoud] ont fait des tests en comparant Les BAP aux bétons de références sur des éléments standard, ils ont conclu qu'il y a une légère différence entre la résistance à la traction et en compression des BAP et du béton vibré.

Par contre [M.SONEBI, 1999] observe que la résistance à la traction à 28j pour les BAP conservés dans l'eau est supérieure à celle du béton de référence conservé dans les mêmes conditions.

[L.MOLEZ], comme nous avons vu au premier chapitre sur une série de six mélanges de béton, il a trouvé que la courbe de la résistance en compression du BAP, après le 10^{ème} jours se coïncide avec celle du BO. de même il a trouvé que la résistance en traction du BAP est supérieure à celle du BO.

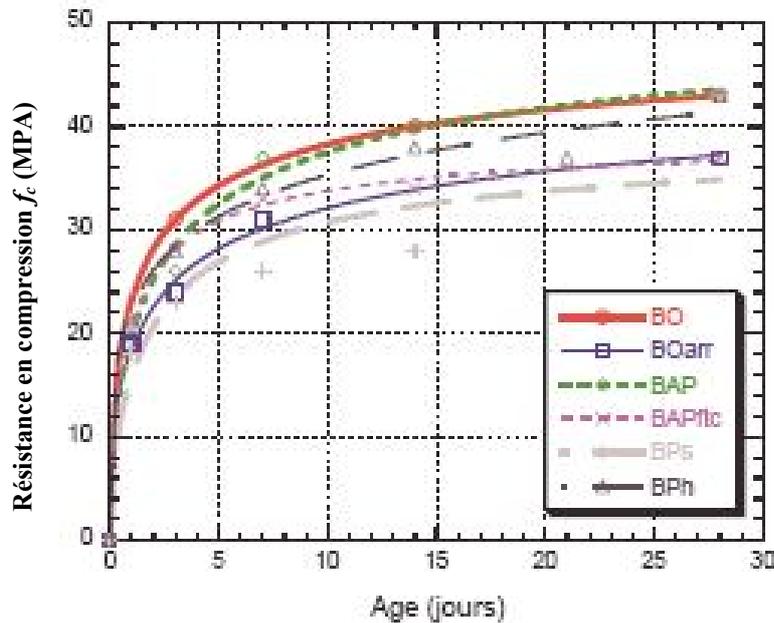


Figure 2.5 - Résistance en compression de différents mélanges.

2.6. B -Le module élastique

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

Au contraire, [L.MOLEZ] a trouvé que le module élastique du BAP est légèrement supérieur à celui du BO

Rapporté par trouvent que le module élastique des deux types de béton (BO et BAP) est très proche

De manière plus précise, pour expliquer ce fait, on peut imaginer le béton comme un composite à deux phases composées d'une matrice, la pâte de liant durcie, et en second

lieu, d'inclusion des granulats. Sachant que le module d'élasticité est principalement affecté par les granulats, les BAP sont donc susceptibles d'être plus déformables que les BO. Néanmoins, plusieurs recherches concernant le module d'élasticité des BAP montrent qu'il est souvent proche à celui de BO, lorsque les deux types de béton ont la même résistance

2.7. Domaines d'application

Le BAP constitue dans de nombreux domaines une alternative intéressante au béton conventionnel vibré. Ces domaines comprennent le bâtiment, le génie civil, les tunnels, la préfabrication et les travaux d'assainissement et de réhabilitation. Comparé au béton vibré, les arguments en faveur du BAP sont les suivants:

- ✓ Rendements améliorés et exécution plus rapide
- ✓ Réduction des nuisances sonores durant l'exécution
- ✓ Liberté accrue des formes de coffrage
- ✓ Facilité de bétonnage d'éléments exigus
- ✓ Qualité accrue des surfaces de béton
- ✓ Réduction/suppression des travaux de ragréage
- ✓ Facilité de bétonnage d'éléments avec une armature dense ou importante
- ✓ Remplissage de parties difficilement accessibles
- ✓ Diminution de la pénibilité du travail et suppression de l'apparition du syndrome du vibreur.

Outre l'amélioration de la productivité des entreprises, le béton BAP permet d'accroître la qualité et la durabilité des ouvrages en béton.

2.8. Les innovations des BAP

À la différence des bétons à haute performance, qui demeurent des bétons destinés aux chantiers exceptionnels, les BAP se vulgarisent petit à petit en séduisant le monde du bâtiment. Leur production reste minime de 1 à 4 % du volume total, mais les BAP ont les atouts nécessaires à la consolidation de leur développement actuel, entre autres, on peut citer :

- La mise en place des BAP est grandement facile et peut généralement être réalisée par un seul ouvrier, même dans le cas de volumes importants donc, il est raisonnable de penser que la main d'œuvre nécessaire serait moindre.

- La suppression de vibration permet de limiter la consommation d'énergie tout en réduisant les nuisances sonores pour l'environnement, en conséquence, les délais d'exécution et le coût global des constructions pourraient ainsi être moindres.

- La grande maniabilité assure la fabrication d'ouvrages dont la finition est toujours d'une qualité acceptable. Par ailleurs, l'obtention d'une meilleure qualité de BAP est pratiquement indépendante du savoir-faire des ouvriers durant la réalisation, cela va dans le sens d'une durabilité accrue.

Comme les BAP pourraient être coulés dans n'importe quelle forme et taille des coffrages, les architectes peuvent désormais exploiter des modèles complètement nouveaux pour des structures élégantes

2.9 Conclusion

Il n'existe pas à ce jour une méthode de formulation du béton autoplaçant , et la plus part des formules sont conçues actuellement de manière empirique, suivant les caractères à l'état frais on peut juger la formulation acceptable ou non.

A cet effet l'AFGC, a émis des recommandations qui se limitent en trois essais : mesure d'étalement ; essai de la boîte en « L » ; et l'essai de stabilité au tamis .

CHAPITRE -3-

ESSAIS NON DESTRUCTIFS DU BETON

3.1. Définition :

Les problèmes de qualité rencontrés dans les structures en béton apparaissent à différentes phases de la réalisation des ouvrages, c'est pour cette raison que depuis longtemps il y a une demande accrue pour des méthodes plus précises et, en même temps, plus souples d'évaluation de la qualité du béton.

Le contrôle par essais destructifs nécessite la confection d'éprouvettes prélevées représentant un échantillon. Ce contrôle ne peut être effectué à 100 % ou tout au moins sur un échantillonnage significatif. De plus, l'échantillon prélevé n'est pas toujours représentatif du béton de la structure réelle. Ainsi, pour répondre à ces problèmes, on a développé une gamme d'essais in situ appelés « essais non destructifs » venant compléter les essais destructifs.

Les essais non destructifs consistent à prendre des mesures qui n'endommagent pas les constructions, Ils représentent des méthodes de reconnaissance couramment appliquées aux structures de bâtiments.

Les essais non destructifs peuvent jouer un rôle exceptionnel dans la garantie de la qualité du béton et dans le développement ultérieur de la technologie de construction. La signification de ces essais se développera considérablement à l'avenir, parce que sa technologie de mesure automatisée et la réduction de la taille de l'appareillage de mesure ouvriront des applications entièrement nouvelles.

Une importante caractéristique des essais non destructifs est qu'ils peuvent être refaits au même endroit ou presque, ce qui permet de suivre les changements des propriétés du béton dans le temps.

3.2. But d'utilisation :

Ces essais sont rapides et faciles à mettre en œuvre, et apportent de surcroît une réponse globale à l'échelle d'une structure ou d'un ouvrage, dans le cadre de contrôles d'ouvrages neufs ou en construction comme de diagnostics d'état d'ouvrages anciens.

3.3. Principaux domaines d'application :

Les essais non destructifs permettent de contrôler la qualité de la construction et mesurer de façon indirecte les caractéristiques des matériaux à savoir :

- ✓ La résistance
- ✓ l'homogénéité
- ✓ La porosité
- ✓ La durabilité

3.4. Historique:

L'essai non destructif du béton est de grande importance scientifique et pratique. Le sujet a suscité l'attention croissante pendant ces dernières années, particulièrement le besoin de caractérisation de la qualité des constructions endommagées faites en béton, en utilisant des méthodes non destructives.

Une gamme d'essais non destructifs in-situ, a été développée, par tant de chercheurs dans ce domaine : Le premier essai non destructif à été réalisé par WILLIAMS EN (1936), en suite et pendant le développement de domaine de construction, ERNEST SCHMILT (1948), JONES (1962), WHITEHURST (1966), MALHOTRA (1976) ont présenté une enquête complète de littérature sur les méthodes non destructives normalement utilisées pour l'essai et l'évaluation du béton, BUNGEY (1982). Au milieu des années soixante SKRAMTAEV ET LESHCHINSKY (1966) ont proposé pour la première fois l'utilisation de deux méthodes non destructifs ensemble, et le travail le plus fondamental à ce sujet a été présenté par FACAOARU (1969). En (1991) LESHCHINSKY a récapitulé les avantages des essais non destructifs comme réduction de la consommation de travail de l'essai, une diminution de la consommation de travail des travaux préparatoires, un peu de dommages structuraux, une possibilité d'examiner la résistance en structures ne peuvent

pas être forés avec application de moins d'équipement d'essai cher, par rapport à l'essai destructif. Ces avantages sont sans valeur si les résultats ne sont pas fiables, représentatif, et aussi étroitement comme possible à la force réelle de la partie examinée de la structure.

3.5. Avantages des ces méthodes réside dans :

Les méthodes non destructifs présentent les avantages suivants :

- ✓ La performance ou l'apparence de la structure n'est pas modifiée ;
- ✓ La possibilité de suivre le changement des propriétés du béton dans le temps ;
- ✓ Une plus grande sécurité, et une meilleure planification de la construction ;
- ✓ Une progression plus rapide et plus économique

3.6. Methodes D'essais :

3.6.1 Introduction

Il existe deux types de méthodes pour l'estimation de la résistance de compression du béton. Les premiers, englobent les méthodes qui ne mesurent pas directement la résistance mais d'autres propriétés du béton, à partir desquelles, une estimation de la résistance peut être obtenue. Ces méthodes incluent les tests suivants :

- ✓ Essai au scléromètre:
- ✓ Essai d'auscultation dynamique
- ✓ Méthodes combinées
- ✓ Méthode par carottage,...etc.

3.6.1.1 Essai au scléromètre :

3.6.1.1.1. Introduction

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

L'énergie de recul ;

Caractéristiques des systèmes de ressorts,

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

La détermination de la dureté est basée sur la mesure du recul que subit un dispositif mobile (commandé par un ressort) à la suite d'une collision entre le dispositif et la surface du béton. Cet essai est l'un des plus vieux essais non destructifs et il est encore très utilisé de nos jours il a été développé par ERNST SCHMIDT EN (1948) et est connu sous le nom l'essai au marteau Schmidt ou essai au scléromètre. Le marteau de Schmidt (photo III.1)) est resté le seul instrument connu qui utilise le principe de rebondissement pour les essais sur le béton selon R.F FELDMAN (1977). En (1984) T.AKASHI ET S.AMASAKI ont déclaré que malgré son apparente simplicité, l'essai au scléromètre sous-tend des problèmes complexes d'impact et de propagation de l'onde qui lui sont associés.



Photo (3.1) scléromètre

3.6.1.1.2 Principe

Le principe de base de l'essai au scléromètre est que le rebond d'une masse élastique dépend de la dureté de la surface sur la quelle frappe la masse.

Dans l'essai au scléromètre une masse approximative de 1.8 kg montée sur un ressort a une quantité potentielle fixe d'énergie qui lui est transmise par un ressort tendu a partir d'une position fixe, ce que l'on obtient en pressant la tête du marteau contre la surface du béton mis à l'essai. Lors de son relâchement, la masse rebondit depuis la tête, toujours en contact avec la surface du béton et la distance qu'elle parcourt, exprimée en pourcentage de l'extension initiale du ressort est appelée l'indice de rebondissement. Cet indice est indiqué par un curseur qui se déplace le long d'une règle graduée.

Quelques modèles de scléromètres impriment le relevé des résultats sur un rouleau de papier paraffiné. L'indice de rebondissement est une mesure arbitraire, car elle dépend de l'énergie emmagasinée par le ressort et de la dimension de la masse.

(Tableau3.1) : Moyens de mesure selon type de recul au scléromètre.

Type de recul	Moyen de mesure
Recul linéaire	Un indicateur à lame
Recul angulaire	Un système de freinage

3.6.1.1.3 Appareillage :

Il existe plusieurs modèles de scléromètres selon le type de recul ainsi que l'énergie d'impact. Le modèle le plus utilisé est le scléromètre SCHMIDT (Suisse).

L'appareil est composé d'une masselotte chargée par un ressort qui se projette sur une tige métallique appelée tige de percussion. Il est livré avec une pierre à polir et un bloc d'étalonnage

3.6.1.1.4. Mode Opérateur :

3.6.1.1.4. 1 Préparation de la surface :

Les mesures doivent être effectuées sur des surfaces nettes ne présentant pas de nids de gravier, des écaillages, de texture grossière, de porosité élevée ou de armatures affleurantes. La préparation de la surface consiste à éliminer tout enduit ou peinture adhérent ou poncer si cette surface est constituée d'une couche superficielle friable. Toute trace d'eau sur la surface doit être essuyée.

3.6.1.1.4. 2 Points de mesures

La surface de mesure doit être divisée en zones de 400 cm² au moins, et structurée en une grille de points de mesure ayant pour espacement $d = 30\div 50$ mm. Les points de mesures extrêmes doivent être au moins à 30 mm des bords de la surface testée.

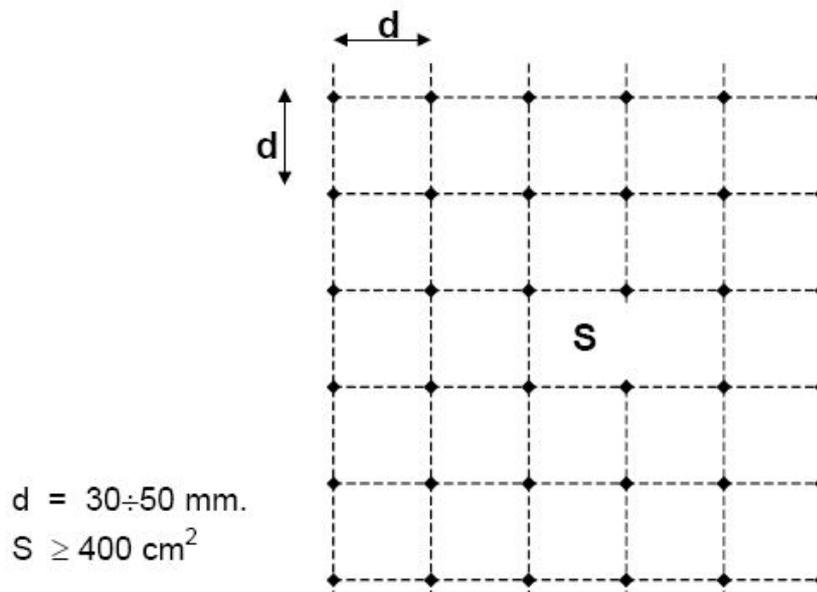


Figure 3.1: Grille de mesure sur ouvrage

Effectuer au moins 10 mesures successives dans la même zone. La surface de cette zone est équivalente à celle d'un carré d'environ 25 cm de côté. Au cours de ces mesures, il convient de ne pas effectuer l'essai à moins de 3 à 4 cm des bords de l'élément testé.

3.6.1.1.5. Méthodes de mesure de l'Indice de rebondissement

L'indice de rebondissement est la mesure enregistrée sur une échelle graduée fixe par rapport au bâti de l'appareil de scléromètre, après la projection d'une masselotte chargée par ressort sur une tige métallique en contact avec la surface du béton. Cette mesure est fonction de l'angle d'inclinaison de l'appareil par rapport à l'horizontal.

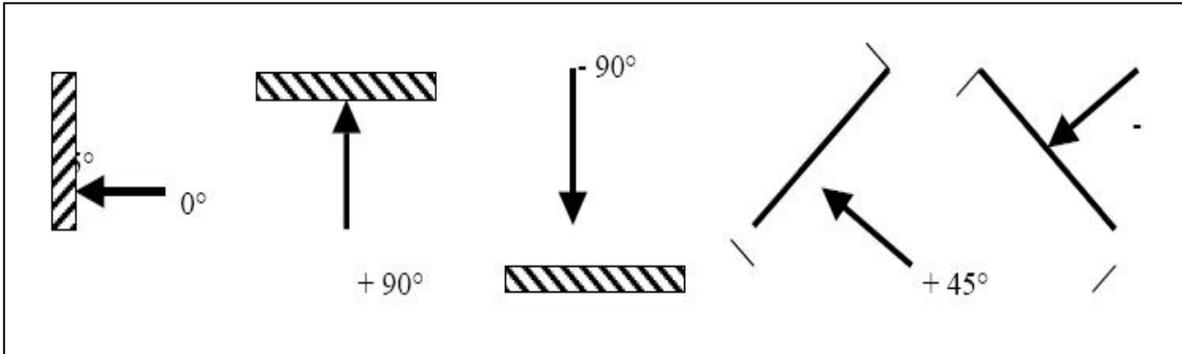


Figure 3.2: Inclinaisons possibles par rapport à l'élément à ausculter

3.6.1.1.6 Étalonnage de l'appareil

Le scléromètre doit être contrôlé par des essais d'étalonnage, car les constantes des ressorts changent après plusieurs utilisations. Deux méthodes sont utilisées :

3.6.1.1.6.1. Sur bloc en néoprène armé

Effectuer sur le bloc en néoprène, posé sur une assise rigide et plane, deux séries de 27 mesures espacées de 5 s et calculer la moyenne de l'indice sclérométrique l de la 2ème série. La position de l'appareil doit être verticale. Deux cas peuvent se présenter :

- ✓ $28 \leq l \leq 32$ le fonctionnement de l'appareil est satisfaisant ;
- ✓ $l < 28$ ou $l > 32$ l'appareil est défectueux ; il sera procédé au nettoyage de l'appareil pour refaire une nouvelle fois la mesure de l .

3.6.1.1.6.2. Sur éprouvettes de béton

Cette méthode consiste à déterminer la moyenne de l'indice sclérométrique I par des mesures effectuées sur trois séries de trois éprouvettes de béton, correspondant aux trois classes de résistances à la compression 15, 25 et 35 MPa. Les mesures de l'indice I_s sont suivies d'un essai d'écrasement des éprouvettes. Les trois couples de valeurs sont reportés sur le graphique de la figure III.3. Dans le cas où les trois points représentatifs se retrouveraient à l'intérieur du fuseau, donc le fonctionnement de l'appareil est satisfaisant. Dans le cas contraire, le fonctionnement de l'appareil est défectueux. Une révision est nécessaire avec un certificat d'étalonnage.

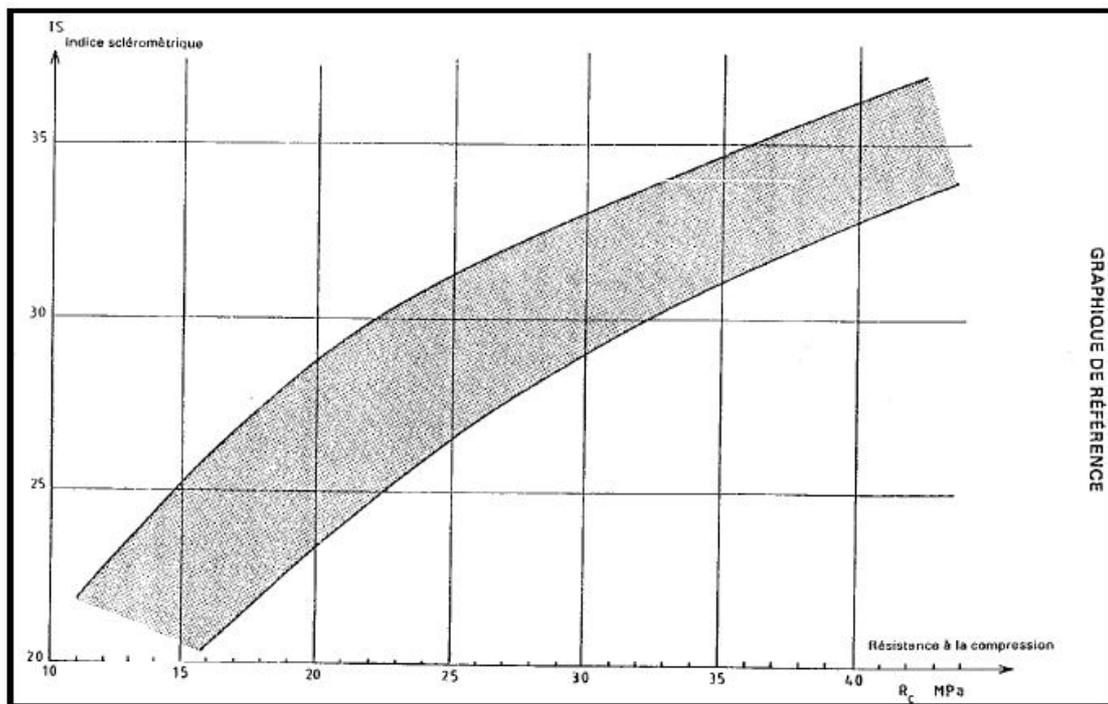


Figure 3.3: Graphe de contrôle du fonctionnement de l'appareil

3.6.1.1.7 Inconvénients de la méthode sclérométrique

La méthode sclérométrique constitue une voie directe utilisée pour la détermination du degré d'homogénéité du béton et la dureté de la surface de l'élément en béton. Bien que l'essai au scléromètre soit utile, il ne constitue nullement une mesure fiable de la résistance du béton compte tenu des paramètres influant la précision de détermination de cette

résistance. Plusieurs méthodes sont utilisées pour la transformation des indices sclérométriques en résistance mécanique à la compression du béton.

3.6.1.1.8. Interprétation Des Résultats De Contrôle Du Béton Au Sclerometre

3.6.1.1.8.1 Méthode de la courbe de calibrage

De la même manière que pour l'ultrason, la courbe de calibrage est déterminée en effectuant l'essai au scléromètre sur au moins 30 éprouvettes. La courbe de calibrage doit être revue en cas de changement de la composition du béton ou des conditions de conservation. La précision sur la résistance du béton obtenue par la méthode de la courbe de calibrage est évaluée à $\pm (20\% \div 25\%)$.

3.6.1.1.8. 2 Méthode de la courbe unique

Dans la plupart des cas, la composition du béton ainsi que les conditions de conservation affectant la corrélation « Indice sclérométrique – Résistance du béton » sont inconnues. On utilise alors une courbe de transformation unique figurant sur l'appareil fourni par le fabricant. La précision sur la résistance du béton obtenue par la méthode de la courbe peut être évaluée à $\pm 50\%$.

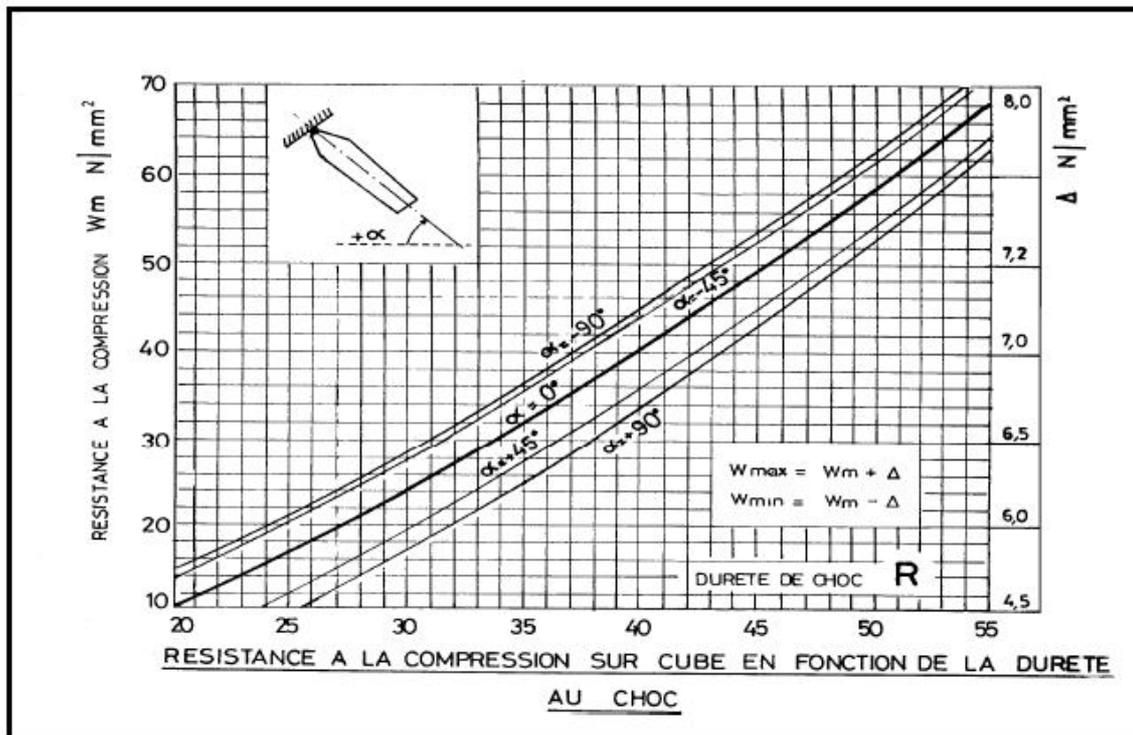


Figure.3.4 : Courbe de transformation unique

- La résistance du béton peut aussi être obtenue à partir de la formule suivante :

$$R = I^2 / 32$$

Avec:

R:résistance

I:indice sclérométrique.

3.6.1.1.9 Références normatives :

NF EN 12504-2

Essais pour béton dans les structures - Partie 2 : essais non destructifs - Détermination de l'indice de rebondissement

3.6.1.1.10 Les avantages

- ✚ C'est une méthode peu coûteuse, simple et rapide. FELDMAN (1977).
- ✚ L'essai au scléromètre est comparatif, il est utile pour évaluer l'homogénéité du béton dans une structure ou lors de la fabrication d'éléments semblables des éléments préfabriqués NEVILLE (2000)
- ✚ L'essai peut aussi être utilisé pour vérifier si la valeur de l'indice de rebondissement a atteint la valeur désirée correspondant à la résistance du béton, ce qui peut aider à décider du moment où l'on peut mettre la structure en service.
- ✚ Une utilisation de cet essai est de pouvoir vérifier si le développement de la résistance d'un béton a été affecté par le gel au jeune âge. (Selon la norme ASTM C 805-85 un béton encore gelé peut donner un indice de rebondissement très élevé).
- ✚ Une application particulière de l'essai au scléromètre consiste à évaluer la résistance à l'abrasion des planchers de béton, qui dépend largement de la dureté de surface.

3.6.1.2 Essai d'auscultation dynamique :

3.6.1.2.1. Introduction

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

3.6.1.2.2. Principe

Le principe de la méthode consiste à mesurer le temps mis par une onde, d'où le nom de la méthode (essai de vitesse de propagation d'ondes sonores) à parcourir une distance connue. D'après LESLIE et CHEESMAN, l'état du béton totalement inconnu peut se déterminer approximativement selon la vitesse mesurée.

Les impulsions sont produites par des cristaux piézo-électriques à excitation par choc des cristaux semblables sont utilisées dans le récepteur JONS.R ET FACAOARU (1969). La fréquence de générateur d'ondes est comprise entre 10 et 150 HZ, le temps de propagation des ondes dans le béton est mesuré par des circuits de mesure électroniques.

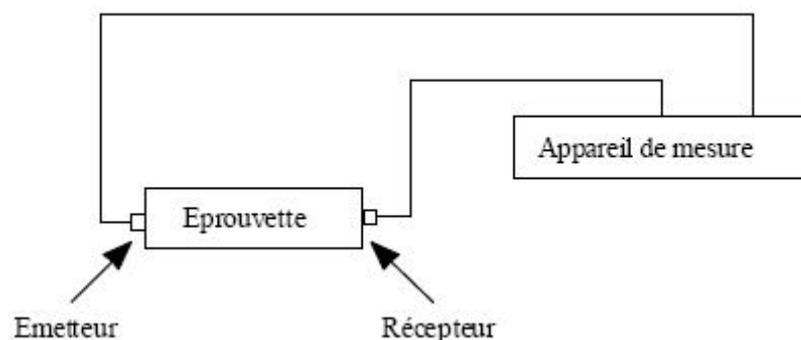


Figure3.5 Appareil de mesure

La relation entre la vitesse de propagation des ondes ultrasonique et la résistance à la compression est affectée par un nombres de variables tel que l'age du béton, les condition

d'humidité, le rapport entre les granulats et le ciment, le type des granulats et la localisation des aciers et les fissures. La technique ne peut pas être employée pour la détermination de la résistance de béton fabriqué par différents matériaux dont on ne connaît pas les proportions.

Ces facteurs représente un inconvénient majeur des essais non destructifs dans lequel la propriété du béton que l'on mesure est affectée par divers facteurs dont l'influence est différente de ce qu'elle est dans la résistance du béton. Cette technique pour l'estimation de la résistance du béton in situ n'est pas encore considérée, dans la pratique, comme un outil de remplacement au cylindre standard et aux cubes, mais peut être utilisée comme une technique additionnelle, quand elle sera exécutée avec des essais de carottage.

A l'utilisation de la valeur de la vitesse de propagation d'une onde sonore pour déterminer la résistance du béton, il faut mentionner qu'il n'y a pas de relation physique entre les deux selon STURRUP, VECCHIO ET CARATIN (1984).

Les essais consistant à mesurer la vitesse de propagation des impulsions peuvent être effectués sur des éprouvettes de laboratoire comme sur des ouvrages en béton terminés. Certains facteurs influent toutefois sur la prise de mesures :

- 1- Les ondes sonores se déplacent plus vite à travers un vide rempli d'eau qu'à travers un vide rempli d'air. Par conséquent les conditions d'humidité du béton influencent la vitesse des ondes sonores selon STURRUP, VECCHIO ET CARATIN (1984)
- 2- La surface sur laquelle l'essai est effectué doit épouser parfaitement la forme de l'appareil qui lui est appliqué, il est recommandé d'employer un matériau intermédiaire entre le béton et les transducteurs. Les matériaux d'interposition sont la vaseline de commerce, un savon liquide ou une pâte constituée de Kaolin et de Glycérol. Lorsque la surface de béton est très rugueuse, il est nécessaire de poncer et d'égaliser la partie de la surface où le transducteur sera fixé.

- 3- Une augmentation de la vitesse des impulsions se produit à des températures sous le point de congélation à cause du gel de l'eau; entre 5 et 30°C, la vitesse des impulsions n'est pas subordonnée à la température. FELDMAN (1977).
- 4- La présence d'acier d'armature dans le béton en particulier l'armature qui suit le trajet de l'onde entraîne une augmentation de la vitesse BUNGEY (1989). Il est par conséquent souhaitable et souvent indispensable de choisir des parcours d'impulsions qui ne sont pas influencés par la présence d'acier d'armature ou d'effectuer des corrections si de l'acier se trouve sur le parcours de l'impulsion.



Photo (3.2) : Appareil d'auscultation sonore 58-E48 avec oscilloscope

3.6.1.2. 3. Mode Operatoire

3.6.1.2.3.1. Travaux préparatoires

- Poncer et égaliser la partie de la surface de l'élément à ausculter où le transducteur sera fixé,

- Employer un matériau intermédiaire entre les deux et en prenant soin de vérifier que l'appareil est bien appliqué contre la surface à tester à l'aide d'un matériaux d'interposition comme la vaseline, un savon liquide ou une pâte constituée de Kaolin et de glycérol.

3.6.1.2.3.2. Points de mesures

Le nombre de points de mesures dépend des dimensions de l'ouvrage à tester. Pour un grand panneau (dalle, voile, radier, etc.) les points de mesures sont situés aux intersections d'un quadrillage d'une maille de 0.5m. Le cas des petits éléments (poteaux, poutres, etc.), les mesures se font en six points.

3.6.1.2.4. Distances minimales entre points de mesures

On recommande une distance minimale de parcours de 400 mm pour les mesures en surface.

3.6.1.2.5. Étalonnage de l'appareil

L'ultrason doit toujours être contrôlé par des essais d'étalonnage avant chaque utilisation. L'étalonnage consiste à vérifier le temps de propagation à travers la tige étalon dont le temps est connu à l'avance. Il faut ajuster l'ultrason dans le cas où le temps mesuré ne correspond pas à celui marqué sur la tige étalon.

3.6.1.2.6. Manières de mesure :

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

3.6.1.2.6. a - Mesure en transparence (directe) :

Les mesures en transparence sont utilisées dans le cas des éprouvettes, des poteaux ou de certaines poutres. Les transducteurs sont appliqués sur les deux faces de l'élément à tester. **Figure (3.6)**

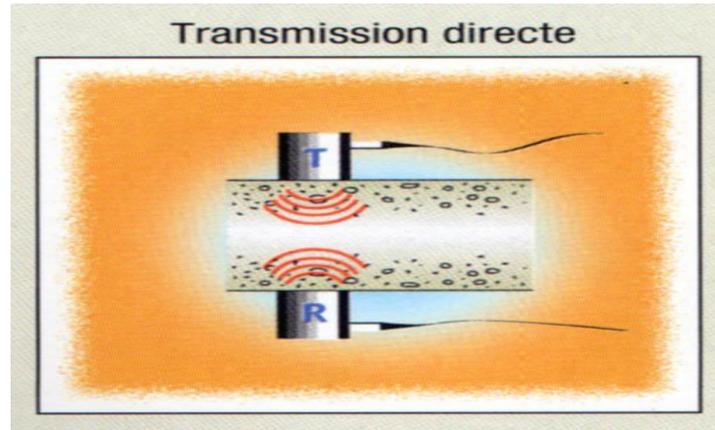


Figure3.6 - Mesures en transparence (directe)

3.6.1.2.6.b - Mesures en surface (indirecte) :

Elles sont utilisées sur tous les éléments de structure et sur les éprouvettes, mais plus particulièrement sur les dalles et éléments en longueur figure (3,7).

L'émetteur est maintenu en un point fixe, le récepteur est déplacé successivement à des distances marquées à l'avance.

Après avoir relevé le temps correspondant à un point considéré, on passe au point suivant.

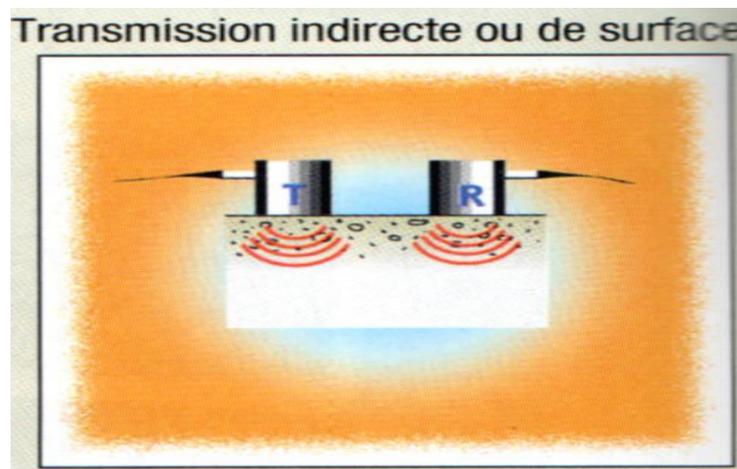


Figure3.7: Mesures en surface

3.6.1.2.6.c – Mesures semi directe :

Elles sont utilisées sur tous les éléments de structure et sur les éprouvettes, mais plus particulièrement sur les éléments de structure ou on peut pas utilisé les deux autres manières .figure (3.8)

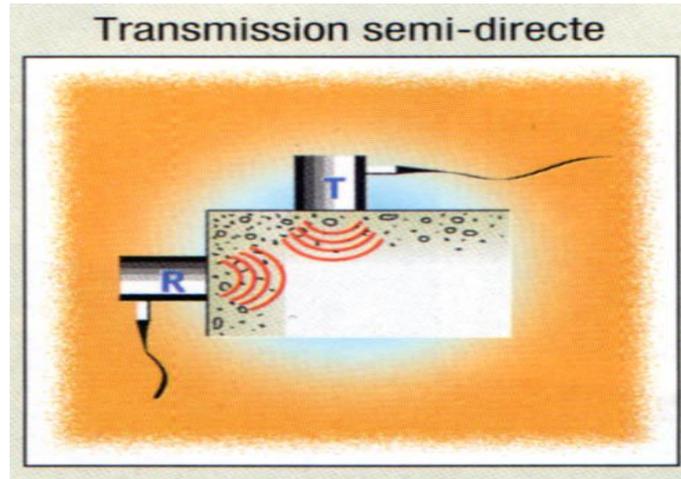


Figure3.8: Mesures semi directe

3.6.1.2.7. Interprétation Des Résultats De Mesure Aux Ultrasons

Dans un milieu **homogène et isotrope**, la vitesse des ondes longitudinales des ultrasons est reliée au module d'élasticité et à la masse volumique. Cette relation donne une base logique pour utiliser des mesures de vitesse des ondes pour estimer la résistance à la compression du béton. Mais il faut mentionner qu'il n'y a pas de relation physique unique entre les deux paramètres compte tenu de l'influence des différents constituants entrant dans la composition du béton. Par conséquent une corrélation plus fiable entre la vitesse de propagation des ultrasons et la résistance du béton à la compression ne peut être établie que dans des limites strictes données ci-après.

3.6.1.2.7.1 Corrélation entre la vitesse de propagation du son et la résistance du béton

La corrélation graphique entre de la vitesse de propagation V et la résistance à la compression R doit être établie au préalable pour un projet donné, sur la base du béton formulé pour ce chantier. Il est nécessaire dans ce cas d'effectuer les mesures sur au moins 30 éprouvettes en procédant comme suit :

- ✓ pour un lot de 03 éprouvettes, prendre une valeur moyenne de la vitesse de propagation et de la résistance à la compression obtenue et soumises à des conditions d'essai identique,

- ✓ faire varier la quantité d'eau de gâchage ou de la compacité du béton pour le reste des lots (E/C variant de 0.4 0 à 0.8 est généralement pris)

Il est bien entendu que toutes les autres caractéristiques du béton, doivent être identiques à celles du béton formulé et à mettre en oeuvre in situ.

3.6.1.2.7.2 Paramètres influents la vitesse des ultrasons

La vitesse des ondes ultrasoniques à travers le béton résulte du temps mis par les ondes pour traverser la pâte de ciment durci et les granulats. Elle dépend énormément du module d'élasticité des granulats et de leur quantité dans le béton. Par ailleurs, la résistance du béton ne dépend pas nécessairement du dosage en gros granulats ou de leur module d'élasticité. Cependant pour un granulats donné et une composition donnée, la vitesse de propagation des ondes dépend des modifications de la pâte de ciment durci, telles qu'un changement du rapport Eau/Ciment qui influe le module d'élasticité de la pâte. De plus d'autres facteurs influencent la propagation des ondes sonores à savoir :

- ✓ Le type de ciment ;
- ✓ Le dosage en ciment ;
- ✓ La nature des granulats;
- ✓ La granulométrie ;
- ✓ L'humidité du béton ;
- ✓ La maturité du béton ;
- ✓ Les adjuvants.

Les résistances des autres bétons qui diffèrent du béton standard pour lequel une courbe de calibrage a été établie, doivent être corrigés en affectant la résistance du béton de référence par des coefficients partiels d'influence correspondants.

Exemple de tracés de courbes de calibrage

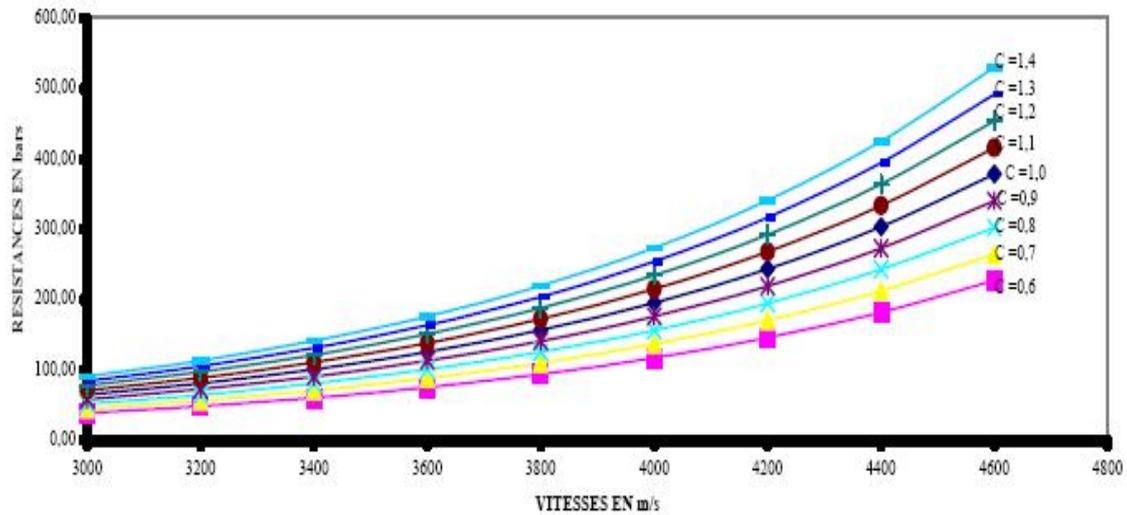


Figure3.9: Courbes de calibrages

Excepté le cas on l'on dispose de courbes de calibrage telles que rappelées ci avant, des cas peuvent se présenter tels que :

- ✚ Composition du béton connue, absence d'éprouvettes ou de carottes,
- ✚ Composition du béton connue et existence d'un petit nombre d'éprouvettes ou de carottes,
- ✚ Méconnaissance de la composition du béton et existence d'éprouvettes ou de carottes,
- ✚ Méconnaissance de la composition du béton et inexistence d'éprouvettes et de carottes.

La détermination de la résistance béton in situ sera étudiée au cas par cas.

3.6.1.2.7.3 Autres interprétations possibles:

Les résultats obtenus en appliquant la courbe de la RILEM (voir **figure 3.10**) sont donnés dans le cas où le béton testé est considéré connue. Les résistances ne correspondent pas toujours à la résistance réelle du béton in situ. C'est pour cette raison que par exemple dans les procès verbaux du CNERIB, seuls les appréciations suivantes sont données :

- Classements qualitatifs :

- ✓ $2500 \text{ m/s} \leq V < 3200 \text{ m/s}$ béton de faible résistance,
- ✓ $3200 \text{ m/s} \leq V < 3700 \text{ m/s}$ béton de moyenne résistance,
- ✓ $3700 \text{ m/s} \leq V < 4200 \text{ m/s}$ béton à haute résistance,
- ✓ $V \geq 4200 \text{ m/s}$ béton à très haute résistance.

- Estimation de la résistance du béton selon RILEM

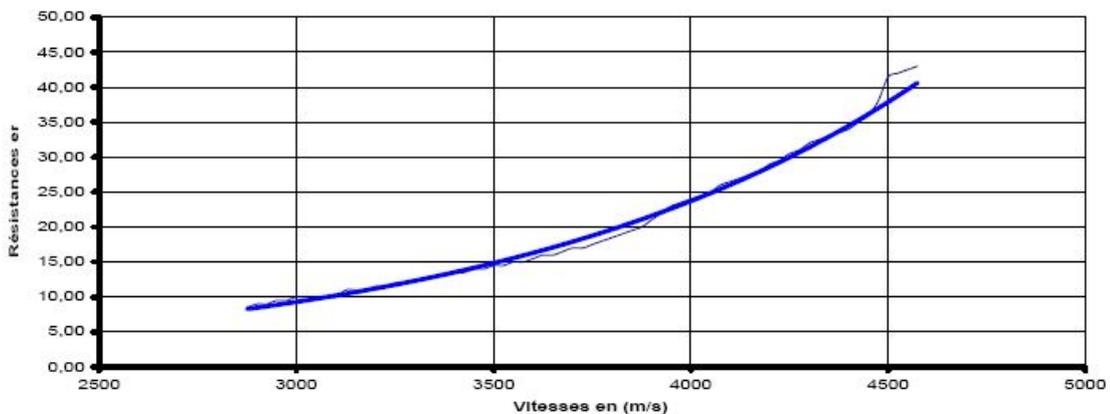


Figure3.10: Courbe RILEM

3.6.1.2.8. Références normatives

Les normes P 18-414 de 1993, P 18-418 de 1989, ASTM C 597- 83 réapprouvée en 1991 et BS 1881 : partie 203 : 1986 spécifient les modes opératoires sans pour autant donner d'interprétation des résultats obtenus.

3.6.1.2.9. Les avantages :

- ✚ C'est une méthode idéale pour déterminer l'homogénéité du béton.
- ✚ L'essai peut être utilisée autant sur les ouvrages complétés que sur ceux en construction.

- ✚ La mesure des ondes sonores présente l'énorme avantage de donner des informations sur l'intérieur d'un élément de béton. Et selon CHUNG ET LAW (1983) l'essai de propagation des ultrasons peut être utilisé pour détecter la fissuration (mais les fissures parallèles au déplacement de l'onde), les vides détériorations dues au gel ou de feu et l'uniformité du béton dans des éléments semblables. L'essai de propagation des ultrasons peut être utilisé pour suivre les changements microstructuraux dans un élément par exemple à la suite de cycles répétés de gel dégel.

- ✚ ELVERY ET IBRAHIM (1976) et pendant leurs études sur la relation de la vitesse et la résistance dans plusieurs âges ont montrés que l'essai peut aussi être utilisé pour évaluer la résistance du béton à très jeune âge, à partir de trois heures et plus, ce qui peut être intéressant dans le domaine de la préfabrication du béton ou comme outil de décision pour déterminer le moment adéquat des opérations de décoffrage.

3.6.1.3 Méthodes combinées :

3.6.1.3.1 Introduction

Il est possible de combiner deux ou plusieurs méthodes non destructives à la fois et dont les résultats, introduits dans un traitement unique garantissent au résultat final obtenu une précision supérieure. A titre d'exemple MAMILLAN ET BOUINEAU (1980) on déduit de leur recherche sur ce sujet une méthode combinée qui permet une appréciation de la résistance de béton in situ en relation avec l'indice sclérométrique et la vitesse de son. Indépendamment du type d'essai non destructif utilisé, les données proportionnées et fiables de corrélation avec des données standard de la résistance à la compression en 28 jours sont habituellement nécessaires pour évaluer l'exactitude de la méthode non destructive. En outre, la corrélation avec des résistances à la compression en place employant des carottes de un ou deux endroits peut fournir des conseils en interprétant des résultats d'essai non destructifs; ceux-ci peuvent alors être employés pour examiner de plus grandes parties de la structure. Le soin devrait être pris pour considérer l'influence des tailles et des endroits variables des éléments structuraux

Cette solution est particulièrement avantageuse lorsque des variations des propriétés du béton conduisent à des résultats contradictoires. Par exemple, lorsqu'une augmentation du taux d'humidité augmente la vitesse de son, mais diminue l'indice de rebondissement enregistré avec l'essai au scléromètre BELLANDER (1977) figure (3.11). La RILEM (1993) propose des recommandations sur l'utilisation combinée d'essais non destructifs

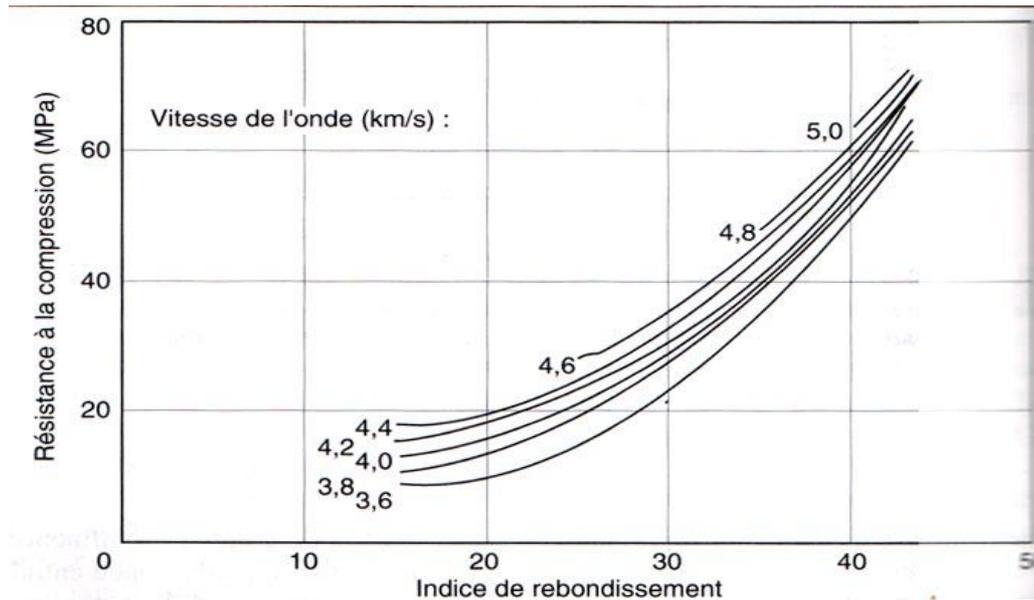


Figure 3.11: Courbe d'estimation la résistance à la compression in situ par utilisation conjointe de la mesure de la propagation d'ondes ultrasoniques et des résultats d'essai au scléromètre selon U. BELLANDER (1977)

3.6.1.3.2 Principe :

Dans notre étude on a basé sur la combinaison de deux essais non destructifs le plus largement répandus; essai de vitesse ultrason et l'essai de scléromètre. Le principe de cette méthode consiste à déterminer la résistance en compression du béton à partir des abaques donnant la variation de la résistance du béton en fonction de la vitesse des ultrasons et de l'indice de rebondissement [R (V, N)]. Cette résistance est corrigée par des valeurs des coefficients d'influences des différents constituants et de leur nature. Ou bien à partir des formules d'estimation d'après les résultats des essais au laboratoires.

Cette technique est utilisée pour la détermination de la résistance en compression en tenant compte à la fois vitesse de propagation de son et l'indice de rebondissement est la méthode combinée ; elle permet d'attendre une précision accrue. Le principe reste identique et on a recours à un béton standard qui possède une courbe d'étalonnage spécifique.

La méthode a été développée pour essayer d'augmenter la fiabilité des essais non destructifs en détectant la résistance du béton.

D'après une enquête de RILEM, il existe actuellement diverses méthodes combinées telle que :

- ✓ Vitesse des ondes ultrasonores longitudinales – dureté des empreintes.
- ✓ Vitesse des ondes ultrasonores longitudinales – dureté superficielle par indice de rebondissement.
- ✓ Vitesse des ondes ultrasonores- atténuation ou amortissement des ondes ultrasonores.
- ✓ Vitesse des ondes ultrasonores- atténuation de la fréquence propre.
- ✓ Vitesse des ondes ultrasonores- atténuation des rayons.
- ✓ Vitesse des ondes ultrasonores-vitesse des ondes ultrasonores transversales.
- ✓ Dureté au choc par rebondissement- dureté par empreinte.

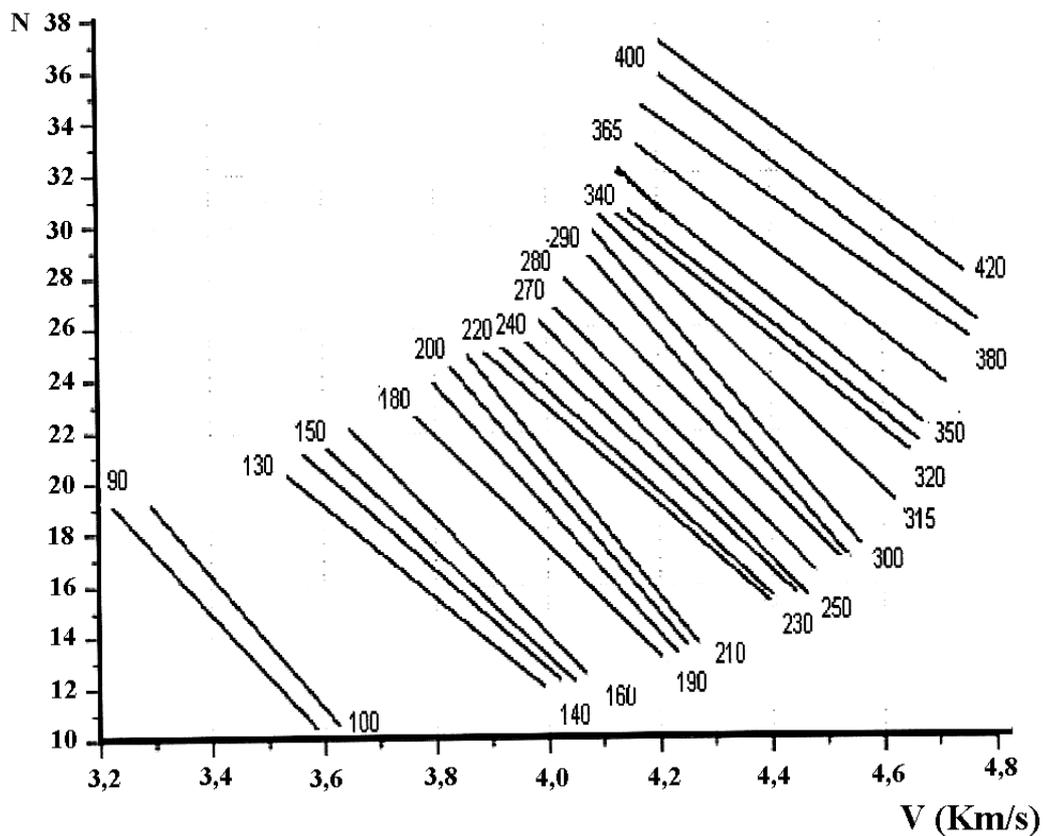


Figure 3.12: Abaque de la variation de la résistance à la compression en bars, en fonction de la vitesse des ultrasons (V) et de l'indice de rebondissement (N) du béton. CNERIB (1998).

3.6.1.3.3 Les avantages

- ✚ L'utilisation combinée d'essais non destructifs garantit au résultat final obtenu une précision supérieure. Elle permet d'annuler des effets parasites. Par exemple lorsque des variations des propriétés du béton conduisent à des résultats contradictoires BELLANDER (1977)
- ✚ Cette technique est utilisée afin d'essayer d'augmenter la fiabilité des essais non destructifs en détectant la résistance du béton.
- ✚ Évaluer la qualité du béton in situ, avec un minimum de connaissance antérieure au sujet du béton examiner.

CHAPITRE -4- MATERIAUX, MELANGES ET PROCEDURES

4.1 Introduction :

Il est nécessaire de connaître les caractéristiques physiques des constituants d'un béton avant de faire l'étude de la composition théorique de ce dernier. Pour cela, dans ce chapitre, on présente les divers matériaux mis en œuvre avec leurs caractéristiques physiques, chimiques, minéralogiques, mécaniques et les normes de chaque essai.

4.2 Matériaux:

4.2.1. Granulats:

On appelle "granulats" les matériaux inertes, sables, graviers ou cailloux qui entrent dans la composition des bétons.

4.2.1.1 Le sable:

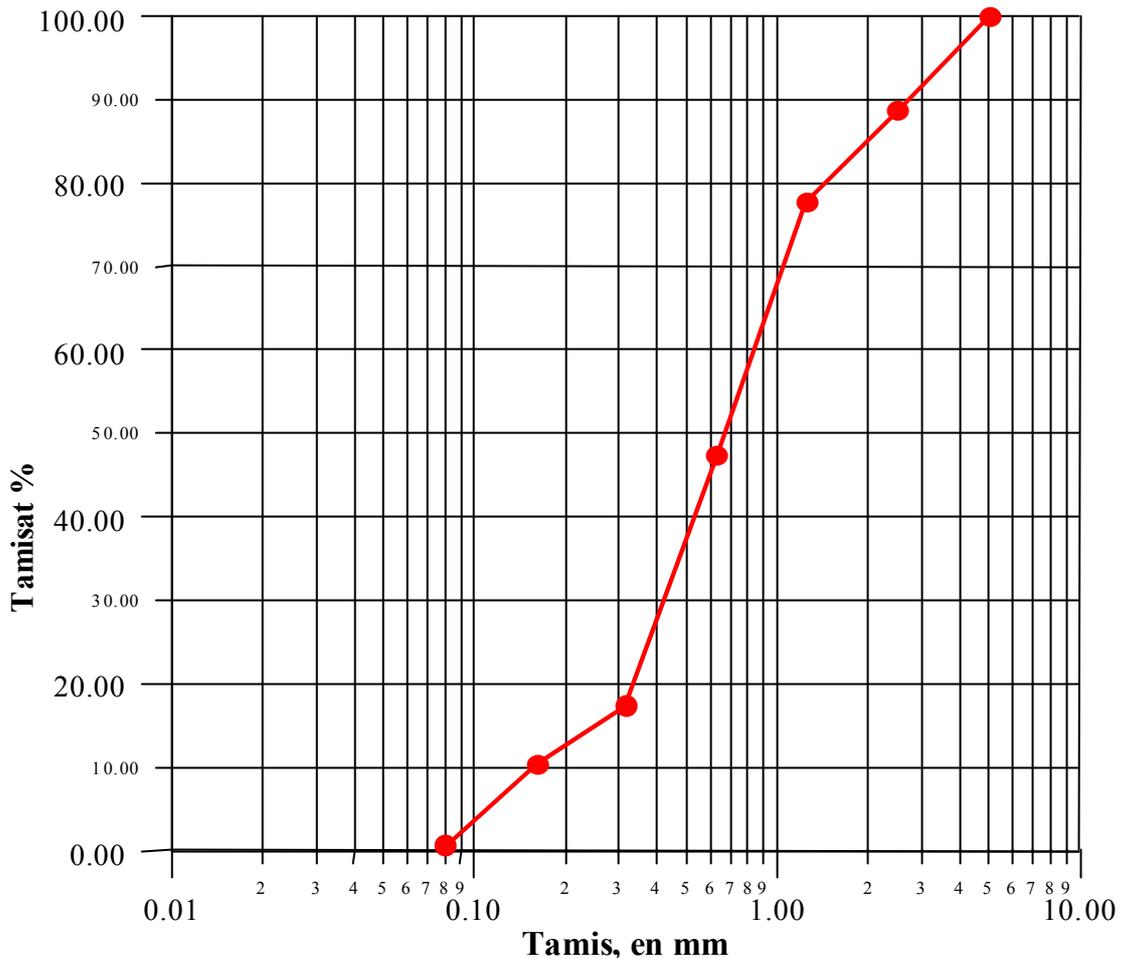
Nous avons utilisé un sable local prélevé dans la région de Lioua (wilaya de Biskra) il s'agit d'un sable de classe granulaire (0/5 mm) et utilisé couramment dans la confection du béton dans cette région. Son analyse granulométrique est donnée dans le tableau (4.1), suivie de ses propriétés physiques.

Tableau (4.1) : Analyse granulométrique du sable

Ouvertures des mailles (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumule (g)	Refus cumule (%)	Tamisât (%)
5.000	0.00	0.00	0.00	100
2.500	227.00	227.00	11.35	88.65
1.250	218.00	445.00	22.25	77.75
0.630	607.00	1052.00	52.60	47.40
0.315	602.00	1654.00	82.60	17.40
0.160	138.00	1792.00	89.60	10.40
0.080	196.00	1988.00	99.30	0.70
fond	11.00	1999.00	99.90	0.10

-a)Propriété physique du sable :

- Masse volumique apparente = 1678 kg/m³
- Masse volumique absolue = 2572 kg/m³
- Module de finesse. = 2.58
- Equivalent de sable = ES visuel 86.3 %, ES piston = 79.4 % (Sable propre)

**Figure (4.1): Courbe granulométrique du sable****4.2.1.2 Les Graviers :**

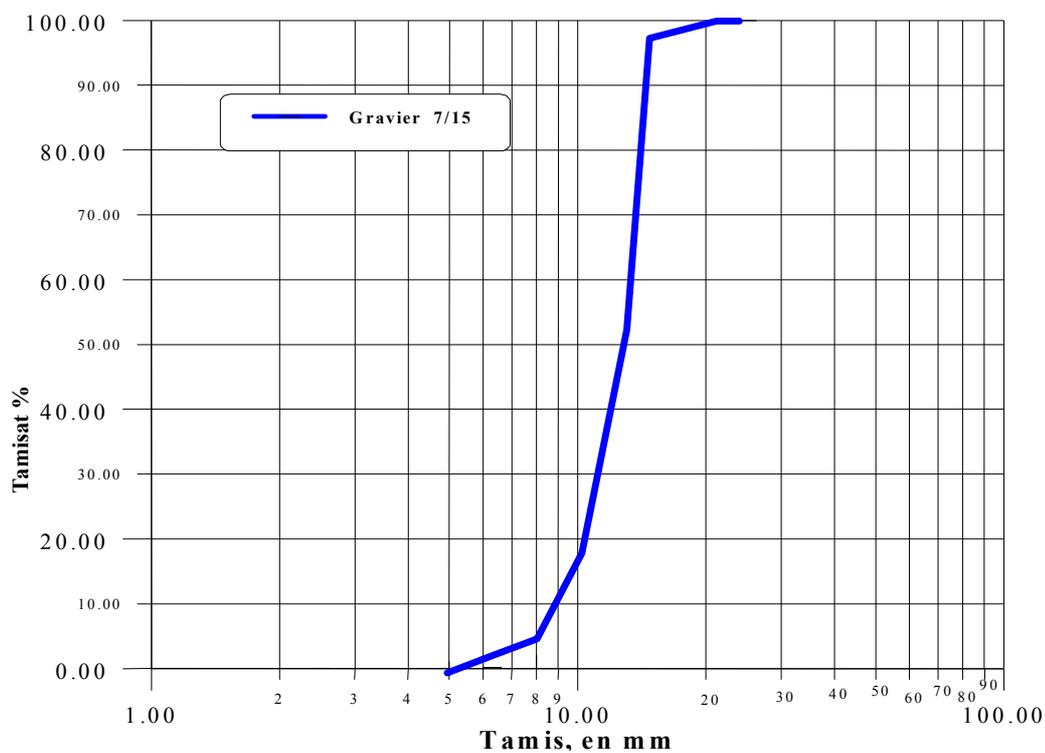
Nous avons utilisé des pierres concassées, il s'agit de gravier de type (7/15). Pour assurer une bonne maniabilité (fluidité) à notre béton, Gravier concassé de nature calcaire, provenant pour notre région du gisement de Ain-Touta situé à 80km au nord de Biskra. , le tableau suivant nous montre L'analyse granulométrique et les caractéristiques physiques.

Tableau (4.2): Analyse granulométrique du gravier 7/15

Ouvertures des mailles (mm)	Refus partiel (%)	Refus cumule (%)	Tamisât (%)
	7/15	7/15	7/15
25.00	0.00	0.00	100
20.00	0.00	0.00	100
16.00	1.24	1.24	98.76
12.50	48.16	49.4	50.60
10.00	31.36	80.76	19.24
8.00	13.32	94.08	5.92
6.30	5.2	99.28	0.72
5.00	0.24	99.52	0.48
Le font	0.48	100	0.00

a) Propriété physique du gravier :

- Masse volumique apparente = 1330 kg/m³
- Masse volumique absolue = 2590 kg/m³
- Coefficient de Los Angeles = 22 %

**Figure (4.2):** Courbe granulométrique du Gravier

4.2.2 Ciment:

Le ciment utilisé est de type ciment Portland composé CPJ-CEM provenant de la cimenterie de Ain-Touta, dont les caractéristiques physiques, chimiques et minéralogiques sont données sur les tableau (4.3, 4.4 et 4.5).

Tableau (4.3): Caractéristiques de ciment

Nomination Caractéristiques	CPJ-CEM II/42,5 A
Masse volumique apparente (g/cm ³)	1.215
Masse volumique Absolu (g/cm ³)	3.150
Surface spécifique (Blaine) (g/cm ³)	3371
Temps de début de prise (heure:minute)	2h: 03
Temps de fin de prise (heure:minute)	3h : 00
La résistance à la compression à 28 jours (MPA)	47

Tableau (4.4): Composition chimique du ciment

Composition chimique (%): CPJ-CEM II/42,5 A											
Si O ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Cl ⁻	CaO libre	Perte au feu	Résidus insolubles
19.34	5.37	3.00	61.69	1.80	0.76	0.14	2.20	0.027	0.97	5.03	1.12

Tableau (4.5): Composition minéralogique de ciment

Composition minéralogique de ciment CPJ-CEM II/42,5 A			
C₃S	C₂S	C₃A	C₄AF
58.3	14.6	8.7	11.26

4.2.3. Adjuvants chimiques

Nous avons utilisé deux types d'adjuvants, présentés ci-dessous, produisant par la même société «GRANITEX»,

4.2.3.1 Adjuvant

Dans notre étude nous avons utilisé l'adjuvant **MEDAPLAST SP** provenant de GRANITEX –Oued Smar-, c'est un fluidifiant. Grâce à ses propriétés le **MEDAPLAST SP** permet d'augmenter les résistances mécaniques du béton, augmenter le slump et la fluidité et donc de faciliter sa mise en œuvre et d'éviter la formation de nids d'abeilles.

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

a)-Sur béton frais :

- D'améliorer l'ouvrabilité à rapport E/C constant (pour un béton témoin ayant un slump de 3 à 8 cm, **MEDAPLAST SP** permet d'obtenir un slump de 12 à 20cm)
- Diminuer la ségrégation.
- Réduire le rapport E/C de 10 à 15%.
- Réduire le dosage en ciment de 5 à 10%.

b)-Sur béton durci :

- Augmenter les résistances mécaniques.
- Augmenter l'imperméabilité.
- Augmenter la cohésion granulats ciment.
- Augmenter la durabilité du béton.
- Obtenir de beaux bétons bruts au décoffrage.

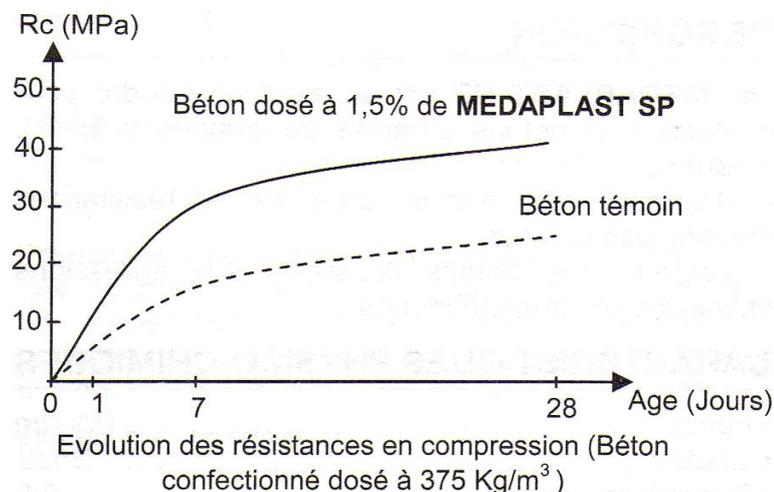


Figure (4.3): Evolution de la résistance à la compression avec le MEDAPLAST SP

4.2.3.2 Agent colloïdal

Il se présente sous forme de poudre blanche soluble dans l'eau et est destiné normalement à la confection de bétons et mortiers coulés sous l'eau, désigné par le nom «MEDACOL BSE» et possède une densité absolue de 0.5.



Photo.4.1- Agent colloïdal utilisé dans notre étude.

4.2.4 Les additions minérales

Nous avons utilisé un seul type d'additions minérales, présentées ci-dessous.

4.2.4.1 Fillers calcaires

Il s'agit de roches calcaires broyées, disponibles dans la majorité des carrières de Biskra. Ils possèdent les caractéristiques physiques suivantes ;

(Densité absolue = 2.50, densité apparente = 1.09 et surface spécifique = 3070 cm²/g).



Photo. 4.2- Fillers calcaires utilisés dans notre étude.

4.2.5 Les fibres :

Dans notre étude nous avons utilisé la combinaison de deux natures de fibres (fibres polypropylène et des fibres métalliques) :

4.2.5.1 Les fibres polypropylènes

Il s'agit des fibres de polypropylène (synthétiques) produisant de « RESIKLON/ FRANCE », ce sont des fibres blanches, emballées dans des sacs de 600g (68 millions de fibres de 12mm par sac), se dispersent très facilement dans les bétons et mortiers, et créent (selon le producteur) un réseau fibré de haute densité et qui a pour conséquences :

- L'amélioration de la cohésion à l'état frais ;
- La limitation du faïençage et des fissurations dues au retrait plastique ;
- L'augmentation de la résistance aux chocs ;
- Une meilleure imperméabilité à l'état durci ;
- Une réduction des risques de ségrégation et de ressuage.

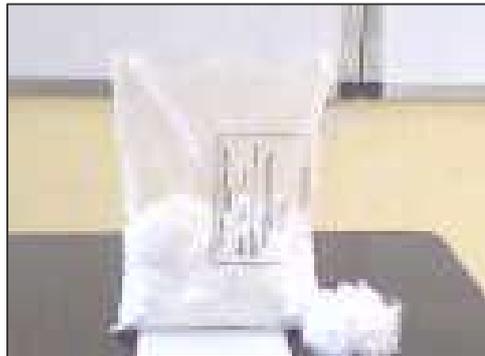


Photo. 4.3- Fibres polypropylènes utilisées dans notre étude.

4.2.5.2 Les fibres métalliques

Les principales caractéristiques fournis par le fabricant sont :

Longueur : 12mm - Densité : 0,9Kg/m³.



Photo 4.4. Fibres métalliques utilisées dans notre étude

Les fibres seront ajoutées à un dosage en g/m^3 , directement dans le malaxeur sur le béton déjà mélangé, ensuite on malaxe à nouveau (1à 2 minutes), pour obtenir une bonne répartition de ces fibres.

4.2.6 Eau de gâchage :

Pour la confection nos mélanges, nous avons utilisé de l'eau de robinet. Il s'agit de l'eau de Biskra,

4.3. Essai sur matériaux :

Les essais réalisés sur les matériaux présentés au **tableau (4.6)**

Tableau (4.6) : Liste relatives aux essais réalisés sur les matériaux

Matériau	Essai
Sable	Analyse granulométrique
	Masse volumique
	Equivalent de sable
Gravier	Analyse granulométrique
	Masse volumique
	Coefficient de Los Angles
Ciment	Masse volumique

CHAPITRE -5-

PREPARATION DES ECHANTILLONS

5.1 Introduction

Le cinquième chapitre décrit la préparation des échantillons de béton, ainsi que les différents essais expérimentaux (la résistance à la compression, l'indice sclérométrique et la vitesse du son) pour les caractériser à l'état frais et à l'état durci.

5.2 Préparation des échantillons

La préparation des échantillons de béton de fibres, a été réalisée au niveau de chantier à wilaya de BISKRA, pour la détermination de la résistance à la compression, l'indice sclérométrique et la vitesse du son.

Les moules utilisés sont des cubes de 100 mm de cotés moulés avec des rapports des fibres (fibre métallique de 0 à 1%) et (fibre polypropylènes de 0 à 1%), Les cubes sont utilisés pour la détermination de la résistance à la compression, l'indice sclérométrique et la vitesse du son.

5.3. Condition de conservation

Après le démoulage, les cubes sont conservés dans le chantier à l'air libre.

5.4. Codification des mélanges

Les mélanges utilisés dans ce travail sont codifiés afin de faciliter la lecture des types de béton. le système retenu est composé d'une lettre **BAPF** qui signifie mélange puis suivie d'un chiffre (1^{er} chiffre fibre métallique et 2^{eme} chiffre fibre polypropylènes) qui représente le pourcentage pour les deux types des fibres utilisées dans notre étude par exemple **BAPF_{1T-0.5S}** la lettre signifie le mélange contenant **1%** des fibres sauf le mélange avec **0%** qui est appelé **BAPF** c.à.d béton témoin

5.5 Composition des mélanges :

Des cubes de 100 mm de cotés sont moulés avec la méthode empirique avec des rapports E/C= 0.40, S/Pt= 0.7 et SP=1%, Ce choix a été fait de telle sorte que les seules variables est :

le dosage des fibres. **Le tableau (5.1)** présente la composition des différents types du béton détaillé.

Tableau (5.1) : Récapitulation de la composition des différents types du béton

Matériels	BAPF _{BT}	BAPF _{0.5P-0.5M}	BAPF _{0.5P-1M}	BAPF _{1P-0.5M}	BAPF _{1P-1M}
Granulats	712,25 kg	712,25 kg	712,25 kg	712,25 kg	712,25 kg
Sable	742,08 kg	742,08 kg	742,08 kg	742,08 kg	742,08 kg
Ciment	402,45kg	402,45kg	402,45kg	402,45kg	402,45kg
Adjuvant	5,75kg	5,75kg	5,75kg	5,75kg	5,75kg
Addition	172,48kg	172,48kg	172,48kg	172,48kg	172,48kg
Eau	217,14L	217,14L	217,14L	217,14L	217,14L
Fibre Polypropylènes	0%	0.5%	0.5%	1%	1%
Fibre métallique	0%	0.5%	1%	0.5%	1%
E/C	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4

5.6. Procédure :

5.6.1. Mélanges :

La préparation des échantillons d'un béton autoplaçant bi-fibré avec matrice cimenteuse constante. Pour ce faire nous avons adopté une formulation prédéfinie, tout en respectant la réalité économique, pour le choix des fines (ciment et addition) et des granulats les plus proches et les fibres les plus disponibles sur marché.

Le béton a été réalisé au niveau de chantier.

5.6.2 Préparation de béton:

Tous les mélanges ont été fabriqués dans un malaxeur sur chantier a wilaya de Biskra, le même procédure de gâchage a été utilisée pour tous les bétons (même pour le béton sans fibre)

Incorporation des gravillons, du ciment, du filler et du sable et malaxage durant 30 seconds. Ajout des fibres et malaxage pour 60 seconds.

Ajout de l'eau et du superplastifiant liquide, et malaxage pendant 210secondes

La durée effective totale du malaxage est de 05 minutes.

Après la réalisation des essais d'ouvrabilité, les bétons ont été remalaxés pendant 01 minute puis mise en place dans les moules.

Les moules remplis sans aucune vibration, puis les éprouvettes one été démoulées 24H après le coulage.

5.6.3. Procédure des essais:

5.6.3.1 Essai sur Béton :

Deux familles d'essais sont réalisées pour caractériser nos mélanges ; les essais à l'état frais pour évaluer la maniabilité et l'ouvrabilité du béton, et les essais à l'état durci pour déterminer les performances mécaniques.

5.6.3.1.1 Essais réalisés à l'état frais

Il existe dans la littérature plusieurs tests caractérisant les propriétés rhéologiques des BAPF. Cependant, dans notre étude, nous nous basons sur les essais recommandés par l'AFGC

Dans notre étude on valide les trois essais suivants:

_ *L'essai d'étalement au cône d'Abrams* (cf. photo) vérifie la bonne fluidité du béton réalisé. Il faut obtenir un étalement compris entre 640mm et 720mm pour valider cet essai.

_ *L'essai d'écoulement à la L-box ou boîte en L* (cf. schéma) vérifie que le béton a la capacité de traverser les armatures d'un coffrage sans avoir besoin de vibration. Il faut obtenir un rapport **H2/H1** supérieur à **0,80**

_ *L'essai de stabilité au tamis* (cf. photo) vérifie la bonne homogénéité du béton réalisé. En effet, cet essai met en évidence la ségrégation et le ressuage du béton.

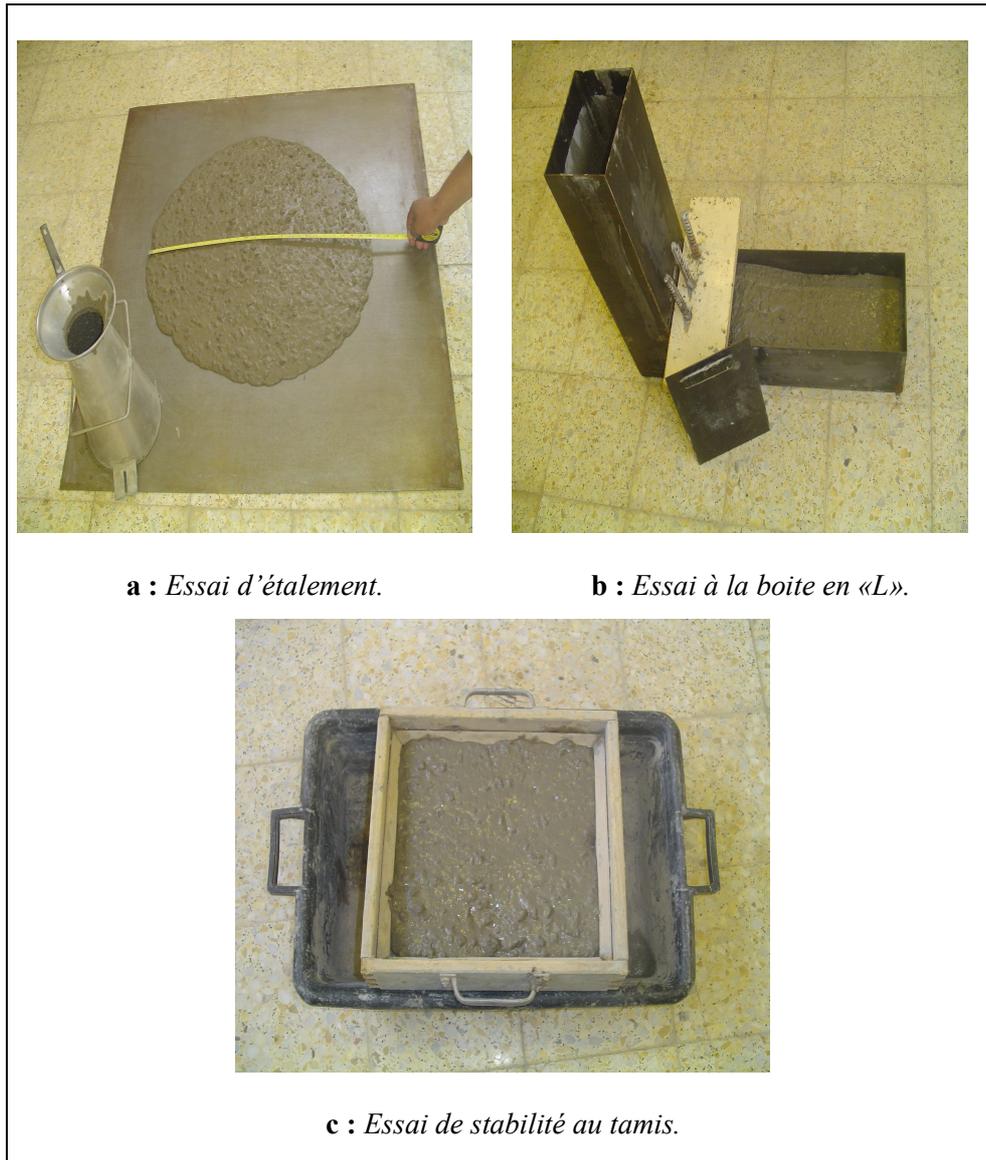


Photo 5.1 : Dispositifs mesurant les propriétés rhéologiques des bétons.

Le programme de tous les essais réalisés à l'état frais est résumé dans le **tableau (5.2)**.

Tableau 5.2 : Programme des essais réalisés à l'état frais.

Type d'essais	Paramètre étudié	Valeur mesurée	cibles	Unité
Etalement	fluidité	Etalement : D	≥ 60	[cm]
Boîte en «l»	déformabilité	taux de remplissage : H_2/H_1	≥ 0.8	--
Stabilité au tamis	stabilité	indice de ségrégation : π	≤ 15	[%]

5.6.3.1.2 Essai sur le béton durci :

5.6.3.1.2.1 Résistance à la compression :

a)- Par écrasement:

Les essais de résistance à la compression (R_c) par écrasement ont été effectués sur des éprouvettes cubiques 10x10x10 cm conformément à la norme NFP 18-406. La résistance à la compression est calculée à partir de la moyenne de 3 essais réalisés sur des éprouvettes identiques. L'écrasement des éprouvette est fait sur une presse hydraulique de force 1300 KN et répondant aux normes NFP 18-411, NFP 18-412

La résistance à la compression R_c sera calculée par la formule suivante

$$R_c = \frac{P_{\max}}{S}$$



Photo 5.2 une presse hydraulique

b) Le scléromètre :

On a fait une série de **6 points de mesures** sur chaque zone d'essai. La distance entre deux mesures est au moins de **2 cm**, et aucune mesure n'est effectuée à moins de **3 cm** des bords de la surface testée. On fait ensuite la moyenne de ces **6 mesures**. Les valeurs qui correspondent à des anomalies doivent être éliminées.

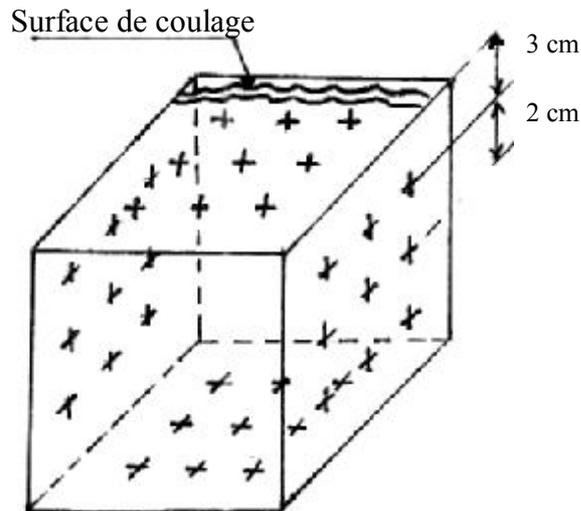


Figure (5.1): Points de mesures scléromètre

c) La vitesse du son :

Les mesures sont en transparence **3 points de mesures** sur chaque zone d'essai. On a fait les mesures entre la face de coulé et la face opposée (Vh). Puis entre deux faces de cotées (Vv).

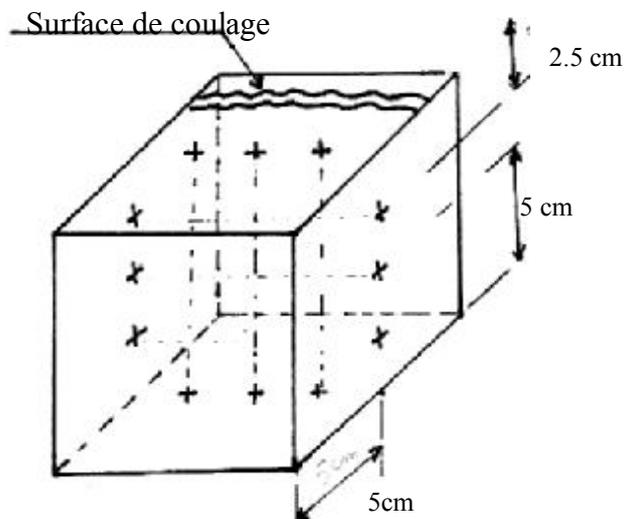


Figure (5.2): Points de mesures ultrason

CHAPITRE -6-

RESULTATS ET ANALYSES

6.1 Introduction

Dans ce chapitre nous présentons les résultats obtenus sur un béton autoplaçant bi-fibré (fibres polypropylène et fibres métalliques) et matrice cimentuse constante (une formulation prédéfinie) avec utilisation d'essais destructifs (la résistance en compression) et les essais non destructifs (l'indice sclérométrique, la vitesse du son et la méthode combinée.) sur des cubes de 10x10x10 cm réalisés sur chantier.

6.2 Résultats et analyses

Les résultats obtenir représente la résistance à la compression du béton autoplaçant avec la combinaison de deux types de fibres pour les deux méthodes (destructifs et non destructifs).

6.2.1 Résistance et densité

Les valeurs de la résistance à la compression et les masses des différent cubes de béton suivant l'âge sont reportés au tableaux (6.1), (6.2), (6.3), (6.4) et (6.5)

Les figures (6.1), (6.2), (6.3), (6.4) et (6.5) montrent la résistance à la compression en fonction de l'âge de chaque type de béton utiliser dons notre étude.

Tableau (6.1) : Résistance à la compression et masse volumique du **BAPF_{BT}**

Age (jours)	Masse spécifique (kg/m ³)	Résistance (N/mm ²)
3	2319.00	15
7	2325.00	23
14	2352.00	28.5
21	2358.00	34
28	2315.00	45

Tableau (6.2) : Résistance à la compression et masse volumique du BAPF_{0.5P-0.5M}

Age (jours)	Masse spécifique (kg/m ³)	Résistance (N/mm ²)
3	2385.00	16.5
7	2355.00	22.5
14	2328.00	29.5
21	2318.00	37.8
28	2345.00	49.6

Tableau (6.3) : Résistance à la compression et masse volumique du BAPF_{1P-0.5M}

Age (jours)	Masse spécifique (kg/m ³)	Résistance (N/mm ²)
3	2355.00	14.8
7	2315.00	20
14	2395.00	25
21	2235.00	32.5
28	2321.00	42

Tableau (6.4) : Résistance à la compression et masse volumique du BAPF_{0.5P-1M}

Age (jours)	Masse spécifique (kg/m ³)	Résistance (N/mm ²)
3	2293.00	14.1
7	2282.00	19
14	2345.00	26
21	2315.00	33.5
28	2325.00	41.2

Tableau (6.5) : Résistance à la compression et masse volumique du BAPF_{1P-1M}

Age (jours)	Masse spécifique (kg/m ³)	Résistance (N/mm ²)
3	2313.00	13
7	2322.00	18.8
14	2345.00	27
21	2295.00	33.5
28	2325.00	40.9

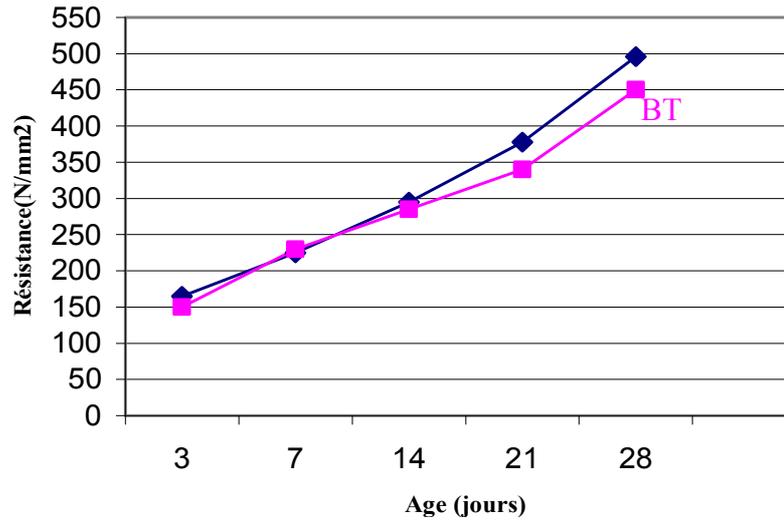


Figure (6.1) : Résistance à la compression de $BAPF_{0.5P-0.5M}$ en fonction de l'âge (en jours).

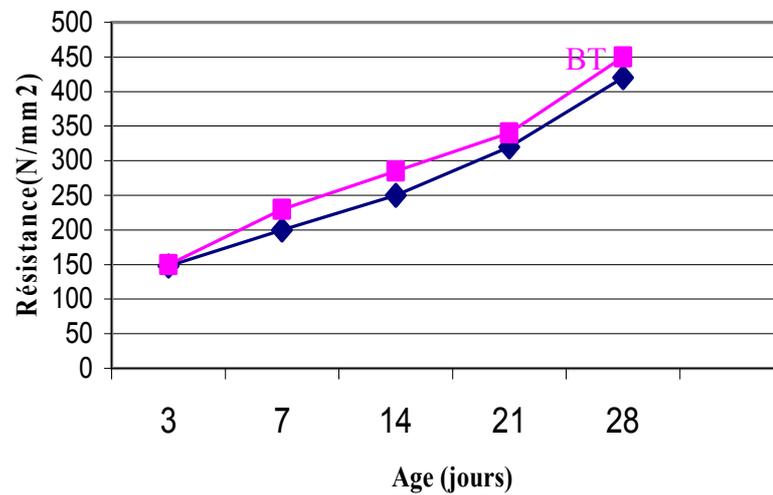


Figure (6.2) : Résistance à la compression de $BAPF_{1P-0.5M}$ en fonction de l'âge (en jours).

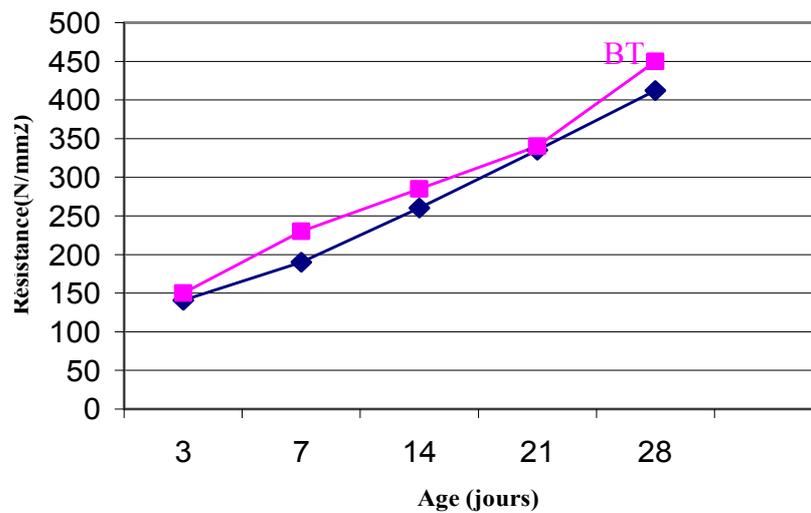


Figure (6.3) : Résistance à la compression de $BAPF_{0.5P-1M}$ en fonction de l'âge (en jours).

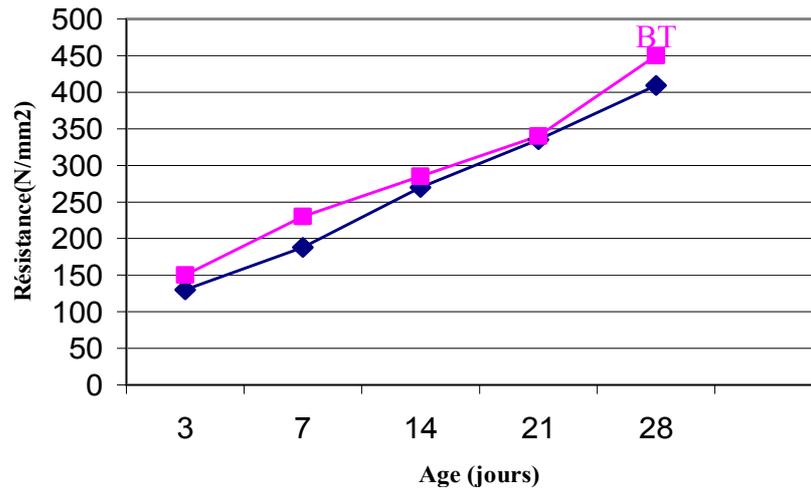


Figure (6.4) : Résistance à la compression de **BAPF_{1P-1M}** en fonction de l'âge (en jours).

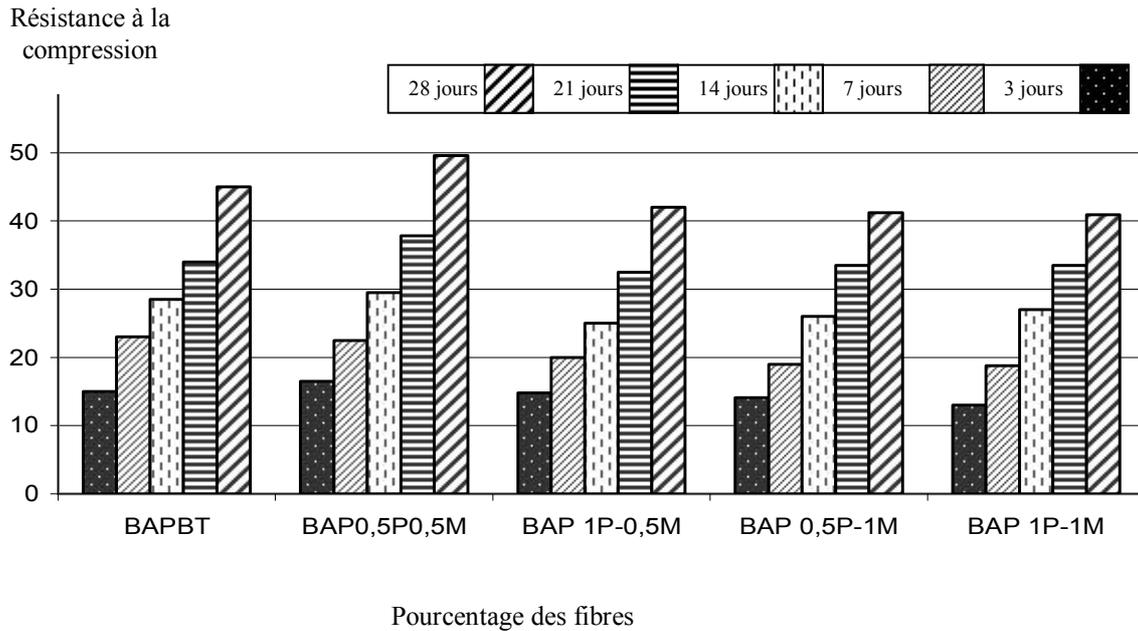


Figure (6.6) : Influence de Pourcentage des fibres (Métallique et polypropylène) sur la résistance à la compression en fonction de l'âge du béton.

Commentaires :

D'après les résultats obtenus, nous constatons que :

- La résistance augmente avec L'augmentation de l'âge du béton.
- La résistance à la compression diminue avec L'augmentation du pourcentage des fibres. Ceci est montré sur figures (6.1), (6.2), (6.3), (6.4).et (6.5).

La figure (6.6) nous montre que :

- il y'a une certaine amélioration de la résistance R_c dans le cas ou le pourcentage de fibres est **0.5% Métallique et 0.5% polypropylène**

6.2.2 La vitesse du son

Les valeurs de la vitesse du son des différent cubes de béton suivant l'âge et la position de mesure, sont reportés au tableaux (6.5), (6.6), (6.7), (6.8)et(6.9).

Vv : la vitesse du son entre la face de coulage et la face opposée (mesure verticale).

Vh : la vitesse du son entre les faces de cotées (mesure horizontale).

On a utilisé les deux positions verticales et horizontales pour les mesures de vitesse de propagation de son dans le béton, ces a cause de différentes positions de mesure dans le pratique selon l'élément à tester poteau, poutre ..., selon la répartition des fibres dans le béton

Tableau (6.6) : la vitesse de propagation de son d'un échantillon du **BAPF_{BT}** en fonction de la position et l'âge du béton.

Délai Conservation	la vitesse du son					
	position	Vv	Moy	position	Vh	Moy
3 jours	Haut	3.57	3.57	Haut	3.59	3.57
	Milieu	3.51		Milieu	3.60	
	bas	3.64		bas	3.54	
7 jours	Haut	3.44	3.46	Haut	3.45	3.46
	Milieu	3.48		Milieu	3.46	
	bas	3.46		bas	3.47	
14 jours	Haut	3.99	3.99	Haut	3.97	4.05
	Milieu	4.00		Milieu	4.02	
	bas	3.99		bas	4.16	
21 jours	Haut	4,20	4,30	Haut	4,35	4,31
	Milieu	4,30		Milieu	4,20	
	bas	4,42		bas	4,39	
28 jours	Haut	4.54	4.59	Haut	4.53	4.57
	Milieu	4.62		Milieu	4.59	
	bas	4.64		bas	4.60	

Tableau (6.7) : la vitesse de propagation de son d'un échantillon du **BAPF_{0.5P-0.5M}** en fonction de la position, l'âge du béton.

Délai Conservation	la vitesse du son					
	position	Vv	Moy	position	Vh	Moy
3 jours	Haut	3.59	3.61	Haut	3.62	3.63
	Milieu	3.61		Milieu	3.63	
	bas	3.64		bas	3.65	
7 jours	Haut	3.45	3.45	Haut	3.45	3.46
	Milieu	3.46		Milieu	3.47	
	bas	3.44		bas	3.46	
14 jours	Haut	4.00	4.07	Haut	4.07	4.11
	Milieu	4.10		Milieu	4.12	
	bas	4,11		bas	4.16	
21 jours	Haut	4,39	4,42	Haut	4,40	4,38
	Milieu	4,42		Milieu	4,35	
	bas	4,45		bas	4,39	
28 jours	Haut	4.78	4.77	Haut	4.78	4.78
	Milieu	4.76		Milieu	4.79	
	bas	4.77		bas	4.79	

Tableau (6.8) : la vitesse de propagation de son d'un échantillon du **BAPF_{1P-0.5M}** en fonction de la position, l'âge du béton.

Délai Conservation	la vitesse du son					
	position	Vv	Moy	position	Vh	Moy
3 jours	Haut	3.46	3.45	Haut	3.42	3.46
	Milieu	3.45		Milieu	3.47	
	bas	3.44		bas	3.50	
7 jours	Haut	3.43	3.44	Haut	3.49	3.45
	Milieu	3.45		Milieu	3.48	
	bas	3.46		bas	3.40	
14 jours	Haut	3.98	3.98	Haut	4.01	4.01
	Milieu	4.01		Milieu	4.03	
	bas	3.97		bas	3.99	
21 jours	Haut	4,20	4,26	Haut	4,25	4,28
	Milieu	4,31		Milieu	4,29	
	bas	4,29		bas	4,30	
28 jours	Haut	4.44	4.48	Haut	4.52	4.51
	Milieu	4.54		Milieu	4.51	
	bas	4.46		bas	4.50	

Tableau (6.9) : la vitesse de propagation de son d'un échantillon du **BAPF_{0,5P-1M}** en fonction de la position, l'âge du béton.

Délai Conservation	la vitesse du son					
	position	Vv	Moy	position	Vh	Moy
3 jours	Haut	3.42	3.44	Haut	3.41	3.40
	Milieu	3.45		Milieu	3.37	
	bas	3.47		bas	3.44	
7 jours	Haut	3.34	3.41	Haut	3.47	3.43
	Milieu	3.49		Milieu	3.41	
	bas	3.41		bas	3.42	
14 jours	Haut	4,01	3.98	Haut	3.97	4.00
	Milieu	3.99		Milieu	4.02	
	bas	3.95		bas	4.01	
21 jours	Haut	4,21	4,21	Haut	4,22	4,20
	Milieu	4,23		Milieu	4,19	
	bas	4,20		bas	4,21	
28 jours	Haut	4.34	4.37	Haut	4.41	4.43
	Milieu	4.42		Milieu	4.49	
	bas	4.36		bas	4.40	

Tableau (6.10) : la vitesse de propagation de son d'un échantillon du **BAPF_{1P-1M}** en fonction de la position, l'âge du béton.

Délai Conservation	la vitesse du son					
	position	Vv	Moy	position	Vh	Moy
3 jours	Haut	3.41	3.42	Haut	3.39	3.40
	Milieu	3.41		Milieu	3.38	
	bas	3.44		bas	3.44	
7 jours	Haut	3.41	3.40	Haut	3.45	3.46
	Milieu	3.38		Milieu	3.41	
	bas	3.41		bas	3.46	
14 jours	Haut	3.95	3.94	Haut	3.97	3.95
	Milieu	3.96		Milieu	3.92	
	bas	3.92		bas	3.98	
21 jours	Haut	4,19	4,20	Haut	4,21	4,20
	Milieu	4,21		Milieu	4,20	
	bas	4,20		bas	4,21	
28 jours	Haut	4.30	4.27	Haut	4.33	4.30
	Milieu	4.29		Milieu	4.28	
	bas	4.23		bas	4.31	

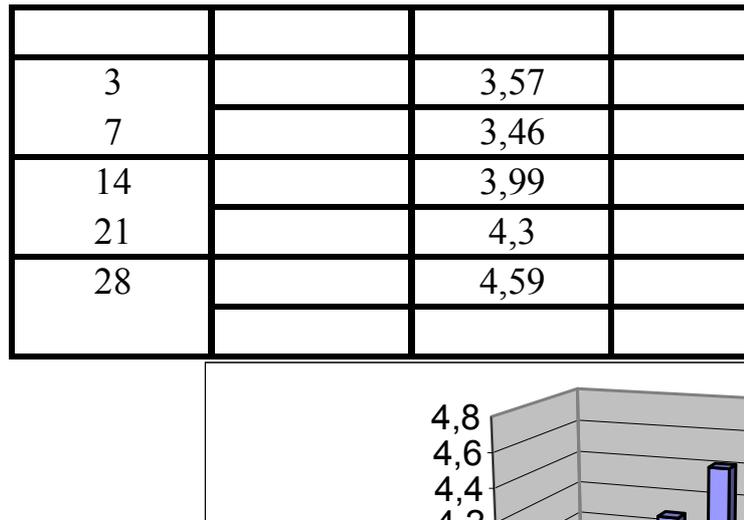


Figure (6.7) : la vitesse de propagation du son V_v du $BAPF_{BT}$ en fonction de l'âge (en jours).

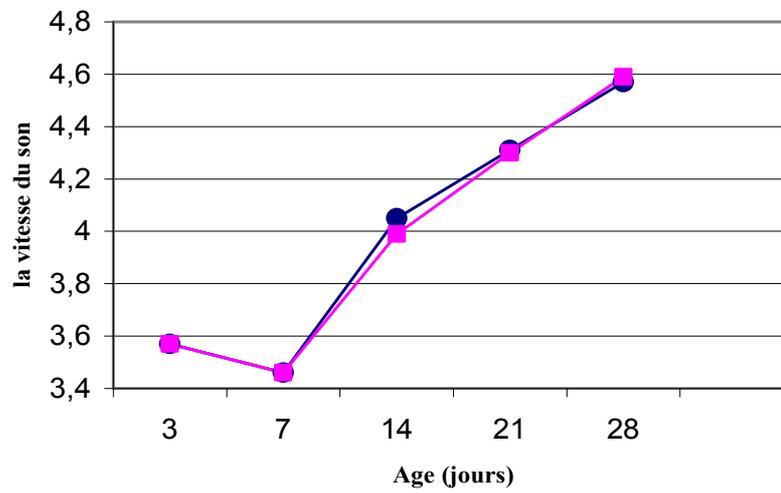


Figure (6.8) : la vitesse de propagation du son V_h du $BAPF_{BT}$ en fonction de l'âge (en jours).

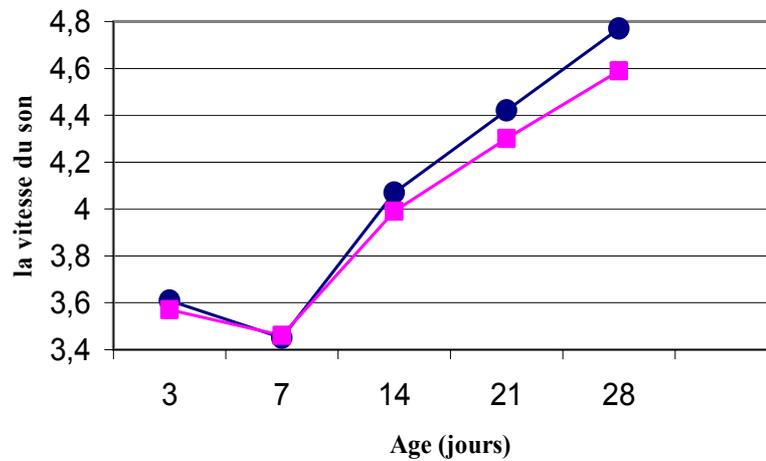


Figure (6.9) : la vitesse de propagation du son V_v du $BAPF_{0.5P-0.5M}$ en fonction de l'âge (en jours).

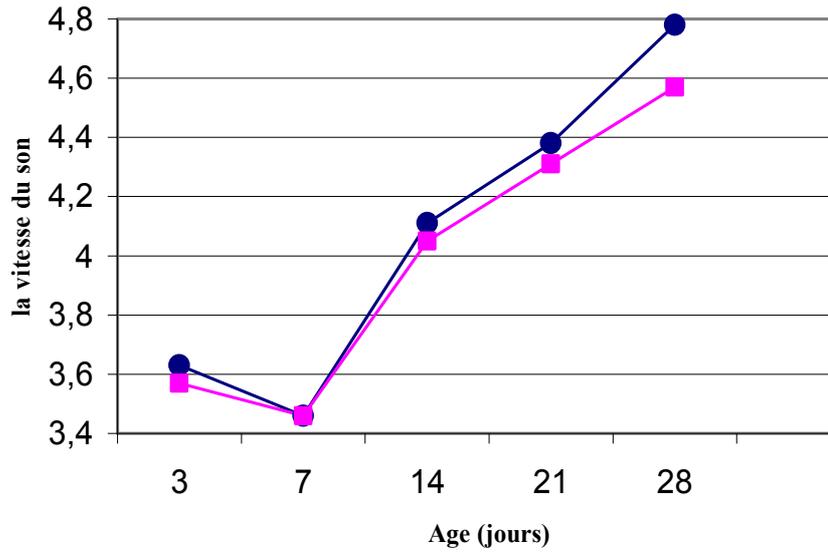


Figure (6.10) : la vitesse de propagation du son V_h du $BAPF_{0.5P-0.5M}$ en fonction de l'age (en jours).

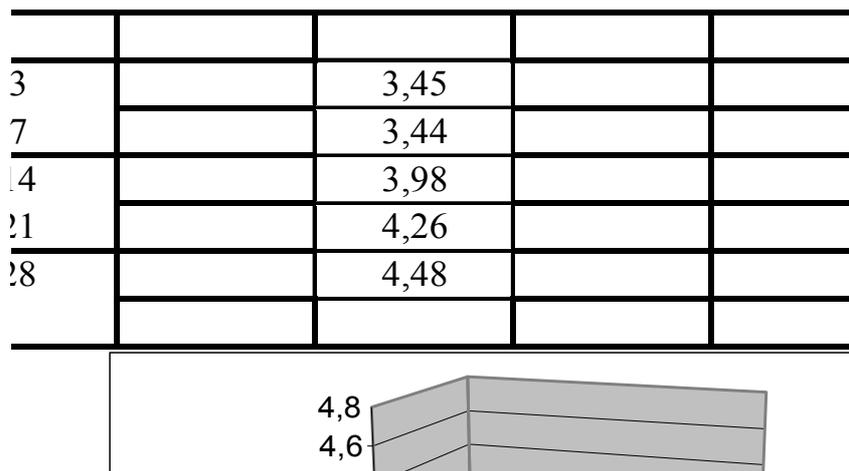


Figure (6.11) : la vitesse de propagation du son V_v du $BAPF_{1P-0.5M}$ en fonction de l'âge (en jours).

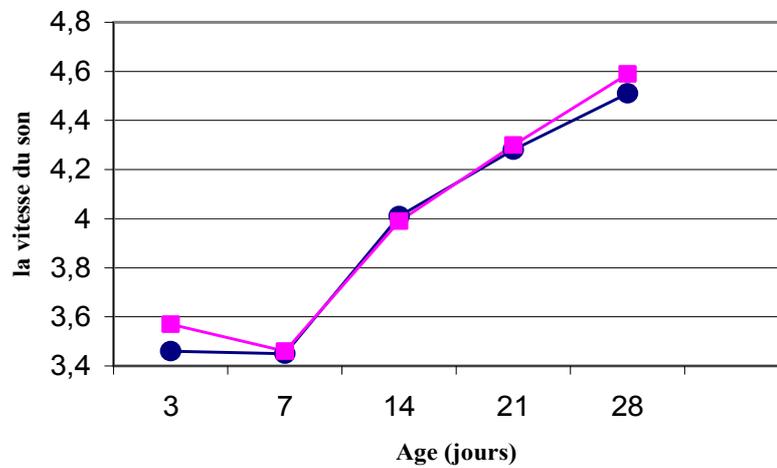


Figure (6.12) : la vitesse de propagation du son Vh du $BAPF_{1P-0.5M}$ en fonction de l'âge (en jours).

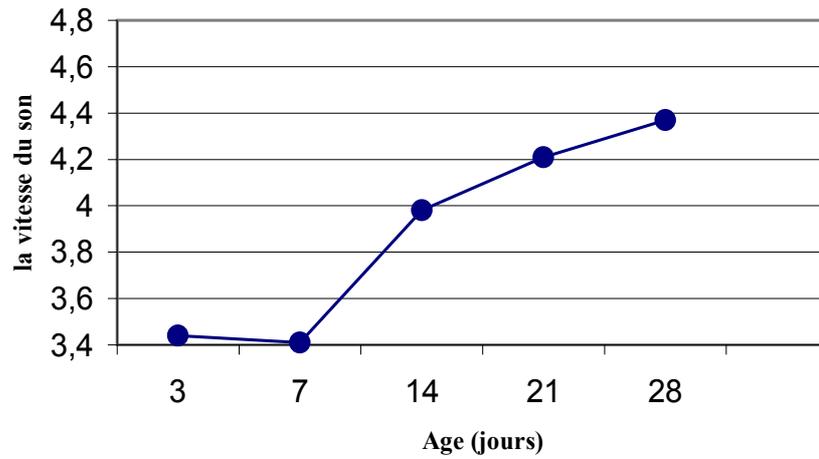


Figure (6.13) : la vitesse de propagation du son Vv du $BAPF_{0.5P-1M}$ en fonction de l'âge (en jours).

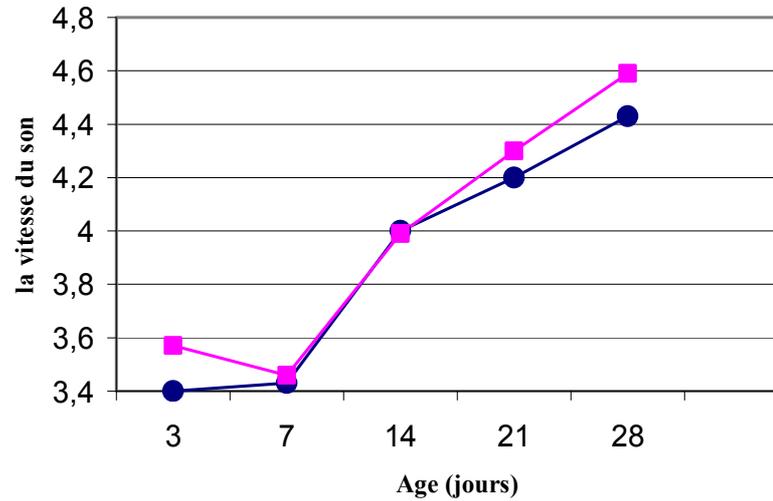


Figure (6.14) : la vitesse de propagation du son Vh du $BAPF_{0.5P-1M}$ en fonction de l'âge (en jours).

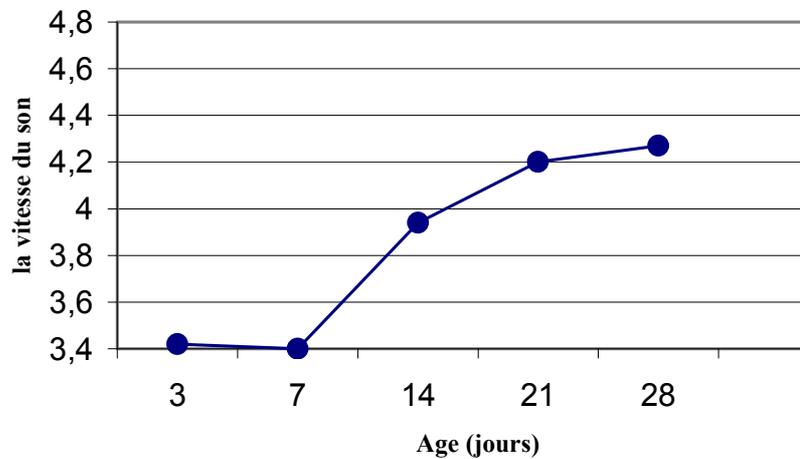


Figure (6.15) : la vitesse de propagation du son Vv du $BAPF_{1P-1M}$ en fonction de l'âge (en jours).

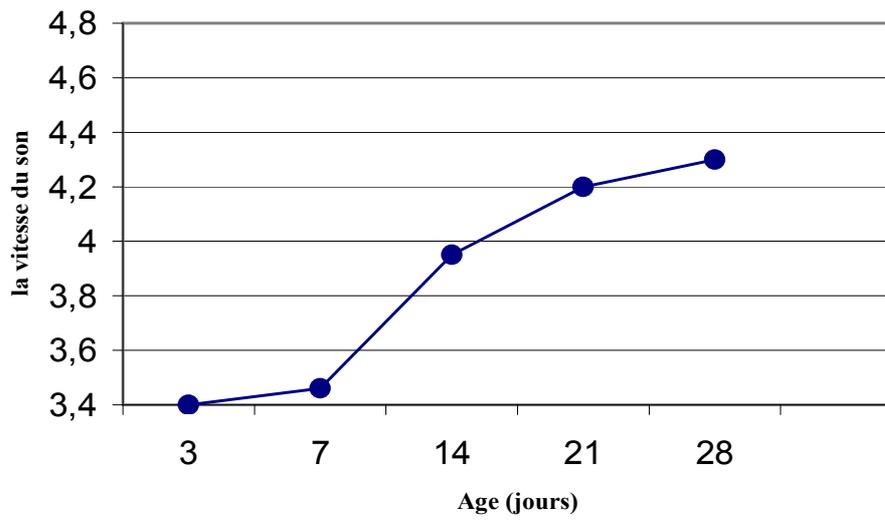


Figure (6.16) : la vitesse de propagation du son V_h du $BAPF_{1P-1M}$ en fonction de l'âge (en jours).

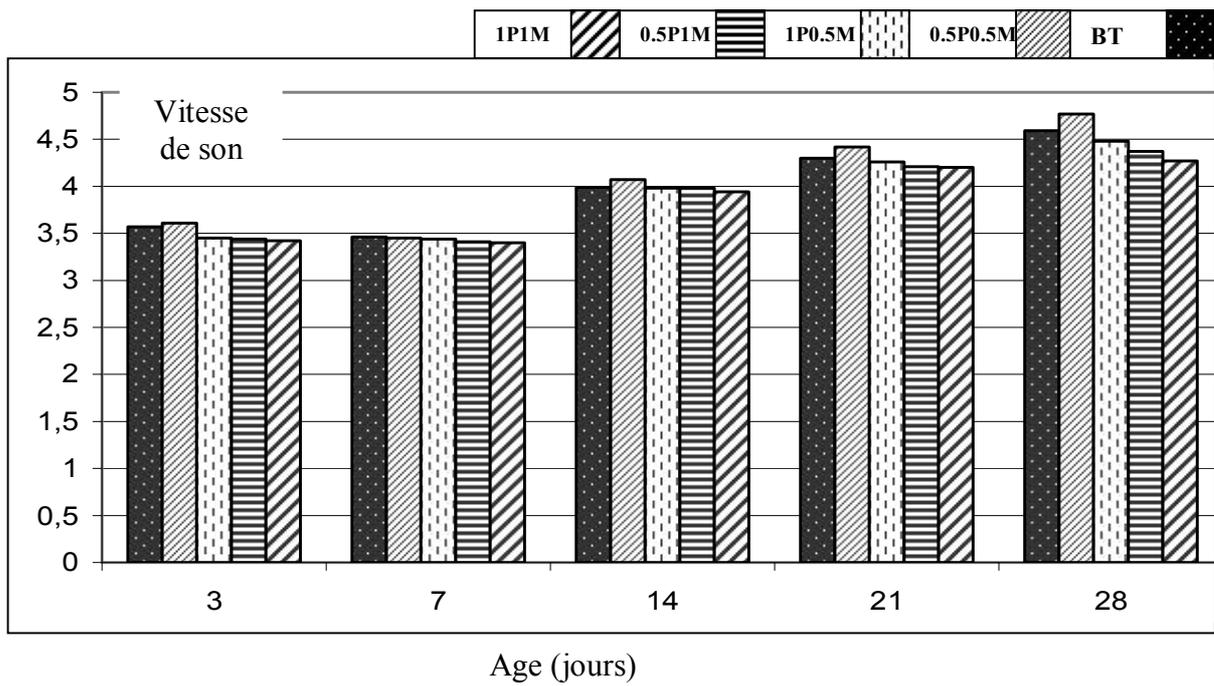


Figure (6.17) : Influence de Pourcentage des fibres (Métallique et polypropylène) et la position de mesure (V_v) sur la vitesse de propagation du son en fonction de l'âge du béton.

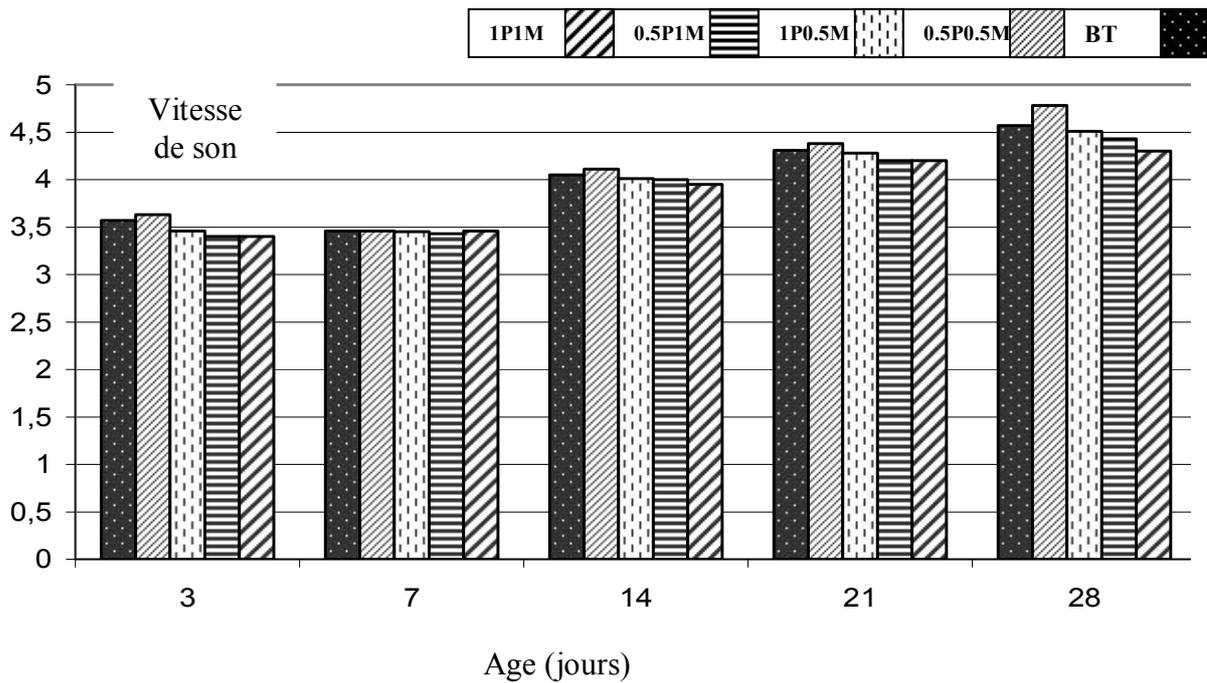


Figure (6.18) : Influence de Pourcentage des fibres (Métallique et polypropylène) et la position de mesure (V_h) sur la vitesse de propagation du son en fonction de l'âge du béton.

Commentaires :

D'après les résultats obtenus, nous constatons que :

La résistance augmente avec l'augmentation de l'âge du béton.

- La vitesse de propagation du son dans le béton augmente avec l'augmentation de l'âge du béton quelque soit le type de béton.
- La vitesse de propagation du son du béton diminue avec l'augmentation du pourcentage des deux types de fibres quelque soit le type de béton.
- La vitesse du son varie dans le selon la position mesurée (haut, milieu et bas) des cubes.
- La vitesse du son à l'âge de trois jours est supérieure à celle de sept jours, à cause de la présence d'eau dans le béton, quelque soit le pourcentage de fibres (0%,0.5% ,1%) pour les combinaisons des deux types de fibres. Cette augmentation de vitesse de son est attribuée au fait que les impulsions ultrasoniques voyagent par les pores remplis par l'eau, par contre à l'état sec les impulsions ultrasoniques voyagent autour des bords de pore.

- Donc le chemin de voyage diminue le temps diminue et la vitesse de propagation de son augmente.
- On remarque que l'utilisation d'un pourcentage de fibres :(0.5% fibres métalliques et 0.5% polypropylène) nous donne une vitesse de son plus grandes que le béton témoin et l'utilisation d'un pourcentage de fibres de :(1 % de fibres métalliques et 1 % polypropylène) nous donne une vitesse de son plus faible que le béton témoin.

Conclusion :

L'estimation de la résistance à la compression en fonction de la vitesse du son représente une certaine fiabilité quelque soit le type de béton et explique la réalité du comportement du béton suivant, la position de mesure et l'âge des échantillons utilisés.

La vitesse de propagation de son diminue avec l'augmentation du pourcentage de combinaison de fibres, Ce comportement est expliqué par les aspects de porosité (des vides créés par la quantité des fibres inclus) au-delà de 0,5% pour les types de fibres utilisée

6.2.3 L'indice sclérométrique

Les valeurs de l'indice sclérométrique des différents cubes de béton suivant l'âge et la position de mesure, sont reportées au tableaux (6.11), (6.12), (6.13), (6.14)et (6.15).

Avec

Rv : l'indice sclérométrique de face de coulage et la face opposée (Face1 et Face2).

Rh : l'indice sclérométrique de face de cotées (Face3 et Face4).

Les figures (6.16), (6.17), (6.18), (6.19), (6.20), (6.21), (6.22), (6.23) montrent l'indice sclérométrique en fonction de l'âge de chaque type de béton en prenant en considération les positions des mesures (face de coulage, face opposée (Rv) et saces latérales (Rh))

Tableau (6.11) : l'indice sclérométrique d'un échantillon du BAPF_{BT}.

Conservation dans l'eau	l'indice sclérométrique							
	Rv				Rh			
	Face 1	Face 2	S	Moy	Face 3	Face 4	S	Moy
3 jours				0.00				0.00
7 jours	16.00	20.00	0.006	18.25	19.00	20.00	0.013	19.08
	14.00	19.00	0.165		20.00	20.00	0.048	
	18.00	20.00	0.052		19.00	19.00	0.022	
	15.00	20.00	0.024		19.00	18.00	0.071	
	19.00	20.00	0.055		18.00	18.00	0.052	
	19.00	19.00	0.046		20.00	19.00	0.024	
14 jours	24.00	25.00	0.006	24.08	23.00	25.00	0.010	24.83
	22.00	23.00	0.040		24.00	26.00	0.037	
	26.00	25.00	0.070		25.00	26.00	0.072	
	25.00	24.00	0.056		25.00	25.00	0.029	
	22.00	25.00	0.030		25.00	26.00	0.066	
	25.00	23.00	0.025		23.00	25.00	0.006	
21 jours	33.00	33.00	0.055	32.16	35.00	32.00	0.165	33.00
	32.00	34.00	0.077		32.00	32.00	0.084	
	30.00	31.00	0.021		35.00	35.00	0.075	
	32.00	32.00	0.097		31.00	33.00	0.103	
	32.00	32.00	0.051		32.00	33.00	0.056	
	31.00	34.00	0.066		34.00	32.00	0.030	
28 jours	35.00	35.00	0.006	34.83	35.00	34.00	0.025	34.25
	35.00	35.00	0.013		34.00	34.00	0.055	
	36.00	36.00	0.084		34.00	33.00	0.077	
	32.00	34.00	0.076		35.00	36.00	0.021	
	35.00	35.00	0.033		33.00	32.00	0.097	
	36.00	35.00	0.078		35.00	36.00	0.013	

Tableau (6.12) : l'indice sclérométrique d'un échantillon du **BAPF_{0.5M0.5P}**

Conservation dans l'eau	l'indice sclérométrique							
	Rv				Rh			
	Face 1	Face 2	S	Moy	Face 3	Face 4	S	Moy
3 jours				0.00				0.00
7 jours	18.00	18.00	0.067	17.00	16.00	18.00	0.056	18.16
	15.00	19.00	0.054		19.00	18.00	0.108	
	15.00	20.00	0.147		19.00	19.00	0.147	
	16.00	20.00	0.066		19.00	15.00	0.138	
	16.00	16.00	0.046		17.00	19.00	0.066	
	16.00	15.00	0.017		19.00	20.00	0.123	
14 jours	22.00	25.00	0.063	24.83	25.00	26.00	0.111	25.50
	24.00	25.00	0.156		26.00	25.00	0.033	
	26.00	24.00	0.055		26.00	26.00	0.067	
	24.00	26.00	0.081		25.00	25.00	0.054	
	26.00	25.00	0.029		25.00	25.00	0.147	
	26.00	25.00	0.080		26.00	26.00	0.066	
21 jours	33.00	34.00	0.047	34.67	36.00	33.00	0.063	34.50
	36.00	34.00	0.128		36.00	36.00	0.044	
	35.00	36.00	0.047		35.00	35.00	0.066	
	34.00	36.00	0.128		32.00	36.00	0.046	
	34.00	35.00	0.042		34.00	34.00	0.048	
	35.00	34.00	0.037		32.00	35.00	0.087	
28 jours	35.00	36.00	0.017	35.00	35.00	36.00	0.076	35.08
	35.00	34.00	0.063		36.00	34.00	0.006	
	38.00	34.00	0.156		34.00	35.00	0.336	
	34.00	36.00	0.055		35.00	35.00	0.041	
	34.00	35.00	0.013		36.00	35.00	0.087	
	34.00	35.00	0.054		34.00	36.00	0.041	

Tableau (6.13) : l'indice sclérométrique d'un échantillon du BAPF_{1M0.5P}

Conservation dans l'eau	l'indice sclérométrique							
	Rv				Rh			
	Face 1	Face 2	S	Moy	Face 3	Face 4	S	Moy
3 jours				0.00				0.00
7 jours	18.00	19.00	0.014	17.08	18.00	18.00	0.028	18.00
	16.00	19.00	0.024		18.00	17.00	0.095	
	15.00	16.00	0.034		19.00	18.00	0.186	
	16.00	19.00	0.074		18.00	18.00	0.050	
	16.00	16.00	0.065		17.00	19.00	0.014	
	16.00	19.00	0.137		18.00	18.00	0.024	
14 jours	24.00	25.00	0.009	24.58	25.00	24.00	0.034	24.83
	24.00	25.00	0.038		26.00	25.00	0.074	
	26.00	24.00	0.059		25.00	25.00	0.065	
	24.00	26.00	0.043		24.00	25.00	0.137	
	24.00	24.00	0.054		25.00	25.00	0.127	
	25.00	24.00	0.034		25.00	24.00	0.095	
21 jours	35.00	35.00	0.074	35.08	35.00	35.00	0.041	34.83
	36.00	36.00	0.035		36.00	36.00	0.083	
	35.00	36.00	0.033		35.00	35.00	0.097	
	32.00	36.00	0.062		36.00	36.00	0.020	
	36.00	35.00	0.052		35.00	34.00	0.017	
	35.00	34.00	0.018		32.00	33.00	0.085	
28 jours	35.00	37.00	0.008	36.50	36.00	36.00	0.043	35.91
	37.00	35.00	0.037		36.00	35.00	0.054	
	38.00	38.00	0.027		36.00	35.00	0.034	
	37.00	37.00	0.121		36.00	36.00	0.024	
	36.00	36.00	0.035		37.00	36.00	0.022	
	36.00	36.00	0.075		37.00	36.00	0.018	

Tableau (6.14) : l'indice sclérométrique d'un échantillon du **BAPF_{0.5M1P}**

Conservation dans l'eau	l'indice sclérométrique							
	Rv				Rh			
	Face 1	Face 2	S	Moy	Face 3	Face 4	S	Moy
3 jours			/	0.00			/	0.00
7 jours	16.00	18.00	0.024	16.83	16.00	18.00	0.090	18.16
	15.00	18.00	0.078		18.00	18.00	0.034	
	16.00	18.00	0.035		19.00	19.00	0.023	
	16.00	20.00	0.033		18.00	18.00	0.196	
	16.00	17.00	0.082		19.00	19.00	0.048	
	17.00	15.00	0.009		18.00	18.00	0.148	
14 jours	26.00	25.00	0.022	25.50	27.00	26.00	0.078	26.16
	24.00	26.00	0.123		27.00	25.00	0.043	
	26.00	24.00	0.095		26.00	26.00	0.065	
	26.00	26.00	0.382		25.00	27.00	0.060	
	26.00	25.00	0.059		27.00	25.00	0.072	
	26.00	26.00	0.053		26.00	27.00	0.077	
21 jours	34.00	34.00	0.107	34.41	35.00	34.00	0.082	34.33
	36.00	35.00	0.151		36.00	36.00	0.009	
	34.00	35.00	0.133		34.00	35.00	0.022	
	34.00	35.00	0.043		32.00	36.00	0.123	
	35.00	35.00	0.065		34.00	35.00	0.095	
	34.00	32.00	0.034		32.00	35.00	0.150	
28 jours	36.00	35.00	0.023	35.50	35.00	35.00	0.216	36
	35.00	36.00	0.196		36.00	36.00	0.069	
	38.00	34.00	0.048		39.00	35.00	0.095	
	36.00	36.00	0.033		37.00	35.00	0.021	
	34.00	35.00	0.015		36.00	37.00	0.048	
	36.00	35.00	0.043		34.00	37.00	0.174	

Tableau (6.15) : l'indice sclérométrique d'un échantillon du **BAPF_{1M1P}**

Conservation dans l'eau	l'indice sclérométrique							
	Rv				Rh			
	Face 1	Face 2	S	Moy	Face 3	Face 4	S	Moy
3 jours				0.00				0.00
7 jours	18.00	17.00	0.009	17.00	17.00	18.00	0.148	18.33
	15.00	17.00	0.022		19.00	18.00	0.078	
	16.00	19.00	0.123		19.00	18.00	0.037	
	16.00	20.00	0.095		20.00	18.00	0.084	
	16.00	16.00	0.150		17.00	18.00	0.009	
	16.00	18.00	0.127		19.00	19.00	0.050	
14 jours	25.00	25.00	0.095	25.58	25.00	25.00	0.382	25.67
	28.00	25.00	0.041		25.00	26.00	0.059	
	26.00	25.00	0.083		26.00	26.00	0.103	
	25.00	26.00	0.097		25.00	25.00	0.084	
	26.00	25.00	0.020		26.00	25.00	0.075	
	26.00	25.00	0.017		26.00	28.00	0.103	
21 jours	35.00	34.00	0.085	34.00	35.00	33.00	0.080	34.83
	34.00	34.00	0.006		35.00	36.00	0.151	
	34.00	33.00	0.336		35.00	35.00	0.075	
	34.00	34.00	0.041		36.00	35.00	0.116	
	34.00	35.00	0.087		34.00	34.00	0.046	
	33.00	34.00	0.139		35.00	35.00	0.006	
28 jours	37.00	36.00	0.034	36.33	37.00	36.00	0.028	35.91
	35.00	36.00	0.123		37.00	37.00	0.095	
	38.00	37.00	0.006		35.00	35.00	0.186	
	36.00	36.00	0.165		35.00	35.00	0.050	
	36.00	37.00	0.084		36.00	36.00	0.014	
	36.00	36.00	0.075		35.00	37.00	0.024	

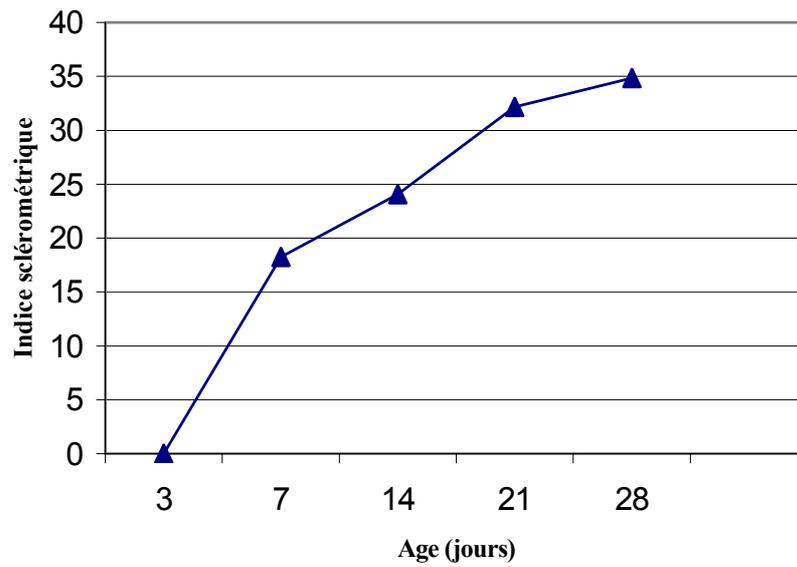


Figure (6.19) : l'indice sclérométrique (R_v) du BAPF_{BT} en fonction de l'âge (en jours).

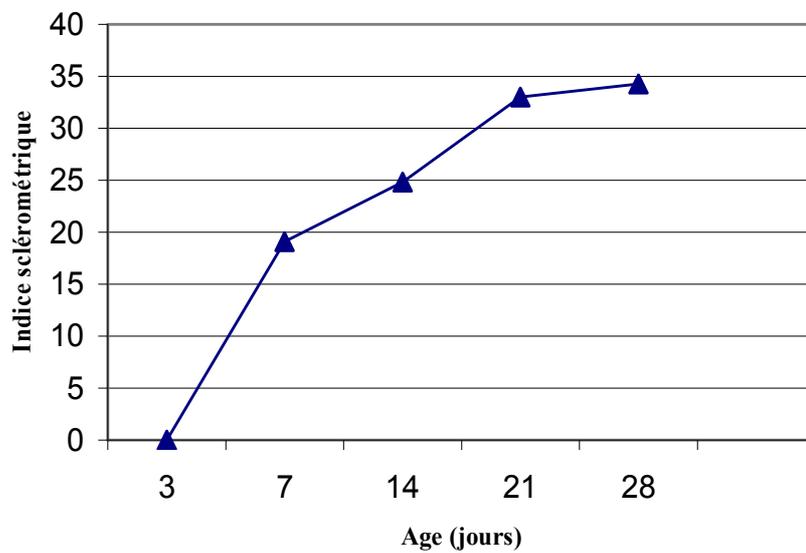


Figure (6.20) : l'indice sclérométrique (R_h) du BAPF_{BT} en fonction de l'âge (en jours).

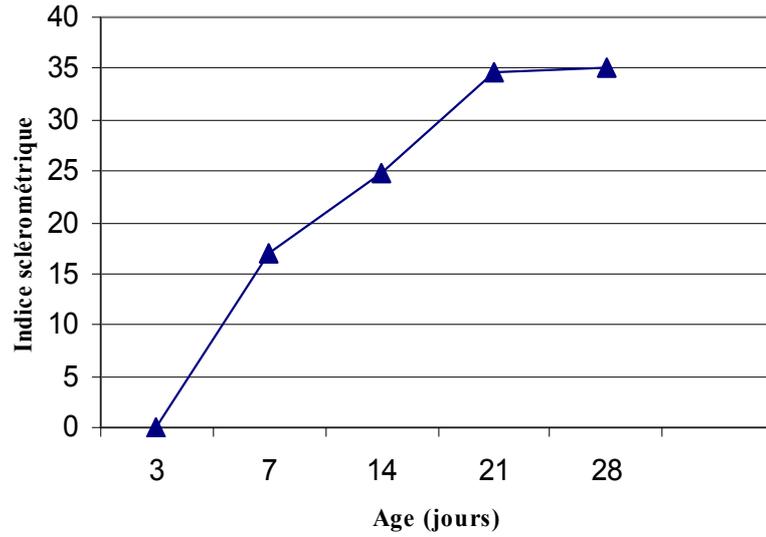


Figure (6.21) : l'indice sclérométrique (Rv) du BAPF_{0.5M0.5P} en fonction de l'âge (en jours).

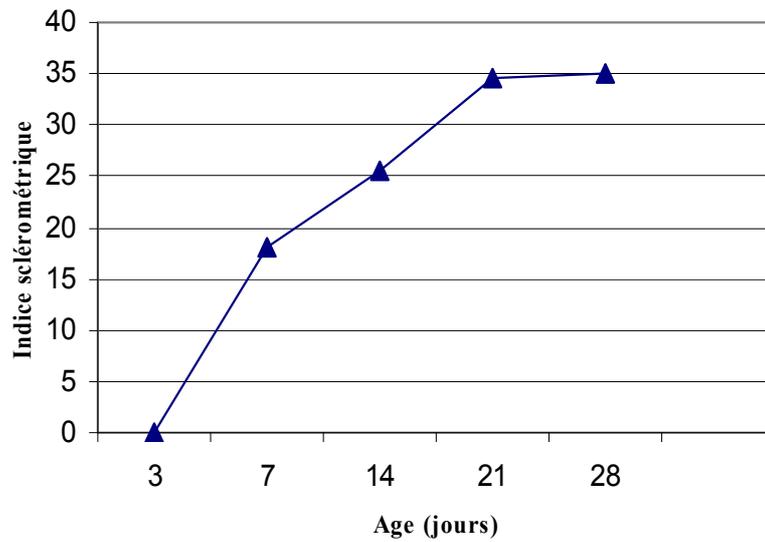


Figure (6.22) : l'indice sclérométrique (Rh) du BAPF_{0.5M0.5P} en fonction de l'âge (en jours).

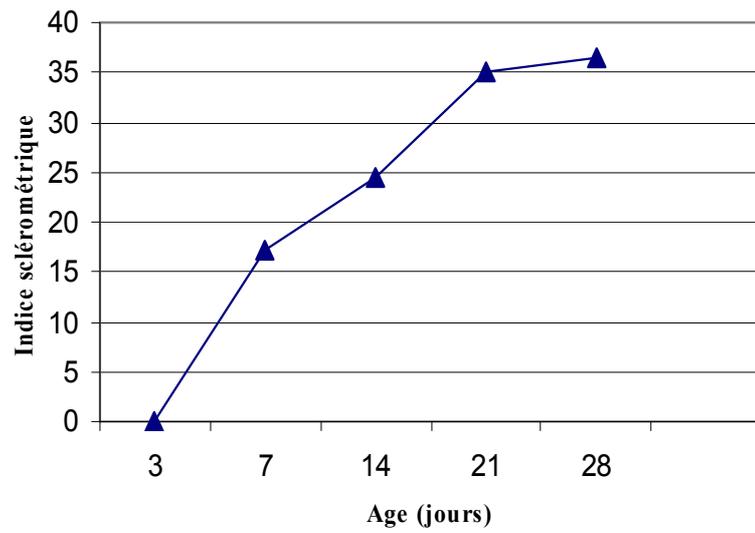


Figure (6.23) : l'indice sclérométrique (Rv) du BAPF_{0.5M1P} en fonction de l'âge (en jours).

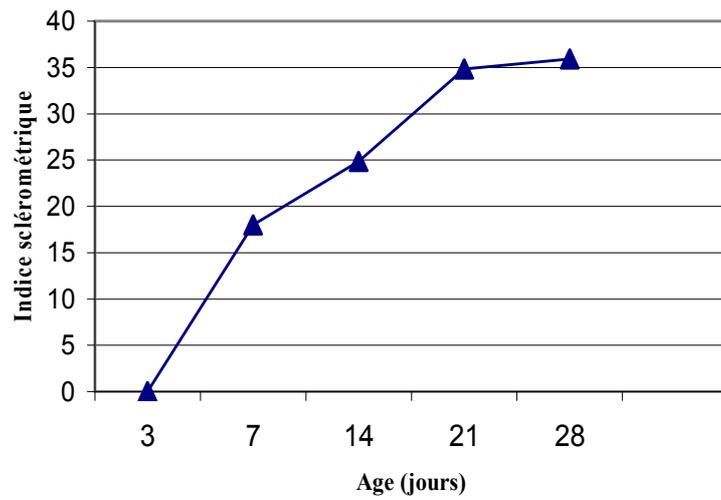


Figure (6.24) : l'indice sclérométrique (Rh) du BAPF_{0.5M1P} en fonction de l'âge (en jours).

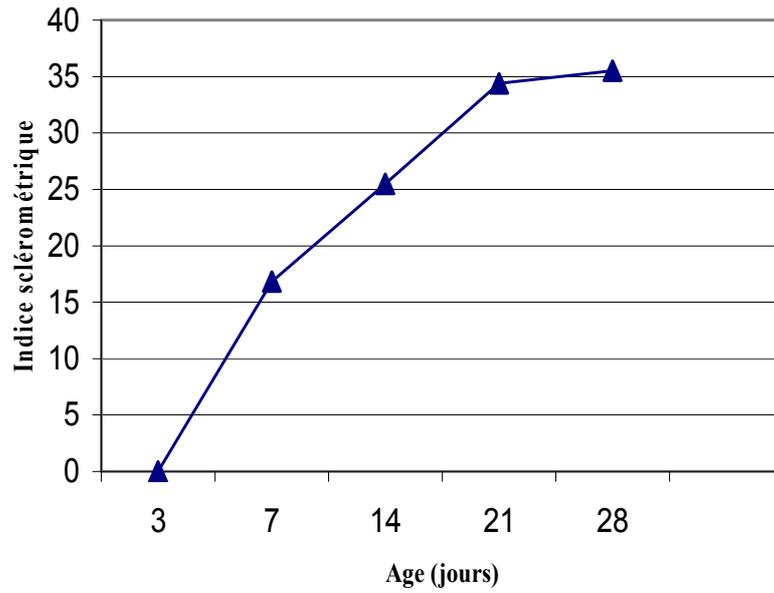


Figure (6.25) : l'indice sclérométrique (Rv) du BAPF_{1M0.5P} en fonction de l'âge (en jours).

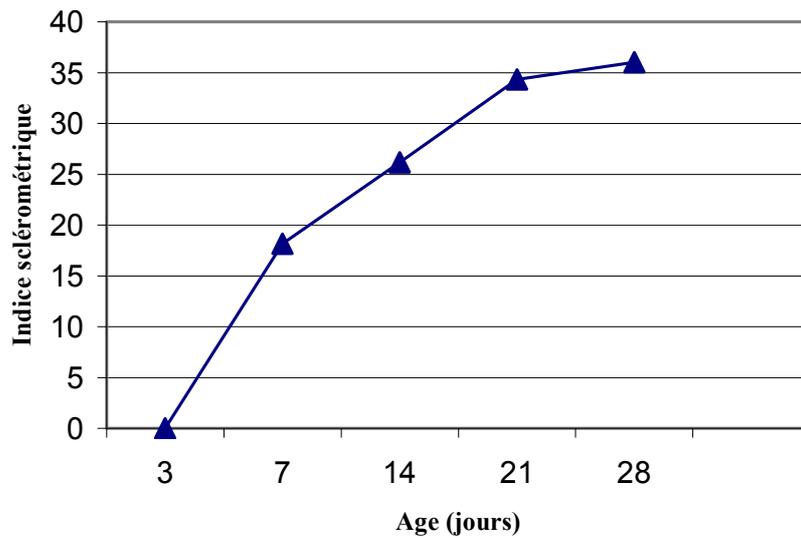


Figure (6.26) : l'indice sclérométrique (Rh) du BAPF_{1M0.5P} en fonction de l'âge (en jours).

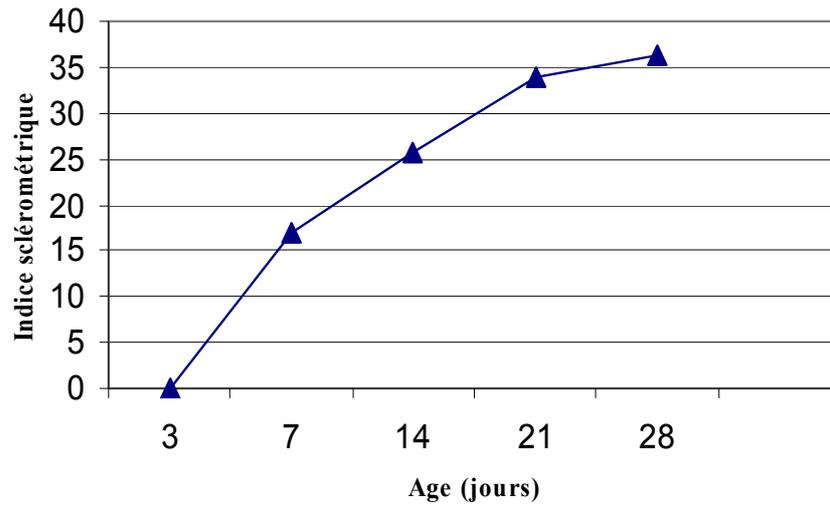


Figure (6.27) : l'indice sclérométrique (R_v) du BAPF_{1M1P} en fonction de l'âge (en jours).

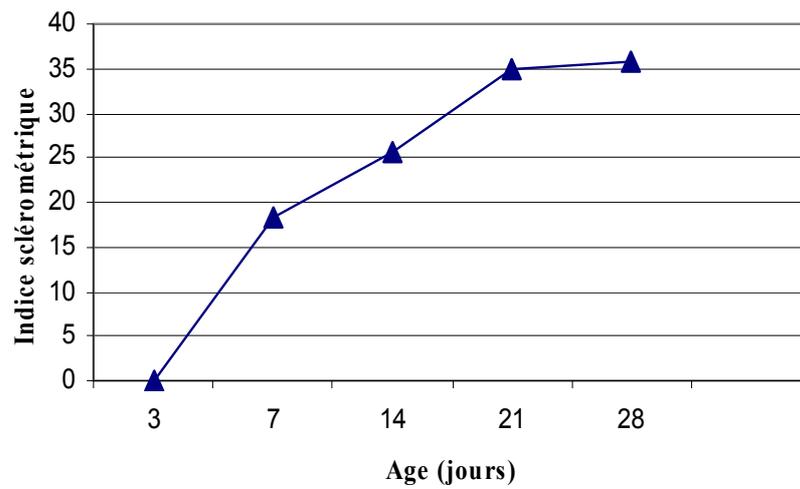


Figure (6.28) : l'indice sclérométrique (R_h) du BAPF_{1M1P} en fonction de l'âge (en jours).

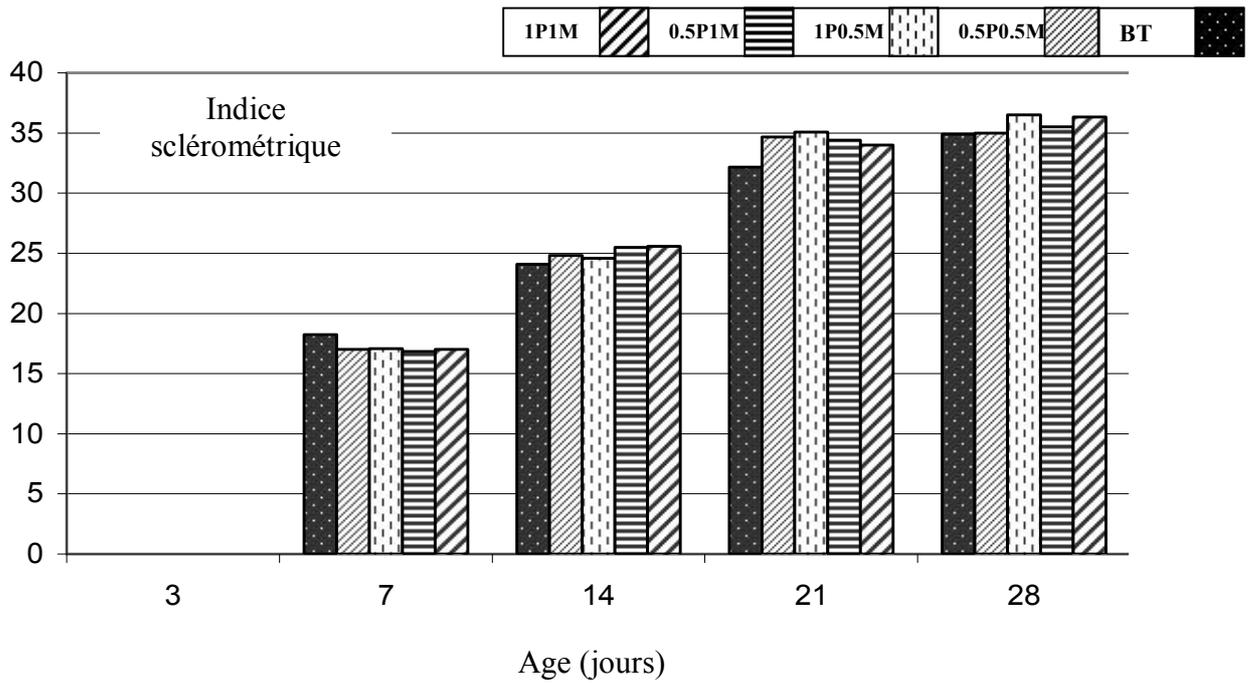


Figure (6.24) : l'indice sclérométrique (Rv) d'un échantillon du béton en fonction de la position et l'âge du béton

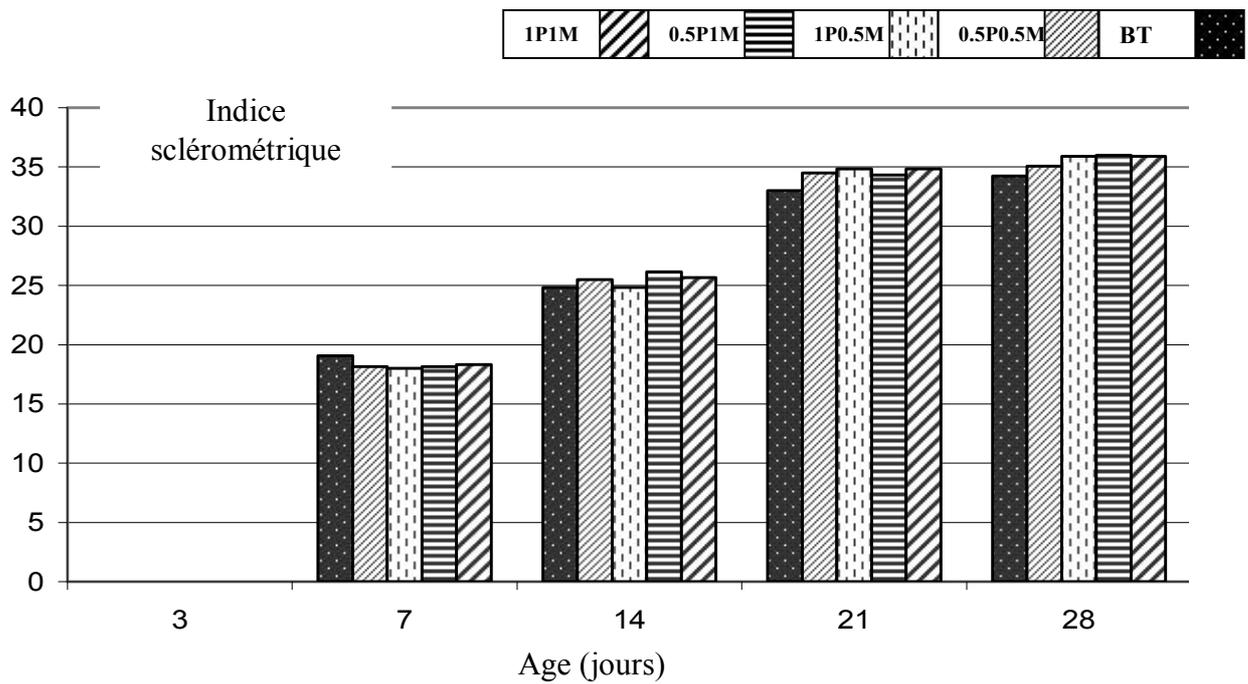


Figure (6.25) : l'indice sclérométrique (Rh) d'un échantillon du béton en fonction de la position et l'âge du béton

Commentaires :

D'après les résultats obtenus, nous constatons ce qui suit :

- La résistance augmente avec l'augmentation **de l'âge du béton**.
- L'indice sclérométrique augmente avec l'augmentation de l'âge du béton.
- L'indice sclérométrique a un jeune âge (trois jours après le démoulage des cubes) est presque nuls (aucune lecture mentionnée sur l'appareil).
- Les valeurs de l'indice sclérométrique varient entre les deux positions de mesures (Face de coulage, face opposée (R_v) et faces latérales (R_h)).

Nous constatons que la variation de l'indice sclérométrique entre la face de coulage et la face opposée dans chaque cube est variable, ceci s'explique par le fait qu'il y a une face qui sera en contact avec la terre et prendra donc le temps d'hydratation. La face de coulage perd une quantité d'eau plus que la face opposée ne permettant pas une hydratation similaire de même ordre dans les deux faces, Mellas (2003) et des fois à cause de ségrégation.

L'estimation de la résistance à la compression en fonction de l'indice sclérométrique représente une certaine fiabilité du moment qu'il reflète la réalité du comportement de béton suivant l'âge et la position de mesure.

On ne peut pas évaluer la résistance du béton à l'aide du scléromètre à un jeune âge (trois jours)

ملخص

تتكون الخرسانة بالألياف عادة من نوع واحد من الألياف. لذا فاستعمال نوعين أو أكثر بنسب مختلفة لا يحسن خصائص الخرسانة فقط (مقاومة للضغط و الشد و لاستدام وصلدة كبيرة) بل هو اقتصادي للألياف وبإضافة كمية من إضافات معدنية و ملدن متفوق و مساعد للزوجة نستطيع إنتاج خرسانة مرنة تملئ القوالب بدون أي اهتزازات .

هذه الدراسة التي تهدف إلى إدخال نوعين من الألياف إلى الخرسانة من أجل معرفة سلوكها في الحالة الطرية و في الحالة الصلبة بعد تعزيزها بكميات متباينة بهذه الألياف .

هذه الدراسة بينت بان مجموعة من خصائص الخرسانة قد تحسنت مثل المقاومة الميكانيكية للضغط .

في البداية , قمنا بدراسة تجريبية لخرسانة الموقع ذاتية التحرك بمكونات معروفة مسبقا . وفي المرحلة الثانية , قمنا بإدخال نوعين من الألياف بنسب مختلفة إلى الخرسانة ذاتية التحرك . بعد ذلك تقيم نوعية خرسانة الموقع ذاتية التحرك بألياف مختلطة باستعمال الطرق المقاومة الميكانيكية والطرق الغير تحطيمية (قراءات المطرقة الخرسانية الارتدادية (السكليرومتر) و سرعة الموجات الصوتية) .

النتائج للمتـحصل عليها تبين انه يمكن استعمال توفيقه من الألياف ذو طبيعتين مختلفتين في خرسانة ذاتية التحرك للتقوية .

أخيرا بينا أيضا إمكانية استعمال التجارب الاختيارية الغير تحطيمية كوسيلة لمعرفة خصائص الخرسانة المزودة بالألياف المختلطة .

كلمات المفتاح: الخرسانة ذاتية التحرك، ألياف مختلطة، الخصائص، مسامية، سرعة الموجات الصوتية، خرسانة الموقع.

RESUME

Dans la plupart des cas, les bétons des fibres, contiennent seulement un type de fibre. L'utilisation de deux types de fibres ou plus avec natures différentes ou avec dosages appropriés peut potentiellement non seulement améliorer les propriétés du béton (résistance au choc, résistance à la traction, résistance à la compression et une grande rigidité) mais peut aussi contribuer à un gain conséquent de fibres. L'ajout des éléments fins qui doivent comporter au moins une addition minérale, moins de gravillons, un dosage en adjuvant superplastifiant et assez souvent un agent colloïdal. peut produire des bétons très maniables qui s'étalent, sans aucune vibration dans les coffrages

Cette recherche qui s'est orientée vers l'incorporation des fibres métalliques et des fibres polypropylènes dans le béton autoplaçant a pour but de connaître le comportement du béton à l'état frais et à l'état durci après renforcement par des quantités variées de ces fibres.

Cette étude a montré que plusieurs propriétés sont améliorées avec ce renforcement surtout les propriétés mécaniques en compression.

Nous proposons en premier lieu une démarche expérimentale d'étude du béton autoplaçant in situ avec formulation prédéfinie. En second lieu, l'incorporation des fibres métalliques et des fibres polypropylènes avec dosages appropriés dans le béton avec matrice cimenteuse constante (béton autoplaçant in situ bi-fibrés) Ensuite, contrôlée sa qualité par des essais destructifs (la résistance en compression) et des essais non destructifs (l'essai de la vitesse de propagation de son et l'indice de rebondissement).

Les résultats obtenus montrent bien qu'avec la combinaison de deux de fibre différents peut être utilisée dans le béton autoplaçant comme renfort .

Enfin, nous déterminons ainsi la possibilité d'utiliser les essais non destructifs comme un moyen d'évaluation de la qualité du béton autoplaçant avec fibrage mixte (fibres métalliques et fibres polypropylènes).

Mots clés: béton autoplaçant, fibrage mixte, propriétés, porosité, ultrason, béton in situ.

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

A l'issue de cette recherche et sur la base de l'analyse des résultats obtenus, nous présentons dans ce qui suit les conclusions et les recommandations correspondante de l'analyse des résultats.

Conclusion générale :

L'étude expérimentale permet de tirer les conclusions suivantes :

- ✓ En ce qui concerne les BAP bi-fibrés, on a pu, en fonction de la nature des fibres employées, formuler un béton répondant aux critères rhéologique fixés.
- ✓ Avec deux types de fibres on peut formuler un béton de qualité (résistant à la compression) et tenant compte de la contrainte économique
- ✓ Le dosage avec fibrage mixte de pourcentages de 0.5% fibre métalliques et 0.5% fibres polypropylène dites aussi synthétiques avec une matrice cimentuse constante, nous donne une bonne résistance mécanique comparée au béton témoin.
- ✓ La résistance à la compression diminue avec l'augmentation du pourcentage des fibres au delà de 0.5% pour les deux nature de fibres.
- ✓ La vitesse de propagation du son et l'indice de rebondissement se sont montrées encourageant pour l'estimation de la résistance du béton autoplaçant avec fibres.
- ✓ L'estimation de la résistance à la compression en fonction de la vitesse du son représente une certaine fiabilité quelque soit le type de béton et explique la réalité du comportement du béton suivant, la position de mesure et l'âge des échantillons utilisés.
- ✓ La vitesse de propagation du son dans le béton augmente avec l'augmentation de l'âge du béton quelque soit le type de béton.
- ✓ La vitesse de propagation du son du béton diminue avec l'augmentation du pourcentage au-delà de 0.5% pour deux types de fibres.
- ✓ La vitesse du son à l'age de trois jours est supérieure à celle de sept jours, à cause de la présence d'eau dans le béton, quelque soit le pourcentage de fibres (0%,0.5% ,1%) pour les combinaisons de deux types de fibres, cette augmentation de vitesse de son est attribuée au fait que les impulsions ultrasoniques voyagent par les pores remplis par l'eau, par contre à l'état sec les

- impulsions ultrasoniques voyagent autour des bords de pore. Donc le chemin de voyage diminue le temps diminue et la vitesse de propagation de son augmente.
- ✓ La vitesse du son varie selon la position mesurée (haut, milieu et bas) des cubes.
 - ✓ On remarque que l'utilisation d'un pourcentage de fibres (0.5% fibres métalliques et 0.5% polypropylène) nous donne une vitesse du son plus grandes que celle du béton témoin et l'utilisation d'un pourcentage de fibres de (1 % de fibres métalliques et 1 % polypropylène) nous donne une vitesse du son plus faible que le béton témoin.
 - ✓ La vitesse de propagation de son diminue avec l'augmentation du pourcentage de combinaison de fibres, ce comportement est expliqué par les aspects de porosité (des vides créés par la quantité des fibres inclus) au-delà de 5% pour les types de fibres utilisée.
 - ✓ Nous constatons que la variation de l'indice sclérométrique entre la face de coulage et la face opposée dans chaque cube est variable, ceci s'explique par le fait qu'il y a une face qui sera en contact avec la terre et prendra donc le temps d'hydratation. la face de coulage perd une quantité d'eau plus que la face opposée ne permettant pas une hydratation similaire de même ordre dans les deux faces, Mellas (2003) et des fois à cause de ségrégation.
 - ✓ L'indice sclérométrique augmente avec l'augmentation de l'âge du béton.
 - ✓ L'indice sclérométrique à un jeune âge (trois jours après le démoulage des cubes) est presque nul (aucune lecture mentionnée sur l'appareil).
 - ✓ L'estimation de la résistance à la compression en fonction de l'indice sclérométrique représente une certaine fiabilité du moment qu'il reflète la réalité du comportement du béton suivant l'âge et la position de mesure.
 - ✓ On ne peut pas évaluer la résistance du béton à l'aide du scléromètre à un jeune âge (trois jours)
 - ✓ En soudant les macro-fissures et en réduisant leurs ouvertures avec l'utilisation des fibres dans la formulation du béton afin d'augmenter la durée de vie du béton.
 - ✓ Nous déterminons ainsi la possibilité d'utiliser les essais non destructifs comme un moyen d'évaluation de la qualité du béton autoplaçant avec fibrage mixte (fibres métalliques et fibres polypropylènes).
 - ✓ On juge que le contrôle du béton in situ à l'aide des méthodes non destructives ne reflète pas l'état réel de la qualité du béton à un jeune âge (trois jours) .

- ✓ L'incorporation des fibres d'un pourcentage supérieur à 0.5% pour les deux natures des fibres diminue la résistance, diminue l'indice sclérométrique et augmente le temps de voyage de la propagation du son dans le béton.

RECOMMANDATIONS

Cette recherche permet de tirer quelques recommandations qui seront destinées à des applications futures :

- L'utilisation des fibres de deux natures dans la même matrice cimenteuse.
- L'estimation de la résistance à la compression en fonction de l'indice sclérométrique.
- L'estimation de la résistance à la compression en fonction de la vitesse du son.