

# Résumé

La recherche théorique et expérimentale effectuée dans le cadre de cette thèse apporte une contribution à la compréhension du comportement structurel des éléments en béton fibré à ultra hautes performances (BFUHP/UHPFRC).

Le BFUHP est étudié en qualité de matériau cimentaire avancé, qui offre des possibilités spécifiques pour l'innovation dans le domaine de la conception des ponts. La composition optimale du matériau entraîne une haute résistance à la compression ainsi qu'une résistance et une ductilité non négligeables en traction, grâce à la microfissuration. Cela permet de reprendre des efforts de traction significatifs dans les éléments fléchis, même en absence d'armatures ordinaires. Grâce aussi à la durabilité du matériau vis-à-vis de la dégradation environnementale, des éléments de structures très minces peuvent être ainsi réalisés.

Cette recherche se concentre principalement sur le comportement et sur le dimensionnement en flexion de poutres et dalles en BFUHP sans armature ordinaire. Le poinçonnement est également investigué en tant que possible mode de rupture. Une différence importante par rapport aux autres types de béton réside dans le fait que, pour une utilisation structurale rationnelle du BFUHP, des modèles mécaniques qui tiennent compte de son comportement en traction sont nécessaires. Dans cette recherche, des modèles analytiques et numériques sont développés pour simuler la réponse non linéaire en flexion des poutres et dalles en BFUHP. Cela permet de décrire le comportement des éléments à l'état limite de service, mais aussi de prévoir leur charge de rupture. La recherche théorique, aussi bien pour la flexion que pour le poinçonnement, s'appuie sur les résultats d'essais en laboratoire sur poutres et dalles réalisées avec le BFUHP BSI®, contenant 2.5 % en volume de fibres métalliques, avec une longueur de 20 mm.

Le modèle analytique pour les poutres fléchies tient compte de la multi-microfissuration du matériau ainsi que de la propagation d'une macro-fissure avec un comportement adoucissant en traction. La multi-microfissuration est idéalisée avec un comportement pseudo-plastique en traction, alors que la macro-fissure est modélisée selon les hypothèses du modèle de la fissure fictive. Les résultats sont en bonne concordance avec les données expérimentales ainsi qu'avec les résultats des modélisations numériques effectués par la méthode des éléments finis. En se basant sur les résultats théoriques et expérimentaux, il a été possible de démontrer que la multi-microfissuration gouverne le comportement avant-pic et la résistance flexionnelle. La propagation de la macro-fissure n'apporte qu'une contribution mineure à la résistance flexionnelle mais, dans les éléments minces, elle joue un rôle important pour le développement d'un comportement ductile en flexion. Les résultats théoriques montrent que, grâce à la présence de déformations pseudo-plastiques significatives, l'effet d'échelle sur la résistance en flexion est beaucoup moins important pour le BFUHP que pour les autres matériaux quasi-fragiles, conformément aux résultats expérimentaux. Même si la phase pseudo-plastique est peu importante, les éléments minces peuvent développer une résistance et une ductilité similaires à celles développées par un matériau qui a de grandes déformations pseudo-plastiques. Cela est possible grâce à la diminution lente et progressive des contraintes dans la phase adoucissante. Néanmoins, en absence de déformations pseudo-plastiques, le comportement des éléments épais approche le comportement typique des matériaux quasi-fragiles, avec un effet d'échelle plus important.

Dans le cas de poutres hyperstatiques et de dalles, il est montré que la ductilité en traction peut permettre une redistribution significative des efforts internes dans les éléments minces, avec une augmentation importante de la résistance ultime et le développement d'un comportement similaire à un mécanisme plastique. De plus, de grandes rotations peuvent se développer après fissuration tout en gardant un moment résistant de flexion presque constant. La théorie de la plasticité peut ainsi être appliquée pour prédire la capacité portante des poutres et des dalles minces. La définition d'une approche pour prédire le moment résistant plastique permet d'estimer de manière aisée la charge de rupture en flexion. Les résultats de l'analyse concordent avec les résultats d'essais sur dalles de différentes épaisseurs. Cependant, à cause de l'effet d'échelle important qui existe sur la ductilité en

flexion, la capacité de rotation est limitée pour les éléments en BFUHP épais ( $>100\text{ mm}$ ), et la théorie de la plasticité ne s'applique pas.

La recherche expérimentale et théorique sur la rupture au poinçonnement des dalles minces en BFUHP démontre l'influence des paramètres structuraux sur la résistance à l'effort tranchant. En reliant l'ouverture de la fissure critique pour l'effort tranchant à la rotation de la dalle, une proposition est faite pour permettre de tenir compte de la contribution des fibres à la résistance à l'effort tranchant en fonction de paramètres dépendant de la structure. Pour les éléments minces et très déformables, cette approche permet une prédiction plus précise et plus prudente que celle obtenue avec les normes existantes.

Dans le cadre d'une application structurale du BFUHP pour le dimensionnement des ponts, le concept de dalle nervurée est étudié. Sur la base des résultats théoriques et expérimentaux, il est démontré que des dalles minces en BFUHP ( $40\text{-}60\text{ mm}$ ) sans armatures ordinaires peuvent être utilisées selon ce même concept structural, car elles fournissent une résistance à la flexion et au poinçonnement suffisante pour reprendre les charges de trafic appliqués localement et pour les transmettre aux porteurs principaux. Avec des nervures précontraintes, les dalles nervurées en BFUHP peuvent offrir une grande résistance tout en réduisant significativement le poids propre de la structure. Ce concept est intéressant pour la réalisation de nouvelles structures, mais aussi dans le cadre de la réhabilitation et de l'élargissement de structures existantes.

**Mots-clefs:** béton fibré à ultra-hautes performances (BFUHP), poutre, dalle, éléments minces, structure, pont, dalle nervurée, flexion, poinçonnement, dimensionnement, analyse plastique, fissuration, comportement durcissant en traction, comportement adoucissant en traction, résistance flexionnelle, ductilité, effet d'échelle