

Stage M2 (6mois)

Modélisation du comportement de matériaux composites soumis à des chargements thermomécaniques

Nb : possible prolongation en Thèse possible

Contact : azdine.nait-ali@ensma.fr

Le travail de stage vise développer des outils permettant de rendre compte de la dégradation et la décomposition de matériaux composites structuraux soumis simultanément à une agression thermique de type incendie et une charge mécanique. Le souhait est de modéliser les différents modes d'endommagement (dus à la mécanique, la thermique, la combustion) de composants soumis à des chargements thermomécaniques et proposer un outil de simulation couplé pour le calcul de structures.

De sorte à mieux prendre compte la dégradation du matériau, l'ajout d'endommagement continu et de champs de phase sera un atout fort de cette étude. La méthode des champs de phase permettra de gérer efficacement les surfaces et interfaces par des champs scalaires (ici, la transition entre le composite transformé en charbon et le composite encore sain). Pour cette modélisation, deux grandeurs seront nécessaires :

- Une distance caractéristique de l'endommagement : nous utiliserons les outils d'analyse d'image et de covariance 3D développés en interne de sorte à définir la longueur caractéristique du matériau étudié
- Des fonctions de pondération : ces fonctions nous permettront d'obtenir l'évolution des propriétés mécaniques et thermiques de sorte à prendre en compte l'abattement de ces dernières au cours du chargement. Ces fonctions dépendront du taux d'endommagement d . Classiquement, elles prennent la forme d'une fonction puissance $\phi(d) = (1-d)^n$. Nous exploiterons des données expérimentales reliant le flux de chaleur à l'épaisseur de charbon disponibles à l'Institut P' ainsi que des simulations à partir d'images tomographiques à champ complet utilisant un solveur FFT afin de valider ces fonctions de pondération.

Le but est de pouvoir fournir un outil prédictif à même de simuler le comportement thermomécanique de structures quelconques soumises simultanément à un chargement mécanique et à un flux de chaleur, où dégradation thermique, endommagement mécanique et transferts de chaleur sont couplés, tout en limitant les temps de calcul. Le développement

d'un élément fini incluant le champ de phase comme degré de liberté supplémentaire sera la dernière partie du travail de thèse. Cette implémentation sera faite dans le code par éléments finis Foxtrot interne au laboratoire. Il pourra se baser sur les développements faits lors d'une récente thèse [P'5] pour le développement d'un élément fini adapté à cette étude et sur l'expérience de l'unité de recherche dans le calcul de structures soumises au feu.

Sur le volet numérique, le doctorant bénéficiera de compétences en mécanique de chercheurs de l'équipe ENDO et en décomposition thermique et combustion, de chercheurs de l'équipe Combustion Hétérogène :

- Appui de deux enseignants-chercheurs et un ingénieur de recherche de l'équipe, spécialistes en méthodes numériques et en simulation par éléments finis.
- Appui de trois enseignants-chercheurs en modélisation numérique de la décomposition thermique et de la combustion.

Références

Références de l'équipe d'accueil

- [P'1] T. H. Y. Quach, A. Benelfellah, B. Batiot, D. Halm, T. Rogaume, J. Luche, D. Bertheau, Determination of the tensile residual properties of a wound carbon/epoxy composite first exposed to fire, **Journal of Composite Materials**, 51(1), p.17-29, 2017
- [P'2] A. Benelfellah, D. Halm, D. Bertheau, P. Boulet, Z. Acem, D. Brissinger, T. Rogaume, Effect of a coupled thermomechanical loading on the residual mechanical strength and on the surface temperature of wound carbon/epoxy composite , **Journal of Composite Materials**, 51(22), p.3137-3147, 2017
- [P'3] C. Mercadé, Modélisation de la dégradation d'un matériau composite carbone-époxy soumis à une sollicitation thermo-mécanique couplée. Application aux réservoirs d'hydrogène de type IV. Thèse de Doctorat, ISAE-ENSMA, 2017
- [P'4] A. Nait-ali, O. Kane-Dialo, S. Castagnet, Catching the time evolution of microstructure morphology from dynamic covariograms. **Comptes Rendus de Mécanique**, 343(4), p301-306, 2015.
- [P'5] S Ben, Elhaj Salah, Modélisation non-locale et stochastique de matériaux à fort gradient de propriétés par développement asymptotique. Thèse de Doctorat, ISAE-ENSMA, 2019.
- [P'6] D. Halm, F. Fouillen, E. Lainé, M. Gueguen, D. Bertheau, T. Van Eekelen, Composite pressure vessels for hydrogen storage in fire conditions: Fire tests and burst simulation, **International Journal of Hydrogen Energy**, 42(31), p.20056-20070, 2017

Références citées dans le document (hors équipe d'accueil)

- [Ext1] A.P. Mouritz, Z. Mathys, Post-fire mechanical properties of marine polymer composites, **Composites structures**, 47, p.643-665, 1999.
- [Ext2] S. Feih, Z. Mathys, A.G. Gibson, A.P. Mouritz. Modelling the compression strength of polymer laminates in fire, **Composites: Part A**, 38, p.2354-2365, 2007.
- [Ext3] J. Hu, J. Chen, S. Sundararaman, K. Chandrashekhara, W. Chernicoff, Analysis of composite hydrogen storage cylinders subjected to localized flame impingements, **International Journal of Hydrogen Energy**, 33, p. 2738– 2746, 2008.
- [Ext4] H. Amor, J.J Marigo, C. Maurini, Regularized formulation of the variational brittle fracture with unilateral contact, **Numerical experiments**, 57, p. 1209-1229, 2009
- [Ext5] T.T. Nguyen, J. Yvonnet, Q-Z Zhu, M. Bornert, C. Chateau, A phase field method to simulate crack nucleation and propagation in strongly heterogeneous materials