



Ci-dessus, fissure de fatigue se développant à la surface d'acier inoxydable. La déformation plastique en pointe de fissure provoque un écaillage du revêtement anticorrosion

La fatigue des **matériaux**

Tirer sur un fil de fer ne permet pas forcément de le casser. Par contre, exercer sur celui-ci un mouvement de flexion répété avec des efforts peu élevés engendre une détérioration progressive qui peut alors provoquer sa rupture. Ainsi, tous les matériaux, lorsqu'ils sont soumis à des changements mécaniques cycliques, c'est-à-dire variables dans le temps, subissent un phénomène de fatigue. C'est le cas par exemple d'un moteur ou d'une machine tournante et des vibrations qu'ils engendrent sur eux-mêmes. Mais ce peut être aussi les efforts exercés sur les ailes d'un avion au cours d'un vol ou bien lors du décollage et de l'atterrissage. C'est aussi le passage de camions sur un pont à une certaine fréquence. «*La résistance à la fatigue est une des préoccupations majeures de l'industrie d'aujourd'hui, plus particulièrement sur les ouvrages de haute sécurité, et sur les véhicules, avions ou automobiles*», explique José Mendez, directeur de recherche au CNRS et directeur du laboratoire de mécanique et physique des matériaux de l'Ensm. L'étude de la fatigue des matériaux et des structures est une des activités représentatives du laboratoire. Elle permet des recherches à la fois fondamentales et appliquées, et une ouverture vers l'industrie.

L'objectif des chercheurs dans ce domaine est en particulier de bien évaluer les efforts acceptables par les structures afin d'éviter les endommagements et les fissures de fatigue. En effet, la propagation d'une



fissure peut aboutir à une rupture brutale et catastrophique. Le rôle du LMPM dans ce domaine n'est pas de travailler directement sur les structures (c'est celui de l'industrie), mais plutôt de comprendre le comportement des matériaux employés, afin d'établir des lois d'endommagement face aux efforts qui leur sont imposés et d'optimiser les alliages pour qu'ils soient les plus résistants possibles à la fatigue. Ces lois, qui sont issues de données de laboratoire, doivent être applicables dans les codes de calcul afin d'évaluer la durée de vie en service des composants. «*A partir d'un effort donné, et dans des conditions très précises de température et d'environnement, nous étudions*

● Laetitia Becq-Giraudon
Photos Sébastien Laval

le lieu où se créent l'endommagement et sa propagation. Celle-ci est directement en relation avec la microstructure du matériau, précise José Mendez. Nos résultats nous permettent de dégager des lois mathématiques reliant les fissures et le nombre de cycles nécessaires pour les propager et produire une rupture. L'objectif est de choisir au mieux la nature du matériau et les dimensions des pièces. Lors des études très fondamentales, nous choisissons le matériau le mieux adapté à la compréhension d'un processus élémentaire de déformation par fatigue.» Il y a là une évolution permanente des exigences : les matériaux doivent être de plus en plus résistants compte tenu des performances qui leur sont demandées.

Les mécanismes de dégradation sont très dépendants du milieu extérieur. Ainsi, le chercheur doit faire face à des phénomènes couplés, à la fois mécaniques et chimiques. Par exemple, dans les turboréacteurs, en parallèle des sollicitations mécaniques, les matériaux subissent des agressions dues au milieu environnant : érosion (sable au-dessus du désert), corrosion (eau de mer), acidité, et ce, dans une large gamme de températures (aubes de turbine travaillant à 1 200° C). Même l'air ambiant est un élément nocif. Le laboratoire a donc dû développer des essais spécifiques pour séparer les différents facteurs afin de mieux les prendre en compte. Il est le premier, en France, à avoir

80 personnes travaillent au LMPM (UMR CNRS 6617). Ce laboratoire étudie et cherche à améliorer le comportement et la durabilité des matériaux et des structures dans leur environnement, pour l'aéronautique, la sidérurgie, la plasturgie, les industries des transports et de production d'énergie, la biomécanique.

utilisé une machine sous vide qui permet de bien séparer les effets d'environnement des effets purement mécaniques. Des installations spécifiques sont développées au laboratoire pour étudier les alliages métalliques et certains matériaux moins classiques (polymères, composites, fibre de carbone, composites à matrice métallique).

Une nette évolution des matériaux étudiés a été observée depuis quelques années au LMPM. Au départ, le laboratoire analysait le comportement

d'alliages classiques à base d'aluminium, en relation avec l'industrie aéronautique. Au début des années 1980, les essais à haute température ont permis l'étude d'alliages utilisés dans l'industrie nucléaire. Depuis dix ans, sont venus s'ajouter les alliages à base de titane ou de nickel très employés dans les turboréacteurs des avions. De nouveaux matériaux apparaissent, tel l'aluminium durci par des fibres de carbone ou les intermétalliques permettant un gain de masse important, ce qui est un enjeu essentiel de l'industrie aéronautique. De manière générale, une modélisation de l'endommagement accompagne ces études expérimentales. ■



Le L3MA est, en France, l'un des rares laboratoires qui regroupe à la fois des mathématiciens et des mécaniciens

L'art de pratiquer la théorie

Le laboratoire de modélisation mécanique et de mathématiques appliquées (L3MA) est né en janvier 1996 de la fusion de deux laboratoires de l'Université de Poitiers, le laboratoire d'analyse numérique et celui de mécanique théorique. C'est une structure originale à plus d'un titre. Par son double rattachement à l'Université et à l'Ensm. Par sa thématique double : c'est un des rares laboratoires en France qui regroupe à la fois des mathématiciens et des mécaniciens. Le L3MA n'a de «labo» que le nom. Ici, pas de paillasses, pas de cornues, pas de banc d'essai, 500 m² de bureaux sur le site du Futuroscope. Ici, on réfléchit, on imagine des théories, on élabore des modèles numériques. «Le L3MA a été créé, explique son directeur, Alain Cimetière, grâce au soutien conjugué de l'Université de Poitiers et de l'Ensm, qui ont tout fait pour que ce laboratoire voit le jour dans les meilleures conditions. Une équipe au fort potentiel : 18 enseignants-chercheurs – dont 2 nouveaux postes affectés cette année – un ingénieur informatique, une quinzaine de thésards dont une bonne partie est issue de l'Ensm. Un équipement informatique moderne et très performant, que nous avons pu acquérir avec l'aide de l'UFR sciences, de l'Ensm, de la Région, et de quelques contrats industriels passés notamment avec EDF : un serveur «Origin 200» de Silicon Graphics,

une station de post-traitement et des terminaux X.»

Le laboratoire, qui accueille un grand nombre de visiteurs étrangers, développe des recherches dans deux domaines distincts et en relation étroite, la mécanique théorique et les mathématiques appliquées, autour d'un axe principal, la mécanique des solides. Des études théoriques sont menées sur les problèmes de stabilité, de contact, de chocs, sur la construction de nouveaux modèles de plaques et de coques, sur les grandes déformations des solides ainsi que sur les équations aux dérivées partielles. Le laboratoire a acquis une forte compétence dans le domaine du «flambage» – changement brutal de forme d'un solide sous l'effet d'une compression – en particulier sur le flambage «unilatéral» dans lequel le déplacement latéral est limité par la présence d'un autre solide, et dans le flambage «plastique». Des chercheurs du laboratoire s'intéressent aussi à la modélisation des grandes déformations des solides. Une équipe travaille sur les «problèmes inverses» en mécanique permettant, par exemple, de déduire les valeurs de grandeurs physiques sur une partie inaccessible de la surface d'un solide à partir de mesures réalisées sur une portion de surface accessible. «Mathématiciens et mécaniciens, présents à parité dans le laboratoire, travaillent conjointement sur la plupart de ces thèmes.» M T ■