

ETUDE DU COMPORTEMENT DU BETON RENFORCE DE FIBRES SOUPLES SOUMIS A L'EFFORT TRANCHANT

Par

Yacine CHERAIT

Docteur en Génie Civil, Maître Assistant, Centre Universitaire de Guelma

Résumé

Dans cet article, nous présentons quelques essais sur des éprouvettes de forme spéciale afin d'illustrer le comportement du béton renforcé de fibres en fonte amorphe sous l'effet de l'effort tranchant.

Les résultats obtenus montrent que la présence de fibres de fonte amorphe dans un béton permet d'améliorer sensiblement la contrainte tangentielle de rupture. Cet accroissement de la contrainte est de l'ordre de 66% pour un dosage volumique en fibres de 0.75% (soit 72 kg/m³ de béton). Le comportement se trouve lui aussi modifié. En effet, la loi contrainte-déformation illustre un comportement élastoplastique pour les bétons renforcés de fibres. Enfin, le mode de rupture observé lors des essais laisse apparaître un caractère ductile du composite.

Mots clés : béton • fibres • fonte • essai de cisaillement • capteur • charge • fissures • rupture.

1 INTRODUCTION

Il existe de nombreuses théories sur le comportement et la résistance à l'effort tranchant des poutres en béton armé. Parmi les théories récentes, nous citerons à titre d'exemple la théorie de Hawkins [1], qui considère que la rupture se produit si la croissance de la fissure est instable et la théorie proposée par P.E Regan [2] dite "des dents de peigne", qui considère l'effet combiné du frottement des granulats, de l'effet de verrou des armatures principales, de l'adhérence des armatures, etc. Les différences entre ces théories illustrent bien la complexité du problème.

Le bulletin d'information N°146 du CEB [3] a développé les divers types de rupture par effort tran-

chant, en les classant en 5 modes principaux indiquant la nature de la rupture et la séquence des événements : flexion-cisaillement, traction diagonale, aplatissement de l'âme, rupture par cisaillement et rupture de l'ancrage.

Les armatures transversales dans une poutre n'empêchent pas l'apparition des fissures, mais évitent ou retardent leur propagation.

Selon Fenwick et Paulay [4] la résistance d'une pièce linéaire soumise à l'effort tranchant peut se traduire par :

- un effort d'arc qui se développe par la transmission des forces de compression jusqu'à l'appui ;
- un fonctionnement de la poutre basé sur la théorie des "dents de peigne".

Ces deux mécanismes peuvent se combiner mais n'atteignent jamais la résistance maximale en même temps. Seul l'effet d'arc se développe complètement après la rupture par le fonctionnement basé sur la théorie des "dents de peigne".

La figure 1 montre l'équilibre des forces qui agis-

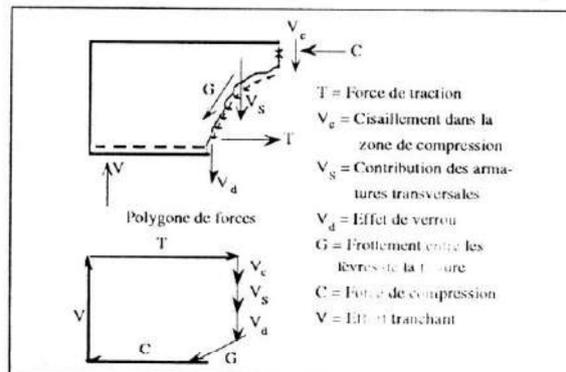


Figure 1 : Equilibre des forces agissant sur une fissure.

sent tout le long d'une fissure. Bien que leurs effets ne soient pas additifs, ces forces n'agissent jamais séparément. Cependant, de nombreux chercheurs ont essayé de les séparer [4], [5].

Une étude complète de la réponse d'une structure soumise à un effort tranchant est très complexe et nécessite un programme d'essai de grande envergure.

Nous nous sommes limités ici à la mise au point d'un essai de cisaillement pouvant faire apparaître les différents comportements du béton (témoin et avec fibres).

2 ESSAI DE CISAILLEMENT

L'essai le plus représentatif pour l'étude de la résistance aux efforts tangentiels est sans aucun doute l'essai de torsion sur cylindre creux. Cependant, sa réalisation est difficile en raison des grandes dimensions des éprouvettes, qui par ailleurs, du fait de leur faibles épaisseurs, ne permettent d'expérimenter que des micro-bétons ; il est ainsi difficile d'extrapoler les résultats obtenus au cas du béton courant.

Dans le cas des bétons de fibres, l'utilisation des micro-bétons exigerait des fibres de dimensions très réduites, et par conséquent une extrapolation aléatoire des résultats trouvés au cas général. Par ailleurs, l'orientation des fibres par effet de paroi poserait de sérieux problèmes.

Nous avons préféré, devant les nombreux problèmes liés à une étude approfondie du comportement des pièces en cisaillement, utiliser l'essai proposé par Paulay [6], qui consiste à charger une éprouvette dont la forme particulière favorise la rupture par cisaillement.

3 PROCEDURE EXPERIMENTALE

3.1 Matériaux utilisés

3.1.1 les bétons

Les bétons ont été élaborés à partir d'un ciment de classe CPJ 55, de granulats concassés, de fibres de fonte amorphe et d'un fluidifiant. Nous avons testé 4 compositions de bétons : un béton témoin traditionnel, les 3 autres contenant respectivement 36, 54 et 72 kg de fibres par m³. Le dosage en ciment est maintenu fixe et égal à 400 kg/m³. Enfin, la quantité d'eau introduite est telle que les 4 bétons soient isomaniabiles (10 secondes au maniabilimètre LPC).

Référence du béton	Ciment CPJ 55	Sable (kg)	Gravier (kg)	Fluidifiant (kg)
Témoin	400	651	1 179	-
Vf = 0.25%	400	646	1 170	8
Vf = 0.50%	400	644	1 166	8
Vf = 0.75%	400	641	1 162	8

Tableau 1 : Composition des bétons utilisés [7].

3.1.2 les fibres

Nous avons utilisé des fibres élaborées à partir de matériaux amorphes, appelés aussi verres métalliques. Ces métaux découverts par Paul Duwez en 1960, sont des alliages métalliques ayant une structure non cristalline (disposition non régulière des atomes).

Cet état peut être obtenu par un refroidissement extrêmement violent. La vitesse de la trempe doit être de l'ordre d'un million de degrés par seconde.

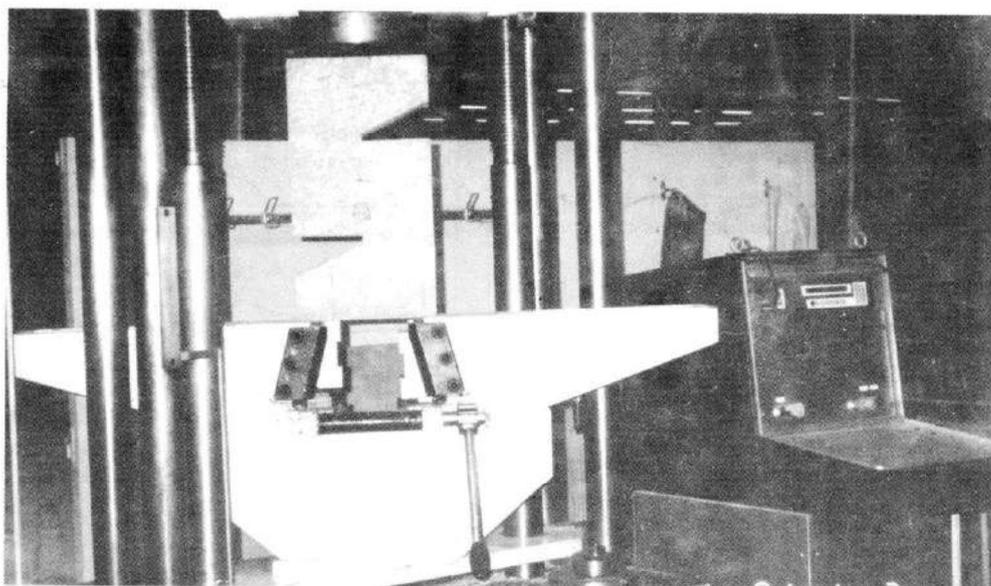


Photo 1 : Corps d'essai sur la machine avec le pupitre de commande.

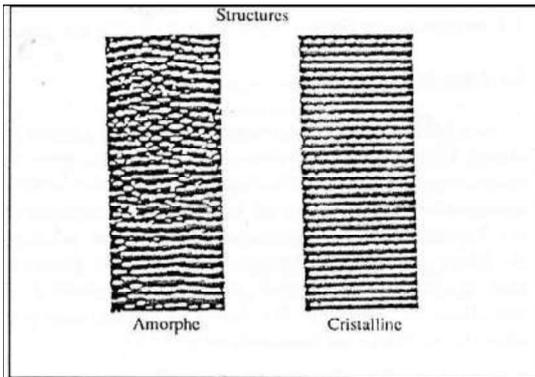


Figure 2 : Structure métallique amorphe et cristalline [9].

Les principales caractéristiques de la fibre de fonte sont résumées dans le tableau 2 ci-après :

Composition en %	75 de Fe	10 de C	8 de P	5 de Cu	2 de Si
Longueur (mm)	15 à 60 mm				
Largeur (mm)	1 à 2				
Épaisseur (mm)	0.03				
Résistance (MPa)	2 000				

Tableau 2 : Caractéristiques de la fibre de fonte [8].

Ce qui caractérise surtout la fibre de fonte amorphe c'est sa forme de ruban très mince (30 microns) donc souple, qui facilite énormément son introduction dans le mélange. Cette faible épaisseur lui confère en outre une surface spécifique nettement supérieure à celles des autres fibres métalliques (10 m²/kg au lieu de 1 m²/kg). Enfin, c'est une fibre qui offre une excellente résistance à la corrosion grâce à une mince couche de chrome.

3.2 Mesures

Pendant l'essai, on enregistre, grâce à 3 capteurs inductifs placés sur les deux faces latérales des éprouvettes (Figure 3), les grandeurs suivantes :

- la variation de l'écartement de deux points, F et F', situés de part et d'autre de la section de rupture, ainsi que leur déplacement relatif dans la direction parallèle au plan de cisaillement ;
- le déplacement vertical de la section de rupture (capteur placé sur l'autre face de l'éprouvette).

Les essais ont été menés avec asservissement en charge constant, avec une vitesse de montée de 1 kN/s. Un système d'acquisition des données (le P4000 de Vishay Micromesures) relève et stocke les valeurs des capteurs de déplacements et de forces toutes les 2 secondes.

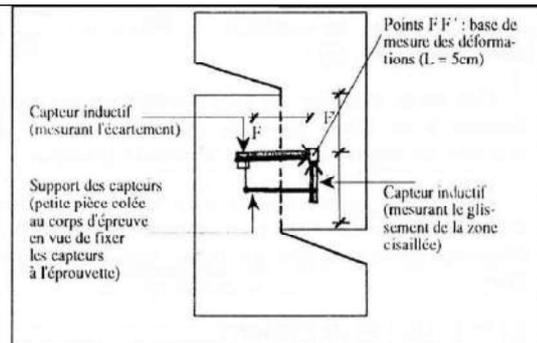


Figure 3 : Epreuve de cisaillement.

4 RESULTATS

Les résultats rapportant la moyenne de 4 essais sont présentés dans le tableau suivant :

Taux de fibres Vf (%)	Contrainte de cisaillement (MPa)
Vf = 0%	3.4
Vf = 0.25%	5.5 (+62%)
Vf = 0.50%	5.9 (+74%)
Vf = 0.75%	6.7 (+97%)

Tableau 3 : Contrainte de cisaillement à la rupture en fonction de V [7].

On constate que la présence des fibres s'accompagne d'une augmentation sensible de la contrainte ultime ; cet accroissement varie dans le même sens que la proportion volumique Vf. Pour les taux habituellement utilisés en pratique (0.5 à 1.5%), on peut donc s'attendre à une amélioration de la résistance à l'effort tranchant de près de 100%.

Cependant, des réserves doivent être émises sur les conclusions qu'on peut tirer de ces résultats pour la

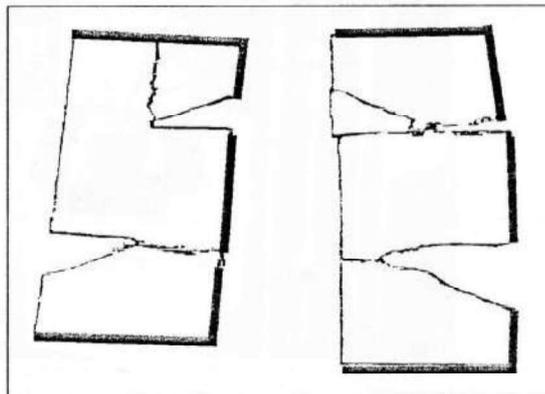


Figure 4 : Rupture des éprouvettes.

résistance au cisaillement ; en effet, s'il est exact que la pièce résiste dans sa section verticale à un effort de cisaillement égal à la charge appliquée, la rupture s'est produite en flexion dans d'autres sections de l'éprouvette comme on peut le voir sur la figure 4.

Ces éprouvettes présentent une moindre résistance en flexion qu'en cisaillement, flexion due en partie à un excentrement de la charge appliquée par rapport à la section médiane.

Afin d'éliminer ces ruptures "parasites", nous avons renforcé les corps d'épreuve par des armatures dont la forme est indiquée à la figure 5.

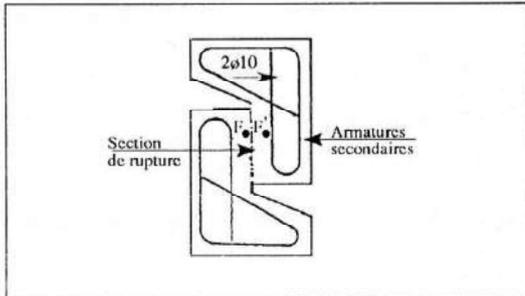


Figure 5 : Schéma de ferrailage.

Les résultats obtenus avec les éprouvettes armées sont portés dans le tableau 4.

Béton	Contrainte de cisaillement moyenne (MPa)
Témoin ($V_f = 0\%$)	5
$V_f = 0.25\%$	6.9 (+38%)
$V_f = 0.50\%$	7.9 (+58%)
$V_f = 0.75\%$	8.3 (+66%)

Tableau 4 : Contraintes tangentielles ultimes en fonction de V_f pour les éprouvettes armées.

La figure 6 représente la courbe "contrainte-déplacement vertical relatif" des points F et F'.

Les résultats obtenus montrent un gain très appréciable de la résistance ultime du béton en présence de fibres. Ainsi avec un taux volumique en fibres de 0.75% (soit 72 kg/m³ de béton), l'augmentation est de 66% ; on remarque aussi que cette augmentation varie dans le même sens que le dosage en fibres introduit.

Par ailleurs, on observe que les différentes courbes restent voisines jusqu'à 60% environ de la résistance du béton témoin, au delà, tandis que le béton témoin présente un comportement élastique qui finit par une rupture brusque, le comportement du béton de fibres est nettement différent, avec des courbes traduisant un comportement élasto-plastique. A partir d'une

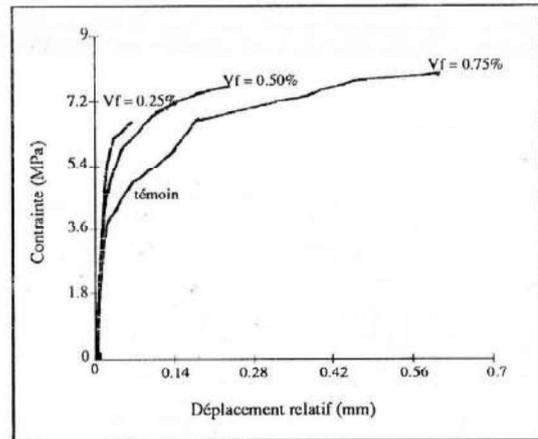


Figure 6 : Contrainte de cisaillement - déplacement vertical.

certaine valeur de la contrainte de cisaillement des bruits se font entendre, dus vraisemblablement à des ruptures de fibres, pendant toute la période d'ouverture des fissures, tandis que les déformations croissent rapidement et que la charge tend vers une limite.

L'apport des fibres modifie particulièrement le comportement à la rupture, beaucoup moins brusque que dans le cas du béton témoin ; de plus, la séparation de l'éprouvette est dans la plupart des cas évitée.

Enfin, nous avons comparé nos résultats à ceux présentés par Walraven [6] sur des éprouvettes similaires mais dans lesquelles la section, préalablement fissurée, était traversée par des armatures traditionnelles (Figure 7).

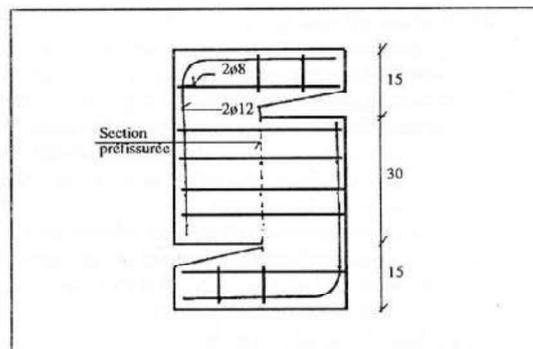


Figure 7 : Eprouvette utilisée par Walraven [6].

Les résultats (Figure 8) font apparaître que la résistance d'un béton contenant 0.75% de fibres de fonte amorphe est voisine d'une section armée transversalement de 1.68% d'armatures d'acier ; la seule différence de comportement entre nos résultats et ceux de Walraven tient à une plus grande rigidité du béton de

fibres, due au fait que Walraven avait provoqué une fissure préalable, ce qui n'était pas le cas pour nos éprouvettes.

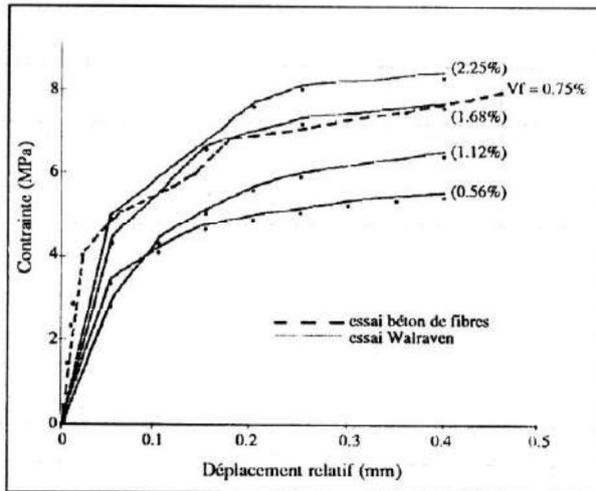


Figure 8 : Comparaison entre les résultats obtenus et ceux de Walraven.

5 CONCLUSION

Dans la première partie de cet article, nous avons présenté une synthèse des théories sur l'effort tranchant, en présentant les différents modes de rupture.

La deuxième partie de l'article porte sur une étude expérimentale qui a pour objectif de quantifier à travers un essai simple, donc facilement reproductible, l'apport de la fibre de fonte amorphe sur la résistance à l'effort tranchant d'un béton.

Les résultats obtenus montrent que :

- la présence de fibres augmente de manière significative la contrainte tangentielle ultime.
- la courbe contrainte-déformation se trouve elle aussi modifiée ; ainsi, on passe d'un comportement élastique pour le béton traditionnel, à un comportement élasto-plastique pour les bétons avec fibres.
- la rupture brusque n'est plus observée. En effet, les éprouvettes renforcées de fibres s'écaillent et gardent leur intégrité au delà

même de la charge de rupture, mettant ainsi en relief le caractère ductile du béton renforcé avec de telles fibres.

- enfin, un taux de fibres de 0.75% conduirait à une même résistance qu'un taux pondéral de 1.68% d'armatures transversales. Ce résultat montre, s'il est confirmé sur des poutres en vraie grandeur, qu'on pourrait dans certains cas remplacer les traditionnelles cadres par des fibres de fonte amorphe dont la mise en place permettrait un gain de temps appréciable ①

BIBLIOGRAPHIE

- [1] N.H Hawkins, A.N Wyss & A.H Mattock : "Fracture analysis of cracking in concrete beams". USA, J.A.S.C.E ST, 5 May 1997.
- [2] Y.D Hamadi & P.E Regan : "Behaviour in shear of beam with flexural cracks". Magazine of Concr. Rec. Vol. 32 n°111, June 1980.
- [3] C.E.B. : Bulletin d'information N°146, Janvier 1982.
- [4] R.C Fenwick & T. Paulay : "Mechanisms of shear resistance of concrete beams". USA, J.A.S.C.E Vol 94-ST, Octobre 1965.
- [5] J.C Krefield & C.W Thusston : "Contribution of longitudinal steel to shear resistance of reinforced concrete beams". USA, J.A.C.I Vol 63-N°3, March 1966.
- [6] J.C Walraven & H.W Reinhardt : "Theory and experiments on the mechanical behaviour of cracks in plain and reinforced concrete subjected to shear loading". ND MERON, Vol 26, 1981.
- [7] Y. Cheraït : "Contribution à l'étude de l'optimisation des bétons renforcés de fibres en fonte amorphe". Thèse de Doctorat présentée à l'université de Claude Bernard de Lyon, Mars 1992.
- [8] B. Guillebon & P. Fournier : "Effet of composition of Fe, Cr, Pc amorphous alloys". Edited by Steeb and Warlimant, 1984.