

L'utilisation des composites thermoplastiques hautes performances dans l'industrie de l'Oil & Gaz

Edouard Marin, Loic Lugiery, Anh-Tuan Do, Salim Benmedakhene

TechnipFMC

43-45 Boulevard Franklin Roosevelt, 92500 Rueil-Malmaison

e-mail : anh-tuan.do@technipfmc.com

Parc technologique des rives de l'Oise, CS50149 - 60201 Compiègne Cedex

e-mail : salim.benmedakhene@technipfmc.com

Résumé

Depuis plusieurs années, la société TechnipFMC s'est engagée dans un important programme de R&D permettant de qualifier l'utilisation de matériaux composites pour les conduites flexibles offshore. Après qu'une première génération de matériaux composites constitués de fibres de carbone et d'une matrice en polymère thermodurcissable ait démontré le fort potentiel de ce type de matériau, un autre type de matériau composite est aujourd'hui étudié dans le cadre d'une application aux structures SPS (Subsea Production System). Cet article présente les premiers résultats d'essais menés dans une démarche de caractérisation mécanique de ces composites thermoplastiques dernière génération, constitués de résine type PEEK à renfort en fibres de carbone. Les matériaux dont il est question dans cet article sont des matériaux composites unidirectionnels très hautes performances, atteignant des contraintes à rupture de 3200 MPa en traction uniaxiale, et présentant des performances remarquables en fatigue. La nature de ces matériaux et leur haute performance rend leur caractérisation mécanique complexe. Des efforts importants pour la caractérisation expérimentale ont été déployés pour permettre de révéler complètement les performances de ces matériaux. De plus, des analyses des mécanismes d'endommagement sont effectuées au moyen d'une méthode d'analyse non destructive : l'émission acoustique. L'acquisition de signaux acoustiques émis par le matériau permet en effet de mieux cerner les modes et scénarios d'endommagement en jeu lors de sollicitation mécanique.

Mots clés : Oil & Gas, composites thermoplastiques, émission acoustique, endommagement, fatigue

1. Introduction

Dans le domaine de l'Oil & Gaz, les structures métalliques actuelles nécessitent l'utilisation d'aciers très nobles, du fait de l'utilisation de ces structures dans un environnement marin agressif et corrosif (présence de gaz du type H_2S et CO_2 , présence d'eau de mer, température pouvant dépasser les $120^\circ C$, etc.). La solution des matériaux composites est donc apparue comme une alternative intéressante à la fois d'un point de vue économique, et également pour l'amélioration de la tenue mécanique sous contrainte en environnement extrême. En effet, ce type de matériau présente de très hautes performances à la fois en comportement statique, mais également en fatigue et en fluage, dans les conditions d'un environnement agressif. Leur tolérance à l'endommagement sont également des atouts indéniables. D'un point de vue de fabrication, ces matériaux présentent également l'avantage d'une facilité de mise en œuvre et une flexibilité du design, permettant la fabrication de géométries complexes.

Dans ce cadre, un programme important de R&D a été déployé afin de qualifier l'intérêt de l'utilisation de matériaux composites, notamment à travers la qualification de leurs performances mécaniques. Une première génération de matériaux composites constitués de fibres de carbone unidirectionnelles et d'une matrice en polymère thermodurcissable a donc été mise au point. La campagne de qualification menée a permis de déterminer pour ces matériaux une contrainte à rupture en traction uniaxiale d'environ 3000

MPa, contre 850 MPa pour les aciers. En outre, les propriétés remarquables déterminées en fatigue ont également confirmé le fort potentiel de ces matériaux pour des applications subsea. L'utilisation de ces matériaux composites therm durcissables permet également une diminution des efforts de tension appliqués sur les structures, grâce au gain de poids réalisé par rapport à l'utilisation d'aciers. Ce bénéfice combiné aux propriétés mécaniques intéressantes permet de proposer des applications en mer ultra profonde tout en gardant des solutions flexibles.

Les résultats très prometteurs démontrés par ce programme de qualification ont abouti au développement d'un autre type de matériaux composites hautes performances : les composites thermoplastiques type carbone/PEEK, à renfort unidirectionnel. Cependant, un challenge particulièrement important est apparu pour la qualification de ce nouveau type de matériau, puisque la nature de ces nouveaux matériaux engendre des difficultés importantes quant à la caractérisation expérimentale, particulièrement en fatigue et en fluage : ruptures prématurées, types de rupture non conforme à celles d'un matériau composites, problèmes d'ancrage, etc. L'inertie chimique des résines type PEEK rend en effet difficile les étapes inhérentes à la caractérisation expérimentale (collage, adhésion). Le premier enjeu de cette campagne d'essai a donc été de mettre au point de nouveaux moyens permettant de pouvoir révéler complètement les capacités de ce matériau. La connaissance de la mécanique des matériaux composites ainsi qu'une expertise sur les essais mécaniques statiques et long terme sont des données d'entrée indispensables pour y parvenir. Cet article balaie donc dans un premier temps les efforts déployés qui ont permis d'essayer ces problématiques, et de révéler pleinement les performances de matériaux carbone/PEEK.

De plus, la configuration du renfort unidirectionnel des fibres de carbone avec un important taux de fibre dans le composite influence considérablement le comportement mécanique de ce matériau. Cette configuration confère un comportement linéaire élastique endommageable qui rend difficile l'établissement des règles de dimensionnement. Pour cela l'appréhension des mécanismes et scénarios d'endommagement dans ces matériaux, ainsi que leurs impacts sur le comportement mécanique à long terme est un point important à investiguer. L'utilisation de techniques de contrôle non destructif tel que les ultrasons et l'émission acoustique permettent de mieux comprendre ces phénomènes. Le but de ces analyses est d'intégrer dans les règles de design une notion de critère limite en cohérence avec les tolérances à l'endommagement de ces matériaux lors de leur exploitation en service.

Le présent article présente donc premièrement l'approche expérimentale développée pour maîtriser la caractérisation de ces matériaux carbone/PEEK. Dans un second temps, les performances mécaniques de ce matériau ainsi que les mécanismes d'endommagement mis en jeu et révélés par des techniques de CND seront plus particulièrement étudiés.

Les chapitres suivants seront abordés dans le papier final.

- 2. Matériau étudié**
- 3. Caractérisation expérimentale**
- 4. Comportement statique**
- 5. Comportement en fatigue**
- 6. Conclusion.**