

INTRODUCTION ET OBJECTIFS

Le collage est une technique d'assemblage ancestrale, que l'Humanité a emprunté au monde animal. En effet, le collage a toujours existé dans la nature, parfois dans des environnements très sévères (collage des coquillages sur les roches en milieu marin par exemple). Dès l'Antiquité, l'Homme a mis cette technique à son profit pour assembler des outils et façonner son habitat. De nos jours, l'assemblage par collage s'est étendu à tous les domaines de la vie courante et constitue encore une source de progrès dans de nombreux secteurs de l'industrie.

L'amélioration constante de la formulation des adhésifs a permis au collage de s'imposer comme une technique de choix pour la réalisation d'assemblages structuraux à hautes performances mécaniques. Le collage structural s'est ainsi banalisé dans des secteurs de haute technologie comme l'aéronautique ou l'automobile, mais il commence seulement à être envisagé dans le domaine du Génie Civil, qui reste un milieu très conservateur.

En effet, jusqu'à présent, les assemblages structuraux du Génie Civil étaient traditionnellement réalisés par des techniques de connexion mécanique, comme le boulonnage, le rivetage ou le soudage. Ces techniques, bien qu'efficaces et parfaitement maîtrisées, présentent l'inconvénient de créer des zones de concentrations de contraintes au niveau des points de connexion et exposent les assemblages à des risques élevés de dégradation par corrosion. Le collage offre la possibilité d'éviter ces problèmes, grâce à une répartition uniforme des contraintes sur la surface de contact et à l'utilisation d'adhésifs polymères qui ne sont pas sujets à la corrosion.

Actuellement, l'utilisation du collage en Génie Civil se limite à la réparation et au renforcement des ouvrages d'art déficients. De nombreux ouvrages construits au milieu du 20^{ème} siècle atteignent un stade critique et présentent des détériorations superficielles ou des faiblesses structurelles plus profondes. Dans la plupart des cas, l'injection des fissures par des résines organiques et le renforcement des structures endommagées par collage de renforts externes rigides permettent de prolonger la durée de service des ouvrages. La technique de renforcement par collage de plaques métalliques, développée dans les années 60 [1], est remplacée depuis le début des années 90 par une méthode de renforcement par composites à base de fibres de carbone, dont la mise en œuvre est allégée en terme d'infrastructures de chantier et de préparation des surfaces.

En dehors de ces applications en réparation d'ouvrages, l'utilisation du collage commence seulement à être étudiée ou même expérimentée pour la réalisation d'assemblages structuraux [2,3,4]. Ainsi, le remplacement des connexions mécaniques par des joints adhésifs permettrait de repenser totalement les schémas de construction des ponts mixtes aciers/bétons, en allégeant sensiblement les

étapes de mise en œuvre et en réduisant les temps de réalisation. Par ailleurs, l'assemblage d'éléments de structure préfabriqués en béton fibré à hautes performances (dépourvus d'armatures métalliques) nécessite également le recours à de nouvelles techniques de connexion, parmi lesquelles le collage occupe une place de choix. Néanmoins, le développement à grande échelle du collage structural se heurte à des écueils de plusieurs natures :

- des barrières psychologiques, car les maîtres d'œuvre et les maîtres d'ouvrage préfèrent recourir aux techniques de connexion mécanique qui ont fait leurs preuves,
- des lacunes scientifiques et technologiques, car il est encore difficile de prévoir la durabilité à long terme des assemblages collés, particulièrement lorsque ceux-ci sont soumis à des environnements sévères en termes de variations d'humidité et de température. Il subsiste d'ailleurs de nombreuses inconnues concernant la nature de l'interface substrat/adhésif, les mécanismes d'amorçage et de propagation de fissures ou encore l'impact des processus de vieillissement de l'adhésif sur les propriétés globales de l'assemblage.

Il existe donc une forte demande de la part des maîtres d'ouvrage et des industriels, pour pouvoir disposer d'un outil de modélisation permettant d'évaluer la durabilité des assemblages collés dans les conditions effectives de service.

Ce travail de thèse s'inscrit dans cette optique de modélisation prévisionnelle et vise à développer un outil capable de coupler à la fois :

- les aspects théoriques de la mécanique du contact dans les assemblages collés,
- les aspects physico-chimiques liés au comportement viscoélastique des adhésifs et à l'évolution des propriétés de ces polymères dans le temps.

Cette étude fait partie intégrante du thème de recherche « Collage en Génie Civil », lancé en 2000 dans le service Physico-Chimie des Matériaux du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC).

Ce mémoire d'étude comporte trois chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à une analyse bibliographique. Il nous a paru utile de présenter un état de l'art sur la technologie du collage en Génie Civil, en rappelant la nature des différentes familles d'adhésifs et les techniques de mise en œuvre qui sont couramment utilisées. Les phénomènes de vieillissement des adhésifs époxydes sont ensuite abordés, ainsi que les modèles phénoménologiques et physiques qui permettent de les simuler. Enfin, nous décrivons les modèles issus de la mécanique linéaire de la rupture et les modèles de zone cohésive qui visent à prévoir le comportement à la rupture des assemblages collés, en prenant soin de dégager leurs avantages et inconvénients

respectifs. Nous nous attarderons plus particulièrement sur le modèle du premier gradient de l'endommagement qui constituera le point de départ de notre approche.

- Le second chapitre est dédié à l'étude expérimentale de systèmes époxydes modèles ou commerciaux, se présentant soit sous la forme d'échantillons massiques, soit sous la forme de joints adhésifs dans des assemblages collés métal/polymère/métal. Après les caractérisations physico-chimiques préliminaires, nous décrivons les effets des vieillissements physique et hygrothermique sur certaines propriétés physiques et mécaniques de ces adhésifs. Les modèles phénoménologiques issus de la littérature sont ensuite mis en œuvre pour dégager des lois de comportement des adhésifs massiques et des joints en fonction de la durée de vieillissement.
- Dans le dernier chapitre est développé un outil de modélisation mécanique, basé sur la théorie du premier gradient de l'endommagement, qui vise à prévoir le comportement à la rupture des assemblages collés. Le formalisme mathématique du modèle comporte des équations d'évolution de l'interface dans lesquelles interviennent des coefficients caractéristiques du comportement physico-chimique de l'adhésif.

Le modèle est confronté à l'expérience dans le cadre d'un essai de traction homogène où l'on s'affranchit des effets de gradient de cisaillement, puis dans une configuration d'essai de cisaillement avec gradient d'endommagement. Les différences observées entre théorie et expériences ont été attribuées à des mécanismes viscoélastiques particuliers de l'adhésif (raidissement en début d'essai et fluage lors de la recouvrance). Les équations d'évolution de l'interface ont alors été modifiées pour tenir compte de ces phénomènes. Les deux configurations d'essai proposées doivent alors permettre de déterminer expérimentalement tous les coefficients théoriques du modèle.