

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

Université Ahmed Draia Adrar
Faculté Des Sciences et de Technologies
Département Des Sciences et Technologie



Mémoire De Fin D'étude En Vue De L'obtention Du Diplôme :

Master En Génie Civil

Option : Structure

Présenté Par :

ROUMMANI Aicha

BAHADJ Aicha

THEME

**Étude comparative entre SAP2000 et ROBOBAT pour
un bâtiment en BA, en utilisant les résultats du modèle
réduit**

Soutenu Le 07/07/2019 Devant Les membre de jury composé de :

Mme. AIT-HAMMOUDA KHEDIDJA	Univ. Adrar	Président
Mr. BASSOUD ABDELKADAR	Univ. Adrar	Examineur
Mme. BAKRAOUI KELTOUM	Univ. Adrar	Encadreur
Mr. HAMOUDA ABDELAZIZ	Univ- Adrar	Co-Encadreur

Année Universitaire 2018-2019

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Thème:

Etude comparative entre SAP2000 et ROBOBAT
pour un bâtiment en BA, en utilisant les résultats du
modèle réduit

Remerciements

Nous remercions avant tout Allah de nous avoir gardés en bonne santé afin de mener à bien ce projet de fin d'étude. Nous remercions également nos familles pour les sacrifices qu'elles ont fait pour que nous terminions nos études.

*Nous exprimons toutes nos profondes reconnaissances à notre encadreur **Mme .Bekraoui Keltoum**, et **Mr. Hamouda Abdelaziz** qui nous a témoigné de sa confiance et de son aide scientifique et qui par son expérience et sa compétence.*

Nous adressons de chaleureux remerciements à tous les enseignants et les travailleurs de Département de Génie Civil.

Nous remercions également les membres des jurys pour l'effort qu'ils feront dans le but d'examiner ce modeste travail.

Mes remerciements vont également à tous ceux qui de près ou de loin nous ont apporté aide et encouragement. Qu'ils trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.

Dédicaces

Tout d'abord, louange à « ALLAH » qui m'a guidé sur le droit chemin tout au long du travail et m'a inspiré les bons pas et les justes réflexes. Sans sa miséricorde, ce travail n'aura pas abouti.

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer toute ma reconnaissance et

Remerciements à:

*A mes très chers parents **Belkacem** et **Fatma** et Mon mari **Mouhamed** qui m'ont guidé durant les moments les plus pénibles de ce long chemin, ma mère qui a été à mes côtés et ma soutenu durant toute ma vie, et mon père qui a sacrifié toute sa vie afin de me voir devenir ce que je suis, merci mes parents.*

Mes frères : Mahmoud, Mouhamed, Abd elhadi, Marwan

Mes sœurs : Zahra, Meriem, Saliha, Khadidja, et Rahil

Ainsi qu'à toutes la famille Bahadj et Toutou sans exception

A celui qui m'a collaboré dans la réalisation de ce mémoire, à toi BahadjAicha,

Ainsi que toute la promotion de Génie Civil 2018/2019

BahadjAicha

«وما توفيقى الا بالله عليه توكلت واليه ائيب»

Dédicaces

Si je vais dédier ce travail à quelqu'un cela ne sera que pour ma chère mère et à âme ma cher père, qui n'ont épargné aucun effort pour que je puisse arriver à ce stade mais je dois dédier ce travail à d'autres personnes qui ont une place dans ma vie.

- *A âmes mes chers frères et mes sœurs.*
- *A toute ma famille ROUMMANI.*
- *A tout enseignants dans ma vie.*
- *A ma promotion 2018-2019.*

ROUMMANI Aicha

«وما توفيقى الا بالله عليه توكلت وإليه أنيب»

Résumé

L'importance de comprendre les effets des séismes sur les structures pour le génie civil est évidente. Les tables vibrantes est un modèle de restitution d'ondes sismiques sont utilisées pour l'étude du comportement dynamique d'éléments structuraux (souvent à échelle réduit) et permettant la reproduction des phénomènes dynamiques et vibratoires dans tous les degrés de liberté similaires à ceux induits par les séismes.

Dans notre étude, nous avons tenté une simulation d'un séisme sur un Structure à ossature simple auto stable en béton armé à R+11 étages sous forme d'onde d'excitation naturelle et artificielle : onde d'El Centro, onde de Kobe, onde artificielle de Shanghai, l'intervalle de temps d'accélération distincte de l'enregistrement initial est de 0,02 seconde et les pics grounds d'accélération (PGA) a été ajusté à 0.030 , 0.035, 0.05 ,0.085et 0.1 g.

Ensuite nous comparons les données obtenues à partir de systèmes de mesure avec des modèles de simulation, nous notons que la plupart des résultats était un peu similaire aux résultats du test modèle, mais le ROBOT était beaucoup plus proche cette différence peut être revient soit à la précision la méthode du calcul de chaque logiciel ou bien le pourcentage d'erreur provoqué par la modèle réduite.

Enfin, nous constatons que cette étude peut aider à améliorer le développement de modèles de génie civil prédictifs appropriés.

Mots clés : table vibrante, modèle réduite, onde sismique, simulation.

Abstract

The importance of understanding the effects of earthquakes on structures for civil engineering is obvious. The shaking tables is a model of seismic wave restitution are used for the study of the dynamic behavior of structural elements (often on a reduced scale) and allowing the reproduction of dynamic and vibratory phenomena in all degrees of freedom similar to those induced by earthquakes.

In our study, we attempted to simulate an earthquake on a multi storey frame reinforced concrete structure at R + 11 under natural and artificial seismic excitation: El Centro wave, Kobe wave, and Shanghai artificial wave, the time interval distinct acceleration of the initial recording is 0.02 second, and the grounds peak acceleration (PGA) was adjusted to 0.030, 0.035, 0.05, 0.085 and 0.1 g.

Then we compare the data obtained from measurement systems with simulation models, we note that most of the results were a little similar to the results of the model test, but the ROBOT was much closer this difference can be comes back to either the calculation method for each software or the percentage of error caused by the reduced model.

Finally, we find that this study can help improve the development of appropriate predictive civil engineering models.

Key words: shaking table, reduced model, seismic wave, simulation.

ملخص :

أهمية فهم آثارا لزلزال على هياكل الهندسة المدنية جلية. وتعد اللوحات الاهتزازية نموذجًا لاستنتاج الموجات الزلزالية المستخدمة في دراسة السلوك الديناميكي للعناصر الهيكلية للبناء (غالباً على نموذج مصغر) والسماح باستنتاج الظواهر الديناميكية والاهتزازية في جميع درجات الحرية المشابهة لتلك الناتجة عن الزلازل.

في دراستنا حاولنا محاكاة زلزال على هيكل بنائية من الخرسانة المسلحة مكون من طابق أرضي + 11 طابقاً حيث أن شكل الموجات المستعملة طبقت على النوعين الطبيعي والاصطناعي: موجة El centro، موجة kobe، شنغهاي موجة اصطناعية، الفاصل الزمني للتسجيل الأولي هو 0.02 ثانية وتم ضبط شدة مجال التسارع (PGA) إلى 0.030، 0.035، 0.05، 0.085 و 0.1 g.

ثم قمنا بمقارنة البيانات التي تم الحصول عليها من أنظمة القياس بنموذجي المحاكاة ولاحظنا أن معظم النتائج كانت متقاربة إلى حد كبير مع نتائج اختبار النموذج لكن نتائج ROBOT كانت الأقرب يعود هذا الاختلاف إلى طريقة التحليل بالنسبة لكل برنامج أو نسبة الخطأ الناتجة عن النموذج المصغر.

أخيراً، نجد أن هذه الدراسة يمكن أن تساعد في تحسين تطوير نماذج الهندسة المدنية التنبؤية المناسبة

الكلمات المفتاحية: لوحة إهتزازية، نموذج مصغر، موجة زلزالية، محاكاة.

Table des matières

REMERCIEMENTS	II
DEDICACES.....	III
DEDICACES.....	IV
RESUME	V
ABSTRACT	V
TABLE DES MATIERES	VII
LISTE DES FIGURES.....	X
LISTE DES PHOTOS.....	XI
TABLE DE NOTATION ET ABREVIATIONS	XII
INTRODUCTION GENERALE	XIII
CHAPITRE I.....	3
PRESENTATION DU LOGICIEL ROBOTBAT ET SAP2000	3
INTRODUCTION:.....	4
I.1 CONCEPT DE BASE DE LA M.E.F :.....	4
I.2 LOGICIELLE SAP2000 (STRUCTURAL ANALYSIS PROGRAM)	4
I.2.1. Description du SAP 2000.....	4
I.2.2. Modélisation avec logiciel SAP2000	4
I.2.3. Généralité sur SAP2000 :	5
I.3 LOGICIELLE RBOTBAT (STRUCTURAL ANALYSIS PROGRAM).....	6
I.3.1 Description du ROBOTBAT:.....	6
I.3.2 Différents étapes de modélisation avec le logiciel ROBOTBAT :	7
I.3.3 Généralité sur le robot :	7
I.4 LES ELEMENTS COMMUNS ENTRE LES DEUX LOGICIELS	8
I.4.1. Maillage EF :	8
I.4.2. Lecture des résultats :	9
I.4.2.1. Pour le SAP 2000 :	9
I.4.2.2. Pour le ROBOTBAT:	9
CHAPITRE II.....	10
LES MODELES REDUITS ET LA TABLE VIBRANT	10
INTRODUCTION.....	11
II.1 MODELE REDUITE.....	11
II.2 TABLE VIBRANTE	12
II.2.1. Définition :.....	12
II.2.2. Les objectifs des tests sur tables vibrantes.....	13
II.2.3. Les principaux avantages des essais sur table vibrante sont : [10].....	13
II.2.4. Les principaux inconvénients des essais sur table vibrants sont : [10].....	14
II.2.5. Projets de développement du système de vibration :.....	17
II.2.6. Table vibrante Algérie	17

II.2.7.	<i>Table vibrant Tongi</i>	18
II.3	LES METHODES CALCULENT DES BATIMENTS.....	19
II.3.1.	<i>Les analyses statiques</i>	19
II.3.1.1.	Statique linéaire:	19
II.3.1.2.	Analyse statique non-linéaire (pushover)	21
II.3.1.3.	L'analyse de Flambement Linéaire	22
II.3.2.	<i>Les Analyse dynamique</i>	24
II.3.2.1.	L'analyse harmonique :	24
II.3.2.2.	L'analyse de fréquence naturelle :	25
II.3.2.3.	Analyse de la réponse d'une structure.....	27
II.3.2.4.	Analyse dynamique transitoire linéaire.....	28
II.3.2.5.	Analyse dynamique transitoire non linéaire	29
II.3.2.6.	Analyse temporelle	30
CHAPITRE III	.....	33
TEST DU MODELE DANS TABLE VIBRANTE	.....	33
STRUCTURE EN BETON ARME RDC+11 ETAGES	.....	34
III.1.	DESCRIPTION DU MODELE	34
III.2.	SIMILARITE DE LA CONCEPTION DU MODELE :	34
III.3.	LA CONCEPTION ET LA FABRICATION DU MODELE:	36
III.4.	.MATERIAUX DE PERFORMANCE :	37
III.5.	LES POINTS DES MESURES :	39
III.6.	.LES ONDES D'ACCELERATION UTILISEES DANS LE TEST :	41
III.7.	SYSTEME DE CHARGEMENT PENDANT LE TEST.....	45
III.8.	.PHENOMENE DE TEST.....	45
CHAPITRE IV	.....	48
MODELISATION DE MODELE PAR ROBOT ET SAP2000	.....	48
INTRODUCTION :	.....	49
IV.1.	MODELISATION PAR ROBOT AUTODESK :	49
IV.1.1.	<i>Choix de type d'affaire</i> :	49
IV.1.2.	<i>Type de structure</i> :.....	49
IV.1.3.	<i>La géométrie</i> :	50
IV.1.4.	<i>Les conditions d'appui</i>	51
IV.1.5.	<i>Les charges</i> :.....	51
IV.1.6.	<i>Type d'analyse</i> :	52
IV.2.	MODELISATION SUR LE LOGICIEL SAP2000 :	56
IV.2.1.	CREATION D'UN NOUVEAU FICHER :	56
IV.2.2.	DEFINITION DES ELEMENTS :	56
IV.2.3.	DEFINITION DES DIMENSIONS DES ELEMENTS :	57
IV.2.4.	DEFINITION DES CAS DE CHARGE :	57
IV.2.5.	TYPE D'ANALYSE :(RESPONSE FUNCTIONS TIME HISTORY).....	58
CHAPITRE V	.....	62
RESULTAT ET COMPARAISON	.....	62
INTRODUCTION:	.....	66
V.1.	<i>La réponse de la structure sous l'excitation sismique qui on utilisé</i>	66
V.2.	<i>la résistance de béton</i> :	71
V.2.1.	<i>Définition de béton</i>	71

V.2.2.	<i>DIAGRAMME DEFORMATIONS-CONTRAINTES DU BETON.....</i>	<i>72</i>
V.2.3.	<i>DIAGRAMME DEFORMATIONS-CONTRAINTES DES ACIERS</i>	<i>73</i>

Liste des Figures

figure 1:table sismique azalee du cea-saclay d'apres [sollogoub, 2007]	15
figure 2: courbe de capacite (pushover) d'une structure [15]	22
figure 3:courbe charge-deplacement pour le flambement.....	24
figure 4 : detail du modele et plans de renforcement	38
figure 5 : dispositions des points de mesure pendant l'essai	39
figure 6:accelerogramme et le spectre de reponse de el centro onde	42
figure 7:accelerogramme et le spectre de reponse de el centro onde kobe	43
figure 8:accelerogramme et le spectre de reponse de shanghai artificiel ond	44
figure 9 :accelerogramme et le spectre de reponse de el centro onde substrat rocheux d	44
figure 10 :sh10 carte des fissures de structure apres le test	48
figure 11 : selectionnerent de l'affaire.....	50
figure 12 : ligne de construction.....	51
figure 13 : caracteristique geometriques des poteaux et poutres.....	51
figure 14 : les differents types des appuis	52
figure 15 : cas des charges	52
figure 16 : charges uniformement repartie	53
figure 17 : choix le type d'analyse.....	54
figure 18 : type d'analyse temporelle	54
figure 19 : l'onde sismique elcx.....	55
figure 20: les caracteristiques de l'onde sismique el1_el centro(x)	55
figure21: les caracteristiques de l'onde sismique el1_el centro(x)	56
figure22: les caracteristiques de l'onde sismique ez2_el centro(x, y, z)	56
figure 23: types des structures.....	57
figure24 : ligne de construction.....	58
figure 25 : element frame –	58
figure 26 : definition des cas de charge.....	59
figure 27: les caracteristiques de l'onde sismique el1_el centro(x)	59
figure28: les caracteristiques de l'onde sismique el1_el centro(x)	60
figure 29: les caracteristiques de l'onde sismique ey1_el centro(x, y)	60
figure30: les caracteristiques de l'onde sismique ez2_el centro(x, y, z)	61
figure31: les ondes de la premiere phase	61
figure 32 : combinaison de charge	62
figure 33: lancement de l'analyse	62
figure 34: deplacement maximal de structure suivant le sans x sous l'ond elcentro n s.....	66
figure 35 : deplacement maximal par etage sous les onds (sj1 –ey1-sh1).....	67
figure 36 deplacement maximal de structure sous l'ond (sh1)	68
figure 37 deplacement maximal de structure sous l'ond (ey1)	68
figure 38 deplacement maximal de structure sous l'ond (kz2) suivante le sans y	69
figure 39 deplacement maximal de structure sous l'ond (kz2)suivante le sans z	69
figure 40 : deplacement maximal de structure sous l'ond (ey2, kz2, ez2).....	70
figure 41: diagramme parabole-rectangle	72
figure 42: diagramme de calcul.....	73

Liste des photos

PHOTO 1: ESSAI SUR MAQUETTE GC-TABLE AZALEE CEA/SACL [10].....	14
PHOTO 2: ESSAI SEISMIQUE SUR UNE STRUCTURE EN BETON ARMEE (CEA) [10].....	15
PHOTO 3:EXEMPLE DE STRUCTURE REELLE TESTEE SUR TABLE VIBRANTE (MIKI) [SOLLOGOUB, 2007]:	16
PHOTO 4 : ESSAI S10H	44

Liste des Tableaux

TABLEAU 1:LES INSTALLATIONS EXPERIMENTALES EXISTANTES DANS LE MONDE	16
TABLEAU 2 :EXPERIMENTAL RELATIONS DE SIMILARITE DYNAMIQUE	35
TABLEAU 3: DETAILS DU MODELE ET DU PROTOTYPE.....	36
TABLEAU 4 :CARACTERISTIQUES MECANIQUES DE BETON C30.....	36
TABLEAU 5: RESULTATS D'ESSAIS DE BETON.....	37
TABLEAU 6: RESULTAT DE TEST D'ACIER DE RENFORCEMENT	37
TABLEAU7: SYSTEME DE CHARGEMENT DE TEST	40
TABLEAU8 : RESULTAT DES CONTRAINTES OBTENUES	74
TABLEAU 9 : RESULTAT DES CONTRAINTES OBTENUES.....	745

Table de notation et abréviations

U	Vecteur de déplacement nodal inconnu
P	Vecteur de charge nodale équivalente globale
K	Matrice de rigidité géométrique globale
λ	Facteur de charge de flambement
M	Matrice de masse globale
C	Matrice d'amortissement global
P(t)	Vecteur de charge appliqué (sinusoïdal)
U(t)	Vecteur de déplacement nodal inconnu
$\dot{u}(t)$	Dérivée temporelle au premier ordre de u (t) (vitesse)
$\ddot{u}(t)$	Dérivée temporelle au deuxième ordre de l'accélération u (t)
\ddot{u}	Seconde dérivée du vecteur de déplacement
f(t)	Vecteur de force de l'élément global (résistance interne)
α	Coefficient multiplicateur donné par l'utilisateur.
β	Coefficient multiplicateur donné par l'utilisateur.
d	Vecteur de déplacement
v	Vecteur de vitesse
a	Vecteur d'accélération
F	Vecteur de charge
σ_{bc}	Contrainte de compression du béton
f_{cj}	Résistance caractéristique du béton en compression a j jours
f_{bu}	Résistance conventionnelle ultime a la compression
ε_{bc}	Déformation du béton en compression
γ_b	Coefficient de sécurité
ϑ	Dépend de la durée d'application des charges.

Introduction générale

Introduction générale

Dans le domaine génie civil, on dispose de nombreux programmes basés sur la méthode des éléments finis M.E.F permettant le calcul automatique des ouvrages. L'ingénieur pourrait donc ignorer les principes de la M.E.F, il lui suffirait de savoir utiliser les programmes de calcul et de connaître les règlements en vigueur. Seulement, cet utilisateur serait incapable de se rendre compte de la correction des résultats donnés par l'ordinateur.

Le développement des programmes de conception et de calculs des structures de génie civil permettent de faciliter les tâches et d'obtenir des résultats efficaces. Ces programmes sont basés sur les principes de la méthode des éléments finis (MEF).

L'utilisation de ces programmes de calcul est subordonnée en premier cas de maîtriser la synthèse et le fonctionnement de ces programmes et de connaître les règlements en vigueur.

Dans le cadre d'une bonne familiarisation avec les principaux logiciels de calcul utilisés dans l'analyse des structures, nous avons tenté une simulation d'un séisme sur une structure à ossature simple auto stable en béton armé à R+11 étages en appliquant les différentes formes d'onde d'excitation naturelle et artificielle: onde d'El Centro, onde de Kobe, onde artificielle de Shanghai.

À la lumière de ces résultats, il existe plusieurs méthodes d'analyse dynamique choisies par l'ingénieur pour l'amélioration de la résistance des bâtiments au séisme, parmi ces méthodes on trouve la méthode d'analyse temporelle (accélérogramme).

L'objectif principal de notre étude est :

- d'apprendre et maîtriser les programmes de calcul automatique des structures de bâtiments (SAP2000 et ROBOBAT) ;
- évaluer le comportement statique et dynamique de bâtiments multi-étagés en béton armé ;
- comparer les résultats obtenus à partir de systèmes de modèle réduit avec des modèles de simulation numérique.

Notre mémoire a été structuré comme suit :

Après une introduction générale dans laquelle est présenté le thème et l'objectif du travail, le mémoire est structuré en six chapitres de la manière suivante :

Le **chapitre I** est consacré à une présentation de logicielle SAP2000 et ROBOBAT.

Le **chapitre II** consiste une introduction sur les modèles réduites et la table vibrante, nous avons aussi mentionné les différentes méthodes calcule des bâtiments.

Le **chapitre III** présentera test du modèle dans table vibrante

Le **chapitre IV** portera sur la modélisation du modèle sur le logiciel de calcul SAP 2000 et ROBOBAT, puis une description de la méthode de simulation qui est méthode temporelle (Time history Analysis)

Le **chapitre V** portera une étude comparative des résultats obtenus par les deux logicielle avec les résultats du test modèle.

Finalement, le travail s'achève par des conclusions suivies d'une bibliographie.

Chapitre I
Présentation du logiciel
ROBOTBAT et SAP2000

Introduction:

A l'heure actuelle, on dispose de nombreux programmes basés sur la méthode des éléments finis M.E.F permettant le calcul automatique de structures diverses. L'ingénieur pourrait donc ignorer les principes de la M.E.F, il lui suffirait de savoir utiliser les programmes de calcul et de connaître les règlements en vigueur. Seulement, cet utilisateur serait incapable de se rendre compte de la correction des résultats donnés par l'ordinateur.

Il est donc indispensable que tout ingénieur connaisse les bases de la M.E.F, et comprenne également le processus de la phase de solution.

I.1 Concept de base de la M.E.F :

La méthode des éléments finis est une généralisation de la méthode de déformation pour les cas de structure ayant des éléments plans ou volumineux. Ces sont connectés entre eux par des nœuds situés sur les limites de ces éléments. Les structures réelles sont définies par un nombre infini de nœuds.

La structure étant ainsi subdivisée, elle peut être analysée d'une manière similaire à celle utilisée dans la théorie des poutres. Pour chaque type d'éléments, une fonction de déformation (fonction de forme) de forme polynomiale qui détermine la relation entre la déformation et la force nodale peut être dérivée sur la base de principe de l'énergie minimale, cette relation est connue sous le nom de la matrice de rigidité de l'élément. Un système d'équation algébrique linéaire peut être établi en imposant l'équilibre de chaque nœud, tout en considérant comme inconnues les déformations aux niveaux des nœuds.

I.2 Logicielle SAP2000 (Structural Analysis Program)

I.2.1. Description du SAP 2000

SAP2000 est un logiciel de calcul des structures basé sur la méthode des éléments finis, spécialement dédié à l'analyse de la résistance et de la stabilité des structures. Les calculs sous **SAP2000** sont effectués sous action statiques et dynamiques il permet aussi la vérification des sections d'aciers nécessaires à la résistance des pièces en béton armé, selon différentes règles internationales. [1]

I.2.2. Modélisation avec logiciel SAP2000

Le logiciel permet de modéliser facilement et rapidement tous types de bâtiments grâce une interface graphique unique. En utilisant l'innombrable outil disponible. En effet, un

Chapitre I : Présentation du logiciel ROBOTBAT et SAP2000

structure peut être composée en sous schémas (portiques, treillis, dalle, voile) chaque élément est défini dans sa base graphique correspondante, ensuite ces éléments sont assemblée en modèle final de calcul. Quant a' la compatibilité, elle s'effectue de façon automatique.

La modélisation sur SAP2000 consiste en les étapes suivantes : [2]

- Entrer la géométrie du modèle (position des nœuds, connectivité des éléments);
- Spécifier les propriétés des éléments et les assigner aux éléments;
- Définir les cas de charges (statique et dynamique) et assigner ces charges aux nœuds et aux éléments;
- Spécifier les conditions aux limites (appuis, diaphragmes,...etc.);
- Démarrer l'exécution du problème, apporter des corrections au modèle s'il y a lieu;
- Visualiser les résultats (à l'écran, sur fichier, etc....).

I.2.3. Généralité sur SAP2000 :

- La modélisation par le logiciel Sap2000 ne permet de considérer que les éléments structuraux, quant aux éléments secondaires, ils sont modélisés soit par des masses concentrées aux nœuds, soit par des charges qui s'ajoutent aux poids des éléments structuraux;
- La modélisation des éléments travaillant en contraintes planes (voile, dalle...) se fait à travers les éléments Shell, si les planchers sont conçus en dalle pleines, aucun problème ne se présente, par contre si les planchers sont en corps creux, il faudrait définir l'épaisseur adéquate et les caractéristiques du matériau qui représente le mieux le corps creux, ou bien apporter aux nœuds des masse qui correspondent à la masse des planchers;
- Conditions aux limites : les structures sont considérées appuyées (encastrement, appuis simples ou doubles) au niveau du sol de fondation, néanmoins le logiciel Sap2000 permet d'étudier l'interaction sol-structure en remplace les appuis rigides par des appuis élasticité du sol de fondation calculé par les différents méthodes de la mécanique des sols;
- Possibilité d'effectuée l'analyse des structures conçues avec n'importe quel matériau;
- Le logiciel sap2000 procède dans sa base de donnée des spectres de repense définis par le code sismique américain et qui sont les suivants UBC94S1, UBC94S2 ET UBC94S;

Chapitre I : Présentation du logiciel ROBOTBAT et SAP2000

- Le SAP2000 permet de calculer uniquement le ferrailage les éléments barre et ne donne que la section d'acier selon différentes normes;
- possibilité d'importer ou exporter à d'autres logiciels tels qu'Excel, AUTOCAD...
- le SAP2000 est un logiciel avec une seule langue (anglais);
- le SAP2000 est un logiciel professionnel adapté aux constructions en béton armé, en acier, ou mixtes, et qui est très performant pour les portiques auto stables;
- possibilité de modéliser des structures qui sortent du domaine du génie civil ou travaux publics.

I.3 Logicielle RBOTBAT (structural Analysis program)

I.3.1 Description du ROBOTBAT:

Le logiciel robot propose aux ingénieurs structures des fonctionnalités de simulation et d'analyse structurelle évoluées pour des structures vastes et complexes de la construction.

Ce logiciel est un logiciel interactif basé sur la méthode des éléments finis. Il est utilisé dans les calculs scientifiques et les problèmes d'ingénierie parce qu'il permet de résoudre des problèmes numériques complexes en moins de temps requis par rapport les calculs manuelles courants. Et ce grâce à une multitude de fonctions intégrées et à plusieurs options de calcul testés et regroupés selon usage dans ce logiciel. [4]

Les caractéristiques principales du logiciel ROBOT sont les suivantes : [5]

- La définition de la structure réalisée en mode entièrement graphique dans l'éditeur conçu à cet effet (vous pouvez aussi ouvrir un fichier, p. ex. au format DXF et importer la géométrie d'une structure définie dans un autre logiciel CAO/DAO);
- La possibilité de présentation graphique de la structure étudiée et de représentation à l'écran des différents types de résultats de calcul (efforts internes, déplacements, travail simultané en plusieurs fenêtres ouvertes etc.);
- La possibilité de calculer (dimensionner) une structure et d'en étudier simultanément une autre (architecture multithread) ;
- La possibilité d'effectuer l'analyse statique et dynamique de la structure;
- La possibilité d'affecter le type de barres lors de la définition du modèle de la structure et non pas seulement dans les modules métier (très utile pour accélérer le dimensionnement);

Chapitre I : Présentation du logiciel ROBOTBAT et SAP2000

- La possibilité de composer librement les impressions (notes de calcul, captures d'écran, composition de l'impression, copie objets vers d'autres logiciels).

I.3.2 Différents étapes de modélisation avec le logiciel ROBOTBAT :

La modélisation avec le logiciel ROBOT permet de considérer que structuraux, quant aux éléments non structuraux ils sont modélisés soit par masse aux nœuds, soit par des charges qui s'ajoutent au poids des éléments structuraux. La modélisation avec le ROBOT consiste en les étapes suivantes : [6]

- Définition des unités, normes et propriétés des matériaux;
- Définition de la géométrie du model avec :
 - a) Repère
 - b) position des nœuds
 - c) définition des éléments par sous –groupe
 - d) définition des appuis
- Définition et affectation des éléments de construction;
- Définition des chargements;
- Définition de la masse et les charges sismiques;
- Définition des combinaisons;
- Analyse de la structure et traitement des résultats.

I.3.3 Généralité sur le robot :

- Le logiciel ROBOT, permet de modéliser tous les éléments du bâtiment soit éléments porteurs. (Poteau, poutre, viol, fondation...) ou non porteur (cloison,...)
- La modélisation des planchers par le logiciel ROBOT ne présente aucune difficulté même s'ils sont conçus en corps creux;
- Le ROBOT permet de calculer la section d'acier pour chaque élément de la structure suivant BAEL91;
- Les résultats peuvent être présentés en mode graphique (diagrammes) ou en mode texte;
- Le ROBOT permet de générer automatiquement les fondations au premier niveau;
- Le ROBOT permet d'effectuer les vérifications selon plusieurs normes et règlements algériens;

Chapitre I : Présentation du logiciel ROBOTBAT et SAP2000

- conditions aux limites : possibilité de considérer des appuis rigides (encastrement, appuis simples ou doubles) comme il est possible d'introduire les caractéristiques du sol de fondation pour l'étude de l'interaction sol-structure;
- possibilités d'utilisation des câbles de précontrainte dans le système ROBOT;
- le ROBOT nous permet d'obtenir nos résultats sous forme de plans d'exécution;
- le ROBOT calcule la descente de charge automatiquement après la définition de matériaux;
- le ROBOT est un logiciel professionnel adapté aux constructions en acier, en béton, en bois, en béton armé, ou mixtes (béton, acier).

I.4 Les éléments communs entre les deux logiciels

I.4.1. Maillage EF :

Les deux logiciels SAP2000 et ROBOT, sont basés, comme il a été dit précédemment, sur le principe des éléments finis.

L'unique différence entre les deux logiciels se présente au niveau de la génération du maillage.

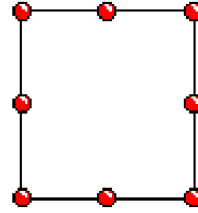
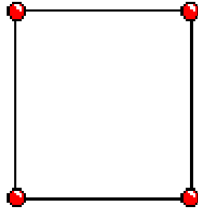
Cependant, le logiciel SAP2000 permet d'utiliser n'importe quel type d'élément (barre, triangle, quadratique, hexagone, ou autre).

Par contre pour le ROBOT il est recommandé d'utiliser les éléments surfaciques à trois ou quatre nœuds (triangle, quadratique).



Dans le cas d'utilisation des éléments à six ou huit nœuds, plusieurs options peuvent fonctionner de façon incorrecte telle que :

- Les relâchements linéaires,
- L'opération booléenne (coupure),
- L'ajustement du maillage entre les panneaux et les barres.



I.4.2. Lecture des résultats :

Pour les deux logiciels, une fois les calculs de la structure sont effectués, les résultats peuvent être consultés de deux façons différentes :

- Sous forme graphique (les diagrammes seront présentés par les barres spécifiques de la structure);
- Sous forme de valeurs numériques (les tableaux affichent les composantes spécifiques des déplacements, réactions, efforts internes...etc.).

I.4.2.1. Pour le SAP 2000 :

- Pour les joints : SAP2000 donne les réactions, les moments aux appuis et le déplacement ...etc.;
- Pour les éléments Frame : SAP2000 donne les éléments de réduction (M, N, T);
- Pour les éléments Shell : SAP2000 donne les efforts internes et les contraintes sous forme graphique ou numérique;
- Le fichier de résultats : SAP2000 affiche les résultats obtenus par l'analyse de structure et plusieurs tableaux selon le choix de l'utilisateur, a savoir : efforts internes, les contraintes, déplacement, masse du niveau, etc.

I.4.2.2. Pour le ROBOTBAT:

La consultation des résultats est plus facile si on sélectionne le bureau RESULTATS (groupe résultat). A la fin des calculs, le Robot CBS nous sous forme de tableau ou diagramme donne les résultats dans différent type (tableaux, diagrammes,...etc.) :

- Le Robot affiche, les numéros des nœuds, et des barres;
- Il génère les efforts réduits sur les voiles;
- générer la note des calculs;
- pour les dalles et voiles on peut voir les efforts normaux, les efforts tranchants et les moments;
- Pour les poteaux et les poutres, on peut voir les efforts normaux et, les moments de torsion et les efforts tranchants;
- On peut obtenir le tableau des résultats modaux....etc.

Chapitre II
Les modèles réduits et la
table vibrant

Introduction

L'importance de comprendre les effets des séismes sur les structures pour le génie civil est évidente. L'équipement essentiel pour l'étude du comportement dynamique structurel en génie parasismique est un simulateur de séisme, ou table vibrante, qui est capable de reproduire les enregistrements historiques de mouvements de sol sismiques afin d'étudier le comportement réel des structures de génie civil.

La table vibrante, ou simulateur de séismes, est l'un des moyens les plus utilisés dans les essais dynamiques en général et particulièrement dans la recherche expérimentale appliquée au génie sismique. [7]

Les expérimentations sismiques sur les bâtiments peuvent être effectuées à échelle réduite sur table vibrant. Ils nécessitent, toutefois, le respect de règles précises, appelées lois de similitude.

II.1 Modèle réduite

La réalisation d'un modèle réduit de la structure est, en général, assez simple. C'est même de là que vient l'attraction des ingénieurs pour les maquettes, On peut en dire de même des conditions aux limites : la restitution des conditions correctes représentant un encastrement, une articulation, une liaison avec frottement unilatéral, un contact lisse, etc., ne pose pas de question au niveau des principes, mais la réalisation peut demander du temps et du soin. [8]

Les effets d'inertie et les problèmes d'assemblage de la structure sont bien représentés, mais la taille des structures sont limitées ou réduites par la taille et la capacité de la table de vibration. [10]

Les modèles utilisés pour les calculs de réponses en dynamique linéaire sont de plus en plus gros. Pour améliorer significativement les temps de calculs, il est possible de construire un sous espace de dimension réduite qui permet de projeter le problème complet, et ainsi accélérer les différents calculs réponse. Ces modèles de composants réduits peuvent également être utilisés dans des approches de sous-structuration, et certaine analyse non-linéaire (chocs). [9]

Chapitre II : les modèles réduits et la table vibrante

II.2 Table vibrante

II.2.1. Définition :

La plus ancienne table vibrante connue, actionnée à la main, a été construite au Japon à la fin du **19ème siècle**. Au début du **20ème siècle**, les développements avaient été transférés à l'Université de Stanford aux États-Unis. avec l'introduction d'un moteur électrique pour produire un mouvement oscillatoire plus raffiné dans un seul sens,

Aujourd'hui les tables vibrante est un modèle de restitution d'ondes sismiques. Sont utilisées pour l'étude du comportement dynamique d'éléments structuraux (souvent à échelle réduit) et d'équipements et permettant la reproduction des phénomènes dynamiques et vibratoires dans tous les degrés de liberté similaires à ceux induits par les séismes. [11]

✚ Analyse du fonctionnement de l'objet technique (table vibrante) :

Diagramme sagittal :

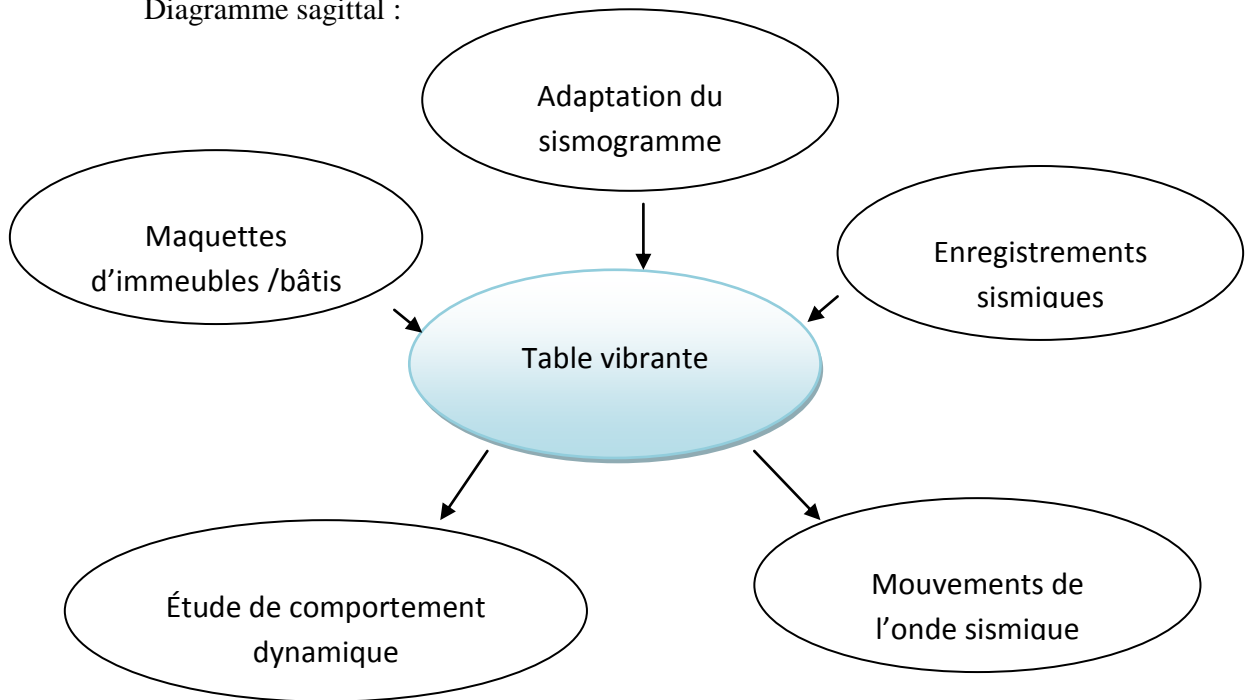


Figure 1: fonctionnement de l'objet technique de la table vibrante

Chapitre II : les modèles réduits et la table vibrant

Les tables vibrantes sont les moyens d'essais en génie parasismique les plus anciens et peut-être les plus répandus. Leur principe est séduisant dans la mesure où les table imposant à la base de a structure étudiée des déplacements horizontaux et verticaux comme le ferait un séisme réel. De plus, ces essais sont en temps réel et permettent ainsi de représenter au mieux des phénomènes physiques dépendant du temps. [10]

II.2.2. Les objectifs des tests sur tables vibrantes

Les tables vibrantes ou simulateurs de séismes sont l'axe principaux des testes dynamique des structure avec plusieurs échelle réduit et réel, un grand nombre de table vibrantes ont été construites avec différentes capacités, capables de supporter des spécimens de plusieurs centaines de tonnes et capables de reproduire des excitations selon plusieurs degrés de liberté. Son champ d'application est large mais limité par les limitations technologiques qui caractérisent la capacité de la table vibrante mais La majorité de ces tables vibrantes est destinée aux tests des modèles à échelle réduite et peu ont la capacité de tester des petites structures à échelle réelle.

Les objectifs des tests sur tables vibrantes sont nombreux, généralement les résultats expérimentaux issus des essais sur tables vibrantes servent à : [7]

- Vérifier et valider les modèles analytiques et les méthodes de conception;
- Etudier le comportement non linéaire des structures;
- Examiner la réponse dynamique des systèmes complexes présentant des difficultés d'analyse;
- Effectuer des tests de qualification des équipements et des composantes.

II.2.3. Les principaux avantages des essais sur table vibrante sont : [10]

- Ils sont représentatifs du comportement réel de structure dont les lois de comportement matériau dépendent du temps;
- Ils sont adaptés à l'étude du comportement sismique de système à masse répartie tel que les réservoirs de stockage de fluide ou des bâtiments à mur maçonné;
- Ils sont adaptés à la qualification d'équipements sensibles;
- Ils peuvent rendre compte du couplage entre le comportement horizontal et vertical des spécimens testés;
- Ils peuvent imposer simultanément une excitation sismique horizontale et verticale. De plus il est également possible de simuler les rotations.

Chapitre II : les modèles réduits et la table vibrant

II.2.4. Les principaux inconvénients des essais sur table vibrants sont : [10]

- Dans la mesure ou système hydraulique doit pouvoir supporter le poids propre des structures testées tout en ayant la puissance pour imposer l'excitation sismique, des maquettes de très grande masse ne peuvent être testées;
 - Dans le cas de maquettes à échelle réduite, des lois de similitude doivent être utilisées. Or l'application de ces lois ne permet pas de conserver tous les paramètres adimensionnels pilotant le problème étudié, ce qui ne permet pas, lors des essais, de reproduire de façon fidèle tous les phénomènes physiques en jeu lors du séisme;
 - Le système de supportage des tables vibrantes ayant une certaine souplesse, des mouvements parasites de balancement peuvent être générés lors des essais, mouvements qui ne peuvent pas être totalement composés par le système pilotage;
- Pour illustrer, les images suivantes clarifient les expériences des essais certains pays sur la table vibrante.

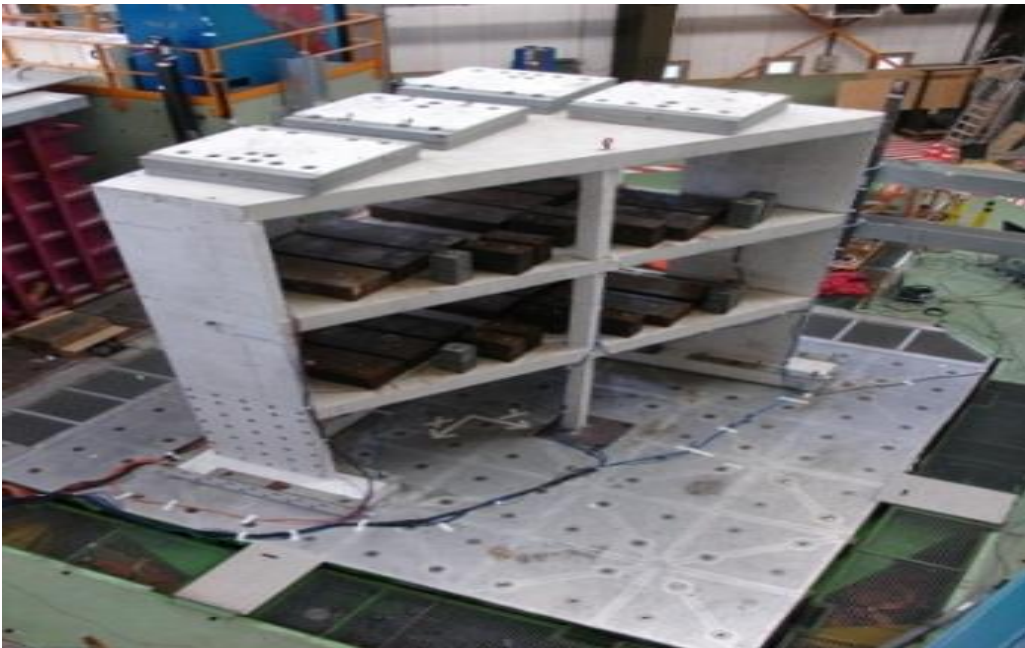


Photo 1: Essai sur maquette GC-table Azalée CEA/Sacl [10]

Chapitre II : les modèles réduits et la table vibrante

TABLE VIBRANTE AZALÉE AZALEE SHAKING TABLE

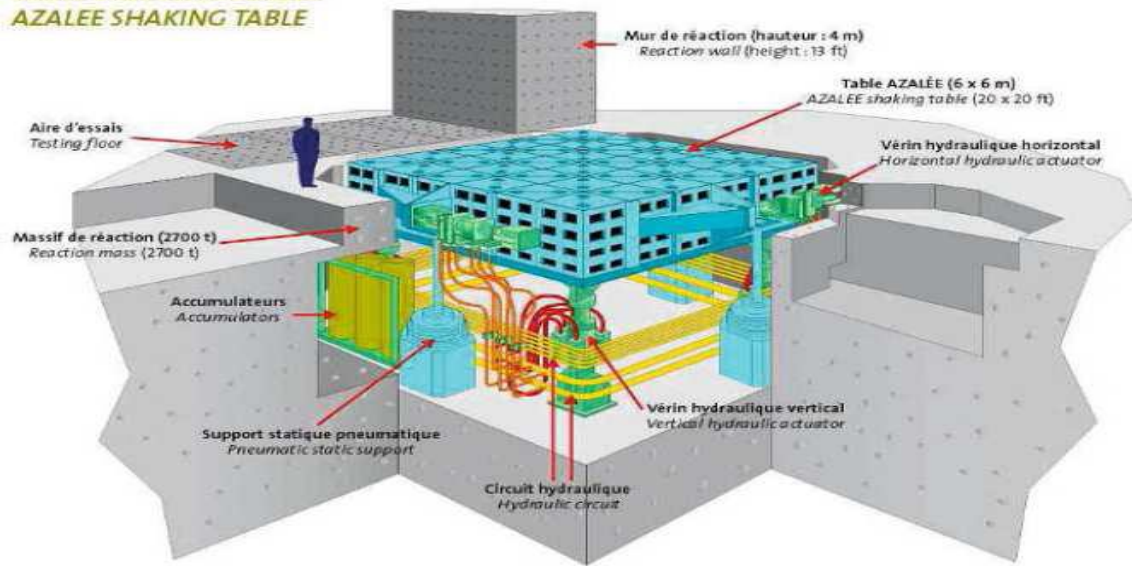


Figure 1: Table sismique Azalée du CEA-Saclay d'après [Sollogoub, 2007]



Photo 2: Essai Seismique sur une structure en béton armé (CEA) [10]

Chapitre II : les modèles réduits et la table vibrante



**Photo 3:Exemple de structure réelle testée sur table vibrante (Miki)
[Sollogoub, 2007]:**

Pour plus d'explications, le tableau suivant décrit quelques exemples principales installations expérimentales dans le monde, ce tableau n'est pas exhaustif, il ne présente que les principales installations d'essais sismiques articulées autour de tables vibrantes. Ces plateformes expérimentales ont été choisies car elles présentent des performances ou caractéristiques de rang mondial. [10]

Tableau 1:Les installations expérimentales existantes dans le monde

	Pays	Nombre De degrés de liberté	Dimensi ons Table (m)	Charge Embarquab le (tonnes)	Déplacemen t maximum (m)	Vitesse maximal e (m /s)	Accélération maximale (g)
E-Défense	Japon	6	15 x 20	1200 maxi	± 1.0	2	1.5 sous 1200t
Kajima	Japon	6	5 x 7	60	$\pm 0.7 H$ $\pm 0.3 V$	2,0H 1,0V	1.0 sous 50t
CEA- TAMARIS	France	6	6 x 6	100 maxi	$\pm 0.125 H$ $\pm 0.1 V$	1.0	1.0 sous 100t
Univ.St Cyrille et Méthode	Macédo ine	5	5 x 5	70	$\pm 0.125 H$ $\pm 0.05 V$	0.64	1.2
SEESL U.NewYor k Buffalo	USA	6	2 tables mobiles de 3.6 x3.6	20 nominal 50 maxi	$\pm 0.150 H$ $\pm 0.53 V$	1.25 0.5	1.15 sous 70t
CCRDI Chongqing Research and Design Institute.	Chine	6	2 tables mobiles de 3 x 6	30 maxi	$\pm 0.125 H$	1.0	

Chapitre II : les modèles réduits et la table vibrante

II.2.5. Projets de développement du système de vibration :

Deux axes de travaux de recherches sont en cours dans cette phase de démarrage, le premier se fixe comme objectifs :

L'étude expérimentale et analytique du système de vibration dans le but de déterminer les caractéristiques réelles et la capacité de la table vibrante. : [7]

- Le développement d'un système de contrôle qui permet la simulation des signaux sismique;
- L'établissement des liens de communication entre les différentes composantes du système d'acquisition pour le Transfer des données;
- La mise en place d'un outil de traitement des résultats expérimentaux.

Le deuxième axe s'intéresse à l'établissement d'une procédure pour les tests de qualification et au développement d'une méthode pouvant permettre d'étendre le champ d'application de ces tests au-delà de la capacité nominale de la table vibrante, par introduction d'intermédiaire physique jouant le rôle d'amplificateur pour pouvoir couvrir le spectre de réponse demandé quand ce dernier dépasse les limites de performance de la table vibrante.

II.2.6. Table vibrante Algérie

Après le séisme qui a frappé la région de Boumerdès 21 mai 2003, le gouvernement s'est doté de nouveaux moyens pour prévenir le risque. Cette mission est confiée au centre national de recherche appliquée en génie parasismique (CGS).

Le CGS a commencé ses activités en 1987, mais en fait l'idée de la création d'un centre spécialisé dans la prévention du risque sismique remonté à 1980 suite au séisme de Chlef. Le centre est sous la tutelle du ministère de l'habitat, ce Laboratoire algérien de génie parasismique réalise des tests sismiques, c'est-à-dire la simulation de séismes sur modèles réduits, afin de tester la résistance des spécimens réalisés à cet effet.

Doté d'équipements ultra lourds, le laboratoire de génie parasismique est composé principalement d'une table vibrante, appelée aussi simulateur de séismes, d'une dalle d'essais et d'un mur de réaction, le tout régit par un matériel ultra sophistiqué.

Chapitre II : les modèles réduits et la table vibrant

➤ Caractéristique de la table vibrante de laboratoire algérien:

- Degré de liberté : 6
- Dimension de la table : 6 x 6 m²
- Poids de la table : 40 tonnes
- Poids Max du spécimen : 60 tonnes
- Déplacements max de la table : ± 0.15 m suivant X et Y, ± 0.8 suivant Z
- vitesse max de la table : ± 1.1 m/s suivant X et Y, ± 0.8 /s suivant Z
- Accélération max de la table : ± 1.0 g suivant X et Y, ± 0.8 suivant Z
- Fréquences d'opération : 0-50 Hertz

II.2.7. Table vibrant Tongi

Shanghai/Tongi :

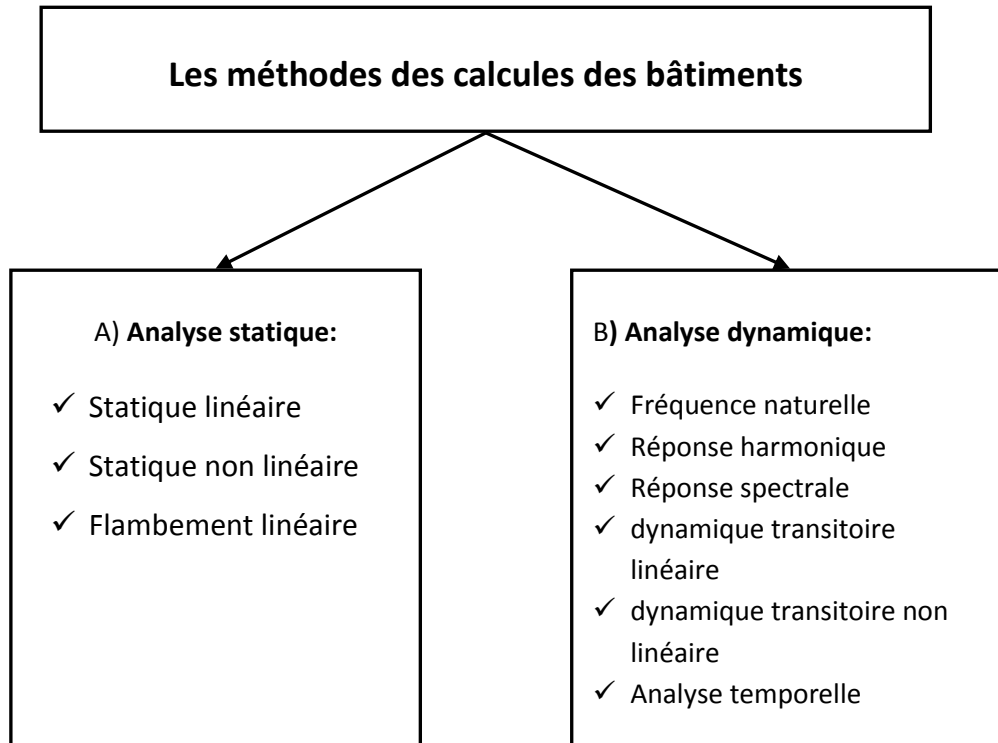
La division Essais sur table vibrante a été créée au début de 1975. La table bi axiale du début est passée à 6DDL en 1991 et le laboratoire c'est ouvert vers l'étranger. Il est depuis l'un des dix premiers laboratoires clés en chine. En 2007 plus de 600 essais avaient été réalisés. [10]

L'université Tongi à Shanghai vient de mettre en service ce qui est la plateforme expérimentale la plus importante de chine. Cette installation consiste en 4 tables vibrantes mobiles permettant différentes configurations du moyen d'essai. Ces tables triaxiales ont pour dimensions 6 m x 4 m. leur déplacement maximale sera de 0.5 m, la vitesse maximale de 1m/s pour une accélération maximale de 1.5g (dans une plage de fréquence de 0-50 Hz). Les charges maximales embarquable par table seront de 30 t pour les deux premières tables 70 t pour les deux autres, soit une masse embarquable totale de 200 t. [10]

Elles sont mobiles et placées dans 2 tranchées parallèles de 70 m et 30m de longueur de façon s'adapter à différentes configurations de génie civil. Les tranchées ont une largeur de 9 m et une profondeur de 4,5 m.

II.3 Les méthodes calculent des bâtiments

Pour l'évaluation des performances sismiques, une analyse structurale du modèle mathématique de la structure est nécessaire pour déterminer la force et les déplacements demandés dans les différents étages de la structure. Plusieurs méthodes d'analyse, à la fois élastique et inélastique, sont disponibles pour prédire le comportement sismique des structures.



II.3.1. Les analyses statiques

II.3.1.1. Statique linéaire:

Un calcul statique linéaire permet de déterminer le champ de déplacement, les réactions aux appuis, les efforts internes aux nœuds et les champs de contraintes qui existent dans une structure soumise à divers chargements statiques plusieurs hypothèses sont faites implication (comportement élastique linéaire des matériaux, petites déformations et petites rotation). [13]

Le solveur statique linéaire est le solveur le plus utilisé. Dans une analyse statique linéaire, l'équation d'équilibre linéaire suivante, qui décrit le comportement élastique linéaire d'une structure sous charge statique, est formée et résolue : [16]

Chapitre II : les modèles réduits et la table vibrant

$$Ku = p. \quad (3.1)$$

Ou:

K=matrice de rigidité globale

u =vecteur de déplacement nodal inconnu

p =vecteur de charge nodale équivalente globale

❖ Hypothèses de base :

Dans une analyse statique linéaire, les hypothèses suivantes sont formulées:

- Tous les matériaux de la structure restent linéairement élastiques;
- les déplacements / déviations sont négligeables;
- les conditions aux limites sont prédéfinies et ne changeront pas après l'application de la charge;
- le chargement est statique.

L'hypothèse élastique linéaire des matériaux exige que les déplacements de la structure soient linéairement proportionnels aux charges appliquées et que, lorsque les charges sont supprimées, la structure retrouve sa forme initiale. L'hypothèse de petit déplacement implique que les équations d'équilibre sont établies par rapport à la géométrie d'origine sans se référer à la géométrie déformée. Charge statique implique que la charge soit appliquée lentement à la structure, de sorte qu'aucun effet dynamique / inertie ne doit être pris en compte, bien que la charge puisse être fonction du temps (à condition que la charge soit appliquée beaucoup plus lentement que la période naturelle la plus basse structure). Ce n'est que si toutes les conditions ci-dessus sont remplies que les résultats de la résolution (3.1) peuvent être valides pour un problème statique linéaire considéré. [16]

Le solveur statique linéaire peut être utilisé pour analyser une structure libre. Notez que cette situation peut également être gérée par les solveurs transitoires avec accélérations et amortissements de corps rigides.

Chapitre II : les modèles réduits et la table vibrant

II.3.1.2. Analyse statique non-linéaire (pushover)

L'analyse « pushover » est une procédure statique non linéaire dans laquelle la structure subit des charges latérales suivant un certain model prédéfini en augmentant l'intensité des charges jusqu'à ce que les modes d'effondrement commencent à apparaitre dans la structure. [14]

Les résultants de cette analyse sont représentés sous formes de courbes qui relient les efforts tranchants à la base en fonction du déplacement du sommet de la structure.

Ce méthode approximative dont laquelle la structure est assujettie à une charge latérale croissante jusqu'à atteindre un déplacement cible.

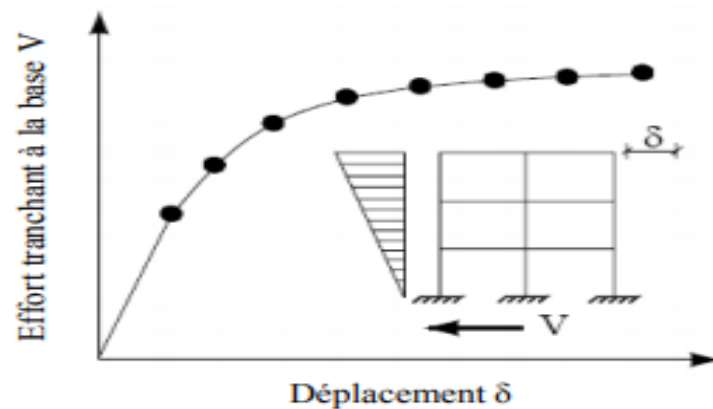


Figure 2: Courbe de capacité (pushover) d'une structure [15]

L'objectif de cette analyse est de fournir des informations en termes de demande et de capacité, et de prédire la réponse des structures similaire à une analyse dynamique non linéaire qui donne un aspect paramétrique du comportement. On cite comme résultats : [15]

- Les demandes réalistes en termes de force dans les éléments potentiellement fragiles, telles que les demandes en forces axiales dans les poteaux, les demandes en forces dans les connexions des contreventements, les demandes en moments dans les connexions poteaux – poutres, et les demandes en cisaillement dans les poutres épaisses;
- Estimations des demandes en déformations pour les éléments qui doivent se déformer inélastiquement pour dissiper l'énergie provenant des séismes;
- Les conséquences de la détérioration locale de la rigidité sur le comportement global de la structure;

Chapitre II : les modèles réduits et la table vibrant

- Identification des zones critiques dans lesquelles les demandes en déformations sont supposées être élevées et qui doivent faire l'objet d'une attention particulière durant la conception;
- Identification des discontinuités des caractéristiques dans le domaine non linéaire;
- Estimations des déplacements entre les niveaux qui tiennent en compte des discontinuités des résistances ou des rigidités et qui peuvent être utilisé pour contrôler l'endommagement et pour évaluer l'effet P- Δ .

II.3.1.3. L'analyse de Flambement Linéaire

L'analyse de flambement recherche l'influence de l'incrément de la charge, quand la rigidité de l'élément devient plus faible. Lors de la solution du problème linéaire aux valeurs propres, on définit le coefficient de charge critique décrivant le niveau de chargement pour lequel la matrice de rigidité devient particulière. [6]

Le flambement (ou instabilité élastique) est un type de défaillance qui survient souvent dans les barres longues et minces ou dans les éléments en feuille minces soumis à une charge de compression. Pour ce type de structure, la charge nominale est principalement supportée par l'action axiale / membranaire plutôt que par l'action de la flexion; en cas de défaillance du flambement, la charge maximale qu'un élément structurel supportera est généralement déterminée par la rigidité de l'élément, et non par la résistance du le matériel. Fondamentalement, l'analyse de flambage étudie si l'équilibre d'un système structurel est stable ou non.

L'analyse est basée sur l'hypothèse qu'il existe à la condition critique (flambement) un point de bifurcation dans une courbe charge-déplacement: deux états d'équilibre infiniment proches sont possibles, l'état non bouclé et l'état flambé, sans modification de la charge appliquée, En d'autres termes, lorsque les chemins de charge primaire et secondaire se croisent avant que ce point soit atteint, toutes les contraintes d'éléments changent proportionnellement au facteur de charge.

❖ **Équation gouvernante :**

$$|K + \lambda K_G| = 0 \quad (3.2)$$

Ou :

K =Matrice de rigidité géométrique globale

Chapitre II : les modèles réduits et la table vibrant

K_G =Matrice de rigidité géométrique globale

λ =Facteur de charge de flambement

L'analyse de flambement linéaire suppose l'existence d'un point de bifurcation où les chemins de chargement primaire et secondaire se croisent (point A de la figure 3.2). À ce stade, il est possible de choisir plusieurs positions à l'équilibre, le chemin principal n'est généralement pas tracé lorsque le chargement dépasse ce point la pente de la voie secondaire au point de bifurcation détermine la nature du post-flambement. Une pente positive indique que la structure aura une résistance après le flambement, tandis qu'une pente négative signifie que la structure se faufile ou simplement s'effondrer.

Les structures réelles présentent des imperfections géométriques et de chargement qui incitent souvent le chemin principal à être courbé et le point de bifurcation à disparaître, comme le montre la Figure (II. 1).

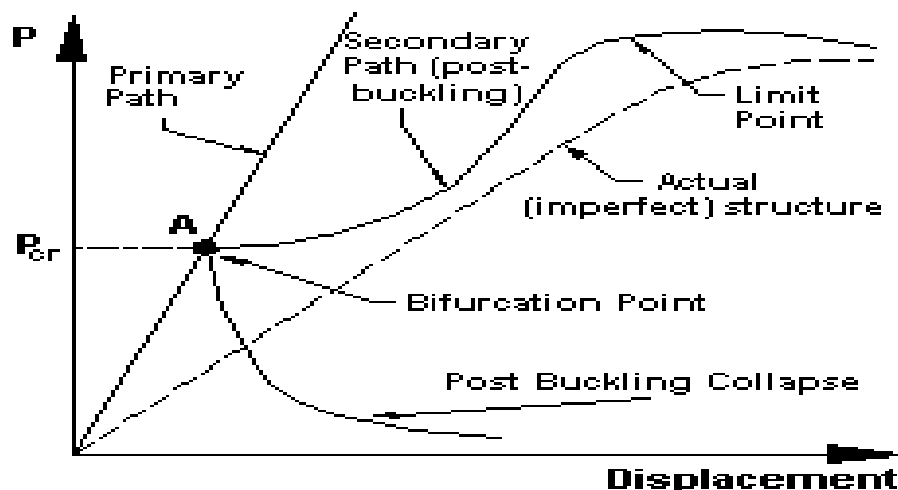


Figure 3: Courbe charge-déplacement pour le flambement

Pour les structures réelles, le solveur de flambement linéaire convient mieux à la conception préliminaire et à l'étude des effets de divers paramètres. Si une meilleure estimation du comportement au flambement est nécessaire, une analyse non linéaire doit être effectuée afin que l'effet de la déformation avant le flambement puisse être inclus et que la capacité après le flambement soit prédite.

II.3.2. Les Analyse dynamique

II.3.2.1. L'analyse harmonique :

Pour effectuer l'analyse harmonique de la structure, il convient de déterminer la géométrie de la structure et les charges appliquées, comme c'est le cas pour l'analyse linéaire stationnaire. Dans l'analyse harmonique, de sorte que les forces appliquées sont définies par leur interprétation comme l'expansion des forces d'excitation. Fréquence et angle de phase et utilisateur. [6]

Lorsqu'une seule excitation sinusoïdale est appliquée soudainement à une structure, celle-ci commence par vibrer de manière irrégulière, souvent appelée phase transitoire. La phase transitoire initiale décroît jusqu'à zéro au fil du temps en raison de l'amortissement. Après la phase transitoire, la structure vibre de manière sinusoïdale à une fréquence identique à celle de l'excitation appliquée. Cet étage de la réponse est appelé réponse en régime permanent et correspond à la réponse déterminée par le résolveur de réponse harmonique.

Le résolveur de réponse harmonique peut être exécuté selon l'un des deux modes suivants:
[16]

- Le mode de fréquence V_s , qui détermine la réponse en régime permanent dans le domaine de fréquence, d'un ou plusieurs cas de charge agissant simultanément sur la structure. Toutes les charges agissent à la même fréquence et la réponse peut être obtenue pour toute plage de fréquences de chargement;
- Le mode temporel V_s , qui détermine la réponse à l'état stable dans le domaine temporel, d'un ou plusieurs cas de charge agissant simultanément sur la structure. Chaque charge peut agir à une fréquence différente et la réponse (périodique) peut être obtenue sur n'importe quelle plage de temps.

L'excitation peut prendre deux formes: les charges appliquées ou l'excitation de la base. Pour les charges appliquées, en utilisant le mode de fréquence V_s , toutes les charges varient à la même fréquence, mais les charges dans des cas de charge différents peuvent avoir des facteurs de combinaison et des angles de phase initiaux différents. Pour le mode temps V_s , les charges dans des cas de charges différentes peuvent agir en même temps mais à des angles de fréquence et / ou de phase différents. Il convient de noter que, contrairement à l'analyse statique linéaire, dans l'analyse de réponse harmonique, tous les cas de charge

Chapitre II : les modèles réduits et la table vibrant

sélectionnés définissent ensemble une condition de charge unique; pour l'excitation de base, un seul vecteur de direction pour le déplacement, la vitesse ou l'accélération est défini avec les composants pour les trois directions du système de coordonnées global. [16]

Réponse de charge appliquée :

Pour la situation de charge appliquée, l'équilibre du système est :

$$M\ddot{u}(t) + C\dot{u}(t) + Ku(t) = p(t) \quad (3.3)$$

M= Matrice de masse globale

C =Matrice d'amortissement global

K =Matrice de rigidité globale

P(t) =Vecteur de charge appliqué (sinusoïdal)

U(t)=Vecteur de déplacement nodal inconnu

$\dot{u}(t)$ = Dérivée temporelle au premier ordre de u (t) (vitesse)

$\ddot{u}(t)$ = Dérivée temporelle au deuxième ordre de l'accélération u (t)

II.3.2.2. L'analyse de fréquence naturelle :

L'une des caractéristiques les plus importantes d'un système dynamique / vibratoire est l'ensemble des fréquences propres du système. Le phénomène de résonance bien connu est lié aux fréquences propres d'un système dynamique, c'est-à-dire lorsque la fréquence de chargement appliqué de manière externe s'approche de l'une des fréquences propres du système, sa réponse sera nettement plus grande si l'amortissement est faible. Pour un système simple masse-ressort sans amortissement, lorsqu'il est excité (par exemple par une perturbation diplomatique) sans charge externe appliquée, le système vibre à sa fréquence

propre $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ (radians / s) ou $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$ (Hz), où K et m sont respectivement la rigidité et la

masse.

Pour un système à plusieurs degrés de liberté, il y aura un certain nombre de fréquences propres, et pour chaque fréquence propre, il existe un mode de vibration correspondant (appelé forme de mode). Les fréquences propres et les formes de mode correspondantes sont des propriétés du système (c'est-à-dire qu'elles sont entièrement déterminées par les caractéristiques du système). Pour un système non amorti, ils sont

Chapitre II : les modèles réduits et la table vibrant

entièrement déterminés par la distribution de masse et de rigidité, en d'autres termes par les matrices globales de masse et de rigidité. [16]

Les résultats de fréquence naturelle sont très importants car ils peuvent être utilisés pour transformer les équations d'équilibre dynamique global en un système constitué d'un ensemble d'équations modales non couplées. Avant de commencer toute analyse basée sur la méthode de superposition de mode, il est nécessaire d'effectuer une analyse de la fréquence propre. [16]

Équation gouvernante :

Le résolveur de fréquence propre calcule les fréquences propres et les vecteurs de forme de mode correspondants d'une structure non amortie. L'équation d'équilibre de la structure dans la condition d'absence d'amortissement et de charge externe est exprimée en :

$$M\ddot{u} + Ku = 0 \quad (3.4)$$

Où

M = matrice de masse globale

K = matrice de rigidité globale

u=vecteur de déplacement nodal

\ddot{u} = seconde dérivée du vecteur de déplacement

Utilisation des conditions initiales :

La matrice de rigidité globale peut contenir une contribution de la matrice de rigidité de contrainte (matrice de rigidité géométrique) afin d'inclure les effets de pré charge (précontrainte) sur la solution de fréquence. Cette contribution peut être incluse en sélectionnant une solution statique existante, linéaire ou statique (appelée fichier de conditions initiales). L'option spécifie le fichier de solution et le cas ou l'étape de charge à utiliser pour le calcul de la matrice de rigidité des contraintes de l'élément. Si le fichier de conditions initial est issu d'une solution non linéaire, le calcul des matrices de rigidité et de masse sera basé sur l'état de le matériau et la géométrie de la structure tels que représentés par le pas de charge sélectionné ou incrémenté. Un seul cas de condition initiale peut être sélectionné pour chaque solution de fréquence propre (l'effet de précontrainte est souvent

Chapitre II : les modèles réduits et la table vibrant

appelé raidissement ou ramollissement des contraintes). Un exemple typique de raideurs sous contrainte est un cordage dont la raideur latérale, donc la fréquence propre, augmente en le tendant.).[16]

Étant donné que l'analyse en fréquence naturelle suppose que la réponse de la structure est une réponse linéaire à faible déplacement, l'inclusion d'une solution statique non linéaire dans les conditions initiales ne signifie pas qu'un problème de vibration non linéaire est résolu. Les résultats de la solution non linéaire sont utilisés pour déterminer la géométrie actuelle et les caractéristiques du matériau (rigidité), puis la structure est supposée vibrer autour de cette configuration, de manière linéaire. [16]

II.3.2.3. Analyse de la réponse d'une structure

Une courbe de réponse spectrale est un graphique de la réponse de crête d'un système ressort-amortisseur de masse (degré de liberté unique) soumis à une charge dynamique donnée et tracé en fonction de la fréquence ou de la période du système. La réponse est souvent exprimée par le rapport entre la réponse dynamique maximale du système masse-ressort et sa réponse statique sous une charge statique équivalente. C'est ce que l'on appelle parfois le facteur d'amplification dynamique de la charge en fonction de la fréquence de la structure. [16]

- **Principe de la méthode :**

Principe de cette méthode réside dans la détermination des modes propres de vibrations de la structure et le maximum des effets engendrés par l'action sismique, celle-ci présentée par un spectre de réponse de calcul. Les modes propres dépendent de la structure, de l'amortissement et des forces d'inerties. [14]

- **Modélisation :**

Le modèle de bâtiment à utiliser doit représenter au mieux les distributions des rigidités et de masse de façon à prendre en compte tous les modes de déformations significatifs dans le calcul des forces d'inerties sismique. Pour les structures irrégulières en plan, sujettes à la torsion et comportant.

Des planchers rigides, elles sont représentées par un modèle tridimensionnel, encastré à la base et où les masses sont concentrées au niveau des centres de gravités des planchers avec trois (03) DDL (02 translations horizontales et une rotation d'axe vertical). [14]

Chapitre II : les modèles réduits et la table vibrant

Le résolveur de réponse spectrale calcule les valeurs de réponse maximales (ou bornes supérieures) d'une structure soumise à un type donné d'excitation charge / base en:[16]

- Décomposer la structure en une série de modes;
- Calculer la réponse maximale de chaque mode en fonction d'un tableau de réponse spectrale spécifié pour la charge donnée;
- En combinant la réponse maximale des modes pour obtenir la réponse totale de la structure.

L'analyse spectrale de réponse calcule la réponse maximale sans tenir compte du moment où elle survient. Par conséquent, les résultats de réponse totale (SRSS, CQC) présentés (déplacement, contrainte, etc.) constituent en réalité une enveloppe de valeurs maximales en chaque point, que ces valeurs maximales soient cumulées ou non.

II.3.2.4. Analyse dynamique transitoire linéaire

○ Equation gouvernante

Le résolveur dynamique transitoire linéaire calcule l'historique temporel de la réponse dynamique linéaire d'une structure soumise à un chargement dynamique arbitraire et / ou à des conditions initiales. Mathématiquement, le résolveur linéaire transitoire résout l'équation d'équilibre dynamique linéaire suivante :

$$M\ddot{u}(t) + C\dot{u}(t) + Ku(t) = p(t) \quad (3.5)$$

M = Matrice de masse globale

C = Matrice d'amortissement global

K = Matrice de rigidité globale

P(t) = Vecteur de charge appliqué (pouvant dépendre du temps)

U(t) = Vecteur de déplacement nodal inconnu

$\dot{u}(t)$ = Dérivée temporelle au premier ordre de u (t) (vitesse)

$\ddot{u}(t)$ = Dérivée temporelle au deuxième ordre de l'accélération u (t)

○ charges d'excitation

Dans le résolveur dynamique transitoire, les charges dynamiques appliquées et le mouvement de base peuvent être utilisés comme excitation d'entrée. Pour l'excitation du

Chapitre II : les modèles réduits et la table vibrant

mouvement de base, la même procédure de résolution que celle utilisée dans la résolution (3.5) est applicable en utilisant un vecteur de déplacement relatif et des charges équivalentes [16]

- **Conditions initiales**

Les conditions initiales nécessaires à la résolution (3.5) peuvent être spécifiées de l'une des trois manières suivantes:[16]

- Utiliser les résultats d'une solution statique:
La solution pour un cas de charge statique linéaire particulier ou un incrément de charge statique non linéaire est utilisée pour spécifier tous les déplacements nodaux au début de la solution transitoire et les vitesses et accélérations nodales initiales sont définies à zéro. Cela représente la situation où la structure est libérée de la position déformée (statique) en supprimant toutes les charges appliquées.
- Utiliser les résultats d'une solution transitoire:
Une solution transitoire à un certain pas de temps est utilisée pour spécifier tous les déplacements, vitesses et accélérations nodales au début d'une nouvelle solution. Cela représente la situation lorsqu'une solution précédente est reprise ou étendue. Notez que les vitesses et les accélérations doivent être enregistrées dans le fichier des résultats de la solution transitoire initiale avant de pouvoir être utilisées comme condition initiale pour un redémarrage du solveur transitoire.
- En utilisant l'option de vitesse et d'accélération initiale:
- Les valeurs de vitesse et d'accélération initiales sont attribuées à tous les degrés de liberté nodaux actifs au début d'une solution et tous les déplacements nodaux sont définis à zéro. Notez que les vitesses et les accélérations initiales sont uniquement attribuées aux degrés de liberté en translation.

II.3.2.5. Analyse dynamique transitoire non linéaire

Le résolveur dynamique transitoire non linéaire calcule l'historique temporel de la réponse dynamique non linéaire d'une structure soumise à un chargement dynamique arbitraire et / ou à des conditions initiales. Le comportement non linéaire de la structure dû à la non linéarité géométrique, matérielle et liée (problèmes de contact) est pris en compte par ce solveur. Le solutionneur transitoire non linéaire résout l'équation d'équilibre dynamique non linéaire suivante : [16]

Chapitre II : les modèles réduits et la table vibrant

$$M\ddot{u}(t) + C\dot{u}(t) + f(t) = p(t) \quad (3.6)$$

M=matrice de masse globale

C = matrice d'amortissement global

f(t) =vecteur de force de l'élément global (résistance interne)

P(t) =vecteur de charge appliqué (pouvant dépendre du temps)

U(t) = vecteur de déplacement nodal inconnu

$\dot{u}(t)$ = Dérivée temporelle au premier ordre de u (t) (vitesse)

$\ddot{u}(t)$ = Dérivée temporelle au deuxième ordre de l'accélération u (t)

Notez que les matrices de masse globale et d'amortissement peuvent dépendre du déplacement et du temps. Par exemple, le changement de géométrie peut avoir un effet sur la distribution de masse (et donc la matrice de masse).

II.3.2.6. Analyse temporelle

L'analyse temporelle est une analyse qui permet d'obtenir la réponse de la structure à une excitation imposée dans un intervalle de temps déterminé. Le calcul est basé sur la méthode de la superposition modale, qui donne la réponse de la structure.

- **Description de l'analyse temporelle**

L'évaluation de la réponse dynamique des structures est généralement basée sur deux types d'analyses :

- **La superposition modale** qui est très utilisée dans la dynamique des structures, elle est limitée aux calculs linéaires, le caractère non linéaire ne peut être pris en compte à cause de la superposition. Ce dernier se traduit par des hypothèses telles que la rigidité structurelle qui n'est pas altérée par des plastifications ou des instabilités, d'autres facteurs de changement des propriétés initiales dus à l'influence des efforts internes ou du coefficient d'amortissement. Toutes ces hypothèses ne représentent pas l'aspect réaliste du comportement structurel. [18]

- **L'intégration temporelle** pas à pas est une méthode applicable dans le domaine linéaire et non linéaire. La réponse temporelle est divisée en de courtes séquences avec des pas de temps égaux, et la réponse est calculée à chaque pas de temps par une approximation

Chapitre II : les modèles réduits et la table vibrant

linéaire en prenant en compte les propriétés physiques et mécaniques initiales. A la fin de l'intervalle de temps, ces propriétés sont recalculées en fonction de l'état de déformation et de contrainte pour un nouvel état d'équilibre. [18]

L'analyse temporelle consiste à trouver la solution de l'équation de la variable de temps "t" suivante :

$$M * a(t) + C * v(t) + K * d(t) = F(t)$$

Avec les valeurs initiales connues $d(0)=d_0$ et $v(0)=v_0$,

Où :

M : matrice des masses

K : matrice de rigidité

$C = \alpha * M + \beta * K$ - matrice d'amortissement

α : coefficient multiplicateur donné par l'utilisateur.

β : coefficient multiplicateur donné par l'utilisateur.

d : vecteur de déplacement

v : vecteur de vitesse

a : vecteur d'accélération

F : vecteur de charges.

Toutes les expressions contenant le paramètre (t) dépendent du temps.

Pour résoudre l'équation présentée ci-dessus, on utilise la méthode de Newmark ou la méthode de décomposition. La méthode de Newmark fait partie du groupe d'algorithmes qui sont inconditionnellement convergents, si les paramètres de la méthode sont pris d'une façon appropriée. Elle utilise les formules suivantes pour calculer les déplacements et la vitesse à l'étape d'intégration suivante.

Les valeurs $b = 0.25$ et $g = 0.5$ sont adoptées. Il est possible de changer ces valeurs, mais uniquement en cas d'utilisation de l'analyse temporelle linéaire, si la méthode de Newmark ou la méthode de Newmark (accélération) est utilisée.

Chapitre II : les modèles réduits et la table vibrant

La méthode de Newmark est conseillée dans le cas d'instant courts, quand la structure est sollicitée par les charges concentrées. De telles charges entraînent un mouvement qui exigera une quantité importante de modes propres à décrire. De ce fait, la méthode de Newmark sera plus efficace que la méthode de décomposition modale pour ce type de tâche. La méthode de Newmark utilise les équations d'analyse temporelle de base sans effectuer aucune simplification. La précision de la résolution obtenue dépend de la précision d'intégration numérique de l'analyse temporelle, et pour les paramètres sélectionnés α , β , elle est définie par la valeur de l'intervalle de temps. Cette méthode n'exige pas la résolution du problème propre pour déterminer les valeurs et les vecteurs propres.

Chapitre III
Test du modèle dans table
vibrante

Chapitre III : Test du modèle dans table vibrante

Structure en béton armé RDC+11 étages

Test du modèle dans table vibrante

III.1. Description du modèle :

Structure à ossature simple auto stable en béton armé à R+11 étages.

Forme d'onde d'excitation : le model teste sous quatre ondes sismiques onde d'El Centro, onde de Kobe, onde artificielle de Shanghai, onde de substrat rocheux de Shanghai.

- **Lieu expérimental** : Université de Tongi Shanghai china, Laboratoire d'État pour la prévention du génie civil.

III.2. Similarité de la conception du modèle :

Selon la théorie de similarité les trois grandeurs physiques fondamentales, dont la longueur L , le module d'élasticité E et l'accélération a , ont été sélectionnées et les rapports de similarité de ces grandeurs physiques ont été déterminés en premier.

Les rapports de similarité d'autres quantités devraient être décidés par les relations de similarité avec les grandeurs physiques fondamentales sélectionnées sont indiquées dans le tableau (2). Les rapports de similarité de ce système expérimental ont été définis, comme résumé dans le tableau (2).

Chapitre III : Test du modèle dans table vibrante

Tableau 2 :experimental relations de similarité dynamique

	Physique	Relation	1/10 Modèle	Remarques
Propriétés des matériaux	Déformation ε			Conception modèle de contrôle Conception modèle de contrôle
	Contrainte σ		1	
	Module élastique E	$S_\varepsilon = 1.0$ $S_\sigma = S_E$ S_E	1/3.870 1/3.870	
	Coefficient de poisson μ	$S_\mu = 1.0$ S_ρ	1 1	
	Masse volumique ρ			
Géométrie	Longueur l		1/10	Conception modèle de contrôle
	surface S	S_l	1/100	
	déplacement linéaire X	$S_S = S_l^2$ $S_X = S_l$	1/10	
	déplacement angulaire β	$S_\beta = 1.0$	1	
Charge	Charge concentrée P	$S_P = S_E S_l^2$	1/387	
	pression q	$S_q = S_E$	1/3.870	
Dynamique caractéristiq ues	masse m		1/1000	Conception de modèle de contrôle
	Rigidité k	$S_m = S_\rho S_l^3$ $S_k = S_E S_l$	1/38.7	
	période t	$S_t = (S_m / S_k)^{1/2}$	0.1967	
	Fréquence f	$S_f = 1 / S_t$	5.083	
	amortissement c	$S_c = S_m / S_t$ $S_v = S_l / S_t$ $S_a = S_l / S_t^2$	0.00508	Conception de modèle de contrôle
	vitesse v		0.508	
	Accélération a		2.584	

Chapitre III : Test du modèle dans table vibrante

III.3. La conception et la fabrication du modèle:

Le rapport de modèle est de 1/10, poutre, poteau, et le plancher à la

Dimension réelle de la structure, les relations de conversion et le modèle prototype résumés dans le tableau (2), taille du modèle et plans de renforcement indique sur la figure (4).

Les caractéristiques dynamiques ont une bonne relation similaire à celle du béton prototype, et l'ajustement du rapport de mélange peut répondre aux exigences de réduction du module d'élasticité.

Considérez le poids de la cloison, la décoration du sol et la charge d'exploitation sont ajoutés comme un contrepoids de 19,4 kg par couche a été placé sur le plancher standard et un contrepoids de 19,7 kg sur le plancher terrasse.

Tableau 3: détails du modèle et du prototype

Projet	Prototype	1/10 Modèle
nombre d'étages	12	12
H/B	6	6
Hauteur d'étage	3m	0.3m
Hauteur totale	36m	3.6m
Dimension de la dalle	6m×6m	0.6m×0.6m
section de poutre	300mm×600mm	30mm×60mm
section de poteau	500mm×600mm	50mm×60mm
Épaisseur de la dalle	120mm	12mm
Matériaux	Béton C30	béton particulière

Tableau 4 : Caractéristiques mécaniques de béton C30

BétonC30	
Module d'élasticité	32.5x10 ³ Mpa
Coefficient de Poisson	0.2
Densité	2.4 t/m ³
Angle de dilatation	36°
Contrainte de compression	15.4Mpa
La résistance de compression ultime	22Mpa
Contrainte de traction maximal	1.85Mpa
Coefficient de déformation plastique de compression	1.6

Chapitre III : Test du modèle dans table vibrante

III.4. Matériaux de performance :

Le modèle a été construit en même temps pour réserver le test de spécimen les résultats du test du béton présentés dans le tableau (5), les résultats du test du matériau renforcé indiqués dans le tableau (6).

Tableau 5: Résultats d'essais de béton

Categories	Numéro de groupe de l'éprouvette	Date de versement	Force du cube (Mpa)	Module d'élasticité(Mpa)	Module d'élasticité moyen (Mpa)
Béton particulaire	0F	2003.3.26	9.216	10.167×10^3	7.751×103
	1F/2F	2003.3.30	7.969	8.490×10^3	
	3F/4F	2003.4.3	5.735	7.062×10^3	
	5F/6F	2003.4.5	7.402	7.649×10^3	
	7F/8F	2003.4.10	7.669	7.917×10^3	
	9F/10F	2003.4.14	7.202	7.322×10^3	
	11F/12F	2003.4.21	8.202	8.065×10^3	

(1) le numéro du groupe de spécimens 0F correspond un béton de particules de coulée construit la base du modèle, hors valeur moyenne du module d'élasticité ;

Tableau 6: Résultat de test d'acier de renforcement

Nom	Numéro de modèle	Diamètre (mm)	Surface (mm ²)	Limite élastique (MPa)	Résistance ultime (MPa)
Fil de fer	20 #	0.90	0.63	327	397
	18 #	1.20	1.13	347	420
	14 #	2.11	3.50	391	560
	20 #	10	0.63	327	235
	18#	12	1.13	347	400
	14#	20	3.50	391	400

Chapitre III : Test du modèle dans table vibrante

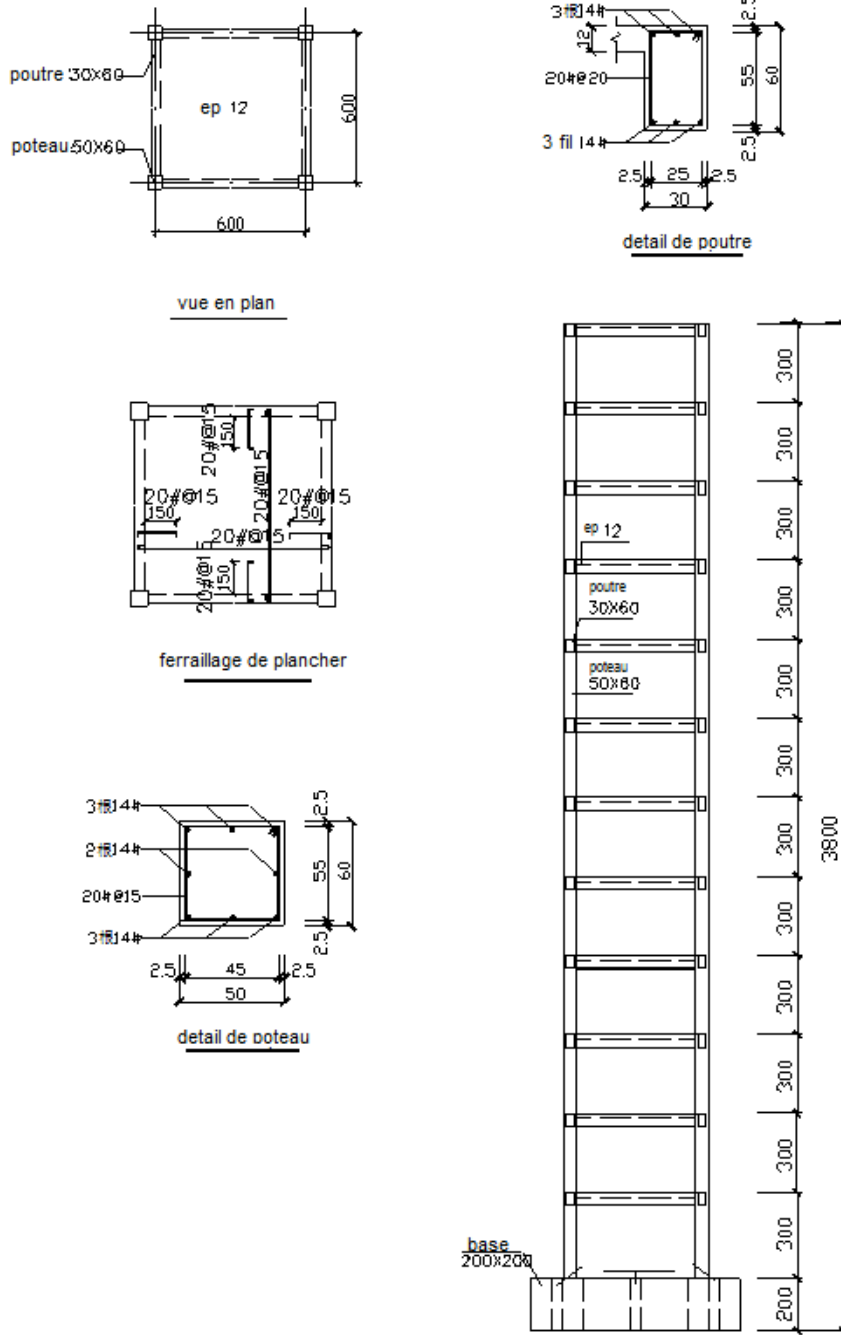


Figure 4 : détail du modèle et plans de renforcement

Chapitre III : Test du modèle dans table vibrante

III.5. Les points des mesures :

Dans l'expérience, il a été utilisé l'accéléromètre à trois directions et le jauge de déformation pour mesurer la réponse dynamique de la structure du modèle. Les points de mesure sont illustrés à la figure (5). Câblage des points de mesure des capteurs sont illustrés dans le tableau (7).

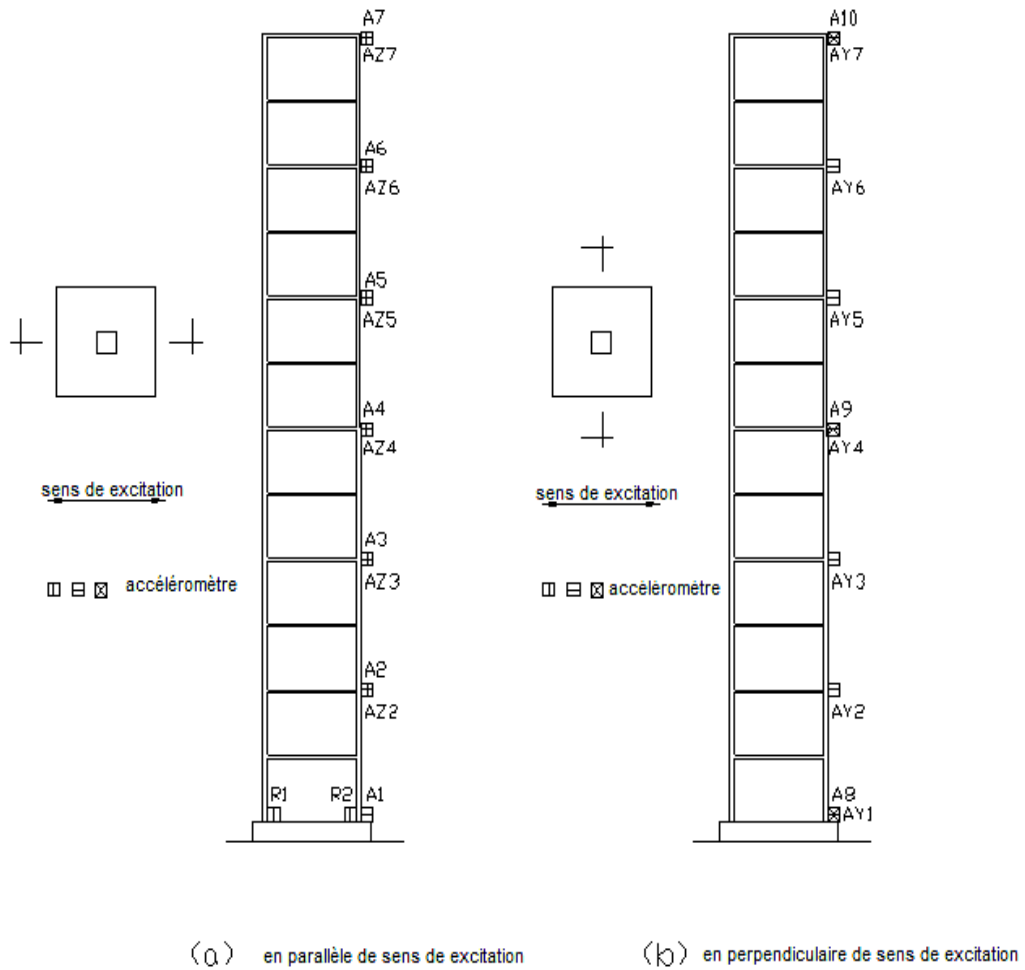


Figure 5 : dispositions des points de mesure pendant l'essai

Chapitre III : Test du modèle dans table vibrante

Tableau 7: système de chargement de test

Numéro de série	Condition code(PGA/g)	Prototype			1/10 modèle			Remarque
		X	Y	Z	X	Y	Z	
1	1WN	—	—	—	0.07	0.07	0.07	
2、3、4、5	EL1、SH1、KB1、SJ1	0.03 5	—	—	0.090	—	—	Plus de sept degrés
6、7	EY1、KY1	0.03 5	0.030	—	0.090	0.077	—	Plus de sept degrés
7+	7+WN	—	—	—	0.07	0.07	0.07	
8、9、10、11	EL2、SH2、KB2、SJ2	0.1	—	—	0.258	—	—	Sept degrés
12、13	EY2、KY2	0.1	0.085	—	0.258	0.220	—	Sept degrés
14、15	EZ2、KZ2	0.1	0.085	0.05	0.258	0.220	0.129	Sept degrés
16	16WN	—	—	—	0.07	0.07	0.07	
17、18、19、20	EL3、SH3、KB3、SJ3	0.15	—	—	0.388	—	—	
21、22	EY3、KY3	0.15	0.128	—	0.388	0.329	—	
23、24	EZ3、KZ3	0.15	0.128	0.075	0.388	0.329	0.194	
25	25WN	—	—	—	0.07	0.07	0.07	
26、27、28、29	EL4、SH4、KB4、SJ4	0.2	—	—	0.517	—	—	Huit degrés
30、31	EY4、KY4	0.2	0.17	—	0.517	0.439	—	Huit degrés
32、33	EZ4、KZ4	0.2	0.17	0.1	0.517	0.439	0.258	Huit degrés
34	34WN	—	—	—	0.07	0.07	0.07	
35、36、37、38	EL5、SH5、KB5、SJ5	0.25	—	—	0.646	—	—	
39、40	EY5、KY5	0.25	0.213	—	0.646	0.549	—	
41、42	EZ5、KZ5	0.25	0.213	0.125	0.646	0.549	0.323	
43	43WN	—	—	—	0.07	0.07	0.07	
44、45、46、47	EL6、SH6、KB6、SJ6	0.3	—	—	0.775	—	—	
48、49	EY6、KY6	0.3	0.255	—	0.775	0.659	—	
50、51	EZ6、KZ6	0.3	0.255	0.15	0.775	0.659	0.388	
52	52WN	—	—	—	0.07	0.07	0.07	
53、54、55、56	EL7、SH7、KB7、SJ7	0.35	—	—	0.904	—	—	
57、58	EY7、KY7	0.35	0.298	—	0.904	0.769	—	
59、60	EZ7、KZ7	0.35	0.298	0.175	0.904	0.769	0.452	
61	61WN	—	—	—	0.07	0.07	0.07	

Chapitre III : Test du modèle dans table vibrante

Remarque : EL—El Centro onde X une direction) ; EY—El Centro onde (X、Y deux direction) ; EZ—El Centro (X、Y、Z trois direction) ;
KB—Kobe onde une direction) ; KY—Kobe onde (X、Y deux direction) ; KZ—Kobe onde (X、Y、Z trois direction) ;
SH—onde artificielle de Shanghai (X direction) ; SJ—onde de substrat rocheux de Shanghai (X direction) ; X:Y:Z=1:0.85:0.5

III.6. Les ondes d'accélération utilisées dans le test :

Les formes d'ondes sismiques utilisées dans l'expérience incluent les ondes **El Centro**, les **ondes de Kobe**, les **ondes artificielles de Shanghai** et les **ondes de substrat rocheux de Shanghai**, dans lesquelles des ondes X, Y bidirectionnelles ou X, Y, Z à trois directions ou de Kobe à trois directions sont entrées simultanément. Les figures 3 à 6 montrent respectivement la courbe d'historique des temps d'accélération et le spectre de Fourier des ondes El Centro, des ondes de Kobe, des ondes artificielles de Shanghai et des ondes du substrat rocheux de Shanghai.

L'onde d'El Centro est l'historique temporel d'accélération enregistré à la station El Centro le 18 mai 1940, lors du séisme IMPERIAL Valley (M7.1) aux États-Unis. Il s'agit d'un enregistrement sismique classique largement utilisé dans les tests de structure et l'analyse de réponse sismique. La durée de la partie sismique forte principale est d'environ 26 secondes, la longueur totale de la forme d'onde est de 54 secondes, les pics d'accélération des composantes NS, EW et UD sont respectivement de 341,7gal, 210,1gal et 206,3gal.

Dans le test, la composante N-S a été sélectionnée comme entrée de direction X. La courbe d'historique temporelle et le spectre de réponse sont illustrés à la figure (5) (le taux de réduction du pic est de 0,1 g sur la figure (5)).

L'onde de Kobe est l'enregistrement historique de la station météorologique marine de Kobe près de l'épicentre du séisme de Hanshin (M7.2) le 17 janvier 1995. Le séisme était un séisme urbain direct typique et la distance entre l'épicentre de la station météorologique maritime de Kobe était de 0,4 km. La durée de la partie sismique forte principale est d'environ 7 secondes, la longueur totale de la forme d'onde est d'environ 40 secondes, l'intervalle de temps d'accélération distincte de l'enregistrement initial est de 0,02 seconde et les pics d'accélération des composantes NS, EW et UD sont respectivement de 818,02 gallons,

Chapitre III : Test du modèle dans table vibrante

617,29 gallons et 332,24 gallons. Lors du test, la composante N-S a été sélectionnée comme entrée de direction X. La courbe d'historique temporel et le spectre de Fourier sont illustrés sur la figure 6 (le taux de réduction du pic est de 0,1 g sur la figure 6).

La partie forte du séisme de l'onde artificielle de Shanghai (Shw2) dure environ 50 secondes et 78 secondes pour toute la longueur de la forme d'onde, et l'intervalle de temps discret de la forme d'onde de l'accélération soit de 0,02 seconde. La courbe d'historique temporelle et le spectre de Fourier sont illustrés à la figure 7 (le taux de réduction du pic est de 0,1 g sur la figure 7).

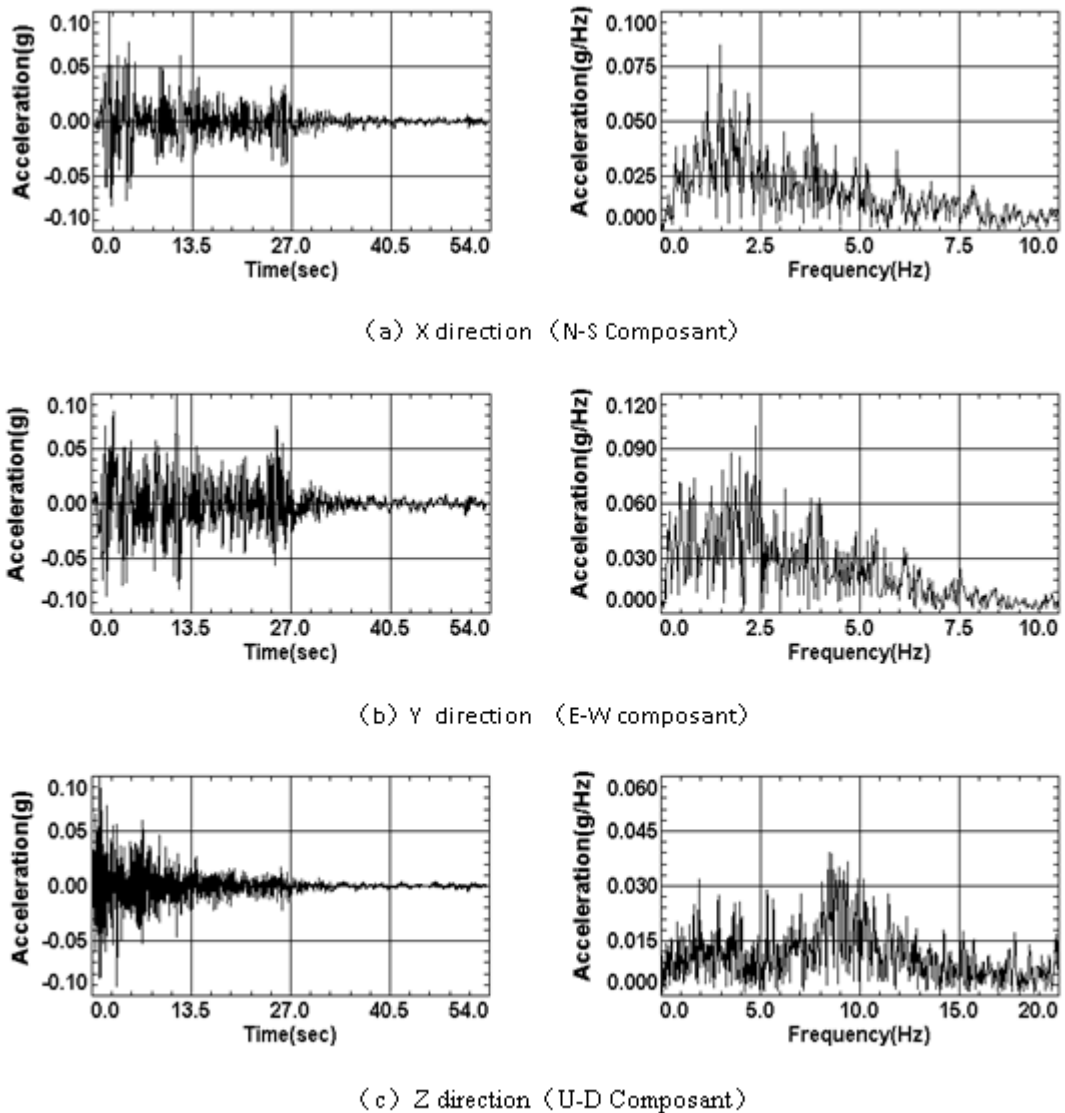


Figure 6 : Accélérogramme et le spectre de réponse de el Centro onde

Chapitre III : Test du modèle dans table vibrante

La partie principale de la durée de la forte onde de substrat rocheux de Shanghai

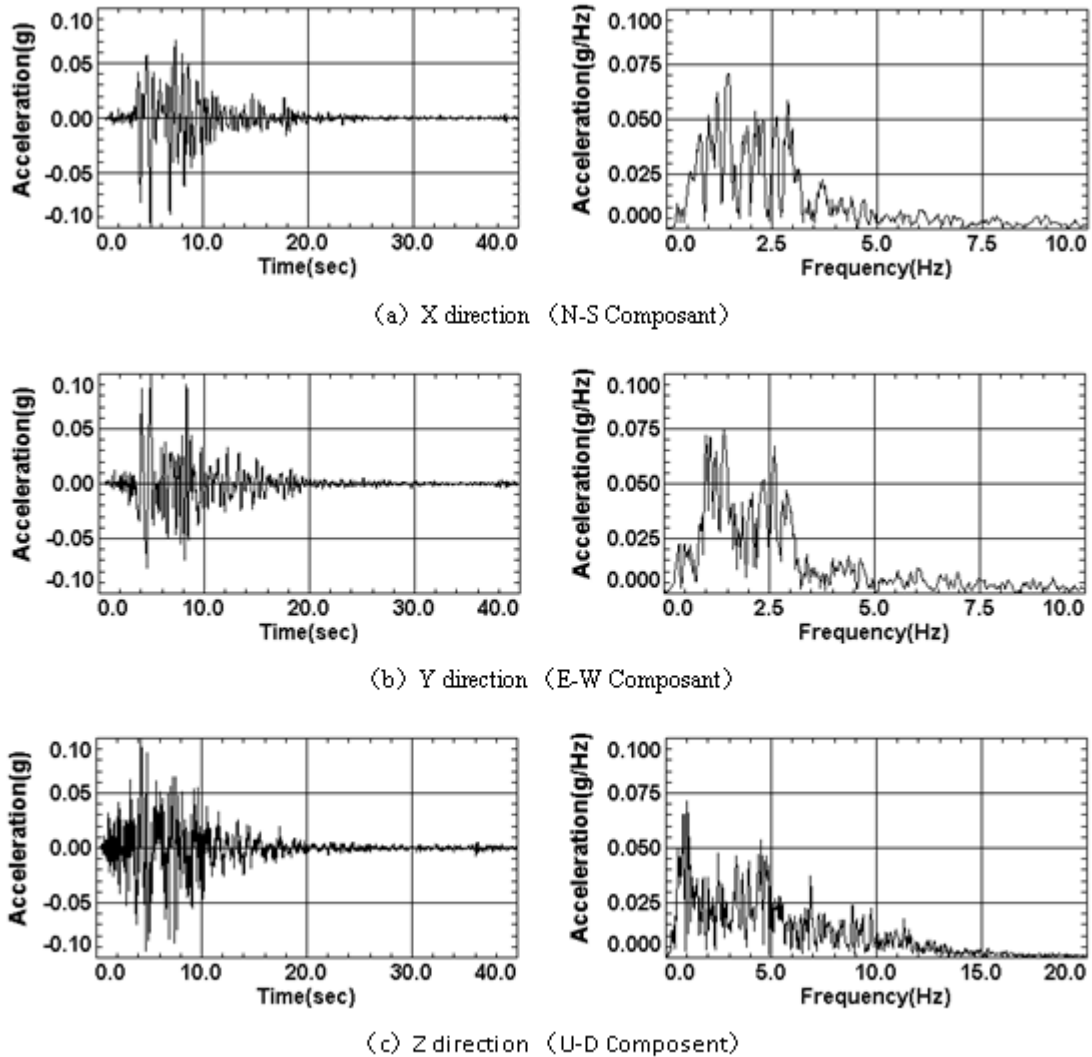


Figure 7 : accélérogrammes et le spectre de réponse d'onde Kobe

Intervalles de temps discrets de forme d'onde d'accélération de 0,02 seconde. La courbe d'historique temporelle et le spectre de Fourier sont illustrés à la figure (8) (le taux de réduction de pic est de 0,1 g sur la figure 8).

Chapitre III : Test du modèle dans table vibrante

HJ) dure 30 secondes, 64 secondes sur toute la longueur de la forme d'onde

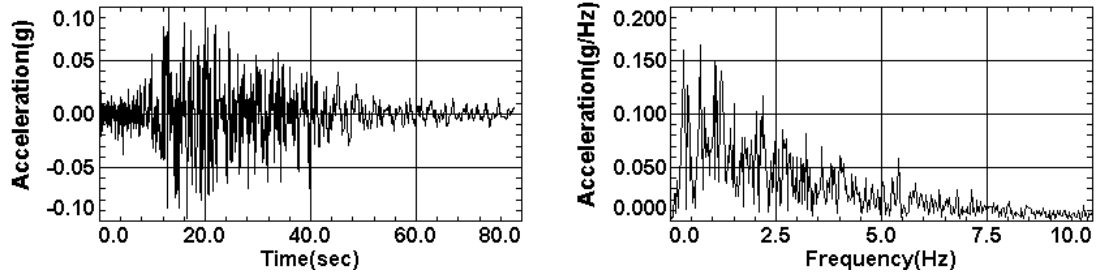


Figure 8 : accélérogramme et le spectre de réponse de Shanghai artificiel

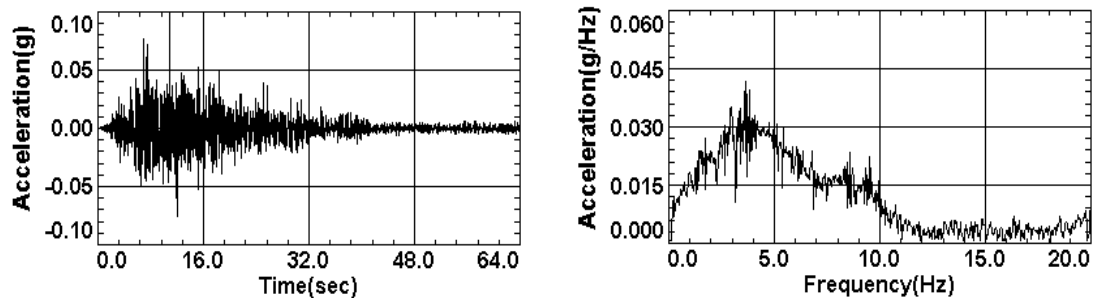


Figure 9 accélérogrammes et le spectre de réponse de substrat rocheux de Shanghai



Photo 4 : Essai S10H

Chapitre III : Test du modèle dans table vibrante

III.7. Système de chargement pendant le test

Dans le test, l'accélération maximale d'entrée du tableau est augmentée dans un ordre réduit, et le pic d'accélération et l'intervalle de temps sont ajustés en fonction de la relation de similarité. Le système de chargement est présenté dans le tableau 6. Chaque fois que l'entrée d'accélération est modifiée, une excitation de bruit blanc de faible amplitude est entrée pour observer les modifications des caractéristiques dynamiques du système de modèle.

III.8. .Phénomène de test

Le modèle monté sur la table vibrante pendant l'essai est illustré sur la Fig. 9

Pendant l'essai, aucune fissure n'a été constatée sur la structure S10H dans les sept premières conditions (ce qui correspond au séisme de sept degrés dans le système prototype). Après la neuvième condition de opération SH2 (équivalente au séisme de sept degrés du système prototype), les fissures verticales de haut en bas et de bas en haut de apparaissent en premier dans les extrémités des poutres du cadre parallèlement à condition la direction de vibration X. La largeur de la fente est inférieure à 0,05 mm. Après le 16 ème fonctionnement, les extrémités des poutres du cadre de 4 à 6 étages parallèles à la direction la vibration X présentent des fissures verticales d'une largeur de fente d'environ 0,08mm.

Aucune fissure n'est observée dans les poteaux, aucune différence n'a été constatée dans les poutres et les poteaux du cadre parallèles à la direction de la vibration Y.

Après la 18ème condition de opération SH3, la fissure verticale de l'extrémité de poutre du de cadre à 3 à 6 étages en parallèle à la direction de vibration X pénètre et la largeur maximale de la fente est au niveau de la 4ème plancher, environ 0,15 mm. Dans la 21ème condition de opération EY3 bidirectionnelle, dans le cadre parallèle à la direction de vibration Y, des fissures verticales apparaissent en premier aux extrémités des poutres des 4ème au 6ème étages, et la largeur de la fente est d'environ 0,08 mm. Ensuite, à mesure que l'excitation d'entrée augmente, la fissure à la fin de la poutre augmente et la position de la poutre fissurée se développe vers le haut et vers le bas.

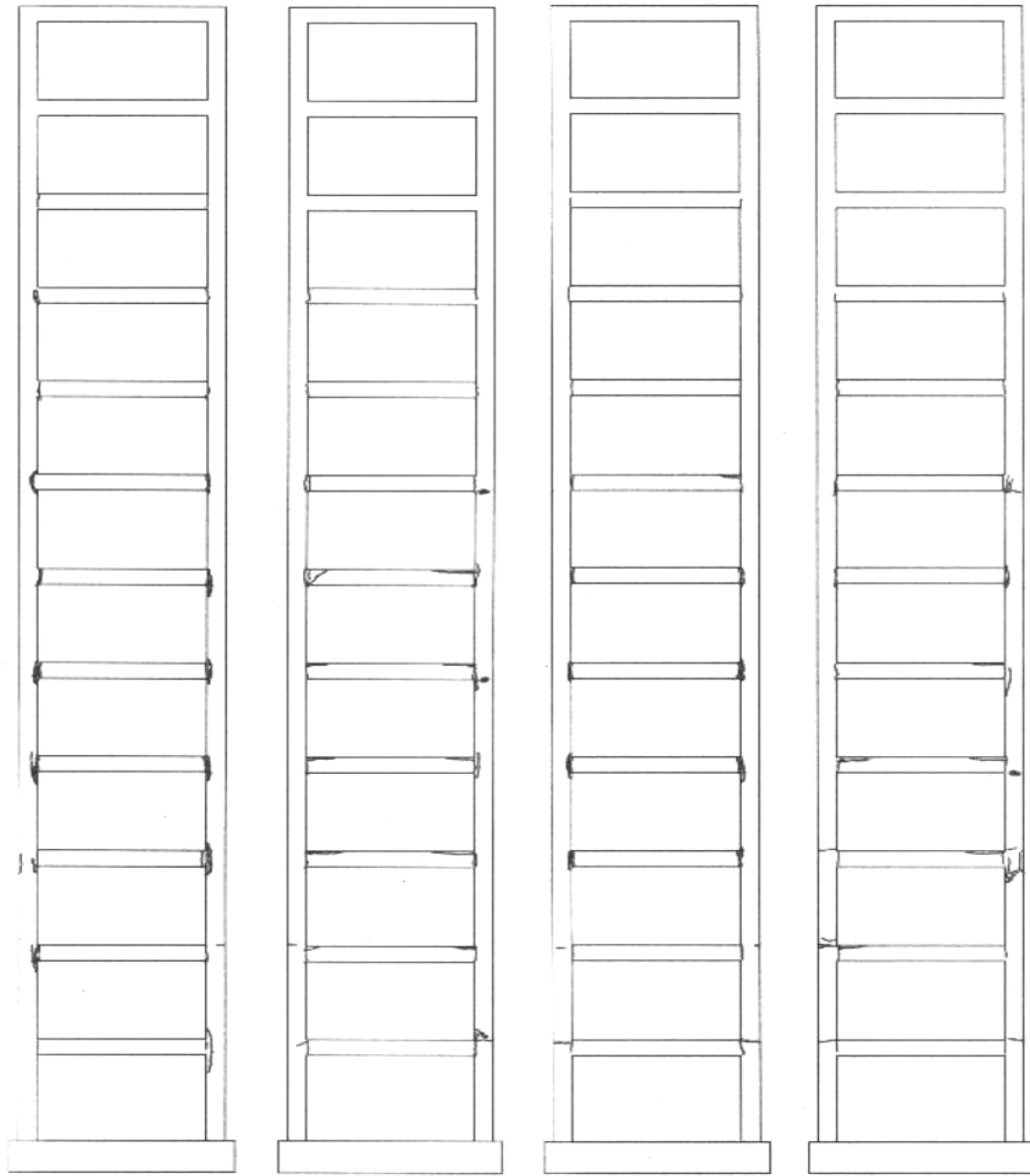
Après 62 conditions de opération, sur le bâti parallèlement à la direction de la vibration X des côtés nord et sud, des fissures sont observées aux extrémités de la poutre et aux extrémités des poteaux de 1 à 10 étages, dont 2 à 8 plancher sont fissurées à l'extrémité de la poutre, 3 à 6 plancher le plus grave, arraché ou écrasé, la largeur de fissure jusqu'à 4 mm ,

Chapitre III : Test du modèle dans table vibrante

parallèlement à la direction de vibration en Y, des fissures apparaissent aux extrémités des poutres ou des poteaux , ,de 1ère à 9ème étage, surtout 3 à 6ème plancher est la plus sérieuse.

Il n'y a pratiquement pas de fissures dans les 2 à 3 premières planchers. À la fin du test, le modèle est devenu une structure instable.

Le diagramme de fissure de la structure de l'ossature S10H après le test est présenté à la Fig.(10).



North side west side south side eastside

Figure 10 : S10H Carte des fissures de structure après le test

Chapitre IV
Modélisation de modèle par
ROBOT et SAP2000

Chapitre IV : Modélisation de modèle par ROBOT et SAP2000

Introduction :

Dans ce chapitre, nous avons utilisé la méthode d'analyse temporelle pour les deux logiciels et présentant les mêmes conditions que celles utilisées dans le système de chargement de test de modèle, comme indiqué dans le tableau (6).

IV.1. Modélisation Par Robot Autodesk :

Lors de l'élaboration de notre modèle par Autodesk ROBOT sur un fichier d'interface Complètement graphique on passe par les étapes suivantes :

IV.1.1. Choix de type d'affaire :

Cette étape nous permet de choisir un modèle qui est identique ou très proche de la Structure qu'on veut la modélisé

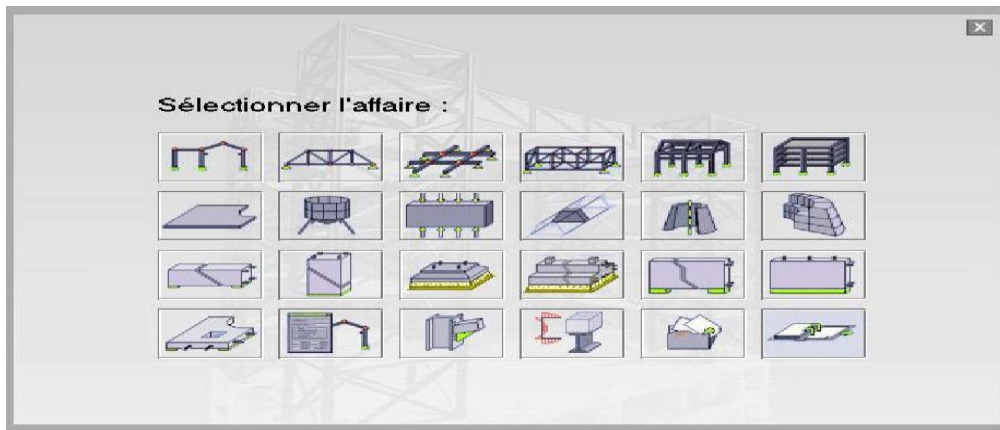


Figure 11 : Sélectionnement de l'affaire

IV.1.2. Type de structure:

Là on a inséré les cordonnées des lignes de construction de notre structure sur les axes suivants(X, Y, Z)

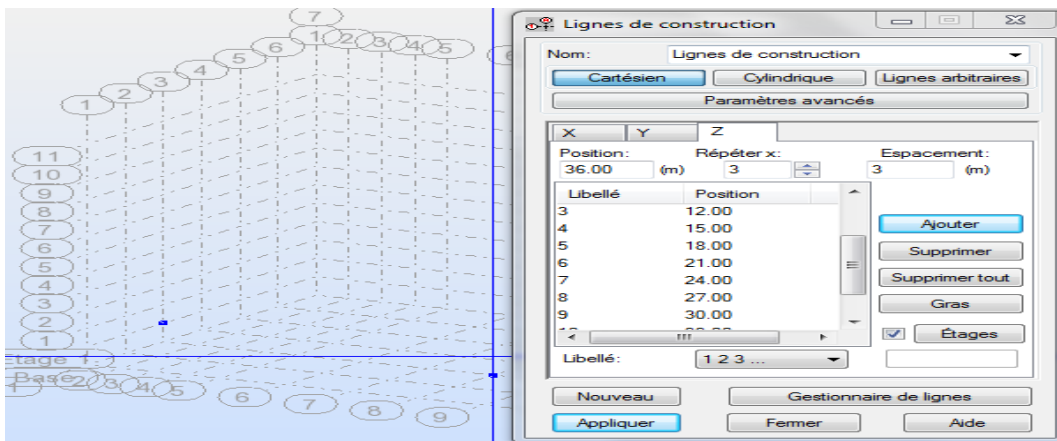


Figure 12 : ligne de construction

IV.1.3. La géométrie:

Dans cette étape Autodesk ROBOT nous aide de déclarer les différentes caractéristiques de notre structure (profiles, planchers, les types des appuis....etc.) Et aussi les dimensions de la structure.

On définira la section des différents constituants de structure (poutre, poteaux).

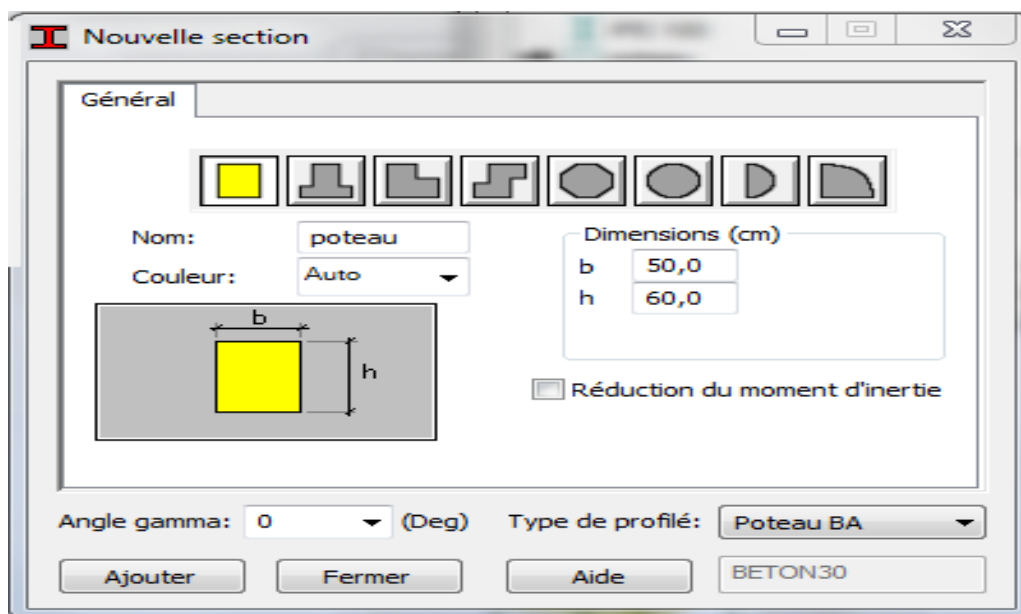


Figure 13 : Caractéristique géométriques des poteaux et poutres

Chapitre IV : Modélisation de modèle par ROBOT et SAP2000

IV.1.4. Les conditions d'appui

Un seul clic sur l'icone suivant  et on chois encastrement



Figure 14 : Les différents types des appuis

IV.1.5. Les charges:

On défini les cas des charges et les charges après un clic sur le icône cas des Charges

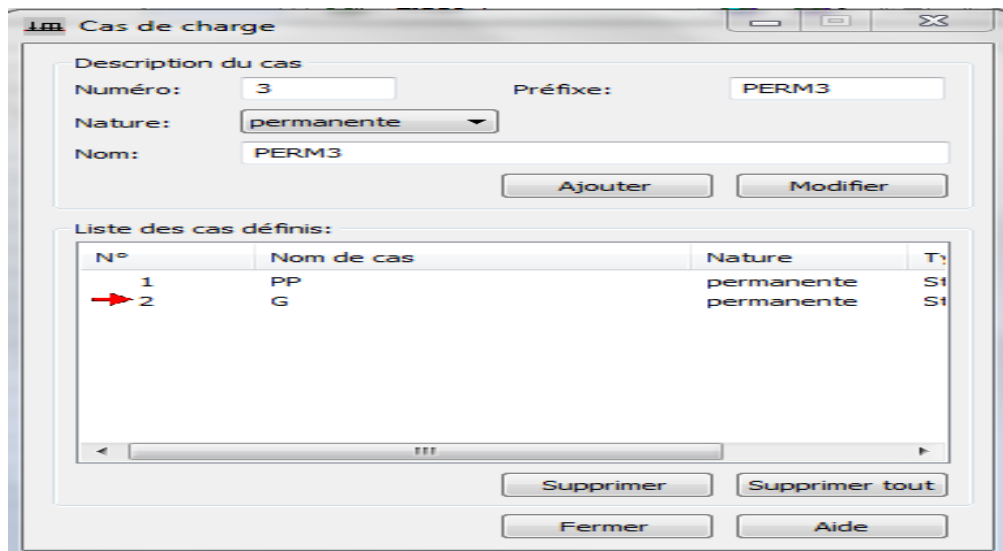


Figure 15 : Cas des charges

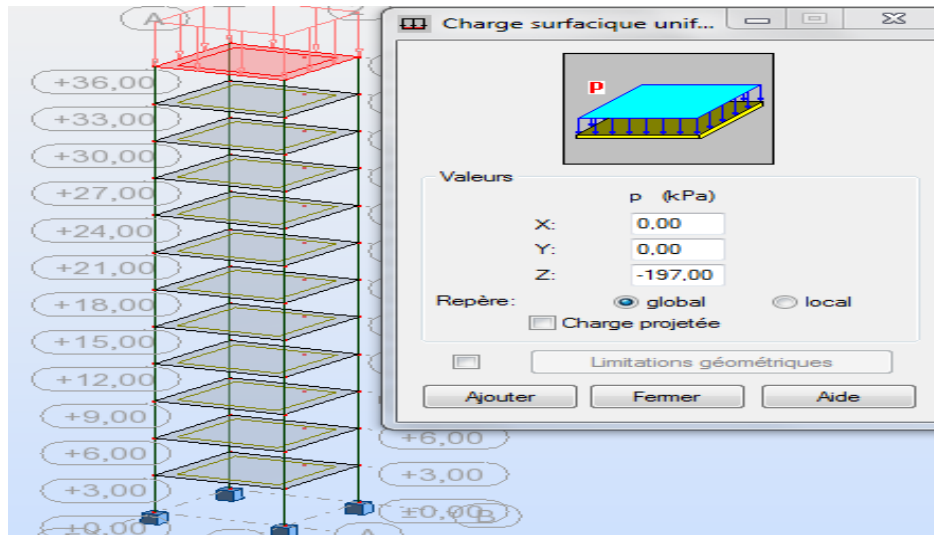


Figure 16 : Charges uniformément répartie

IV.1.6. Type d'analyse :

D'après la consultation visuelle nous avons divisé l'étude numérique en trois phases :

Phase 01 qui consiste : ELC1, SH1, KB1, SJ1, EY1, KY1

Dans Les premier cas de test on provoqué la structure dans une seule direction (x) et les autre dans la direction (x, y) comme indiqué dans le tableau 3.5.

Sachant que :

EL—El Centro onde en direction X ;

EY—El Centro onde en deux directions X、 Y

EZ—El Centro en trois directions X、 Y、 Z

KB—Kobe onde en direction X

KY—Kobe onde en deux directions X、 Y

KZ—Kobe onde en trois directions X、 Y、 Z

SH—onde artificielle de Shanghai en direction X

SJ—onde de substrat rocheux de Shanghai en direction X

Phase 02 qui consiste: ELC2, SH2

Phase 03 qui consiste : KB2, SJ2, EY2, KY2, EZ2, KZ2

Dans ce travail, nous avons utilisé l'analyse temporelle pour déterminer l'évaluation linéaire de la réponse structurelle dynamique sous la charge sismique. Les équations d'équilibre dynamique sont résolues à l'aide de la méthode modale. Nous ajoutons donc l'analyse modale à la liste des types d'analyse (figure 17).

Chapitre IV : Modélisation de modèle par ROBOT et SAP2000

Par l'option de définition de la fonction du temps on peut entrer les données du séisme après dans la fenêtre analyse temporelle (figure 20)

On a choisi la méthode Newmark accélération pour définir le système d'amortissement dans le calcul de structure.

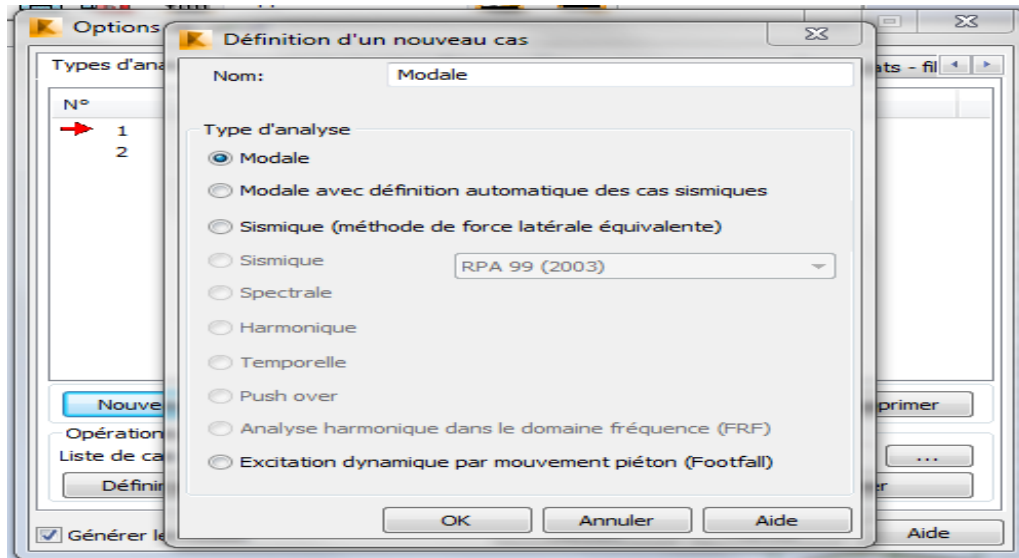


Figure 17 : Choix le type d'analyse

Après nous avons définie les analyses temporelles pour chaque phase (figure 18)

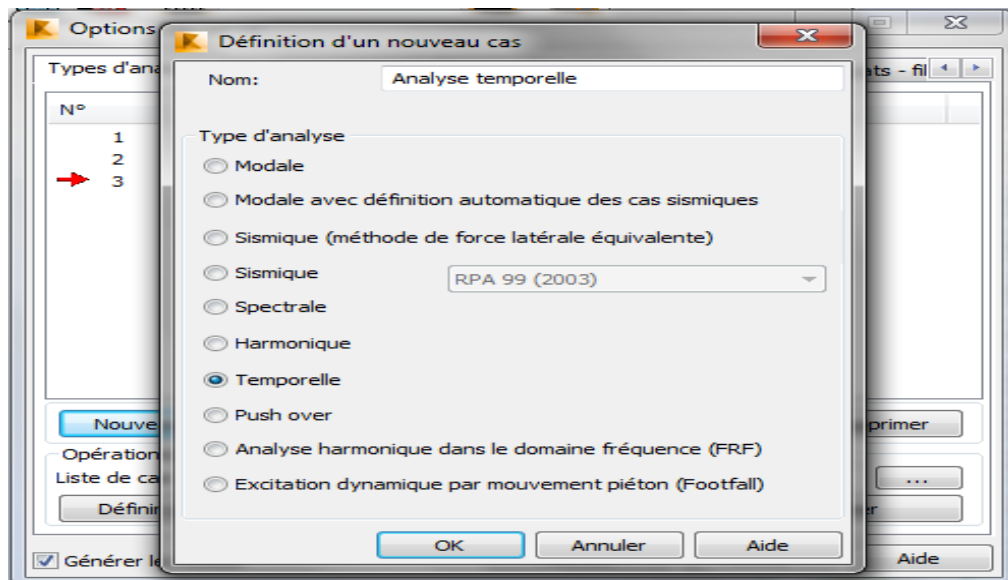


Figure 18 : type d'analyse temporelle

Après on a entre les coordonnées des séisme figure 19 ; et définir le direction et le facteur pour chaque étape (figure 20, figure 21 et figure 22).

Chapitre IV : Modélisation de modèle par ROBOT et SAP2000

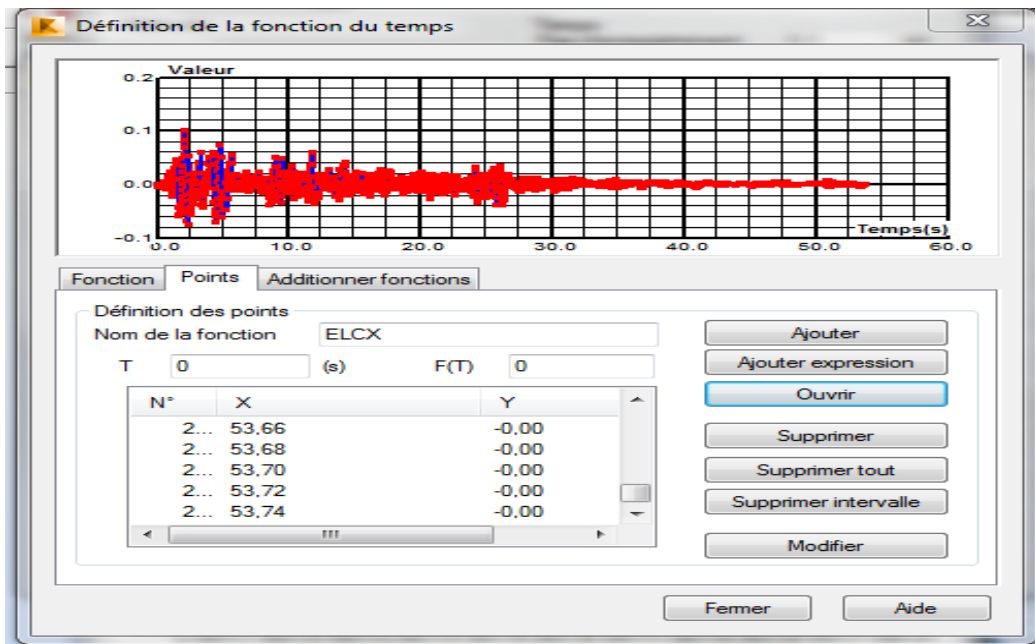


Figure 19 : l'onde sismique ELCX

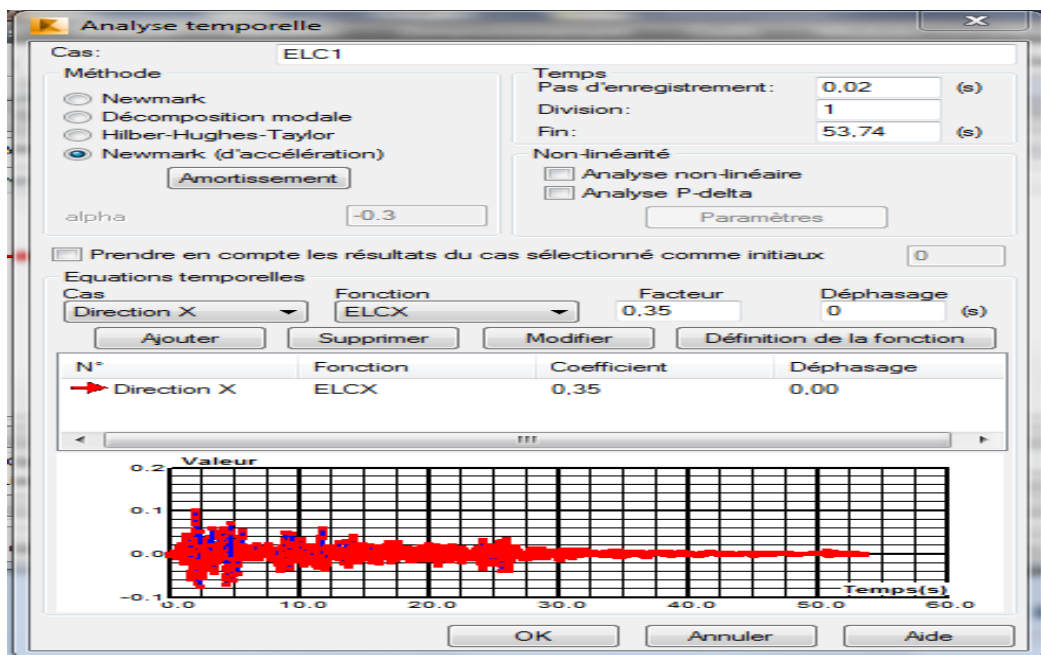
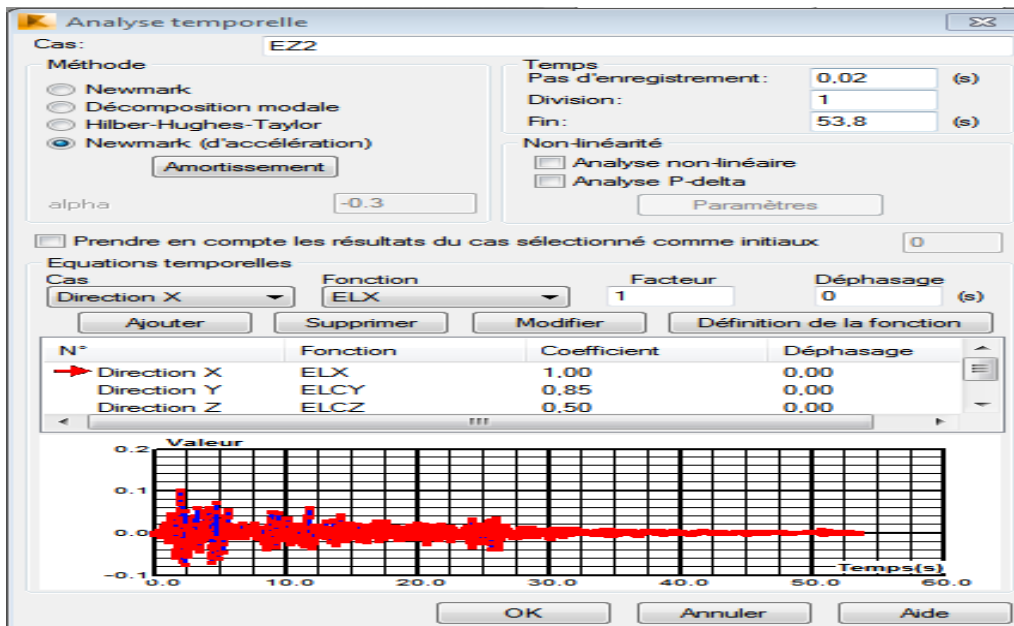
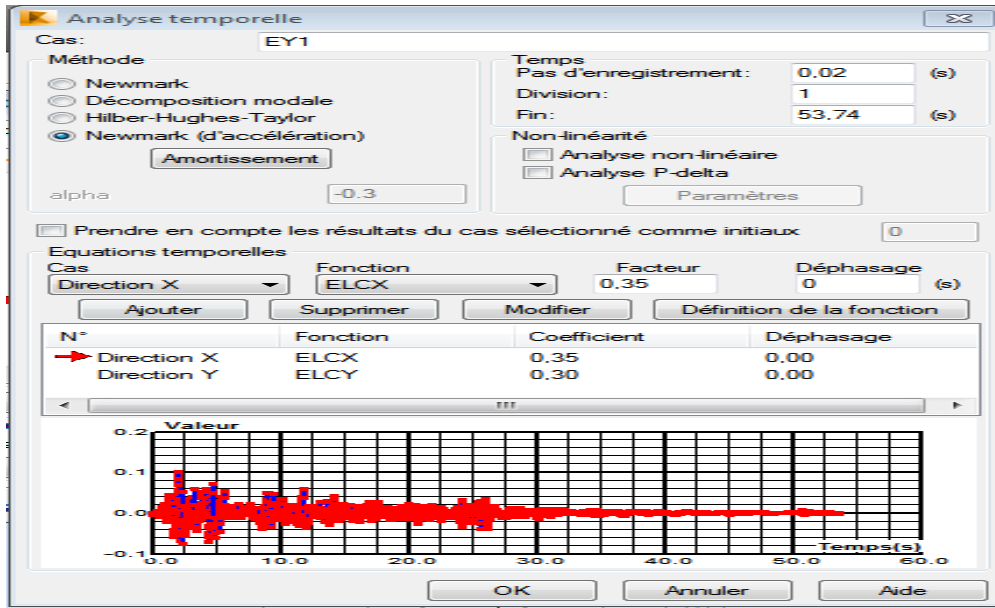


Figure 20 : les caractéristiques de l'onde sismique EL1_EL Centro(x)

Chapitre IV : Modélisation de modèle par ROBOT et SAP2000



Chapitre IV : Modélisation de modèle par ROBOT et SAP2000

IV.2. Modélisation sur le logiciel SAP2000 :

Lors du développement de notre modèle via SAP2000 sur un fichier d'interface entièrement graphique, nous suivons les étapes du schéma de flux de données, à savoir

IV.2.1. Création d'un nouveau fichier :

Dans cette étape, SAP2000 propose plusieurs types de structures (portique, treuillé, poutre, coque, ...). Nous pouvons avoir une conception libre en système de coordonnées cartésiennes (X, Y, Z) ou cylindrique (R, θ , Z)

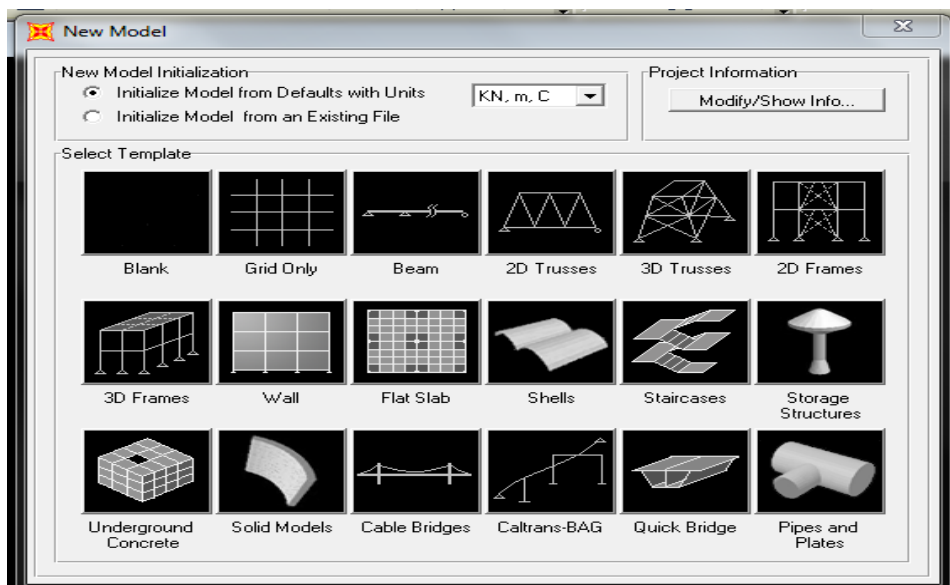


Figure 23: Types des structures

Choix de l'unité : (KN.m)

IV.2.2. Définition des éléments :

Là on a inséré les cordones des lignes de construction de notre structure sur les axes suivants (X, Y, Z)

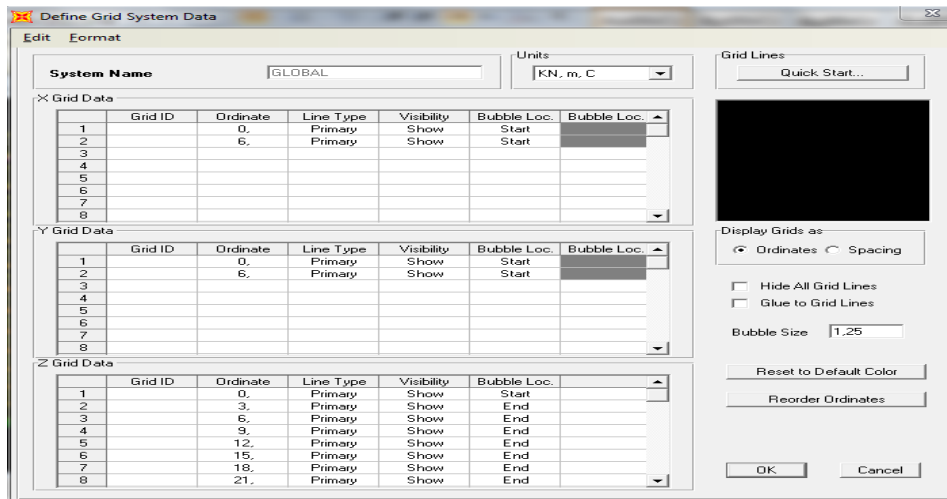


Figure 24 : ligne de construction

IV.2.3. Définition des dimensions des éléments :

- ❖ **Élément « FRAME »** : Ainsi, le nom, le matériau, les dimensions de la section transversale et le nombre de barres en acier sont affichés dans le cas de structures en béton armé.

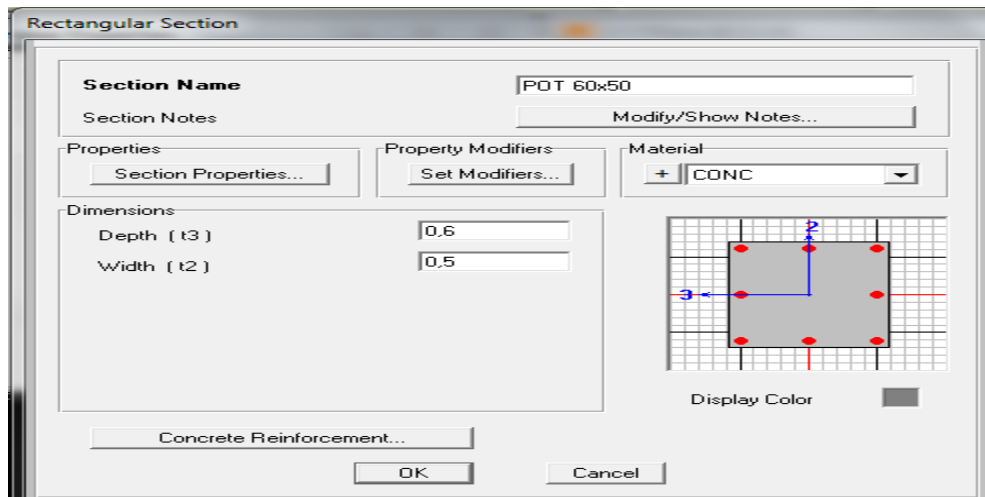


Figure 25 : Élément FRAME –

IV.2.4. Définition des cas de charge :

Dans cette étape, nous donnons un nom pour chaque type de charge et d'ensemble (charge morte, frais d'exploitation, tremblements de terre, vent, neige ou autres)

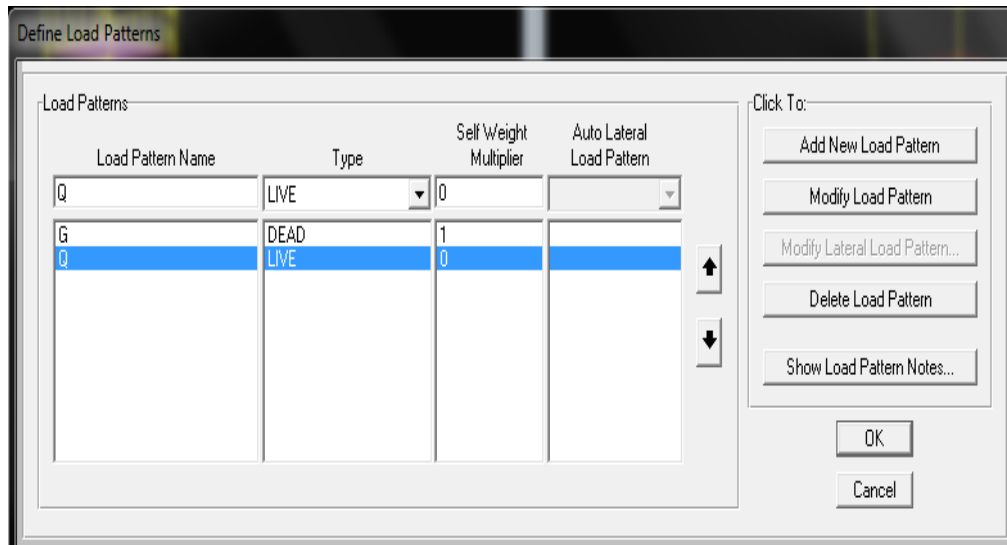


Figure 26 : Définition des cas de charge

IV.2.5. Type d'analyse :(Response functions time history)

Dans cette étape on clique sur define ⇒ Functions ⇒ Time history ⇒ From file après Add New function

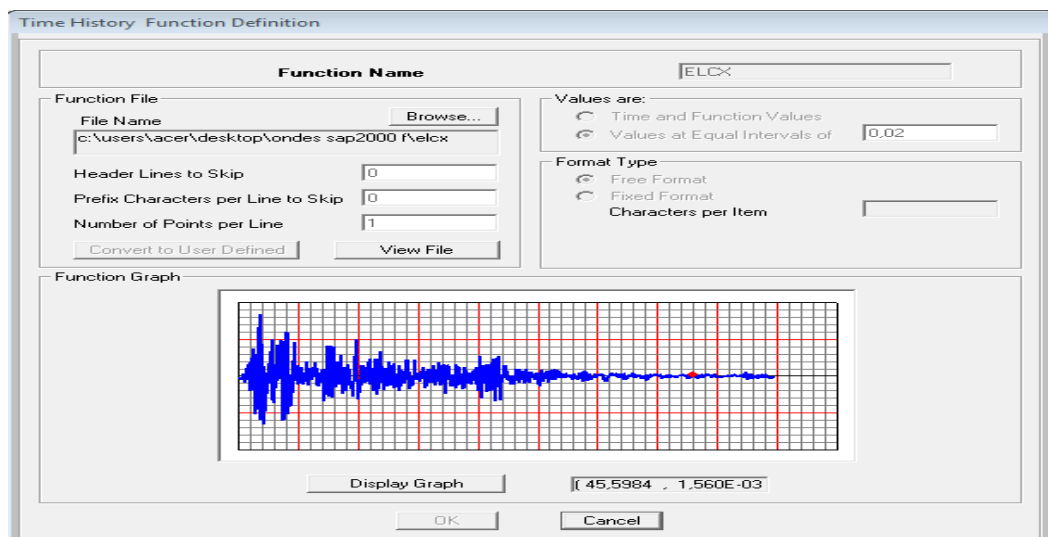


Figure 27: les caractéristiques de l'onde sismique EL1_EL Centro(x)

Chapitre IV : Modélisation de modèle par ROBOT et SAP2000

Load Case Data - Linear Modal History

Load Case Name: EL1 [Set Def Name] [Modify/Show...]

Load Case Type: Time History [Design...]

Initial Conditions:
 Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
 Continue from State at End of Modal History []
Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Modal Load Case:
Use Modes from Case: MODAL

Analysis Type:
 Linear
 Nonlinear

Time History Type:
 Modal
 Direct Integration

Time History Motion Type:
 Transient
 Periodic

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	ELCX	0,35
Accel	U1	ELCX	0,35

Show Advanced Load Parameters

Time Step Data:
Number of Output Time Steps: 2687
Output Time Step Size: 0,02

Other Parameters:
Modal Damping: Constant at 0,05 [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Figure 28: les caractéristiques de l'onde sismique EL1_EL Centro(x)

Load Case Data - Linear Modal History

Load Case Name: EY1 [Set Def Name] [Modify/Show...]

Load Case Type: Time History [Design...]

Initial Conditions:
 Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
 Continue from State at End of Modal History []
Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Modal Load Case:
Use Modes from Case: MODAL

Analysis Type:
 Linear
 Nonlinear

Time History Type:
 Modal
 Direct Integration

Time History Motion Type:
 Transient
 Periodic

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	ELCX	0,35
Accel	U1	ELCX	0,35
Accel	U2	ELCY	0,3

Show Advanced Load Parameters

Time Step Data:
Number of Output Time Steps: 2687
Output Time Step Size: 0,02

Other Parameters:
Modal Damping: Constant at 0,07 [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Figure 29 : Les caractéristiques de l'onde sismique EY1_ELCentro(x, y)

Chapitre IV : Modélisation de modèle par ROBOT et SAP2000

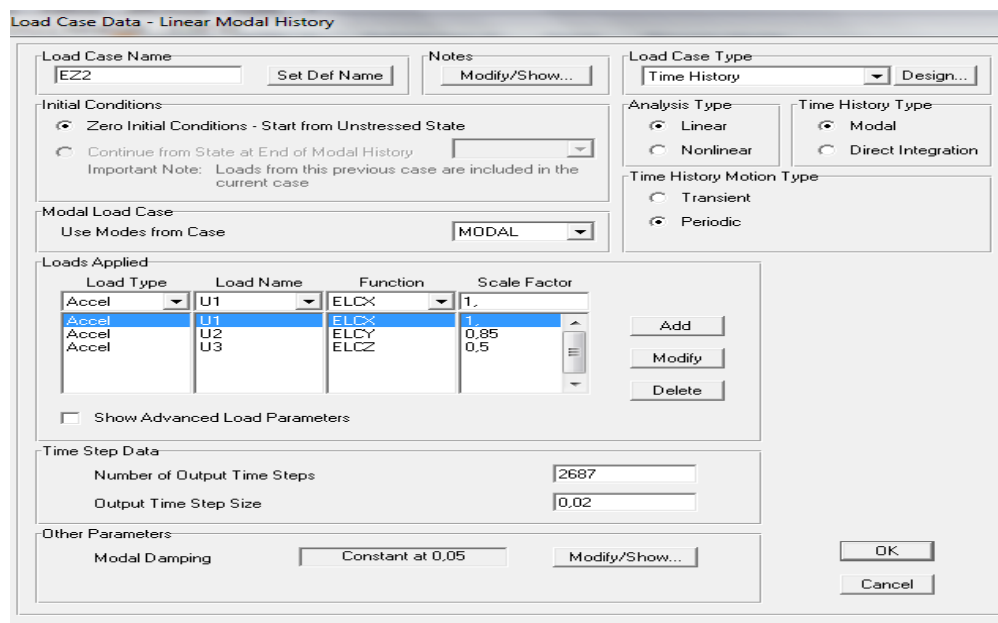


Figure 30: les caractéristiques de l'onde sismique EZ2_EL Centro(x, y, z)

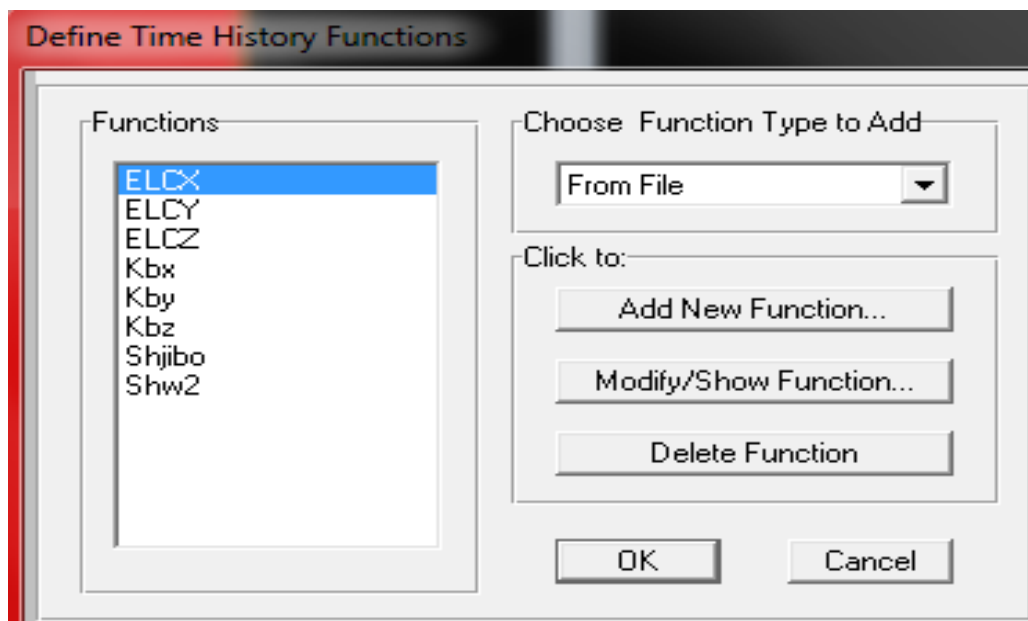


Figure 31: les ondes de la première phase

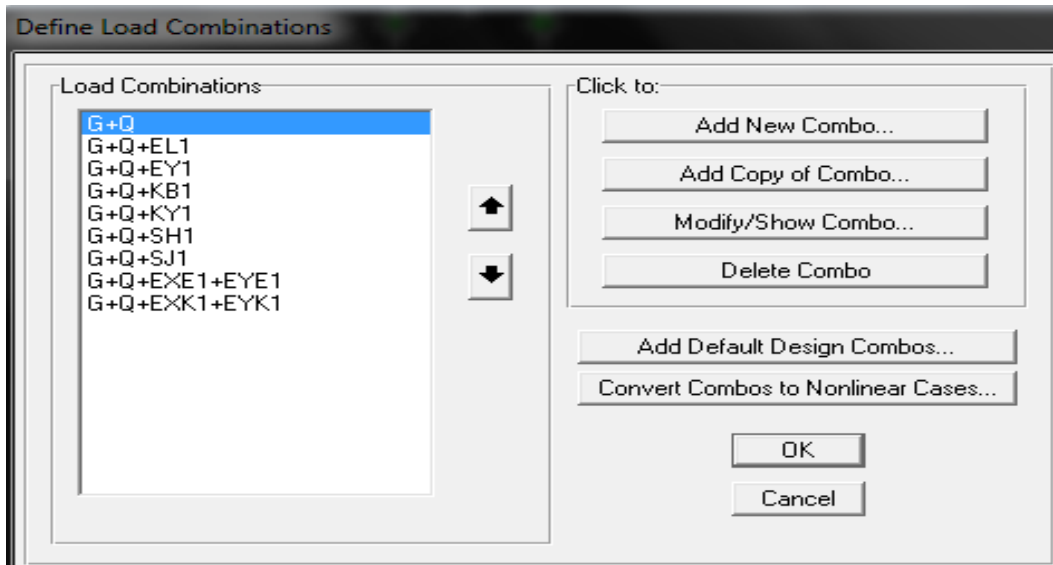


Figure 32 : Combinaison de charge

- ❖ Après déterminer tous les ondes d'accélération utilisées dans le test et les combinaisons de charge nous lançons le calcul et enregistrent les résultats obtenus (figure 33).

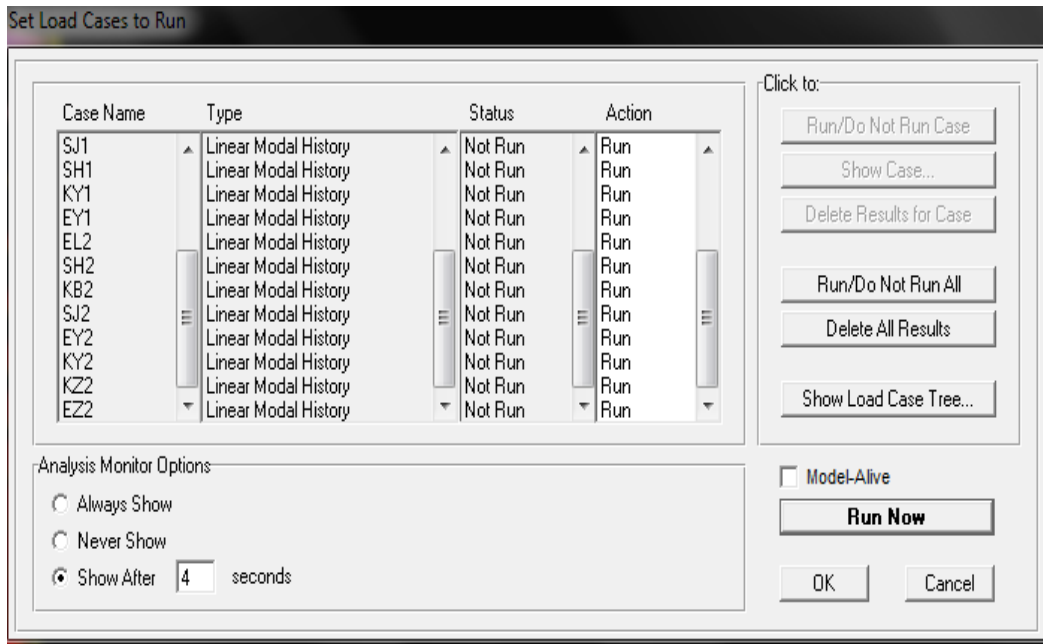


Figure 33: lancement de l'analyse

Chapitre V

Résultat et comparaison

Chapitre V : Résultat et comparaison

INTRODUCTION:

Dans notre étude numérique, on utilise Une linéaire analyse dynamique par intégration temporelle pas à pas et un plusieurs accélérogramme de l'excitation sismiques, avec différentes période et intensités. D'après détermination de l'étude nous représentes Les résultats qui sont montrés ci-après:

V.1. La réponse de la structure sous l'excitation sismique qui on utilisé:

Phase 01 :

La réponse de la structure sous les différents accélérogramme, en termes de déplacement:

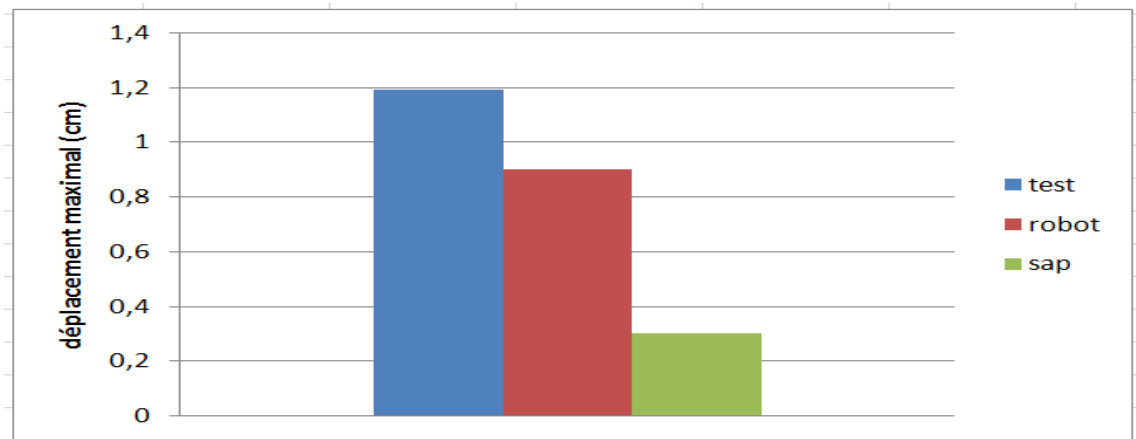
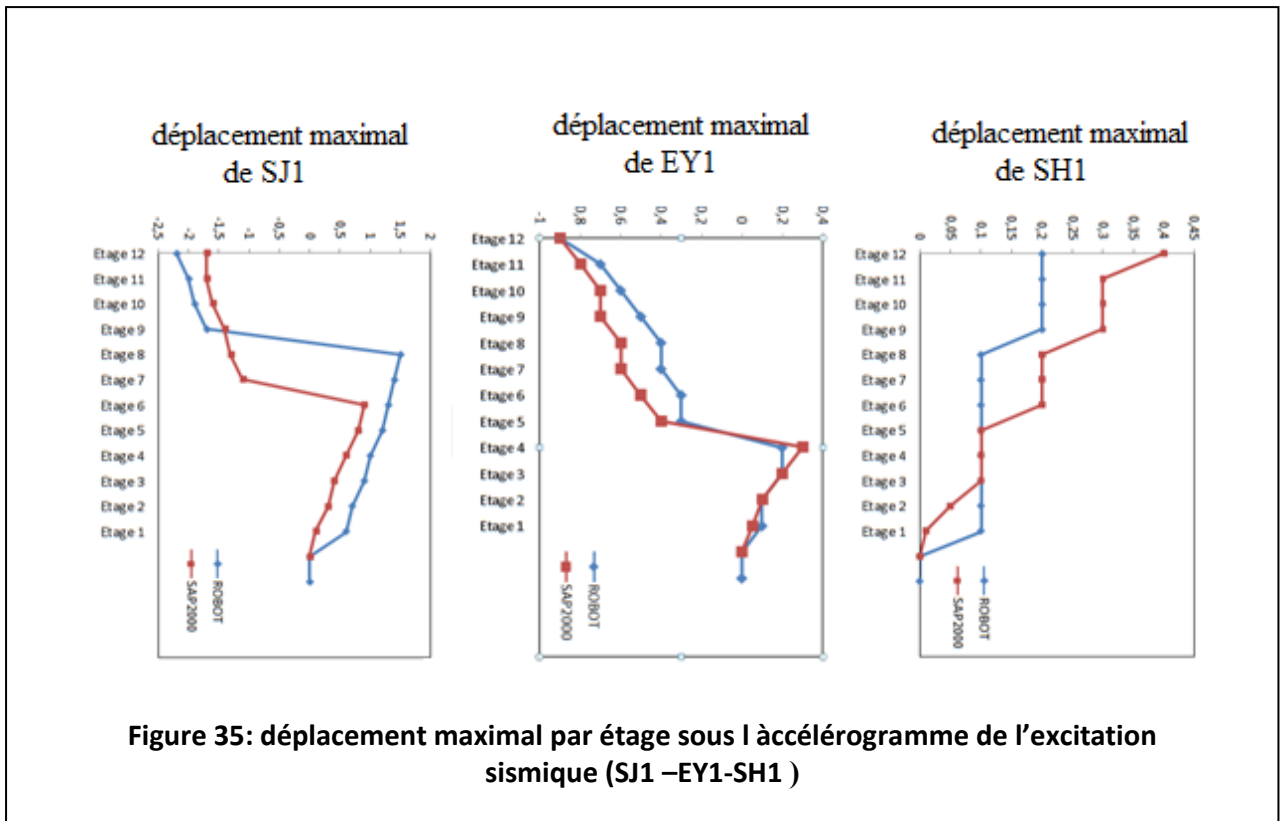


Figure 34 : déplacement maximal de structure suivant le sans x sous l'accélérogramme de l'excitation sismique Elcentro N S

- D'après le figure (34) qui représente le déplacement maximal de la structures suivant le sans (x) sous l'accélérogramme de l'excitation sismique Elcentro NS On remarquant que le résultat obtenu avec le logiciel robot est plus proche au model réduis (test) , que le résultat obtenu par Sap2000 qui égal 20% et 80% pour le robot.



- **Pour le déplacement de la structure sous l'accélérogramme de l'excitation sismique SH1:** On remarque que la déviation de la structure elle-même dans les deux logiciels et dans la direction positive, mais le SAP est plus rapide que le Robot avec une valeur maximale égale 0.4 cm qui est enregistré dans l'étage.
- **Pour le déplacement de la structure sous l'accélérogramme de l'excitation sismique EY1 :** Aux premiers étages, la structure se dévie dans le même sens (positif) pour les deux logiciels, par contre les autres niveaux. Ainsi que l'on remarque que la valeur maximale de déplacement c'est la même pour les deux logiciels qui est égale (-0.9cm)
- **Pour le déplacement de la structure sous l'accélérogramme de l'excitation sismique SJ1:** la déviation de la structure pour l'excitation EY2, de l'étage 0 à 5 sont déplacés dans la même direction (sens positif) dans les deux logiciels, à partir de 6^{ème} étage la structure dans le SAP2000 change de direction au négatif, mais dans le Robot jusqu'à 8^{ème} étage elle change de direction avec une valeur maximale de déplacement.

Chapitre V : Résultat et comparaison

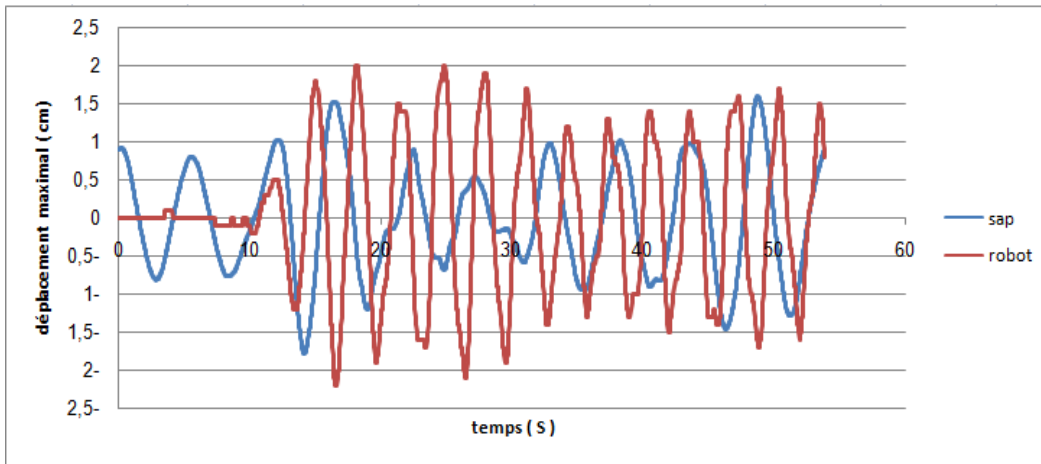


Figure 36 : déplacement maximal de structure sous l'accélérogramme de l'excitation sismique (SH1)

- D'après le figure 36 qui présenté ci-dessus on remarque que : de l'intervalle [0:10s] il y'a un amortissement qui en pèche le déplacement du structure par le logicielle robot, par contre le déplacement est enregistré qui égal 1cm en temps 0s par logicielle Sap2000.

- À partir de l'intervalle [10s:20s] nous remarquants que le déplacement est maximale qui égale 1.8 cm par les résultat de sap2000 et 2.2 cm par les résultat de robot, ansai que les plus part des déplacement enregistré par logicielle robot est supérieur au valeur des déplacements enregistré par logicielle Sap2000.

Phase 02:

- ✓ La réponse de la structure sous les différents accélérogramme, en termes de déplacement:

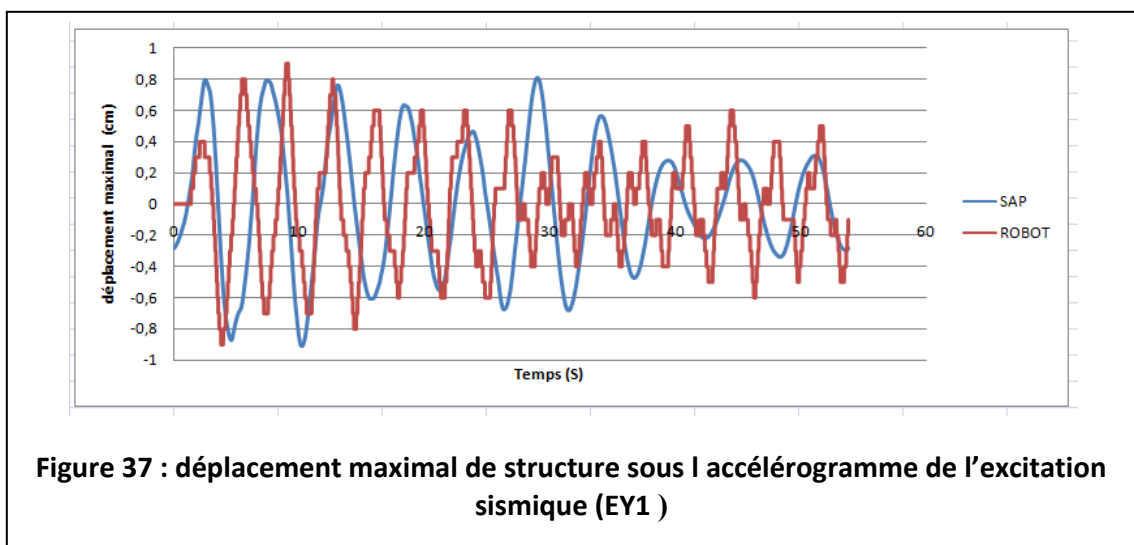


Figure 37 : déplacement maximal de structure sous l'accélérogramme de l'excitation sismique (EY1)

Chapitre V : Résultat et comparaison

- D'après le (figure 37) on remarque que les deux résultats de déplacement enregistré par les deux logiciels sap2000 et robot presque homogène, ainsi que les valeurs maximale de déplacement presque sont égaux.
- Le déplacement est diminué par rapport au temps.

Phase 03:

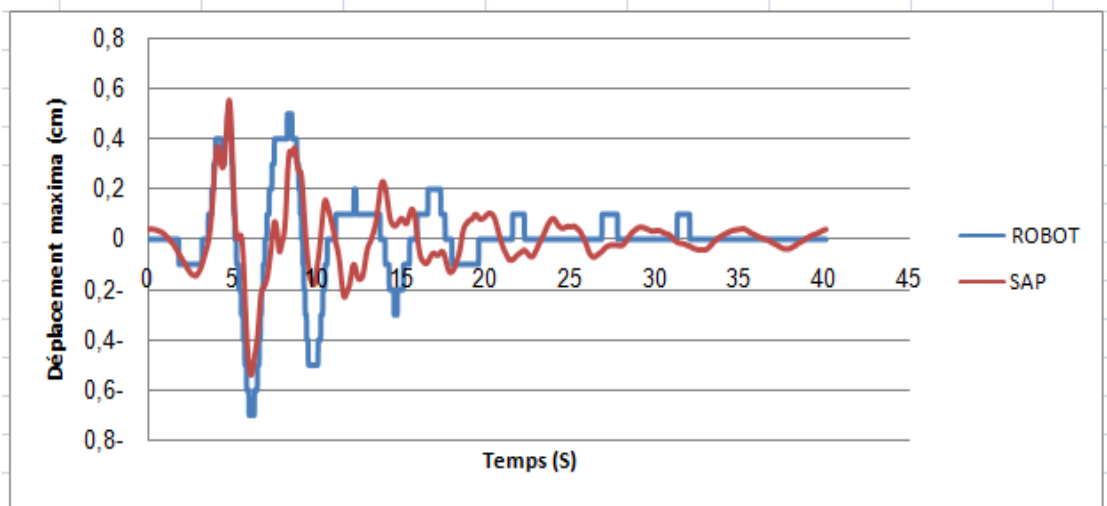


Figure 38 : déplacement maximal de structure sous l'accélérogramme de l'excitation sismique (KZ2) suivant le sens Y

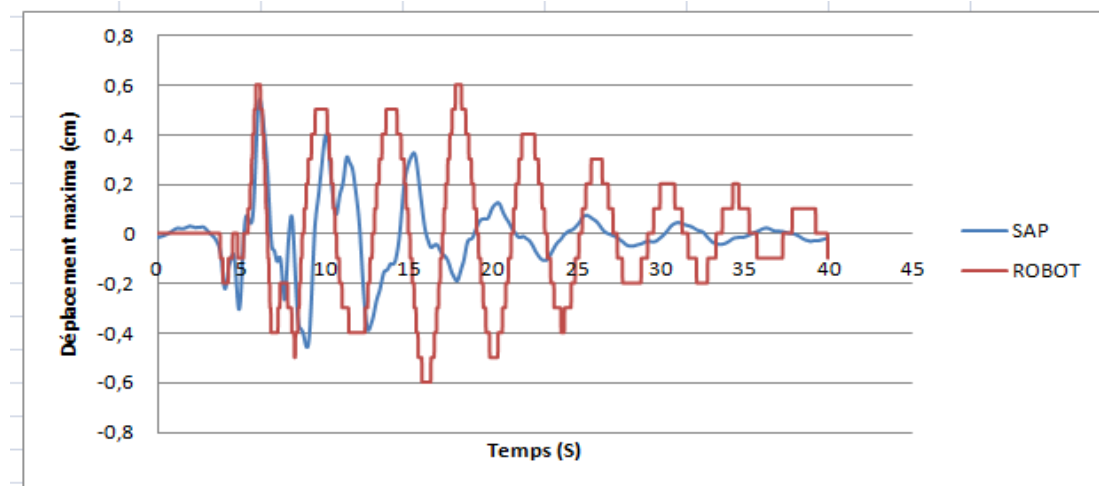


Figure 39 : déplacement maximal de structure sous l'accélérogramme de l'excitation sismique (KZ2) suivant le sens Z

Chapitre V : Résultat et comparaison

• D'après le figure 39 et 40: on remarque que le résultat de déplacement sous l'excitation sismique KZ2 sont homogène dans les deux logicielle et ils sont amorti para porte au temps, le déplacement maximal est enregistré dans l'intervalle [5s:10s] dans les deux directions (Y, Z), les deux cas la valeur max enregistré par le résultat de robot.

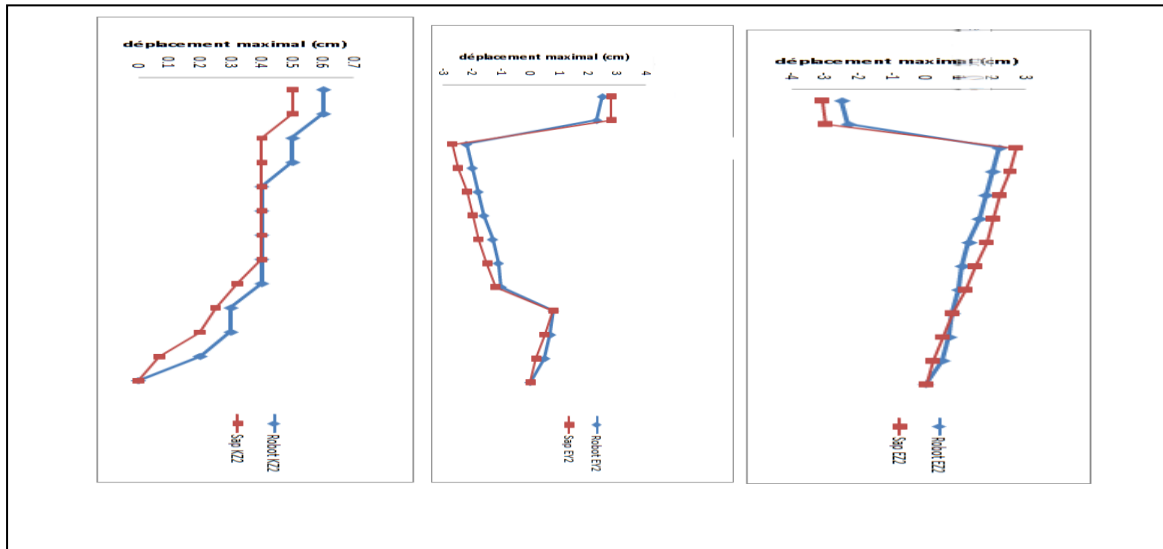


Figure 40 : déplacement maximal de structure sous l'accélérogramme de l'excitation sismique (EY2, KZ2, EZZ)

• Pour le déplacement de la structure sous l'accélérogramme de l'excitation Sismique EZZ: en remarque que le déplacement maximale enregistré dans étage N° 12 qui est donne par les résultats de logicielle Sap2000 avec une valeur max égale 3cm, ansai que les deux résultats de déplacement presque sont parallèle.

À partir de l'étage 1 à 10 la déviation du structure c'est le même (sens positif) pour les deux logicielle, par contre les 02 dernière niveaux (11,12)

• Pour le déplacement de la structure sous l'accélérogramme de l'excitation Sismique EY2: on remarque que les deux résultats sont parallèle sauf que le déplacement dans le sap2000 est rapide que le robot, dans les 3 première étage la structure sont dévié au sens positif et a partir de 4 à 10 étage sont changé la direction au négatif.

• Pour le déplacement de la structure sous l'accélérogramme de l'excitation Sismique KZ2: On observe que la structure est déviée dans le sens positif dans les deux logicielle mais les déplacements maximaux sont enregistré par le robot.

Chapitre V : Résultat et comparaison

V.2. la résistance de béton :

Pour vérifiée la résistance des poutres dans notre structure en utilisé la méthode des contraintes admissible.

V.2.1. Définition de béton : [17]

Le béton arme peut être défini comme l'association judicieuse de deux matériaux, le béton et l'acier. Ces aciers sont appelés armatures. On distingue les armatures longitudinales disposées suivant l'axe longitudinal de la pièce et les armatures transversales disposes dans des plans perpendiculaires a l'axe de la pièce. [17]

Le béton arme ne repose pas toujours sur des théories scientifiques. Les formules de calcul et les nombreux coefficients utilises ont souvent un caractère empirique mais il est essentiel qu'ils aient été fixes a la suite de nombreux essais et que les résultats de calcul soient conformes a l'expérience. [17]

Jusqu'en 1980, le béton arme était calcule par la méthode des contraintes admissibles. Ces contraintes admissibles étaient définies sur la base des contraintes de rupture ou de limite élastique des matériaux et ensuite on multipliait par un coefficient de sécurité.

Il suffisait ensuite de calculer les contraintes dans l'acier et le béton sous l'effet le plus défavorable des charges et de vérifier que l'on ne dépassait pas ces contraintes admissibles. Cette notion de sécurité a évolué. On cherche aujourd'hui, a prendre en compte tous les facteurs d'insécurité séparément : [17]

- La résistance intrinsèque des matériaux,
- La valeur la plus probable des charges permanentes et des charges Variables,
- L'aspect favorable ou défavorable des actions,
- Les défauts géométriques des matériaux et de leur position,
- La fissuration.

Chapitre V : Résultat et comparaison

V.2.2. DIAGRAMME DEFORMATIONS-CONTRAINTES DU BETON

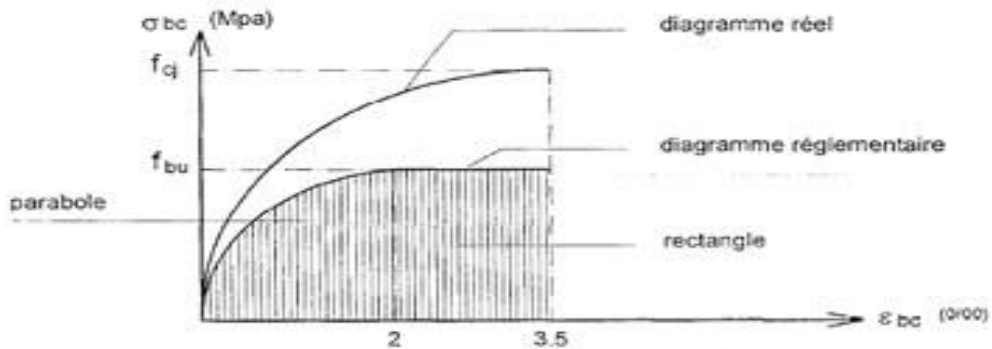


Figure 41: Diagramme parabolé-rectangle

σ_{bc} : Contrainte de compression du béton

f_{cj} : Résistance caractéristique du béton en compression a j jours

f_{bu} : Résistance conventionnelle ultime a la compression

ε_{bc} : Déformation du béton en compression

La valeur f_{bu} de la contrainte de calcul pour une déformation comprise entre 2 A et 3,5 A est :

$$f_{bu} = \frac{0.85 * f_{cj}}{\theta * \gamma_b}$$

γ_b : Coefficient de sécurité

$\gamma_b=1,5$ dans l e cas général

$\gamma_b=1,15$ pour les combinaisons accidentelles

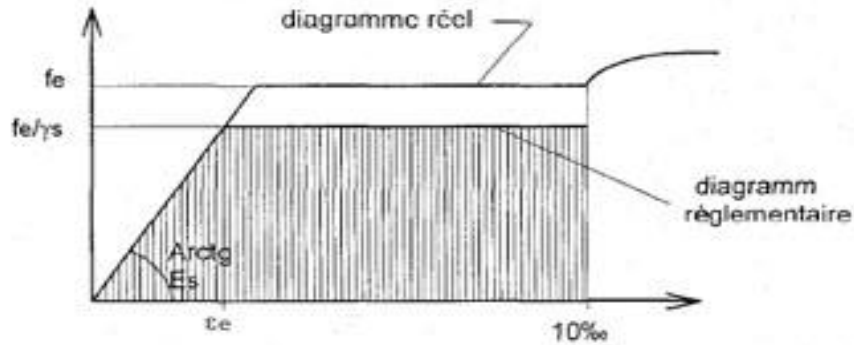
θ : dépend de la durée d'application des charges.

$\theta =1$ lorsque la durée probable ' application des charges considérées est supérieure 24 heures;

$\theta =0,9$ lorsque cette durée est comprise entre 1 heure et 24 heures ;

$\theta =0,95$ lorsqu' ' elle est inférieure l ' heure.

V.2.3. DIAGRAMME DEFORMATIONS-CONTRAINTES DES ACIERS



γ_s : coefficient de sécurité
 $\gamma_s = 1,15$ dans le cas général
 $\gamma_s = 1$ pour les combinaisons accidentelles.

E_s : module d'élasticité longitudinal
 $E_s = 200\ 000$ MPa

Figure 42: diagramme de calcul

ϵ_e : est pris égal à $f_e / \gamma_s * E_s$ ce qui donne par exemple pour un acier f_e E400

$$\text{Si } 0 \leq \epsilon_e \leq \epsilon_e \Leftrightarrow \sigma_s = E_s * \epsilon_s \dots 1$$

$$\text{Si } \epsilon_e \leq \epsilon_e \leq 10\% \Leftrightarrow \sigma_s = f_e / \gamma_s \dots 2$$

On pose $1 = 2 \Leftrightarrow \epsilon_e = f_e / \gamma_s * E_s \Leftrightarrow \epsilon_e = 0.00174 \Leftrightarrow \epsilon_e = 1.74\text{‰}$

❖ **Contraintes du Béton:**

$$\sigma_b = E * \epsilon \Leftrightarrow \sigma_b = 32500 * 0.002 \Leftrightarrow \sigma_b = 65 \text{ Mpa}$$

❖ **Contraintes du l acier:**

$$\sigma_s = E * \epsilon \Leftrightarrow \sigma_s = 200000 * 0.00174 \Leftrightarrow \sigma_s = 348 \text{ Mpa}$$

Chapitre V : Résultat et comparaison

Phase 02: Les résultats obtenus

Tableau8 : Résultat des contraintes obtenues

	Barre	EI2		SH2		Contrainte		Vérification	
		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
ROBOT	Poutre 101	64.01	-64	64.09	-64.08	CV	CV	CV	CV
	Poteau 5	94.5	-94.48	133.56	-133.98	CV	CNV	CV	CNV
SAP2000	Poutre	189.8	-189.7	95.43	-95.40	CV	CNV	CV	CNV
	Poteau	89.41	-77.53	95.43	-95.40	CV	CNV	CV	CNV

Pendant l'essai et à partir le résultat obtenue en remarque que les fissures verticales de haut en bas et de bas en haut apparaissent en premier dans les extrémités des poutres du cadre parallèlement à la direction de vibration X pour le résultat de **Sap2000**.et Pour les résultat du **Robobat** on remarque que il'ya des fissure dans le poteaux 5 c'est-à-dir était en état plastique ,par contre le poutre101 à était en état élastique.

Phase 03: Basé sur résultats visuelle obtenus à partir de table vibrante on à vérifiés le les fissure dans le cadre parallèle a l'axe x pour l'étage 2 jusqu'à 6 (tableau .9).

Chapitre V : Résultat et comparaison

Tableaux 9 : Résultat des contraintes obtenues

				KB2		SJ2		EY2		KY2		KZ2		EZ2		
				Valeur	vérifie	valeur	vérifie	valeur	vérifie	valeur	vérifi e	Valeur	vérifie	valeur	Vérifi e	
Robot	Poutre	Etage 2	Max	63.94	CV	63.94	CV	173.94	CV	163.94	CV	183.94	CV	183.94	CV	
			Min	-63.64	CV	-63.94	CV	-163.9	CNV	-153.9	CNV	-163.9	CNV	-173.9	CNV	
		Etage 3	Max	63.94	CV	63.94	CV	173.94	CV	183.94	CV	203.94	CV	183.94	CV	
			Min	-63.94	CV	-63.94	CV	-173.9	CNV	-173.9	CNV	-193.9	CNV	-183.9	CNV	
		Etage 4	Max	73.94	CV	63.94	CV	173.94	CV	183.94	CV	183.94	CV	213.94	CV	
			Min	-63.94	CV	-63.94	CV	-173.9	CNV	-173.9	CNV	-173.9	CNV	-203.9	CNV	
		Etage 5	Max	63.94	CV	63.94	CV	143.94	CV	143.94	CV	143.94	CV	143.94	CV	
			Min	-63.94	CV	-63.94	CV	-133.9	CNV	-133.9	CNV	-143.9	CNV	-133.9	CNV	
		Etage 6	Max	63.94	CV	63.94	CV	143.94	CV	143.94	CV	143.94	CV	163.94	CV	
			Min	-63.94	CV	-63.94	CV	-133.9	CNV	-143.9	CNV	-143.9	CNV	-153.9	CNV	
		poteau	Poteau 102	Max	931.71	CNV	570.6	CNV	1613.1	CNV	1699.6	CNV	1626.6	CNV	1112.6	CNV
				Min	-931.6	CNV	-565.6	CNV	-1605	CNV	-1143	CNV	-1619	CNV	-1151	CNV
	Sap2000	Poutre	Etage 2	Max	201.1	CV	185.5	CV	111.7	CV	605.6	CNV	574.6	CNV	84.3	CV
				Min	-201.1	CNV	-185.5	CNV	-105.8	CNV	-605.3	CNV	-574.3	CNV	-80.42	CNV
Etage 3			Max	223.1	CV	184.8	CV	107.8	CV	626.9	CNV	568.9	CNV	86.43	CV	
			Min	-223.1	CNV	-184.7	CNV	-73.85	CNV	-626.6	CNV	-568.7	CNV	-60.12	CV	
Etage 4			Max	180.4	CV	182.9	CV	104.0	CV	567.7	CNV	522.0	CNV	83.55	CV	
			Min	-180.3	CNV	-182.9	CNV	-81.84	CNV	-567.4	CNV	-521.5	CNV	-66.90	CNV	
Etage 5			Max	181.7	CV	184.8	CV	480.9	CNV	542.8	CNV	556.2	CNV	84.3	CV	
			Min	-181.6	CNV	-184.7	CNV	-409.8	CNV	-542.6	CNV	-556.1	CNV	-76.87	CNV	
Etage 6			Max	200.7	CV	180.4	CV	519.0	CNV	557.2	CNV	555.2	CNV	90.54	CV	
			Min	-200.7	CNV	-180.3	CNV	-429.5	CNV	-557.0	CNV	-555.0	CNV	-75.91	CNV	
poteau			Poteau 102	Max	127.3	CV	82.3	CV	361.7	CNV	255.3	CNV	268.5	CV	70.69	CV
				Min	-114.5	CNV	-78.76	CNV	-357.3	CNV	-229.3	CNV	-232.6	CNV	-70.06	CNV

Chapitre V : Résultat et comparaison

Pendant l'essai et après les résultats obtenus dans ce test, on remarque que la plus part des poutres des étage (2à6) dans les deux résultats enregistré par les deux logicielle à était dans état plastique. état de fissure) sauf que dans le résultat de robot et dans les deux premières conditions on remarque qu'aucune fissure n'a été constatée sur les poutres des étages (2à6). Ansaï que en remarque que le poteau 102 est dépasse la contrainte admissible donc à était dans état plastique.

Conclusion générale:

L'évaluation du comportement et des marges de résistance des bâtiments en béton armé soumis au chargement sismique, existants ou à construire, spécialement dans des zones à sismicité forte, fait appel à la simulation numérique par éléments finis, afin de déterminer l'effet de l'endommagement du béton sur la réduction des fréquences de vibration du bâtiment ainsi que son effet sur la dissipation d'énergie au sein du matériau .

Selon les résultats obtenus par les deux logiciels et en les comparant avec des modèles de simulation, nous notons que la plupart des résultats étaient un peu similaires aux résultats du test modèle, mais le ROBOT était beaucoup plus proche de cette référence. Cette différence peut être due soit à la précision de la méthode de calcul de chaque logiciel ou bien au pourcentage d'erreur provoqué par le modèle réduit.

Ensuite, le présent travail de fin d'étude, nous a permis d'avoir une opinion importante sur le fonctionnement des logiciels de calcul des structures en génie civil, en particulier sur les logiciels SAP2000 et Robot qui sont basés sur la méthode des éléments finis.

Maintenant qu'on est arrivé à la fin de notre travail, on a tiré plusieurs enseignements sur la table vibrante et le modèle réduit on peut citer quelques points:

- ❖ L'importance de comprendre les effets des séismes sur les structures pour le génie civil est évidente ;
- ❖ Le test de la table vibrante est devenu un outil puissant pour les chercheurs et les concepteurs, chargé d'examiner les performances dynamiques des bâtiments.
- ❖ Enfin, nous constatons que cette étude peut aider à améliorer le développement de modèles de génie civil prédictifs appropriés.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES:

[1]: MekkiMellas et all, Formation sur le logiciel SAP2000, Département de génie civil et d'Hydraulique, Faculté des sciences et technologie, Université Mohamed khider Biskra, du 23 au 26 avril 2018

[2]: H.Aknouche, « la modélisation des structures au Sap2000 », séminaire, l'informatique au génie parasismique.

[3]: Bourouba Mohamed, Rezigui m'Hamed, « Analyse d'un bâtiment R+5 par les logiciels Sap2000 et robot », mémoire de fin d'état des travaux publics, école nationale des travaux publics, 2004.

[4]: Yousef laibi, Hamza salem, « Analyse de quelques structures de génie civil par MEF en utilisant de logiciel ROBOT », mémoire de master, structure, université de M'sila, 2017.

[5]: Autodesk ROBOT« Structural Analysis 2010-Guide d'utilisation », Mars 2009.

[6]: Thomas Stablon, «Initiation à robot structural Analysis, conception des ouvrages d'Art et bâtiments », université Paul Sabatier.

[7]: N. BOURAHLA et all, « performance d'une table vibrante Mono-Axiale », université de Blida. juillet 1989.

[8]: P. Habib, «similitude et essais sur modèles réduits : validité de la modélisation, laboratoire de mécanique des solides », juillet 1989.

[9]: Mathiencorus, «Notice pour la construction de modèles réduits en dynamique », 2013

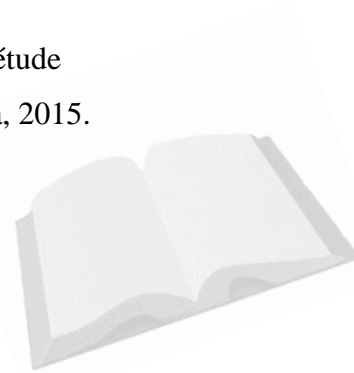
[10]: Association Française du génie parasismique, «Moyens expérimentaux pour les essais sismiques, Novembre 2014.

[11]: https://www.pedagogie.ac-aix-marseille.fr/...02/table_vibrante.pdf. Consulté le : 01/06/2019

[12]: Laboratoire de génie parasismique par Algérie-tas.

[13]: SAP2000, Formation SAP2000.

[14]: M. Aissa, H. Houcine, « conception des structures à nœuds semi-rigide étude sismique et économique », mémoire master, université Ziane Achour de Djelfa, 2015.



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[15]: Adnane OURABAH, « Analyse non linéaire statique et dynamique des structures tridimensionnelles Auto Stables », Magister en Génie Civil, Université Abderrahmane Mira de Bejaia ,2009.

[16]: Theoretical background to the strand finite element analysis system.

[17]: J.M.TCHOUANT NANA, «Cour de béton on armé –suivant les Règle BAEL 91 E modifications 99 », Institut International d'ingénierie de l'eau et de l'environnement 2E, Mars 2009.

[18]: P.Paultre « Dynamique des structures application aux ouvrages de génie civil ». Collection génie civil.2005.