

EVALUATION OF THE SEISMIC RESPONSE OF STORAGE TANKS IN INDUSTRIAL AREAS IN ALGERIA

Fatima Zohra Baba Hamed

Department of Civil Engineering, University of Science and Technology of Oran - Mohamed Boudiaf, Oran, Algeria

Received: 21 July 2022 / Accepted: 15 December 2022 / Published: 18 December 2022

ABSTRACT

The analysis of the seismic response of tanks is important in risk assessment in industrial areas because the spillage of liquids can trigger other catastrophic phenomena due to the loss of containment. Therefore, seismic assessment should focus on leakage-based limit states.

This article discusses the analysis of the seismic response of reservoirs subjected to seismic actions on the basis of a simplified procedure. The procedure takes into account impulsive and convective actions of liquid in storage tanks.

The seismic responses (sloshing wave height) are calculated using the response spectra of the different sites. The response spectra are determined on the basis of the Algerian paraseismic regulation RPA99 Version 2003.

Keywords: Industrial areas, Storage tanks, seismic response, RPA 99 Version 2003.

Author Correspondence, e-mail: fatimazohra.babahamed@univ-usto.dz

doi: <http://dx.doi.org/10.4314/jfas.1259>

1. INTRODUCTION

L'Algérie est caractérisée par un contexte sismotectonique complexe et une activité sismique modérée associée à la convergence entre les plaques africaine et eurasiennne [1].



La région a connu plusieurs tremblements de terre destructeurs dans l'histoire (Figure 1), dont les tremblements de terre de 1716 à Alger (l'épicentre de l'intensité, Io X), 1825 à Blida (Io IX), 1790 à Oran (Io XI), 1889 à Mascara (Io IX)), récemment 1980 à El Asnam (Ms 7.3), 1989 à Tipasa (Ms 6.0), 1996 à Alger (Ms 5.7), 1999 à Ain Temouchent (Ms 5.8), et plus récemment 2003 à Boumerdes (Ms 6.8) [2].

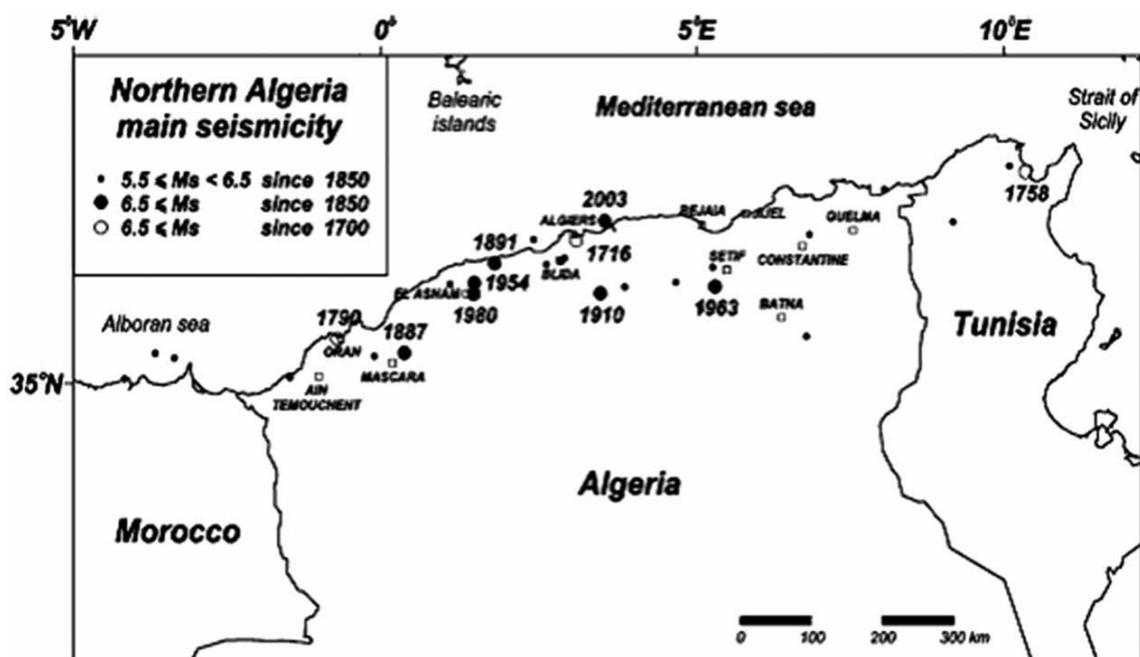


Fig.1. Carte de sismicité dans le nord de l'Algérie, **Source :** [1]

Les zones industrielles pétrochimiques en l'Algérie sont concentrées près des grandes villes littorales (Arzew, Skikda et Bejaia)

Les installations industrielles ont subi de lourds dommages lors des récents tremblements de terre dans le monde, et les vastes incendies incontrôlés, secondaires à l'activité sismique, augmentent le niveau des dommages. Les séismes de Kocaeli (Turquie) en 1999, de Niigata (Japon) en 1964 et d'Alaska (USA) en 1964 ont causé d'importants dégâts aux installations industrielles [3].

Les réservoirs utilisés comme stockage de fluides sont particulièrement préoccupants car la défaillance des réservoirs due à un tremblement de terre peut provoquer des incendies incontrôlés qui enflamment les réservoirs et les bâtiments adjacents (figure 2), et le déversement de produits chimiques toxiques peut causer beaucoup plus de dégâts que le tremblement de terre lui-même [4].



Fig.2. Vue aérienne de la raffinerie de Tupras après le séisme de Kocaeli, **Source :** [3]

Cooper ,1997 [5] a analysé les principaux modes d'endommagement des réservoirs dans les différentes régions du monde lors des séismes.

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer la hauteur des vagues de ballotement au niveau des réservoirs de stockage en cas de séisme afin d'évaluer le risque de déversement des liquides.

Dans la présente étude, les installations de stockage industriel ont été étudiées à l'aide d'un modèle construit avec des systèmes de masse et de ressort représentant un réservoir de stockage d'une installation industrielle comme expliqué en détail par Malhotra et al.2000 [6].

2. COMPORTEMENT DES RESERVOIRS SOUMIS A DES SOLLICITATIONS SISMIQUES

Lors d'un séisme, le produit stocké dans un réservoir cylindrique vertical est soumis à des effets inertiels dus aux mouvements du sol, effets qui engendrent des surpressions ou dépressions hydrodynamiques sur la robe et sur le fond du réservoir (figure 3).

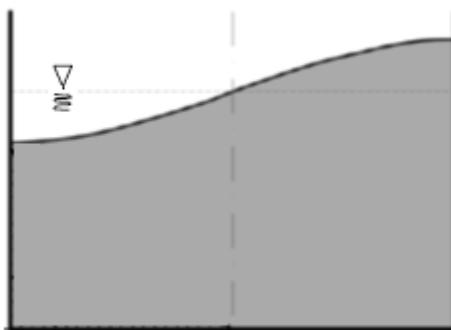


Fig.3. Géométrie du réservoir de stockage de liquide

De manière générale, les modèles simplifiés [7, 6] retenus pour décrire le comportement des réservoirs sont composés de deux champs de pressions : l'un correspondant au ballotement de la surface libre du produit stocké (pression convective), l'autre correspondant au produit oscillant en phase avec la paroi du réservoir (pression impulsive) (figure 4).

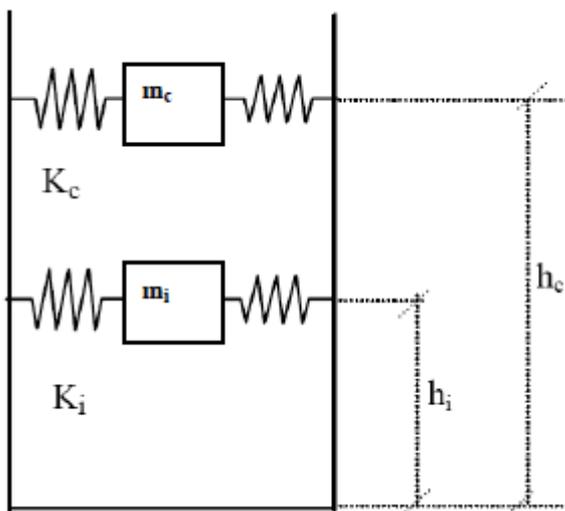


Fig.4. Modèle mécanique pour un réservoir cylindrique, **Source** : [6]

Les périodes naturelles des réponses impulsive et convective (en s) sont :

$$T_{imp} = C_i \frac{\sqrt{\rho} \times H}{\sqrt{Es/R}}$$

$$T_{con} = C_c \sqrt{R}$$

H = hauteur jusqu'à la surface libre du liquide ;

R = rayon du réservoir ;

s = épaisseur uniforme équivalente de la paroi du réservoir (moyenne pondérée suivant la hauteur en contact avec le liquide de la paroi du réservoir, le coefficient de pondération peut être pris proportionnel à la contrainte dans la paroi du réservoir, qui est maximale à la base du réservoir) ;

ρ = masse volumique du liquide

E = module d'élasticité du matériau du réservoir.

Les coefficients C_i et C_c sont donnés sur la base des travaux de Malhotra et al.2000 [6]. C_i est sans dimension. R est exprimé en mètres, C_c est exprimé en $s/m^{1/2}$.

La contribution dominante dans la hauteur de ballotement est assurée par le premier mode.

L'expression du pic de hauteur de vague au bord est :

$$d_{max} = R \times S_g (T_{conc})/g$$

3. ETUDE DE LA REPONSE SISMIQUE DES RESERVOIRS DE STOCKAGE

Ce travail consiste à calculer la réponse sismique des réservoirs de stockages en terme de hauteur maximale de vague de ballotement des liquides pour différents types de sites (rocheux ; ferme; meuble; très meuble), différentes zones sismique et classes de réservoirs.

Selon le RPA 99 (V2003) [8] le sol est classé en quatre catégories :

Le sol S1, le sol S2, le sol S3, le sol S4, en fonction des propriétés mécaniques des sols qui les constituent.

- **Le sol S1** (site rocheux) : roche ou autre formation géologique caractérisée par une vitesse moyenne d'onde de cisaillement V_s de 800m/s.

- **Le sol S2** (site ferme) : rocher ou autre formation géologique comportant une couche superficielle de 5m au maximum, de matériau moins résistant ou d'argile sur - consolidée, et/ou encore des dépôts de sables et des graviers très denses de 10 à 20 mètres d'épaisseur, où les propriétés mécaniques augmentent progressivement avec la profondeur (la vitesse des ondes de cisaillement V_s atteint au moins 400m/s à partir de 10m de profondeur.

- **Le sol S3** (site meuble) : dépôt de gravier ou sable de densité moyenne ou argile moyennement raide dont les épaisseurs varient de quelques dizaines à plusieurs centaines de

mètres, où la vitesse des ondes de cisaillement est d’au moins 200m/s à 10m de profondeur et augmente jusqu’à 350m/s à 50m de profondeur.

· **Le sol S4** (site très meuble) : ce sol est constitué par des dépôts de sables lâches, sans ou avec présence de couche d’argile molle, Ou dépôt d’argile molle à moyennement raide, où VS est inférieure à 200m/s sur les vingt premiers mètres, ce sol peut aussi être constitué de sols cohérents de faible raideur.

Le document technique réglementaire, divise le territoire algérien en cinq (05) zones de sismicité croissante, soit :

- Zone 0: Sismicité négligeable
- Zone I: Sismicité faible
- Zone II a et II b : Sismicité moyenne
- Zone III: Sismicité élevée

Le spectre de réponse élastique choisi dans cette étude est celui du Règlement Parasismique Algérien (RPA, 2003) :

$$S_a/g = \begin{cases} \text{PGA} (1+(2.5\eta-1) (T/T_B)) & 0 \leq T \leq T_B \\ \text{PGA} \cdot 2.5 \eta & T_B \leq T \leq T_C \\ \text{PGA} \cdot 2.5\eta (T_C/T) & T_C \leq T \leq 3s \\ \text{PGA} \cdot 7.5 \eta (T_C/T^2) & T \geq 3s \end{cases}$$

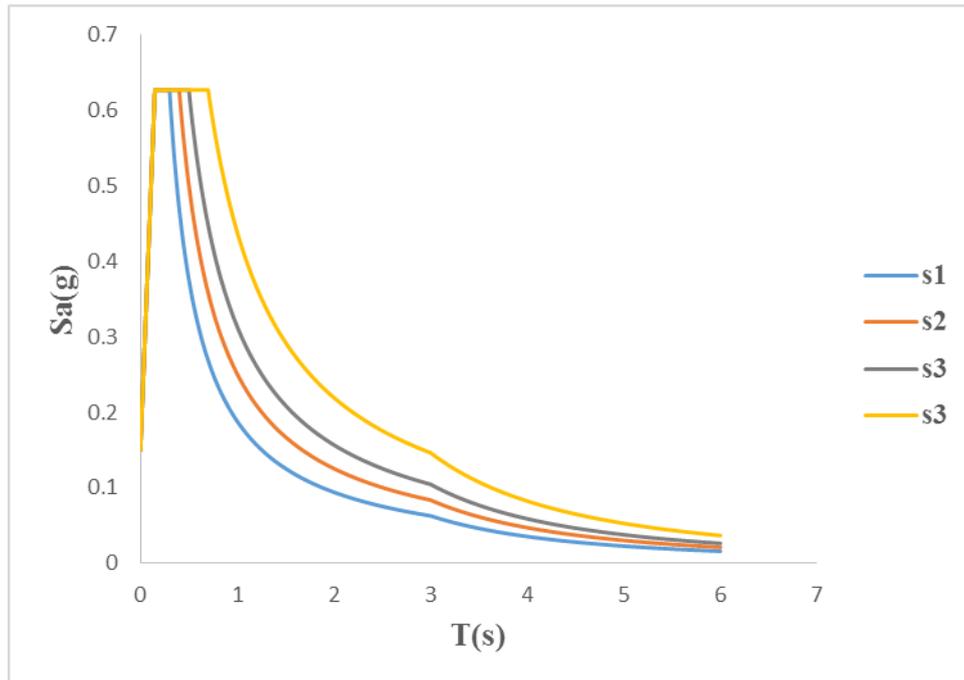
T_B et T_C sont les périodes caractéristiques du sol.

PGA représente l’accélération maximale du sol

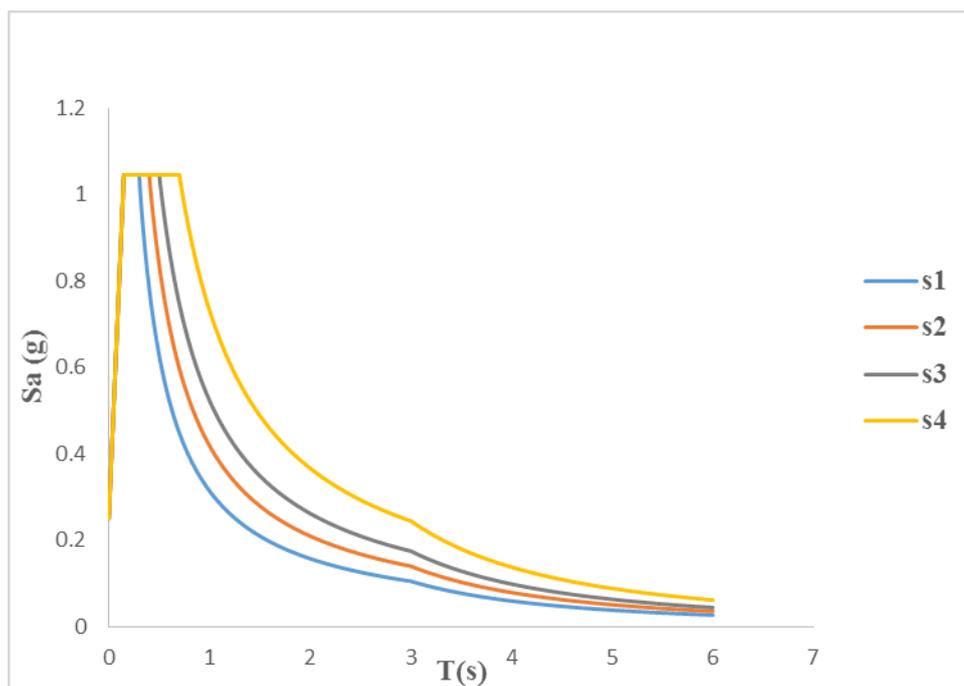
$\eta = \sqrt{\frac{7}{(2 + \xi)}}$ est le facteur de correction de l’amortissement Où $\xi(\%)$ est le pourcentage

d’amortissement. Le coefficient d’amortissement attribué au fluide est de 0.5%.

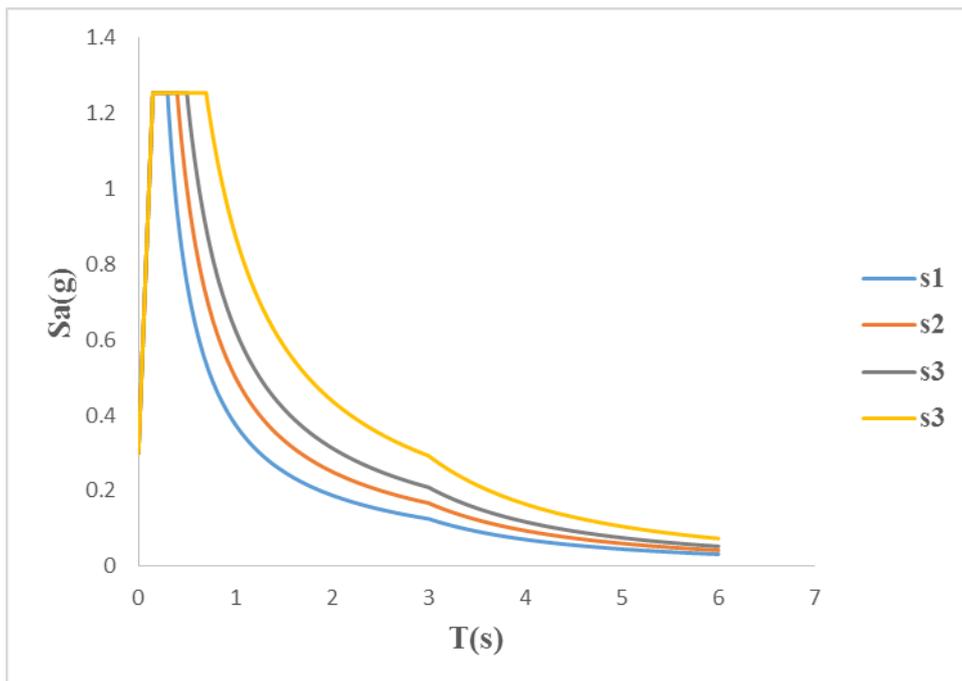
A chaque zone sismique et catégorie de site est associé un spectre de réponse en accélération (figure 5).



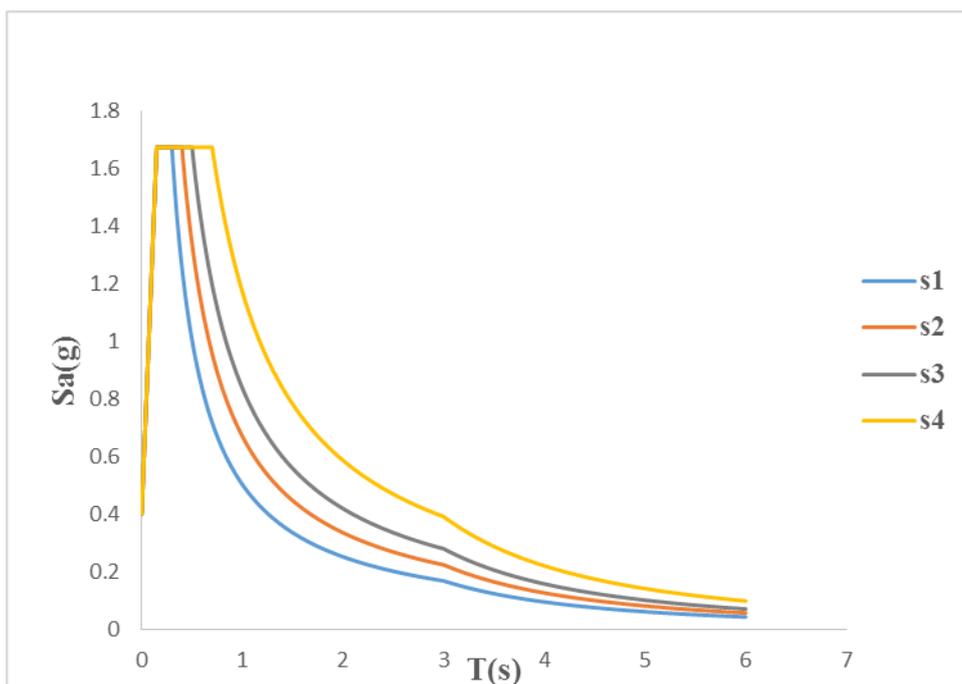
a) Zone I



b) Zone IIa



c) Zone IIb



d) Zone III

Fig.5. Spectres de réponse élastique selon le RPA 99 V 2003 [8] pour les différentes zones sismiques en Algérie pour un amortissement de 0.5%

Les réservoirs de stockage sont classés selon le rapport D/H, où D et H représentent respectivement le diamètre et la hauteur du réservoir. D'après les dommages observés lors des

séismes passés touchant les installations industrielles (Eidinger 2001) [9]. Quatre classes sont prises en compte :

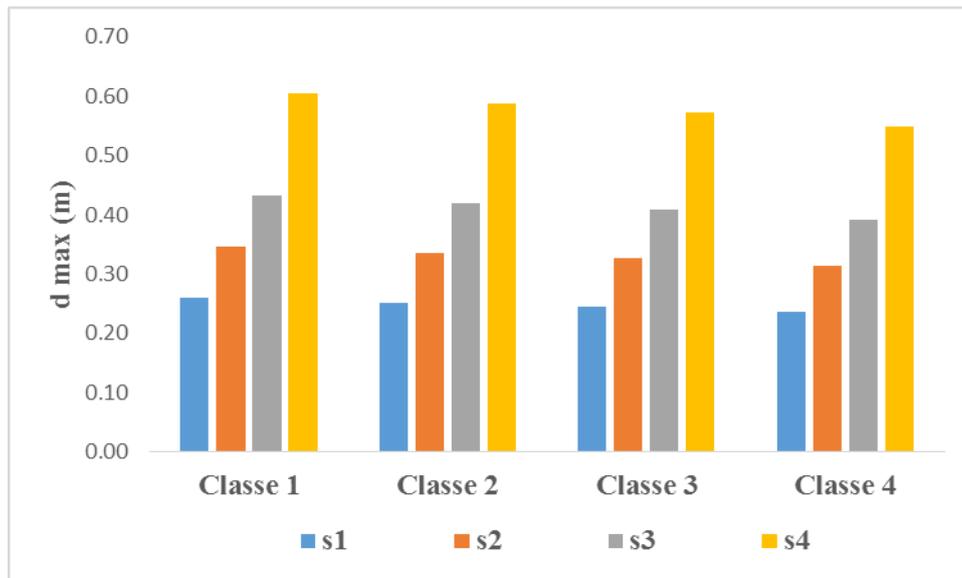
- Classe 1 : $0,7 < D/H < 1,0$;
- Classe 2 : $1,0 < D/H < 1,5$;
- Classe 3 : $1,5 < D/H < 2,0$;
- Classe 4 : $D/H > 2,0$.

Les caractéristiques géométriques des différents réservoirs de stockage étudié sont résumées dans le tableau 1.

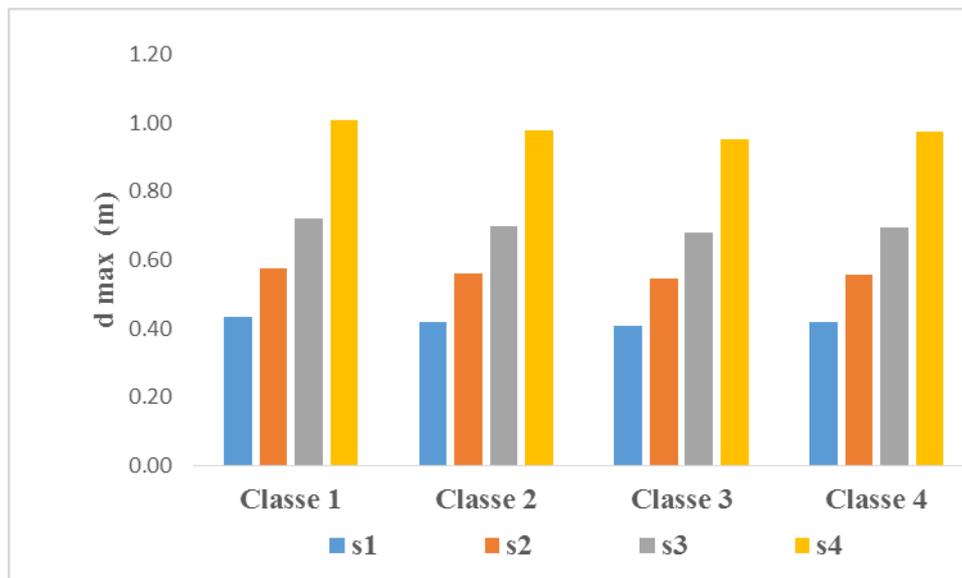
Tableau 1. Caractéristiques géométriques des différents réservoirs de stockage étudié

	D(m)	H(m)	d/H	C_C (s/m^{1/2}).	T_C (s)
Classe 1	10	10	1	1.48	3.3
Classe 2	15	10	1.5	1.5	4.1
Classe 3	20	10	2	1.52	4.8
Classe 4	25	10	2.5	1.55	5.48

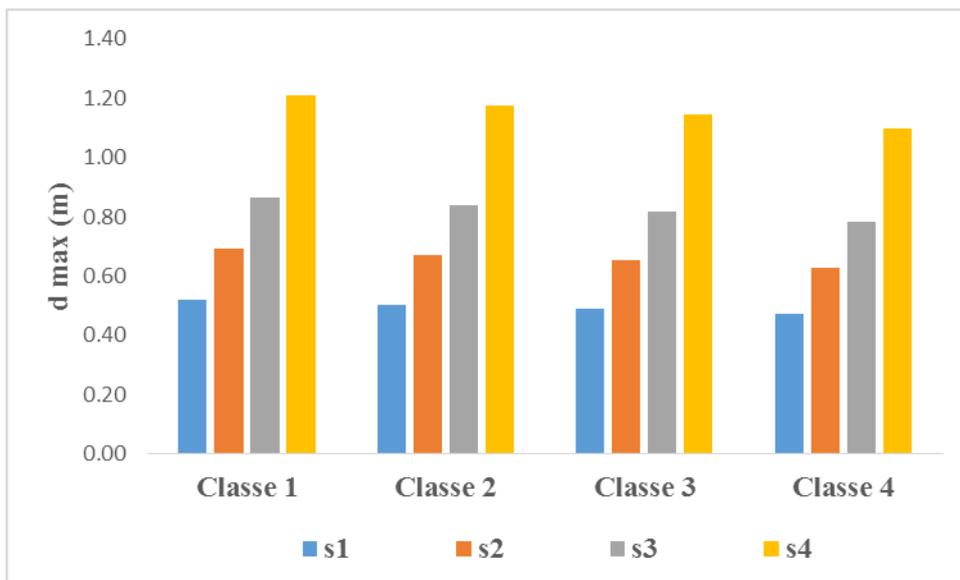
Après calcul, on obtient les différentes hauteurs maximales de vagues de ballotement des liquides susceptibles de se produire en cas de séismes au niveau des réservoirs de stockages (figure 6).



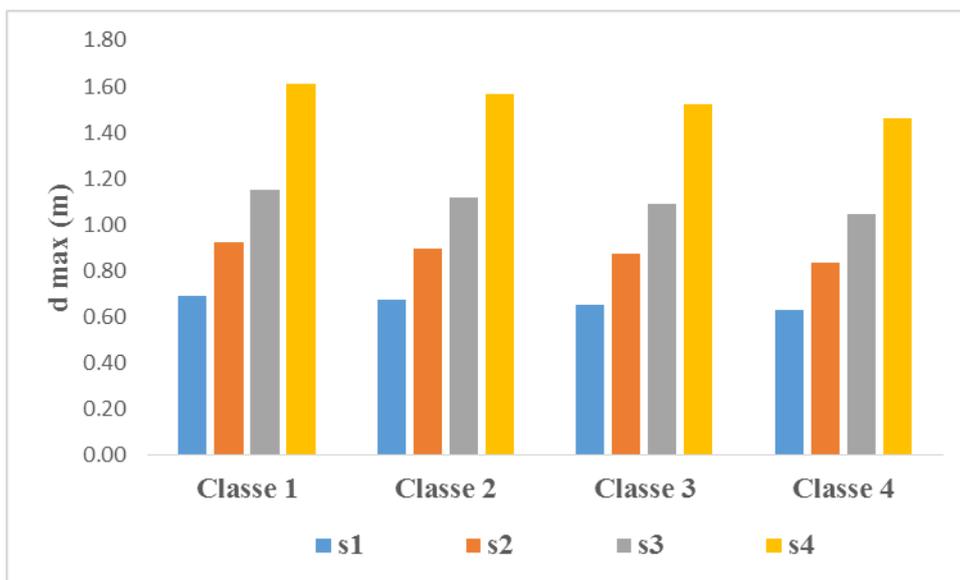
a) Zone I



b) Zone IIa



c) Zone IIb



d) Zone III

Fig 6. Hauteurs maximales de vagues de ballotement susceptibles de se produire en cas de séismes au niveau des réservoirs de stockages

L'analyse des résultats montre que la zone sismique ainsi que la catégorie du site a un effet important sur la hauteur des vagues susceptibles de se produire en cas de séisme contrairement à la classe du réservoir de stockage qui est négligeable.

4. CONCLUSION

Cette étude a été l'occasion d'évaluer la réponse sismique des réservoirs de stockage dans les zones industrielles en Algérie en termes de déversement des liquides. Les différentes classes de réservoirs, les zones sismiques ainsi que les catégories de site en été prises en considération.

Les données nécessaires à l'application de la méthode sont simples permettant d'estimer rapidement la réponse sismique des réservoirs, mais le résultat implique une grande incertitude difficile à quantifier. La limitation de la méthode réside dans le fait de ne pas considérer le contenu des accélérogrammes sismiques.

Néanmoins, l'étude présentée ici donne une première idée de ce que pourrait entraîner un séisme dans les différentes zones industrielles en Algérie.

Une analyse plus approfondie permettrait de définir de manière plus précise l'interaction fluide-structure en cas de séisme. Ceci nécessitera une analyse dynamique non linéaire.

5. REFERENCES

- [1] Peláez JA, Hamdache M, Casado C L. Seismic hazard in terms of spectral accelerations and uniform hazard spectra in Northern Algeria. *Pure Appl. Geophys.*, **2006** 163(1): 119-135.
- [2] Baba Hamed FZ, Rahal DD, Rahal F. Seismic risk assessment of Algerian buildings in urban area. *J. Civ. Eng.*, **2013**, 19(3): 348-363.
- [3] Korkmaz KA, Sari A, Carhoglu AI. Seismic risk assessment of storage tanks in Turkish industrial facilities. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, **2011**, 24(4) : 314-320.
- [4] Akatsuka H, Kobayashi H. Fire of petroleum tank, etc. by Niigata earthquake, in. *Failure Knowledge Database*, Japan Science and Technology Agency, **2008**.
- [5] Cooper TW, Cooper TW. *A study of the performance of petroleum storage tanks during earthquakes, 1933-1995*. Gaithersburg, MD, USA: US National Institute of Standards and Technology, **1997**.
- [6] Malhotra PK, Wenk T, Wieland M. Simple procedure for seismic analysis of liquid-storage tanks. *Struct. Eng. Int.*, **2000**, 10(3): 197-201.

[7] Housner GW. The dynamic behavior of water tanks. *Bulletin of the seismological society of America*, **1963**, 53(2): 381-387.

[8] RPA 99 Version 2003 : Règles parasismiques algériennes. CGS, Algeria, **2003**.

[9] Eidinger JM. Earthquakeic fragility formulation for water systems. *ASCE-TCLEE*, **2001**.
ress, 1981, pp. 221–247.