

# MISE AU POINT D'UN NOUVEAU MATERIAU ARME DE FIBRES DE VERRE

Par

**Dr Mostefa MIMOUN**

Chargé de Cours, Institut de Génie Civil - Université de Sétif

**Dr Ahcene GHARBI**

Chercheur, INSA de Rennes, France

**Dr Alain DOUSTENS**

Maître de Conférence, INSA de Rennes, France

## Résumé

*Cette étude a pour objet le renforcement des mortiers d'argile ciment avec des fibres de verre. Des essais ont été faits avec des mélanges à différentes teneurs en fibres (0.5%, 1%, 1.5%, 2%) et avec différentes longueurs de fibres (6 mm et 12 mm). La confection de ce matériau a donné lieu à certains problèmes en ce qui concerne le malaxage et la mise en forme.*

*Les essais mécaniques n'ont mis en évidence aucune amélioration notable de la résistance à la flexion, par contre, en compression on note une certaine amélioration.*

*La morphologie de la rupture, en traction ou en compression, était différente de celle du matériau sans fibres.*

*Des hypothèses ont été avancées en vue d'expliquer ces phénomènes.*

**Mots clés :** argile - ciment - extrusion - fibre - matrice retrait.

## 1 INTRODUCTION

L'étude dont les résultats sont décrits dans cet article, fait partie d'un programme de recherche sur les matériaux de construction à base d'argile ciment armés de fibres fabriqués par extrusion. Ce produit est obtenu par cristallisation à froid du mélange sans faire appel à des traitements thermiques habituellement utilisés.

Le procédé retenu pour la fabrication des éprouvettes présente en pratique plusieurs avantages. Il est économique, surtout du point de vue main-d'œuvre, celle-ci ne demande pas un haut degré de qualification des ouvriers.

Elle permet également la production dans une même unité d'une large gamme de produit par simple changement de filière sur l'extrudeuse.

On sait très bien, qu'au contact de l'eau, les argiles se dégradent facilement. Ce côté négatif peut être compensé par des rajouts de ciment pour leur procurer une tenue à l'eau correcte, mais la résistance à la traction reste faible et son retrait de constitution est très important. Pour améliorer les propriétés physiques et mécaniques de ce matériau, notamment sa résistance à la traction, on a songé à lui incorporer des fibres de différentes natures.

Le thème principal de cette étude est d'étudier le comportement de ce matériau armé de fibres de verre CEMFIL et de mettre en évidence l'influence de la présence des fibres sur les variations dimensionnelles et sur les résistances mécaniques sans pour autant nuire à la possibilité de mise en forme par extrusion.

## 2 POSITION DU PROBLEME : HYPOTHESES

Par sa nature, la pâte épaisse constituée d'argile et de ciment présente au cours du séchage de forts retraits de constitution, donc une fissuration très accentuée, dans la majorité des cas, conduisant à de faibles résistances à la traction. Cette constatation laisse penser que le rajout de fibres permet de diminuer le retrait de constitution et par là même d'améliorer la résistance à la traction.

Il est constaté, d'une manière générale, que ces mortiers armés de fibres voient leurs résistances à la flexion diminuer. Ces variations sont importantes. Plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour expliquer ce mauvais comportement en traction.

Dans les matériaux composites à matrice minérale, le renfort fibreux ou fibres ont pour rôle principal, non seu-

lement, de compenser (supporter) l'effort après fissuration de la matrice, mais aussi de diminuer le retrait de constitution. Les fibres doivent donc, impérativement, présenter un certain degré d'adhérence à la matrice mais aussi de bonnes caractéristiques mécaniques (résistance à la rupture) et ne doivent pas se rompre en même temps que la matrice. Il est demandé, également, à ce type de matériau de présenter une bonne tenue à l'eau et de pouvoir être utilisé dans des conditions atmosphériques diverses.

Tout d'abord au niveau du retrait de constitution, on peut dire que les mortiers d'argile ciment, même armés de fibres, subissent de grandes variations dimensionnelles, donc de contraintes internes importantes au séchage. En effet, la présence de fibres empêche et limite ces variations, ce qui crée des fissurations dans la structure du matériau.

On pourrait supposer que la présence des fibres fait diminuer la progression des fissures, donc qu'elles compensent les pertes en résistance de la matrice. Or ce n'est pas le cas. La rupture en traction par flexion se produit toujours par décohérence totale des fibres, il n'y a aucun exemple de rupture de celles-ci. L'adhérence fibre-matrice est donc faible, s'ajoutent à cela, les anomalies causées par le processus d'extrusion, qui, elles aussi, varient d'une composition à une autre.

Donc l'affaiblissement de la résistance à la traction a pour causes essentielles :

- ◆ La fissuration de la matrice en présence des fibres (retrait empêché).
- ◆ Insuffisance de l'adhérence des fibres à la matrice qui ne compensent pas les pertes de résistance causées par leur présence.
- ◆ Enfin, les anomalies de structure provoquées par l'extrusion.

### 3 EXTRUDABILITE DES MELANGES

#### 3.1 Matériaux utilisés

L'étude a porté sur un seul type d'argile. Il s'agit d'argile monominérale (Kaolin) provenant du gisement de Ploemeur (Bretagne Sud), commercialisée après traitement sous forme de poudre.

Le ciment utilisé est un ciment de la classe CPA 500. Pour le renfort fibreux, il s'agit de fibres de verre résistant aux alcalins, commercialisées sous le nom de "CEMFIL".

Dans le cadre de cette recherche, deux longueurs de fibres ont été sélectionnées : 6 mm et 12 mm. Ce choix a été influencé, d'une part, par les limites d'extrusion ainsi que nous le verrons plus loin et, d'autre part, par l'effet d'échelle des divers constituants. En effet, il semble qu'en choisissant une fibre moins longue (6 mm) on peut avoir des mélanges plus ou moins homogènes.

Les dosages en fibres dépendent eux aussi de la façon d'extruder et de la longueur de la fibre elle-même.

Les différents mélanges sont présentés dans l'organigramme de la figure 1.

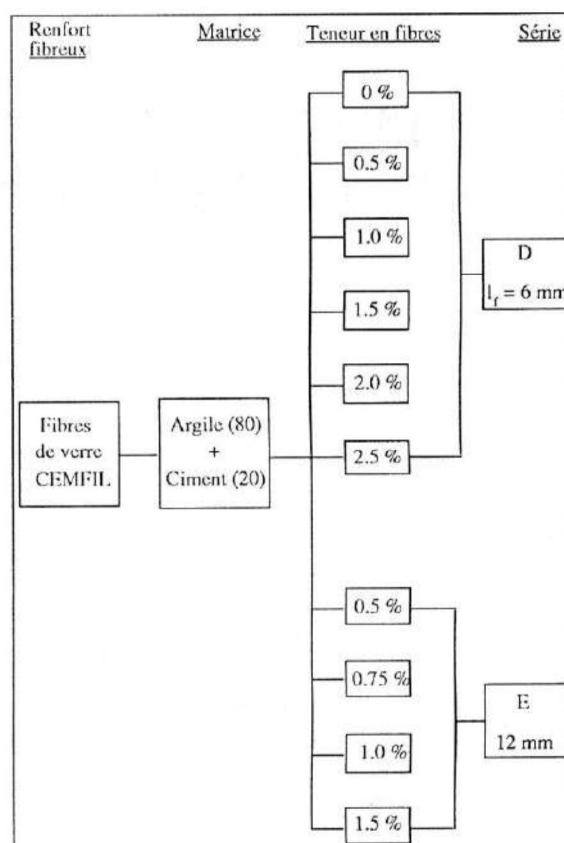


Figure 1 : Composition des différents mélanges, avec les fibres de verre CEMFIL.

#### 3.2 Tests préliminaires

Pour tester la faisabilité du procédé d'extrusion de ce matériau, différents mélanges ont été effectués avec des teneurs en fibres importantes, un rapport eau/mélange sec gardé constant, dans un premier temps avec les fibres de verre, ordinaires E et CEMFIL.

A priori, on peut voir que dans cette première étape que le nombre de variables pour chaque mélange, ainsi que le nombre de combinaisons entre les composants, sont d'un nombre illimité. Il n'a pas été possible en général d'obtenir un mélange optimum.

Les mêmes remarques peuvent être formulées également pour le choix de la filière qui permet d'obtenir des éléments à section pleine ou creuse de différentes formes ; bien évidemment d'autres formes de filières pourront être étudiées. Mais dans cette étude une filière à section carrée pleine 4 x 4 cm<sup>2</sup> a été utilisée dans le but de tester le matériau à la flexion et à la compression suivant les normes utilisées pour les mortiers et les bétons.

#### 3.3 Préparation des mélanges

Au cours des essais, il s'est avéré que la réalisation des mélanges contenant des fibres est une opération diffi-

cile, surtout en ce qui concerne l'introduction des fibres. Plusieurs tentatives ont été menées en vue de trouver le meilleur moyen pour introduire les fibres dans le mélange.

Les fibres sont ajoutées progressivement dans le mélange argile ciment sec, l'eau est apportée graduellement, sans interrompre le malaxage, ce moment est pris comme origine des temps. Le malaxage en phase humide dure quatre minutes.

Le mélange est alors mis en forme à l'aide d'une machine d'extrusion qui équipe le laboratoire (Figure 2).

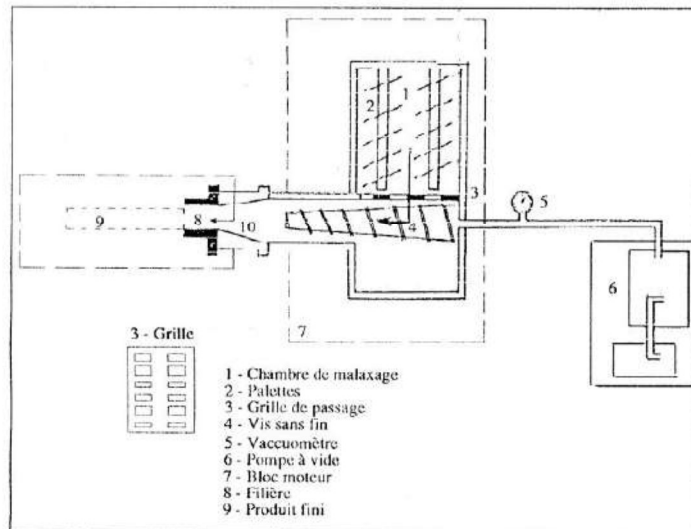


Figure 2 : Schéma général de la machine d'extrusion.

### 3.4 Conditions de conservation des éprouvettes

Les éprouvettes sont conservées dans une salle climatisée qui sert à stocker les matériaux et faire les essais. La température est fixée à 20° C et l'hygrométrie à 50%.

### 3.5 Extrusion des mélanges

Après introduction du mélange dans la chambre (1) (Figure 2), celui-ci subit un deuxième malaxage à l'aide des deux vis (2) qui équipent la chambre de malaxage. Le mélange est entraîné à l'aide de la vis sans fin (4) vers la chambre d'extrusion (10), puis compacté et forcé à travers une filière de section carrée pleine 4 x 4 cm<sup>2</sup> (8), sous un vide de 1.0 bar (5), à l'aide de la pompe à vide (6), fournissant ainsi des éléments macroscopiquement homogènes. Les éprouvettes sont prélevées tous les 16 cm de façon continue (9).

Les limites de possibilité de l'extrusion sont fonction de trois éléments :

- ✓ le rapport eau/mélange sec,
- ✓ la teneur en fibres ( $W_f$  %),
- ✓ la longueur de fibres ( $l_f$ ),

et éventuellement de la teneur en fines ( $W_s$  %).

L'extrusion du mélange dans une machine (extrudeuse) de laboratoire est une opération délicate, surtout en ce qui concerne le choix des proportions énumérées ci-dessus et le choix de la filière à utiliser. Bien évidemment, on peut utiliser plusieurs formes de filières, mais dans le cadre de cette recherche, la forme carrée 4 x 4 cm<sup>2</sup> de la filière a été fixée.

Lors des essais, à rapport eau/mélange sec constant, on a constaté une diminution de l'ouvrabilité de la pâte avec l'augmentation de la proportion de fibres incorporées et avec l'augmentation de la longueur des fibres (Tableau 1), et ce, malgré la souplesse de ces dernières, qui sont très minces.

Ces essais ont montré, également, que l'on devait limiter le dosage à 2.5 % pour les fibres de longueur 6 mm et à 1.5% pour les fibres de longueur 12 mm, en valeur maximale, et il est recommandé d'utiliser des fibres de longueur inférieure ou égale à 6 mm (Figure 3).

En effet, dans le cas de la fabrication par extrusion, de forts dosages ou des longueurs de fibres plus grandes conduisent, d'une part, au blocage de la machine et, d'autre part, à une très forte hétérogénéité du matériau avec formation de zones de discontinuité, dues à la vis sans fin de la machine, nuisible à l'état des éléments fabriqués, se traduisant au cours du temps par des fissures en forme de "S".

Enfin, pour terminer avec le procédé de mise en forme de ces mortiers, on peut conclure que :

- ✓ Le procédé d'extrusion des mortiers d'argile ciment armés de fibres à travers une filière est appliqué avec succès.
- ✓ La production de ce matériau par extrusion peut être effectuée avec un haut degré d'uniformité et de reproductibilité qu'elle peut l'être par d'autres procédés, tels que le moulage ou le compactage.
- ✓ On note une amélioration significative de la résis-

| Dosage en fibres (%)                                                           | 0    | 0.5 | 0.75 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.5 |
|--------------------------------------------------------------------------------|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| Ciment (%)                                                                     | 20   |     |      |     |     |     |     |
| KAOLIN (%)                                                                     | 80   |     |      |     |     |     |     |
| Eau/mélange sec                                                                | 0.34 |     |      |     |     |     |     |
| Longueur de fibres<br>$l_f$ (mm)                                               | 6    | F   | F    | -   | F   | F   | L   |
|                                                                                | 12   | F   | F    | F   | L   | T.L | B   |
| F : extrusion facile, sans problème                                            |      |     |      |     |     |     |     |
| L : extrusion lente, la présence de fibres commence à se faire sentir          |      |     |      |     |     |     |     |
| T.L : extrusion très lente, l'ouvrabilité de la pâte est sensiblement diminuée |      |     |      |     |     |     |     |
| B : blocage de la machine, la pâte devient trop épaisse.                       |      |     |      |     |     |     |     |

Tableau 1 : Appréciations sur l'extrusion des divers mélanges avec les fibres de verre CEMFIL.

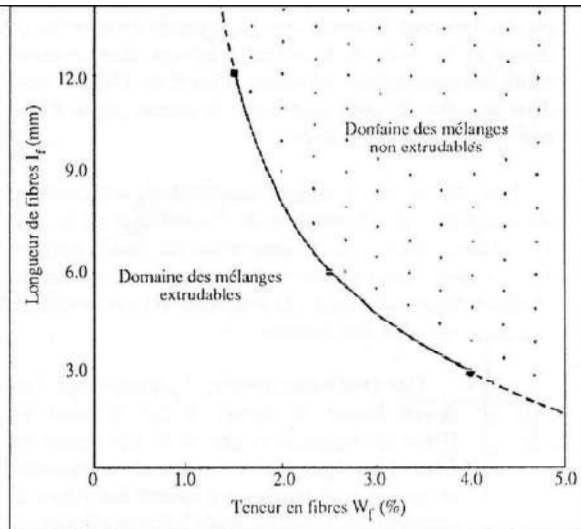


Figure 3 : Extrudabilité des mélanges.

tance à la compression du matériau extrudé. Cette résistance est vraisemblablement influencée positivement par le procédé d'extrusion et par la présence de fibres.

- ✓ L'extrusion peut produire un effet d'orientation longitudinale des fibres dans le matériau extrudé. On peut supposer que cette réorientation améliorera la résistance à la flexion d'éléments minces pour lesquels elle sera plus importante.

#### 4 PRINCIPAUX RESULTATS D'ESSAIS

##### 4.1 Eprouvettes conservées en salle climatisée

###### 4.1.1 Influence de la teneur en fibres

###### 4.1.1.1 Variations dimensionnelles et pondérales

L'influence du rôle des fibres est sensible sur les variations dimensionnelles accompagnant la prise. En effet, plus le dosage en fibres est grand plus le retrait est faible ; les figures 4 et 5 illustrent bien le phénomène et montrent que, pour les mélanges de la série D, avec un taux de 0.5% de fibres le retrait diminue d'environ 48% ce qui est considérable.

Le tableau 2 rassemble tous les résultats trouvés pour les diverses compositions réalisées suivant le processus précité. L'observation de ces résultats indique aussi que les retraits de constitution diminuent lorsque la durée de conservation augmente jusqu'à devenir stable au-delà de 28 jours. La période de séchage nécessaire pour assurer le départ d'une bonne partie de l'eau ne devrait pas dépasser quelques jours, au maximum 7 jours dans le cadre de nos essais.

Les positions des courbes relatives aux diverses teneurs en fibres montrent bien que le retrait de constitution est diminué quel que soit le dosage en fibres.

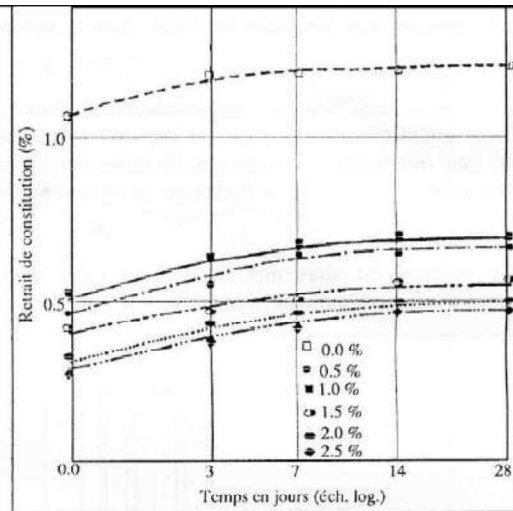


Figure 4 : Influence du dosage en fibres sur la variation du retrait de constitution des mortiers armés de fibres de verre CEMFIL, 6 mm, en fonction du temps.

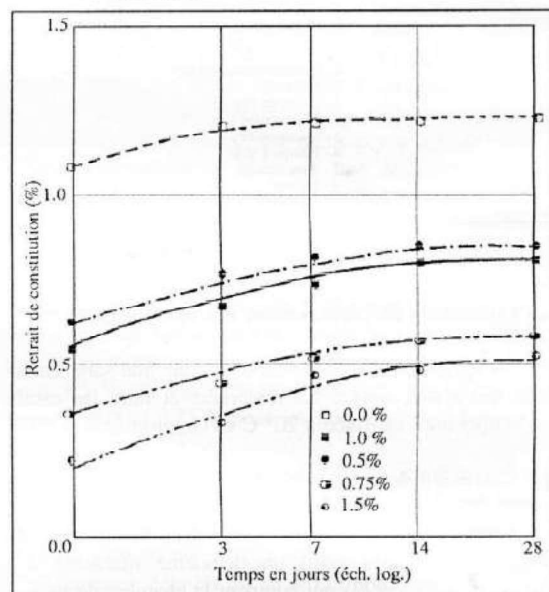


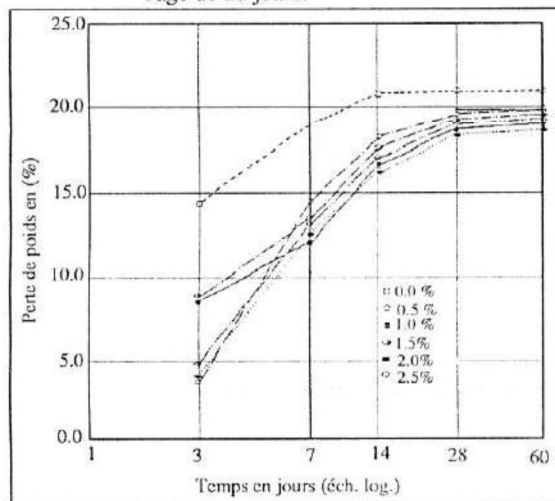
Figure 5 : Influence du dosage en fibres sur la variation du retrait de constitution des mortiers armés de fibres de verre CEMFIL, 12 mm, en fonction du temps.

Il est toutefois nécessaire de remarquer que les déformations dues au retrait s'accompagnent de contraintes internes, le matériau devient quasiment indéformable et il est probable que de telles contractions entraînent des fissures dans les structures qui se forment au cours du temps et une microfissuration accentuée induite.

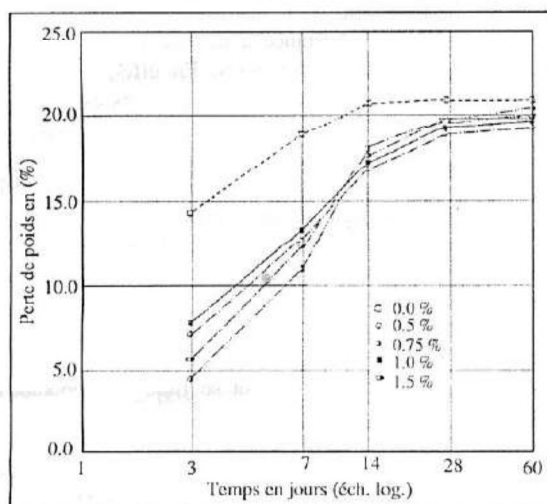
En ce qui concerne les variations pondérales, les figures 6 et 7 présentent la variation la perte de poids en fonction de l'âge. Les mesures ont été effectuées sur les échantillons destinés à la mesure du retrait de constitution.

| Longueur de fibres $l_f$ (mm) | Teneur en fibres $W_f$ (%) | Retrait de Constitution (%) | Chute de Retrait (%) | Perte de Poids (%) |
|-------------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------|--------------------|
| Témoin                        | 0.0                        | 1.30                        | 0.0                  | 21.0               |
| 6                             | 0.5                        | 0.68                        | 48.0                 | 19.6               |
|                               | 1.0                        | 0.85                        | 35.0                 | 18.8               |
|                               | 1.5                        | 0.59                        | 55.0                 | 19.4               |
|                               | 2.0                        | 0.53                        | 59.0                 | 18.5               |
|                               | 2.5                        | 0.50                        | 61.0                 | 19.1               |
| 12                            | 0.5                        | 0.87                        | 33.0                 | 19.3               |
|                               | 0.75                       | 0.51                        | 61.0                 | 19.9               |
|                               | 1.0                        | 0.84                        | 35.0                 | 19.4               |
|                               | 1.5                        | 0.60                        | 54.0                 | 19.7               |

**Tableau 2 :** Variations dimensionnelles et pondérales en fonction de la teneur en fibres "CEMFIL", à l'âge de 28 jours.



**Figure 6 :** Influence du dosage en fibres sur la variation de perte de poids en fonction du temps. Mortiers armés de fibres de verre CEMFIL, 6 mm.



**Figure 7 :** Influence du dosage en fibres sur la variation de perte de poids en fonction du temps. Mortiers armés de fibres de verre CEMFIL, 12 mm.

Il est utile de rappeler que, le rapport eau/poids total sec est fixé pour toutes les compositions, tout au long de cette étude.

Il apparaît clairement sur les figures 6 et 7 que la perte de poids ne suit pas la même logique ou succession constatée lors du retrait de constitution ; où le retrait diminue progressivement avec l'ajout progressif de fibres.

On peut voir également que la différence entre la perte de poids du matériau armé de fibres et celle du témoin sans fibres n'est pas très importante. L'ajout de fibres semble diminuer légèrement la perte de poids.

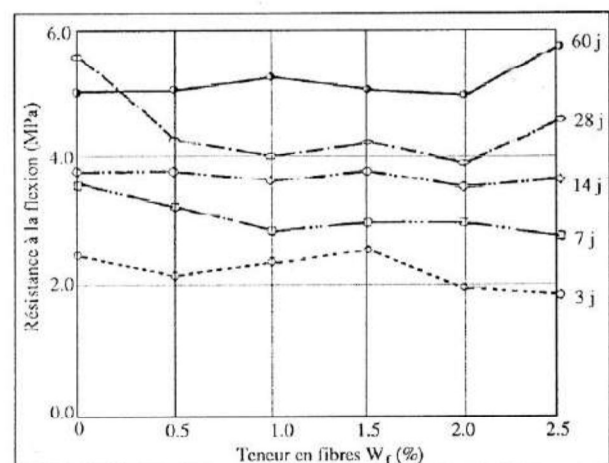
Enfin, on peut dire que entre le retrait de constitution des éprouvettes conservées en salle climatisée (20° C, 50% H.R.) et la perte de poids, il n'y a pas proportionnalité directe.

#### 4.1.1.2 Variations des résistances mécaniques

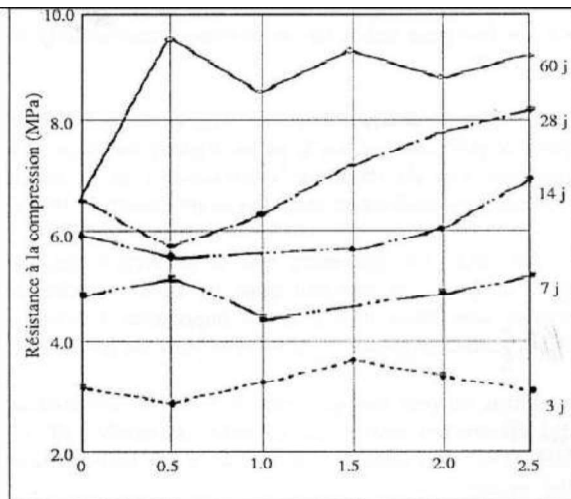
Les résistances mécaniques sont mesurées à différents âges sur des éprouvettes prismatiques 4 x 4 x 16 cm<sup>3</sup> fabriquées par extrusion. Les essais ont montré que les valeurs des résistances à la compression sont plus élevées que celles du mortier témoin (mis à part le mélange D 1) et augmentent avec le dosage en fibres, alors qu'elles sont plus faibles pour les forts pourcentages pour les mélanges de la série E. Cette diminution pour les mélanges de la série E semble pouvoir s'expliquer par le manque d'homogénéité du mélange lorsque la longueur et la quantité de fibres augmentent.

Par ailleurs, le rapport de la valeur de la résistance du mortier renforcé à celle du mortier témoin est légèrement supérieur pour le mélange de la série D, et est pratiquement le même pour la série E, à 60 jours ainsi qu'à 28 jours. Cependant cette différence ne s'accroît pas dans le temps.

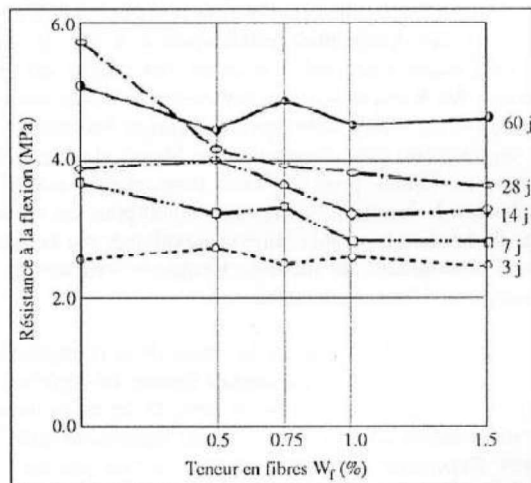
En effet, si nous comparons les éprouvettes armées de fibres et celles du mortier témoin, on voit que la texture



**Figure 8 :** Variation de la résistance à la flexion en fonction de la teneur en fibres pour différents âges. Mortiers armés de fibres de verre CEMFIL, 6 mm.



**Figure 9 :** Variation de la résistance à la compression en fonction de la teneur en fibres pour différents âges. Mortiers armés de fibres de verre CEMFIL, 6 mm.

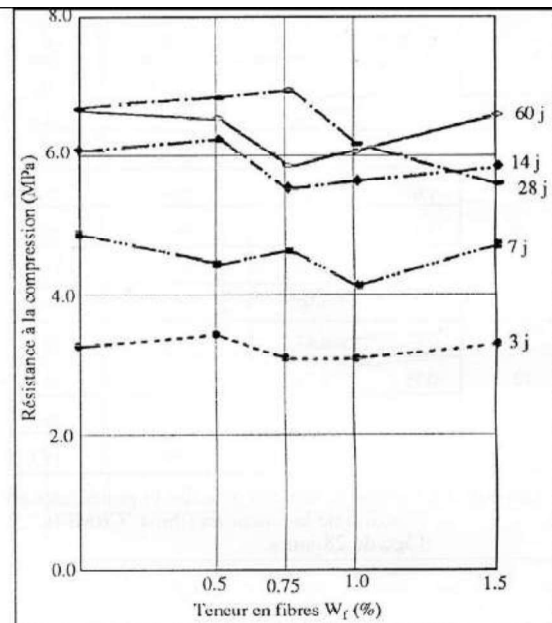


**Figure 10 :** Variation de la résistance à la flexion en fonction de la teneur en fibres pour différents âges. Mortiers armés de fibres de verre CEMFIL, 12 mm.

interne du matériau est différente. On note, sur les éprouvettes armées de fibres une homogénéité moins bonne que dans le cas des échantillons témoins. En particulier dans le cas des éprouvettes armées de fibres de 12 mm qui sont très hétérogènes.

Lorsque l'on soumet un échantillon témoin à la compression, on observe que la zone périphérique, plus déformable, parce que plus fissurée, ne reprend qu'une faible partie de la charge, donc le noyau se rompt et entraîne une ruine brutale de l'éprouvette. Par contre, si l'échantillon contient des fibres, il ne casse pas d'une façon franche mais par désorganisation généralisée de sa structure, la présence des fibres, en effet, permet d'engendrer les contours entre les zones créant ainsi une plus grande homogénéité du champ de contraintes.

Les résistances à la flexion à l'état sec augmentent avec le temps. Il est intéressant de noter que des mélan-



**Figure 11 :** Variation de la résistance à la compression en fonction de la teneur en fibres pour différents âges. Mortiers armés de fibres de verre CEMFIL, 12 mm.

ges moins riches en fibres développent quelquefois des résistances plus élevées que celles des mélanges avec un fort dosage en fibres. Ainsi, les mélanges à 0.5 et 1.5% de fibres développent à 28 jours une résistance à la flexion de 4.3 MPa alors que les mélanges à 1 et 2% des fibres ne conduisent qu'à des résistances de 4.0 et 3.8 MPa, respectivement, au même jour.

Cette remarque nous conduit à dire que la teneur en fibres ne joue en soi aucun rôle. D'une manière générale le dosage en fibres susceptible d'être retenu se situe au-dessous 1.5 % du mélange total sec pour les fibres de longueur 6 mm et 0.75 % pour les longueurs de 12 mm.

Cette étude révèle également que la présence des fibres fait chuter la résistance à la flexion quel que soit le dosage en fibres des mélanges. En effet, pendant le séchage, la pâte formée d'argile-ciment-fibres est le siège d'efforts internes, cela est dû au retrait non homogène qui ne se produit pas uniformément dans toute la section de l'éprouvette, mais progressivement, par couches successives de la surface extérieure vers l'intérieur. Alors, dans la couche extérieure prend naissance un effort de traction et dans la couche suivante un effort de compression. Comme la matrice a une résistance à la traction plus petite que la résistance à la compression, et que les fibres ne compensent pas cette perte, la couche soumise à un effort de traction cèdera la première et se fissurera, ajoutant à cela des défauts causés par l'extrudeuse.

Les éprouvettes fabriquées par extrusion comportent en effet des empreintes en forme de spirales créées par le mouvement de la vis sans fin de l'extrudeuse, d'ailleurs on observe, lors de l'essai à la flexion sur l'éprouvette, des fissures en forme de S et que l'éprouvette est beau-

coup plus fissurée dans la couche qui entoure le noyau central. A cause de ces effets, les fissures se produisent aussi dans la masse de l'échantillon, ce qui entraîne des chutes, parfois importantes de résistance.

Il est vraisemblable que les fibres ne subissent pas de variation de longueur, au contact de l'eau et au séchage, cette tendance favorise et accentue la fissuration.

Pour réduire la formation de ces fissures, non seulement le séchage doit être uniforme, mais il faut aussi privilégier l'utilisation de fibres qui s'adaptent à ce type de matrice et qui subissent elles aussi le gonflement, en présence de l'eau, et le retrait au séchage, parce que cette tendance défavorise la fissuration de ces mortiers pendant la durée du séchage.

#### 4.1.2 Influence de la longueur de fibres

##### 4.1.2.1 Variations dimensionnelle et pondérale

La valeur du retrait est sensible également aux variations de longueur des fibres. Le tableau 2 rassemble les résultats de deux types de composition en fonction de la longueur.

A teneur en fibre égale (Figure 12), on observe que le mélange avec les fibres de 6 mm diminue plus le retrait de constitution que les fibres 12 mm. Ceci est dû vraisemblablement à l'action de l'eau adsorbée par les fibres, qui entraîne un appauvrissement de la pâte contenant des fibres de 12 mm.

En ce qui concerne les variations pondérales, on observe sur les figures 6 et 7 que la différence entre les diverses longueurs n'est pas appréciable.

| Longueur \ (%) fibres |                             | Age : 28 jours |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------|-----------------------------|----------------|------|------|------|------|------|------|
|                       |                             | 0.0            | 0.5  | 0.75 | 1.0  | 1.5  | 2.0  | 2.5  |
| 6 mm                  | Retrait de Constitution (%) | 1.30           | 0.68 |      | 0.85 | 0.59 | 0.53 | 0.50 |
|                       | Chute en %                  | 0              | 48.0 |      | 35.0 | 55.0 | 59.0 | 61.0 |
|                       | Retrait de Constitution (%) | 1.30           | 0.87 | 0.51 | 0.84 | 0.60 | -    | -    |
| 12 mm                 | Chute en %                  | 0              | 33.0 | 61.0 | 35.0 | 54.0 | -    | -    |

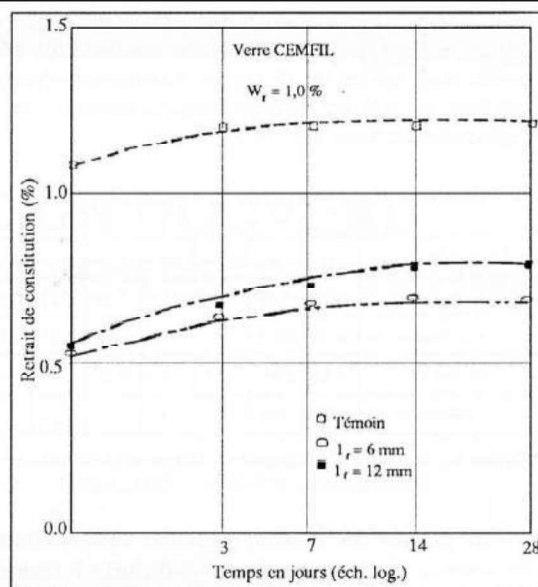
**Tableau 5 :** Influence de la longueur de fibres sur les variations dimensionnelles.

##### 4.1.2.2 Variation des résistances mécaniques

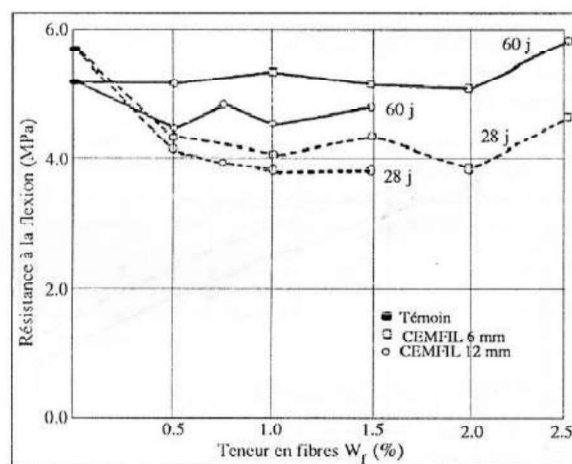
Les essais ont montré, comme l'indiquent les tableaux 3 et 4 et les diagrammes des figures, que les longueurs 6 mm donnent des valeurs supérieures à celles de 12 mm, mis à part les faibles dosages (0.5 et 0.75) en compression, sachant qu'en flexion, la résistance en flexion du mortier témoin est plus élevée.

#### 4.2 Eprouvettes soumises aux cycles immersion-séchage. Influence des conditions de conservation

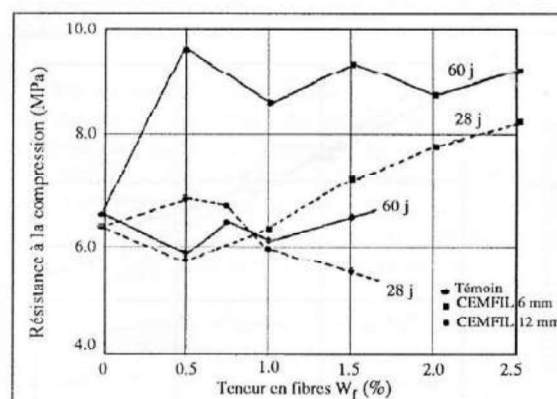
Les éprouvettes sont fabriquées par extrusion sous Algérie EQUIPEMENT



**Figure 12 :** Influence de la longueur de fibres sur la variation du retrait de constitution. Mortiers armés de fibres de verre CEMFIL.



**Figure 13 :** Influence de la longueur de fibres sur la résistance à la flexion. Mortiers armés de fibres de verre CEMFIL.



**Figure 14 :** Influence de la longueur de fibres sur la résistance à la compression. Mortiers armés de fibres de verre CEMFIL.

vide (1.0 bar), conservées pendant 28 jours dans une ambiance à 20° C et 50% d'humidité relative puis elles subissent deux cycles de 72 heures d'immersion-séchage. Le séchage est effectué dans une étuve à environ 100° C et l'immersion de l'eau à 15° C.

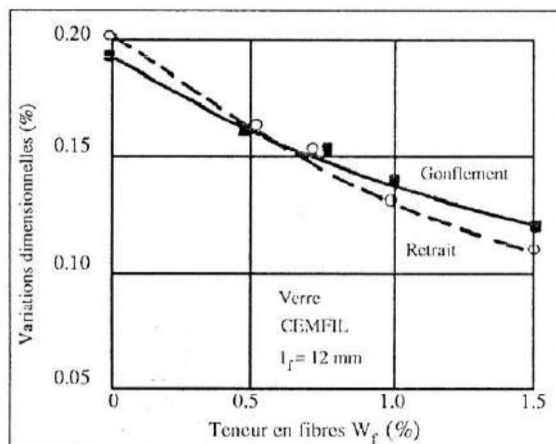
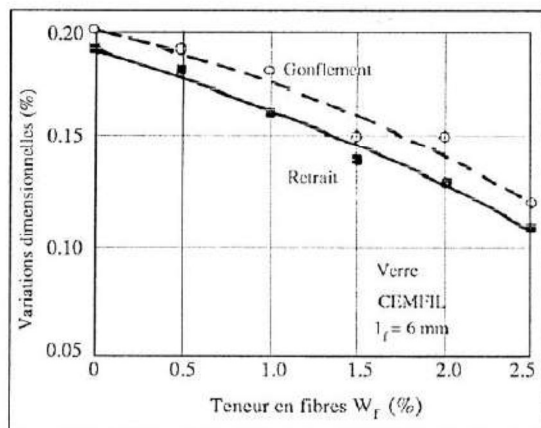
#### 4.2.1 Variations dimensionnelle et pondérale

| Dosage en fibres (%) | 0.0          | 0.5  | 0.75 | 1.0  | 1.5  | 2.0  | 2.5  |
|----------------------|--------------|------|------|------|------|------|------|
| 6 mm                 | Retrait (%)  | 0.19 | 0.18 | -    | 0.16 | 0.14 | 0.13 |
|                      | Gonflement % | 0.20 | 0.19 | -    | 0.18 | 0.15 | 0.12 |
| 12 mm                | Retrait (%)  | 0.19 | 0.16 | 0.15 | 0.14 | 0.12 | -    |
|                      | Gonflement % | 0.20 | 0.16 | 0.15 | 0.13 | 0.11 | -    |

**Tableau 6 :** Retrait-Gonflement en fonction de la teneur en fibres pour les différentes longueurs.

Après examen des résultats présentés dans le tableau 6, on constate globalement que le gonflement à l'eau est complètement réversible avec le retrait. Si après conservation dans l'eau on soumet les échantillons à une série d'alternances "étuve-immersion" les variations, présentent une très bonne réversibilité.

On constate également que le retrait et le gonflement sont inversement proportionnels au dosage en fibres (Figure 15).



**Figure 15 :** Variations dimensionnelles après un cycle d'immersion-séchage.

En ce qui concerne les variations pondérales, le tableau 7 indique que les gains en poids pendant le gonflement sont pratiquement proportionnelles aux pertes de poids pendant le retrait. Les gains et les pertes de poids semblent être influencés par le dosage en fibres.

#### 4.2.2 Variation des résistances mécaniques

Un des problèmes essentiels à résoudre est la tenue à l'eau des mortiers à base d'argile ciment armés de fibres. Autant ces mélanges "matrice-fibres" présentent des résistances mécaniques remarquables lorsque le matériau est conservé en atmosphère sèche (en étuve), autant ces caractéristiques chutent très rapidement dès que le matériau est en contact avec l'eau.

|       | Dosage en fibres (%) | 0.0 | 0.5 | 0.75 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.5 |
|-------|----------------------|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| 6 mm  | Salle climatisée*    | 5.7 | 4.3 | -    | 4.0 | 4.3 | 3.8 | 4.6 |
|       | Etuve                | 4.6 | 6.9 | -    | 6.7 | 7.4 | 7.2 | 7.4 |
|       | Eau                  | 1.6 | 3.4 | -    | 3.7 | 4.2 | 4.0 | 4.2 |
| 12 mm | Salle climatisée*    | 5.7 | 4.1 | 3.9  | 3.8 | 3.7 | -   | -   |
|       | Etuve                | 4.6 | 5.6 | 6.0  | 6.7 | 5.2 | -   | -   |
|       | Eau                  | 1.6 | 3.2 | 3.3  | 3.7 | 3.8 | -   | -   |

\* Résistance mécanique à 28 jours

**Tableau 8 :** Variations des résistances à la flexion avec les conditions de conservation.

Ces chutes de résistance atteignent rapidement plus de 40% de la valeur de la résistance à la flexion des échantillons conservés en étuve, et environ 50% pour les résistances par compression.

|       | Dosage en fibres (%) | 0.0  | 0.5  | 0.75 | 1.0  | 1.5  | 2.0  | 2.5  |
|-------|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 6 mm  | Salle régulée        | 6.4  | 5.8  | -    | 6.4  | 7.3  | 7.9  | 8.3  |
|       | Etuve                | 10.4 | 16.7 | -    | 18.8 | 20.3 | 18.8 | 16.7 |
|       | Eau                  | 5.4  | 6.9  | -    | 8.5  | 9.4  | 8.6  | 8.4  |
| 12 mm | Salle régulée        | 6.4  | 6.8  | 6.9  | 6.1  | 5.6  | -    | -    |
|       | Etuve                | 10.4 | 15.0 | 16.0 | 15.5 | 13.9 | -    | -    |
|       | Eau                  | 5.4  | 6.4  | 5.9  | 6.5  | 6.3  | -    | -    |

**Tableau 9 :** Compression.

Par conséquent, ce type de matériau est condamné et ne peut être utilisé en construction si on ne trouve pas un moyen d'empêcher de telles chutes de résistances.

Plusieurs hypothèses peuvent être avancées. En effet, cette baisse de résistance peut provenir, en général, soit de la nature de la matrice, soit de la fibre. La matrice, constituée en grande partie d'argile (80%), gonfle en présence de l'eau, ce qui entraîne alors des fissurations et un affaiblissement des résistances au séchage. La fibre peut être également la cause de ce comportement par son manque d'adhérence.

En effet, au cours du séchage, le passage de l'état pâteux à l'état rigide de la matrice se produit avec une

variation de volume. Lors de la contraction, et étant donné les différences de coefficients de dilatation, la matrice qui enveloppe la fibre craque et se fissure.

Les résultats donnés dans les tableaux 8 et 9 et présentés par les figures 16, 17 et 18 indiquent, que la conservation en étuve fait augmenter les résistances mécaniques quel que soit le dosage et quelle que soit la longueur des fibres.

A l'état humide, le dosage en fibres semble ne pas jouer un rôle en ce qui concerne l'amélioration des résistances d'ailleurs comme dans le cas de la conservation en salle régulée.

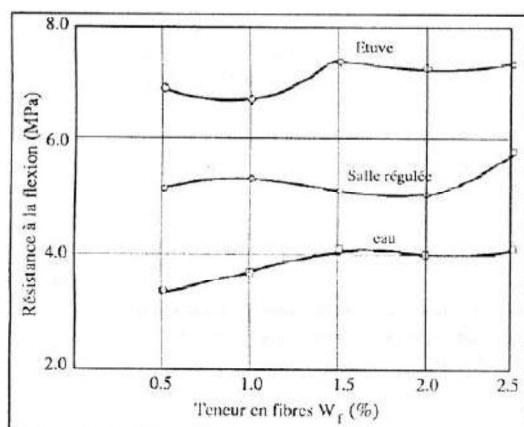


Figure 16 : Résistance à la flexion en fonction des conditions de conservation. Mortiers armés de fibres de verre CEMFIL 6 mm.

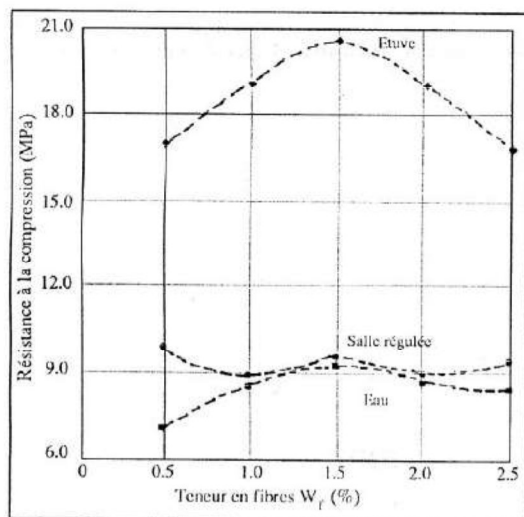


Figure 17 : Résistance à la compression en fonction des conditions de conservation. Mortiers armés de fibres de verre CEMFIL 6 mm.

En compression, pour les échantillons conservés en étuve, on observe sur les figures que les mélanges présentent un pourcentage optimum à partir duquel les résistances commencent à chuter. Il est de 1.5% pour les fibres 6 mm et 0.75 % pour les fibres 12 mm.

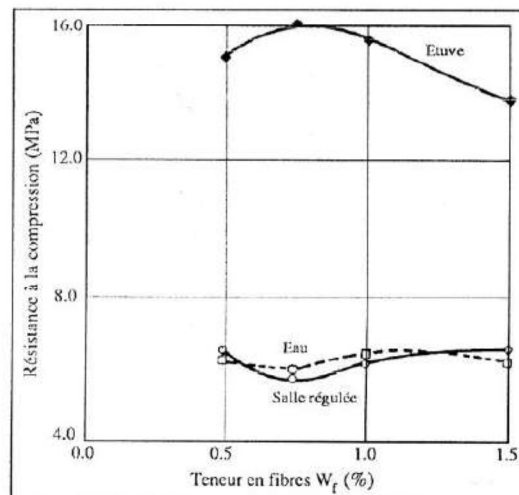
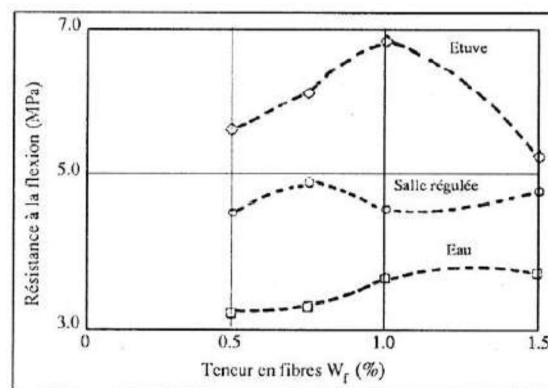


Figure 18 : Résistances mécaniques en fonction des conditions de conservation. Mortiers armés de fibres de verre CEMFIL, 12 mm.

#### 4.3 Moyens proposés pour l'amélioration de ce matériau

##### 4.3.1 Résistance à l'eau

Plusieurs solutions peuvent être proposées. Elles varient avec deux paramètres très importants : la possibilité de réaliser la solution technique sans pour autant causer d'effet secondaire et que cette solution ne soit pas onéreuse.

On peut tout d'abord penser à peindre ou imprégner la surface du matériau avec un hydrophobant après un séchage complet, car la couche d'hydrophobant risque de se fissurer si elle est appliquée au matériau frais. Mais cette solution peut ne pas être durable (à vérifier) et les fissures peuvent prendre naissance au cours du temps par laquelle l'eau peut pénétrer.

Une autre solution peut être réalisée en ajoutant au mélange, par exemple, un hydrophobant à base de silicone utilisé avec succès pour d'autres matériaux.

##### 4.3.2 Résistances mécaniques

Au cours de cette recherche, et après avoir consulté

tous les résultats, on a jugé nécessaire de tenter d'améliorer les résistances mécaniques de ces mortiers armés de fibres. On a vu au cours de cette étude que les mélanges présentaient des "discontinuités" au niveau de l'échelle macroscopique des divers constituants, notamment entre le grain d'argile (KAOLIN) et la fibre.

Afin de mettre en évidence le rôle de l'hétérogénéité des mélanges, en rendant au mieux possible continue l'échelle des différents constituants, on a pensé à rajouter

un constituant intermédiaire, du point de vue échelle, telles que les fines.

Les résultats ont montré une amélioration des résistances mécaniques, même sans conservation des éprouvettes en étuve [1]. La figure 19 illustre bien le phénomène.

## 5 CONCLUSION

En ce qui concerne l'incorporation des fibres de verre CEMFIL dans les mélanges argile ciment, les résultats obtenus au cours de cette recherche indiquent que la présence de ces fibres fait diminuer les variations dimensionnelles pendant le séchage et peuvent conduire à des matériaux possédant des résistances à la flexion affaiblies par rapport à celles du produit non armé de fibre. La diminution de la valeur de la résistance en traction, pour tous les dosages étudiés, a pour cause, d'une part, l'hétérogénéité due aux fibres et, d'autre part, à des discontinuités produites lors de la mise en forme, par extrusion, du matériau. En ce qui concerne la longueur des fibres, les résultats ont montré que l'utilisation des fibres de longueur égale à 6 mm est recommandée.

On peut indiquer, déjà, qu'il est possible d'utiliser ce matériau dans des conditions à hygrométries élevées et que ce matériau peut subir des variations de température sans qu'il soit dégradé. Mais il est prudent de résoudre le problème de contact à l'eau, plusieurs solutions, en effet, peuvent être proposées ③

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] M. Mimoun, A. Doustons, A. Gharbi : "Etude expérimentale de matériaux armés de fibres de verre mis en forme par extrusion". C.S.T.B, Paris, Mars 1987.

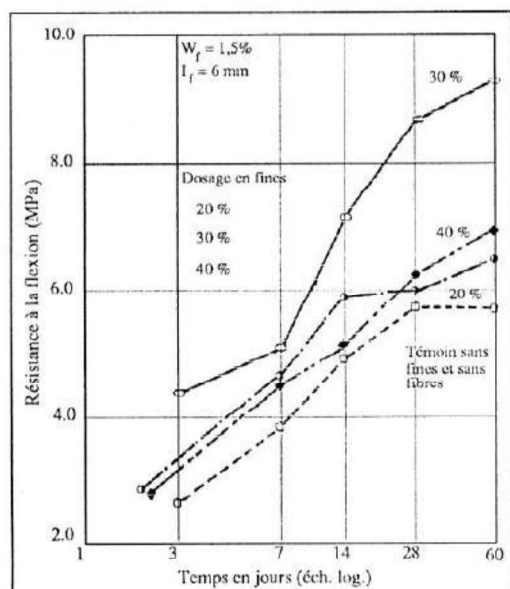


Figure 19 : Influence du dosage en fines sur la résistance à la flexion en fonction du temps. Mortiers contenant des fines armés de fibres de verre CEMFIL, 6 mm.

DANS UN PROCHAIN NUMERO :

"Les renforts fibreux  
utilisés dans les matériaux  
de construction."

Par :

Mostefa MIMOUN