

AVIS D'EXPERT

Comment **la fractographie statistique** simplifie et améliore le contrôle de la tenue mécanique de nouveaux produits

Avant sa mise sur le marché, tout nouveau produit est soumis à une batterie d'essais qui a pour but de contrôler sa bonne tenue mécanique. Sur des équipements complexes, comme, par exemple, un moteur d'avion, chaque composant est méthodiquement testé un à un. S'assurer de performances mécaniques adéquates exige alors un travail long et fastidieux, passant par la fabrication, puis la destruction d'un nombre important de pièces. Malgré tous ces efforts, les défaillances mécaniques sont encore courantes. Preuve en est, des incidents mécaniques sur des équipements ou des moyens de transports font régulièrement la une des journaux. Alors comment améliorer la qualité et la prédictibilité des tests mécaniques...tout en les simplifiant ? Tels sont aujourd'hui les défis que doit relever l'industrie mécanique. Et si elle faisait appel à la fractographie statistique, cette nouvelle technique de l'ingénieur qui permet de qualifier une pièce par le simple scan de son faciès de rupture ?

S'assurer de la tenue mécanique d'un équipement est une tâche complexe qui nécessite plusieurs étapes. Tout d'abord, les matériaux qui composent la pièce sont testés afin de déterminer leur résistance mécanique. Le mode de rupture le plus courant est la rupture par traction, qui procède via l'amorçage, puis la propagation d'une fissure. Chaque matériau est alors caractérisé par deux quantités qui lui sont propres : (i) sa résistance, qui fournit la contrainte seuil à partir de laquelle une fissure va s'initier, et (ii) sa ténacité, qui définit le niveau de contrainte à partir duquel cette même fissure va se propager. Pour de nombreuses applications, mesurer la résistance est suffisant. En effet, si on s'assure qu'aucune fissure ne s'initie, à quoi bon mesurer la ténacité. Mais certains secteurs comme l'aéronautique ou le nucléaire vont un cran plus loin en s'assurant que l'intégrité mécanique de l'équipement est préservée, même en présence de fissures. Cette précaution supplémentaire s'avère bien utile, car aussi bien dans le fuselage des avions que dans les cuves de centrale, les fissures sont fréquentes ! Dans la pratique, la résistance et la ténacité d'un matériau sont obtenues à partir de tests destructifs normalisés réalisés sur éprouvette – pour la ténacité, celle-ci est pré-entaillée. Préparer des éprouvettes, réaliser les tests, puis les interpréter constitue un travail significatif et un budget loin d'être négligeable. Mais faute d'alternative, cette approche reste encore incontournable.

Malgré tout, cette étape est loin d'être suffisante. Le verre Gorilla développé par Corning atteint des performances exceptionnelles, si bien que les écrans de la plupart de nos smartphones en sont



Laurent Ponson

chercheur au CNRS & CEO de Tortoise

maintenant composés. Toutefois, cela n'empêche pas certains téléphones d'être plus fragiles que d'autres. Car la forme qu'épouse le matériau dans le produit fini, impacte sa tenue mécanique. Par exemple, les écrans carrés sont proscrits, car les fissures s'initient au niveau des coins. L'effet de forme sur la résistance mécanique est alors évaluée via des calculs numériques reposant sur la méthode des éléments finis. Pour calibrer ces modèles, on utilise les propriétés de rupture des matériaux mesurées lors de la première étape.

Enfin, vient s'ajouter une troisième étape qui consiste à tester le produit fini dans les conditions finales d'utilisation, validant ainsi les calculs faits précédemment. Malheureusement, on s'aperçoit très souvent que le produit n'a pas une résistance mécanique suffisante... et qu'il faut donc redimensionner la pièce (revenir à l'étape 2), voir changer le matériau utilisé (revenir alors à l'étape 1).

Comment simplifier cette procédure ? Ces dernières années ont vu émerger une nouvelle technique de l'ingénieur qui permet, d'une

part, de fusionner la première et la troisième étape, et d'autre part, de faciliter les interactions entre les tests mécaniques et le calcul numérique. Il s'agit de la fractographie statistique qui fournit les propriétés mécaniques d'un matériau sans avoir recours à des tests mécaniques sur éprouvette (Fig. 1).

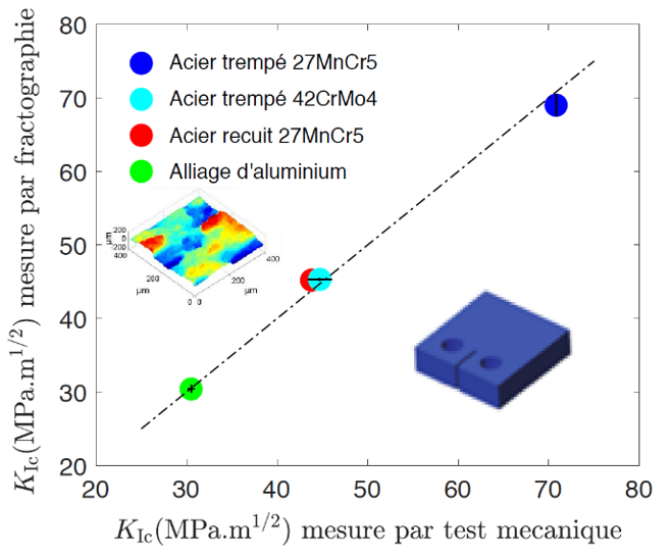


Figure 1: Comparaison des valeurs de ténacité mesurées par test mécanique et par fractographie statistique sur quatre alliages métalliques différents.

Comment fonctionne cette méthode ? Les faciès de rupture, qui sont les surfaces créées par fissuration, sont tout d'abord scannés avec un profilomètre, puis traités pour en extraire les propriétés mécaniques. Au-delà des propriétés moyennes, elle fournit également les variations locales des propriétés de rupture, mettant ainsi en évidence d'éventuelles zones de faiblesse (Fig. 2).

Comment mettre à profit cette innovation dans le cadre du contrôle mécanique des pièces ? L'approche proposée est illus-

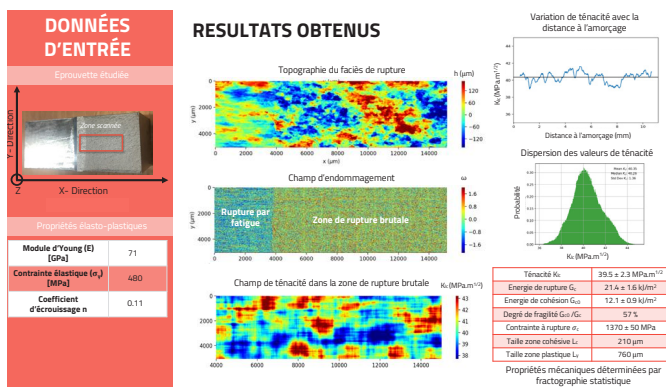


Fig. 2: Caractérisation des propriétés de rupture d'un alliage d'aluminium par fractographie statistique. Au-delà des propriétés moyennes (fournit dans le tableau en bas à droite), cette nouvelle méthode donne accès à de nouvelles informations inaccessibles par les tests mécaniques standard, comme les variations locales de ténacité permettant de mettre en évidence d'éventuelles zones de faiblesse.

trée sur la Fig. 3 pour une vis. La tenue mécanique de la pièce (ici, son couple de serrage à rupture) et les propriétés mécaniques de l'acier qui la compose sont obtenues dans une seule et même étape. Au-delà de s'affranchir des tests sur éprouvette, cette approche fournit de nouvelles informations : les propriétés de l'acier après le processus de fabrication, celles-ci pouvant être amenées à évoluer, notamment si la mise en forme se fait à haute température.

Mais l'apport de la fractographie statistique au contrôle des pièces mécaniques ne s'arrête pas là, puisqu'elle va servir d'interface entre les essais sur pièce finie et la simulation numérique : d'une part, elle fournit les propriétés des matériaux au sein du produit fini utilisées comme données d'entrée dans les modèles et d'autre part, elle détermine le scénario de la défaillance de la pièce (Fig. 3), guidant ainsi le développement de modèles numériques réalistes.

« Même si la fractographie statistique n'en est qu'à ses débuts, elle apporte déjà la promesse d'un développement accéléré de produits plus fiables. »

Même si la fractographie statistique n'en est qu'à ses débuts, elle apporte déjà la promesse d'un développement accéléré de produits plus fiables. Pas une mince affaire dans une période où la sécurité et la pérennité de nos produits et équipements deviennent des enjeux de tout premier plan. ●

Laurent Ponson
 Chercheur au CNRS & CEO de Tortoise
 Institut Jean le Rond d'Alembert (CNRS - Sorbonne Université) & Agoranov
 Contact : laurent.ponson@tortoise.io

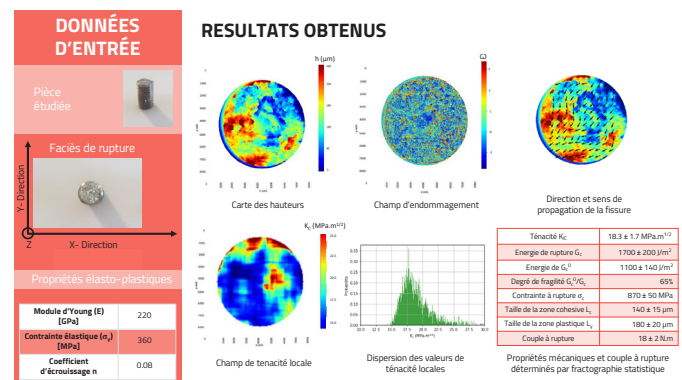


Fig. 3: Contrôle de la tenue mécanique d'une vis par fractographie statistique. L'étude du faciès de rupture fournit non seulement les propriétés de l'acier qui la compose, mais également le scénario de la défaillance ainsi que le couple à rupture, guidant ainsi le développement de modèles réalistes.