

Réseau de distribution d'eau et matériaux composites : étude hygro-thermo-mécanique d'une canalisation.

Leurs excellentes propriétés spécifiques ont positionné les matériaux composites à matrice organique (CMO) comme des candidats évidents pour le remplacement des matériaux traditionnels dans des domaines aussi divers et exigeants que les transports, l'énergie, ou le génie civil. Ils allient de bonnes propriétés mécaniques et une faible densité tout en offrant la possibilité de réaliser des structures complexes.

Nous nous intéressons ici au cas des canalisations de distribution d'eau qui exposent notamment les matériaux employés à un chargement hygro-thermo-mécanique. Dans ce contexte, les CMO sont sélectionnés en premier lieu pour leur faible conductivité thermique ou leur bonne tenue à la « corrosion ».

De tels matériaux présentent toutefois une sensibilité à l'humidité ou la température qui doivent être intégrés dans les dimensionnements. L'eau en circulation ou l'humidité relative environnante de la canalisation peuvent notamment agir comme « plastifiant » modifiant les propriétés de la phase liante (matrice). Cette transformation va évoluer au cours du temps et impacter la durée de vie de la canalisation.

Ce mini projet est lié à l'étude des mécanismes de transport-diffusion (humidité, température) au sein d'une structure composite tubulaire mince à la fois dans leur propagation et leur conséquence (vieillesse hygro-thermique). Néanmoins, les phénomènes modélisés ici sont considérés réversibles et l'accent est mis sur les aspects multi-physiques et les couplages entre mécanismes.

Les calculs sont divisés en trois étapes : deux calculs de diffusions (thermique et hydrique) qui donneront les distributions de la température et de la concentration en eau selon le temps. Puis un calcul mécanique qui exploite les résultats précédents pour déterminer les champs de déformations et de contraintes au sein de la structure. Dans le cadre de ce mini-projet, nous ne nous intéressons qu'aux phénomènes réversibles : les propriétés mécaniques sont recouvrables après séchage (désorption).

La canalisation étudiée est un tube réalisé par enroulement filamentaire équilibré en verre/époxy avec pour angles d'enroulement $\pm 45^\circ$. D'un diamètre moyen de 32 mm, le tube présente une épaisseur constante de 2 mm.



Fig. 1 Tube composite rompu faisant apparaître les angles d'enroulement du renfort. D'après [Mercier, 2006].

1. Une première approche des couplages, modélisation axisymétrique

1.1. Diffusion, cas isotherme

Dans le cas isotherme, les problèmes de transport-diffusion se résument à la simulation de la diffusion d'eau à partir des propriétés diffusionnelles du matériau et des conditions aux limites hygro-thermiques imposées en surface. Les résultats de cette première étape, exprimés sous la forme de champs de concentration en eau au sein de la pièce, définissent les entrées du calcul mécanique.

Les cinétiques d'absorption d'eau dans les polymères et composites peuvent présenter des formes plus ou moins complexes mais nous faisons ici l'hypothèse d'une diffusion Fickienne activée thermiquement.

En particulier, le coefficient de diffusion D (en mm^2/s) est relié à la température T (K) par la loi d'Arrhénius suivante :

$$D(T) = 614 \exp(-6840/T)$$

Ouvrez les fichiers hydro.inp et hydro.mat afin de prendre connaissance de la mise en données. Discutez le choix des unités de temps.

*Modifiez le fichier hydro.mat afin de faire dépendre le coefficient D de la température. Vous rentrerez cette dernière comme paramètre (**parameter) dans le fichier hydro.inp.*

Déterminez le temps nécessaire à la saturation du tube pour différentes conditions thermiques isothermes. Discutez de l'effet d'activation de la température.

1.2. Diffusion, cas anisotherme stationnaire

La dépendance à la température (par un couplage faible) se fait par un premier calcul de thermique (thermo.inp) stationnaire. Les champs résultats entre alors comme paramètre du calcul de diffusion précédent.

Pourquoi considérons-nous le problème thermique comme stationnaire ?

Utilisez les fichiers thermo.inp, thermo.mat, hydroThermo.inp et hydroThermo.mat pour analyser différentes configurations environnementales : Par exemple, la température de l'eau circulant dans la canalisation peut être de 60°C alors que la canalisation est elle-même dans un milieu à une température constante de 20°C sous 50% HR. Vous modifierez notamment les concentrations à saturation en différenciant immersion et humidité relative.

1.3. Pression interne

Les champs de température et de concentration en eau précédents peuvent maintenant être exploités dans le cas d'un calcul mécanique de pression interne elastHydroThermo.inp traduisant l'évolution des propriétés de la canalisation au cours du temps. Nous considérons ici que la pression interne est de 5 bars (maintenue constante). Un premier calcul sans couplage (elast.inp) permet de mettre en place le calcul mécanique pour lequel nous ne considérons pas les propriétés anisotropes du composite.

Analysez la mise en données du fichier elast.inp et expliquez le choix des conditions aux limites. Lancez un calcul couplé (elastHydroThermo.inp) et discutez de l'apport du couplage que vous venez de réaliser. Vous comparerez vos résultats au cas non couplé pour lequel vous aurez éventuellement modifié les propriétés matériaux (prise en considération de la saturation en eau et de l'abatement des propriétés mécaniques).

2. Anisotropie du composite

La prise en compte de l'anisotropie du composite nécessite de passer sur un calcul tridimensionnel. Il est alors possible d'intégrer différentes configurations angulaires afin de valider ou d'invalidier le choix à $\pm 45^\circ$ (la plupart des tubes à pression interne commercialisés sont bobinés à $\pm 55^\circ$).

Discutez des conditions aux limites nécessaires pour modéliser un tube sous pression interne dont la structure est réalisée par enroulement filamentaire. Peut-on faire quelques hypothèses de symétries ? A l'aide du modèle tridimensionnel, faites évoluer les angles de stratification afin de déterminer l'angle optimal : celui qui maximise la contrainte longitudinale tout en minimisant la contrainte transverse.

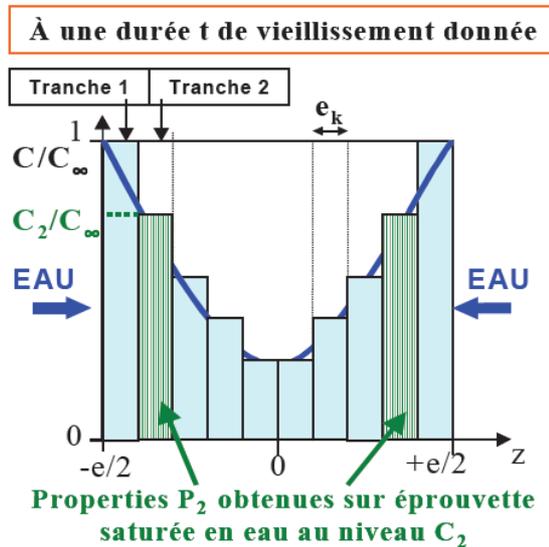
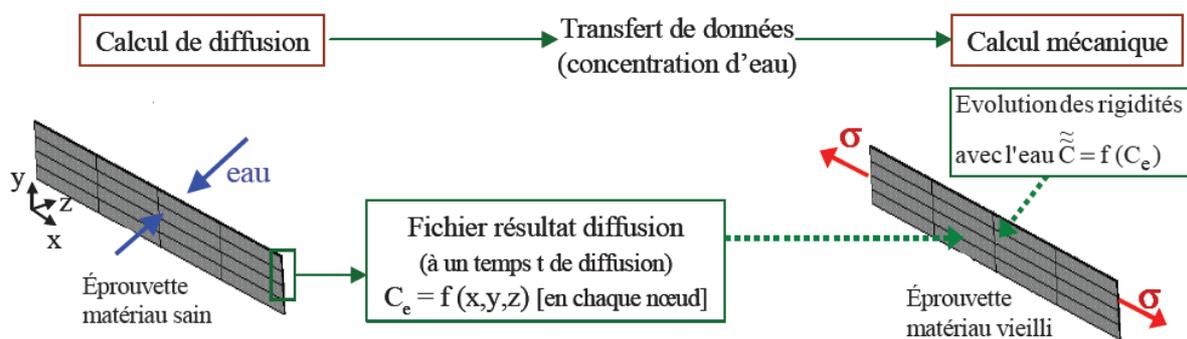


Fig. 2 Principe du couplage hygro-thermo-mécanique.
D'après [Mercier, 2006].