

AIDE AU DIAGNOSTIC

► L'expertise dynamique sur des agitateurs (seconde partie)



► Par **Henri CAMPAGNA**, dBVib Consulting et **Michel SENAC**, Rhodia Recherches et Technologies.

Dans la première partie⁽¹⁾, nous avons montré qu'il existait des fréquences critiques de l'arbre en fonction de la nature du produit et du niveau de remplissage. Nous tâcherons ici de déterminer les plages de fonctionnement pour lesquelles il y a risque de contact entre les pales des mobiles et le stator du bol.

Nous avons réalisé l'étude dynamique par éléments finis de l'arbre du réacteur, afin d'estimer ses déplacements à la 1^{ère} fréquence propre pour différents niveaux de remplissage et différents fluides.

Maillage de la structure prise en compte des conditions aux limites

Dans le modèle ci-contre (cf. figure 1), l'arbre est maintenu par des ressorts de

raideur importante ($K = 10^9$ N/m) pour modéliser la liaison avec le roulement. Le matériau est de la Hastelloy C275 ($E = 2.05.10^{11}$ Pa ; $\rho = 8890$ Kg/m³).

Recalage du modèle par comparaison des résultats avec l'analyse modale expérimentale

La figure 2 (voir page suivante) montre la comparaison des fréquences propres et des déformées modales associées.

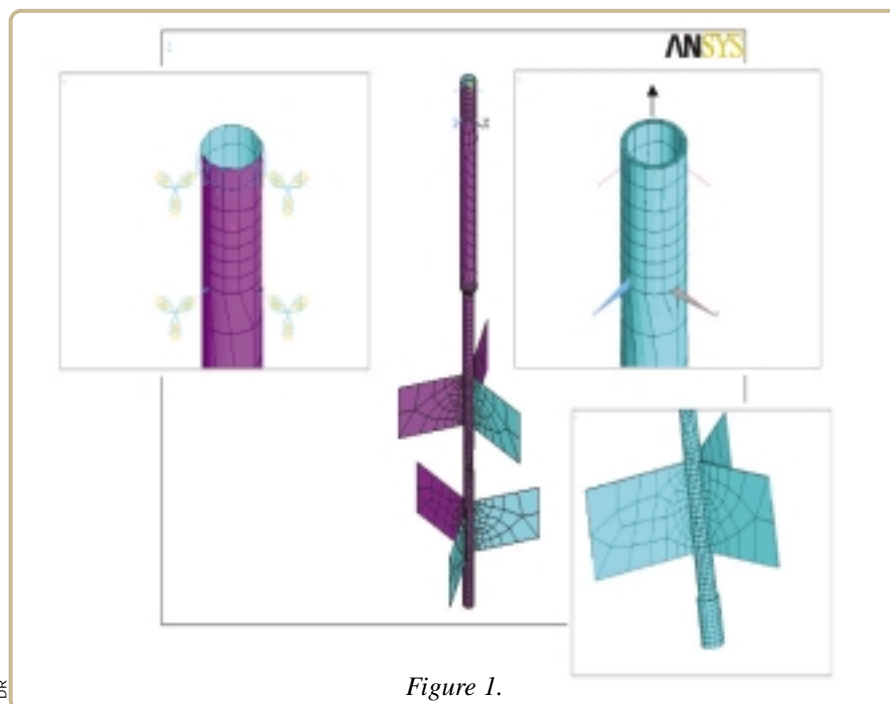


Figure 1.

La démarche méthodologique

- Réalisation de la modélisation de l'arbre par éléments finis.
- Mise en place et/ou modification des conditions aux limites.
- Calcul des 2 premières fréquences et modes propres associés.
- Comparaison avec les résultats de l'analyse modale expérimentale.
- Calcul du rapport théorique entre le déplacement mesuré en haut de l'arbre (nœud n 411) et le déplacement le plus dangereux (nœud n 4449).
- Analyse du déplacement crête mesuré lors de la coïncidence fréquentielle.

Application du facteur de surtension aux déplacements maximums.
Positionnement des pales par rapport aux internes du réacteur.

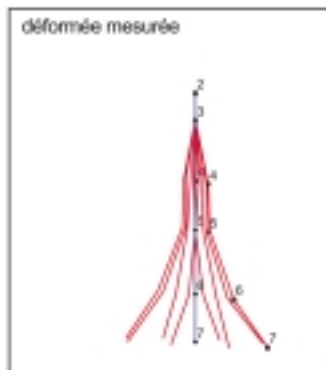
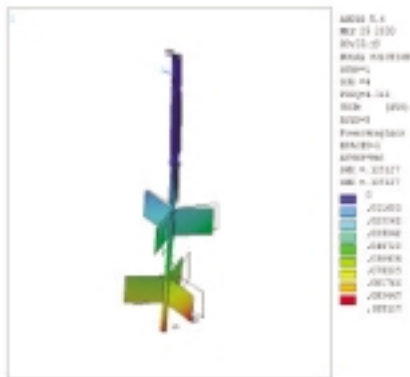
Le 1^{er} et le 2^e mode sont recalés tant en fréquences que par leurs formes propres.

Évaluation de la raideur de flexion de l'arbre

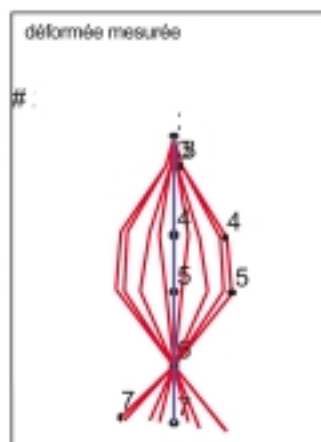
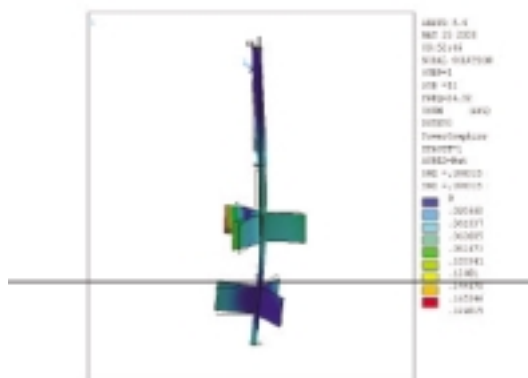
Le couplage fluide/structure est très difficile à modéliser, notamment la répartition des forces de couplage. Notre démarche consiste à assimiler la structure à un système à un degré de liberté (masse/ressort). En supposant que l'augmentation de la masse de la structure due au fluide ne modifie pas la raideur de l'arbre, nous pouvons évaluer la quantité de fluide entraînée à la fréquence de résonance de l'arbre mesuré pour différents niveaux.

(1) Lire la première partie dans Production Maintenance n° 9, juin 2005, pp. 51-55.

1^{er} mode : résultat
 éléments finis : 4.161
 Hz - mesure : 4.12 Hz



2^e mode : résultat
 éléments finis : 24.32
 Hz - mesure : 20.12
 Hz



Ces 2 modes
 sont des modes de
 flexion.

Figure 2

DR

Déplacements en acide

| Niveau (en l) | Déplacement (µm) crête mesuré sur l'arbre (au nœud 411) lors de la coïncidence fréquentielle | Déplacement maxi. (mm) de l'arbre (au nœud 4449) pondéré par le rapport 54.96 | Distance mini. entre les pales et les internes (avant diminution du rayon des pales de 50mm) | Facteur de surtension maximum mesuré | Déplacement maxi. de l'arbre si pas d'amortissement (mm) |
|---------------|--|---|--|--------------------------------------|--|
| 10000 | 619 | 34 | 32 | 7.6 | 258.4 |
| 8000 | 502 | 27.6 | 32 | 12.5 | 345 |
| 6960 | 480 | 26.4 | 32 | 9.7 | 256.1 |
| 6400 | 528 | 29 | 32 | 9.2 | 266.8 |
| 6000 | 370 | 20.4 | 32 | 9.2 | 187.7 |
| 4675 | 592 | 32.6 | 32 | 6 | 195.6 |
| 3300 | 338 | 18.6 | 32 | 10.3 | 191.6 |
| 2400 | 317 | 17.5 | 32 | 7 | 122.5 |
| 1510 | 265 | 14.6 | 32 | 4.6 | 67.2 |

Le 1^{er} mode d'une structure étant toujours une fonction affine de la déformée statique, nous pouvons évaluer la raideur de flexion en appliquant une force connue en bout d'arbre et calculer alors le déplacement engendré, ce qui permet d'obtenir la raideur en flexion. À travers la figure 3, nous trouvons une raideur de flexion de 70260 N/m.

Évaluation de la masse entraînée

Connaissant expérimentalement la 1^{ère} fréquence propre (Fp1) de l'arbre, pour différents fluides et différents taux de remplissage, ainsi que sa masse (Marbre) et sa raideur (Karbre), on obtient la masse de fluide entraînée (Mfluide) pour différents fluides et différents taux de remplissage par la relation

$$Fp1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{Karbre}{Marbre + Mfluide}}$$

Estimation
du déplacement
de l'arbre

Le modèle éléments finis nous donne le rapport entre le déplacement au point de mesure positionné à la sortie du presse étoupe et le déplacement le plus dangereux en bout de pale au nœud 4449 (cf. figure 4).

Calcul
des déplacements

Dans le tableau ci-contre, nous ne présentons que les résultats en acide, ceux en eau ne présentant pas de problème.

D'après le calcul, l'hélice inférieure aurait dû toucher les internes, ce qui ne s'est pas produit dans la réalité.

L'erreur de calcul serait d'au moins 6 %, ce qui est tout à fait acceptable compte tenu de nos hypothèses et justifie le rognage des hélices ainsi que la mise en place d'un système de surveillance on-line des déplacements de l'arbre mesurés au niveau du presse étoupe.

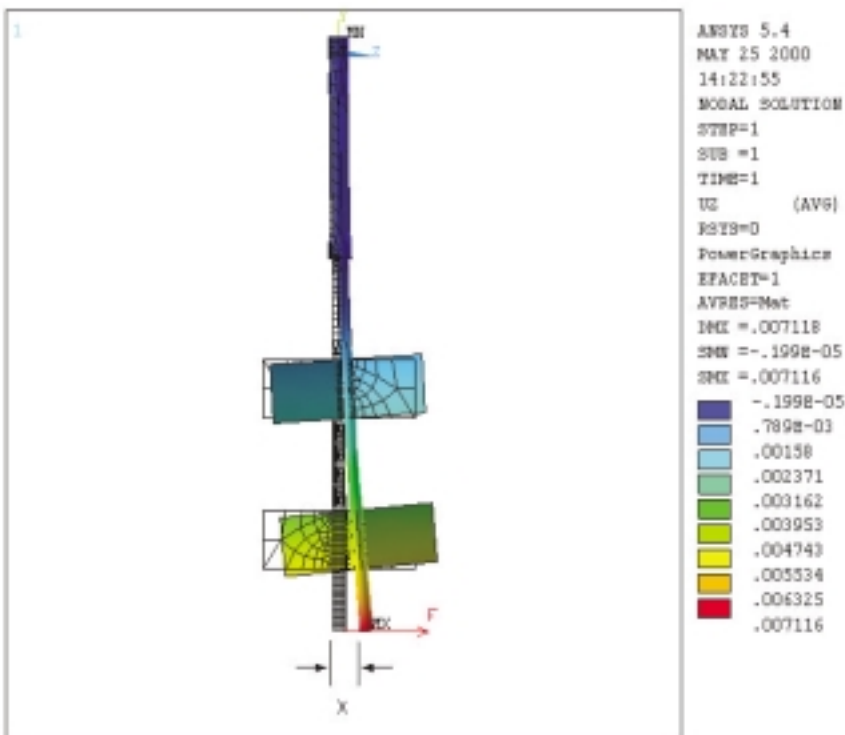


Figure 3.

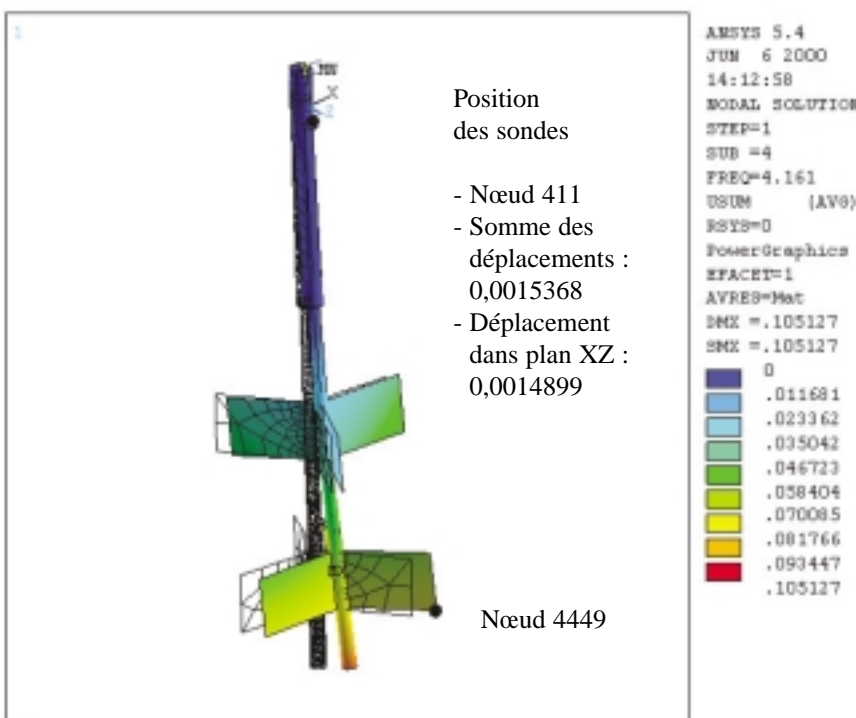


Figure 4.