

INFLUENCE DE L'INTERACTION FLUIDE-STRUCTURE SUR LE COMPORTEMENT VIBRATOIRE D'UNE CONDUITE EN FLEXION.

A. BENDAHDANE¹, B.MN.OUISSI², C.SM.HAMZACHRIF³

¹Département de Génie mécanique, Faculté Des technologies, Université ABOU BEKR BELKAID, Tlemcen, ALGERIE

²Département de Génie civil, Faculté Des technologies, Université ABOU BEKR BELKAID, Tlemcen, ALGERIE

³Département de Génie mécanique, Faculté Des technologies, Université ABOU BEKR BELKAID, Tlemcen, ALGERIE

Reçu le 12/01/2016 – Accepté le 24/12/2016

Abstract

The present study concerns the vibration of a pipe transporting fluid (internal fluid) with a constant flow rate. The fluid flowing in the pipe has the same movement as that of the inflectional structure; it creates an interaction «fluid-structure» which results in a decrease in rigidity and damping behavior of the structure pipe-fluid.

A theoretical study was conducted for the establishment of kinetic energy and deformation of the system (fluid, structure) needed to determine equations of motion in matrix form. Modeling of solid-liquid was conducted by version of the finite element method.

A program is developed and validated; comparing the results with those found in the literature is made. This allowed us to study the influence of physical and geometrical parameters of the coupled structure. Among these parameters we quote the flow velocity, density, elastic modulus, the length of pipe and boundary condition.

Keywords: Fluid-structure interaction, pipe of fluid transport, finite elements

Résumé

Le travail présenté concerne l'étude vibratoire d'un tuyau de transport du fluide (fluide interne) avec une vitesse d'écoulement constante.

Le fluide circulant dans la conduite a le même mouvement flexionnel que celui de la structure, il crée une interaction « fluide-structure » qui se traduit par une diminution de la rigidité et par un amortissement de la structure conduite-fluide.

Une étude théorique est faite pour l'établissement des énergies cinétique et de déformation du système (fluide, structure) nécessaire à la détermination des équations de mouvement sous forme matricielle. La modélisation du liquide-solide est faite par la version-p de la méthode des éléments finis.

Un programme est élaboré et validé, une comparaison des résultats trouvés avec ceux disponibles dans la littérature est faite. Ce qui nous a permis d'étudier l'influence des paramètres physiques et géométriques de la structure couplée sur le paramètre de fréquence. Parmi ces paramètres nous citons la vitesse d'écoulement, la masse volumique, le module d'élasticité, la longueur du tuyau et les conditions aux limites.

Mots clés : Interaction fluide-structure, tuyau de transport du fluide, Eléments finis.

ملخص

هذه الدراسة تتمحور حول الظواهر الاهتزازية للأنابيب الناقلة للسوائل ذات سرعة ثابتة. أثناء مرور السائل في الأنبوب يتعرض هذا الأخير إلى انحناء يؤثر على كتلة الأنبوب و السائل في نفس الاتجاه وفي آن واحد و يتولد عن هذا ما يسمى بظاهرة التداخل ما بين المادة و السائل و التي تظهر من خلال انخفاض صلابة الأنبوب و تخامد البنية (أنبوب/سائل).

في هذه الدراسة النظرية قمنا باستخراج الطاقات الحركية و الكامنة للبنية (أنبوب/سائل) اللازمة لتحديد الشكل الجبري للمعادلات الحركية (على شكل مصفوفات). للحصول على النموذج الجبري للمعادلات الحركية للبنية اعتمدنا على طريقة العناصر المنتهية.

لحساب الترددات قمنا بإنجاز برنامج. بعد التأكد من تقارب النتائج المتحصل عليها من خلال البرنامج المنجز و كذا دقتها بالمقارنة مع الدراسات السابقة، قمنا بدراسة أخرى، حيث تبين لنا مدى تأثير الأبعاد الهندسية و المعطيات الفيزيائية على رد الفعل الحركي للبنية (أنبوب/سائل) و التي من أهمها مايلي : سرعة السائل، الكتلة الحجمية، معامل المرونة، طول الأنبوب بالإضافة إلى الشروط المحيطة بالبنية (أنبوب/سائل).

الكلمات المفتاحية : تداخل السائل – المادة , انبوب ناقل السوائل , العناصر المنتهية.

I- Introduction

Lorsqu'une structure est en contact avec fluide au repos ou en écoulement, son comportement dynamique subit des changements considérables. La chute importante des fréquences constatée lors de l'interaction du fluide avec la structure peut même affecter la stabilité dynamique du système

L'interaction fluide-structure est un phénomène qui traduit les effets réciproque de deux milieux continus, fluide et solide. Le couplage des deux milieux est imposé par un ensemble de conditions qui contraignent leurs mouvements relatifs de telle sorte que l'évolution de chaque milieu dépend de celle de l'autre.

Le présent travail se limite à la dynamique des tuyaux véhiculant des fluides. Evidemment, les tuyaux peuvent être trouvés partout, le transport de différents types de fluide à des fins différentes. Qu'ils soient utilisés dans les réacteurs, échangeurs de chaleur, les pipelines, les mines, les rues de la ville ainsi que le tuyau d'arrosage. L'écoulement d'un fluide à travers un tuyau peut exercer des pressions sur les parois de la canalisation qui provoque la courbure du tube dans des conditions d'écoulement défini. Cette déviation de la conduite peut conduire à une instabilité structurelle de la conduite est devient sensible à la résonance et peut provoquer la rupture par fatigue. Il est donc crucial déterminer le comportement vibratoire en flexion des différents paramètres ; vitesse du fluide, masse volumique...etc La fréquence fondamentale naturelle d'un tuyau diminue généralement avec une vitesse croissante d'écoulement de fluide c.à.d. il ya certains cas où la diminution de cette fréquence naturelle peut être très importante.

L'étude du comportement dynamique des conduites transportant le fluide a été effectuée par plusieurs auteurs. **Bourrieres**[1] a effectué des investigations théoriques et expérimentales sur l'instabilité d'un tube contenant le liquide. Le problème a été réétudié par **Feodosiev, V.P.**[2]. Il a été étudiée aussi en détail par **Stein RA, Tobriner MW.** [3]. La recherche dans ce domaine est très importante où elle touche beaucoup d'applications pratiques d'ingénierie telle que les composants des réacteurs nucléaires **R.W., Mote Jr, C.D.** [4]. les lignes d'alimentation de moteurs de fusée **Robert D. Blevins.** [5]. et des systèmes de tuyauterie, **Paidoussis.** [6].

Il ya eu des études approfondies sur la modélisation et l'analyse des conduites transportant le liquide au cours des dernières années. L'effet de l'écoulement interne sur vibration transversale d'un tuyau a été étudié par **Ashley H, Haviland G.** [7].

Une étude initiale sur les vibrations de flexion d'un tuyau rempli par liquide simplement appuyé, ont été réalisées par **Han-IkYoon, In-SooSonb.**[8]. La dynamique des tuyaux de transport du fluide peut être divisée en théories linéaires et non linéaires. En théorie linéaire, les équations axiales et transversales sont

développée par **Kameswara Rao Chellapilla and H.S. Simha.** [9]. et Le problème de la non-linéarité peuvent être trouvés dans Réf. [10,11]. Il existe des méthodes différentes pour la solution des problèmes dynamique des tuyaux, la méthode des différences finies dans la réf. **SAROJ K. BISWAS and N. U. AHMED.** [12]. la méthode des volumes finis dans la réf. **Wang Shizhong and Huang Wenhui.** [13]. la méthode de transformation différentielle et la méthode de quadrature différentielle par **Q. Ni, Z.L. Zhang, L.Wang.** [14].

A.M. Hellum, R.Mukherjee, A.J.Hull. [15]. ont présenté une étude analytique sur la stabilité et la dynamique des tuyaux contenant le fluide avec des profils turbulents et laminaires non-uniformes de vitesse avec un écoulement visqueux assume trois volume de fluide. La vitesse d'écoulement est différente pour les trois volumes mais est supposé être constant à l'intérieur de chaque volume U1, U2 et U3. Donc il existe trois interfaces : le premier est fluide-fluide, deuxième fluide-fluide et la troisième interface fluide-solide. Les forces de cisaillement à ces interfaces sont différentes et la résolution de ce système purement analytique. Cette étude n'est pas physiquement réalisable.

Un autre travail pour une analyse analytique de stabilité dynamique de conduit flexible contenant un fluide incompressible à une vitesse d'écoulement constante par **M.P. Païdoussis, and N.T.Issid.** [16]

Han-IkYoon, In-SooSon. [17]. ont effectué une étude sur la réponse dynamique de tuyau flexible tournant contenant le fluide avec une masse à l'extrémité. Dans ce travail, les influences de la vitesse angulaire du tuyau et la vitesse du flux du fluide sur le comportement dynamique de conduite plus l'effet de la masse à l'extrémité et l'accouplement de ces facteurs sur le comportement dynamique ont été étudié. L'équation du mouvement du système qui a été obtenue à partir des équations du Lagrange a été modélisée numériquement. **YIH-HWANG LIN et AYA-U-KUN.** [18]. présentent une étude par éléments finis pour l'analyse des vibrations non linéaires de tuyaux de transport de fluide en utilisant la théorie de Timoshenko.

SakdiratKaewunruen, JulapotChiravatchrade, SomchaiChucheepsakul. [19]. ont effectué une étude des vibrations libres non linéaires par la méthode des éléments finis sur les canalisations verticales des pipes marines transportant le fluide.

II-Théorie des poutres d'euler-bernoulli

Le champ de déplacement d'un point quelconque de la poutre s'écrit sous la forme unidimensionnelle.

$$u(x, y, z) = -z \frac{\partial w(x, y)}{\partial x} \quad (1)$$

$$w(x, y, z) = w(x, y) \quad (2)$$

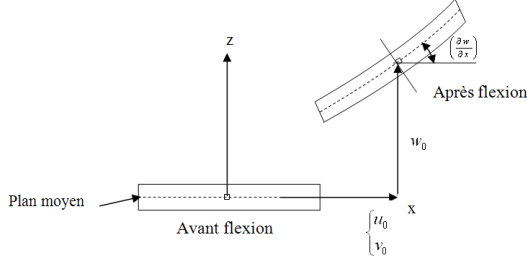


Figure 1 : représentation du champ de déplacement d'un point de la poutre

où x, y, z sont les coordonnées d'un point de la poutre dans un repère Cartésien; u est le déplacement longitudinal; w est le déplacement transversal.

II-1. Relation déformation –déplacement:

Nous utilisons le même repère rectangulaire cartésien pour décrire les configurations originale et déformée du corps.

$$\varepsilon_{xx} = -z \frac{d^2 w}{dx^2} \quad (3)$$

II-2.Relations contraintes-déformations:

D'après la loi de Hooke et pour un matériau isotrope on a :

$$\sigma_{xx} = E \left(-z \frac{d^2 w}{dx^2} \right) \quad (4)$$

II-3.Energie de déformation:

L'expression générale de l'énergie de déformation sous forme indicelle est donnée par :

$$E_d = \frac{1}{2} \iiint \sigma^{ij} \cdot \varepsilon_{ij} dV = \frac{1}{2} \iiint \sigma_{xx} \cdot \varepsilon_{xx} dV \quad (5)$$

En remplaçant les équations (3), (4) et (dans (5)), nous obtenons:

$$E_d = \frac{1}{2} EI \int \left(\frac{d^2 w}{dx^2} \right)^2 dx \quad (6)$$

I est le moment d'inertie de la section.

II-4.Energie cinétique :

L'énergie cinétique est donnée comme suit:

$$E_C = \frac{\rho_s}{2} \int \left(\frac{\partial w}{\partial t} \right)^2 dV \quad (7)$$

où $\frac{\partial w}{\partial t}$ représente la vitesse et ρ la masse volumique

III- Formulation du domaine liquide :

En prenant en compte les hypothèses suivantes :

- Le liquide est homogène, non visqueux.
- Le liquide est incompressible.

III-1.Energie cinétique du fluide:

Le fluide a un mouvement dans la conduite, qui elle-même a un mouvement dans le plan, l'énergie cinétique du fluide doit être déterminée dans un repère fixe. Déterminons pour cela la vitesse du fluide dans un repère fixe.

- (O, x, y, z) : Repère fixe (R_F) de vecteur unitaire (i, j)
 (O, x', y', z') : Repère mobile (R_M) de vecteur unitaire (i', j')
 θ : l'angle de rotation de la poutre.
 p : point après déformation.
 R : vecteur position de $p/(R_M)$ après déformation.

$$[Q] = \begin{bmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi \\ -\sin \varphi & \cos \varphi \end{bmatrix} \quad (8)$$

$[Q]$: Matrice de passage

$$\{R\} = \begin{Bmatrix} R_x \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (9)$$

$$\{W\} = \begin{Bmatrix} 0 \\ w \end{Bmatrix} \quad (10)$$

$$\{P\} = \{W\} + [Q] \times \{R\} \quad (11)$$

$$\frac{\partial \{P\}}{\partial t} = \frac{\partial \{W\}}{\partial t} + \left([Q] \times \frac{\partial \{R\}}{\partial t} \right) + \left(\frac{\partial [Q]}{\partial \varphi} \times \frac{\partial \varphi}{\partial t} \times \{R\} \right) \quad (12)$$

la vitesse du point p est exprimée par :

$$\frac{\partial \{P\}}{\partial t} = \begin{Bmatrix} v_f - R_x \times \left(\frac{\partial \varphi}{\partial t} \right) \times \varphi \\ \frac{\partial w}{\partial t} + v_f \times \varphi + R_x \times \left(\frac{\partial \varphi}{\partial t} \right) \end{Bmatrix} \quad (13)$$

Le fluide circulant dans la conduite a le même mouvement flexionnel que celui de la structure.

La composante de vitesse suivant l'axe z provoque la flexion du tuyau transportant le fluide. L'énergie cinétique sera donc égale à :

$$E_C = \frac{1}{2} \rho_f A_f \int \left(\left(\frac{\partial w}{\partial t} \right)^2 + \left(v_f \times \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right) \right)^2 + 2 \times v_f \times \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right) \right) dx \quad (14)$$

Le terme $\left(\frac{\partial w}{\partial t} \right)^2$ représente la rigidité du fluide

Le terme $v_f^2 \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2$ représente la rigidité du fluide

Le terme $v_f \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)$ représente l'amortissement du fluide

IV- Formulation par la version-P de la méthode des éléments finis:

IV-1.Choix de l'élément:

En générale, la poutre est modélisée par un élément version- p unidimensionnel à deux nœuds représenté sur la (Figure 2) qui s'adapte avec la plupart de ces formes.

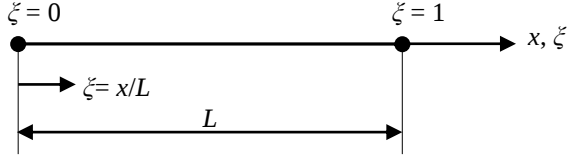


Figure 2:Elément fini poutre

Les coordonnées locales sont liées aux coordonnées adimensionnelles par la relation:

$$\xi = x/L \quad \text{avec } (0 \leq \xi \leq 1)$$

IV-2.Fonctions de forme hiérarchique:

Dans la théorie des poutres d'euler -bernoulli, les rotations dépendent des déplacements transversaux, donc le type d'élément choisi à une continuité C^1 .

Les fonctions de forme hiérarchiques trigonométriques sont données par les relations suivantes :

$$\left\{ \begin{array}{l} N_1 = 1 - 3\xi^2 + 2\xi^3 \\ N_2 = \xi - 2\xi^2 + \xi^3 \\ N_3 = 3\xi^2 - 2\xi^3 \\ N_4 = -\xi^2 + \xi^3 \\ N_{n+4} = \delta r [-\xi + (2 + (-1)^r)\xi^2 - (1 + (-1)^r)\xi] + \sin(\delta r \xi) \\ \delta r = r\pi \\ r = 1,1,2,3 \dots \end{array} \right. \quad (15)$$

Le champ de déplacement dans la poutre et le fluide peut être approximativement représenté par une série finie de modes hiérarchiques précédemment assumés dans la direction ξ ,

$$w(\xi) = \sum_{i=1}^{p+1} w_i N_i(\xi) \quad (16)$$

IV-3.Détermination des équations du mouvement structure-fluide:

En utilisant les équations de Lagrange pour le cas de vibration libre amortie :

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_C}{\partial (\dot{q}_i)} \right) - \frac{\partial E_C}{\partial (q_i)} + \frac{\partial E_d}{\partial (q_i)} = 0 \quad (17)$$

En remplaçant l'équation (15) dans (6), (7) et (14) nous obtenons l'équation sous forme matricielle :

$$[M_s]\{\ddot{q}_i\} + [K_s]\{q_i\} = 0 \quad (18)$$

$$[M_f]\{\ddot{q}_i\} + [C_f]\{\dot{q}_i\} - [K_f]\{q_i\} = 0 \quad (19)$$

IV-4.L'équation de mouvement de couplage fluide solide (tuyau) :

On peut écrire notre système comme suit

$$[M_t]\{\ddot{q}_i\} + [C_t]\{\dot{q}_i\} + [K_t]\{q_i\} = 0 \quad (20)$$

$$\text{Matrice masse de système: } [M_t] = [M_s] + [M_f]$$

$$\text{Matrice de rigidité de système: } [K_t] = [K_s] - [K_f]$$

$$\text{Matrice d'amortissement système: } [C_t] = [C_f]$$

en appliquant la méthode de l'équilibrage harmonique sur l'équation du mouvement, nous obtenons l'équation aux valeurs et vecteurs propres finale suivante:

$$(-\omega^2[M_t] + \lambda[C_t] + [K_t])\{Q_t\} = 0 \quad (21)$$

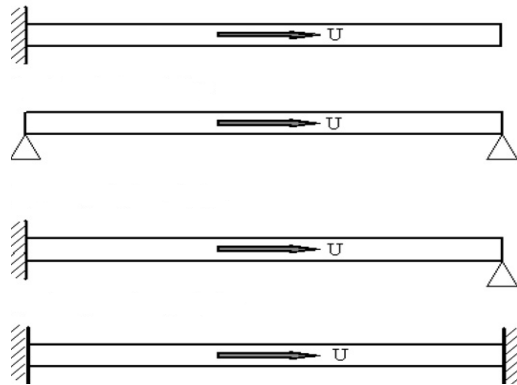
Q_t est l'amplitude L'équation (21)

$$\lambda = j\omega$$

V-Résultats et interprétations :

Avant de traiter quelques exemples, nous validons notre programme. Nous comparons les résultats obtenus à ceux existants dans la littérature

L'étude sera faite pour différentes conditions aux limites :



Avant de déterminer l'influence du fluide sur le comportement vibratoire de canalisation, on va valider le résultat avec différents cas du mouvement, en prenant les cas suivant :

V-1. Validations de la structure avec une vitesse du fluide nul ($v_f = 0$) :

Dans notre étude (canalisation avec fluide) on va calculer les paramètres de fréquences ω par l'expression suivante :

$$\omega = \frac{1}{L^2} \sqrt{\frac{EI}{\rho S}} \cdot \varpi$$

Dans le tableau suivant on compare les paramètres de fréquence obtenus par notre programme principal avec la solution exacte donnée par [14].

On prend : le nombre des fonctions de formes $p = 12$,

l'expression $\frac{1}{L^2} \sqrt{\frac{EI}{\rho S}} = 1$, et la vitesse du fluide $v_f = 0$

Mode	1	2	3	4
E-L (MEF)	3.5160	22.0348	61.748	120.9585
E-L (exacte)	3.5160	22.0345	61.6972	120.9019
E-A (MEF)	15.418	49.9690	104.2849	178.4534
E-A (exacte)	15.418	49.6949	104.2477	178.2697
E-E (MEF)	22.373	61.6806	120.9614	22.3736
E-E (exacte)	22.373	61.6696	120.9120	22.3732
A-A (MEF)	9.8696	39.4804	88.8495	158.0415
A-A (exacte)	9.8696	39.4784	88.8264	157.9136

Tableau 1: comparaison des paramètres des fréquences ω à une vitesse du fluide $v_f = 0$ avec [14] pour différentes conditions aux limites

On remarque que les paramètres des fréquences ω de tuyau de transport du fluide à une vitesse de fluide nul ($v_f = 0$) c'est les fréquences de structure sans fluide.

V-2. Validations de la structure avec une vitesse du fluide non nul :

En prenant les éléments non-dimensionnels suivants:

$$\eta = \frac{w}{l} \quad (22)$$

$$B = \frac{M_f}{M_f + M_s} \quad (23)$$

$$\tau = \frac{t}{L^2} \left(\frac{EI}{M_f + M_s} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (24)$$

$$u = vL \left(\frac{M}{EI} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (25)$$

Validation avec $B=0.1$

Calculons les vitesses critiques du fluide, ou les fréquences tend vers zéro à c'est-à-dire $B=0.1$:

Dans les tableaux suivants on compare les vitesses critiques du fluide par notre programme principal avec la solution exacte donnée par [6]

Modes	MEF	(DTM) [14]	(DQM) [14]	Exacte [6]
Mode 1	3.14159	3.1416	3.1420	π
Mode 2	6.2836	6.2832	6.2838	2π
Mode 1et 2 combinés	6.3945	6.3941	6.3949	6.38

Tableau 2 : Comparaisons entre les vitesses critiques dans le cas Appuis - Appuis (A-A) avec [6] et [14]

Validation avec $B=0.5$

Calcul des vitesses critiques du fluide, ou les fréquences tend vers zéro à $B=0.5$

Modes	MEF	(DTM) [14]	(DQM) [14]	Exacte [6]
Mode 1	4.494	4.4934	4.4937	4.49
Mode 1et 2 combinés	7.7758	7.7743	7.7752	-

Tableau 3 : Comparaisons entre les vitesses critiques dans le cas Encastrée-Appuis (E-A) avec [6] et [14]

Validation avec $B=0.5$:

Calcul des vitesses critiques du fluide, ou les fréquences tend vers zéro à $B=0.5$:

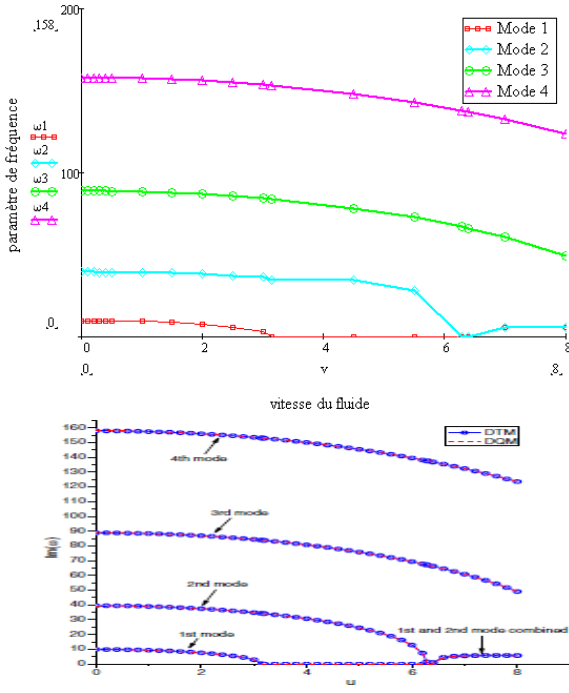
Modes	MEF	(DTM) [14]	(DQM) [14]	Exacte [6]
Mode 1	6.2835	6.2832	6.2838	2π
Mode 1et 2 combinés	9.297	9.2946	9.2955	9.3

Tableau 4 : Comparaisons entre les vitesses critiques dans le cas Encastrée- Encastrée (E-E) avec [6] et [14]

V-3. Validation des graphes :

Nous comparons les graphes obtenus par notre programme avec ceux de la référence [14] :

Cas de la condition aux limites AppuisAppuis(A-A)



B=0.1 Figure 4 : Influence de la vitesse du fluide sur les paramètres des fréquences Appuis - Appuis (A-A) B=0.1-[14]

Cas de la condition aux limites Encastrée-Appuis (E-A), B = 0.5

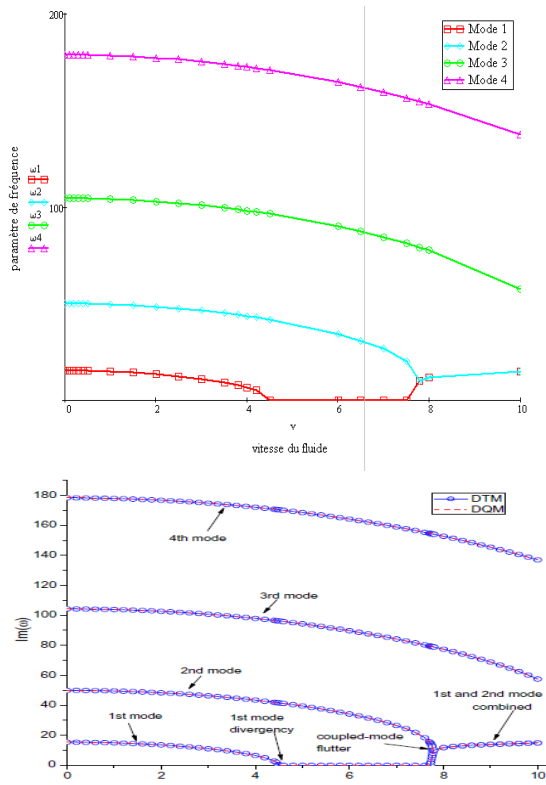


Figure 5 : Influence de la vitesse du fluide sur les paramètres des fréquences Encastrée-Appuis (E-A) B=0.5 [14]

Cas de la condition aux limites Encastrée- Encastrée (E-E) B=0.5 [14].

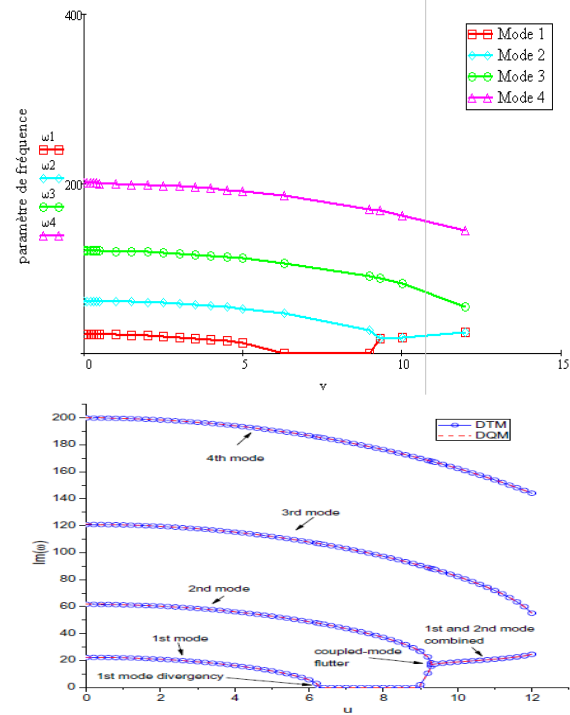


Figure 6 : Influence de la vitesse du fluide sur les paramètres des fréquences Encastrée- Encastrée (E-E) B=0.5[14]

V-3.Interprétation :

D'après les résultats obtenus nous remarquons une bonne concordance avec les résultats présentés dans la littérature pour les deux cas : structure avec une vitesse du fluide nul et non nul.

Dans les graphes des figures (4), (5), (6), nous comparons les valeurs des vitesses critiques du fluide pour les deux premiers modes, ainsi que la combinaison des modes 1 et 2, avec ceux de l'article [14]. Nous remarquons une bonne concordance des allures des modes 1 jusqu'à 4 et des valeurs des vitesses critiques.

La courbe (4) pour le cas A-A montrent que les fréquences propres diminuent lorsque la vitesse d'écoulement augmente et la vitesse critique pour ce cas est de 3.14159.

La courbe (5) pour le cas E-A qui est caractérisé par une rigidité plus grande que le premier cas A-A, montrent toujours le même comportement des fréquences propres contre la vitesse d'écoulement. La vitesse critique dans ce cas est de 4.494.

La courbe (6) pour le cas E-E d'une rigidité plus grande que les deux cas A-A et E-A, montrent aussi le même comportement des fréquences propres contre la vitesse d'écoulement. La valeur de la vitesse critique dans ce cas est 6.2836

D'après les trois cas A-A, E-A et E-E, on remarque que la rigidité du fluide augmente lorsque la vitesse

augmente et par conséquent la rigidité de système fluide-structure diminue et vis-versa.

L'augmentation du (rapport des masses) B augmente la valeur de la masse ajoutée au système et par conséquent fait diminuer le paramètre de fréquence. La (vitesse d'écoulement du fluide), v_f , par contre diminue de la rigidité du système et par conséquent fait diminuer le paramètre de fréquence.

D'après les trois cas, on constate que lorsque la vitesse du fluide dépasse la vitesse critique les modes 1 et 2 devient identique.

CONCLUSION

L'objectif du travail est d'étudier l'effet du fluide sur le comportement vibratoire d'une conduite en flexion. L'étude de la structure, du fluide et l'interaction entre eux est faite en considérant l'influence de l'écoulement sur le tuyau et en négligeant le mouvement relatif du liquide par rapport au tuyau. Dans ce cas l'étude peut être faite en considérant le système sous forme de poutre en mouvement de flexion, où l'écoulement provoque une variation de la rigidité et un amortissement du système. La discrétisation du système avec interaction conduite-fluide, est faite par la version-p de la méthode des éléments finis (MEF).

Un programme a été élaboré pour calculer les fréquences propres du système (tuyau transportant le fluide) avec différentes conditions aux limites. Pour valider les résultats obtenus, on a comparé nos résultats avec différentes références.

Ce travail nous a permis d'aboutir aux conclusions suivantes :

Les fréquences du système fluide-structure dépendent des propriétés géométriques et physiques (longueur, épaisseur, masse volumique, et module d'élasticité).

Les fréquences naturelles du tuyau de transport dépendent de la vitesse du fluide v_f . Il convient de noter que lorsque cette vitesse s'annule le tuyau se comporte comme une poutre droite, les fréquences naturelles de ce cas peuvent être obtenues analytiquement.

L'augmentation du (rapport des masses) B fait augmenter la valeur de la masse ajoutée au système et par conséquent fait diminuer le paramètre de fréquence.

La présence du fluide dans les conduites a une influence importante sur le comportement dynamique de la structure, et cause une chute significative de la fréquence naturelle et peut affecter la stabilité du système.

La (vitesse d'écoulement du fluide), v_f , diminue de la rigidité du système et par conséquent fait diminuer le paramètre de fréquence.

La fréquence fondamentale naturelle d'un tuyau diminue généralement avec une vitesse croissante d'écoulement du fluide (la vitesse augmente jusqu'à sa valeur critique, la fréquence naturelle de la canalisation tend vers zéro).

REFERENCES

- [1]-Beurrières, F.-J., 1939. Sur en phenomenedoscillation auto en trenue en mecanique des fluides reels. Publications Scientifiques et Techniques du Ministère de l'Air 147.
- [2]-Feodosyev, V.P., 1951. Vibrations and stability of a pipe when liquid flows through it. In: *Inzhenernyi Sbornik* 10, 169–170
- [3]-Stein RA, Tobriner MW. Vibration of pipes containing flowing fluids. *Trans ASME J ApplMechan* 1970; 906-916
- [4]-R.W., Mote Jr, C.D., 1976. On the dynamic analysis of curved and twisted cylinders transporting fluids. *ASME Journal of Pressure Vessel Technology* 98, 143–150.
- [5]-Robert D.Blevins. "Flow Induced Vibrations". Krieger 289,297(1977)
- [6]-M.P. Paidoussis. Fluid-Structure Interactions: Slender Structures and Axial Flow, vol. 1, Academic Press, London, 1998.
- [7] Ashley H, Haviland G. Bending vibrations of a pipeline containing flowing fluid. *Journal of Applied Mechanics* 1950;72:229-32
- [8] Han-IkYoon, In-SooSon. Dynamic behavior of cracked simply supported pipe conveying fluid with moving mass ; *Journal of Sound and Vibration* 292 (2006) 941 953
- [9]-Y.T. Chai, K.S. Varyani. An absolute coordinate formulation for three-dimensional flexible pipe analysis, *Ocean Engineering* 33 (2006) 23–58
- [10]-ZHAO Feng-qun, WANG Zhong-min. Analysis of coupled-Mode flutter of pipes conveying fluid on the elastic foundation, *Appleid Mathematics and Mechanics* (English Edition, vol. 21. No10. Oct 200)
- [11]-Francesco Pellicano and Francesco Zirillit, Boundary. layers and non-linear vibrations an axially moving beam, *Int. J Non-LmeorMechonm*. Vol. 33, No. 4, pp. 691-71 I, 199X
- [12]-Gulyayev VI, TolbatovEYu. Forced and self-excited vibrations of pipes containing mobile containig boiling fluid clots. *Journal of Sound and Vibration* 2002;257(3):425-37
- [13]-Slone AK, Pericleous K, Bailey C, Cross M. Dynamic fluid structure interaction using finite volume un structured mesh procedures. *Journal of Computers and Structures* 2002;80:371-90

- [14]-Q. Ni, Z.L. Zhang, L. Wang. Application of the differential transformation method to vibration analysis of pipes conveying fluid-Applied Mathematics and Computation 217 (2011) 7028–7038
- [15]-A.M. Hellum, R.Mukherjee, A.J.Hull. Dynamics of pipes conveying fluid with non-uniform turbulent and laminar velocity profiles, Journal of Fluids and Structures 26 (2010) 804–813
- [16]-M.P. Païdoussis, and N.T.IssiD. Dynamic stability of pipes conveying fluid,Journal of sound and vibration (1974) 33(3), 267-294
- [17]-Han-IkYoon,_, In-SooSon. Dynamic response of rotating flexible cantilever pipe conveying fluid with tip mass, International Journal of Mechanical Sciences 49 (2007) 878–887
- [18]-YIH-HWANG LIN and AYAU-KUN TSAI, Non linear vibrations of Timoshenko pipes conveying fluid, Int. J. Solid Structures Vol.34, No.23,pp.2945-2956, 1997
- [19]-SakdiratKaewunruen, JulapotChiravatchrade, SomchaiChucheepsakul, Nonlinear free vibrations of marine risers/pipes transporting fluid, Ocean Engineering 32 (2005) 417–44