Campus Universitaire de Génie Civil
Boulevard Jacques Derche
19300 Egletons
Tél. : 05 55 93 45 00
Fax.: 05 55 95 45 01
Webb. : www.unilim.fr/recherche-gc/

GC2D
Laboratoire de Génie Civil, Diagnostic & Durabilité

ED SIMMEA
SCIENCES ET INGÉNIERIE EN MATÉRIAUX MÉCANIQUE ÉNERGÉTIQUE ET AÉRONAUTIQUE

SUJET DE THESE

Septembre/Octobre 2018

Recrutementfin Mai 2018

Cinétique du comportement thermo-hygro-mécanique des interfaces collées

–

De la mise en œuvre au comportement en service

Sous la direction de **Frédéric Dubois**

et le coencadrement de **Fazia Fouchal**, Nicolas **Sauvat** et **Anne Millien**

I- Question scientifique

L'augmentation des performances mécaniques des structures du Génie Civil passe aujourd'hui par une mixité des matériaux. Ainsi, ces structures dites composites intègrent des systèmes de connexion sollicités à la fois par le chargement mécanique mais également par les effets de variations dimensionnelles dues, d'une part, aux variations climatiques (matériaux thermosensibles et/ou hygroscopique) mais également par tous les phénomènes physiques accompagnant la mise en œuvre des matériaux (par exemple, la prise du béton et son retrait, la maturation des bétons bitumineux à jeune âge). Tous ces phénomènes agissant au sein de matériaux sont caractérisés par un comportement différé dépendant du temps (Comportement viscoélastique par exemple)

Le collage structurel dans des structures composites est un sujet de recherche largement abordé depuis une quinzaine d'années. En effet, la liaison continue ainsi créée permet de valoriser au mieux la mixité des propriétés des matériaux. Cette question scientifique a été abordée par la chimie des liants, la microstructure de la zone d'adhérence, le comportement mécanique, etc. Les caractéristiques hygrothermiques de l'ambiance influencent le comportement des interfaces, mais deviennent incontournables lorsque les matériaux sont thermo et/ou hygro-sensibles.

Il est proposé dans ce travail de thèse de développer un outil de modélisation capable de prédire le comportement mécanique de l'interface, en prenant en compte une modélisation complète des transferts de masse et de chaleur.

Quelle est l'évolution temporelle du comportement de l'interface, aussi bien dans la phase de mise en œuvre que dans la vie en service, pour des assemblages de matériaux hygroscopiques et viscoélastiques ?

II- Programme scientifique

L'approche proposée est essentiellement une approche de modélisation des différents phénomènes, en s'appuyant sur les développements actuels du laboratoire :

Modélisation mécanique :

Le développement du modèle mécanique prendra en compte le comportement thermo-hygro-mécanique des matériaux. Basé sur les récents développements scientifiques du laboratoire, le comportement mécanique integrera les effets long terme (comportement

viscoélastique) thermo et hygro activé (accélération des effets de fluage ou de relaxation à haute humidité) ainsi que les effets mécanosorptifs (propriétés d'élasticité corrigées de l'humidité). Des approches fréquentielles et temporelles seront étudiées. Les phases de mise en œuvre (prise et hydratation des mortiers, polymérisation des colles, maturation des bétons bitumineux, humidité initiale de surface des éléments, etc.) seront étudiées ainsi que le vieillissement de l'interface et des éléments en service.

Modélisation des transferts de masse et de chaleur :

Le processus de transfert hygrothermique emploiera largement les outils développés au laboratoire basés sur le transfert thermo hydrique couplé dans le domaine hygroscopique et au-delà de la saturation des matériaux. Couplée au calcul mécanique, les transferts permettront de définir, d'une part, l'état hydrique et thermique de l'interface et, d'autre part, les effets de variations dimensionnelles dus à la dilatation/rétraction thermique et au retrait/gonflement hydrique.

Modélisation de l'interface adhésive :

Le comportement de l'interface sera étudié sous l'approche de la mécanique de l'endommagement par microfissuration cohésive. Les propriétés du 'joint' seront corrélées au niveau de température et d'humidité. La modélisation de l'interface étant le cœur du sujet de thèse, le modèle intégrera plus principalement les aspects innovants suivants :

- **Sollicitations multimodes** : Afin de prendre en compte un maximum de scénarios, le modèle prendra en compte des modes couplés de rupture, à savoir, l'endommagement par cisaillement et par arrachement.
- **Différentes typologies d'interface :** Le comportement de l'interface dépend de l'état de surface des éléments à coller. Deux familles d'interface seront ainsi étudiées, les interfaces lisses (Surfaces préparées) et rugueuses (granulométrie de surface, rabotage, etc.).
- **Notion d'interphase :** Ce qui caractérise une interface collée d'une interface connectée est le fait que la colle a la possibilité de diffuser partiellement en surface des éléments définissant ainsi un matériau supplémentaire appelé interphase.
- **Approche énergétique :** L'ensemble des lois de comportement étant dissipatives, la maîtrise des principes généraux de thermodynamique permettra d'élaborer un modèle d'interface énergétiquement compatible.
- **Mécanique de l'endommagement :** l'approche par endommagement de zones cohésives sera adaptée à des lois d'évolution propres à des sollicitations mécaniques avec, cependant, des paramètres d'endommagement fragile ou ductile dépendant des conditions thermique et hydrique.
- **Réduction d'ordre :** Pour des applications 2D et 3D, le modèle doit intégrer une réduction d'ordre afin de limiter l'impact de l'interface sur le coût de calcul global. Ainsi des éléments cohésifs linéaires ou de surface seront privilégiés.
- **Implémentation éléments finis :** L'ensemble des outils de modélisation mécanique et de transfert est développé aujourd'hui dans le code aux éléments finis Castem. Se présentant sous des algorithmes incrémentaux, le modèle d'interface devra s'intégrer dans ces schémas numériques imposés.

III- Exemples d'application sur des projets parallèles

L'utilisation des matériaux biosourcés est devenue au fil du temps une solution pour accompagner la transition écologique dans les constructions du Génie Civil. En citant en exemple le bois ou la terre crue, leur utilisation demande souvent un couplage avec un autre matériau pour apporter à la solution mixte les propriétés de résistance et de rigidité exigées par les Eurocodes (exemples de la terre crue intégrée dans des ossatures bois dans l'habitat ou les tabliers mixes bois béton des ouvrages d'art). Cette mixité permet d'apporter les bénéfices de ces matériaux (isolant thermique, hygrorégulateur pour la terre crue ou légèreté et rapidité de mise en œuvre pour le bois) tout en contournant leurs faiblesses (fragilité mécanique, faible rigidité).

- **Exemple des solutions bois-béton (Nicolas Sauvat) :** Les structures bois ont des comportements souples souvent dimensionnant. Une faible raideur d'assemblage peut être problématique. Les solutions mixtes bois béton ont montré leur intérêt tant dans des applications bâtiment que Génie Civil, mais la difficulté de réalisation des assemblages mécaniques rend ces solutions peu compétitives. Nous étudierons ici les ponts mixtes collés, particulièrement sensibles aux variations des conditions ambiantes. Pour la maîtrise technologique des techniques actuelles de collage pour les ponts, nous nous appuierons sur les travaux de partenaires scientifiques, notamment le CEREMA. **Exemple des solutions bois-terre-crue (Fazia Fouchal**) : Utilisées dans la construction, la terre crue est associée à une ossature bois avec un partage des fonctionnalités, à savoir, la tenue mécanique garantie par le bois et l'isolation thermique et hydrique apportée par la terre crue, tout en garantissant une parfaite cohésion des deux matériaux pour ainsi éviter une dégradation des performances d'isolation du complexe. Cette connexion peut être apportée par le simple contact terre crue bois ou par l'utilisation d'un mortier adapté. Mais la durabilité de l'interface dépend de l'humidité au voisinage du joint mais également aux retraits hydriques différentiels entre les différents matériaux constituant la structure.
- **Exemple des panneaux peints (Frédéric Dubois) :** Les panneaux peints comme les bardages sont confrontés aujourd'hui à la problématique du vieillissement à la fois de la peinture mais également de l'interface peinture/support. Le modèle d'interface pourra ainsi répondre à la problématique du vieillissement prématuré de ces structures. Le modèle devra répondre aux exigences d'un vieillissement naturel et accéléré. Des points de condensation, dus au processus de diffusion hydrique, peuvent être le siège d'un décollement de l'interface.
- **Exemple du collage des couches routières (Anne Millien)** : La réfection et la réalisation des couches de roulement demande de mettre en œuvre une couche d'accrochage. Le modèle devra répondre à des sollicitations de trafic couplant à la fois des états de cisaillement et de flexion. Mais, le modèle devra également s'adapter à des caractérisations en laboratoire, à savoir, sur des essais de double cisaillement ou de torsion.De plus, la problématique de la présence d'eau dans cette interface est cruciale dans l'évaluation de la durée de vie des structures routières.

IV- Equipe d'accueil et environnement doctoral

Le travail de thèse est organisé au laboratoire de Génie Civil, Diagnostic et Durabilité (GC2D) situé à Egletons (19). Le candidat bénéficiera de l'ensemble des moyens de modélisation et les compétences des permanents dans l'utilisation du code aux éléments finis Castem. Le candidat bénéficiera des données expérimentales présentes sur site, suite à de nombreuses

thèses et à la participation à des réseaux nationaux et internationaux, et ce, en complément des données prises dans la littérature.

Direction de thèse

La direction de thèse est assurée par Pr. **Frédéric Dubois**. Il organisera le travail d'encadrement et garantira la direction scientifique de la thèse. Il fera bénéficier de ses compétences en modélisation du comportement viscoélastique thermo hygro mécanique et en transferts de masse et de chaleur. Il apportera également ces compétences dans le cadre des approches thermodynamiques des processus irréversibles, et ce, à travers des modules de formation dispensés dans le Master Génie Civil IMRO.

Modélisation des interfaces

Le doctorant sera soutenu par Dr. **Fazia Fouchal** dont la spécialité scientifique au laboratoire concerne le comportement des interfaces dans le Génie Civil. Elle soutiendra la réflexion autour des sujets de modélisation des interfaces. Elle fera bénéficier son expérience acquise dans le cadre du comportement des mortiers et du comportement au cisaillement des interfaces grenues présentes dans les structures routières.

Applications Bois

Dr. **Nicolas Sauvat**, responsable de l'axe bois au laboratoire, sera un appui scientifique sur les applications Génie Civil Bois.

Applications chaussées

Dr. **Anne Millien** est spécialisée dans la durée de vie des chaussées et, plus particulièrement, dans la durabilité des interfaces entre les différentes couches constitutives de la chaussée.

Contact

Frédéric Dubois

frederic.dubois@unilim.fr

Tél. : 05 55 93 45 25

GSM : 06 31 25 27 90

https://www.linkedin.com/in/fr%C3%A9d%C3%A9ric-dubois-518377119/