



Université Claude Bernard



DIPLÔME NATIONAL DE DOCTORAT

(Arrêté du 25 mai 2016)

Date de la soutenance : **02 décembre 2022**

Nom de famille et prénom de l'auteur : **Monsieur ARMONICO ANDREA**

Titre de la thèse : « *Méthode inverse d'identification du niveau de dommage des structures en béton armé renforcées par des tissus de PRFC collés à l'extérieur* »

Résumé



L'évolution des systèmes de transport au fil des ans a impliqué de grandes infrastructures, les amenant à faire face à des charges toujours plus importantes. En outre, compte tenu de l'âge des structures, très souvent, le béton qui les constitue a perdu une partie de sa résistance initiale, produisant des fissures plus ou moins étendues avec des dommages conséquents sur l'acier d'armature. L'évolution des technologies d'ingénierie a permis d'améliorer la performance des structures grâce à l'utilisation de matériaux innovants tels que les matériaux polymères renforcés de fibres (PRF). Cependant, de nombreux événements dramatiques ont impliqué l'effondrement soudain d'infrastructures qui, en raison d'un manque d'entretien ou de surcharges pour lesquelles elles n'avaient pas été conçues, se sont écroulées, faisant de nombreuses victimes. Parmi les cas les plus notoires, on peut citer le pont de la ville de Tenggarong, en Indonésie (2011), le pont de Harbin, en Chine (2012), le pont Morandi à Gênes, en Italie (2018), un pont souterrain à Mexico (2021), ainsi que de nombreux autres impliquant des structures plus petites.

Cette thèse se concentre essentiellement sur la possibilité de prévenir de tels événements, en s'appuyant sur la capacité à trouver des indicateurs de la santé d'une structure en béton armé ou non armé. En particulier, si l'on considère le schéma structurel des ponts, le système de poutres à double appui est l'approximation la plus appropriée. En ce qui concerne les contraintes étudiées, le comportement en flexion sera isolé, et les modes de défaillance appropriés seront utilisés.

Cette thèse étudiera le comportement structurel d'une poutre en béton armé renforcée par des tissus de carbone PRF (PRFC). Le tissu sera collé en double couche avec une résine époxy à deux composants au niveau de la fibre tendue de la poutre pour toute la longueur de la portée libre couvrant 10 cm de la largeur de 15 cm.

Dans le même temps, l'utilisation d'un système de mesure innovant basé sur des systèmes de fibres optiques qui sera intégré entre les deux couches composites sera évaluée. L'objectif est d'identifier des indicateurs de santé et, en même temps, d'évaluer la possibilité d'utiliser des composites intelligents pour renforcer des structures existantes. A cette fin, un vaste programme expérimental a

été mis en place avec le double objectif d'identifier les paramètres d'alarme et de comprendre leur lien avec les charges et la santé de l'élément structurel.

Le premier groupe d'expériences est constitué de 19 poutres rectangulaires d'une portée libre de 2 mètres et d'une section transversale de 150 cm x 250 cm. Cette première phase expérimentale vise à étudier le comportement en flexion des poutres renforcées de PRFC afin de comprendre le potentiel que peut avoir un tissu intelligent et de développer des méthodes de traitement des données qu'il est capable d'acquérir. Les spécimens sont équipés de capteurs de laboratoire (c'est-à-dire des transducteurs à déplacement linéaire variable (LVDT) et des jauges de déformation électriques sur l'acier et le composite), tandis que les champs de déformation et de déplacement sont obtenus par corrélation d'images numériques en 2D (DIC 2D).

Dans cette première partie des expériences, l'impact de paramètres spécifiques sur le comportement de la résistance, la dissipation et la compréhension des indicateurs de dommages sera évalué. Les spécimens d'essai diffèrent par le diamètre des barres d'armature (en gardant le même nombre), la présence d'un renforcement en PRFC et le moment de son application (c'est-à-dire avec la structure intacte ou déjà fissurée). Les résultats seront montrés une augmentation de la résistance ultime dans les poutres renforcées. Cependant, les différents pourcentages d'acier ont modifié impact sur l'impact du système de renforcement. L'amélioration de la résistance allait d'une augmentation de 80% pour les poutres avec deux barres de 10 mm de diamètre à 20% pour celles dont le diamètre était de 14 mm. En même temps, une réduction de la capacité de déformation ultime a été notée de manière plus significative dans les poutres avec un ratio d'acier plus élevé. D'autre part, une quantité d'acier inférieure a montré une contrainte plus importante sur le carbone.

L'influence de la préfissuration a été évaluée à la fois dans les répercussions sur les matériaux de renforcement (c'est-à-dire l'acier et le PRFC) et dans la dissipation d'énergie de la structure (c'est-à-dire la fissuration). Dans les structures déjà endommagées, le PRFC est immédiatement sollicité pour compenser le béton fissuré qui ne participe plus à l'équilibre de la section, ce qui permet d'avoir des contraintes dès les premières phases de chargement. Grâce aux tissus intelligents, on a pu constater que chaque fissure a une influence sur son environnement (c'est-à-dire à l'interface entre le béton et le PRFC). Cette longueur d'influence, appelée longueur effective, est presque doublée dans le cas d'un renforcement dans des conditions endommagées. Ce résultat suggère qu'une structure renforcée alors qu'elle est déjà fissurée sollicite une zone d'adhésion significativement plus grande, avec une plus grande possibilité de décollement lorsqu'elle est utilisée sous des charges de service.

Suite aux informations enregistrées pendant les essais, deux modèles prédictifs ont été développés. Le premier, basé sur les formulations fournies par l'Eurocode 2, donne la valeur maximale de l'amplitude de la fissure dans une structure avec un renforcement en PRFC. Le second permet de déduire l'état tensionnel de l'interface autour d'une fissure à partir de la mesure de son amplitude.

Sur la base des résultats obtenus lors de la première phase du programme expérimental, la seconde phase avait principalement un objectif de validation et de démonstration d'un système complet de surveillance de la sécurité des structures. Quatre poutres en béton armé avec une section en forme de T et une portée libre de 5 m ont été préparées avec les mêmes méthodologies que celles utilisées dans la première phase. Dans cet ensemble de poutres, la fibre optique est insérée dans une barre en fibre de verre et noyée dans le béton. Par conséquent, un autre mode de surveillance structurelle différent du mode externe utilisé dans le renforcement intelligent a été évalué. Deux poutres ont été testées de manière monotone en flexion 4 points dans les configurations de référence et renforcée. Le composite est collé sur la face inférieure de la poutre, couvrant 10 cm de largeur sur 13 cm le long de la portée. Comme pour les poutres à section rectangulaire, les effets du renforcement avec du matériau

composite ont été analysés à plusieurs niveaux. Les résultats sont cohérents avec ce qui a été trouvé dans les poutres à section rectangulaire ; cependant, une augmentation plus faible de la résistance (c'est-à-dire 20% de plus que la poutre de référence) et une amélioration de la déformabilité (c'est-à-dire une poutre renforcée en CFRP 20% plus déformable que la poutre de référence) ont été notées. En outre, le modèle de prédiction de l'amplitude maximale des fissures a été utilisé pour évaluer son applicabilité. En parallèle, les deux autres poutres ont été soumises à des essais de fatigue en reproduisant le schéma de flexion 4 points dans les mêmes configurations que les essais monotones. Les essais de fatigue ont produit des résultats classés de la même manière que les essais monotones ; cependant, dans ce cas, un système de surveillance complet combinant la fibre optique et la surveillance sans contact a été testé. Les déformations sont évaluées à l'aide de la structure à partir du mouvement, un algorithme basé sur la photogrammétrie qui permet de recréer des nuages de points à partir d'un ensemble d'images ; les fissures sont mesurées à l'aide d'un scanner 3D qui base son fonctionnement sur la réflexion des entrées de lumière (c'est-à-dire un lidar laser). Les mesures effectuées avec les systèmes de surveillance les plus innovants ont été comparées aux instruments traditionnellement utilisés en laboratoire et ont montré une excellente fiabilité et précision. D'autre part, les effets des systèmes de renforcement doivent être considérés comme préliminaires en raison du petit nombre de spécimens testés et parce que la poutre renforcée est encore en service.