

Python au service du calcul paramétrique pour le contrôle vibratoire des tuyauteries

Dans le domaine nucléaire, le contrôle et la qualification vibratoire de réseaux de tuyauteries s'appuie sur des méthodologies simplifiées. Ainsi la norme ANSI-OM3 vérifie leur dimensionnement à différentes contraintes via un critère de vitesse vibratoire maximale admissible. L'emploi de fonctionnalités Python dans le langage Aster a grandement facilité la validation numérique de ce critère sur un large échantillon de cas réalistes.

Contexte industriel

Le RCC-M impose un dimensionnement au poids, à la pression, thermique et sismique des réseaux de tuyauteries. La seule contrainte réglementaire concernant les vibrations en fonctionnement consiste

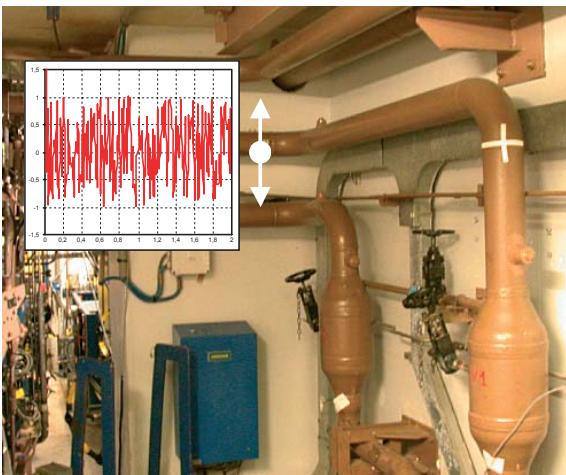


Figure 1 : Vibrations d'un circuit de sauvegarde.

en une réception vibratoire des circuits a posteriori. Dans ce cas de figure, c'est la norme ASME ANSI-OM3 qui est habituellement utilisée. Elle repose, pour le tronçon étudié, sur une relation linéaire entre la contrainte maximale admissible en fatigue, σ_{lim} , et la vitesse vibratoire maximale admissible V_{adm} faisant intervenir les coef-

$$V_{adm} = \frac{\alpha C_0 C_1 C_4}{C_3} \frac{0.8}{C_2 K_2} \sigma_{lim}$$

ficients suivants : C_0 facteur de pic, C_1 facteur de masse concentrée, C_4 facteur géo-

métrique, C_3 facteur de masse ajoutée du fluide et du calorifuge et $C_2 K_2$ celui d'intensification de contrainte.

Or la norme ne fournit les facteurs de correction C_1 et C_4 que dans quelques cas d'école; C_1 pour le premier mode d'une poutre droite bi-encastree avec une masse centrée et C_4 pour seulement 4 géométries types.

Objectifs de l'étude

Le premier objectif de notre étude, réalisée dans le cadre du Projet VICI, est de calculer les coefficients modaux C_1 et C_4 sur un large ensemble de géométries types "réalistes", c'est-à-dire acceptables vis-à-vis d'un dimensionnement réglementaire au poids, à la pression et au séisme.

D'autre part, en 1997, une étude du SEPTEN a montré que sans prise en compte rigoureuse de ces coefficients, les vitesses admissibles calculées sont anormalement faibles. Le deuxième objectif est donc de conforter le critère de limite basse [$V_{adm} > 12$ mm/s efficace] usuellement retenu au niveau international lors de tels contrôles.

Le tout a bien sûr fait appel à Code_Aster et aux nouvelles fonctionnalités Python de son langage de commandes. Il devient alors plus facile de structurer et d'enchaîner des calculs paramétriques, de remailler les géométries testées et de gérer les fichiers d'entrées/sorties ad hoc.

"Géométries types" testées et méthodologie

Une "géométrie type" est définie par son isométrie (figure 2), son caractère symétrique (par exemple la lyre) ou asymétrique (manivelle), ses conditions limites (encastree, appuyée, guidée, libre), son orientation horizontale (coude) ou verticale (lyre) pour le dimensionnement au poids. Ces

premiers critères fournissent alors 54 géométries types. Ensuite, les variations du ratio de longueurs L_p/L re-déclinent le tout en 3698 possibilités.

Pour toutes ces géométries l'étude a été réalisée en deux étapes. Un premier fichier de commande Code_Aster détermine les coefficients C_1 et C_4 admissibles au dimensionnement au poids et à la pression. On en déduit alors les vitesses vibratoires admissibles. Lorsqu'elles se trouvent être inférieures au critère usuel de 12 mm/s, un second calcul Aster de vérification au dimensionnement sismique est mené. Cela permet d'écartier les configurations illicites sans fausser l'évaluation du premier dimensionnement.

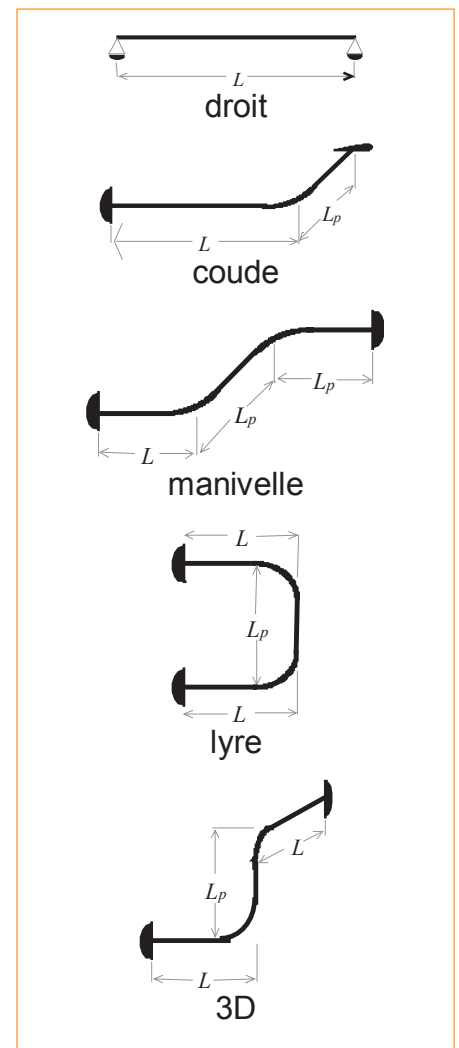


Figure 2 : Isométries types.

Python au service du calcul paramétrique pour le contrôle vibratoire des tuyauteries (suite)

Fonctionnalités utilisées

Concernant les opérateurs Aster, leur utilisation reste classique car les configurations étudiées sont réglementaires : MECA_STATIQUE et COMB_SISM_MODAL associés à MODE_STATIQUE sont, respectivement, utilisés pour les dimensionnements statique et dynamique. Le solveur modal MODE_ITER_SIMULT est employé pour le calcul *a posteriori* des coefficients modaux C_1 et C_4 .

Python facilite la répétitivité et la gestion paramétrique de ces opérateurs ainsi que les entrées/sorties fichiers ou autres. Les instructions Python FOR ... IN RANGE et WHILE pilotent ainsi les boucles de calcul. Les tests sont effectués via la commande IF ... ELIF / ELSE.

D'autre part, OPEN, WRITE, APPEND, CLOSE permettent des lectures/écritures dynamiques dans des fichiers au fur et à mesure du déroulement du calcul et, OS.SYSTEM, l'exécution de commande UNIX directement depuis le fichier de commandes. Les fichiers de configurations et le remaillage des géométries, via GIBI, sont ainsi générés automatiquement. Pour finir, les résultats des calculs, notamment C_1 et C_4 , sont écrits dans des fichiers pour des post-traitements sous Matlab (tris, graphes...).

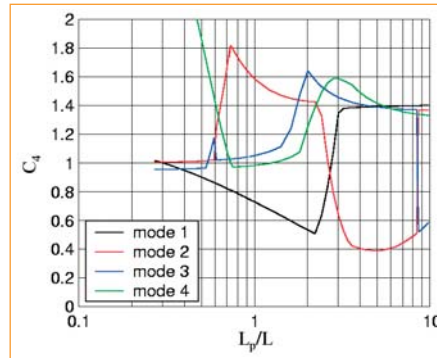
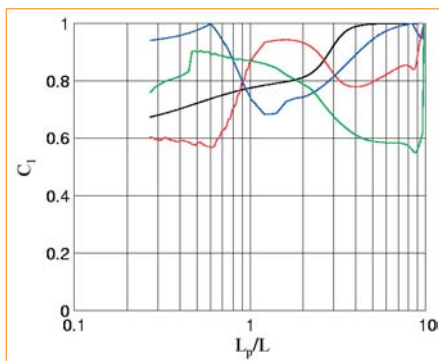


Figure 3 : C_1 et C_4 des modes plans de la manivelle bi-encastrée symétrique horizontale.

Un critère vibratoire conforté

Pour une géométrie type donnée, il est alors possible de tracer les coefficients C_1 et C_4 en fonction du ratio de longueurs L_p/L (figure 3) et également de calculer les vitesses vibratoires admissibles correspondantes. La figure 4 donne

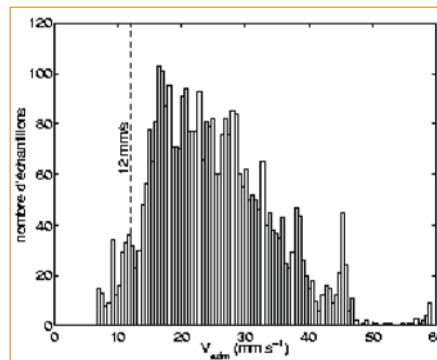


Figure 4 : Histogramme des vitesses vibratoires admissibles sur les 3698 configurations avant dimensionnement sismique.

l'histogramme de ces vitesses en prenant des valeurs conservatives pour C_0 , C_3 , C_2K_2 et $\sigma_{adm} = 114$ MPa à 10^{11} cycles pour l'inox. Seulement 206 configurations se trouvent avoir une V_{adm} inférieure au critère. La seconde étape de dimensionnement sismique en écarte 91%.

Finalement, l'essentiel des configurations (99,5%) admissibles au poids, à la pression et au séisme ont une vitesse supérieure au critère retenu. Cela conforte donc son emploi initialement justifié par le retour d'expérience international. ■

S. Caillaud, Y. Pons (Dépt. AMA) en collaboration avec M. Gaudin (SEPTEN)

En s@voir +

Rapport technique : S. CAILLAUD, Y. PONS. *Projet VICI T6.01.08 : Prise en compte de la conception réglementaire pour le calcul de coefficients ANSI-OM3.* EDF R&D/HT-62/02/026/B (2003).
Publication : S. CAILLAUD, D. BRIAND, P. MOUSSOU, M. GAUDIN. *Correction factors for ASME ANSI-OM3 stress/velocity relationship with respect to static design.* 17th SMIRT, Prague (2003).