

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université de Batna 2
Faculté de Technologie
Département de génie civil

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme
De Master en Génie Civil
Option: construction en zone sismique

Thème

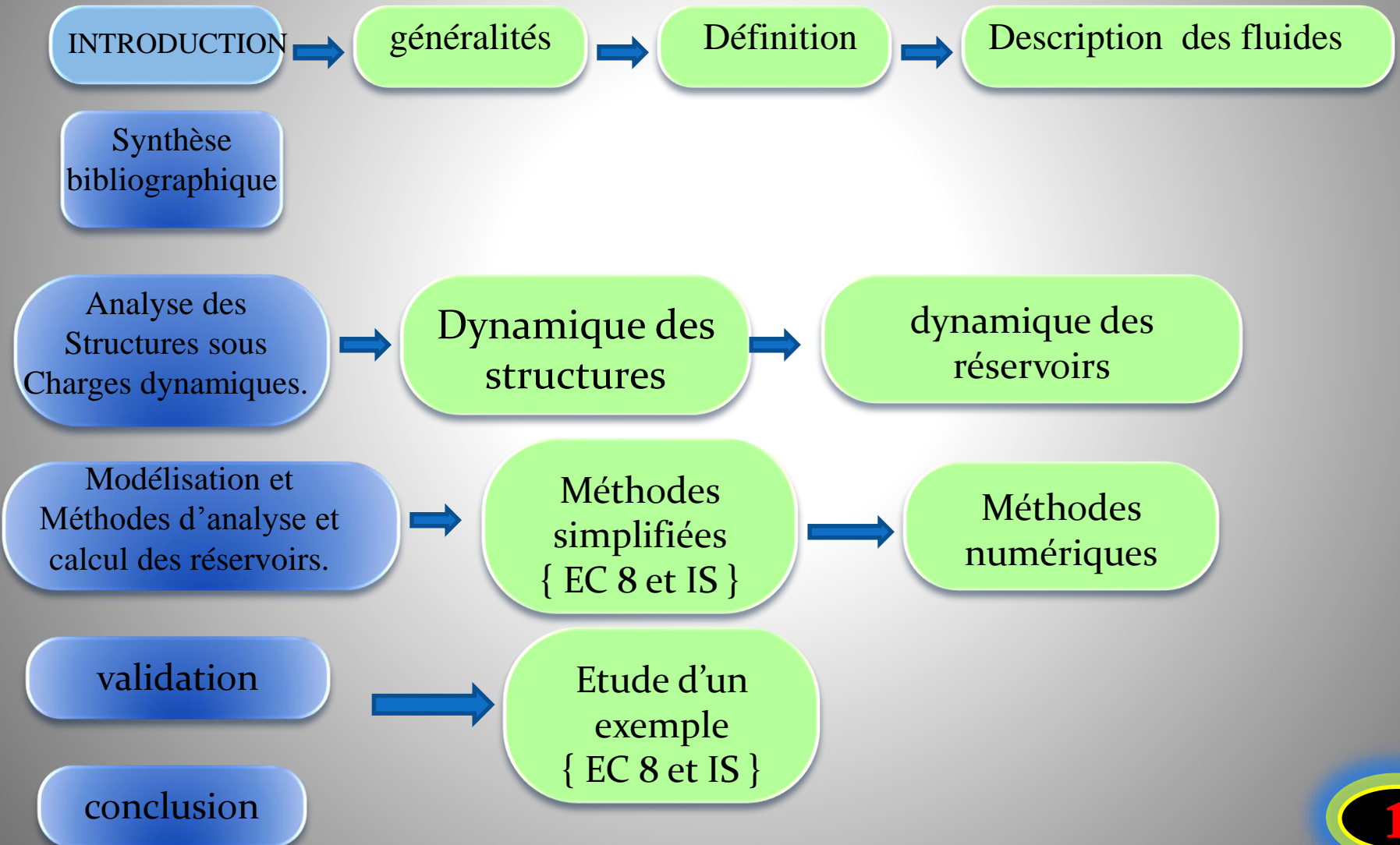
*Analyse et calcul des réservoirs de stockage en
zone sismique (cas de carburants)*

Présenté par:
BAIT Ahmed Amine
BENAICHA Oussama

Sous la direction de :
Dr BOUZID.T

Année universitaire
2014-2015

PLAN DU TRAVAIL



1-Introduction

introduction

bibliographie

Analyse
théorique

Méthodes
de calcul

validation

conclusion

Généralités

définition

Description
des fluides

Les réservoirs de stockage de liquides sont des structures de *génie civil très répandues et stratégiques* dans le tissu industriel et économique de notre pays. Ces installations sont particulièrement employées dans l'industrie et notamment dans l'industrie lourde, dans la quelle elles servent à stocker toutes sortes de produits: hydrocarbures, GNL (Gaz Naturel Liquide), etc. *les réservoirs à carburant*, jouent un rôle important et essentiel. Pour cela de nombreuses études ont été réalisées à partir *des années 1930* pour mieux les préserver et comprendre le comportement dynamique de ces structures.



1-Introduction

Introduction

Bibliographie

Analyse
théorique

Méthodes
de calcul

Validation

Conclusion

Généralités

définition

Description
des fluides

Les *ruptures* de ces ouvrages se manifestent par des *flambements* en diamants ou en patte d'éléphant, par des *soulèvements* de la base, etc.



Figure 1-a : flambement en patte d'éléphant



Figure 1-b : en pointes de diamant
Californie



1-Introduction

Introduction

Bibliographie

Analyse
théorique

Méthodes
de calcul

Validation

Conclusion

Généralités

Définition

Description
des fluides

Afin de mieux cerner le comportement des réservoirs à carburant, il est intéressant de mettre en évidence certaines définitions de ces structures. On appelle réservoir une structure avec une capacité destinée à contenir un liquide. On distingue plusieurs types des réservoirs:

- Réservoirs à carburant,
- Surélevés ou château d'eau,
- Réservoirs de stockage des produits chimiques.

Les réservoirs peuvent être *simples ou complexes* et formés de plusieurs cellules mêmes superposées (cylindrique, cubique, rectangulaire).



1-Introduction

introduction

bibliographie

Analyse
théorique

Méthodes
de calcul

validation

conclusion

Généralités

définition

Description
des fluides

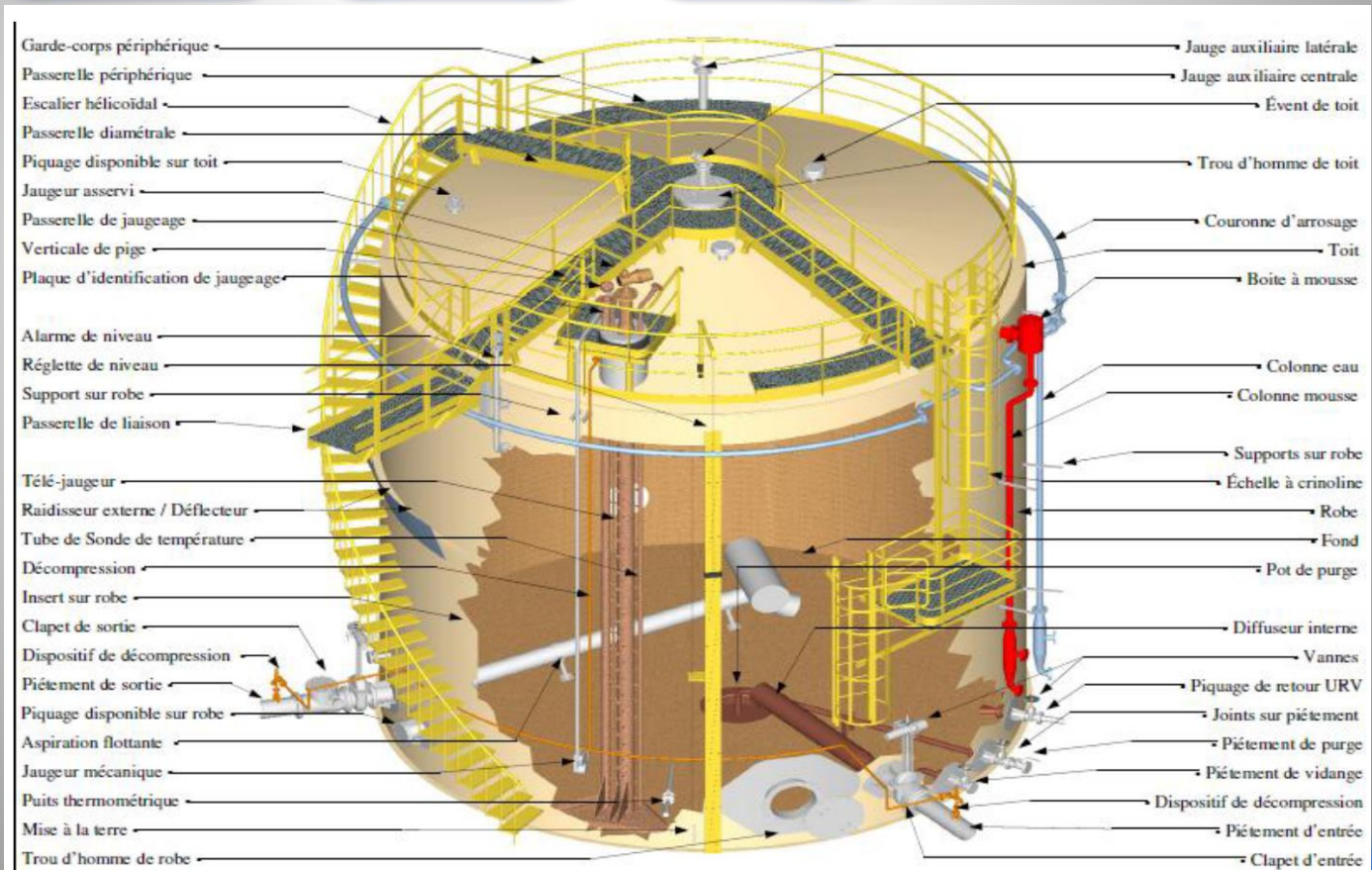


Figure: Réservoir à toit fixe

1-Introduction

introduction

bibliographie

Analyse
théorique

Méthodes
de calcul

validation

conclusion

Généralités

définition

Description des
fluides

L'essence:

L'essence est un liquide inflammable, issu de la distillation du pétrole, de masse volumique égale à 750 N/m^3 , utilisé comme carburant dans les moteurs à combustion interne. C'est un *mélange d'hydrocarbures, auxquels peuvent être ajoutés des additifs pour carburants.*

Le GNL:

est un gaz naturel liquéfié à une *température d'environ -160°C* . À cette température, le gaz naturel se condense sous forme liquide réduisant ainsi son volume à la pression atmosphérique par un facteur d'environ 600 fois.

Le GNL est un liquide froid, incolore, inodore, non visqueux et deux fois plus léger que l'eau.



2-Bibliographie

introduction

bibliographie

Analyse
théorique

Méthodes
de calcul

validation

conclusion

bibliographie

Objectif de
recherche

❖ Dans ce chapitre, il sera question de faire une revue bibliographique sur les développements concernant *l'analyse et le calcul des réservoirs pour carburants en zone sismique*. En fait, ces structures sont très importantes du point de vue économique et ont un impact très important sur le bien être du citoyen. C'est pour cela que leur analyse et calcul ainsi que leur réalisation et suivi revêt un intérêt particulier pour le concepteur.

[1] **Victor DAVIDOVICI (NOV 1982) et al;**« *calcul pratique des réservoirs en zone sismique* » on présenté les méthodes de calcul mises au point par différents auteurs pour le calcul des réservoirs sous l'effet d'un séisme. Sont successivement examinées :

- méthodes applicables aux réservoirs cylindriques (Jacobsen et Ayre....).*
- méthodes établies pour les réservoirs rectangulaires (Houzner, Graham et Rodriguez....).*



2-Bibliographie

introduction

bibliographie

Analyse
théorique

Méthodes
de calcul

validation

conclusion

bibliographie

Objectif de
recherche

[2] **c. Maraveas (2011)** dans son étude intitulée « *Analyse et comportement structurel des réservoirs cylindriques en acier sous les effets sismiques* »

Ce document traite des questions spécifiques concernant l'analyse et le comportement des réservoirs cylindriques sous l'action sismique et, surtout, leur conception parasismique. *Ceci étant réalisé, en comparant les codes actuels utilisés dans la pratique avec la méthode des éléments finis (MEF).*

[3] **Djermane et al (2012)** dans leur étude intitulée « *Flambement Dynamique des Réservoirs Métalliques Sous Excitation Sismique: Evaluation Numérique des Prescriptions Réglementaires* » ont tenté d'évaluer *certaines recommandations basées sur des études réalisées et certains règlement tel que l'EC8*. Cette contribution a mis en exergue l'utilisation d'un modèle numérique basé sur les éléments finis de coque robuste et stable.



2-Bibliographie

introduction

bibliographie

Analyse
théorique

Méthodes
de calcul

validation

conclusion

bibliographie

**Objectif de
recherche**

❖ Dans cette étude, nous allons nous intéresser au calcul des réservoirs de stockages des carburants en zone sismique. *Une étude établie par la MEF (SAP2000) sera présentée et dont les résultats sont analysés en plus des résultats produits par des méthodes approchées proposées par l'Eurocode 8 et l'Indian Standard 1893 version 2002.* Outre l'analyse et le comportement des réservoirs cylindriques sous l'action sismique et leur conception parasismique, une comparaison entre les résultats obtenus par les méthodes proposées par les *codes actuels l'EC8 et L'IS a été faite.* Les résultats obtenus tenant compte des différents paramètres tels que la hauteur du liquide, l'épaisseur de la robe, le diamètre du réservoir, etc., ainsi que les spectres de réponses utilisés *montre que les résultats obtenus en termes de périodes, moments fléchissant, efforts tranchants, etc., sont très proches.*



3- Analyse Théorique

introduction

bibliographie

**Analyse
théorique**

Méthodes
de calcul

validation

conclusion

**Dynamique des
structures**

Dynamique des
réservoirs

Les *phénomènes physiques* dépendant du *temps* sont généralement décrits au départ par *des équations différentielles*. Dans le cas le plus simple, il y a une seule grandeur qui varie et dans ce cas il est question d'un système à un degré de liberté, et la plus part du temps décrit par une équation différentielle du second ordre. Les phénomènes naturels tels que les *séismes et actions vibratoires sont presque toujours non-linéaires* mais, dans de nombreux cas, l'hypothèse des petits mouvements permet d'aboutir à une excellente *approximation* seulement par une *équation différentielle linéaire* à coefficients constants d'ordre deux. Ces systèmes peuvent être à un ou plusieurs degrés de libertés amortis ou non.



3- Analyse Théorique

introduction

bibliographie

*Analyse
théorique*

Méthodes
de calcul

validation

conclusion

❖ Les équations de mouvement:

*Dynamique des
structures*

➤ Système à un seul degré de liberté:

Système libre non amorti → $M \ddot{u} + K u = 0$

System libre amorti → $M \ddot{u} + C \dot{u} + K u = 0$

System forcé non amorti → $M \ddot{u} + K u = F_0 \sin \Omega t$

Système forcé amorti → $M \ddot{u} + C \dot{u} + K u = F_0 \sin \Omega t$

Dynamique des
réservoirs

➤ Système à deux degrés de liberté:

Forcé non amorti → $M \ddot{u} + C \dot{u} + k u = p(t)$

Forcé amorti → $C^* = a_0 M + a_1 K$



3- Analyse Théorique

introduction

bibliographie

Analyse
théorique

Méthodes
de calcul

validation

conclusion

Dynamique
des structures

Dynamique des
réservoirs

❖ Housner a été l'un des premiers à étudier le *comportement sismique des réservoirs* présentant en 1963 un **modèle simplifié** pour l'analyse sismique des réservoirs ancrés avec des parois rigides. Selon ce modèle, un réservoir avec une surface libre soumis à l'accélération horizontale du sol, dans ce cas *une seule partie du liquide est forcée de participer* à ce mouvement de masse rigide. D'autre part, le mouvement des parois de la cuve *excite le liquide résultant ainsi en des oscillations* qui se traduisent par une *force dynamique sur le réservoir*. Cette force est supposée être la même masse localisée connue comme étant la *masse convective*, qui peut vibrer horizontalement et retenue par un ressort.



3- Analyse Théorique

introduction

bibliographie

Analyse
théorique

Méthodes
de calcul

validation

conclusion

Dynamique
des structures

Dynamique des
réservoirs

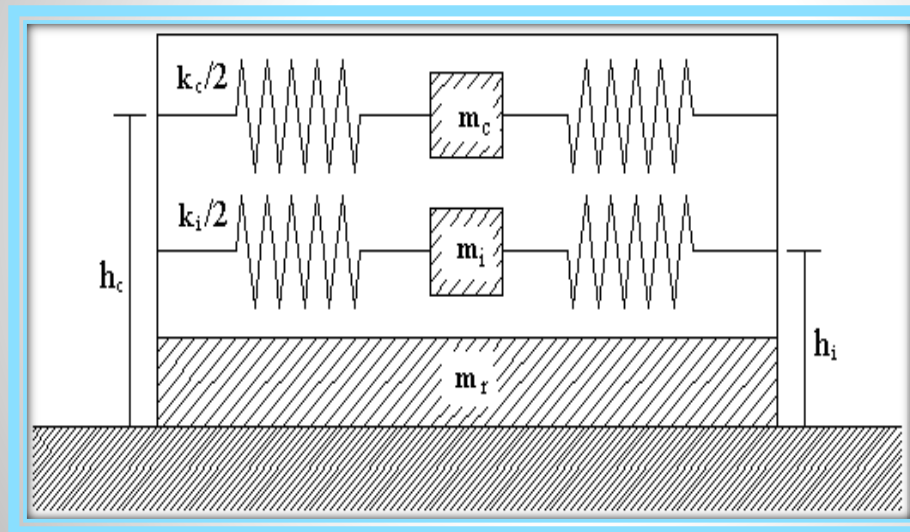


Figure : Une dimension modèle dynamique de réservoir.

✓ Les deux systèmes d'équations pour les cas respectifs coulissant et non peuvent être exprimés dans le même format de matrice comme dans l'équation :

$$[M]\{\ddot{x}\} + [B]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} + \{F\} = -[M][r]\{\ddot{u}_g\}$$



3- Analyse Théorique

introduction

bibliographie

Analyse
théorique

Méthodes
de calcul

validation

conclusion

Dynamique
des structures

Dynamique des
réservoirs

$$\left\{ \begin{array}{l} m_c \ddot{x}_c + m_c \ddot{x}_b + b_c \dot{x}_c + k_c x_c = -m_c \ddot{u}_{gx} \\ m_i \ddot{x}_i + m_i \ddot{x}_b + b_i \dot{x}_i + k_i x_i = -m_i \ddot{u}_{gx} \\ m_c \ddot{x}_c + m_i \ddot{x}_i + m_{tot} \ddot{x}_b - m_{tot} \mu (\ddot{u}_{vert} + g) \cos(\alpha) = -m_{tot} \ddot{u}_{gx} \\ m_c \ddot{y}_c + m_c \ddot{y}_b + b_c \dot{y}_c + k_c y_c = -m_c \ddot{u}_{gy} \\ m_i \ddot{y}_i + m_i \ddot{y}_b + b_i \dot{y}_i + k_i y_i = -m_i \ddot{u}_{gy} \\ m_c \ddot{y}_c + m_i \ddot{y}_i + m_{tot} \ddot{y}_b - m_{tot} \mu (\ddot{u}_{vert} + g) \sin(\alpha) = -m_{tot} \ddot{u}_{gy} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} m_c \ddot{x}_c + b_c \dot{x}_c + k_c x_c = -m_c \ddot{u}_{gx} \\ m_i \ddot{x}_i + b_i \dot{x}_i + k_i x_i = -m_i \ddot{u}_{gx} \\ m_c \ddot{y}_c + b_c \dot{y}_c + k_c y_c = -m_c \ddot{u}_{gy} \\ m_i \ddot{y}_i + b_i \dot{y}_i + k_i y_i = -m_i \ddot{u}_{gy} \end{array} \right.$$

- les équations d'un système non coulissant (repos)

- les équations d'un système coulissant



4-Méthodes de calcul

introduction

bibliographie

Analyse
théorique

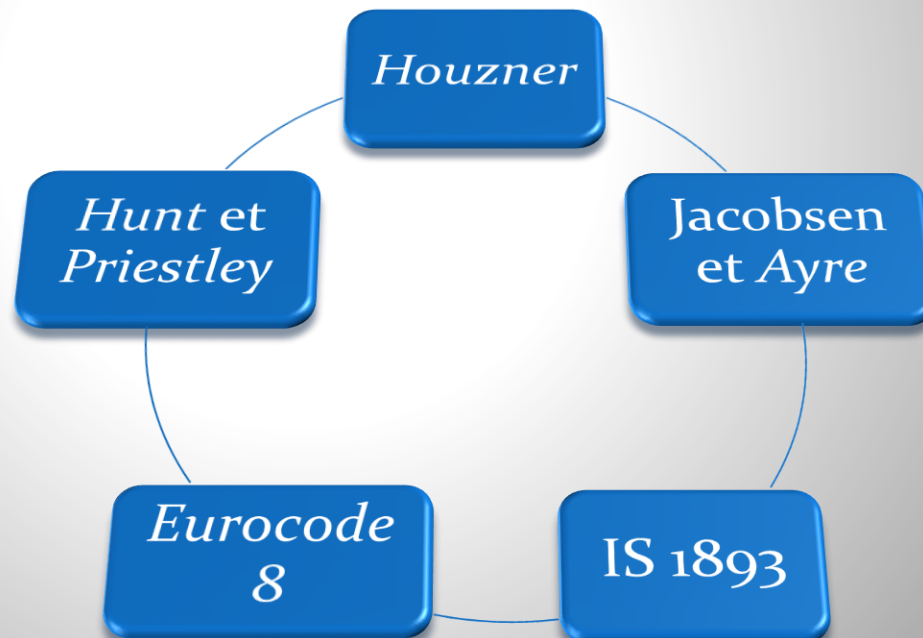
*Méthodes de
calcul*

validation

conclusion

Méthodes
simplifiées

Méthodes
numériques



4-Méthodes de calcul

introduction

bibliographie

Analyse
théorique

*Méthodes de
calcul*

validation

conclusion

Méthodes
simplifiées

Méthodes
numériques

□ *Méthode Eurocode 8:*

L'Annexe de l'EC8 fournit les indications nécessaires sur les *méthodes de calcul sismique pour les réservoirs* soumis à une action sismique horizontale ou verticale, ayant les caractéristiques suivantes :

- ✓ forme cylindrique, à axe vertical et section transversale circulaire ou rectangulaire;
- ✓ fondation rigide ou flexible ;
- ✓ ancrés totalement ou partiellement à la fondation.



4-Méthodes de calcul

introduction

bibliographie

Analyse
théorique

**Méthodes de
calcul**

validation

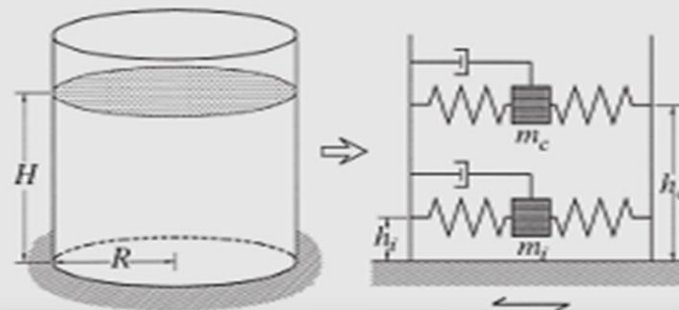
conclusion

Méthodes
simplifiées

Méthodes
numériques

□ *méthode d'IS 1893* :

Les forces hydrodynamiques exercées par le liquide sur la paroi du réservoir doivent être considérés dans l'analyse en plus des forces **hydrostatiques**. Ces forces hydrodynamiques sont évalués à l'aide d'un **modèle de masse ressort** de réservoirs.



4-Méthodes de calcul

introduction

bibliographie

Analyse
théorique

*Méthodes de
calcul*

validation

conclusion

Méthodes
simplifiées

Méthodes
numériques

Quand un réservoir contenant un liquide vibre, celui-ci exerce une *pression impulsive et une pression convective ainsi qu'une pression hydrodynamique* sur la paroi du réservoir et le fond du réservoir, en plus de la *pression hydrostatique*. Afin d'inclure l'effet de la pression hydrodynamique dans l'analyse, le réservoir peut être idéalisé par un modèle de *masse ressort* équivalent, qui inclut l'effet de la paroi du réservoir - interaction liquide. Les paramètres de ce modèle dépendent de la géométrie de la cuve et sa flexibilité.



4-Méthodes de calcul

introduction

bibliographie

Analyse
théorique

*Méthodes de
calcul*

validation

conclusion

Méthodes
simplifiées

Méthodes
numériques

Dans cette partie il est question de donner un aperçu sur un *logiciel commercial* et son utilisation dans le calcul et analyse des réservoirs. Il s'agit du code commercial SAP2000. Dans ce cas il faut d'abord définir la géométrie, le type des matériaux, les charges, les conditions d'appuis, etc., en utilisant les différents Template relatives à ce code.



4-Méthodes de calcul

introduction

bibliographie

Analyse
théorique

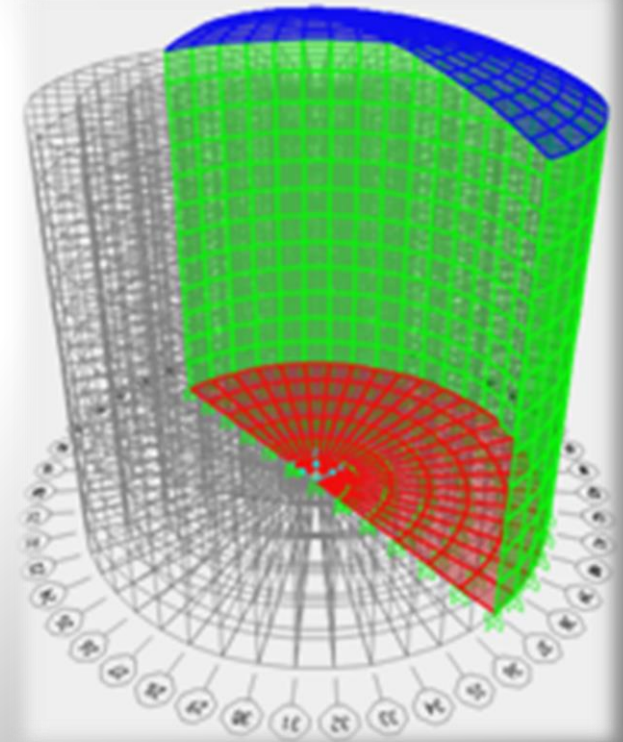
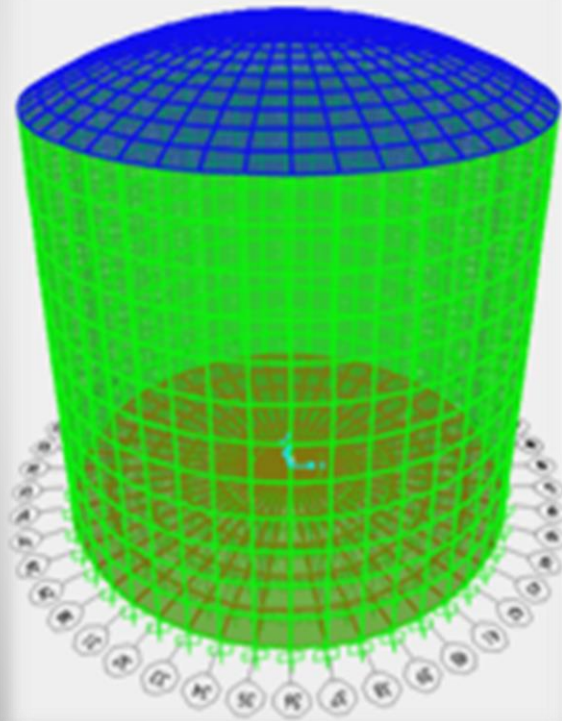
*Méthodes de
calcul*

validation

conclusion

Méthodes
simplifiées

Méthodes
numériques



4-Méthodes de calcul

introduction

bibliographie

Analyse
théorique

**Méthodes de
calcul**

validation

conclusion

Méthodes
simplifiées

Méthodes
numériques

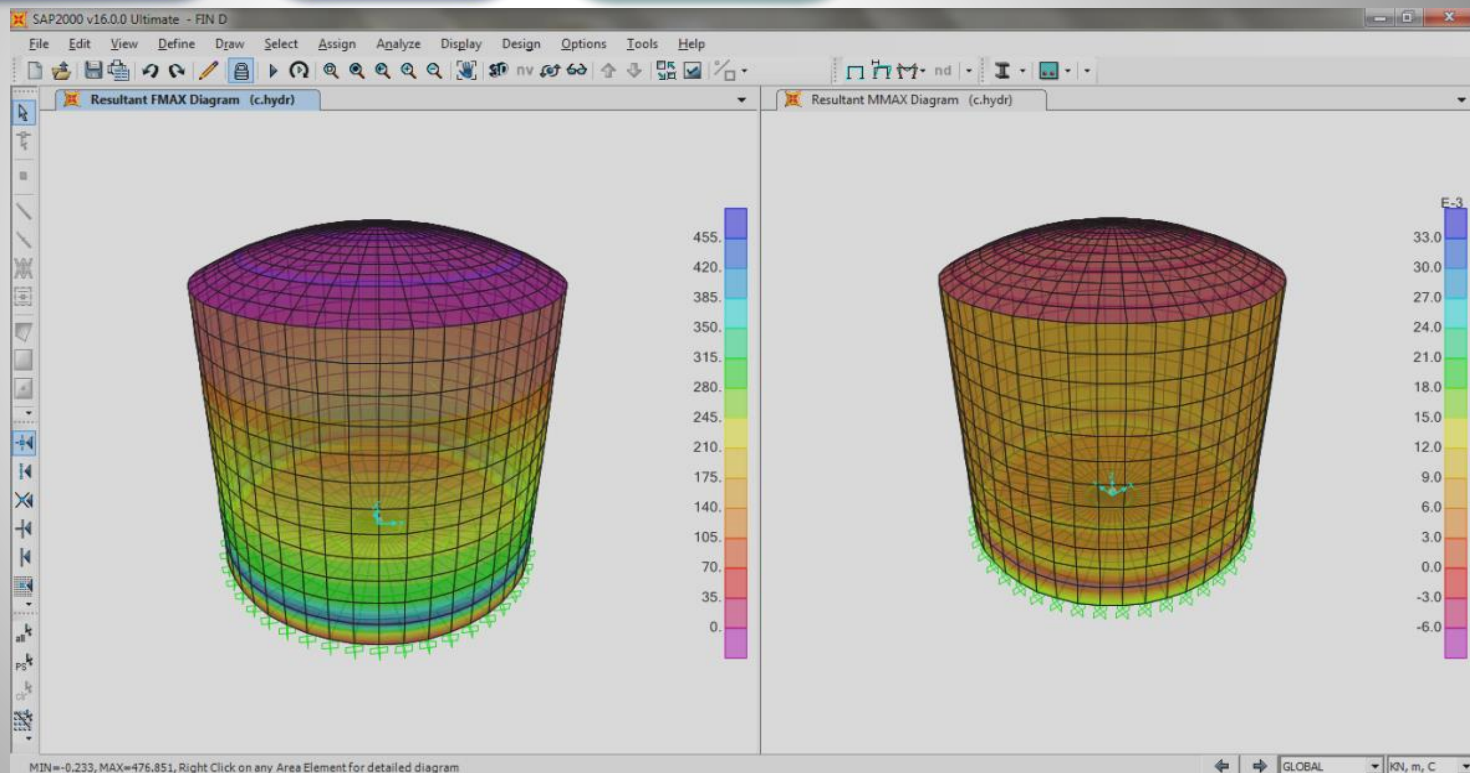


Figure : Moment maximum et l'effort maximal
due à la pression hydrostatique



4-Méthodes de calcul

introduction

bibliographie

Analyse
théorique

*Méthodes de
calcul*

validation

conclusion

Tableau des périodes et fréquences en SAP

Méthodes
simplifiées

Méthodes
numériques

TABLE: Modal Periods And Frequencies						
<u>OutputCase</u>	<u>StepType</u>	<u>StepNum</u>	<u>Period</u>	<u>Frequency</u>	<u>CircFreq</u>	<u>Eigenvalue</u>
<u>Text</u>	<u>Text</u>	<u>Unitless</u>	<u>Sec</u>	<u>Cyc/sec</u>	<u>rad/sec</u>	<u>rad2/sec2</u>
MODAL	Mode	1	0.210619	4.7479	29.832	889.95
MODAL	Mode	2	0.210619	4.7479	29.832	889.95
MODAL	Mode	3	0.209185	4.7804	30.036	902.19
MODAL	Mode	4	0.209185	4.7804	30.036	902.19
MODAL	Mode	5	0.20263	4.9351	31.008	961.51
MODAL	Mode	6	0.20263	4.9351	31.008	961.51
MODAL	Mode	7	0.196565	5.0874	31.965	1021.8
MODAL	Mode	8	0.196565	5.0874	31.965	1021.8
MODAL	Mode	9	0.189098	5.2883	33.227	1104
MODAL	Mode	10	0.189098	5.2883	33.227	1104
MODAL	Mode	11	0.17476	5.7221	35.953	1292.6
MODAL	Mode	12	0.17476	5.7221	35.953	1292.6

5-Validation

introduction

bibliographie

Analyse
théorique

*Méthodes
de calcul*

Validation

conclusion

Préambule

Expérimentation

Résultats

Dans cette partie, il sera question de mettre en pratique les méthodes d'analyse et de calcul proposées. Cela permettra tout d'abord de cerner avec exactitude tous les différents paramètres mis en œuvre et utilisés par ces méthodes. L'expérimentation analytique mise en œuvre sera faite sur un exemple de réservoirs circulaire en acier reposant sur le sol et soumis à une action, sismique. Ce réservoir sera étudié en utilisant une méthode donnée par *l'Eurocode 8*, une méthode proposée par le Code Indien parasismique, le **code IS 1893** (*l'Indian standard 1893*).



5-Validation

introduction

bibliographie

Analyse
théorique

*Méthodes
de calcul*

Validation

conclusion

Préambule

Expérimentation

Résultats

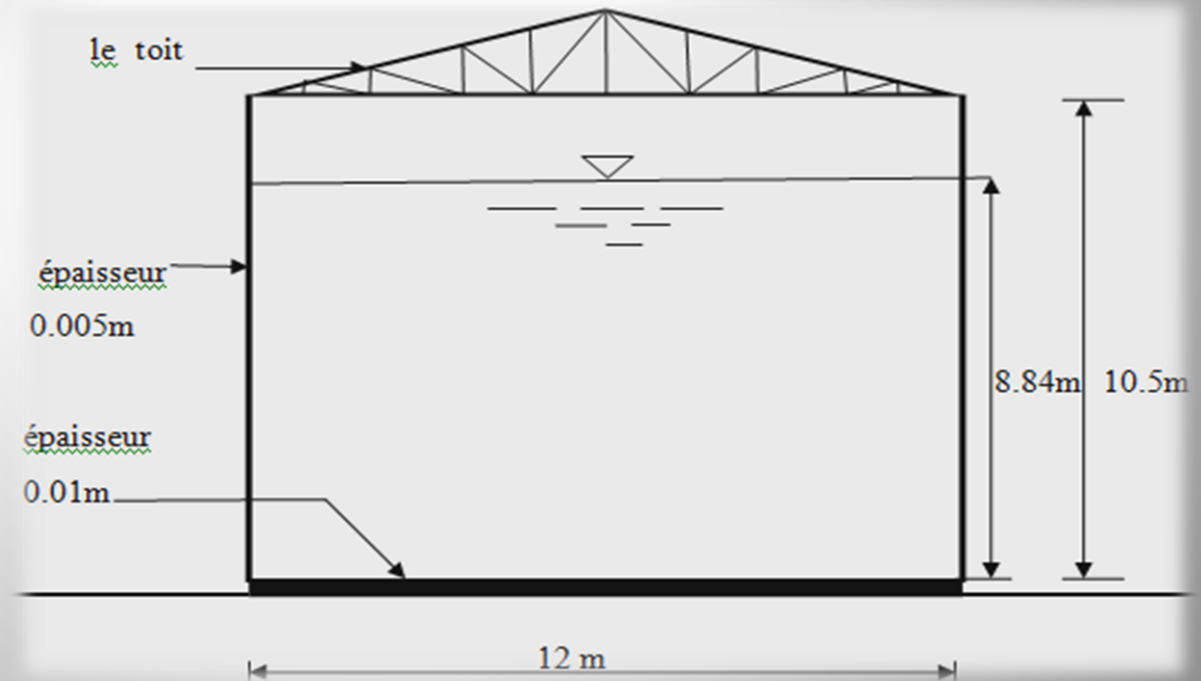


Figure 5.1 Schéma d'un réservoir rempli d'un liquide



5-Validation

introduction

bibliographie

Analyse
théorique

*Méthodes
de calcul*

Validation

conclusion

Préambule

Expérimentation

Résultats

Cas	EC8	IS1890	Rapport
Ti	0.113	0.112	1.0
Tc	3.62	3.64	0.99
M _i	509.25	527.3	0.97
M _c	240	232	1.035
V	265.2	267	0.99
M	1105.5	934	1.18
M'	1375.5	1411.6	0.97

Tableau 5.2 comparatifs des résultats de l'exemple Par EC8 et IS 1890



5-Validation

introduction

bibliographie

Analyse
théorique

*Méthodes
de calcul*

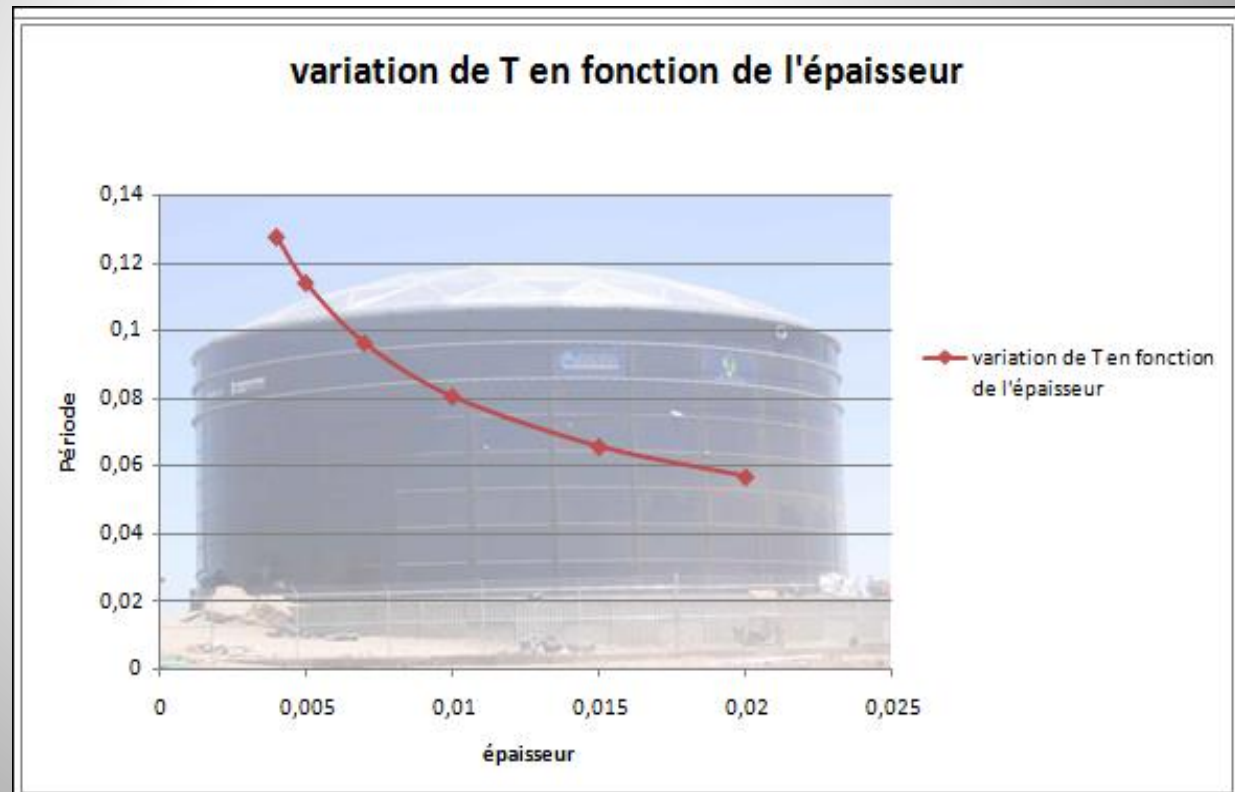
Validation

conclusion

Préambule

Expérimentation

Résultats



5-Validation

introduction

bibliographie

Analyse
théorique

*Méthodes
de calcul*

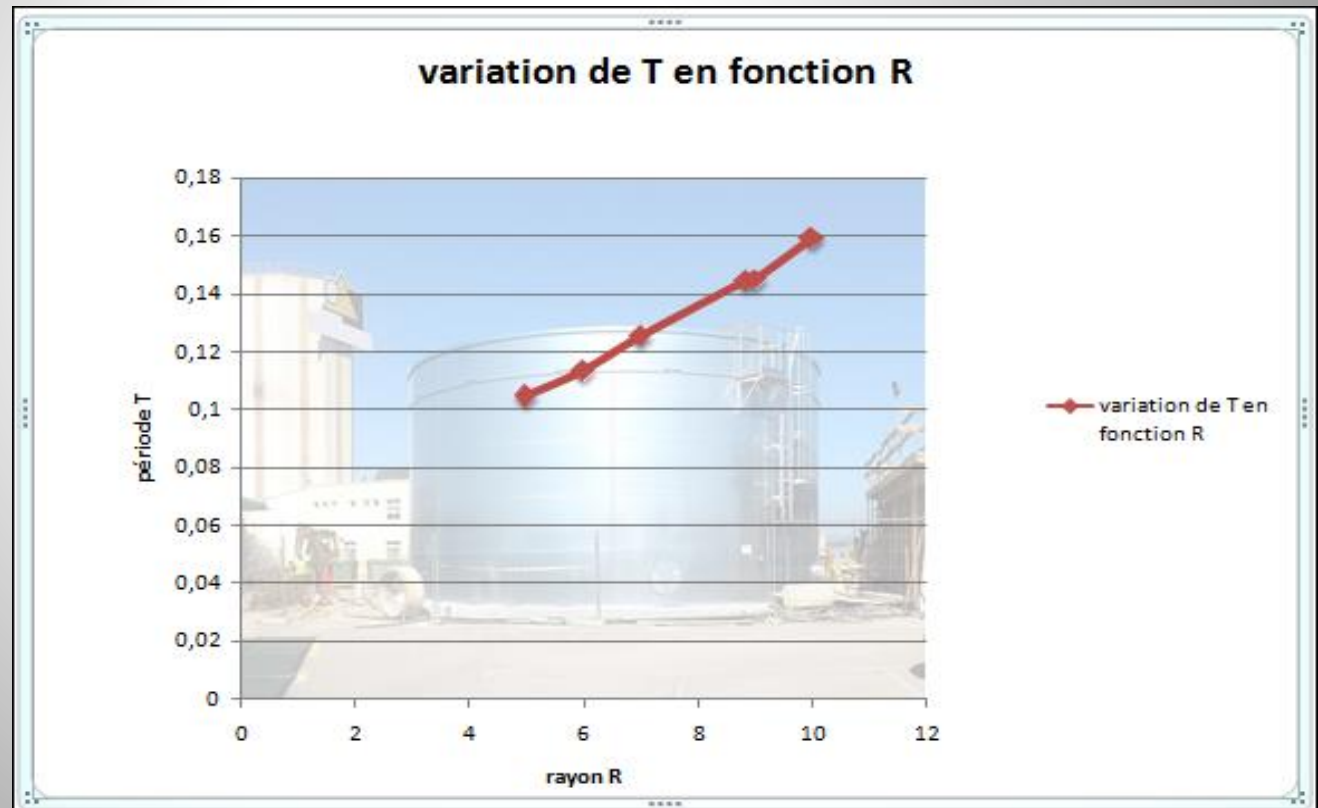
Validation

conclusion

Préambule

Expérimentation

Résultats



5-Validation

introduction

bibliographie

Analyse
théorique

*Méthodes
de calcul*

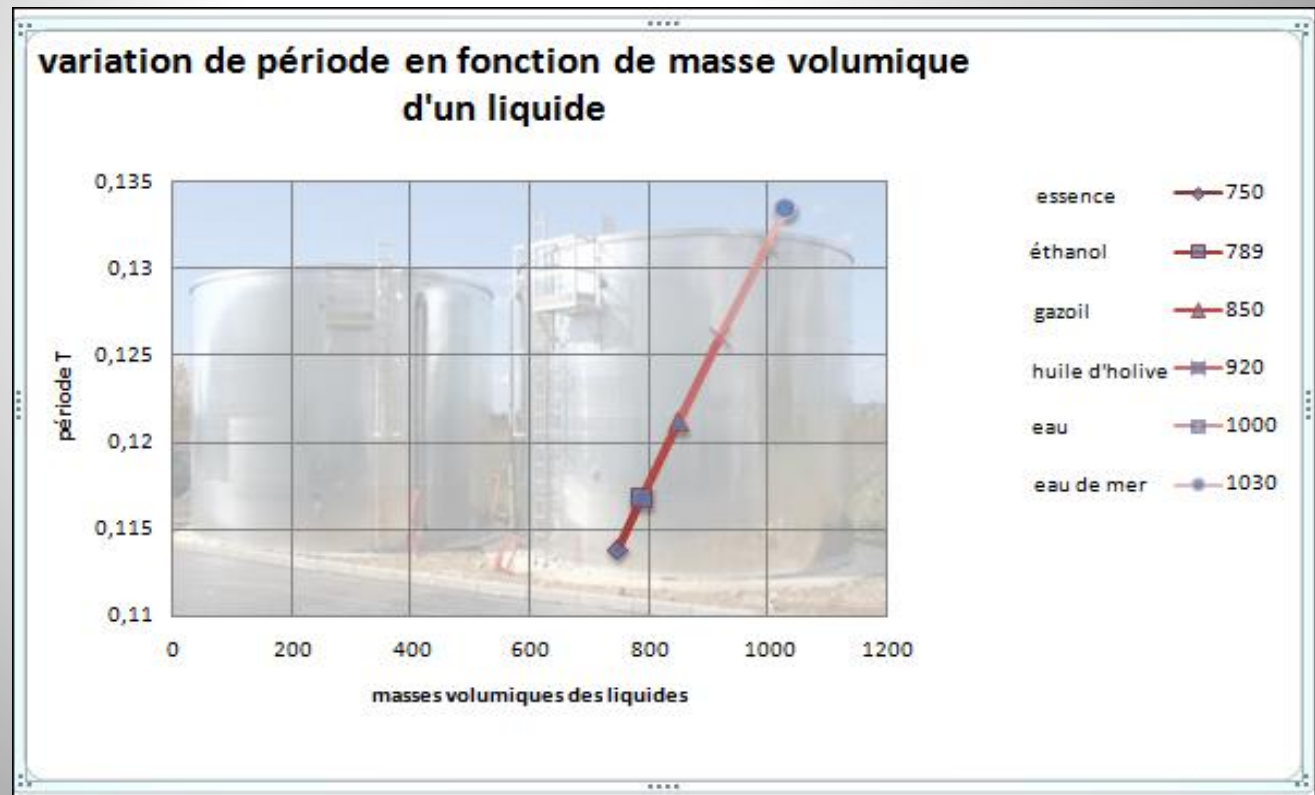
Validation

conclusion

Préambule

Expérimentation

Résultats



5-Validation

introduction

bibliographie

Analyse
théorique

Méthodes
de calcul

Validation

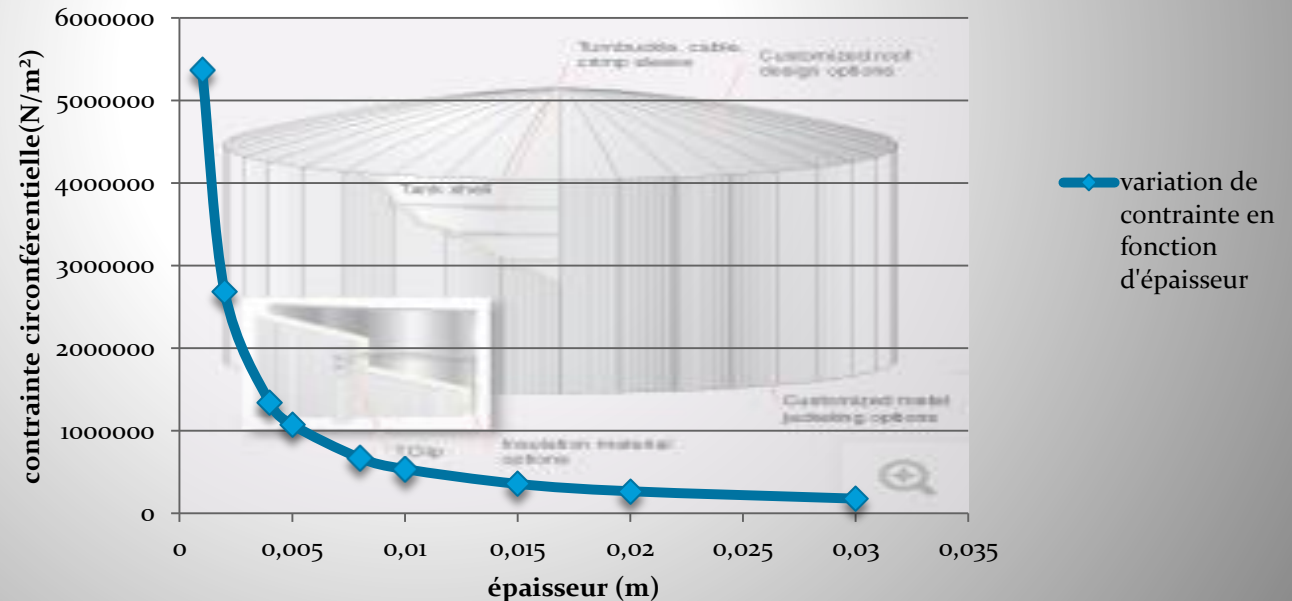
conclusion

Préambule

Expérimentation

Résultats

variation de contrainte circonférentielle en
fonction d'épaisseur



Conclusion

introduction

bibliographie

Analyse
théorique

*Méthodes
de calcul*

Validation

Conclusion

La grande majorité des recherches entreprises jusqu'à nos jours portent sur l'étude du comportement dynamique des réservoirs cylindriques qui constituent les structures les plus répandues et les plus critiques, dans le domaine de l'industrie.

Notre étude est basée sur l'analyse et le calcul des réservoirs de carburant en zone sismique par des méthodes approchées basées sur les règlements ***Européen EC8 et le règlement indien IS 1893.***



Conclusion

introduction

bibliographie

Analyse
théorique

*Méthodes
de calcul*

Validation

Conclusion

Les résultats ainsi obtenu sont très comparables, il s'agit *des périodes impulsive, convective, l'effort tranchant a la base, le moment fléchissant de renversement* Et d'autres résultats dérivés telles que *les pressions hydrodynamique, hydrostatique et les hauteurs des vagues du a l'effet de ballotement.*

Les résultats obtenus par le logiciel SAP 2000 nous ont permis surtout de *visualiser le comportement et le mode de déformation* du réservoir sous l'effet sismique ainsi que les différents efforts résultants.



***Merci pour votre aimable
attention***

Juillet 2015