

INFLUENCE DES FIBRES D'ACIER SUR LES VARIATIONS DIMENSIONNELLES ET PONDERALES DES MATRICES CIMENAIRES

Reçu le 28/06/2006 – Accepté le 17/09/2007

Résumé

Les qualités indéniables du béton de fibres font que ce matériau est employé dans une vaste gamme d'applications. Pour pouvoir répondre à l'attente de l'industrie de la construction, le béton renforcé de fibres métalliques donne de nouveaux matériaux, dont il convient de préciser et quantifier les comportements mécaniques et la durabilité. Prévoir l'effet de la présence des fibres dans la matrice s'est vite révélé un problème complexe, les théories classiques des matériaux composites n'apportent que des réponses partielles, car à côté de l'aspect composite typiquement matériau, il y a endommagement et localisation de fissures bien avant la rupture totale. Dans cette étude, une évaluation des performances à moyen et long terme est présentée pour les différents types de mélanges. Deux types de fibres, utilisant une composition de base pour tous les mortiers, l'un fabriqué industriellement tandis que l'autre c'est une valorisation d'un sous produit, copeaux d'acier d'usinage. Donc deux méthodes très différentes de renforcement.

Le but de cette recherche :

- Fournir des informations sur les caractéristiques de variations dimensionnelles et pondérales des matrices renforcées de fibres d'acier
- Valorisation des sous produits industriels.

Nous mettons en relation la perte en poids (dessiccation) et le retrait. On constate que la perte en poids est plus grande pour les matrices renforcées de fibres que pour les témoins. Les fibres peuvent créer un chemin préférentiel pour le départ de l'eau. On constate que les fibres diminuent un peu le retrait, par contre il y a très peu de différence entre les deux types de fibres. Après une longue durée, l'action des fibres est plus nette, car les matrices renforcées de fibres se stabilisent plus rapidement que les matrices sans fibres.

La forme et la quantité des fibres semblent être les facteurs les plus importants qui gouvernent le retrait.

Mots clés: Fibre, Matrice, Renfort, Performances, Formulation, Retrait, Caractérisation.

Abstract

The study shows short and long term evaluation of the performance of different type of mixtures. Two types of steel fibres are used, the first is a manufactured and the second is a from valorised a sub product of steel. Giving two different methods of reinforcement.

The aim of the present consideration is to provide information about dimensional and ponderal variation of steel fibre reinforced matrices and to test and compare the results to existing models.

The shape and the quantity of fibres seem to be the most significant factors which control the shrinkage. When putting in relation the lost in weight and the shrinkage, we realise ther the lost of weight is larger for the matrix reinforced with fibre ther fort the reference matrix. The fibres can create a preferential path for the last of water; somehow there is a little difference between. The two type of fibres after the elapsed of a long period.

Keywords: Fibre, Matrix, Reinforcement, Performances, Formulation, Shrinkage, Steel.

**K. ABDOU
H. HOUARI**
Laboratoire Matériaux et
Durabilité des Constructions
Faculté des Sciences de
l'Ingénieur - Université
Mentouri Constantine -
Algérie

ملخص

الدراسة تخص مدى فعالية الألياف الحديدية في الخرصنة فيما يتعلق بالانكماش والتجاوبات الميكانيكية على طول المداء نوعين من الألياف لتركيبة الخرصنة : فالنوع الأول ألياف حديدية أما الثاني بقايا من الصناعات الحديدية. الهدف من البحث هو إعطاء معلومات جديدة عن الخصائص التغيرات القياسية و تقويم ألياف بقايا الحديد من المصانع.

البحث يربط علاقة بين الانكماش و نقص الوزن فالنتائج تبرهن أن الألياف الحديدية لها فعالية في الانكماش بينما نوعية الألياف ليس لها تأثير.

الكلمات المفتاحية: ألياف, خرصنة, إنكماش.

Bien qu'étant un des matériaux de construction les plus utilisés de nos jours, le béton possède néanmoins une propreté très nocive, pour la sécurité des structures (sa fissurabilité).

Pour tenter de remédier à cet aspect négatif, on a imaginé plusieurs procédés dont celui d'armer le béton par l'intermédiaire de barre d'acier, (béton armé).

Cependant nous rencontrons aujourd'hui plus spécialement dans le bâtiment et travaux publics, un produit dont les propriétés et le comportement correspondant à ceux des matériaux composites. Il s'agit du béton de fibres composé d'une matrice cimentaire et des fibres apportant une armature à celle-ci.

Il s'agit d'un matériau présentant notamment une résistance à la traction encore faible par rapport à la résistance de compression suivant l'avis de plusieurs chercheurs (J. Dardare.1975)[1], (G.J. Debicki. 1988)[2], (H. Houari. 1993)[3], (P. Rossi. 1991)[4], mais toutefois mobilisable dans des conditions normales de sécurité, pour lequel il est nécessaire de :

- définir des prescriptions de fabrication et mise en œuvre pour qu'il y ait effectivement « béton de fibre ».
- étudier les lois de comportement de façon à préciser ses domaines spécifiques d'utilisation.

De part son originalité, ce sujet concernant l'influence des fibres d'acier industriels et copeaux d'acier sur le mortier a constitué notre premier choix.

La mise au point d'une composition de béton de fibres est complexe, en effet il ne suffit pas d'ajouter un certain pourcentage de fibres à une composition courante. Car les fibres modifient considérablement son ouvrabilité.

Ainsi l'ouvrabilité est d'autant plus importante (Balaguru P. ; Ramakrishnan. 1988)[5] :

- que le rapport L/D est grand (longueur / diamètre des fibres)
- que le diamètre du plus gros granulats est grand
- que le pourcentage de fibres est élevé

Les travaux de (Swamy et Mangat. 1989)[6] soulignent cette influence.

Différents types de fibres ont été étudiés par de nombreux chercheurs, fibres artificielles fibres organiques et fibres métalliques, de différentes formes et dimensions, dispersées aléatoirement dans la masse.

Le comportement d'une matrice de béton peut se manifester comme suit :

- De nombreuses microfissures (principalement dues au retrait) existant dans une matrice de béton.
- Le mécanisme du renforcement du béton par fibres consiste à répartir régulièrement des fibres assez courtes dans la matrice du béton. Ces fibres empêchent les microfissures de s'étendre, leur développement demande donc plus d'énergie.

Pour que les fibres puissent résister contre l'ouverture des fissures, il faut qu'elles aient une bonne adhérence avec la matrice, c'est pour cela dans notre cas, deux méthodes très différentes de renforcement sont étudiées.

Le premier objectif qu'il fallait se fixer était les dosages (teneur) des produits à étudier ; surtout du point de vue du malaxage et de la mise en œuvre.

Le deuxième objectif, était la nature des fibres et leurs formes.

Après plusieurs essais, nous sommes alors arrêtés sur un maximum (au-delà duquel par exemple le volume occupé par ces deux types de fibres (fibres industrielles et copeaux), devenait tellement important qu'il devenait difficile pour le malaxeur de tout mélanger. De ce fait nous avons décidé d'étudier les pourcentages suivants en comparaison à des expériences antérieures :

- Fibres industrielles : 1% et 2%.
- Copeaux d'aciers : 1% et 2%.

Ceci pour bien mettre en évidence l'influence de ces produits dans les faibles dosages. Bien qu'entendu, nous avons pour chaque caractéristique étudiée – comparé nos résultats avec un mortier de référence (témoin) réalisée selon les mêmes procédés de mise en œuvre et dosages en sable, ciment et eau.

Cette étude vient suite à d'autres travaux est basée sur les objectifs suivants :

- Le premier est la vulgarisation des bétons renforcés de fibres d'aciers
- Le deuxième c'est d'exploiter les sous produits, abondants en Algérie et leurs valorisations.
- Le troisième est d'étudier les variations dimensionnelles et pondérales des matériaux élaborés.
- Le quatrième objectif, la constitution d'une banque de données dans le domaine des B.R.F.

1. CARACTERISATION DES MATERIAUX ELABORES.

Notre objectif est de trouver un mortier de maniabilité fluide facile à mettre en œuvre comme le stipule les normes françaises. (Temps d'écoulement compris $10 < t < 14$).

Nous prenons un rapport pondéral sable/ciment constant égal à 3 et un rapport eau / ciment constant égal à 0.40 pour toutes les compositions.

La quantité de fibres introduites est variable tout en mesurant le temps d'écoulement de chaque mélange.

Cette méthode est critiquable, mais elle est recommandée, par la plupart des chercheurs travaillant avec un rapport(E / C) constant, (P. Rossi. 1980)[7], (H. Houari, G. Debicki, P. Clastres. 1992)[8].

Les objectifs de cette formulation sont d'étudier l'influence :

- Du rapport E/C constant
- De type de fibres
- Du pourcentage de fibres
- Mode de conservation

Nous ferons varier le type des fibres en %.

La notation **M** désigne (mortier) suivie de **T** désignant mortier témoin sans fibres, la lettre **F** désignant la nature de la fibre (le mortier de fibres industrielles), ou **C** (mortier de fibres de copeaux d'acier). Suivie d'un chiffre qui représente le pourcentage de fibres introduit x 10.

Le tableau 1 récapitulatif des différentes compositions utilisées dans notre recherche.

Tableau 1 : Récapitulatif des différentes compositions utilisées

DESIGNATION	NOTATION
1/ mortier témoin	MT
2/ mortier renforcé de 1 % de fibres métallique industrielles	MF10
3/ mortier renforcé de 2 % de fibres métallique industrielles	MF20
4/ mortier renforcé de 1 % de fibres copeaux d'acier	MC10
5/ mortier renforcé de 2 % de fibres copeaux d'acier	MC20

1.1 La matrice.

C'est un mortier qui est retenu avec les corps d'épreuve choisis, sont de taille modeste. Le mortier utilisé était confectionné à partir :

- granulats des sables, pris selon une courbe granulométrique continue avec 10 % des particules inférieures à 0.1mm, les grains les plus gros étant limités au tamis de 5.00 mm, provenant de la wilaya de Constantine (tableau 2).

- Ciment CPJ45 norme Algérienne.
- Eau.
- Fluidifiant (SIKA) dont le dosage est inférieur à 1 % du poids du ciment, valeur limite recommandée par le fabriquant.

Tableau 2 : regroupant les données concernant les constituants de la matrice.

Constituants*	Nature	Masse Volumique (Kg/m ³)
Ciment*	CPJ 45	3891
Sable*	0/5 mm	2650
Eau*	-	1000
Fluidifiant	SIKA	1036
* Provenance de Constantine		

1.2 Les fibres.

Deux types de fibres métalliques sont utilisés dans les essais (tableau 3) :

- Fibres métalliques industrielles de 50mm de longueur, 2mm de largeur et 0.4mm d'épaisseur de forme ondulés, provenant de Oued Smar Algérie ; le choix de ce type de fibre est justifié par la forme qui donne, une bonne adhérence avec la matrice en applications ultérieures dans le domaine des bétons renforcés de fibres.
- Copeaux d'acier de 10mm de longueur, 0.2mm d'épaisseur ; provenant du complexe SONACOM Khroub Constantine.

Ainsi deux méthodes très différentes de renforcement sont comparées.



Fibres industrielles



Copeaux d'acier

Tableau 3 : Caractéristiques géométriques des fibres utilisées dans l'étude

Types de Fibre	Long l (mm)	Largeur b (mm)	Epaisseur e (mm)	Forme	Elancement (l / e)	Masse volumique (kg/m ³)
Fibre Granitex	50	2	0.4	ondulé	125	7200
Fibre (copeaux)	10	2	0.2	tubulaire	50	7200

1.3 Formulation

Pour fixer les compositions pondérales, nous avons utilisé la méthode expérimentale de Baron-Lesage. Pratiquement cette approche a nécessité la réalisation de plusieurs gâchées successives caractérisées par des mesures de la maniabilité et de la masse volumique apparente. Quelques essais préliminaires ont montré que l'ouvrabilité du mortier était fortement influencée par le rapport E/C.

Le tableau 4 regroupe les mesures d'ouvrabilité du mortier au maniabilimètre LCPC.

Tableau 4 : Dosage en eau et maniabilité du mortier de fibres de référence

Eau /Ciment + Fluidifiant	Temps D'écoulement (s)
0.50	Trop liquide
0.34	t > 26 s
0.40	t = 11s

Le tableau 5 indique le pourcentage de fluidifiant introduit dans chaque composition afin d'obtenir la maniabilité requise.

Tableau 5 : Dosage en fluidifiant des différentes compositions

Mortier	% Fluidifiant	Temps d'écoulement
MT	0	10 à 15 secs.
MF10	0.05	
MF20	0.08	
MC10	0.05	
MC20	0.07	

Les dosages retenus du BRF à la suite des essais préliminaires, que nous avons expérimentés, on a opté pour E/C = 0.40 pour un 1m³. Les résultats sont montrés dans le tableau. 6 suivant.

Ils correspondent à une composition optimale en égard aux propriétés du béton frais (prise, maniabilité, mise en œuvre) et du béton durci (résistance mécanique, fissuration, retrait) requis de la formulation des bétons de fibres.

Tableau. 6 : Quantité des matériaux mise en œuvre (1m³)

Composants	Quantité				
Ciment	662 kg				
Sable (0/5.0)	1327 kg				
Eau	265 kg				
%Fibres	0%	1%	2%	1%	2%

1.4 Résultats et commentaires des mesures effectuées sur mortier

Tous les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau 7.

Nous constatons que la résistance maximale en compression des mortiers de fibres sur éprouvettes 16 x 32 cm est plus faible que celle du mortier témoin. Cette baisse est de l'ordre de 15% par rapport au témoin. Il est d'usage à relier cette valeur de résistance à la porosité du matériau.

La courbe de la figure 1 montre la variation de la résistance à la traction en fonction de la nature et la teneur de fibres métalliques. Dans ce cas on constate que la résistance à la traction augmente avec l'augmentation du dosage en fibres.

Cette augmentation est plus nuancée que celle observée lors des essais de compression.

Tableau 7 : Résultats des mesures effectuées sur mortier

E/C = 0.40	MT	MF	MF	MC	MC
% Fibres	0%	1%	2%	1%	2%
Densité (Kg/l)	1.87	2.15	2.33	2.29	2.36
Air occlus (%)	3.90	4.00	4.10	4.20	4.10
Compression 7j	24.20	21.85	19.53	20.85	24.03
Compression 28j	28.85	27.75	25.35	26.81	28.34
Traction 7j	4.89	5.50	6.73	5.50	5.81
Traction 28j	8.50	7.35	9.80	9.80	6.73

Ainsi par rapport au témoin considéré, un dosage de 2% en fibres industrielles améliore la valeur de la résistance à la traction, à 31% par contre pour les copeaux, la traction diminue étant donnée le faible élanement des copeaux par rapport aux fibres industrielles.

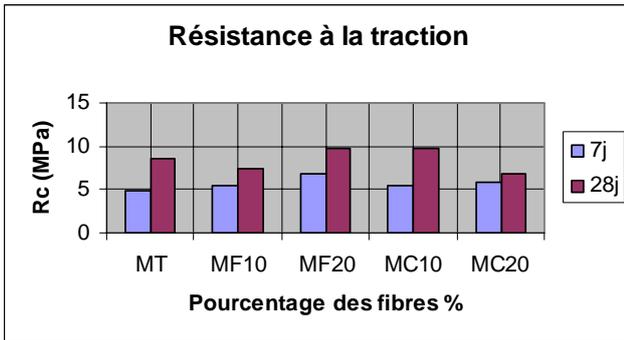


Figure 1 : Histogramme de la résistance à la traction par flexion

2. ETUDE DES VARIATIONS DIMENSIONNELLES ET PONDERALES

2.1 Introduction

Des essais de retrait libre ont été effectués sur des éprouvettes 7 x7 x 28 cm, munis de plots aux extrémités. Les mesures de valeurs initiales (de références) étaient faites à 24 heures du démoulage, à l'aide d'un rétractomètre digital. Ensuite, les éprouvettes ont été conservées dans une salle régulée selon les trois modes retenus (ambiant, couvert et saturé).

En même temps que le retrait, on a mesuré la perte en poids des éprouvettes.

Dans cette étude, une évaluation de la performance à moyen et long-terme est présentée pour les différents types de mortiers. Deux types de fibres, avec deux pourcentages en volume (1.0%) et (2.0%), utilisant une même composition de base pour tous les mortiers (voir paragraphe précédent : matrice), sont comparés.

Trois modes de conservations (ambiant, couvert et saturé) ont été testés.

- Ambiant (20°C et 55% HR)
- Saturé (salle régulée à 20°C et 100% HR, immergé dans l'eau à 20°C)
- Couvert (20°C et 80% HR d'hygrométrie)

Le but de cette recherche est de :

- a) fournir des informations sur les caractéristiques du retrait du béton renforcé de fibres métalliques.

- b) évaluer les variations dimensionnelles (retrait, gonflement); ces variations peuvent avoir lieu simultanément ou successivement et combiner leurs effets.

2.2 Essais de retrait libre

Les résultats sont reportés sur les figures 2 à 5 ; on peut constater que les fibres diminuent le retrait, cette diminution est de l'ordre de 16 % pour les fibres industrielles, et de 20% pour les copeaux par rapport au témoin.

A) Influence de la nature des fibres.

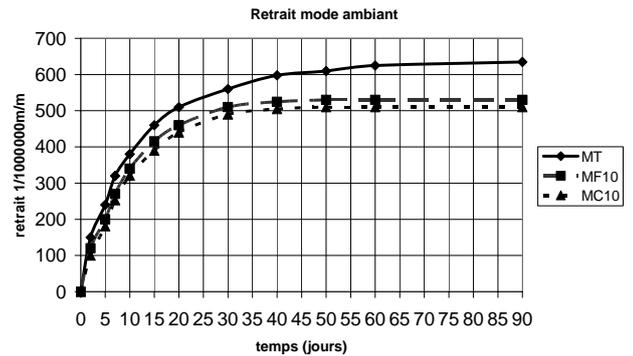


Figure 2 : Influence de la nature des fibres sur le retrait (1%) mode ambiant

On constate que les fibres diminuent le retrait, cette diminution est de l'ordre de 16 à 20 % par rapport au mortier sans fibres à 90 jours. Il y a très peu de différence entre les deux types de fibres (environ de l'ordre de 9 %), cette différence croît avec l'augmentation du pourcentage des fibres métalliques.

B) Influence de la teneur des fibres.

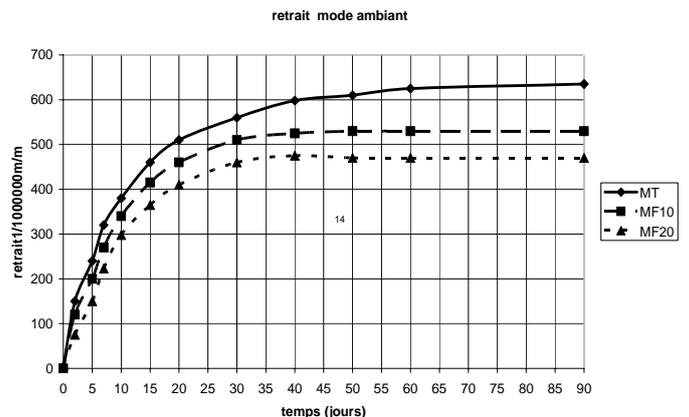


Figure 3 : Influence du % sur le retrait avec (fibres industrielles) Mode ambiant

Comme on le constate sur la figure 2, après une longue durée, l'action des fibres est plus précise. Car les mortiers

de fibres se stabilisent plus rapidement que les mortiers témoins. Comme on le constate sur la figure 2.

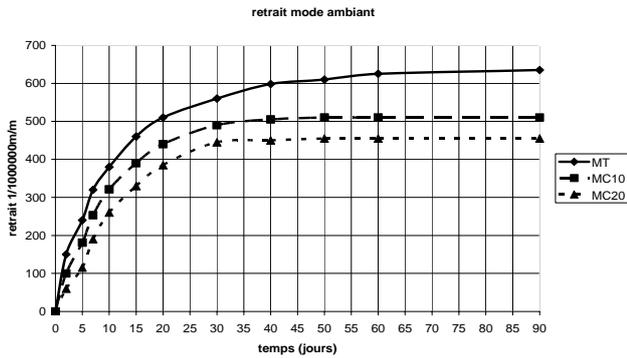


Figure 4 : Influence du % sur le retrait avec (fibres copeaux) Mode ambiant

C) Influence du mode de conservation

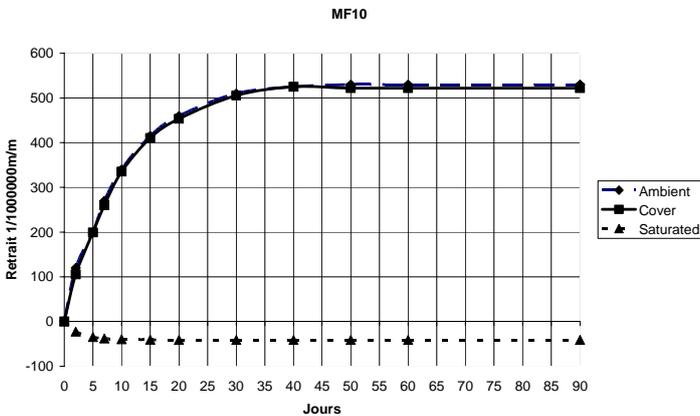


Figure 5 : Influence du mode de conservation sur le retrait avec (fibres industrielles)

Nos résultats confirment ceux déjà obtenus par des études antérieures sur l'influence des fibres d'acier sur le retrait (El Hachem. 1990)[9] ; (Edington et al. 1978)[10] ; (Houari. 1993)[3] : à savoir que les déformations de retrait sont généralement plus petites pour les bétons de fibres comparées à celles du béton normal.

Cette réduction est affectée par plusieurs paramètres tels que :

- La durée de séchage : les différences sont plus marquées après une durée plus importante (de 90jours).

La forme et la quantité de fibres semblent être les facteurs les plus importants qui dominent le retrait.

2.3 Perte en poids

Dans ce paragraphe nous mettons en relation la perte en poids (dessiccation) et le retrait où. Plusieurs chercheurs constatent que la perte en poids est plus grande pour les mortiers de fibres que pour les témoins. Dans notre étude nous allons faire la même constatation.

On peut observer sur la figure 6 que la perte en poids augmente avec l'augmentation de dosages des fibres

métalliques. Ainsi la perte en poids se traduit par la présence de fibres créer un chemin préférentiel pour le départ de l'eau ; hypothèse constaté par (El Hachem. 1990)[9].

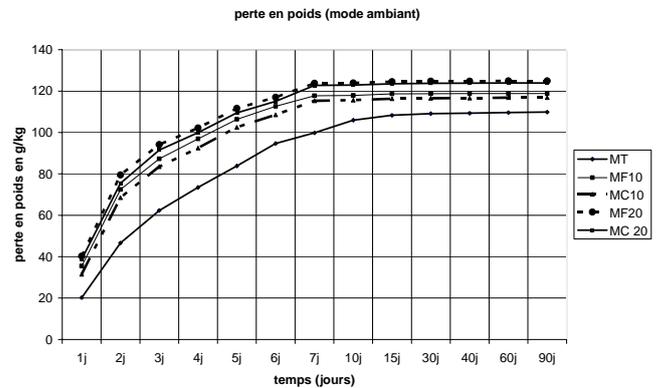


Figure 6 : Variation de la perte en poids en fonction du temps

2.4 Mesure de l'absorption capillaire

Le but recherché est de mettre en évidence l'influence éventuelle de la nature et la teneur des fibres sur l'absorption capillaire.

L'essai est réalisé dans un bâti mis au point au Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions Université Mentouri Constantine sur des échantillons de dimensions de 7 x 7 x 28 cm, conformément aux prescriptions du mode opératoire décrit dans le DTU 20.1.

Les essais sont réalisés sur trois échantillons préalablement stabilisés en salle régulée à 20°C et 55% HR, sont placées dans un bac à niveau d'eau constant après avoir pris soin d'enrouler la base dans du papier aluminium (figure 7) de telle façon que le niveau soit au plus à 3 mm au-dessus de la face inférieure de l'éprouvette.

Des mesures de poids sont régulièrement relevées afin de déterminer l'absorption par capillarité, la quantité d'eau absorbée est représentée sur la figure 8.

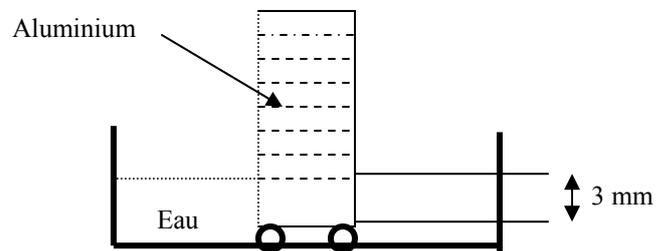


Figure 7 : Essai d'absorption d'eau par capillarité

Dans cette étude, comme on a mesuré l'absorption capillaire d'eau, il convient d'opter sur un échantillon sec.

Le but recherché est de mettre en évidence l'influence éventuelle de la nature et la teneur des fibres sur l'absorption capillaire.

Pour un même type de fibres, et d'après la forme ondulaire, on remarque que l'absorption en fonction du

temps pour 1% de fibres est plus lente que pour 2% de fibres.

La figure 7 nous montre que l'absorption pour les deux types de fibres ou pour une même teneur, dans les deux cas est quasiment égale.

Le coefficient d'absorption moyen est nettement plus élevé qu'avec la teneur de 2% de fibres.

On peut remarquer sur la courbe, que la capacité d'absorption d'eau croît rapidement dans les premières minutes (80 – 90min). Au-delà, elle croît très lentement pour devenir éventuellement stationnaire.

On peut conclure que la nature (teneur) des fibres a tendance à guider l'eau dans le sens longitudinal et cela pour des faibles pourcentages de fibres.

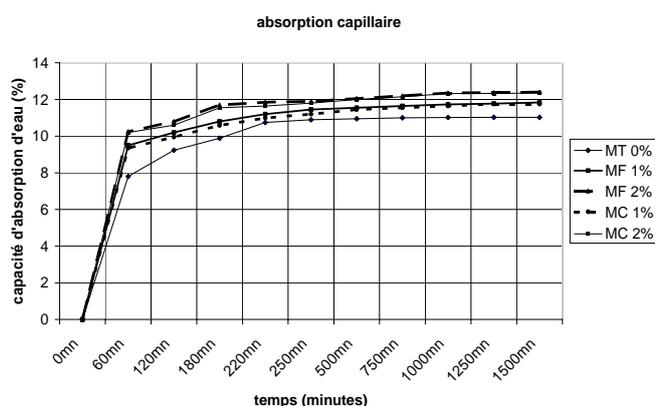


Figure 8 : Variation de l'absorption d'eau en fonction du temps

CONCLUSION

Nos résultats confirment ceux déjà obtenus par des études antérieures sur l'influence des fibres sur le retrait (Eington et al. 1978)[10] ; (El Hchem. 1990)[9] : à savoir que les déformations de retrait sont généralement plus petites pour les bétons de fibres comparées à celle du béton normal. Cette réduction est affectée par plusieurs paramètres :

- la durée de séchage : les différences sont plus marquées après une durée de 90 jours.
- La forme et la quantité semblent être les facteurs les plus importants qui gouvernent le retrait.
- Ainsi la perte en poids se traduit par la présence de fibres créer un chemin préférentiel pour le départ de l'eau ; hypothèse constaté par (El Hachem. 1990)[9].

On remarque aussi que l'absorption d'eau augmente nettement avec l'augmentation du pourcentage de fibres métalliques. Ainsi l'introduction de fibres dans le mortier se traduit par une augmentation plus ou moins prononcée du volume des vides, associée à une diminution de la capacité du matériau.

REFERENCES

- [1]- Dardare. J "Contribution à l'étude du comportement mécanique des bétons renforcés de fibres de polypropylène" fibre reinforced cement and concrete, RILEM, symposium 1975, Edited by A. NEVILLE, Lancaster, Construction Press, 1975 pp 227-235.
- [2]- DEBICKI. G J "Contribution à l'étude du rôle des fibres dispersées anisotropiquement dans le mortier de ciment sur les lois de comportement, les critères de résistance et la fissuration du matériau" thèse d'état : INSA de Lyon, 1988.
- [3]- HOUARI. H "Contribution à l'étude du comportement béton renforcé de fibres métalliques soumis à l'action des charges maintenues et cycliques" thèse de doctorat : INSA de Lyon, 1993.
- [4]- ROSSI. P "Formulation et comportement mécaniques des bétons de fibres métalliques" Annales de LITBTB, N° 492, série : béton pp 279, 1991 ; pp. 90-107.
- [5]- BALAGURU P. RAMAKRISHNAN Fibre reinforced concrete properties : Workability-Behavior under long-term loading-and Air-void characteristics; A.C.I. Materials journal, 1988. Vol.85, N° 3, pp.189-196.
- [6]- SWAMY. P N; MANGAT. P S "Influence of fiber aggregate interaction, on some properties of steel fiber reinforced concrete." France, Oct. 1989
- [7]- ROSSI. P "Fissuration du béton: du matériau à la structure. Application de mécanique linéaire de la rupture" Bull de liaison, Laboratoire des ponts et chaussées, 1980, N° 150.
- [8]- HOUARI. H ; DEBICKI. G ; CLASTRES. P "Behaviour of concrete reinforced with metal fibres under cyclic loading" Proceedings of the second international symposium, held in Lyon, June 23-25, 1992.
- [9]- EL HACHEM. "Etude de l'influence de fibre de fonte amorphe sur le retrait et le fluage du béton " Thèse Doct., Ecole Centrale Paris, 1990. 165p.
- [10]- EDINGTON et al "Steel fiber reinforced concrete" Londre, Building Res. Est. July 1978.
- [11]- ARABI. N; REDEL. B ; MELINGE. Y; JAUBERTHIE. R. "Alkali resistant glass fibre reinforced cementations materials for patching applications" Proceedings of 1st International Conference on Concrete repair, France 15-17 JULY 2003.
- [12]- DUPAIN. R; LANCHON. R "Granulats, sols, ciments et bétons" Editions Casteilla 75005 PARIS 1995, pp 122-136.
- [13]- ROSSI. P "Les bétons de fibres métalliques" Presse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1998, pp 279-302.
- [14]- BARR. B; HOSEINDIN. SB AND BIYI. M.A "Shrinkage of concrete stored in nature environment, cement and concrete composites", vol. 25, issue 1, january 2003, pp19-29.