

Lois de comportement pour composites et outils numériques en dynamique rapide

Soutenance Habilitation à Diriger des Recherches de Patrick ROZYCKI

Les travaux que je présente pour cette Habilitation à Diriger des Recherches s'articulent autour de deux thématiques principales : les lois de comportement pour les matériaux composites dans le cas de sollicitations de type crash et les applications possibles de la méthode des éléments finis étendus (X-FEM) en dynamique rapide.

La grande majorité des travaux de recherche que je mène depuis une quinzaine d'années, porte sur la modélisation numérique en dynamique rapide des composites au sens large du terme : je me suis intéressé dans un premier temps aux multicouches multimatériaux pour me focaliser ensuite plus particulièrement sur les composites stratifiés unidirectionnels et tissés à matrice thermodurcissable. J'ai poursuivi ensuite ces recherches sur des matériaux sandwichs, des composites plus complexes comme les interlocks 3D/2.5D et plus récemment sur des composites à matrice thermoplastique. Dans une première partie, je présenterai une loi « unifiée », fruit de l'ensemble des travaux et réflexions que j'ai eu au cours de toutes ces années. Cette loi permet de décrire le comportement à l'échelle mésoscopique (ou macroscopique) de composites en prenant en compte l'élasticité, les déformations irréversibles, les endommagements et la sensibilité à la vitesse de déformation. Je m'attacherai à montrer aussi l'importance que revêt pour moi le transfert de compétences et de connaissances du monde de la recherche vers le milieu industriel, puisque ces recherches ont toujours été menées en étroite collaboration les acteurs du domaine de l'aéronautique, de l'automobile ou encore de la navale (bateaux de course). Ce transfert se situe non seulement sur le plan de l'expérimental (méthodologie « simple » de caractérisation, automatisation des procédures d'identification...) mais aussi sur celui de l'implémentation et la robustesse informatique permettant ainsi aux industriels de posséder toutes les informations nécessaires à la compréhension, l'utilisation et la simulation numérique du comportement des matériaux composites en dynamique rapide.

J'aborderai dans cette présentation, au travers d'une deuxième partie, d'autres travaux que j'ai entamés lors de ma prise de fonction à l'Ecole Centrale de Nantes, suite à mon intégration dans l'équipe de recherche (Structures et Simulations) du professeur Nicolas MOES de l'Institut de Recherches en Génie Civil et Mécanique. Ils concernent la méthode des éléments finis étendus (X-FEM) et ses possibilités d'application en dynamique rapide. Je présenterai une première partie de travaux menés en collaboration avec PSA sur l'élaboration d'éléments finis spécifiques, qui permet de prendre en compte des discontinuités de type surface libre tout en gardant un pas de temps avantageux. Je proposerai ensuite les résultats obtenus dans le cadre d'impact sur des sièges en mousse qui permettent de proposer une alternative à certains problèmes auxquels un ingénieur peut être confronté lors de ce genre de simulation.

La troisième partie de ma présentation sera constituée d'autres travaux qui permettent de développer des perspectives intéressantes et innovatrices : je proposerai dans un premier temps les points clés d'une nouvelle méthode pour la détermination rapide de la limite de fatigue en utilisant des essais d'auto-échauffement. Ces essais permettent d'éviter de longues campagnes

expérimentales (courbes de Wöhler) et ont montré des résultats plus qu'intéressants tant pour les composites à matrice thermodure que thermoplastique. Je proposerai ensuite les développements qui ont été menés à propos de dérivées fractionnaires pour la modélisation des boucles d'hystérésis. Grâce à des lois matériaux à quelques paramètres, il est possible grâce à cet outil mathématique de prendre en compte l'histoire du matériau et donc de représenter les phénomènes dissipatifs lors de décharges mais aussi de prendre en compte naturellement la sensibilité à la vitesse de déformation. Dans ce cadre, pour accroître le potentiel de ces derniers modèles, je proposerai aussi les couplages que nous avons effectués avec des lois « classiques » afin de décrire précisément de nombreux phénomènes dissipatifs. Je proposerai dans une autre partie des travaux qui mettent en jeu une nouvelle loi de comportement de type bi-phase pour essayer d'apporter des solutions quant au crash de structures de type absorbeur d'énergie. Je présenterai aussi dans le cadre de ces travaux sur l'écrasement dynamique des tubes, les outils simples mis en place pour estimer rapidement les quantités d'intérêt. Enfin, je terminerai par une dernière partie sur l'utilisation d'XFEM et de la méthode des Levels Set pour représenter certains modes de délaminage pour les composites stratifiés. Contrairement aux solutions classiques (éléments cohésifs, gestion de contact particulière...), nous proposons une nouvelle méthode numérique qui se veut plus simple d'identification et souple d'utilisation permettant d'offrir à l'avenir des solutions alternatives pour l'ingénierie.

Ma présentation se conclura par une discussion sur les perspectives principales à court et à long termes qu'engendrent une grande partie des travaux présentés précédemment. Ces perspectives portent principalement sur :

- La modélisation, l'implémentation du comportement de composites thermoplastiques en dynamique rapide et la réalisation d'une machine d'essai virtuelle,
- La modélisation du délaminage de composites stratifiés en utilisant X-FEM et les Level Sets,
- La modélisation des boucles d'hystérésis et application aux essais d'auto-échauffement,
- Le développement de modèles analytiques et de super-éléments,
- Le développement de moyens d'essais pour la mesure d'endommagement en dynamique rapide.