



VIBRATIONS ET CONTRAINTES DE TUYAUTERIES

Fiche technique n°203B

Objectifs :

Les objectifs de l'étude des vibrations des conduites sont :

- d'éviter la fissuration de la tuyauterie qui peut amener à une rupture.
- d'éviter les fuites résultantes
- d'éviter la perturbation des appareils de mesure montés sur les conduites.
- d'éviter que les vibrations de la conduite liée à la charpente excitent cette dernière.
- d'éviter que les employés qui travaillent à proximité subissent ces vibrations.



Définition du problème

La vibration est facilement détectée au bruit, au toucher, parfois même à la vue.

Le problème est de savoir estimer la gravité de cette vibration.

Plusieurs cas sont à envisager :

- pour l'environnement, aussi bien pour les appareils que pour les êtres humains on dispose de critères vibratoires normalisés ou contractuels : il suffit de les vérifier en effectuant des mesures sur les conduites.
- pour les appareils de mesures, la vérification des mesures ou du bon fonctionnement du process sont des indications de la perturbation.

Le problème est plus complexe pour ce qui concerne la **tenue mécanique** de la conduite. En effet, ce n'est plus l'amplitude de la vibration de la conduite qui est le seul paramètre important mais la contrainte générée.

Hors si cette contrainte dépend de l'amplitude des vibrations (et au travers d'elles des efforts générés qu'on ne peut pas mesurer), elle dépend aussi :

- De la déformée vibratoire, qui comprend des déformations angulaires.
- Des caractéristiques propres de la tuyauterie, diamètre, épaisseur, matériaux, etc. ...
- Des singularités géométriques, qui génèrent des concentrations de contraintes telles que des piquages, des brides, des vannes etc...

De plus, au-delà de ces paramètres, il faut prendre en compte l'aspect fatigue du matériau, qui fait intervenir le type d'oscillation, la fréquence et la durée.

Diagnostic préalable

Le réflexe habituel face à un problème de vibration de conduites est de rigidifier, mais encore faut-il s'assurer que cette solution est pertinente, car elle pourrait bien être dangereuse.

Le bien fondé de l'action sur la structure (par exemple la rigidification) dépend essentiellement de son type de comportement vibratoire, c'est à dire est-ce que la structure est en résonance ou non.

S'il y a résonance

La résonance est une amplification vibratoire de la structure, lorsque la fréquence à laquelle est excitée la structure coïncide avec une ou plusieurs fréquences propres.

Ce cas spécifique est très fréquent, en particulier sur les tuyauteries reliées à des machines alternatives qui génèrent un spectre d'excitation composé de raies riches en hautes fréquences.

Une action sur la structure est alors tout à fait justifiée afin d'éloigner ses fréquences propres des fréquences d'excitation.

La détermination des modifications à apporter peut être :

- Empirique, en procédant par essais après détermination de la déformée en fonctionnement ou opérationnelle. Le risque encouru est :
 - de générer d'autres fréquences de résonances qui rentrent à leur tour en coïncidence fréquentielle avec une autre excitation.
 - de ne pas connaître l'apport de la solution en terme de contraintes dans la conduite et aux liaisons.
- Par calcul élément finis, en modélisant la conduite et ses liaisons. Pour cela on doit :
 - mesurer les impédances des liaisons afin de les modéliser
 - lui imposer les déplacements maximaux mesurés lors de la déformée opérationnelle
 - on peut alors calculer les contraintes générées suivant les critères connus.

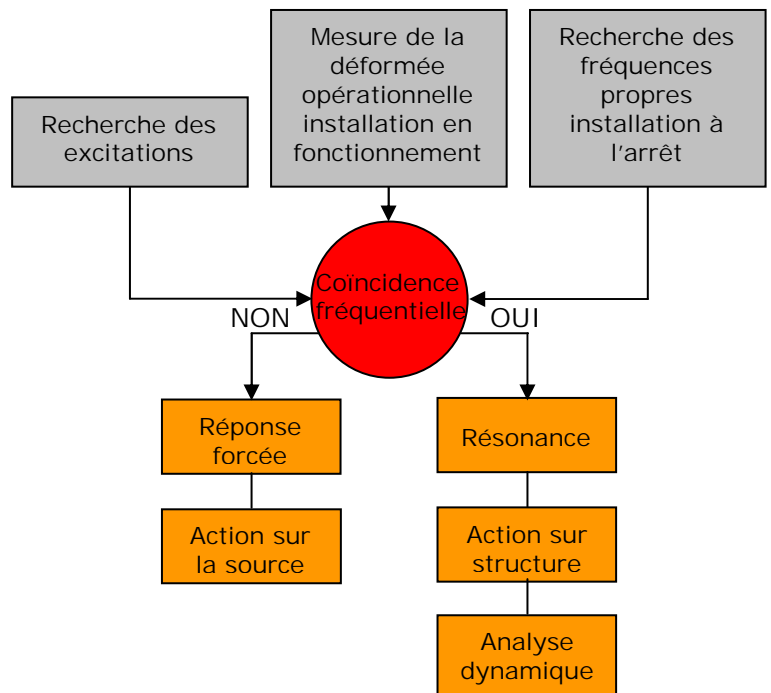
S'il n'y a pas résonance

Toute rigidification est alors risquée : ne supprimant pas la cause, ni l'amplification, elle va générer des contraintes mécaniques pouvant mener à des risques de fissuration.

Il est alors préférable de chercher à jouer sur la source d'excitation par la mise en place de détente, d'amortisseur, etc.

Remarque : cette distinction fondamentale entre les deux cas précités n'empêche pas les actions générales suivantes :

- Sur une ancienne installation, il est souhaitable de procéder à une vérification des appuis (fixation, raideur...)
- On peut encore également atténuer le mouvement vibratoire par la mise en place d'amortisseurs de type visqueux ou actifs tels qu'absorbeurs de vibration.



Démarche méthodologique

Mesures

Fréquences et modes propres

La méthode la plus rapide efficace pour déterminer les fréquences propres et modes propres est la réalisation d'impacts au marteau de force sur la tuyauterie. La réponse vibratoire est mesurée en différents points, installation à l'arrêt si possible.

On obtient ainsi :

- Les fonctions de transferts, soit les fréquences propres, avec leur amplification et leur amortissement.
- Les formes propres associées aux fréquences propres excitées.

Déformées opérationnelles

Mesure de la déformée opérationnelle aux différentes fréquences, installation en fonctionnement (voir fiche technique).

Mesures des excitations

Dans certains cas (rares), il est possible de mesurer les excitations mécaniques à l'aide de capteurs de force : on obtient ainsi le signal temporel de l'excitation qui est applicable au modèle de calcul. Ceci suppose de connaître les points d'applications des forces pour y effectuer les mesures.

Les excitations dynamiques de l'écoulement fluide sont analysées par des capteurs de pression dynamique, ces mesures permettent notamment :

- Une quantification des niveaux maximums en des endroits judicieux, pour vérifier les caractéristiques de l'écoulement.
- De réaliser l'analyse spectrale du signal, de manière à mettre en évidence la plage de fréquences excitatrice.

Cependant, ces mesures ne permettent pas d'établir l'amplitude et les points d'application des efforts fluides sur les tuyauteries.

Contraintes

Les contraintes sont mesurées en collant des jauges d'extensomètres aux points voulus.

Le signal temporel permet de déterminer la valeur instantanée maximale de la déformation ou contrainte. La transformée de Fourier de ce signal permet de connaître les fréquences pour lesquelles on a le maximum de contrainte.

Simulation

Modélisation

Il s'agit de créer un modèle théorique représentant l'installation étudiée. Ce modèle sera utilisé :

- en calcul prévisionnel, avant réalisation
- en simulation de modifications pour en estimer l'incidence sur le comportement de l'installation.

La méthode la plus utilisée est la méthode par éléments finis (MEF)

Le savoir-faire de la modélisation consiste :

1. Dans le choix des éléments finis : de type volumique, plaque, poutre
2. Dans les hypothèses de modélisation : limitation du modèle dans l'espace, prise en compte des déformations de certains éléments.
3. Et surtout le choix des conditions aux limites, simulant la liaison du modèle avec l'extérieur.

Calculs

Les calculs dynamiques se décomposent en deux parties distinctes :

Calcul des fréquences propres et modes propres associés : l'objectif est d'éviter la proximité entre une fréquence propre et une fréquence d'excitation

Calcul de la réponse : celle ci s'exprime en terme de contraintes ; il s'agit alors d'un calcul de tenue mécanique classique, ou cependant les notions de fatigue peuvent entrer en ligne de compte.

Les efforts générés n'étant pas connus, on applique à la tuyauterie les déplacements imposés déterminés par la déformée opérationnelle.

Recalage

Les choix et hypothèses de modélisation par EF évoqués amènent à des approximations et des incertitudes. Aussi il est souhaitable de recalibrer le modèle EF en comparant les résultats calculs à la mesure (exemple mesure des fréquences propres).

Modifications

L'objectif est d'éloigner les fréquences propres des excitations. Il faut vérifier :

- Que les fréquences propres les plus basses ne remontent pas.
- Que les autres fréquences propres ne soient pas à leur tour en coïncidence fréquentielle avec des harmoniques de l'excitation.

