SDNL112 - Endommagement d'origine vibratoire d'un cintre de générateur de vapeur

Résumé

Ce cas de validation est destiné à vérifier la non-régression des fonctionnalités nécessaires aux calculs d'endommagement d'origine vibratoire des tubes de générateurs de vapeur : fatigue vibratoire et usure par chocs sur un obstacle. Le calcul de la réponse vibratoire est réalisé par la méthode ITMI d'Intégration Temporelle par Méthode Intégrale implantée dans l'opérateur DYNA_VIBRA. Pour cela, on étudie la réponse dynamique non linéaire d'un tube de générateur de vapeur soumis à un écoulement externe. Ce tube est instable et vient impacter un support à jeu.

On calcule en premier lieu les effets du couplage fluide-élastique (variation de la fréquence et de l'amortissement de la structure) en fonction de la vitesse de l'écoulement, puis la réponse vibratoire de la structure pour une vitesse d'écoulement donnée, et enfin l'usure par chocs ou la fatigue vibratoire de la structure.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

La structure étudiée s'apparente à la zone cintrée d'un tube de générateur de vapeur. Elle est supposée être encastrée à ses deux extrémités A et C ; ces dernières sont censées correspondre au passage du tube dans la plaque entretoise supérieure d'un générateur de vapeur. Au point B sommet du cintre (encore dénommé apex), la structure est guidée dans un support à jeu.



**Figure 1.1-a : Schéma de la zone cintrée d'un tube de GV,
supposé être encastré en dernière plaque entretoise, guidé dans un support à jeu**

La structure est assimilée à une poutre de section circulaire creuse de longueur totale de $1,74329\,m$ et qui comprend $250,43\ mm$ de partie droite à chaque extrémité du tube.

Diamètre extérieur du tube : $22,22\ mm$
Diamètre intérieur du tube : $19,68\ mm$

1.2 Propriétés de matériaux

Les valeurs des caractéristiques des différents éléments de la structure sont les suivantes :

Tube en Inconel 600

$$E=2,02\ 10^{11}\,N/m^2 \qquad \nu=0,3 \qquad \rho=8330\ kg/m^3$$

Fluide interne : le fluide interne modélisé est de l'eau sous pression à température élevée ; sa masse volumique ρ_i est supposée varier de façon linéaire le long de la zone cintrée, entre A et C, de $738,58\ kg/m^3$ à $731,16\ kg/m^3$.

Fluide externe : le tube est supposé être immergé dans un mélange diphasique sur toute sa longueur ; l'écoulement du mélange est transverse au cintre en tout point. La densité équivalente du mélange est obtenue à l'aide de la formule :

$\rho_e=\alpha\,\rho_{gaz}+(1-\alpha)\,\rho_{liquide}$, où α désigne le taux volumique de gaz.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Cette densité apparaît comme étant comprise entre $84 kg/m^3$ et $150 kg/m^3$. Une masse volumique équivalente est attribuée au système dynamique lors du calcul de sa base modale en fluide au repos ; cette masse volumique équivalente englobe la masse volumique du fluide interne, celle de la structure et celle fluide externe ; l'effet inertiel de ce dernier est évalué par l'intermédiaire d'un coefficient de masse ajoutée.

1.3 Conditions aux limites et chargements

La structure est encastrée aux points A et C. Un support à jeu est positionné au point B ($jeu = 1{,}20\ mm$). Un chargement aléatoire réparti, transverse au tube, est imposé sur $(A-C)$. Ce chargement est défini, d'une part à l'aide d'un profil de vitesse le long de la zone excitée, et d'autre part à l'aide d'un spectre adimensionnel d'excitation.

1.4 Conditions initiales

Le tube est initialement au repos, ce qui se traduit par des déplacements et des vitesses nuls à l'instant initial.

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

Voir références [bib1], [bib2] et documentation de *Code_Aster* sur les algorithmes de calcul dynamique en non linéaire avec chocs.

2.2 Résultats de référence

En l'absence de résultats expérimentaux disponibles, on ne teste que la non-régression des résultats.

2.3 Références bibliographiques

1. N. GAY : "Logiciel FLUSTRU, version 3.0.1, Note de principe - HT-32/97/014/A.

2. N. GAY, S. GRANGER : "Présentation d'une méthode du couplage fluide-élastique en régime non linéaire", HT-32/94/015/A.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Les propriétés géométriques et matérielles du modèle sont celles présentées plus haut. Le tube est modélisé à l'aide d'éléments de poutre droite de Timoshenko : POU_D_T. Il est décomposé en 60 éléments répartis sur six tronçons.

Les nœuds A et C sont bloqués dans les directions x, y et z en translation et en rotation.

L'amortissement de la structure en fluide au repos est de 0,4999 %.

3.2 Caractéristiques du maillage

Le nombre total de nœuds utilisés pour ce maillage est de 61.
Les mailles sont au nombre de 60 et de type SEG2.
Le fichier de maillage est rédigé au format ASTER.

3.3 Étapes de calcul

Le profil de vitesse de l'écoulement et les paramètres prenant en compte le couplage fluide-structure sont définis à l'aide des opérateurs DEFI_FONC_FLUI et DEFI_FLUI_STRU. On calcule les paramètres modaux de la structure en prenant en compte les forces fluide-élastiques à l'aide de l'opérateur CALC_FLUI_STRU. La définition de l'excitation aléatoire est effectuée en faisant appel à l'opérateur DEFI_SPEC_TURB. L'excitation est projetée sur la base modale à l'aide de l'opérateur PROJ_SPEC_BASE. Les inter-spectres de réponse modale sont calculés à l'aide de l'opérateur DYNA_SPEC_MODAL. On en déduit les auto-spectres de déplacement aux nœuds en faisant appel à l'opérateur REST_SPEC_PHYS.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

4 Résultats de la modélisation A

4.1 Valeurs testées

Les tests assurent la non régression du code et portent sur des fréquences propres, de l'amortissement réduit et le RMS en déplacement.

4.2 Remarques

Le calcul est effectué avec 4 modes et une seule vitesse d'écoulement de $4.811\,m/s$.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

5 Modélisation B

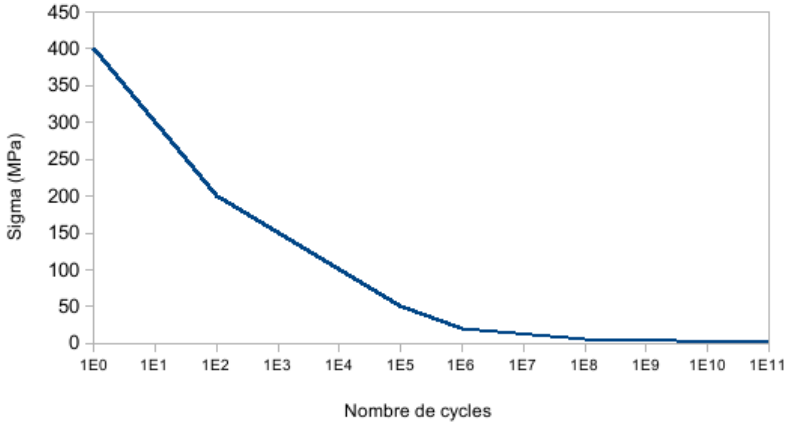
5.1 Caractéristiques de la modélisation

Les propriétés géométriques et matérielles du modèle sont celles présentées plus haut. Le tube est modélisé à l'aide d'éléments de poutre droite de Timoshenko : POU_D_T. Il est décomposé en 60 éléments répartis sur six tronçons.

Les nœuds A et C sont bloqués dans les directions X, Y et Z en translation et en rotation.

L'amortissement en fluide au repos de la structure est de 0,4999 %.

Pour le calcul d'endommagement, on considère la courbe de fatigue suivante (type Wöhler) , donnant le demi-amplitude de contrainte en fonction du nombre de cycles :



A noter que cette courbe n'est correspond pas à la courbe réelle de fatigue pour le matériau considéré.

5.2 Caractéristiques du maillage

Le nombre total de nœuds utilisé pour ce maillage est de 61.
Les mailles sont au nombre de 60 et de type SEG2.
Le fichier de maillage est rédigé au format ASTER.

5.3 Étapes de calcul

Le profil de vitesse de l'écoulement et les paramètres prenant en compte le couplage fluide-structure sont définis à l'aide des opérateurs FONC_FLUI_STRU et DEFI_FLUI_STRU.

- On calcule les paramètres modaux de la structure en eau au repos à l'aide de l'opérateur CALC_MODES.
- On calcule les paramètres modaux de la structure en prenant en compte les forces fluide-élastiques à l'aide de l'opérateur CALC_FLUI_STRU.
- La définition de l'excitation aléatoire est effectuée en faisant appel à l'opérateur DEFI_SPEC_TURB. L'excitation est projetée sur la base modale à l'aide de l'opérateur PROJ_SPEC_BASE.
- On calcule les excitations aléatoires sur une période déterminée, en utilisant l'opérateur GENE_FONC_ALEA.
- Pour le calcul temporel, on récupère les fonctions d'excitation et on utilise la méthode d'intégration temporelle par la méthode intégrale implantée dans l'opérateur DYNA_VIBRA. Ce calcul permet d'étudier la réponse dynamique non linéaire d'un tube de générateur de vapeur soumis à un écoulement externe.
- L'opérateur de post-traitement utilisé afin d'évaluer la fatigue du tube est alors POST_FATIGUE.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

6 Résultats de la modélisation B

6.1 Valeurs testées

Les tests assurent la non régression du code et portent sur les déplacements ainsi que sur le cumul des dommages.

6.2 Remarques

Le calcul est effectué avec 4 modes sur une durée totale de simulation de 1 seconde. Il est réalisé pour une seule vitesse d'écoulement ($4{,}811\ m/s$) par intégration directe avec la méthode intégrale. Les valeurs testées sont le dommage et l'intervalle RMS de déplacement pour 1 et 100 cycles au nœud de choc. La durée de calcul et le nombre de tirages permettant de définir l'excitation, sont trop faibles pour obtenir une représentation statistique moyenne convenable du phénomène aléatoire. C'est pour cela que ce cas test ne constitue qu'un cas test de non-régression. Pour obtenir des valeurs moyennes plus représentatives, il suffit d'allonger la durée du calcul et le nombre de tirages.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

7 Modélisation C

7.1 Caractéristiques de la modélisation

Le tube est modélisé à l'aide d'éléments de poutre droite de Timoshenko : POU_D_T. Il est décomposé en 60 éléments répartis sur six tronçons.

Les nœuds A et C sont bloqués dans les directions X, Y et Z en translation et en rotation.

L'amortissement en fluide au repos est de 0,4999 %.

7.2 Caractéristiques du maillage

Le nombre total de nœuds utilisé pour ce maillage est de 61.
Les mailles sont au nombre de 60 et de type SEG2.
Le fichier de maillage est rédigé au format ASTER.

7.3 Fonctionnalités testées

On teste notamment la bonne prise en compte du mot clé simple GROUP_NO de la commande POST_USURE.

7.4 Étapes de calcul

Le profil de vitesse de l'écoulement et les paramètres prenant en compte le couplage fluide-structure sont définis à l'aide des opérateurs FONC_FLUI_STRU et DEFI_FLUI_STRU.

- On calcule les paramètres modaux de la structure en eau au repos à l'aide de l'opérateur CALC_MODES.
- On calcule les paramètres modaux de la structure en prenant en compte les forces fluide-élastiques à l'aide de l'opérateur CALC_FLUI_STRU.
- La définition de l'excitation aléatoire est effectuée en faisant appel à l'opérateur DEFI_SPEC_TURB. L'excitation est projetée sur la base modale à l'aide de l'opérateur PROJ_SPEC_BASE.
- On calcule les excitations aléatoires sur une période déterminée, en utilisant l'opérateur GENE_FONC_ALEA.
- Pour le calcul temporel, on récupère les fonctions d'excitation et on utilise la méthode d'intégration temporelle par la méthode intégrale implantée dans l'opérateur DYNA_VIBRA. Ce calcul permet d'étudier la réponse dynamique non linéaire d'un tube de générateur de vapeur soumis à un écoulement externe.
- L'opérateur de post-traitement utilisé afin d'évaluer l'usure du tube est alors POST_USURE.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

8 Résultats de la modélisation C

8.1 Valeurs testées

Les tests assurent la non régression du code et portent sur les déplacements ainsi que sur la valeur RMS de déplacement suivant OY.

8.2 Remarques

Le calcul est effectué avec 4 modes sur une durée totale de simulation de 1 seconde. Il est réalisé pour une seule vitesse d'écoulement ($4{,}811\ m/s$) par intégration directe par la méthode intégrale. Les valeurs testées sont les puissances d'usure au nœud de choc. La durée de calcul et le nombre de tirages permettant de définir l'excitation, sont trop faibles pour obtenir une représentation statistique moyenne convenable du phénomène aléatoire. C'est pour cela que ce cas test ne constitue qu'un cas test de non-régression. Pour obtenir des valeurs moyennes plus représentatives, il suffit d'allonger la durée du calcul et le nombre de tirages.

9 Conclusion

L'unique but de ce cas-test est la vérification de la non-régression des chaînes de calculs GEVIBUS-*Code_Aster* lors de l'utilisation conjointe de l'opérateur DYNA_VIBRA avec la méthode ITMI d'intégration temporelle par méthode intégrale et des opérateurs de post-analyse de fatigue et d'usure. A la vue des résultats obtenus, on peut considérer que la non-régression de *Code_Aster* est assurée pour l'instant.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)