

Printed from

Journal of Scientific Research

<http://www2.univ-bechar.dz/jrs/>

L'effet des raidisseurs sur les modes de vibration des réservoirs métalliques

Hadj Brahim M. ¹, Djermane M. ² et Douli D. ³
^{1 à 3} *Laboratoire FIMAS Université de Béchar Algérie*

Published on 10 July 2013

The Editor, on behalf of the Editorial Board and Reviewers, has great pleasure in presenting this number of the Journal of Scientific Research. This journal (ISSN 2170-1237) is a periodic and multidisciplinary journal, published by the University of Bechar. This journal is located at the interface of research journals, and the vulgarization journals in the field of scientific research. It publishes quality articles in the domain of basic and applied sciences, technologies and humanities sciences, where the main objective is to coordinate and disseminate scientific and technical information relating to various disciplines.

The research articles and the development must be original and contribute innovative, helping in the development of new and advanced technologies, like the studies that have concrete ideas which are of primary interest in mastering a contemporary scientific concepts. These articles can be written in Arabic, French or English. They will not be published in another journal or under review elsewhere. The target readership is composed especially of engineers and technicians, teachers, researchers, scholars, consultants, companies, university lab, teaching techniques and literary ... The journal is obtainable in electronic form, which is available worldwide on the Internet and can be accessed at the journal URL:

<http://www2.univ-bechar.dz/jrs/>.

Director of Journal

Pr. BELGHACHI Abderrahmane

Editor in Chief

Dr. HASNI Abdelhafi d

Co-Editor in Chief

Dr. BASSOU Abdesselam

Editorial Member

TERFAYA Nazihe

BOUIDA Ahmed

LATFAOUI Mohieddine

MOSTADI Siham

Reviewers board of the Journal.

Pr. KADRY SEIFEDINE (The American University in KUWAIT)
Pr. RAZZAQ GHUMMAN Abdul (Al Qassim University KSA)
Pr. PK. MD. MOTIUR RAHMAN (University of Dhaka Bangladesh)
Pr. MAHMOOD GHAAZAW Yousry (Al Qassim University KSA)
Pr. KHENOUS Houari Boumediene (King Khalid University KSA)
Pr. RAOUS Michel (Laboratory of Mechanic and Acoustic France)
Pr. RATAN Y. Borse (M S G College Malegaon Camp India)
Pr. LEBON Frédéric (University of Aix-Marseille 1 France)
Pr. MONGI Ben Ouédou (National Engineering School of Tunis)
Pr. BOUKELIF Aoued (University of Sidi Bel Abbes Algeria)
Pr. DJORDJEVICH Alexandar (University of Hong Kong)
Pr. BENABBASSI Abdelhakem (University of Bechar Algeria)
Pr. BOULARD Thierry (National Institute of Agronomic Research France)
Pr. LUCA Varani (University of Montpellier France)
Pr. NEBBOU Mohamed (University of Bechar Algeria)
Dr. FELLAH Zine El Abidine Laboratory of Mechanic and Acoustic France)
Dr. ZHEN Gao (University of Ontario Institute of Technology Canada)
Dr. OUERDACHI Lahbassi (University of Annaba Algeria)
Dr. HADJ ABDELKADER Hicham (IBISC – University of Evry France)
Dr. KARRAY M'HAMED ALI (National Engineering School of Tunis)
Dr. ALLAL Mohammed Amine (University of Tlemcen Algeria)
Dr. FOUCHAL Fazia (GEMH - University of Limoges France)
Dr. TORRES Jeremi (University of Montpellier 2 France)
Dr. CHANDRAKANT Govindrao Dighavka (L. V. H. College of Panchavati India)
Dr. ABID Chérifa (Polytech' University of Aix-Marseille France)
Dr. HAMMADI Fodil (University of Bechar Algeria)
Dr. LABBACI Boudjemaa (University of Bechar Algeria)
Dr. DJERMANE Mohammed (University of Bechar Algeria)
Dr. BENSALI Abd-El-Hamid (University of Tlemcen)
Dr. BENBACHIR Maamar (University of Bechar Algeria)

Pr. BALBINOT Alexandre (Federal University of Rio Grande do Sul Brazil)
Pr. TEHIRICHI Mohamed (University of Bechar Algeria)
Pr. JAIN GOTAN (Materials Research Lab., A.C.S. College, Nandgaon India)
Pr. SAIDANE Abdelkader (ENSET Oran Algeria)
Pr. DI GIAMBERARDINO Paolo (University of Rome « La Sapienza » Italy)
Pr. SENGOUGA Nouredine (University of Biskra Algeria)
Pr. CHERITI Abdelkarim (University of Bechar Algeria)
Pr. MEDALE Marc (University of Aix-Marseille France)
Pr. HELMAOUI Abderrachid (University of Bechar Algeria)
Pr. HAMOUINE Abdelmadjid (University of Bechar Algeria)
Pr. DRAOUI Belkacem (University of Bechar Algeria)
Pr. BELGHACHI Abderrahmane (University of Bechar Algeria)
Pr. SHAILENDHRA Karthikeyan (AMRITA School of Engineering India)
Pr. BURAK Barutcu (University of Istanbul Turkey)
Pr. LAOUFI Abdallah (University of Bechar Algeria)
Dr. SELLAM Mebrouk (University of Bechar Algeria)
Dr. ABDUL RAHIM Ruzairi (University Technology of Malaysia)
Dr. BELBOUKHARI Nasser (University of Bechar Algeria)
Dr. CHIKR EL MEZOUAR Zouaoui (University of Bechar Algeria)
Dr. BENACHAIBA Chellali (University of Bechar Algeria)
Dr. KAMECHE Mohamed (Centre des Techniques Spatiales, Oran Algeria)
Dr. MERAD Lotfi (Ecole Préparatoire en Sciences et Techniques Tlemcen Algeria)
Dr. BASSOU Abdesselam (University of Bechar Algeria)
Dr. ABOU-BEKR Nabil (University of Tlemcen Algeria)
Dr. BOUNOUA Abdennacer (University of Sidi bel abbes Algeria)
Dr. TAMALI Mohamed (University of Bechar Algeria)
Dr. FAZALUL RAHMAN Mohd Hafiz (University of Malaysia)
Dr. ABDELAZIZ Yazid (University of Bechar Algeria)
Dr. BERGA Abdelmadjid (University of Bechar Algeria)
Dr. Rachid KHALFAOUI (University of Bechar Algeria)
Dr. SANJAY KHER Sanjay (Raja Ramanna Centre for Advanced Technology INDIA)

Journal of Scientific Research

P.O.Box 417 route de Kenadsa

08000 Bechar - ALGERIA

Tel: +213 (0) 49 81 90 24

Fax: +213 (0) 49 81 52 44

Editorial mail: jrs.bechar@gmail.com

Submission mail: submission.bechar@gmail.com

Web: <http://www2.univ-bechar.dz/jrs/>



L'effet des raidisseurs sur les modes de vibration des réservoirs métalliques

Hadj Brahim M.¹, Djermane M.² et Douli D.³

1 à 3 Laboratoire FIMAS Université de Béchar Algérie

Résumé – Les réservoirs de stockage sont des ouvrages très utilisés dans les industries pétrochimiques, hydrauliques et nucléaires. Leur conception est soumise à l'application d'une réglementation internationale qui est sans cesse actualisée, et spécialement dans sa partie régissant le comportement de ces ouvrages sous des sollicitations sismiques. L'état actuel de cette réglementation ne considère pas encore l'effet de la présence des raidisseurs de la paroi sur la tenue locale et globale de ces constructions suite à une agression sismique. Dans ce travail nous étudions l'effet du raidissement de la paroi sur les modes de vibration du système réservoir-liquide à travers une analyse fréquentielle des réservoirs à différents paramètres géométriques. Si le comportement dynamique global des réservoirs est assez influencé par les raidisseurs, les résultats trouvés montrent que les fréquences fondamentales ne sont pas cependant fortement perturbées par un raidissement.

Mots-Clés: Réservoirs, Raidisseurs, Eléments Finis, Analyse fréquentielle.

I. Introduction

Le séisme est le phénomène qui génère le plus de dégâts aux structures presque un million de séismes de toute magnitude se produisent chaque année dans le monde. Cooper et Wachholz [1] ont notés des dommages des réservoirs en acier de pétrole dus aux tremblements de terre de Long Beach 1933, Kern County 1952, Alaska 1964, San Fernando 1971, Imperial Valley 1979, 1983 Coalinga, Loma Prieta 1989, Landers 1992, 1994 Northridge, et Kobe 1995. Des dommages clairs aux réservoirs en acier de pétrole ont été compilés aussi par Jain et autres [2] et Suzuki [3] pendant ces récents tremblements de terre en l'Inde et Turquie. Ces différents rapports sur le comportement structurel des réservoirs pendant les séismes indiquent que les réservoirs en acier sont plus sensibles que ceux en béton armé à subir des endommagements, allant jusqu'à la ruine totale de l'ouvrage. Les ruptures de ces ouvrages se manifestent par des flambements, par des dégâts dans la tuyauterie, par des soulèvements de la base, etc. Parmi ces phénomènes néfastes, le flambement dynamique des parois reste le plus fréquent et le plus sérieux. On atteste le rapport sur la fragilité de ces ouvrages établi par The American Lifelines Alliance (2001) [4].

Les analyses fréquentielles sont très répandues dans la pratique du calcul dynamique en égard à leur simplicité et rapidité par rapport à des calculs temporels. Or, ces analyses reposent principalement sur la détermination des fréquences propres des systèmes étudiés. Le degré

d'exactitude de la connaissance de ces modes, et en particulier des modes fondamentaux, conditionne la qualité de l'analyse fréquentielle.

L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet des raidisseurs sur les modes de vibration des réservoirs métalliques encastrés en toits coniques, avec un paramètre géométrique petit ($H/D=0,5$), moyen ($H/D=1$) et grand ($H/D=1,5$), où H la hauteur et D le diamètre du réservoir. La réglementation internationale n'offre que très peu de prescriptions sur les réservoirs raidis et aucune étude sur l'analyse fréquentielle et dynamique. Ces recommandations, dont certaines assez récentes, n'ont pas bénéficiées d'une évaluation suffisante par la communauté scientifique.

Dans ce travail on a adopté un modèle tridimensionnel basé sur la méthode des éléments finis, dans lequel seule la composante impulsive de la pression hydrodynamique est considérée, et ce d'après Housner [5], qui recommande de ne pas considérer la composante convective dans l'étude des vibrations de la paroi des réservoirs. Les actions des deux composantes sont considérées comme découplées à cause de la différence notable entre leurs fréquences de vibration. Cette hypothèse est adoptée dans les recherches effectuées dans ce domaine, notamment celle de Virella et al [6], et Djermane et al [7].

II. Présentation du modèle numérique

II.1. Parois (modélisation), raidisseurs et couverture

Pour analyser l'effet des raidisseurs sur les modes de vibration, trois configurations géométriques sont employées dans cette contribution (voir la fig. 1), avec le rapport hauteur sur le diamètre (H/D) égale : à 1.5 (modèle A), à 1 (modèle B) et à 0.5 (modèle C). L'expérience des tremblements de terre passés a prouvé que les réservoirs qui sont complètement remplis de liquide sont plus enclins pour subir les dommages [4], alors cette étude considère un niveau du liquide de 90% de la taille du réservoir. Des épaisseurs variables de la coque du réservoir ont été conçues pour cette étude utilisant les dispositions d'API650 [8], et avec les toits coniques.

La position optimale des raidisseurs circonférentiels est fonction de plusieurs paramètres : nature du chargement, position des charges, propriétés géométrique, etc [9].

L'espacement optimum est assez délicat à estimer. Dans ce travail nous avons adopté la règle simple suivante : d'après Timoshenko et Goodier (1951) [10],

l'effet des charges concentrées peut être négligé à des distances supérieures à $\frac{\pi}{\beta}$ avec :

$$\beta^4 = \frac{3(1-\nu^2)}{R^2 h^2} \quad (1)$$

Les propriétés géométriques et mécaniques du réservoir sont :

$D=15$ m ; espacement entre raidisseurs $l=1.25$ m ;
épaisseurs : $h_1 = 0.0227$ m ; $h_2 = 0.0195$ m ; $h_3 = 0.0158$ m ; $h_4 = 0.0143$ m ; $h_5 = 0.0127$ m ; $h_6 = 0.0111$ m ; $h_5 = 0.0095$ m ; $h_6 = 0.0079$ m.
 $E = 2.1E+11$ MPa ; $\nu=0.3$. $\rho_{acier} = 7840$ kg/m³.

Les maillages d'élément fini du réservoir tridimensionnel utilisent des éléments de coque pour le cylindre et le toit. Le fond de réservoir n'a pas été modélisé, puisque seulement des réservoirs encastré sont considérés. Le logiciel ABAQUS [11] d'analyse par éléments finis, a été utilisé pour effectuer tous les calculs, en utilisant des éléments quadrilatéraux S4R de coque pour le cylindre, éléments triangulaires S3R de coque pour le toit et éléments barre B31 pour les combles de toit. Les caractéristiques de ces éléments sont décrites dans ABAQUS [12].

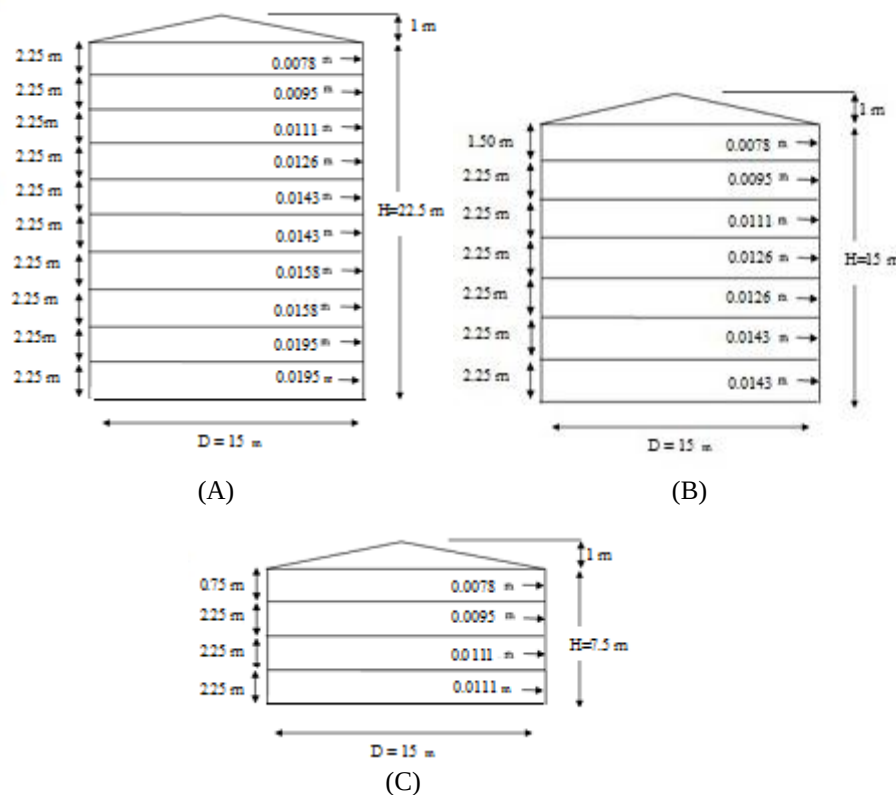


Fig. 2. Les modèles des réservoirs; t = l'épaisseur de la paroi, t_r = l'épaisseur de toit; $t_r = 7.8$ mm (toit avec raidisseur): (A) $H/D = 1.5$; (B) $H/D = 1$; (C) $H/D = 0.5$.

II.2. Liquide (densités équivalents)

Le fluide est modélisé en utilisant la technique des densités équivalentes [13], [6]. Les valeurs de la densité ajoutée du liquide sont déduites dans ce travail à partir du diagramme de la pression hydrodynamique du mode impulsif d'un système de réservoir-liquide développé par Veletsos et Shivakumar [14], par tranches régulières ou irrégulières de la hauteur de la paroi. Cette modélisation néglige le mouvement du ballonnement du liquide à cause du décalage entre les fréquences naturelles des composantes convective et impulsive du liquide, étant entendu que c'est cette dernière qui est responsable des flambements dynamiques de la paroi [6]. La pression impulsive est donnée par l'expression :

$$P_i = (\eta, \theta, t) = c_i(\eta) \rho R \ddot{x}_g(t) \cos \theta \quad (2)$$

où η égale à z/H coordonnée sans dimension; z est l'axe vertical mesuré à partir du fond du réservoir ; H et R sont la hauteur et le rayon de réservoir respectivement. Le terme $\ddot{x}_g(t)$ représente ici le mouvement en champ libre du sol ; et t est le temps. La fonction C_i est donnée par :

$$c_i(\eta) = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} c_{cn}(\eta) \quad (3)$$

Où :

$$c_{cn}(\eta) = \frac{2}{\lambda_n^2 - 1} \left(\frac{\cosh[\lambda_n(H/R)\eta]}{\cosh[\lambda_n(H/R)]} \right) \quad (4)$$

λ_n est la nième racine de la première dérivée de la fonction de Bessel, où les trois premières racines sont $\lambda_1 = 1.841$, $\lambda_2 = 5.311$, et $\lambda_3 = 8.536$. Les distributions de pression définies dans Eq. (1) pour chacun des systèmes de réservoir-liquide considérés en cet article et pour $\theta = 0$ sont présentés dans fig. 2.

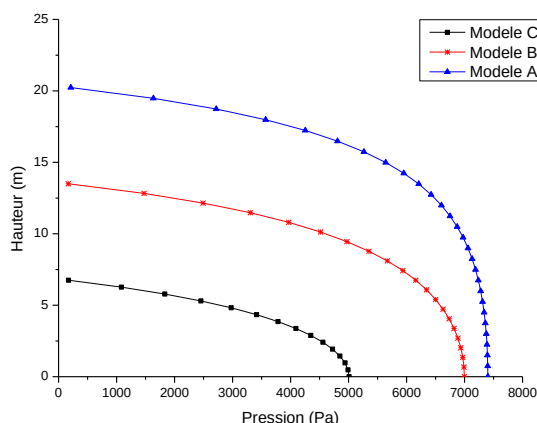


Fig. 3. La pression impulsive pour le modèle réservoir-liquide avec $\ddot{x}_g = 1 \text{ m/s}^2$: (A) $H/D = 1.5$; (B) $H/D = 1$; (C) $H/D = 0.5$.

II.3. Analyse fréquences naturelles (valeur propres)

Les fréquences naturelles du fluide sont données par les règlements internationaux les plus utilisés résumés par les formules suivantes :

- Code EC8
$$f_i = 1 / \left(C_i \frac{H \sqrt{\rho}}{\sqrt{\frac{t}{R}} \sqrt{E}} \right) \quad (5)$$

- Code API
$$f_i = 1 / \left(\frac{1}{\sqrt{2000}} \frac{C_i H \sqrt{\frac{\rho}{E}}}{\sqrt{\frac{t}{D}}} \right) \quad (6)$$

- Code AWWA non disponible

Le Tableau 1 compare les résultats obtenus par le modèle utilisé sans toit et avec toit, sans et avec raidisseurs par rapport à ceux donnés par les règlements cités en haut.

Tableau 1 : Comparaison des fréquences fondamentales (Hz)

Modèle	H/D=1.5	H/D=1	H/D=0.5
EC8	5.4059	7.6839	12.7064
API	5,4059	7,6839	12,7064
AWWA	/	/	/
Modèle sans toit	4.0709	6.4014	12.2670
Modèle avec toit	5.9928	8.4223	13.5600
Modèle+toit+raidisseur	6.0003	8.4725	13.9187
erreur (modèle + toit %)	9.79%	8.77%	6.29%

Il est ressort de cette comparaison que les fréquences fondamentales déterminées par le modèle adopté sont très proches des valeurs données par les règlements.

La lecture du tableau 1 qui regroupe les fréquences des trois réservoirs, élancé, moyen et court respectivement, et la comparaison des résultats obtenus permet de conclure que les fréquences impulsives ont des valeurs directement liées aux élancements.

II.4. Analyse des modes

Le Tableau 2 ci-dessous présente l'influence de la géométrie, la toiture et les raidisseurs sur l'ordre et le type du mode fondamental pour les trois cas de réservoir. On peut constater qu'en présence de la toiture l'ordre du mode, fondamental augmente et que les réservoirs élancés atteignent le mode fondamental plus tôt que les réservoirs courts.

L'existence des raidisseurs sur les réservoirs influe d'une façon positive sur les modes fondamentales qui se produit plus tôt que dans le cas sans raidisseurs.

Tableau 2 : Ordre N et type du mode fondamental : m et n nombre de ventres dans les sens circonférentiel et transversal.

Modèle	Mode	N°	Type	m	n
$H/D=1.5$	Sans toit	151	colonne	/	/
	Avec toit	254	colonne	/	/
	Toit +raidisseur	58	colonne	/	/
$H/D=1$	Sans toit	218	colonne	/	/
	Avec toit	316	Mixte	13	4
	Toit +raidisseur	91	colonne	/	/
$H/D=0.5$	Sans toit	293	Mixte	1	1
	Avec toit	324	Mixte	1	1
	Toit +raidisseur	256	Mixte	1	4

Le mode fondamental pour le réservoir moyen avec toit et court est du type mixte. Ceci appelle à plus de précaution dans l'utilisation de certaines méthodes simplifiées qui considèrent toujours des modes du type colonne. L'influence de l'existence des raidisseurs sur le type du mode n'est pas claire dans cette étude. Voir fig. 3 et fig. 4.

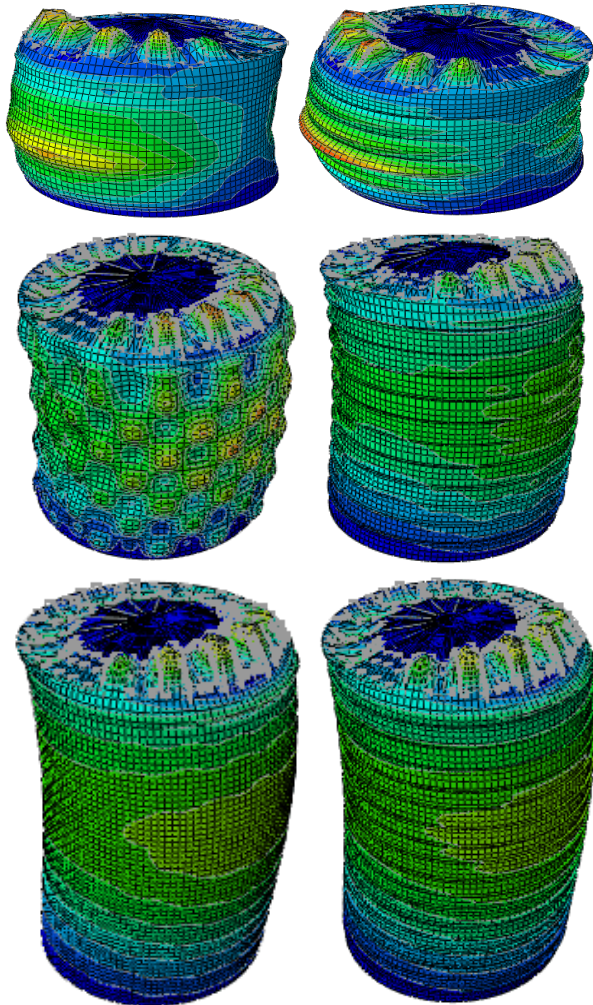


Fig 4 : modes fondamentales des trois réservoirs sans et avec raidisseurs

III.Conclusion

L'étude d'analyse du mode fondamental du système réservoir-liquide et la comparaison par les règlements témoigne de la justesse du modèle utilisé (validation du modèle).

L'existence des raidisseurs ne perturbent pas les valeurs des fréquences fondamentales (ou période) mais sur le nombre du mode on a un grand intérêt en ce point de vue calcul et temps.

L'examen des résultats obtenus (contenu fréquentiel) a permis de confirmer globalement les recommandations des codes dans tous les cas étudiés des réservoirs, et montrent la nécessité de prévoir une partie suffisante sur les raidisseurs dans les codes de calcul si la présence des raidisseurs ne semble pas avoir une influence notable sur les fréquences fondamentales des réservoirs, le comportement dynamique de ces derniers est fortement altéré par leur présence, on note en particulier une diminution importante des déplacements maximums et des contraintes maximales par rapport aux réservoirs non raidis.

Références

- [1] Cooper TW, Wachholz TP. Optimizing post-earthquake lifeline system reliability. In: Proceedings of the 5th US conference on lifeline earthquake engineering. ASCE, vol. 16. 1999. p. 878–86.
- [2] Jain SK, Lettis WR, Murty CVR, Bardet J. Bjuh, India earthquake of January 26, 2001, reconnaissance report. Earthquake spectra (EERI) 2002; 8(Suppl. A): 257–95.
- [3] Suzuki K. Report on damage to industrial facilities in the 1999 Kocaeli earthquake, Turkey. Journal of Earthquake Engineering 2002; 6(2):275–96.N.
- [4] American Lifelines Alliance. Seismic fragility formulations for water systems. ASCE 2001. Part1-Guideline, Part-2 Appendices.
- [5] Housner GW. The dynamic behavior of water tanks. Bulletin of the Seismological Society of America 1963;53(2):381–9.
- [6] Virella J.C., Godoy L.A. and Suarez L.E., (2006), "Dynamic buckling of anchored steel tanks subjected to horizontal earthquake excitation", Journal of Constructional Steel Research, 62,521–531.
- [7] Djermane M., Chelghoum.A., Amieur B. and Labbaci B.,(2006), "Linear and Nonlinear Thin Shell Analysis Using a Mixed Finite Element With Drilling Degrees of Freedom", Int.J.Appl.Engn.Research Vol 1, N°2, 217-236.
- [8] Bathe K.J., (1996), "Finite element Procedures", Prentice Hall
- [9] Djermane M. , Chelghoum A. and Amieur B., (2007) , "Nonlinear Dynamic Analysis of Thin Shells Using a Finite Element With Drilling Degrees of Freedom", Int.J.App.Engn.Research,111-124.
- [10] Timoshenko SP "theory of elasticity" 3ed Mc Graw-hill 1951
- [11] ABAQUS Explicit User Manual, version 6.4. Hibbit, Karlsson and Sorensen; 2002.

- [12] ABAQUS Theory Manual, version 6.4. Pawtucket (RI, USA): Hibbit, Karlsson and Sorensen; 2002.
- [13] Barton D.C. and parker J.V., (1987) , “Finite Element Analysis of the seismic Response of Anchored and An anchored Liquid Storage Tanks”, Eathquake Engn.Structural.Dynamics, 15,299-322.
- [14] Veletsos AS, Shivakumar P. Tanks containing liquids or solids. Beskos DE, Anagnostopoulos SA, editors. Computer analysis and design of earthquake resistant structures: Ahandbook, vol. 3. Southampton (UK): Computational Mechanics Publications; 1997. p. 725–73.

Journal of Scientific Research

**P.O.Box 417 route de Kenadsa
08000 Bechar - ALGERIA
Tel: +213 (0) 49 81 90 24
Fax: +213 (0) 49 81 52 44
Editorial mail: jrs.bechar@gmail.com
Submission mail: submission.bechar@gmail.com
Web: <http://www2.univ-bechar.dz/jrs/>**
