

Introduction

L'allégement des structures est toujours un défi afin de réduire la consommation de carburant. Par exemple, dans le domaine de l'automobile, la réglementation européenne sur les émissions de CO₂ des véhicules particuliers fixe un rejet à 130 g/km et un abaissement de ce seuil à 95 g/km dès 2020. L'allégement du véhicule par l'introduction de matériaux composites est un des axes d'amélioration permettant d'atteindre cet objectif. Pour les industriels de l'aéronautique, l'enjeu actuel est aussi de diminuer la consommation en carburant des avions et/ou d'augmenter le rendement de ceux-ci soit en augmentant la température des moteurs, soit en allégeant les pièces. Les superalliages métalliques, actuellement utilisés dans les moteurs civils, possèdent une densité élevée, qui pénalise le rapport poids/puissance. Dans le domaine de l'aéronautique, les matériaux composites utilisés depuis les années 1970 pour des pièces secondaires sont de plus en plus utilisés pour des pièces primaires. Les composites à matrice organique (CMO) renforcés par des fibres de verre ou de carbone sont désormais largement utilisés. Par exemple, dans la dernière génération d'avions commerciaux, ils constituent le type de matériau majoritaire (50 % en masse pour le Boeing 787 Dreamliner et 52 % pour l'Airbus A350). Grâce au gain de masse réalisé, la consommation de carburant a été réduite d'environ 20 %. SAFRAN a développé des aubes et un carter de soufflante en matériau composite tissé 3D produit par le procédé de RTM (*Resin Transfert Molding*) pour le moteur LEAP. Ces aubes permettent un gain de masse significatif. De plus, dans le cadre du programme ARCOCE (ARrière-CORps composite CERamique), un airbus A320 a volé avec un moteur CFM-56-5B équipé de l'arrière-corps ARCOCE qui est une tuyère d'éjection produite intégralement en composite à matrice céramique (CMC).

Dans ce contexte, l'endommagement des matériaux de structure en matériau composite est un point clé pour la maîtrise de la durabilité et de la fiabilité des pièces en service. Il est nécessaire non seulement de quantifier l'endommagement mais aussi d'identifier les différents mécanismes qui en sont responsables. Il est donc indispensable,

d'une part, de caractériser les matériaux composites et de définir les indicateurs d'endommagement les plus adaptés et, d'autre part, d'utiliser ou de développer des modèles permettant d'estimer la durée de vie restante à partir de l'analyse des événements précurseurs résultant de l'endommagement. Pour répondre à cette problématique, l'émission acoustique (EA) est une technique bien adaptée. En effet, les mécanismes d'endommagement s'accompagnent de libération d'énergie sous forme d'ondes acoustiques. Des capteurs disposés à la surface de la structure permettent d'enregistrer les signaux d'EA. Cette technique présente l'avantage d'être totalement passive et donc de n'avoir aucune influence sur l'endommagement observé.

En 1964, le contrôle des carters de la fusée Polaris ouvre le bal des applications industrielles de l'EA. En 1982, l'EA reçoit sa première reconnaissance administrative avec la publication des codes CARP (Committee on Acoustic emission from Reinforced Plastics) [CAR 93]. Depuis l'essor de la méthode, dans les années 1980, ses applications sur les structures en matériaux composites ne cessent de s'accroître. Un exemple d'application industrielle est le contrôle des réservoirs de stockage renforcés par des fibres de verre selon la norme ASTM E1067 [AST 11]. L'EA et la caractérisation des matériaux composites représentent le domaine le plus actif depuis les années 1990, surtout pour les composites à matrice organique, il représente plus de 50 % des publications.

L'un des enjeux en contrôle de santé des structures est la détection précoce de l'endommagement avant que ce dernier ne conduise à la ruine. Le processus classique de contrôle de santé intégré est basé sur la caractérisation de l'endommagement et le pronostic de la durée de vie restante. On peut donc distinguer une phase de diagnostic et une phase de pronostic. La phase de diagnostic doit permettre de détecter le dommage, de le localiser, l'identifier et d'évaluer sa sévérité. La phase de pronostic, basée sur les résultats du diagnostic et sur des modèles, permet d'évaluer la durée de vie résiduelle. L'émission acoustique permet de répondre à cet objectif, car cette technique permet de surveiller l'état de santé de l'intégralité d'une structure quelle que soit sa taille, tout en réduisant le coût de maintenance.

L'analyse des données recueillies peut être utilisée pour discriminer les sources d'endommagement (fissures matricielles, ruptures de fibres, décohésion fibre/matrice, délaminage...) et mesurer les cinétiques des différents mécanismes de dégradation. De plus, une estimation de la durée de vie restante des matériaux composites peut être envisagée en s'appuyant sur un suivi en temps réel de l'endommagement enregistré par EA. En effet, l'endommagement initial est souvent diffus et non corrélé puis il s'organise. Les événements se produisant au début de la mise en service de la pièce influent fortement sur la durée de vie, on peut les qualifier d'événements précurseurs. La connaissance de ces derniers est alors indispensable à l'évaluation de la durée de vie restante. Plus l'hétérogénéité est grande, plus le nombre d'événements précurseurs

est grand. Ce qui conduit à une conclusion quelque peu paradoxale : plus le système est complexe, plus la prédiction est « facile ».

Ce sont ces deux aspects qui seront discutés dans cet ouvrage. Deux approches reposant sur deux analyses complémentaires de l'activité acoustique sont présentées :

(1) une analyse individuelle des signaux : l'objectif de cette analyse est d'associer chaque signal d'EA au mécanisme d'endommagement qui l'a généré. Cela permet en temps réel d'identifier le type d'endommagement qui se produit et d'avoir une idée de sa sévérité ;

(2) une analyse collective et coopérative de tous les signaux collectés. L'idée est de prévoir la durée de vie d'une pièce en service en analysant son comportement par le suivi de l'émission acoustique durant la sollicitation. La rupture peut alors être prédite en regardant l'aspect coopératif, en synthétisant toutes les informations contenues dans les événements dans un schéma global.

Le premier chapitre présente l'émission acoustique et ses principales caractéristiques. Le deuxième chapitre est consacré à l'identification de la signature acoustique des différents mécanismes d'endommagement se produisant dans les matériaux composites à matrice organique (CMO) mais aussi dans les matériaux composites à matrice céramique (CMC). Non seulement les apports de cette approche sont présentés, mais aussi les principales difficultés et les limites. Le dernier chapitre est consacré à la prévision de la durée de vie à l'aide de l'EA pour des essais de longues durées.