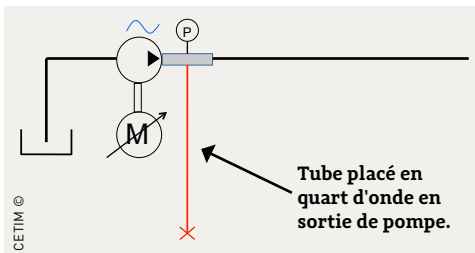


FLEXIBLES QUART D'ONDE

Pour un dimensionnement optimisé

Les installations hydrauliques des engins mobiles sont soumises aux pulsations de pression générées par les pompes hydrauliques. Ces pulsations se transmettent dans le fluide hydraulique qui lui-même vient exciter les canalisations hydrauliques, ce qui engendre du bruit et des vibrations. De nombreux engins mobiles sont équipés de dispositifs visant à réduire ces pulsations et donc permettant de réduire le bruit d'origine hydraulique. Plusieurs dispositifs existent, tous contraints par le peu d'espace disponible pour les intégrer sur les machines. **Etienne Camus, ingénieur Etudes et Prestations – Hydraulique au sein du pôle Transmission de Puissance du Cetim, nous détaille une méthode de dimensionnement innovante des flexibles quart d'onde équipant certains engins mobiles.**

« Une solution existante qui a fait ses preuves est l'utilisation de tubes quart d'onde. Il s'agit de tubes bouchés placés en sortie de pompe sur un té et dont la longueur est calculée de manière à ce que la propagation des ondes de pression dans ce tube vienne atténuer les pulsations de pression de la pompe dont la fréquence est directement fonction de la vitesse de rotation.



Ainsi, dans le cas du tube en quart d'onde, l'installation hydraulique bénéficie de l'impédance d'entrée d'un tube bouché qui est de la forme suivante :

Celle-ci présente une anti-résonance à la fréquence f_0 . Cette anti-résonance se répète pour tous les multiples impairs de f_0 , alors que pour tous les multiples pairs de f_0 , il y a une résonance. Par conséquent, si les effets liés au fluide ne sont pas pris en compte (inertie, viscosité, amortissement, etc.), il y a un amortissement des pulsations de pression pour tous les multiples impairs de f_0 , et une amplification des pulsations de pression pour tous les multiples pairs de f_0 .

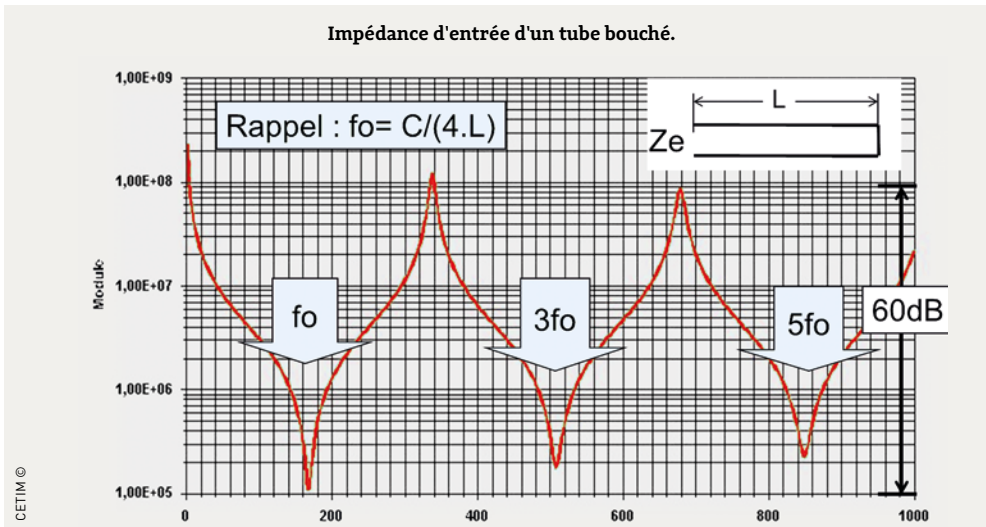
Problème d'intégration

Ce dispositif est facile à dimensionner mais présente l'inconvénient d'être difficilement intégrable dans un engin mobile, notamment en raison de sa longueur, de sa rigidité et des points de fixation nécessaires. Ainsi, la plupart des engins équipés de ce principe d'atténuation des pulsations de pression utilisent des flexibles bouchés, dits flexibles quart d'onde, plutôt que des tubes quart d'onde.

L'utilisation de flexibles quart d'onde peut permettre tout autant d'obtenir des résultats très satisfaisants pour amortir les pulsations de pression de la pompe. Cependant, le dimensionnement est nettement plus complexe car, contrairement à un tube rigide, la vitesse du son dans l'huile à l'intérieur d'un flexible est méconnue et dépend de la nature du flexible. Il est alors souvent nécessaire de réaliser de multiples essais pour accorder le flexible sur la fréquence à atténuer.

Pour répondre à cette problématique, le Cetim a développé une méthode de dimensionnement des flexibles quart d'onde à partir d'une caractérisation hydro-acoustique initiale des flexibles utilisés. Cette méthode repose sur un modèle hydro-acoustique simple de flexibles et ne nécessite pas l'utilisation de logiciels particuliers, ce qui la rend accessible à un grand nombre d'industriels. Elle a été testée et validée sur banc d'essais et sur engins.

Impédance d'entrée d'un tube bouché.




Méthodologie de dimensionnement

Pour étudier le dimensionnement d'un flexible quart d'onde afin qu'il amortisse de manière optimale les pulsations de pression à une fréquence bien particulière, la première étape consiste à s'appuyer sur des caractérisations hydro-acoustiques de flexibles.

La détermination des caractéristiques hydro-acoustiques d'un flexible consiste à identifier les termes de sa matrice admittance. Cette matrice est une caractéristique du composant et est donc indépendante du circuit hydraulique. Cependant, elle peut varier en fonction de différents paramètres tels que la pression ou la température par exemple.

La matrice admittance d'un flexible est définie de la manière suivante :

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{12} & a_{11} \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} q_1 \\ q_2 \end{pmatrix}$$


Avec :

- Q1 et Q2** : débits pulsés en entrée et sortie du flexible.
- P1 et P2** : pressions pulsées en entrée et sortie du flexible.
- a11 et a12** : termes de la matrice admittance du flexible.

La détermination de la matrice admittance d'un flexible peut se faire suivant la norme NF ISO15086 « Evaluation des caractéristiques du bruit liquidien des composants et systèmes ».

Une fois la matrice admittance déterminée pour le flexible, il s'agit de recalibrer un modèle simple de flexible sur ces mesures. Ce modèle s'appuie sur 4 paramètres :

- dSp** : expansion de surface rapportée à la pression.
- tgphi** : terme d'amortissement.
- X** : variation de dSp en fonction de la fréquence.
- Y** : variation de tgphi en fonction de la fréquence.

A partir des paramètres hydro-acoustiques identifiés pour le flexible mesuré, il est alors possible de déterminer la longueur de ce flexible à installer en quart d'onde en sortie de pompe pour amortir les pulsations de pression à la fréquence voulue :

$$f_0 = \frac{C}{4L}$$

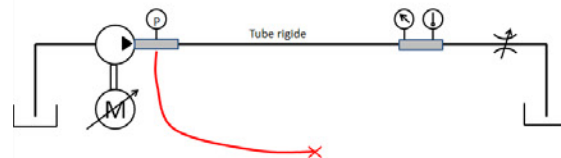
Avec :

- f₀** : fréquence fondamentale pour laquelle l'amortissement des pulsations de pression est maximal.
- C** : célérité du son dans l'huile dans le flexible, dépendant des paramètres hydro-acoustiques du flexible.
- L** : longueur de l'élément mis en quart d'onde.

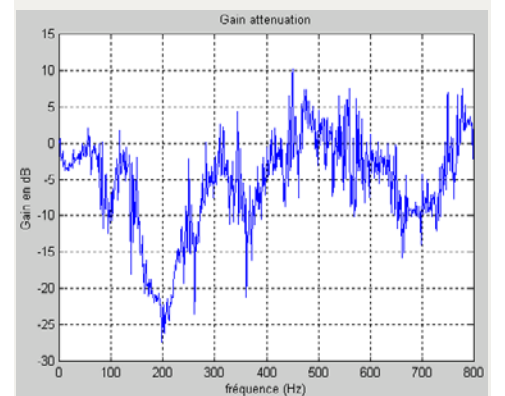
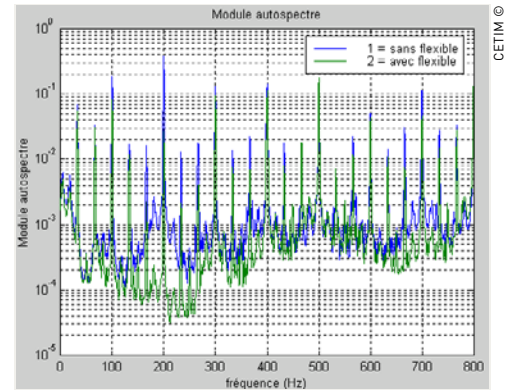
Résultats obtenus sur machines

La méthode de dimensionnement développée a été testée et validée sur un banc d'essais, puis sur une pelle hydraulique.

Sur banc d'essais, il s'agissait de déterminer, suivant la méthode de dimensionnement préalablement exposée, la longueur d'un flexible quart d'onde pour une fréquence à laquelle les pulsations de pompe doivent être amorties de manière optimale.



Architecture du banc de validation du dimensionnement d'un flexible quart d'onde.



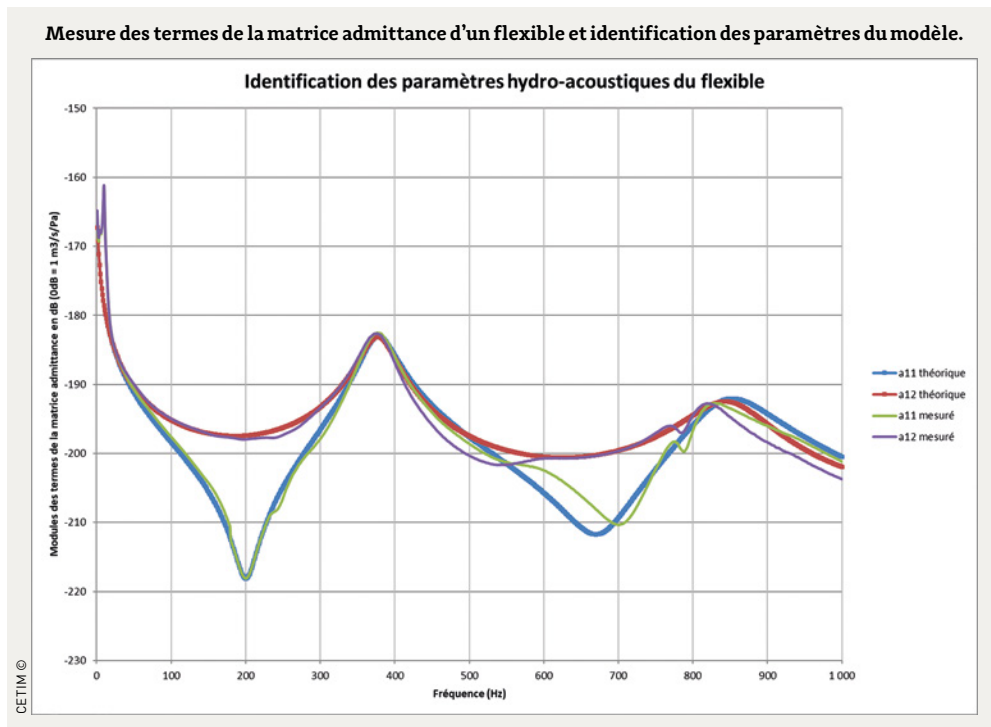
Exemple d'atténuation des pulsations de pression obtenue avec un flexible quart d'onde accordé sur la fréquence de 200Hz.

Nous observons sur les courbes d'essais précédentes que, autour de la fréquence de 200 Hz pour laquelle le flexible quart d'onde a été dimensionné, l'amortissement des pulsations de pressions hydrauliques est supérieur à 25 dB. Il y a donc bien un amortissement significatif des pulsations de pression autour de la fréquence pour laquelle le flexible a été dimensionné selon la méthode développée et décrite précédemment. Ceci est un premier élément de validation de cette méthode de dimensionnement.

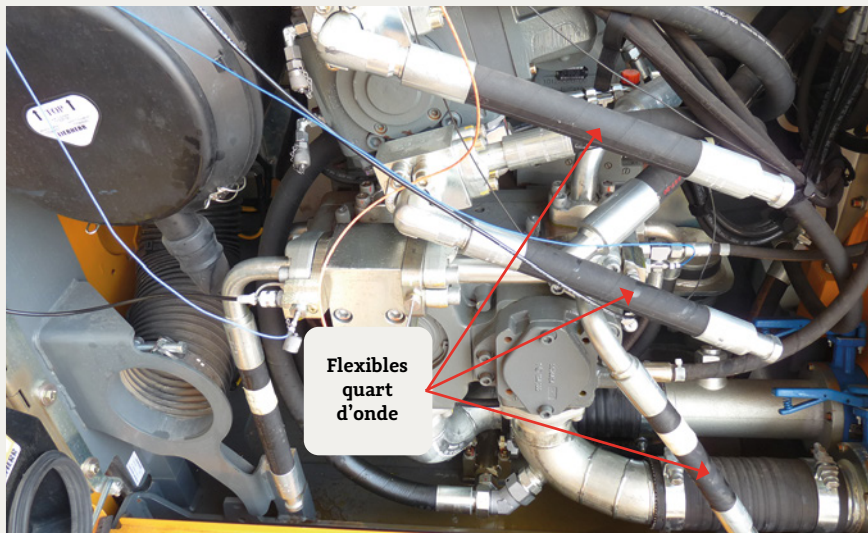
Pour différentes longueurs de flexibles mis en quart d'onde, les écarts ont été quantifiés entre la fréquence théorique d'atténuation maximale des pulsations de pression obtenue par la méthode de dimensionnement proposée, et la fréquence pour laquelle l'atténuation des pulsations de pression était maximale sur le banc d'essais.

Écarts en fréquence entre la théorie issue de la méthode développée et la mesure (flexible 4SH DN12).

Longueur du flexible mis en quart d'onde (m)	Fréquence théorique d'atténuation maximale (Hz)	Fréquence mesurée d'atténuation maximale (Hz)	Ecart en fréquence (Hz)
0,937	200	207	7
0,406	384	393	9
0,294	476	487	11



Installation de flexibles quart d'onde sur une pelle hydraulique.



Dans tous les cas, les erreurs constatées entre les fréquences d'atténuation maximales des pulsations de pression mesurées et calculées sont faibles, tout en augmentant très légèrement pour des longueurs de flexibles quart d'onde plus faibles.

Compte tenu des très bons résultats observés sur banc d'essais, de nouvelles mesures ont été effectuées sur une pelle hydraulique pour, cette fois-ci, se placer dans une configuration la plus représentative possible des conditions réelles d'utilisation d'un flexible en quart d'onde.

Il s'agissait cette fois-ci de valider les résultats observés sur banc d'essais, mais égale-

ment d'analyser l'impact de la réduction des pulsations de pression de pompe sur le bruit global dans la cabine de la machine.

Les mesures réalisées montrent que, sur la fréquence fondamentale de la pompe, l'utilisation d'un flexible quart d'onde permet de diviser par trois les pulsations de pression. Ceci se traduit également sur le bruit en cabine où un gain de plus de 10 dB(A) est obtenu sur la fréquence fondamentale de la pompe.

Atténuations significatives

L'ensemble des essais menés sur engins montre que l'utilisation de flexibles quart d'onde permet d'obtenir des atténuations significatives des pulsations de pression et du bruit cabine autour des fréquences pour lesquelles ils sont dimensionnés. Les différents dimensionnements réalisés selon la méthode développée ont donné des résultats satisfaisants une fois installés sur machine.

La constatation d'une baisse des niveaux de pressions pulsées se traduit en général par une baisse des niveaux sonores en cabine. Cependant, les ordres de grandeur ne sont pas systématiquement les mêmes, l'ensemble de la propagation du bruit sur

l'engin entrant en jeu (propagation aérienne et solidienne).

Il apparaît donc tout à fait réalisable de prédire le dimensionnement d'un flexible quart d'onde de manière à l'accorder sur une fréquence choisie. Ce dimensionnement repose sur une caractérisation hydro-acoustique de la partie « souple » caoutchouc du flexible choisi et sur le recalage des paramètres hydro-acoustiques, en les ajustant éventuellement plus précisément autour de la fréquence recherchée. Cette démarche permet de s'affranchir d'un nombre significatif d'itérations « essais - erreurs » et d'obtenir du premier coup un flexible quart d'onde quasiment optimal pour la fréquence autour de laquelle on souhaite amortir les pulsations de pression.

Ainsi, dans le cas où les pulsations de pression d'une pompe seraient à amortir autour de plusieurs fréquences éloignées les unes des autres (par exemple dans le cas d'une pompe travaillant à des régimes de fonctionnement pouvant être très différents), il semble, à ce stade de l'étude, possible d'envisager un réseau de flexibles mis en quart d'onde et positionné en sortie de pompe. Cet aspect fait actuellement l'objet de travaux au Cetim ». ■

