

Lyon, France  
5-6 juillet 2012

## Mode de rupture et résistance d'éléments composés en BFUP armé et béton armé

M. Bastien Masse, E. Brühwiler

Laboratoire de Maintenance, Construction et Sécurité des Ouvrages, École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) Lausanne, Suisse

**RÉSUMÉ:** L'ajout d'une couche de béton fibré à ultra haute performance (BFUP) avec ou sans barres d'armature sur des éléments en béton armé (dalles et poutres) permet de protéger et d'augmenter la résistance de ces derniers. Une série d'essais sur des poutres composées en porte-à-faux a été menée afin d'étudier la contribution de la couche de BFUP à la résistance de l'élément et le mode de rupture de ces derniers. Ensuite, une méthode analytique pour le calcul de la résistance à la flexion et au cisaillement est présentée.

**MOTS CLES :** BFUP, section composée, résistance au cisaillement, mode de rupture, analyse sectionnelle

### 1. INTRODUCTION

Avec la détérioration des infrastructures de béton et l'augmentation des charges dues au trafic (routier ou ferroviaire), il est nécessaire de raffiner les techniques de réhabilitation. Afin de prolonger la durée de vie d'un élément de béton et d'augmenter sa résistance, il est efficace d'ajouter une couche de 30 à 60 mm de béton fibré à ultra haute performance (BFUP) avec ou sans des barres d'armatures longitudinales de faible diamètre tel qu'illustré à la Figure 1. Le BFUP est un matériau caractérisé par une matrice cimentaire très dense, une faible perméabilité et d'excellentes propriétés mécaniques (Charron et al., 2004). L'application d'une couche de BFUP sur un élément de béton peut donc servir de protection contre l'eau et les chlorures, mais également de couche de renforcement externe à la traction (Habel, 2004).

Des essais de flexion menés sur des poutres composées ont démontré que l'ajout d'une couche de BFUP armé (BFUP-A ou UA) permet d'augmenter la résistance jusqu'à 165% par rapport à un élément de béton armé (BA) sans couche de BFUP (Oesterlee, 2010). De plus, aucune délamination n'est observée à l'interface entre le béton et le BFUP avant l'atteinte de la résistance maximale (Habel, 2004). Un comportement monolithique de l'élément composé UA-BA peut donc être considéré lorsque sollicité en flexion.

Wuest (2007) a réalisé un essai de poinçonnement sur une dalle composée BFUP-BA (à savoir, sans armature dans la couche de BFUP). L'ajout de la couche de BFUP sur l'élément de BA a permis d'augmenter la résistance de 60% par rapport à une dalle de BA seul. Tel qu'illustré à la Figure 2, le poinçonnement de l'élément de BA a mené à la rupture finale de la dalle composée. Cette rupture est similaire à une rupture en flexion-cisaillement (FC) d'une poutre. La rupture en flexion-cisaillement

d'un élément de BA se produit lorsqu'une fissure de flexion pivote et se développe ensuite vers l'appui rouleau avant de mener à une rupture « fragile », c'est-à-dire avec peu de déformations avant la rupture. Pour étudier le problème de la rupture en flexion-cisaillement, Noshiravani (2012) a choisi d'étudier le cas des poutres. Pour ce faire, 3 poutres de références en BA, 2 poutres BFUP-BA et 12 poutres UA-BA ont été testées en porte-à-faux. Toutes ces poutres représentent les nervures d'une dalle unidirectionnelle. Ces essais ont permis de démontrer que la couche de BFUP contribue de manière significative à la résistance à l'effort tranchant de l'élément composé mais également qu'il est possible de surarmé l'élément en flexion ce qui mène à une rupture fragile en flexion-cisaillement. Afin d'éviter ceci, Noshiravani (2012) a développé un modèle analytique et une formulation simplifiée pour le calcul de la résistance des éléments composés au cisaillement.

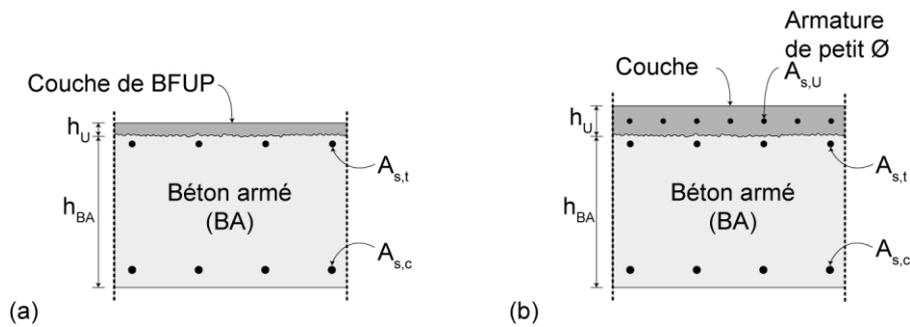


Figure 1. Section typique des éléments composés (Habel, 2004) : (a) pour la protection, sans armatures; (b) pour augmenter la résistance, avec armatures.

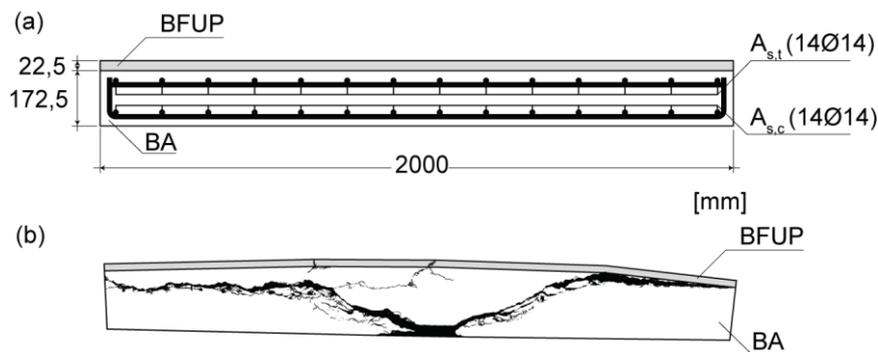


Figure 2. Section de dalle composée BFUP-BA (Wuest, 2007) : (a) géométrie de la section; (b) coupe de la dalle après la rupture.

Cet article présente d'abord les principaux résultats et conclusions de la campagne expérimentale menée par Noshiravani (2012). Par la suite, les résultats d'une série d'essais complémentaires sur des spécimens représentant plutôt des tranches de dalles sont également présentés. Enfin, les méthodes analytiques sont présentées et validées avec les résultats expérimentaux.

## 2. ESSAIS AU LABORATOIRE

L'objectif des essais est d'étudier le mode de rupture des spécimens composés ainsi que la contribution du BFUP à la résistance au cisaillement de l'élément. Deux types de spécimens et différentes configurations de l'essai de chargement sont utilisés à cette fin.

### 2.1 Spécimens

Les poutres B, testées par Noshiravani (2012) et illustrées à la Figure 3(a), ont une largeur de 150 mm, une hauteur totale de 300 mm et rappellent les nervures d'une dalle. Chacun de ces spécimens est en fait l'une des extrémités des poutres de 6 mètres utilisées par Oesterlee (2010) pour des essais de flexion. Après les essais d'Oesterlee, les poutres ont été coupées en trois segments d'environ 2 mètres chacun afin de retirer la partie centrale, endommagée.

Les poutres S, testées lors de la seconde campagne expérimentale et montrées à la Figure 3(b), ont une largeur de 400 mm, une hauteur totale de 220 mm et représentent plutôt des tranches d'une dalle sans armature de cisaillement. Toutes les poutres de la série S sont identiques et elles permettent d'étudier le comportement d'éléments de type dalle sans armature pour reprendre l'effort tranchant.

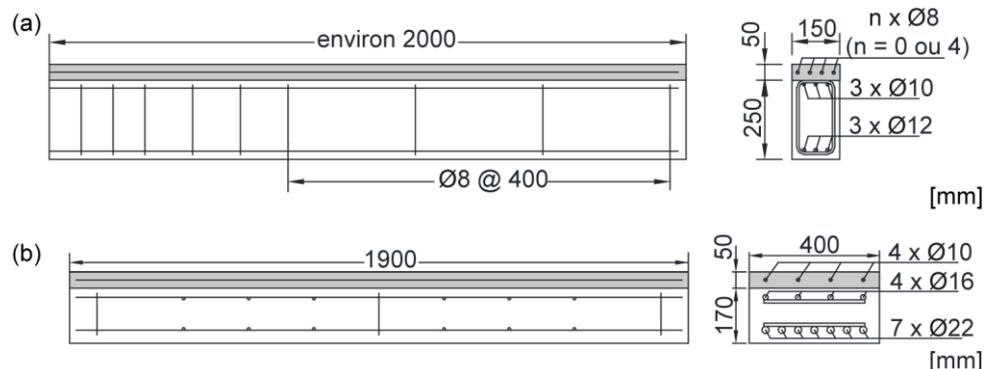


Figure 3. Géométrie et plan d'armature : (a) poutre B (Noshiravani, 2012); (b) poutre S.

Les éléments de BA, pour les deux séries de poutres, ont été réalisés dans une usine de préfabrication. Le fond des coffrages a été peint avec un retardateur de prise. Ainsi, le béton de surface a pu être lavé après le décoffrage ce qui a permis d'exposer les granulats. C'est sur cette surface rugueuse que la couche de 50 mm de BFUP (armée ou non) a été coulée, permettant ainsi une connexion convenable entre les deux bétons.

## 2.2 Propriétés des matériaux

Les poutres des deux séries (B et S) sont réalisées avec un béton normal contenant des granulats d'un diamètre maximal ( $d_g$ ) de 16 mm. Le Tableau 1 résume les propriétés moyennes du béton déterminées à un âge proche de celui des poutres au moment des essais.

Tableau 1. Propriétés mécaniques des bétons

Béton	$E_c$ [GPa]	$f_c$ [MPa]
poutres B (Noshiravani, 2012)	29,9	41,6
poutres S	31,4	56,8

Le BFUP des poutres mixtes est de type HIFCOM 13, formulation développée au laboratoire de l'EPFL. Il contient 3% vol. de fibres d'acier de 13 mm de longueur. Le comportement du BFUP en traction est caractérisé par une phase élastique jusqu'à la limite  $f_{ut,el}$ . Vient ensuite la phase d'écrouissage qui se termine à la résistance maximale du BFUP en traction,  $f_{ut,u}$ . Suit enfin l'adoucissement, phase qui débute lors de la localisation des déformations au droit d'une macro-fissure. Le Tableau 2 donne les principales propriétés mécaniques du BFUP de type HIFCOM 13.

Tableau 2. Propriétés mécaniques du BFUP

HIFCOM 13	$E_c$ [GPa]	$f_c$ [MPa]	$f_{ut,el}$ [MPa]	$\epsilon_{ut,el}$ [%o]	$f_{ut,u}$ [MPa]
Poutres B (Oesterlee, 2010)	48,8	160	10	3,0	12
Poutres S	43,8	227	10	3,0	12

L'acier d'armature placé dans les éléments de BA ainsi que dans les couches de UA a une limite élastique nominale de 500 MPa. Le diamètre des armatures varie selon le type de spécimen, tel qu'illustré à la Figure 3. Les propriétés mécaniques des barres d'armature sont présentées au Tableau 3.

Tableau 3. Propriétés mécaniques de l'acier d'armature (Noshiravani, 2012)

Diamètre [mm]	$f_{sy}$ [MPa]	$\epsilon_{su}$ [‰]	$f_{su}$ [MPa]
8	516	4,9	589
10	594	4,3	653
12	571	5,0	640
14 et plus	565	9,8	663

### 2.3 Montage et paramètres d'essais

La Figure 4 présente le montage pour les essais en porte-à-faux. La longueur  $a$  du porte-à-faux varie entre 1000 mm et 450 mm. La longueur  $l$  entre le vérin (charge  $P$ ) et l'appui rotulé est de 1600 mm pour les poutres B et de 1500 mm pour les poutres S. La distance entre l'appui rouleau et l'appui rotulé est précontraint à l'aide de paires de plaques d'acier placées de part et d'autre de la section et retenues par des tiges filetées. Cette précontrainte permet d'augmenter la résistance à l'effort tranchant de la portée entre les deux appuis et ainsi localiser la rupture de la poutre dans la section en porte-à-faux.

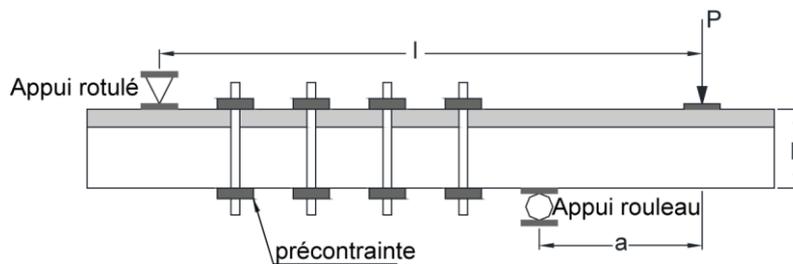


Figure 4. Montage expérimental.

Le Tableau 4 présente les paramètres de chaque essai considéré dans cet article, soit  $a$ , la portée de cisaillement,  $a/d$  le rapport entre la portée et la hauteur statique,  $\rho_{sv}$ , la quantité d'armature de cisaillement et  $\omega_i$ , le taux de renforcement en traction donnée par le type  $i$ . Les trois types de renforcement en tractions sont l'acier dans le haut de la section de BA (noté par l'indice  $s,t$ ), la couche de BFUP (noté par l'indice  $U$ ) et l'acier dans la couche de BFUP (noté par l'indice  $s,U$ ). Les valeurs de  $d$ ,  $\rho_{sv}$  et  $\omega_i$  sont calculées avec les équations 1 à 3 où  $d_i$ ,  $A_i$  et  $f_i$  représente respectivement la hauteur statique, l'aire et la limite élastique en traction du renforcement  $i$  considéré.  $A_c$  et  $f_c$  représente l'aire et la résistance à la compression du béton.

$$d = \frac{\sum d_i A_i f_i}{\sum A_i f_i} \quad (1)$$

$$\rho_{sv} = A_{sv,i}/s_i/l_i \quad (2)$$

$$\omega_i = \frac{A_i f_i}{A_c f_c} \quad (3)$$

Tableau 4. Principaux paramètres des essais en porte-à-faux

Série	b	h	Identification	a	l	a/d	$\rho_{sv}$	$\omega_{s,t}$	$\omega_U$	$\omega_{s,U}$
-------	---	---	----------------	---	---	-----	-------------	----------------	------------	----------------

	[mm]	[mm]		[mm]	[mm]	[%]	[%]	[%]	[%]	
B <sup>(1)</sup>	150	300	B_MW0	800	1600	3,4	0,17	8,1	0	0
			B_MW1	800	1600	3,2	0,17	8,1	3,9	0
			B_MW4	800	1600	3,1	0,17	8,1	3,9	7,3
S	400	220	S_L1	1000	1500	6,0	0	12,3	6,2	4,8
			S_M1	700	1500	4,2	0	12,3	6,2	4,8
			S_S1	450	1500	2,7	0	12,3	6,2	4,8

<sup>(1)</sup> Noshiravani, 2012

Durant les essais, contrôlés en déplacement, une vitesse de déplacement du vérin de 0,5 mm/min est appliquée jusqu'à l'atteinte de la résistance maximale. Cette vitesse est ensuite augmentée à 1,5 mm/min. Une cellule de force est placée entre le vérin et le spécimen afin de mesurer la résistance de la poutre en termes de force. Des capteurs de déplacement de type inductifs sont placés sous la poutre afin d'en mesurer la flèche.

### 3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

#### 3.1 Essais sur la série B (Noshiravani, 2012)

Afin d'illustrer la contribution de la couche de BFUP à la résistance et au mode de rupture, les résultats de trois essais réalisés par Noshiravani (2012) sur des spécimens ayant un taux d'armature en traction croissant sont présentés à la Figure 5. Le spécimen B\_MW0 est une poutre de référence en BA, tandis que les spécimens B\_MW1 et B\_MW4 ont des sections composées avec des couches de BFUP de 50 mm. Dans le premier cas, la couche de BFUP est non-armée tandis que dans le second cas, 4 barres d'armature de 8 mm de diamètre y sont ajoutées. Tel que présenté au Tableau 4, ces trois poutres sont testées avec une portée de cisaillement  $a$  de 800 mm.

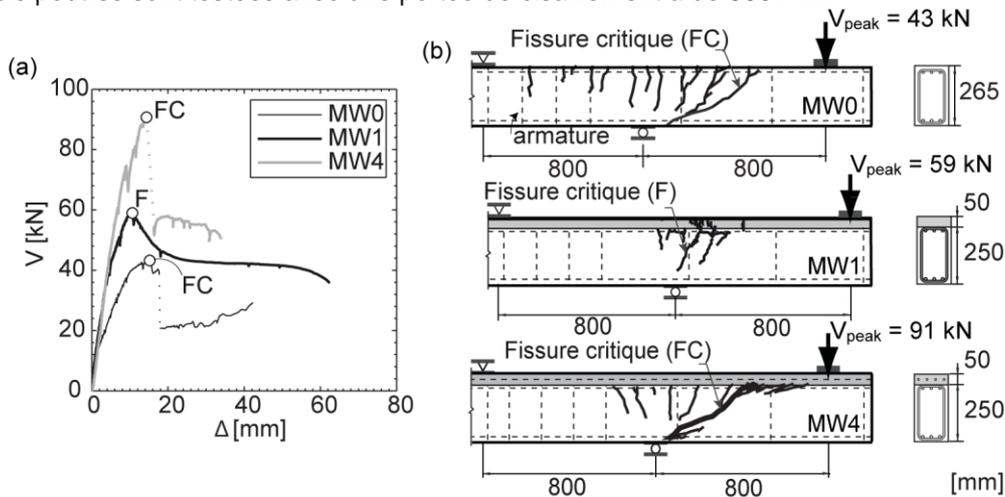


Figure 5. Résultats d'essais en porte-à-faux sur poutres B (Noshiravani, 2012) : (a) courbe force-déplacement; (b) fissuration à la résistance maximale.

La rupture de la poutre B\_MW0 se produit en flexion-cisaillement. Grâce à l'ajout de la couche de BFUP sur la poutre B\_MW1, la rupture en flexion-cisaillement est évitée et une rupture ductile, en flexion (F), est observée avec un gain de résistance de 37 % par rapport au spécimen de BA. Lors d'une rupture ductile en flexion, l'élément composé conserve, après l'atteinte de la résistance maximale, une proportion significative de sa résistance et sa capacité de déformation plastique. Par contre, dans le cas de la poutre B\_MW4, l'ajout de l'armature dans la couche du BFUP mène à nouveau à une rupture fragile en flexion-cisaillement, malgré le gain en résistance de 112% par rapport au spécimen de référence. La rupture fragile en flexion-cisaillement s'accompagne d'une chute soudaine de la résistance de l'élément.

Ces résultats démontrent l'importance de bien comprendre la contribution de la couche de BFUP, armée ou non, aux mécanismes de rupture afin d'être en mesure de concevoir des renforcements qui permettent d'augmenter la résistance de l'élément mais qui assure également une grande capacité de déformation à l'état limite ultime.

L'essai sur la poutre B\_MW4 permet également d'étudier le mode de rupture en flexion-cisaillement pour une poutre composée. Durant l'essai, l'une des fissures de flexion dans le BA, près de l'interface avec la couche de BFUP, pivote pour se développer vers l'appui intermédiaire. Cette fissure devenue diagonale initie un processus d'adoucissement d'un volume de béton sous la couche de BFUP, tel que démontré par Noshiravani (2012) et illustré à la Figure 6. La fissure diagonale cherche à s'ouvrir ce qui crée une action de levier sur la couche de BFUP et la pousse à se déplacer par rapport au socle de BA. Ce processus est connu sous le nom de délamination causé par une fissure intermédiaire (DFI) et doit être considéré lors du calcul de la résistance au cisaillement d'une section composée puisque lorsque qu'une zone de DFI apparaît, comme dans le cas de la poutre B\_MW4, le comportement monolithique de la section est perdu.

### 3.2 Essais sur la série B

Les résultats des essais sur les poutres S sont présentés à la Figure 7. Les essais sont réalisés sur trois spécimens identiques avec des portées de cisaillement de 1000 mm, 700 mm et 450 mm, tel que présenté au tableau 4. Dans les trois cas, la rupture finale s'est produite en flexion, c'est-à-dire que l'élément a conservé une proportion importante de sa résistance après l'atteinte de la résistance maximale. La chute soudaine de résistance qui apparaît à la fin de l'essai est due à la rupture des barres d'armature dans la couche de BFUP.

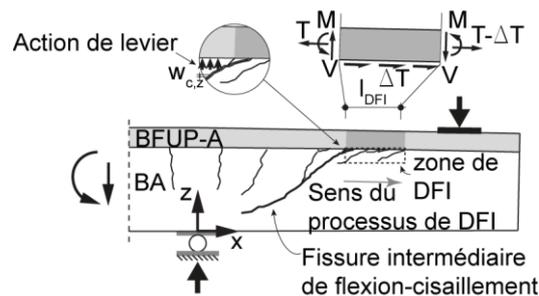


Figure 6. Principe de la délamination causée par une fissure intermédiaire (DFI) (Noshiravani, 2012)

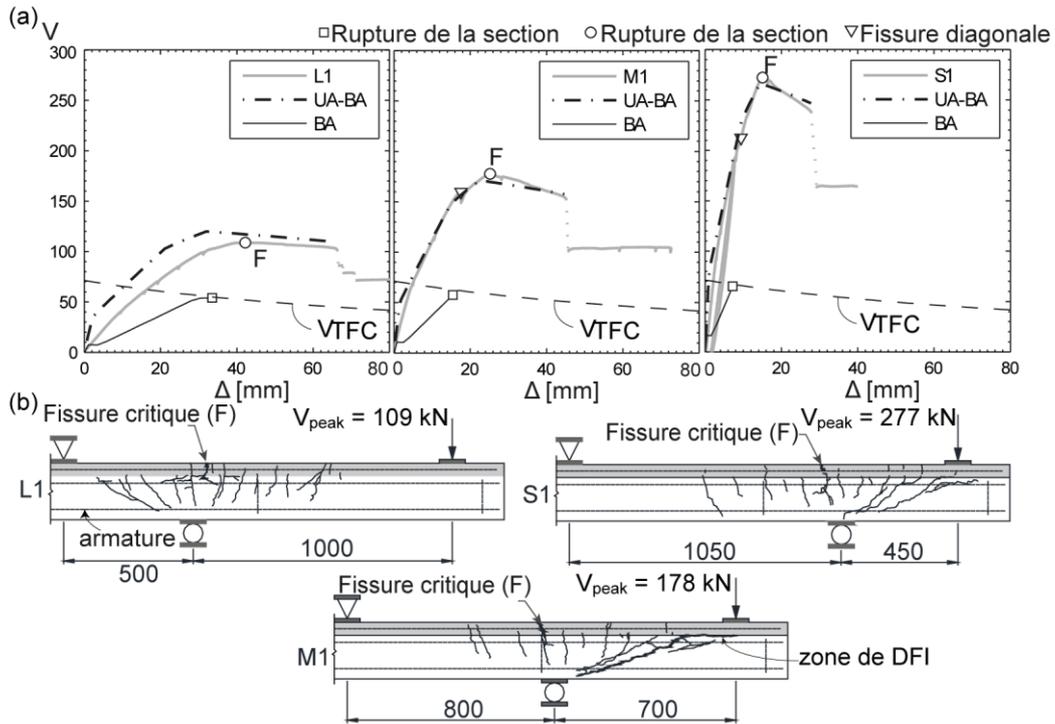


Figure 7. Résultats d'essais en porte-à-faux sur poutres S : (a) courbes force-déplacement; (b) fissuration à la résistance maximale.

Pour chacune des portées considérées, la Figure 7 donne également la courbe force-déplacement pour la section de BA, calculée à l'aide d'une analyse sectionnelle classique et combinée à un critère de rupture à l'effort tranchant. Ce critère est défini selon la théorie de la fissure critique (TFC) (Vaz Rodrigues et al., 2010) selon laquelle la résistance à l'effort tranchant est fonction de l'ouverture d'une fissure critique diagonale. La TFC s'applique aux éléments sans armature de cisaillement et tient compte de l'engrènement des granulats le long de la fissure diagonale. Le critère de rupture selon la TFC est calculé en fonction de la courbure de l'élément selon l'équation (4) :

$$\frac{V_{TFC}}{bd\sqrt{f_c}} = \frac{1}{6} \frac{1}{1+2\frac{\psi d}{16+d_g}} \quad (4)$$

$$\psi = \frac{\Delta}{a} \quad (5)$$

Dans tous les cas, la section de BA, sans armature de cisaillement, aurait connu une rupture en cisaillement. Pour la poutre S\_L1, aucune fissure diagonale n'a été observée le long de la portée de 1000 mm. Par contre, pour les poutres S\_M1 et S\_S1, une fissure diagonale est apparue au cours de l'essai. Cet événement est marqué par un triangle sur les courbes expérimentales. L'ajout de la couche de BFUP a donc permis de retarder le moment d'apparition de la fissure diagonale et d'en contrôler l'ouverture afin d'obtenir une rupture en flexion ductile. Pour la poutre S\_M1, la fissure diagonale a de plus mené à l'apparition d'une zone de DFI.

#### 4. MODÈLE ANALYTIQUE

Afin de déterminer la résistance de la section composée, il faut considérer si celle-ci se comporte de façon monolithique, comme c'est le cas lors d'une rupture en flexion ou bien s'il y a l'apparition d'une zone de DFI entre la couche de BFUP et la section de BFUP comme pour une rupture en flexion-cisaillement.

##### 4.1 Section composée monolithique

Tel que discuté précédemment, dans le cas d'une rupture en flexion, la section composée se comporte de façon monolithique, c'est-à-dire qu'aucune délamination entre le BFUP-A et le BA n'est

observé au droit de la fissure critique de flexion. Ainsi, il est possible d'obtenir la relation moment-courbure de la section composée par une analyse sectionnelle tel que démontré par Habel (2004). Ce modèle suppose que les sections planes restent planes (hypothèse de Bernoulli). De plus, le comportement écrouissant et adoucissant du BFUP est pris en compte pour le calcul du moment.

Pour les trois essais réalisés sur les poutres S, le comportement de la section composée UA-BA a été reproduit de façon fidèle à l'aide de cette méthode. Le résultat de cette analyse est tracé à la Figure 7(a) pour les trois portées étudiées (trait identifié par UA-BA).

## 4.2 Délamination causée par une fissure intermédiaire (DFI)

Les poutres B\_MW4 et S\_M1 présente des réseaux de fissuration semblable (voir Figures 5 et 7). Dans les deux cas, durant l'essai, une zone de DFI apparaît à la bouche de la fissure diagonale de flexion-cisaillement. Dans le cas de la poutre B\_MW4, cette fissure diagonale mène à la rupture en flexion-cisaillement tandis que dans le cas de la poutre S\_M1, la rupture se fait finalement en flexion, au-dessus de l'appui.

Le processus de délamination causée par une fissure intermédiaire (DFI) joue un rôle important dans la résistance et le mode de rupture de l'élément composée. En effet, la section ne se comporte plus de façon monolithique et sa rigidité est ainsi réduite. La couche de BFUP, en résistant à la délamination, est ainsi soumise à des efforts de flexion en double courbure, tel qu'illustré à la Figure 6. En tenant compte de ce mécanisme, Noshiravani (2012) propose une formulation simplifiée pour calculer la contribution du BFUP-A à la résistance au cisaillement d'une section composée UA-BA :

$$V_{UA-BA} = V_C + V_s + V_{UA} \quad (6)$$

La résistance au cisaillement est donc l'addition de la contribution du béton ( $V_C$ ), de l'armature de cisaillement ( $V_s$ ) et de la couche de BFUP-A ( $V_{UA}$ ). Noshiravani (2012) propose d'utiliser la solution de Stoffel (2000) pour le calcul de la résistance au cisaillement du béton le long de la fissure diagonale :

$$V_C = \frac{f_{ce}b}{2} \left[ \frac{C_{FC}}{\sin \theta_c} (1 - \sin \alpha) \right] \quad (7)$$

Dans cette équation :

- $f_{ce}$  est la résistance effective du béton qui peut être prise égale à  $0,8f_c$ ;
- $C_{FC}$  est la hauteur de la zone comprimée dans le BA;
- $\theta_c$  est l'angle de la fissure diagonale par rapport à l'horizontale et  $\alpha$  est celui par rapport à la verticale.

La résistance de l'armature de cisaillement se calcule avec l'équation suivante :

$$V_s = A_v f_{sy} \quad (8)$$

Enfin, la contribution de la couche de BFUP-A est fonction de sa résistance maximale au moment de flexion ( $M_{UA,max}$ ) et de la longueur maximale de la zone de DFI ( $l_{UA,dl,max}$ ). La résistance à la flexion de la couche de BFUP-A se calcule par une analyse sectionnelle. La longueur  $l_{UA,dl,max}$  se calcule de façon géométrique à l'aide de l'angle  $\theta_c$  et de la longueur de la portée  $a$ .

$$V_{UA} = \frac{2M_{UA,max}}{l_{UA,dl,max}} \quad (9)$$

Avec ces équations, il est possible de calculer la résistance au cisaillement ( $V_{R,cis}$ ) des spécimens B\_MW4 et S\_M1 et de les comparer à la résistance à la flexion. Le moment résistant à la flexion est obtenu avec l'analyse de la section monolithique. Selon la portée  $a$  de l'essai considéré, la résistance à la flexion est exprimé comme une force ( $V_{R,f}$ ). Le Tableau 5 présente les principaux paramètres (issus des observations expérimentales), les résultats de ces calculs et la résistance maximale mesurée expérimentalement ( $V_{peak}$ ). Les méthodes d'analyse proposées ont permis de prédire fidèlement la résistance ultime des sections composées.

Tableau 5. Résultat du calcul de résistance des poutres composées

	S_M1	B_MW4
<b>Paramètres</b>		
<b>C<sub>FC</sub> [mm]</b>	55	90
<b>θ<sub>c</sub></b>	25	30
<b>α</b>	65	60
<b>M<sub>UA,max</sub> [kN.m]</b>	8	4
<b>I<sub>UA,dl,max</sub> [mm]</b>	180	280
<b>Résistance</b>		
<b>V<sub>R,f</sub> [kN]</b>	171	95
<b>V<sub>C</sub> [kN]</b>	111	60
<b>V<sub>s</sub> [kN]</b>	0	0
<b>V<sub>UA</sub> [kN]</b>	87	25
<b>V<sub>R,cis</sub> [kN]</b>	198	<b>86</b>
<b>V<sub>peak</sub> [kN]</b>	178	91
<b>Ecart (%)</b>	3.9%	5.5%
$\left[ \frac{V_{peak} - V_{R-min}}{V_{peak}} \right]$		

Il est intéressant de noter, que dans les deux cas, la différence entre la résistance au cisaillement et la résistance à la flexion est faible, soit entre 10 et 15% de différence entre les deux valeurs, d'où l'importance d'une bonne conception du renforcement en BFUP.

## 5. CONCLUSION

Les essais réalisés au laboratoire ont permis de démontrer que l'ajout d'une couche de BFUP permet d'augmenter la résistance au cisaillement d'une section de BA de manière significative démontrant ainsi l'efficacité de cette méthode de renforcement. Lors des essais sur la série de poutres B, il a également été démontré qu'il est possible de surarmer l'élément et ainsi obtenir une rupture fragile en flexion-cisaillement. Ceci démontre l'importance d'avoir de bonnes méthodes de conception afin de choisir adéquatement l'épaisseur et le taux d'armature du renforcement en BFUP.

Pour ce faire, deux modèles de résistance sont présentées. Pour le calcul de la résistance à la flexion, la section composée est considérée monolithique et une analyse sectionnelle permet de connaître sa résistance maximale (Habel, 2004). Dans le cas de la résistance au cisaillement, la contribution du béton, de l'acier de cisaillement et de la couche de BFUP sont additionnées. La contribution de la couche de BFUP est fonction de la longueur de la zone de DFI.

Il s'agit maintenant de vérifier si les modèles développés pour les sections composées sont applicables pour des dalles telles que celle testée pour le poinçonnement par Wuest (2007) et illustrée à la Figure 2.

## 6. REFERENCES

Charron, J.-P., Dénarié, E. et Brühwiler, E. (2007) Permeability of ultra high performance fiber reinforced concretes (UHPRFC) under high stresses. *Materials and Structures*, 40: 269-277.

Habel K. (2004) *Structural Behaviour of Elements Combining Ultra-High Performance Fibre-Reinforced Concretes (BFUP) and Concrete*. Doctoral Thesis, No. 3036, MCS, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne Lausanne, Suisse.

Noshiravani, T. (2012) *Structural Response of R-UHPFRC – RC Composite Members Subjected to Combined Bending and Shear*. Doctoral Thesis No. 5246, MCS, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne Lausanne, Suisse.

Oesterlee, C. (2010). *Structural Response of Reinforced UHPFRC and RC Composite Members*. Doctoral Thesis No. 4848, MCS, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne Lausanne, Suisse.

Stoffel, P. (2000). *Zur Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Stahlbetonbauten*. Doctoral thesis, ETHZ, Zurich, Suisse.

Vaz Rodrigues, R., Muttoni, A. et Fernández Ruiz, M. (2010) Influence of Shear on Rotation Capacity of Reinforced Concrete Members Without Shear Reinforcement. *ACI Structural Journal*, 107:516-525.

Wuest, J. (2007). *Comportement structural des bétons de fibres ultra performants en traction dans des éléments composés*. Doctoral thesis No. 3987, MCS, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne Lausanne, Suisse.